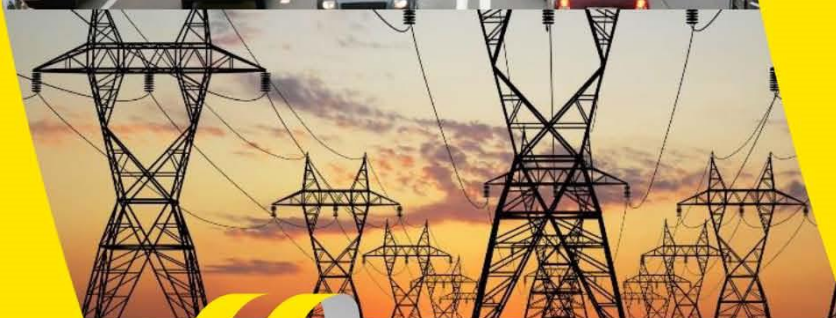




## Hoogwaardige recycling

Gevat in een beleidsformule en een multicyclus-LCA-methodiek



**CE Delft**

Committed to the Environment

# Hoogwaardige recycling

Gevat in een beleidsformule en een  
multicyclus-LCA-methodiek

Dit rapport is geschreven door:

CE Delft

IVAM

Rebel

Delft, CE Delft, juli 2016

Publicatienummer: 16.2F93.73

Trefwoorden: LCA / Hergebruik / Kwaliteit / Economie / Duurzaam / Beleid / Maatschappelijke factoren / Belangengroepen

Oprachtgever: Rijkswaterstaat.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Bergsma.

© copyright, CE Delft, Delft

**CE Delft**

**Committed to the Environment**

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

# Voorwoord

Verbeteren van de hoogwaardigheid van recycling is een belangrijk aspect in het streven naar een circulaire en duurzame economie. Wij vonden het daarom een eer dat aan CE Delft, IVAM en Rebel werd toevertrouwd om het begrip meer handen en voeten te geven.

Wij hebben dat gedaan met een beleidsmatige redeneerlijn en met een analytische multicylcus-LCA-lijn. Deze twee modellen hebben we toegepast op vijf complexe afvalcases. Deze cases zelf waren de belangrijkste scheidrechters of de methodieken ook bruikbaar zijn. De uitkomsten leveren interessante nieuwe inzichten maar ook vervolgvragen.

Bij het doorgronden van het begrip hoogwaardige recycling zijn wij goed geholpen door de leden van de begeleidingscommissie, de leden van de bedrijvencommissie en door vele actoren betrokken bij de cases. Wij willen u allen hier hartelijk voor danken.

Daarbij moeten we vermelden dat de inhoud van dit rapport voor rekening is van de auteurs en niet noodzakelijkerwijs op alle punten onderschreven wordt door de (hele) begeleidingscommissie.

## Begeleidingscommissie

Marco Kraakman en Guus van den Berghe (RWS, opdrachtgevers), Marc Pruijn (I&M/DGMI), Robert Jan Saft (VA), Anne-Marth Vrind (KiDV), Max de Vries (BRBS Recycling), Hans Koning (FHG), José Potting (PBL), Robbert van Duin (Recycling Netwerk/B&G), Anne Hollander (RIVM) en Robert van Notten (FHG) die ons helaas is overleden in november 2015.

## Bedrijvenpanel

Paul Brandts - DSM, M. Veerman - Morssinkhofplastics, Henk Jan Nix - Stiba, Frank Hoekemeijer - Heijmans, Eugene Rudolf - Vanscherpenzeel, Bauke Hoekstra Bonnema -Tatasteel, Mieke Ansems - CocaCola NL.

Tot slot nog een referentie naar oud-kamerlid Marieke van der Werf die met de motie over onderscheid tussen hoogwaardige en laagwaardige recycling aan de wieg stond van dit onderzoek (Tweede Kamer, 2012).

## Projectteam

Geert Bergsma (CE Delft, projectleider), Marijn Bijleveld (CE Delft), Niels Jonkers (IVAM), Peter Blok (RebelGroup) en Michiel Kort (RebelGroup).



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>10</b>
1.1 Aanleiding	10
1.2 Achtergrond	10
1.3 Doel van het project	11
1.4 Scope en hoofdvragen van het project	12
1.5 Projectaanpak	12
<b>2 Inleiding hoogwaardige recycling beleidsmatig bekeken</b>	<b>14</b>
2.1 De uitdaging	14
2.2 Doel hoogwaardige beleidsmatig bekeken	14
2.3 De bruikbaarheid van basisregels	15
2.4 Politiek-bestuurlijke context recycling in Nederland	16
2.5 Hoogwaardige recycling in bredere context van afvalverwerking	19
2.6 Begripsvorming hoogwaardigheid vanuit verschillende perspectieven	21
<b>3 Beleidsformule hoogwaardig in een basisregel</b>	<b>22</b>
3.1 Maatschappelijke benadering van hoogwaardige recycling	22
3.2 Bedrijfsmatige benadering van hoogwaardige recycling	23
3.3 Kader en scope voor hoogwaardig recyclen in dit onderzoek	24
3.4 De basisregel om de hoogwaardigheidsscore van recyclen te bepalen	26
3.5 Voorbeeld berekening toepassing Basisregel uit Box 1	30
3.6 Interpretatie en mogelijke uitbreidingen van de basisregel: cycli	31
3.7 Mono-stromen of meervoudige stromen?	32
<b>4 Een beslismodel voor het hanteren van de basisregel</b>	<b>34</b>
4.1 Het beslismodel voor het hanteren van de basisregels	35
4.2 De evaluatie naar de invalshoeken Planet, People en Profit	36
4.3 Tot slot: aandachtspunten voor het vervolg en beleid	36
<b>5 Hoogwaardig beoordeeld met levenscyclusanalyse (LCA)</b>	<b>38</b>
5.1 Inleiding	38
5.2 Introductie mLCA	39
5.3 Afbakening: definitie van <i>goal en scope</i>	39
5.4 Inventarisatie	44
5.5 Modelleren	45
5.6 Milieuanalyse	46
<b>6 Bespreking en conclusies mLCA-model</b>	<b>49</b>
6.1 Inleiding	49
6.2 Aansluiting bij basisregels hoogwaardigheid	49
6.3 Beoordeling van de mLCA-resultaten	50
6.4 LCA en multi-cyclus-LCA	51
6.5 Conclusie volgend uit de casestudies	56
6.6 Beoordeling van stort	58

6.7	Toepassen van de mLCA-methodiek: micro en macro	60
<b>7</b>	<b>Vergelijking beleidsmodel en mLCA-model</b>	<b>62</b>
7.1	Inleiding	62
7.2	Kernpunten mLCA-model en beleidsmatig beslismodel	62
7.3	Methodische vergelijking	63
7.4	Vergelijking mLCA en beleidsmodel aan de hand van de casestudies	66
7.5	Integratie basisregel en mLCA procesmatig	75
7.6	Verbeterpunten die opkomen na de vergelijking van het mLCA- en beleidsmodel	76
7.7	Sturing naar circulaire toekomst	76
7.8	Check of formules geschikt zijn om materialen te vergelijken	77
7.9	Integratie voorlopige conclusie	79
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>80</b>
8.1	Conclusies methoden toetsing hoogwaardige recycling	80
8.2	Aanbevelingen voor vervolg	81
	<b>Bibliografie</b>	<b>83</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Beleidsmatig buitenland</b>	<b>85</b>
A.1	Begripsvorming hoogwaardige recycling: inspiratie uit andere landen	85
<b>Bijlage B</b>	<b>Totstandkoming mLCA-methodiek</b>	<b>88</b>
B.1	De uitdaging	88
B.2	Doel	88
B.3	Basisgedachte mLCA-methodiek	90
B.4	Aansluiting op algemeen geaccepteerde LCA-analysmethoden	91
B.5	Aansluiten bij de circulaire economie	95
B.6	Waar moet het mLCA-model aan voldoen?	96
B.7	Rekening houden met 'end-of-life' of 'recycled content'?	100
B.8	Overige overdenkingen	100
<b>Bijlage C</b>	<b>Case: transparante PET-verpakkingen</b>	<b>101</b>
C.1	Omschrijving	101
C.2	Schema's PET-flessen	103
C.3	Resultaten	107
C.4	Toekomstscenario's en variatie: 1 tot 5 keer recyclen	110
C.5	Gevoeligheidsanalyse: recyclingpercentage mixed kunststofproducten	114
C.6	Variatie: weegsets en ILCD-methode	116
<b>Bijlage D</b>	<b>Case: A/B-hout</b>	<b>119</b>
D.1	Omschrijving	119
D.2	Schema's A/B-hout	122
D.3	Resultaten	124
D.4	Variatie: weegsets en ILCD-methode	130
D.5	Carbon debt	131
D.6	Conclusies hout: mLCA weegt verbranding vs. recycling anders	131

<b>Bijlage E</b>	<b>Case: beton</b>	<b>132</b>
E.1	Omschrijving	132
E.2	Schema's beton	136
E.3	Resultaten	139
<b>Bijlage F</b>	<b>Case: schredderafval - autowrakken</b>	<b>144</b>
F.1	Omschrijving	144
F.2	Schema's autowrakken	149
F.3	Resultaten	153
<b>Bijlage G</b>	<b>Case: bitumineus dakafval</b>	<b>166</b>
G.1	Omschrijving	166
G.2	Schema's bitumineus dakafval	169
G.3	Resultaten	171
<b>Bijlage H</b>	<b>Complete tabel mLCA vs. beleidsmodel</b>	<b>179</b>
<b>Bijlage I</b>	<b>Input uit bedrijvenpanel</b>	<b>180</b>



# Samenvatting

Regelmatig komt het voor dat afvalstromen op verschillende manieren gerecycled kunnen worden. Dit roept dan vaak de vraag op welke vorm van recycling als hoogwaardiger beschouwd moet worden. Dit onderzoek had daarom tot doel om te bepalen hoe de hoogwaardigheid van recyclingroutes bepaald kan worden.

Daarbij zijn we gaan denken vanuit de methodiek van de levenscyclusanalyse (LCA) en hebben we een beleidsformule opgesteld die kan dienen als vuistregel. De op LCA gebaseerde multicyclus LCA-methodiek (mLCA) is meer rekenkundig vastgesteld. De beleidsformule meer redenerend bepaald. Vervolgens hebben we beiden methodieken toegepast op vijf afvalcases en hier conclusies uit getrokken.

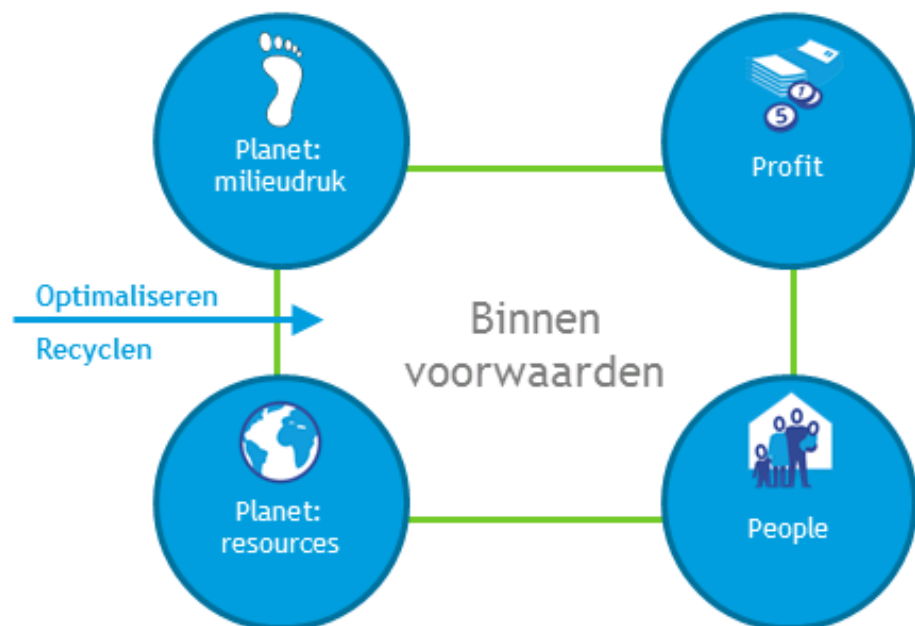
De afvalcases waren PET-afval, A/B-afvalhout, autowrakken, betonpuin en dakafval. Hiermee is een breed pallet aan afvalcases bestreken: de methodieken zouden sterker worden indien getest met meer afvalcases. De conclusies uit dit rapport zijn daarmee voorlopig. Het zijn methodieken in ontwikkeling.

De ontwikkelde methodieken borduren voort op de afvalhiërarchie, de principes van de circulaire economie en de levenscyclusanalyse wetenschap.

Achter het begrip hoogwaardigheid gaan vier hoofdbegrippen schuil:

- ecologie: zoveel mogelijk milieuvoordeel boeken;
- grondstoffen: zo veel mogelijk schaarse grondstoffen sparen;
- economie: een goede businesscase;
- sociaal: niet uitgewerkt in dit project.

Figuur 1 Totaal concept hoogwaardige recycling



We proberen dus recycling te optimaliseren binnen deze vier aandachtspunten. Hoe beter een techniek scoort op deze vier punten hoe hoogwaardiger.

In dit project zijn indicatoren gemaakt voor ecologie en grondstoffen. Separaat is er gewerkt aan een indicator voor economische hoogwaardigheid. Sociale randvoorwaarden zouden in een volgende stap kunnen worden uitgewerkt.

### **Meerdere cycli**

Een belangrijk punt in de circulaire economie is dat grondstoffen zo vaak mogelijk gerecycled worden. In de ontwikkelde beleidsformule of basisregel is dit daarom een belangrijk aspect. De traditionele LCA-wetenschap houdt hier nog geen rekening mee. Daarom is voor dit project de multicycli-LCA ontwikkeld waarbij een materiaal drie recyclingcycli gevolgd wordt.

### **mLCA**

De mLCA-methodiek is gestoeld op een zo compleet mogelijke cijfermatige analyse van de effecten op milieu en grondstoffen. Ten opzichte van de standaard LCA-berekeningen voor recyclingprocessen is een aanvulling gemaakt via het beschouwen van recycling van de producten die van het gemaakte recyclaat gemaakt zijn. Dat wil zeggen dat het recyclaat tot (maximaal) drie vervolg-cycli wordt gevolgd en doorgerekend.

De uitkomst van een mLCA-berekening geeft niet vanzelf een indeling in hoog- of laagwaardig. Wel is er bij een beoordeling van meerdere recyclingroutes een ranking aan te geven.

### **Beleidsmodel**

Het beleidsmodel gaat als basis uit van de hoeveelheid daadwerkelijk gerecycled materiaal maal een aantal kwaliteitsfactoren. Het beleidsmodel is een manier van beleidsmatig redeneren die qua redeneerlijn lijkt op de veel gebruikte afvalvoorkeursvolgorde (of afvalhiërarchie).

Het beleidsmodel maakt voor het niveau (recyclaat/materiaal) een verdere sub-indeling waarbij de volgende aspecten een rol spelen:

- toepassing in zelfde of vergelijkbaar product (staat model voor milieuwinst van het vermijden van materiaal en minder gebruik van schaarse grondstoffen);
- meerdere keren recyclebaar;
- zo weinig mogelijk energie nodig in recycleloop (corrigeert milieu- en grondstoffenvoordeel) in relatie tot materiaal uit mijnbouw.

### **Conclusies methoden toetsing hoogwaardige recycling**

Het beleidsmodel maakt een relatieve snelle hoogwaardigheidsbeoordeling van recyclingopties mogelijk. De parallelle berekeningen met de mLCA-methodiek laten zien dat beide methodieken meestal dezelfde volgorde van beoordeling geven. Vooral technieken die meerdere cycli van recycling mogelijk maken en die weinig energie in de recyclingketen nodig hebben scoren goed.

Voor complexere cases waarin materialen naar een andere sector verschuiven zijn de beoordelingen echter regelmatig verschillend. De methodieken zijn daarom op dit moment een interessante aanvulling op de standaard LCA-methodiek maar dienen nog met voorzichtigheid gebruikt te worden.



### **Hoofdconclusies zijn:**

- Het beleidsmodel en de mLCA-methodiek zijn interessante toevoegingen aan de bestaande afvalhiërarchie en aan bestaande LCA's over afval.
- het beleidsmodel en de mLCA-methodiek sluiten beter aan bij de principes van de circulaire economie en het gecascadeerd inzetten van biomassa dan een klassieke LCA, het beleidsmodel en de mLCA zijn beter geschikt om de transitie naar een circulaire economie te sturen.
- Het beleidsmodel biedt een eerste handzame stap om hoogwaardigheid te duiden, de mLCA is beschikbaar voor complexere cases en in geval van discussie over de resultaten van het beleidsmodel.

### **Overeenkomsten mLCA-model en beleidsmodel**

- Beide modellen wijzen over het algemeen dezelfde recyclingopties aan als meest hoogwaardige optie. Ook over de minst hoogwaardige optie zijn de modellen het meestal eens.
- Beide modellen geven aan dat ketens met hoge inzamelingspercentages, beperkte energiebehoefte in het recyclingproces en de mogelijkheid om meer malen te recycelen het beste scoren.

### **Verschillen beleidsmodel en mLCA**

- Het beleidsmodel deelt in drie grove stappen, de mLCA-methodiek geeft kleine verschillen preciezer weer.
- De mLCA-berekening kijkt naar alle milieuaspecten. Het beleidsmodel neemt besparing op grondstoffen en energieverbruik als grove maat voor deze aspecten
- Voor complexe cases waarbij recycleat ingezet wordt in een andere sector lopen de oordelen van de methodieken vaak uiteen.

### **Let op: innovatie en toekomst**

Veel recyclingopties zijn nog in ontwikkeling. In dit geval is het belangrijk om niet alleen de huidige situatie te beoordelen met de methodieken maar ook een inschatting te maken van de uitontwikkelde techniek en deze te beoordelen.

### **Let op: hoogwaardige recycling is deelaspect circulaire en duurzame economie**

De twee methodieken zijn ontworpen als beoordeling van verschillende manieren van omgaan met afval. Het is goed om te benadrukken dat dit slechts één van de aspecten van de circulaire duurzame economie is en dat aspecten als preventie van materiaalgebruik, levensduurverlenging, producthergebruik, etc. hierin niet meegenomen zijn. Daardoor zijn de hier gepresenteerde indicatoren alleen geschikt voor het beoordelen van verschillende recyclingopties en niet geschikt voor het geven van een totaal duurzaamheidsoordeel over materialen en of producten.

### **Let op: economische hoogwaardigheid moet nog toegevoegd worden**

Het recycelen van afval gaat gepaard met het maken van kosten. De baten van een recycleat van hogere kwaliteit zijn nog niet altijd voldoende om die kosten te dekken. Bij een beleidsmatig oordeel over het inzetten van afval bij recycling kunnen die kosten ook een rol spelen. In een parallel onderzoek (Economische hoogwaardigheid recycling, Rebel/CE Delft, juli 2016) is ook gekeken naar de economische hoogwaardigheid van recycling. De resultaten van dit onderzoek kunnen nog toegevoegd worden aan met name de beleidsformule.

### **Aanbevelingen voor vervolg**

Wij hebben aanbevelingen op het gebied van het verder vergaren van draagvlak en verbeteren van methodiek, het goed sturen richting een circulaire economie en suggesties voor technische verbeteringen.

#### **Verder verbeteren methodiek en vergaren van draagvlak bij onderzoekers en praktijk**

- de mLCA-methodiek ter discussie voor te leggen aan andere LCA-onderzoekers met de vraag: Is de mLCA beter geschikt om richting de circulaire economie te sturen dan dan standaard LCA-studies?;
- de methodieken verder te bediscussiëren met stakeholders in het afval- en recyclingveld;
- de methodieken te testen met meer afvalstromen om tot een meer definitief oordeel te komen over de bruikbaarheid;
- het economische aspect van recycling ook mee te nemen in het beleidsmodel en naast de mLCA-resultaten (verwerken resultaat parallel project).

#### **Goed sturen richting een circulaire economie**

- in beleidstukken over recycling het beleidsmodel als belangrijkste indicator voor beleid mee te nemen die in complexe gevallen aangevuld moet worden met een mLCA-berekening;
- bij recyclingkeuzes de mLCA-benadering als circulair check te laten berekenen;
- het gedachtengoed van het mLCA-model en het beleidsmodel ook los te laten op een roadmap circulaire economie richting 2030/2040 waarbij grote afval en materiaalstromen in de economie worden beoordeeld en geoptimaliseerd.

#### **Technische verbeteringen**

- voor de mLCA-benadering een standaard 100%-ideaalscore te definiëren om de afstand tot het uiteindelijke doel beter weer te geven;
- in het beleidsmodel nog te kijken naar een betere energie/planetfactor voor hout/biomateriaalvervanging;
- voor beide methodieken een handleiding te laten maken waarmee uitvoerders stap voor stap aan de hand worden genomen;
- te onderzoeken of de mLCA-methodiek ook te vertalen is naar product LCA's die gebruikt worden om producten te vergelijken.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Binnen het Nederlandse milieubeleid is er al lang veel aandacht voor recycling van afvalstoffen. Om de hoeveelheid te storten en verbranden afval te verlagen, om milieu-impact te verlagen en om het gebruik van grondstoffen te beperken.

Voor verschillende materialen kan recycling op verschillende manieren worden aangepakt. Een klassiek voorbeeld is kunststof recycling dat kan leiden tot het gebruik in heldere PET-flessen of het toepassen van mixed kunststof in berrpaaltjes die hardhout of beton vervangen. Deze verschillende vormen van recycling hebben verschillende effecten op de milieu-impact, grondstoffen gebruik en kosten. Regelmatig komt daarom de vraag op bij beleidmakers, bedrijven en NGO's of er onderscheid gemaakt moet worden tussen deze vormen van recycling. Daarvoor worden termen gebruikt als hoogwaardig en laagwaardig of up-, re- en down-cycling.

Bij de voorbereiding van het LAP3 (landelijk afvalbeheerplan) en bij het formuleren van beleid op basis van het programma VANG (Van Afval naar Grondstof) is geconstateerd dat een goede definitie van hoogwaardige recycling nodig is. Voor het LAP3 is het de bedoeling dat de definitie goed bruikbaar is in de minimumstandaardenmethodiek waar voor verschillende afvalstoffen wordt aangegeven hoe deze minimaal verwerkt dienen te worden. Voor het VANG-programma is het de bedoeling dat de definitie goed bruikbaar is in het stimuleringsbeleid binnen bepaalde grondstofketens.

Het voorliggende rapport geeft aan hoe het begrip hoogwaardige recycling beleidsmatig redenerend met een beleidsformule gedefinieerd kan worden. Daarna hoe hoogwaardig recycling rekenend met een levenscyclusanalyse over meerdere levenscycli (mLCA) benaderd kan worden. Vervolgens hebben we beiden methodieken toegepast op vijf afvalcases en hier conclusies uit getrokken.

## 1.2 Achtergrond

Beide programma's, VANG (2013) en LAP (versie 3 in ontwikkeling), zijn gebaseerd op het gedachtengoed van de circulaire economie waarbij er gestreefd wordt naar kringlopen van materialen in de economie zonder noemenswaardige afvaluitval en zonder een grote vraag naar hulpstoffen en energie. Belangrijke aanjager van dit gedachtengoed in Europa is de Ellen MacArthur Foundation. Zij werkt intensief samen met veelal grote bedrijven (waaronder grote Nederlandse bedrijven als DSM, Philips en Unilever en ook pensioenfonds PGGM) aan projecten gericht op producthergebruik, modulair produceren en ook hoogwaardige recycling. De ideeën uit dit gremium en de concrete projecten bij bedrijven lijken ons zeer bruikbaar. Het begrip circulaire economie bouwt weer voort op de cradle-to-cradle-filosofie die ook in Nederland in het bedrijfsleven is aangeslagen (bijvoorbeeld bij Desso en Van Gansewinkel) en ook eerder beleidsmatig heeft geleid tot ketenprojecten onder LAP2.

Daarnaast bouwen deze filosofieën weer voort op de EU-afvalhiërarchie of Ladder van Lansink waar recycling de voorkeur heeft boven energietoepassing en waarbij producthergebruik en preventie daar weer boven gaan. Ook bij deze Ladder van Lansink-benadering is de vraag opgekomen of recycling niet opgedeeld zou moeten worden in twee delen: laagwaardige recycling dicht tegen energietoepassing aan (bermpaaltjes maken als voorbeeld) en hoogwaardige recycling (bottle-to-bottle-recycling vaak als voorbeeld) dicht tegen producthergebruik aan. Daarbij is het goed om te melden dat ook in het landelijk afvalstoffenplan 2 (LAP2) het al zo geregeld is dat bij twijfel over de volgorde van technieken in de afval hiërarchie er een Levenscyclusanalyse uitgevoerd mag worden en dat deze doorslaggevend is als deze een andere voorkeursteknik aanwijst dan de hiërarchie.

Parallel hieraan is er ook meer belangstelling voor het thema grondstoffen. Het ministerie van BuZa vooral vanuit strategische overwegingen en de voorzieningszekerheid, het ministerie van EZ vanuit economische overwegingen en het ministerie van I&M vanuit ecologisch oogpunt. Dit is vastgelegd in de Grondstoffenstrategie (2011) die is opgesteld met assistentie van HCSS, TNO en CE Delft. Hoogwaardige recycling is in deze visie een belangrijk middel in het grondstoffenbeleid.

Tot slot speelt de discussie over hoogwaardige inzet ook binnen het thema biomassa of biobased economy. Zo hoogwaardig mogelijke inzet wordt in dit domein veelal aangeduid met de term cascadering (zie eerder rapport CE Delft (Cascading of Biomass 13 Solutions for a Sustainable Biobased Economy) of met de piramide van f'en (food, feed, fiber, fuel, etc.). Ook in dit domein zijn er verschillende definities voor hoogwaardige inzet van biomassa of valorisatie van plantaardig materiaal.

### 1.3 Doel van het project

Het hier voorgestelde project heeft tot doel om een duidelijke definitie van hoogwaardige recycling af te leveren die de volgende deeldoelen ondersteunt:

- het aanjagen van de transitie naar een circulaire economie;
- bedrijven helpen richting te geven aan innovaties op recycling gebied;
- het geven van een basis voor minimumstandaarden voor in LAP3;
- het bieden van een basis voor beleidsinstrumenten gekoppeld voor het VANG-programma.

De definitie van hoogwaardig die wordt afgeleverd is tweeledig:

- a een beredeneerde visie en definitie bruikbaar in beleid;
- b een definitie op basis van LCA-berekeningen.

Daarbij is de kunst te zorgen voor een goede samenhang tussen de beredeneerde en de berekende definitie.

Als doelgroepen voor dit rapport en gebruikers van de resultaten zien wij:

- beleidsmakers landelijk maar ook provinciaal (LAP3);
- vergunningverleners (LAP3);
- bedrijven actief in de afval- en recyclingsector;
- bedrijven strevend naar een circulaire economie;
- kennisinstellingen;
- milieuorganisaties.
- geïnteresseerde burgers.

## 1.4 Scope en hoofdvragen van het project

We kijken in dit project vooral naar de Planet-aspecten van hoogwaardige recycling, en pas later komen in een ander traject van I&M Profit aan de orde. Wel stellen we voor prangende issues in Profit en People wel te registreren in dit project en mee te geven als resultaat van het project.

De hoofd- en deelvragen binnen deze scope zijn:

**Wat is de beleidsmatige bruikbaarheid van een onderscheid naar hoogwaardige en laagwaardige recycling?**

- Draagt zo'n onderscheid bij aan het bereiken van een circulaire economie?
- Welke beleidsinstrumenten kan je dan inzetten?
- Wat zijn randvoorwaarden?

**Hoe definieer je dan hoogwaardigheid én dus ook laagwaardigheid, wat is het?**

- Vanuit optiek bruikbaarheid en eenvoudig model.
- Vanuit optiek wetenschappelijke fundatie (LCA).

**Hoe bereik je hoogwaardigheid in de praktijk?**

- Kunnen marktpartijen en handhavers ermee uit de voeten, gaat het werken?

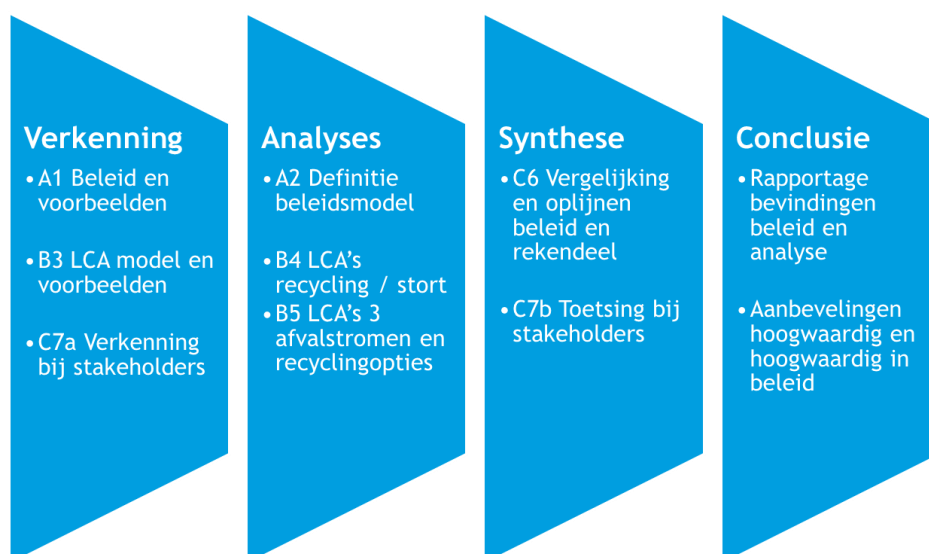
## 1.5 Projectaanpak

Het voorliggende project heeft drie pijlers:

- het beleidsmatig uitwerken van het begrip hoogwaardige recycling;
- het wetenschappelijk invullen van hoogwaardige recycling;
- het vergelijken en integreren van de beleidsmatige benadering plus afstemming met marktpartijen.

Figuur 2 Stappenschema project

### Hoogwaardig beredeneerd en berekend in stappen



## Cases

Het mLCA-model en de basisregel in het beleidsmodel worden toegepast op een aantal cases:

- PET-afval;
- A/B-afvalhout;
- autowrakken;
- beton/puin;
- dakafval.

## Afstemming met bedrijvenpanel

Naast de uitgebreide begeleidingscommissie waar intensief mee is samengewerkt hebben we de conceptresultaten voorgelegd aan een bedrijvenpanel waarvan het verslag is toegevoegd als laatste bijlage van dit rapport.



# 2 Inleiding hoogwaardige recycling beleidsmatig bekeken

## 2.1 De uitdaging

Binnen het Nederlandse milieubeleid is er al lang aandacht voor recycling van afvalstromen. Om de hoeveelheid te storten en te verbranden afval te verlagen, om milieu-impact te verlagen en om het gebruik van primaire grondstoffen te beperken. Voor verschillende afvalstromen kan recycling op verschillende manieren worden aangepakt. Een klassiek voorbeeld is kunststofrecycling dat kan leiden tot het gebruik van gerecycled PET in heldere PET-flessen of het toepassen van mixed kunststof in producten die hardhout of beton vervangen, zoals bermpaaltjes of buitenmeubels. Deze verschillende vormen van recycling hebben verschillende effecten op milieu-impact, grondstoffengebruik en kosten. Regelmatig komt daarom de vraag of er onderscheid gemaakt moet worden tussen deze vormen van recycling naar kwaliteit of waardigheid.

## 2.2 Doel hoogwaardige beleidsmatig bekeken

In het onderzoeksproject 'Hoogwaardige recycling' wordt een methode ontwikkeld om voor een afvalstroom verschillende beschikbare recycling-methoden te kunnen beoordelen op hoogwaardigheid. Als eerste stap wordt deze beoordeling gedaan met op te stellen eenvoudige basisregels; daarnaast wordt een toegesneden LCA-methode toegepast. Beide aanpakken worden vergeleken waarbij het streven is te komen tot één gedragen eenvoudige methode voor het beoordelen van de (mate van) hoogwaardigheid van recycling, zo mogelijk (in de meeste gevallen) via eenvoudige basisregels.

Met deze methode kan de transitie naar de circulaire economie worden aangejaagd en kunnen bedrijven worden geholpen om richting te geven aan innovaties op het gebied van recycling en het toepassen van gerecyclede materialen. De methode biedt daarnaast een basis voor het formuleren van minimumstandaarden voor in LAP3 en beleidsinstrumenten gekoppeld aan het VANG-programma.

In Projectonderdeel A conceptualiseren wij het begrip hoogwaardigheid en ontwikkelen we een relatief eenvoudige benadering om uitspraken te kunnen doen over hoogwaardigheid (en laagwaardigheid). We spreken over een basisregel. Deze ontwikkelen we eerst. Daarnaast stellen wij een beslismodel op dat helpt bij het hanteren van deze basisregel.

## 2.3 De bruikbaarheid van basisregels

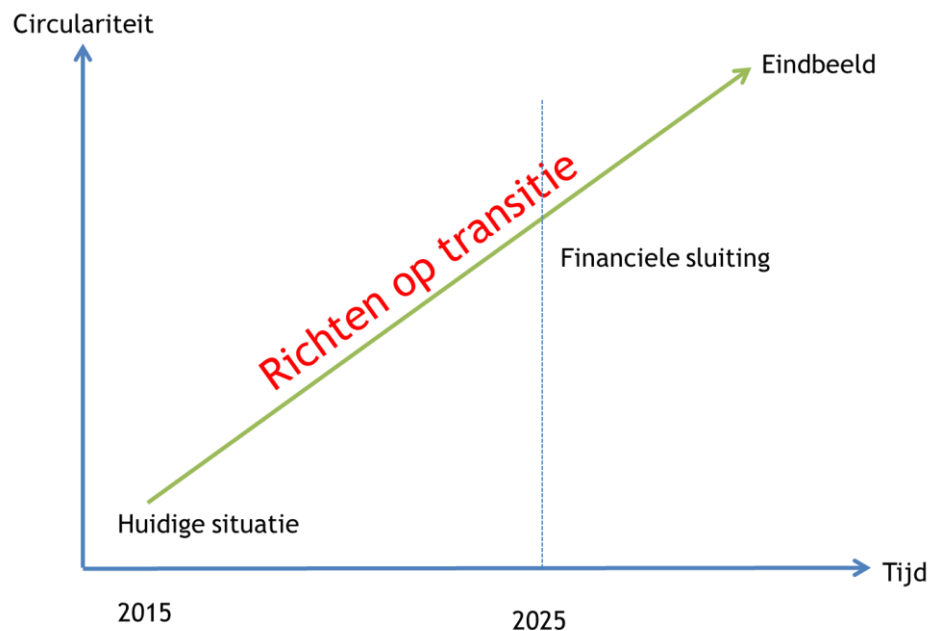
Het belangrijkste doel van de benadering via een eenvoudige basisregel zijn dat beleidsmakers en bedrijven:

- zich uitgedaagd voelen door de resultaten en uitkomsten van de benadering;
- op zoek gaan naar methoden en aanpakken om recyclingprocessen binnen een afvalstroom nog eens kritisch tegen het licht te houden om te bezien waar verbeteringsmogelijkheden zijn;
- zo nodig op zoek gaan naar andere recyclingprocessen;
- zich daarbij eventueel extra uitgedaagd voelen als - op globaal niveau bekeken - andere afvalstromen het beter lijken te doen, gelet op de hoogwaardigheidsscore;
- ten slotte kunnen de resultaten en uitkomsten als input gebruikt worden om te sturen op hoogwaardigheid in afspraken, LAP3 en/of wetgeving.

### Intermezzo

De manier waarop in het beleidstraject VANG (Van Afval Naar Grondstof) van het Ministerie van I&M naar de transitie naar de Circulaire Economie wordt gekeken, is het stellen van fundamentele vragen:

- Bedenken: wat is het eindbeeld van Circulaire Economie, toegepast op een specifieke afvalstroom?
- Beoordelen: Kom je daar als je gaat kijken naar de materialenkringloop, en hoe is het gesteld met de financiële sluiting? Onder welke voorwaarden komt circulariteit op grote schaal tot stand?
- Doen: in welke stappen moet je het proces opknippen om de transitie naar circulariteit te bewerkstelligen, en wat moet je dan doen voor uiteenlopende afvalstromen?



(Jaartal 2025 is ter illustratie)

Het vraagstuk van de hoogwaardigheid dient dus te worden bezien in het licht van eindbeelden (ketens circulair), want die richting zou het nu moeten opgaan vanuit meerdere overwegingen.

Daarom moet er in dit deelonderzoek én in de integratiefase van dit project worden stilgestaan bij de vraag of de beoordelingen met een basisregel én/of een multi-LCA aansluiten bij een verder weg liggende toekomstvisie van een volledig circulaire economie.

## 2.4 Politiek-bestuurlijke context recycling in Nederland

Recycling is al zeker 25 jaar, vanaf het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) en later ook in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP), een belangrijk onderdeel van het beleid. Een afvalstof kan vaak op verschillende manieren worden gerecycled. Deze manieren scoren niet allemaal hetzelfde qua milieuwinst, kwaliteit of vanuit economisch oogpunt. Al langere tijd is er aandacht voor verschillende vormen van recycling en hoe deze zich met elkaar verhouden.

Ook in de politiek krijgt dit regelmatig aandacht. Zo heeft de aangenomen motie Van der Werf (Tweede Kamer, 2012) de aandacht voor hoogwaardigheid binnen het recycling beleid een impuls gegeven. Met deze motie is de regering gevraagd om in de doelen voor het afvalbeleid onderscheid te maken in hoogwaardige en laagwaardige recycling met grondstoffen schaarste als belangrijke invalshoek. Als we naar beleidsstukken en recente verslagen van Algemene Overleggen vanaf die tijd kijken dan valt ons een aantal zaken op.

### Verschillende betekenissen van hoogwaardig

Ten eerste zien we dat hoogwaardig terugkomt in verschillende betekenissen; percentage, kwaliteit en toepassingsmogelijkheden in een nieuw product:

- a *Een hoger recyclingpercentage.* Recycling is hoogwaardiger als van een bepaalde hoeveelheid materiaal in afvalstromen het percentage materiaal dat gerecycled wordt omhoog gaat. De discussie in de Kamer gaat naast mogelijke verhoging van het percentage ook over de gehanteerde indicatoren. De hoeveelheid die wordt aangeboden voor recycling zegt soms niet alles omdat in de praktijk blijkt dat de aangeboden hoeveelheid voor recycling niet altijd daadwerkelijk helemaal gerecycled wordt (en vervolgens weer in de markt wordt toegepast). Tijdens het verder opwerken van recyclaten is er logischerwijs regelmatig uitval dat niet verder gebruikt kan worden. Het gaat de politiek echter om de hoeveelheid die ook daadwerkelijk gerecycled wordt, maar kamerleden geven tegelijkertijd aan dat eenduidige meting hiervan lastig is (Tweede Kamer, 2014c). NB: Recycling wordt in dit kader gezien als materiaal recycling. Chemische recycling (terug naar basisgrondstoffen) of HR-energietoepassing (Cementoven) valt in NL buiten deze definitie terwijl deze opties milieukundig wel goed zouden kunnen scoren.
- b *De kwaliteit van het recycklaat.* Het sturen op recyclingpercentages (aangeboden en gerealiseerd) alleen is niet voldoende om te kunnen bepalen of recycling de optimale bijdrage levert aan het vraagstuk van de grondstoffen schaarste. Het gaat ook om de kwaliteit van het recycklaat en de daaruit voortvloeiende toepassingsmogelijkheden. Hoe hoger de kwaliteit van het recycklaat, hoe gelijkwaardiger de toepassingsmogelijkheden met het oorspronkelijke product, hoe hoogwaardiger de recycling. De aandacht voor kwaliteit in het beleid kan worden versterkt.

- c *Mono-stromen vergroten kwaliteit recycalaat en toepassingsmogelijkheden.* Hoogwaardige recycling is bij kunststofverpakkingsafval gekoppeld aan de hoeveelheid uit gesorteerde kunststofstromen. Recycling is volgens de afspraken in de Raamovereenkomst Verpakkingen 2012-2022 hoogwaardig als 45% van de hoeveelheid bestaat uit deze zogenaamde mono-stromen (Tweede Kamer, 2014c).
- d *Een hoger % recycalaat in de mengverhouding recycalaat-virgin in nieuwe producten.* PET komt als voorbeeld meerdere keren naar voren. De huidige afspraak/norm is 25% recycalaat uit flessen weer in flessen. Er wordt gestreefd naar een hoger percentage via de Brancheverduurzamingsplannen<sup>1</sup>. Technisch is bijvoorbeeld in Canada 100% gerecycled PET in een nieuw product mogelijk. Dan moet in Nederland 50-60% toch ook wel haalbaar zijn, zo geeft de Kamer aan (Tweede Kamer, 2014a). Nederlandse verwerkers geven aan dit ook te kunnen met wel de vraag of het product gelijkwaardig is.

### **Hoogwaardige recycling en hoogwaardig hergebruik**

Uit analyse van verschillende stukken kunnen we daarnaast opmaken dat hoogwaardigheid niet alleen wordt gebruikt in verband met recycling, maar ook breder in de relatie met hergebruik. Ook lijkt hoogwaardige recycling soms te worden verward met hoogwaardig hergebruik. Zie bijvoorbeeld het volgende citaat: *‘GroenLinks is er enorm voor dat grondstoffen zo hoogwaardig mogelijk worden hergebruikt. Door de inzet van Plastic Heroes gebeurt dat niet. Als het dan per se in deze vorm moet dan pleiten wij ervoor om er in elk geval voor te zorgen dat hoogwaardig gebruik verplicht is, dus dat in nieuw gemaakte flessen hergebruikte grondstoffen moeten zitten’* (Tweede Kamer, 2014c).

Hoogwaardige recycling en hoogwaardig hergebruik zijn twee verschillende zaken. Een van de stappen in het zorgvuldig omgaan met grondstoffen is zoveel mogelijk hergebruik van producten (zie Figuur 3 van de Ellen MacArthur Foundation). Hergebruik van het product (bijvoorbeeld statiegeld bierflesjes of tweedehands auto’s) gaat dus voor recycling van het materiaal uit producten. Recycling gaat over de toepassing van materialen nadat een product definitief is afgedankt (en niet meer bruikbaar voor de oorspronkelijke functie) en vormt de buitenste cirkel in Figuur 3. Er is derhalve een ‘productiehandeling’ nodig om het materiaal opnieuw als secundaire grondstof te kunnen inzetten in een productieproces en niet alleen een ‘inzamelingshandeling’.

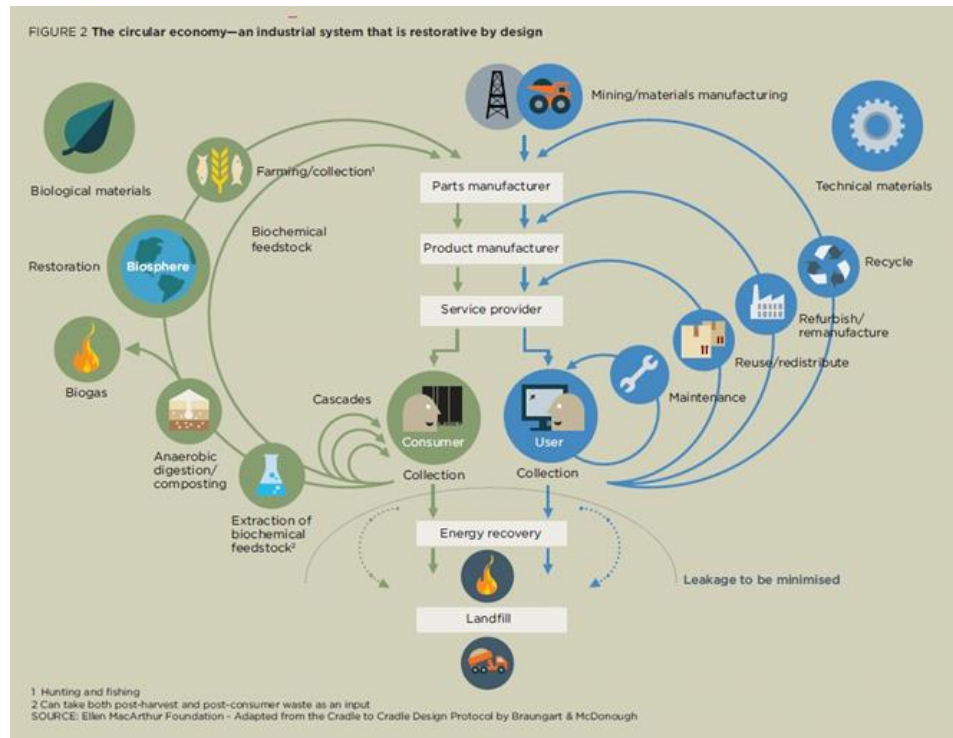
### **Intermezzo: Producthergebruik en materiaalrecycling**

De EMAF foundation legt sterk de nadruk op het als product of module hergebruiken. Beleidsmatig is er echter vaak vooral aandacht voor het als materiaal hergebruiken van gesloopte producten. Voorbeeld daarvan zijn houten pallets (logistieke hulpmiddelen) die tientallen malen hergebruikt worden als pallets en gedurende hun levensduur ook worden gerepareerd. Ook auto’s, huizen en bierflesjes zijn voorbeelden die meermalig hergebruikt worden in Nederland. Dit is hoogwaardiger dan deze producten vernietigen en alleen de materialen recycelen.

<sup>1</sup> Het minimumpercentage voor 2018 is: gemiddeld 23% hergebruik in de kleine PET-flessen en gemiddeld 28% hergebruik in de grote PET-flessen. Zie ook: (FWS, 2014); (Wetenschappelijke toetsingscommissie KIDV, 2015).

Het verpakkingenbeleid kijkt voor deze stroom echter alleen naar wat er met de echt kapotte pallets gebeurt aan het einde van hun levensduur.

Figuur 3 De circulaire economie en zorgvuldig omgaan met grondstoffen



Bron: EMAF.

### Naar een nadere duiding van hoogwaardige recycling

Zoals hiervoor al blijkt, is hoogwaardigheid een lastig te kraken begrip. In de Kamer is er meerdere keren over gesproken waarbij de bewindspersoon heeft aangegeven dat het ingewikkeld is (Tweede Kamer, 2014b). Waarna de Kamer aangeeft dat het begrip nog niet eenduidig is gedefinieerd (Tweede Kamer, 2014d). Verschillende Kamerleden hebben ook aangekondigd in de nabije toekomst een ronde tafel te willen houden over hoogwaardige recycling.

Op basis van het voorgaande kunnen we een aantal aandachtspunten formuleren voor de duiding van en de discussie over hoogwaardige recycling. Ten eerste bestaat binnen het afval- en recyclingbeleid voornamelijk de neiging te focussen op volume aan de afvalkant: recycling doelstellingen gaan omhoog en er moeten grote stappen worden gezet in de inzameling en recycling. Natuurlijk zijn hier stappen te maken<sup>2</sup> en is meer recycling van belang voor het bereiken van hoogwaardigheid, maar dat is één kant van het verhaal.

Ten tweede gaat hoogwaardigheid ook over het zo goed en zo veel mogelijk opnieuw in (kunnen) zetten van het recyclaat. Dit sluit aan op het gedachtengoed van de circulaire economie waarin het langer en hoogwaardiger in de economie houden van materialen en grondstoffen en het sluiten van ketens en kringlopen centraal staat.

<sup>2</sup> Zie bijvoorbeeld: het programma van afval naar grondstof en het publiek kader huishoudelijk afval (als onderdeel daarvan).

In het streven naar een circulaire economie lopen overheid en bedrijfsleven tegen verschillende problemen en uitdagingen aan<sup>3</sup>:

- Sluit de vraag naar recycelaat voldoende aan op het aanbod?
- Hoe om te gaan met verschillende schaalniveaus: lokaal, regionaal, nationaal en internationaal?
- Formulering van doelen vanuit het perspectief van circulaire economie en koppeling van doelen hieraan. Een hoog percentage afvalrecycling bereiken wil niet zeggen dat materialen ook weer hoogwaardig worden ingezet. En waar er wel concrete doelen zijn voor afval en recycling aan de voorkant (die voortborduren op het bestaande afvalbeleid), ontbreken deze nog aan de achterkant voor bijvoorbeeld duurzame consumptie of voor economische kansen van hergebruik van materialen.
- Zijn de hoogwaardige oplossingen van nu ook de belangrijkste opties voor de toekomst?

Ten derde is het perspectief van de circulaire economie veel breder dan hoogwaardige recycling (zie ook volgende paragraaf). Circulair gaat over het sluiten van kringlopen en het behoud van grondstoffen (in de loop) en gaat ook over preventie, minder produceren (door bijvoorbeeld anders te ontwerpen) en hergebruik; grondstoffen zijn immers strategisch.

In de transitie naar een circulaire economie stelt Nederland onder meer maatregelen voor als het internaliseren van externe kosten, het duurzaam winnen primaire grondstoffen, het herdefiniëren van het afvalconcept (end-of-waste-criteria/bron voor nieuwe producten) en nieuw Europees productbeleid (eco-design) (The Netherlands, 2015).

## 2.5 Hoogwaardige recycling in bredere context van afvalverwerking

Om hoogwaardige recycling goed te definiëren is het zaak ook te kijken naar de complete set van manieren van omgaan met afval. Traditioneel wordt hierbij gebruik gemaakt van de Waste Hierarchy. In Nederland gebruiken we deze al lang en noemen we hem nog de ladder van Lansink, die bestaat uit een aantal treden (preventie, product hergebruik, materiaalrecycling, verbranding met energierugwinning, stort). Zie Figuur 4.

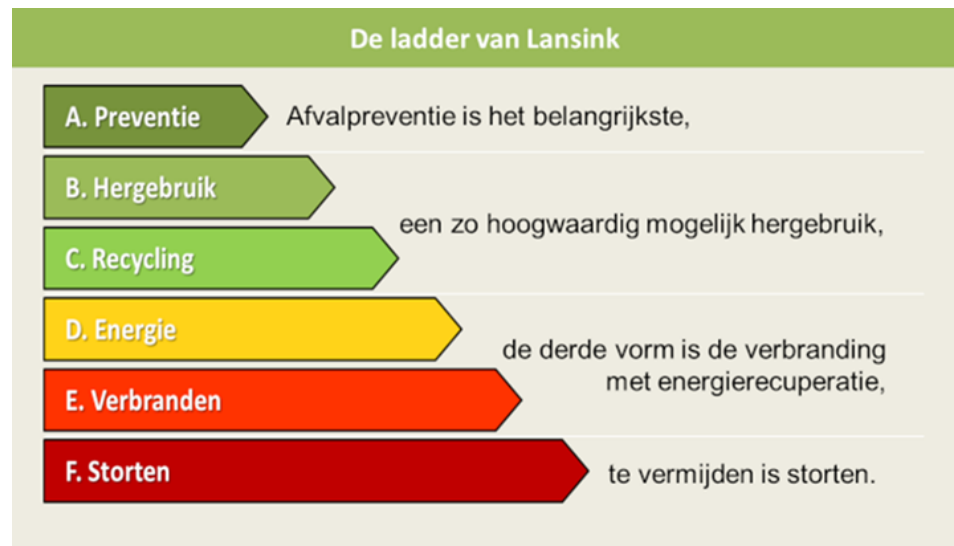
Het nieuwe concept van de circulaire economie legt sterk de nadruk op vormen van preventie door middel van levensduurverlenging, tweedehands gebruik en op vormen van product hergebruik. Ook hergebruik van onderdelen en modules van producten hoort daarbij. In het circulaire economieconcept is recycling van materialen uit afvalstromen interessant maar zeker niet de voorkeursoptie. Met andere woorden, de voorkeursoptie ligt 'boven de recyclingtrede'!

---

<sup>3</sup> Zie bijvoorbeeld: (RLI, 2015) en de Nederlandse input voor het nieuwe EU-voorstel over circulaire economie (The Netherlands, 2015).



Figuur 4 De Ladder van Lansink, ook vaak afvalhiërarchie genoemd



Bron: [www.ecopedia.be](http://www.ecopedia.be)

Ook in de Ladder van Lansink waren de huidige voorkeuren van de Circulaire economie (hergebruik van producten/modules en levensduur verlenging) al geagendeerd. Ook zijn deze begrippen opgenomen in LAP1 en LAP2 en het afvalpreventieplan. Zij zijn echter veel minder voorzien van doelstellingen en beleidsinstrumenten dan het begrip materiaalrecycling. Recycling als materiaal krijgt daardoor in de praktijk meer beleidsmatige aandacht.

De trede onder materiaalrecycling is verbranden met energierecuperatie. In een land als Nederland met een relatief groot aandeel kolenstook in de energievoorziening is het milieuvoordeel van deze optie ook behoorlijk. De grondstof 'fossiele energiebronnen' kan hiermee worden uitgespaard. Daaronder valt ook het gebruik in de cementproductie waarbij kool één-op-één vervangen wordt door energierijke (content) afvalstromen.

Als we dus het complete speelveld van afvalopties bekijken, dan is het goed om ons te realiseren dat:

- Hergebruik als product of module vaak ook een optie is en dan waarschijnlijk hoogwaardiger dan de beste vorm van recycling van een afvalstroom.
- Verbranding met energierecuperatie in sommige gevallen in landen met veel fossiele energie in de energiemix (bijvoorbeeld Nederland) een aanmerkelijk milieuvoordeel kan opleveren. Het verdient de overweging deze optie niet geheel terzijde te schuiven, hoewel deze zich niet goed verhoudt met circulariteit<sup>4</sup>. Energiewinning kan na meerdere keren recycling echter meestal ook nog worden toegepast dus combinatie is vaak mogelijk. Recycling kan dus de voorkeur hebben tenzij kosten en moeite te groot zijn en dan energietoepassing ook vaak een interessante optie.

<sup>4</sup> In het publiek kader huishoudelijk afval 2025 wordt in dit verband gesteld dat ook het produceren van duurzame energie uit het buitenlands afval dat elders laagwaardiger wordt verwerkt op internationale schaal bij kan dragen aan het hoogwaardiger gebruik. Dit zou ingezet kunnen worden totdat er in andere landen zicht is op goede recyclingmogelijkheden. Hoogwaardiger bestaat hier uit energieproductie in plaats van stort.

## 2.6 Begripsvorming hoogwaardigheid vanuit verschillende perspectieven

In deze laatste paragraaf geven we een overzicht van gangbare opvattingen over hoogwaardige recycling. We ordenen de opvattingen en koppelen deze aan de duurzaamheidsaspecten én evaluatiecriteria Planet (onderscheid naar behoud van grondstoffen en milieudruk) en Profit (en People).

### Planet vanuit behoud van grondstoffen

Recycling is hoogwaardig wanneer:

- primaire (of zeldzame) grondstoffen worden vervangen;
- er zoveel mogelijk materiaal gerecycled wordt (minimaliseren van uitval);
- het materiaal wordt gerecycled in een vorm die meerdere cycli herhaald kan worden;
- het materiaal wordt ingezet in dezelfde (of een vergelijkbare) toepassing als die voor het in het afvalstadium raakte;
- materiaal qua kwaliteit geschikt is om te worden ingezet in dezelfde toepassing als die voor het in het afvalstadium raakte (let op het nuanceverschil met de voorgaande insteek - als de markt uiteindelijk voor een andere toepassing kiest is het toch ‘hoogwaardig’);
- er een hoge zuiverheid van het recyclaat wordt gerealiseerd.

### Planet vanuit verminderen van de Milieudruk

Recycling is hoogwaardig wanneer:

- de overall milieudrukreductie het grootst is;
- toepassen in hoogwaardige toepassing (liever up- dan down-cycling);
- recycling lokaal is (lokale kringlopen);
- het zo min mogelijk energie vraagt;
- de overall CO<sub>2</sub>-footprint het laagst is;
- er geen toxische stoffen in het recyclaat overblijven.

### Profit vanuit bedrijfseconomische perspectief (financieel - economisch)

Recycling is hoogwaardig wanneer:

- een constante kwaliteit en leveringszekerheid gegarandeerd is;
- er een volwassen markt is voor de inzet van gerecycled materiaal, waarbij ook gradaties in kwaliteit worden onderscheiden (zoals de papiermarkt);
- het recyclaat economisch een zo hoog mogelijke waarde heeft;
- bedrijven geld kunnen verdienen aan de productie en inzet van recyclaat;
- de kosten-batenanalyse van het recycleproces positief is (en er verdienpotentieel bestaat);
- er geen subsidie of heffing nodig is om de recycling te bekostigen.

### Profit vanuit maatschappelijk-economisch perspectief (inclusief strategisch)

Recycling is hoogwaardig wanneer:

- het de onafhankelijkheid vergroot van anderen voor primaire grondstoffen/een land hierdoor meer zelfvoorzienend wordt.

### Tot slot

In de circulaire economie staan optimaal gebruik en hergebruik van grondstoffen centraal: verantwoord verwerven, goed onderhoud, hergebruik, re-furbishing én tot slot door (hoogwaardige) recycling. Bij biobased producten spelen vergelijkbare principes met toepassing van het cascaderingprincipe en het zo hoogwaardig mogelijk inzetten van de beschikbare biomassa. Maar wanneer is recycling nu hoogwaardig? In Hoofdstuk 3 gaan we hier verder op in.

# 3 Beleidsformule hoogwaardig in een basisregel

In dit hoofdstuk bouwen we een redeneerlijn op voor het bepalen van hoogwaardigheid(s-score) via basisregels, waarvan de belangrijkste ingrediënten zijn:

- de *totale hoeveelheid* gerecycleerd materiaal (recycklaat) als deel van de totale hoeveelheid (afval) materiaal;
- de hoeveelheid recycklaat, *verdeeld over graden recycklaat*, waarbij alle graden meetellen in het bepalen van een hoogwaardigheidsscore:
  - 1ste graad recycling = hoogwaardig;
  - 2de graad recycling = middelwaardig; en
  - 3de graad = laagwaardig.
- en een set van **wegingsfactoren**; daarbij onderscheiden wij er drie:
  - Een *wegingsfactor q*, waarbij een correctie plaatsvindt per graad vanuit het perspectief van Planet-resources. Bij recycling naar een lagere graad vindt een zekere afwaardering plaats.
  - Een *wegingsfactor e*, waarbij een correctie plaatsvindt per graad vanuit het perspectief van Planet-milieudruk, en dan met name energieverbruik. Bij een relatief groot verbruik (t.o.v. virgin) vindt afwaardering plaats.
  - Een *wegingsfactor s*, waarbij een correctie plaatsvindt vanuit het perspectief van Profit-schaarste of waarde. Deze wegingsfactor wordt hier genoemd maar nog niet verder uitgewerkt; uitwerking vindt plaats in een apart traject in opdracht van het ministerie van I en M.

Voordat we de hier genoemde componenten verwerken in een basisregel, staan we stil bij de beleidsmatige én de bedrijfsmatige benadering van hoogwaardige recycling, en daarmee de scope voor het definiëren van hoogwaardige recylen.

## 3.1 Maatschappelijke benadering van hoogwaardige recycling

Vanuit de optiek van de Circulaire Economie treedt echt hoogwaardige recycling op wanneer de teruggewonnen (secundaire) grondstoffen de oorspronkelijke kwaliteit benaderen of mogelijk zelfs overtreffen (up-cycling). Beleidsmatig ligt bij een ‘strengere’ interpretatie de focus van hoogwaardige recycling dan ook primair op het terugwinnen van de (functionele) grondstof, zoals deze is aangewend in de productie van halffabricaten of eindproducten via recycling en soms up-cycling. De secundaire grondstof moet kunnen worden toegepast in hetzelfde productieproces als vervangende grondstof (voor virgin), dan wel toegepast in een gelijkwaardig productieproces<sup>5</sup>. Centraal staat dat toepassing van secundair materiaal, het verbruik van primair materiaal zoveel mogelijk reduceert of uitsluit.

---

<sup>5</sup> Dat is op voorhand lastig te definiëren. Via casuïstiek wordt duidelijk hoe je gelijkwaardig moet interpreteren.

Wanneer recycling op dit niveau niet mogelijk is, resulteert down-cycling. Ook dan vervangt de secundaire grondstof een primaire grondstof, maar op een 'lager' niveau. Doel is immers om grondstof haar waarde te laten behouden. Bij down-cycling vervangt het recycleat een grondstof waarvan de productie meestal minder milieu-impact heeft. Omdat die down-cycling plaatsvindt, kwalificeren we die vorm van recycling als minder hoogwaardig. Reden waarom we die vorm van recyclen afwaarderen. Met de wegingsfactor  $q$  willen we dat duiden.

De tweede wegingsfactor betreft een ander Planet-aspect<sup>6</sup>, de milieueffecten of -druk. De milieu-impact van het terugwinnen kan zo groot zijn dat deze hoger uitvalt dan de milieu-impact van het gebruik van virgin-materiaal. Hoge milieu-impact kan het gevolg zijn van het gebruik van veel energie, maar ook bijvoorbeeld de noodzakelijke toepassing van additieven<sup>7</sup>, etc. Mochten deze milieueffecten onevenredig hoog zijn ten opzichte van virgin-productie dan zou afwaardering moeten plaatsvinden.

We beperken ons hier voorsnog tot één milieueffect en wel energie. Voor de additieven bestaat er reeds andere regelgeving. Wanneer recycling een onevenredige hoeveelheid energie vergt, dan staat dat per saldo op gespannen voet met zorgvuldig omgaan met grondstoffen. Immers ook fossiele energie is een grondstof die we ook voor de komende generaties beschikbaar willen behouden. Dus als recycling gepaard gaat met een onevenredig hoog energie-verbruik, dan is het logisch dit te vertalen in een zekere afwaardering van de hoogwaardigheid van recycling. Met de wegingsfactor  $e$  willen we dat duiden. Ook de bedrijven die meedachten met deze methodiek adviseerden energie-gebruik van recycling en virgin mee te nemen in een beleidsregel.

Stel dat op termijn duurzame energie dominant wordt bij recycling, dan zullen we opnieuw moeten kijken naar het belang van de wegingsfactor  $e$  voor dit milieueffect. Deelnemers aan het bedrijvenpanel gaven hierover al aan te adviseren dat ook bij een hoger aandeel duurzame energie het essentieel blijft om zo weinig mogelijk energie in kringlopen te gebruiken omdat energie schaars zal blijven. Duurzame energie kan echter eventueel ook meegenomen worden in factor  $e$ .

### 3.2 Bedrijfsmatige benadering van hoogwaardige recycling

Het maximale gebruik van de secundaire grondstoffen zal in de circulaire economie de inzet zijn, maar 'niet tegen elke prijs'. Bedrijven zullen bij (hoogwaardige) recycling tegen grenzen aanlopen. De financiële kosten kunnen onevenredig oplopen waardoor de Profit-kant van duurzaam opereren in gevaar komt. Ook kan de toepasbaarheid van teruggewonnen materiaal beperkt zijn, bijvoorbeeld vanwege regelgeving op andere fronten, de

---

<sup>6</sup> Een vergelijkbare redenering kan worden gehouden voor de beoordeling vanuit het aspect 'People'. Het is denkbaar dat teruggewonnen grondstoffen minder goed scoren op bijvoorbeeld het aspect voedselveiligheid, of dat het terugwinnen gepaard gaat met een onevenredig grote aanslag op arbeidsomstandigheden. Hoogwaardige recycling zou dan vanuit dit perspectief moeten worden afgewaardeerd. People houden we echter in dit onderzoek (en dus ook de Basisregel) buiten de beschouwing.

<sup>7</sup> Additieven zijn stoffen die worden toegevoegd in het recycleproces met als doel het recyclingproces daadwerkelijk mogelijk te maken, de kwaliteit van het recycleat te verhogen en/of het rendement te verbeteren.

gepercipieerde kwaliteit en/of de lage waarde van de secundaire grondstof in het economisch verkeer.

Hoogwaardige recycling zal derhalve gepaard moeten gaan met aanvaardbare marktprijzen van het recycklaat, en aanvaardbare kosten om tot dat recycklaat te komen. Middels regelgeving of heffingen is recycling in dit geval natuurlijk af te dwingen (bijvoorbeeld voor kunststof verpakkingsafval van huishoudens) maar ook dan blijft de vraag of de heffing voor deze activiteit maatschappelijk te verantwoorden is.

Een onevenredige verhouding in de marktwaarde van een recycklaat versus die van virgin moet dus impact hebben op hoogwaardigheid. Maar ook onevenredig hoge kosten (in relatie tot marktwaarde) om tot een recycklaat te komen, moet linksom of rechtsom doorklinken (zie ook de eerder genoemde financiële sluiting van materiaalstromen). Deze aspecten over waarde en schaarste komen, zoals hiervoor aangegeven, in een ander onderzoekstraject aan de orde.

### 3.3 Kader en scope voor hoogwaardig recyclen in dit onderzoek

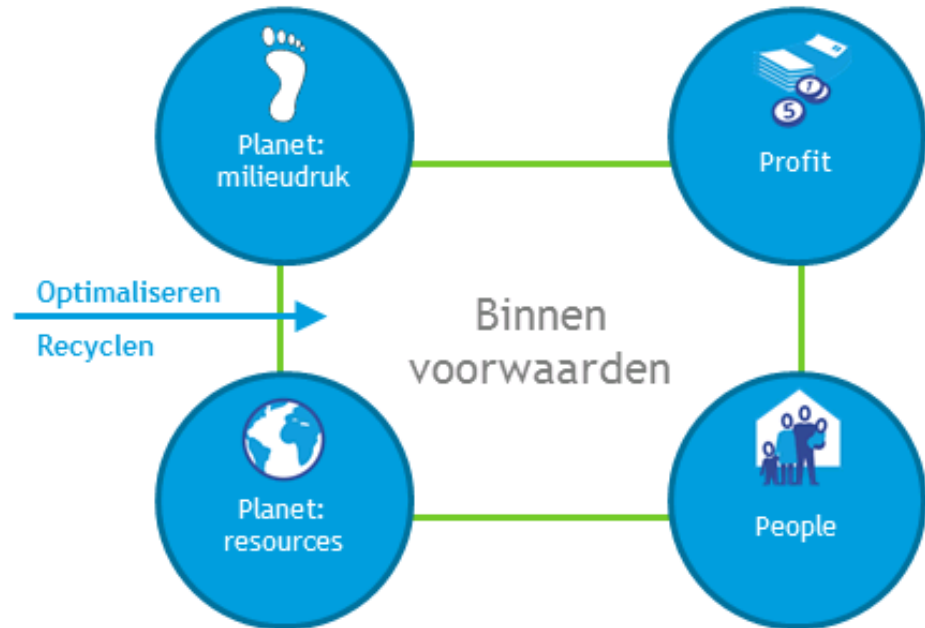
De combinatie van de beleidsmatige en bedrijfsmatige benadering leidt tot het volgende redeneerlijn voor hoogwaardig recyclen:

- Er is sprake van hoogwaardige recycling als het recycklaat later ook nog zo veel mogelijk hoogwaardig gerecycled kan worden en zo veel mogelijk kan worden benut als substituuat van het betreffende primaire materiaal. Vanuit Planet geredeneerd gaat het *minimaliseren* van het gebruik van primaire grondstoffen.
- Hoogwaardig recyclen vindt plaats binnen de Planet-voorwaarde: het *minimaliseren* van de milieudruk.
- Daarnaast: hoogwaardig recyclen vindt plaats binnen de randvoorwaarden vanuit *Profit* en ook *People*.

Deze redeneerlijn staat weergegeven in Figuur 5. We optimaliseren het proces van recycling door onderscheid te maken naar hoogwaardig en laagwaardig met inachtneming van randvoorwaarden vanuit duurzaam opereren vanuit de drie P's:

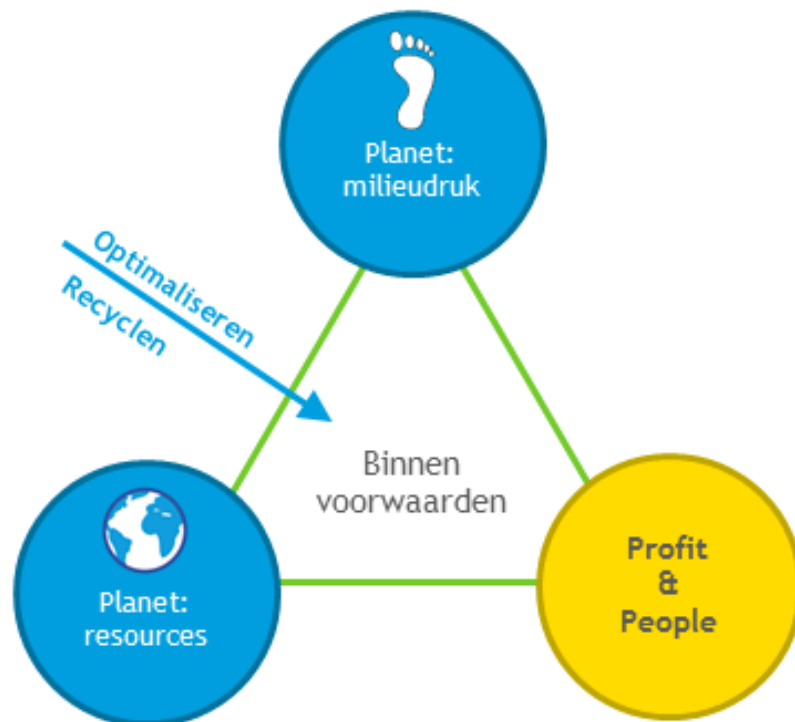
- planet: minimaliseren gebruik primaire grondstoffen (resources) Planet: minimaliseren milieudruk (impact);
- profit: binnen randvoorwaarden van een haalbare businesscase;
- people: binnen aanvaardbare condities, veiligheid en arbeidssituaties.

Figuur 5 Totaal concept hoogwaardige recycling



In dit onderzoek stellen we de twee Planet-aspecten centraal te weten milieudruk en grondstoffen (resources). De Profit-aspecten nemen we mee, maar op een beschouwende manier. Profit zal, zoals gezegd, in een vervolgonderzoek worden uitgewerkt. De People-aspecten worden voorsnog niet meegenomen (Figuur 6). We proberen dus recycling te optimaliseren binnen deze vier aandachtspunten. Hoe beter een techniek scoort op deze 4 punten hoe meer hoogwaardig.

Figuur 6 Hoogwaardigheid in dit onderzoek





### 3.4 De basisregel om de hoogwaardigheidsscore van recycleren te bepalen

De inzet was een basisregel te ontwikkelen die zowel overheden als bedrijven kan helpen uitspraken te doen over hoogwaardigheid van recycling en recyclingprocessen aan de hand van een *hoogwaardigheidsscore*. De basisregel én de score kunnen dan vervolgens behulpzaam zijn bij bedrijfsbeslissingen én bij beleidssturing.

De voornaamste ontwerpcriteria voor de basisregels zijn:

- *eenvoud*: dat wil zeggen gemakkelijk te begrijpen en gemakkelijk uit te leggen;
- *volledigheid*: de belangrijkste aspecten moeten een plek krijgen in de basisregel.

Hierna presenteren we eerst de basisregel; daarna lichten we de onderdelen toe. We besluiten met een voorbeeld berekening. In de paragraaf hierna gaan we in op additionele invalshoeken als meervoudige recycling via cycli en de tijdslijn.

Stapsgewijs is de basisregel in drie onderdelen opgebouwd:

1. Bepaal de totale hoeveelheid afvalstroom die gerecycled wordt tot een bruikbaar recycalaat; dat wil zeggen een recycalaat die de toepassing van primair materiaal vervangt.
2. Stel vast hoe deze totale hoeveelheid recycalaat verdeeld wordt over de drie graden van toepassing (van hoogwaardig naar minder hoogwaardig).
3. Breng via weging met standaard factoren correcties aan voor het gebruik van grondstoffen, energie en waarde.

#### *Hoogwaardigheidsformule homogene afvalstromen naar 1 route*

Voor afvalstromen die bestaan uit 1 materiaal die vervolgens op 1 manier worden gerecycled wordt de formule dan als volgt:

$$\text{Hoogwaardigheidsscore (mono afvalstroom)} = H * q * e$$

Het aandeel van het afval van gerecycled wordt H (vaak recyclingpercentage genoemd wordt gecorrigeerd met een kwaliteitsfactor q die werkt met drie graden (1, 0,5 of 0,25) en een energiefactor die lager is als het recycleproces relatief veel energie vergt.

Een proces is daarmee hoogwaardig als het recycle-percentage hoog is, als het materiaal ingezet wordt in zijn oorspronkelijke of vergelijkbare toepassing en als het energiegebruik nodig voor recycling beperkt is in vergelijking met het nieuw maken van het materiaal. Hieronder worden deze factoren verder uitgewerkt.

#### *Hoogwaardigheidsformule afvalverwerking naar meerdere routes*

In de praktijk gaat de verwerking van afval vaak naar verschillende routes die samen het afval verwerken. Voor deze praktijkcases werken we met de zelfde formule als hierboven maar sommeren we over de verschillende deelroutes.

Bereken nu de hoogwaardigheidsscore op basis van deze drie onderdelen.

$$\begin{aligned} \text{Hoogwaardigheidsscore} &= \sum_i (H * G_i * q_i * e_i * s_i) \\ &= \sum_i \left(\frac{r_h}{h}\right) * \left(\frac{g_i}{r_h}\right) * q_i * e_i * s_i \end{aligned}$$

Met:

- $\Sigma i$  = Somteken, waarbij i duidt op de graden (zie hierna). We maken dat verderop duidelijk aan de hand van een voorbeeld.
- H = Hoeveelheidsratio: de ratio  $r_h/h$  = het aandeel van de totale hoeveelheid afvalstroom dat gerecycled wordt tot een bruikbaar recyclaat.
- $G_i$  = Toepassingsgraad: de ratio  $g_i/r_h$  = het aandeel materiaal van de totale hoeveelheid recyclaat dat in een bepaalde graad (i) is gerecycled.
- $r_h$  = De omvang van de afvalstroom die gerecycled is, en dus recyclaat.
- h = De oorspronkelijk omvang van de afvalstroom.
- $g_i$  = De hoeveelheid recyclaat in een bepaalde graad (i).
- $q_i$  = Wegingsfactor gekoppeld aan resources of grondstoffen.
- $e_i$  = Wegingsfactor gekoppeld aan energie.
- $s_i$  = Wegingsfactor gekoppeld aan waarde/schaarste (wordt uitgewerkt in specifiek onderzoekstraject).

Het somteken  $\Sigma i$  geeft aan dat de hoogwaardigheidsscore wordt bepaald aan de hand van de prestaties en de waarderingen van meerdere deelstromen (i); hier gaat het om drie deelstromen, getypeerd door de drie graden.

De parameter H staat voor *de hoeveelheidsratio*. H is het deel/gedeelte van de afvalstroom (h)<sup>8</sup> dat aan het einde van de levensduur gerecycled is ( $r_h$ ) en dus in een recyclaat uitmondt. Stel er is 100 kg kunststof afvalmateriaal ( $h=100$ ). Indien er 90 kg gerecycled kan worden, in de 'loop' blijft én nuttig toegepast kan worden als vervanger van primaire grondstoffen, dan is  $r_h$  90. H wordt dan ( $r_h/h$ ) 0,9 of 90%. De  $r_h$  kan derhalve worden gezien als het *saldo* van de oorspronkelijke afvalstroom minus uitval. Uitval staat voor 'alles wat je onderweg tot gerecyclede grondstof verliest' en is daarmee de som van verlies tijdens inzamelen, sorteren en een recycleproces zelf.

De tweede parameter G staat voor *de toepassingsgraad*.  $G_1$  bijvoorbeeld is het deel/gedeelte van het gerecycled materiaal  $r_h$  dat op de 1ste graad (zie box hierna voor uitleg) kan worden ingezet. Stel dat er 45 kg gerecycled plastic materiaal opnieuw kan worden ingezet op hetzelfde niveau als oorspronkelijk is ingezet, (dus op de 1ste graad) dan is  $G_1$  ( $g_1/r_h$ ) =  $45/90 = 0,5$  of 50%.

### Graad nader verklaard

Gerecycled materiaal kan doorgaans voor meerdere toepassingen worden ingezet. Zo kan gerecycled PET weer opnieuw worden verwerkt tot PET-flessen, worden ingezet als strappingmateriaal of worden ingezet voor de productie van banken of bermpaaltjes ter vervanging van bijvoorbeeld hardhout of beton. Vanwege deze verscheidenheid maken we een onderscheid naar een aantal graden in het recyclen.

<sup>8</sup> We spreken hier van afvalmateriaal. Bij verpakkingen kan dat ongeveer gelijk zijn aan op de markt gebracht, bij andere materiaalstromen zoals auto's ligt dat genuanceerder door bijvoorbeeld import, export tweedehands auto's, etc.

**1ste graad:**

Het terugwinnen van het oorspronkelijke functionele materiaal. Het recycleaat is bruikbaar als grondstof op hetzelfde of een vergelijkbaar niveau als de oorspronkelijke grondstof (recycle of up-cycle); ook in meerdere cycli.

**2de graad:**

Oorspronkelijke grondstof (target) wordt teruggewonnen maar bijvoorbeeld met verontreiniging (non-target) waardoor de kwaliteit niet meer op zelfde niveau ligt. De zo verkregen grondstof is toepasbaar in 'lagere waarde' categorie en daarna weer recyclebaar op dat niveau (down-cycle; B-kwaliteit). Zo'n stroom kan ook als nevenstroom ontstaan, zoals bijvoorbeeld bij de recycling van kunststofstromen.

**3de graad:**

De oorspronkelijke grondstof (target) maar zodanig vermengd met non-targetstoffen en mogelijk met zelfs niet-recyclebare stoffen zodat alleen langdurige toepassing resteert in een ander domein/ander niveau (down-cycle; C-kwaliteit). Bijvoorbeeld als substituuat voor bouwstoffen of vulmateriaal.

NB: Voor het bepalen van hoogwaardigheid (en score) beperken we ons tot de hier genoemde 1ste, 2de en 3de graad. Verbranden en storten worden niet gerekend tot recycling.

**De wegingsfactoren q, e en s**

Het zonder meer bij elkaar optellen van de  $H * G_i$  voor de drie graden heeft geen zin omdat we dan weer terug zijn bij recyclen zonder nadere duiding van hoogwaardigheid. Om deze duiding wel te bereiken, zien wij twee opties:

1. Of we beperken ons voor het bepalen van de hoogwaardigheid(score) tot alleen het recyclen naar de 1ste graad.
2. Of we nemen ook de andere lagere graden in beschouwing maar passen een zekere afwaardering toe; de genoemde drie graden doen allemaal mee, maar niet in dezelfde mate.

We kiezen hier voor de laatste optie omdat recyclen naar de 2de of 3de graad ook nog waarde heeft, alleen minder dan inzet van gerecycled materiaal op hetzelfde niveau.

**De wegingsfactor q, gekoppeld aan resources**

De eerste factor die we opnemen in de basisregel betreft de wegingsfactor q, gerelateerd aan de resources of grondstoffen. Deze weging doet qua principe recht aan de wenselijkheid om zoveel mogelijk te recyclen in de 1ste graad (leidend tot de oorspronkelijke of vergelijkbare toepassing van het verkregen recycleaat), maar maakt tegelijkertijd duidelijk dat recycling naar de 2de graad of de 3de graad ook nog waarde heeft; dit vanuit het perspectief van het in 'zoveel mogelijk in bedrijf' houden van grondstoffen.

Om verwerkingsopties binnen een afvalstroom met elkaar te kunnen vergelijken - en op een later moment eventueel afvalstromen onderling te kunnen vergelijken - stellen we voor om met betrekking tot de factor q drie standaardgewichten te hanteren:

- q = 1 voor de eerste graad;
- q = 0.5 voor de tweede graad; en
- q = 0.25 voor de derde graad.

<sup>9</sup> Op het aspect van meerdere cycli gaan we later in.

De keuze voor 1, 0.5 en 0.25 is ingegeven **vanuit de optiek van resources**. Recycling naar de 1<sup>e</sup> graad (recycleert vergelijkbaar met virgin, of vergelijkbare kwaliteit) waarden we voor de volle honderd procent. Ook eventuele up-cycling waarden we op 100%. Down-cycling naar 2de graad en dus toepassing op minder hoogwaardig niveau waarden we op 50%. Toepassing op dat lagere niveau leidt immers (in ieder geval theoretisch gezien) tot verdringing van het materiaal dat juist op dat niveau wordt gerecycled. Dat we nu 50% hanteren, komt omdat de volledig circulaire wereld nog (lang) niet bestaat; mocht die wel bestaan dan ligt een weging met nihil voor de hand. Voor de 3de graad geldt een vergelijkbare redenering<sup>10</sup>.

Aanpassingen van de standaardwaarden van de *wegingsfactor q* zijn (onzes inziens) alleen mogelijk op grond van beleidsmatige overwegingen. Zo zou het zo kunnen zijn dat een 2de graadtoepassing/inzet aantrekkelijker is dan een 1ste graadtoepassing vanwege gemakkelijke afzetmogelijkheden. Als dat beleidsmatig als ongewenst wordt gezien, zou het gewicht van de 2de graad (en wellicht de 3de graad) verlaagd kunnen worden. Daarnaast zou het (in ieder geval theoretisch) zo kunnen zijn dat zoveel gerecycled, secundair materiaal op de markt komt, dat dit niet meer toegepast kan worden in de eerste graad. De tweede graad is dan het hoogst haalbare. Dat zou een reden kunnen zijn om het gewicht van de tweede graad te verhogen.

### **De wegingsfactor e, gekoppeld aan energieverbruik**

Naast de wegingsfactor voor resources, voegen we een tweede wegingsfactor toe, namelijk een wegingsfactor voor energieverbruik. Wanneer recylen naar een bepaalde graad gepaard gaat met een onevenredig groot energieverbruik ten opzichte van het energieverbruik bij de winning van primair materiaal, dan gooien we spreekwoordelijk het kind met het badwater weg. Immers, fossiele energiebronnen zijn grondstoffen, en ook die willen we juist evenmin onttrekken aan de aarde.

Vergelijkbaar met de wegingsfactor voor resources (*q*), hanteren wij in de basisregel voor relatief energieverbruik (*e*) ook standaardgewichten of standaard afslagfactoren:

- $e = 1$  als de benodigde hoeveelheid energie voor het verkrijgen van het recycleert kleiner is dan 35% van de hoeveelheid energie die de winning van primair materiaal vergt;
- $e = 0.5$  als het energieverbruik om secundair materiaal te verkrijgen ligt tussen de 35 en de 70% van het benodigde energieverbruik voor de winning van primair materiaal;
- $e = 0.25$  als het energieverbruik om secundair materiaal te verkrijgen substantieel meer is dan 70% van het benodigde energieverbruik voor de winning van primair materiaal;
- $e = 0$  als het energieverbruik om secundair materiaal te verkrijgen groter is dan het energieverbruik voor productie van primair materiaal.

De keuze voor de wegingsfactoren 1, 0.5, 0.25 of 0 is dus gebaseerd op schattingen voor het energieverbruik van zowel het verkrijgen van virgin- of primaire stoffen als van secundaire stoffen. De energieverbruiken voor recycleert en virgin-productie worden op dit moment voor veel materialen al bijgehouden in de GER-waarden lijst (GrossEnergyRequirement) in het kader

<sup>10</sup> De 1, 0.5 en 0.25 factoren komen ongeveer overeen met de planet-scores voor milieudruk die we halen uit de PET-multi-cyclus LCA-case. In die cases scoren de tweede graad opties ongeveer 50% van de eerste graad opties en de derde graad ongeveer 25%. Zie Deelrapport B: LCA-methode.

van het MJA-programma (MeerJarenAfspraak Energiebesparing) (RVO, lopend)<sup>11</sup>. Deze waarden zouden als basis kunnen gelden voor deze factor. Voor een aantal materialen zijn energiewaarden voor virgin en recycleat beschikbaar in deze lijst maar niet voor alle materialen. In een update zou dit wellicht meegenomen kunnen worden.

Nauwkeuriger factoren kunnen worden berekend aan de hand van de daadwerkelijk te meten verbruiken. Voor het bepalen van een hoogwaardigheidsscore aan de hand van een relatief eenvoudige basisregel, gaan dergelijke berekeningen in onze ogen echter al te ver.

Aanpassingen van de standaardwaarden van de *wegingsfactor e* zijn alleen aan de orde als voor de recycling niet langer gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen maar van duurzame en hernieuwbare energie; dan is 'een afslag voor het aspect energie' minder relevant.

### De wegingsfactor s, gekoppeld aan schaarste of waarde

Een derde relevante wegingsfactor in de basisregel betreft die van schaarste of waarde. Wanneer een 1ste graad recycleat duidelijk veel minder waard is dan een vergelijkbare hoeveelheid virgin-materiaal, dan is een afslag vanuit dit aspect opportuun. Het verwerken van het onderwerp schaarste of waarde (en ook kosten) is onderwerp van een parallel onderzoek.<sup>12</sup>

#### *Transparantie behouden: Bij publicatie subfactoren ook vermelden*

Als er een factor S (schaarste) wordt toegevoegd aan de beleidsformule over hoogwaardige recycling is nog belangrijker dat bij gebruik steeds de verschillende subfactoren worden gepubliceerd naast de uiteindelijke totaalscore van de formule. Dat maakt dat transparant is waarom de hoogwaardigheid hoger of lager is van een bepaalde recyclingroute.

## 3.5 Voorbeeld berekening toepassing Basisregel uit Box 1

In Tabel 1 staat een voorbeeld berekening voor een hoogwaardigheidsscore:

- voor een afvalstroom van 1.000 ton, waarvan we 700 ton recylen:
  - 400 ton in de 1ste graad;
  - 200 ton in de 2de graad; en
  - 100 ton in de 3de graad.
- met de wegingsfactoren voor resources van resp. 100, 50 en 25%;
- en voor energie van resp. 50, 100 en 100% is het beeld als volgt:

Tabel 1 Voorbeeld berekening beleidsformule

	1° graad	2° graad	3° graad
h			1.000
rh			700
$H = rh / h$	0.7	0.7	0.7
Gi	400	200	100
Rh			700
$Gi = gi / rh$	0.571	0.286	0.143
Qi	1.0	0.5	0.25

<sup>11</sup> Zie download spreadsheet onderaan pagina.

<sup>12</sup> Onderzoek is gestart in tweede helft van november 2015, in opdracht van IenM/RWS.

	1 <sup>e</sup> graad	2 <sup>e</sup> graad	3 <sup>e</sup> graad
ei	0.5	1.0	1.0
Hw per grad	0.200	0.100	0.025
Hw total	0.325		

Uit deze basisregel volgt een hoogwaardigheidsscore van 0,325. De absolute interpretatie is dat de distance-to-target (100% score) nog behoorlijk is.

Met andere woorden de score kan verder omhoog worden gebracht door:

- meer te recyclen dan de genoemde 70%;
- meer te recyclen naar de 1ste graad ten koste van de 2de en/of 3de graad;
- het energieverbruik van het recyclen naar de 1ste graad flink terug te brengen dan wel hernieuwbare energie in te zetten.

Wanneer de basisregel wordt toegepast voor meerdere recyclingprocessen, ontstaat een relatieve vergelijking en kan op basis van de score worden vastgesteld welk proces per saldo het beste scoort.

Wanneer we naast de wegingsfactoren  $q_i$  en  $e_i$ , ook de wegingsfactor  $s_i$  kunnen opnemen, dan is mogelijk ook een relatieve vergelijking over meerdere afvalstromen uit te voeren, en kunnen de uitdagingen binnen een afvalstroom nog scherper worden benoemd.

### 3.6 Interpretatie en mogelijke uitbreidingen van de basisregel: cycli

Het eenmalig recyclen en opnieuw toepassen van materiaalstromen is goed, maar leidt nog niet tot het bereiken van de circulaire economie. Daarvoor is het nodig dat het materiaal blijvend gerecycled kan worden, liefst met behoud van kwaliteit en functionaliteit. Het is derhalve relevant om in het beleid ten aanzien van hoogwaardigheid aandacht te hebben voor meerdere levenscycli.

Wij zien twee benaderingen om met meerdere cycli om te gaan:

- een rekenkundige manier;
- een beargumenteerde of beleidsmatige manier.

#### Rekenkundig manier verwerken van multi-cycli

De hoogwaardigheidsscore van meerdere cycli wordt berekend door de uitkomsten van elke afzonderlijke cyclus op te tellen en het gemiddelde te nemen.

- Stel dat je in staat bent uitsluitend te recyclen naar de 1ste graad en dat de uitval steeds 10% bedraagt. Met andere woorden:  $H = 90\%$  en verandert niet de over 3 cycli.
- Dan evalueert  $H$  zich als volgt (in de drie cycli): 0.9, 0.81 en 0.73.
- Je berekent de score voor nu, de situatie over 10 jaar en de situatie over 20 jaar bij een veronderstelde tienjarige productlevensduur.
- De  $H$  is dan het gemiddelde van deze drie cycli. Er resulteert een  $H$  van 0,81

Voor deze aanpak pleit dat je rekening houdt met meerdere cycli. Wanneer we dit toepassen voor uiteenlopende recyclingprocessen, vergroot je daarmee het onderscheidend vermogen van bijvoorbeeld recyclingprocessen. Het opnemen van meerdere cycli verandert echter niets aan de relatieve score, (mocht je meerdere processen onderling willen vergelijken) zolang er in de recycling-ronden geen fundamentele veranderingen ontstaan. Met andere woorden de volgorde van de recyclingprocessen naar hoogwaardigheid verandert niet.



Behalve dat de basisregel door het opnemen van meerdere cycli complexer wordt<sup>13</sup>, pleit tegen deze aanpak dat een aantal van drie cycli willekeurig is. In essentie is het de vraag of een afvalstroom slechts één keer gerecycleerd kan worden, dan wel meerdere keren. In het integratiestuk passen we deze complexere methodiek ook toe op de cases om vergelijk te maken.

#### *Een beargumenteerde of beleidsmatige manier*

Om rekening te houden met de mogelijkheid van oneindige recycling, dan wel een beperkt aantal keren recyclen, kunnen we ook de graden van recyclen (1ste, 2de en 3de) nauwkeuriger definiëren:

- Recycling in de 1de graad kan in principe oneindig plaatsvinden; er is sprake van uitval door welke oorzaak dan ook waardoor in iedere volgende cyclus ook primair materiaal wordt toegevoegd<sup>14</sup>, maar er vindt steeds recycling plaats.
- Recycling in de 2de graad kan meerdere keren plaatsvinden (meerdere cycli) maar het aantal is niet op voorhand bekend.
- Recycling in de 3de graad betreft een stroom die maar één of een enkele keer kan worden gerecycled. Een voorbeeld is de recycling van kunststof naar een vulstof in de bouw, of de recycling van drankenkartons naar hygiëne papier.

#### **Voorstel**

Om recht te doen aan het uitgangspunt de basisregel zo simpel mogelijk te houden, stellen wij voor het aantal mogelijke cycli te linken aan de definitie van de drie graden van hoogwaardigheid.

Overigens, in de basisregel houden we sowieso al rekening met uitval in de recycling, door welke oorzaak en bij welk stapje (van inzamelen tot recyclen zelf) dan ook. Uitval kan mede ontstaan vanwege natuurlijke eigenschappen: bijvoorbeeld het recycelaat kan maar een beperkt aantal ronden mee, zoals papier. De uitval bevat dus impliciet ook al informatie over het aantal cycli dat materiaal meekan in de 'loop'.

### **3.7 Mono-stromen of meervoudige stromen?**

De hoofwaardigheidsscore kan worden bepaald voor een mono-stroom als PET of glas. De score kan ook worden bepaald voor een samengestelde stroom als plastics. In dat geval wordt de score voor iedere afzonderlijk te detecteren afval/materiaalstroom bepaald; vervolgens wordt een gewogen score (weging met kg) berekend.

Het berekenen van de score voor een meervoudige (materialen)stroom zoals mobiele telefoons of auto's is gecompliceerder omdat dan de weging naar kilogrammen mogelijk onvoldoende recht doet aan de waarde/schaarste van de verschillende materiaal-stromen. In het parallelle onderzoek zullen we hier opnieuw bij moeten stilstaan.

Tot slot kan de score op het niveau van een regio of het land worden bepaald door rekening te houden met de inzet van uiteenlopende recyclingprocessen, en deze te wegen naar omvang.

---

<sup>13</sup> De verwerking van cycli in de basisregel zal in veel cases leiden tot complexe beslisregels, die niet meer eenvoudig te hanteren zijn; denk bijvoorbeeld aan de recycling van smartphones of de blikjes met staal en aluminium.

<sup>14</sup> Een volledig 100% gesloten circulaire economie is nagenoeg uitgesloten; er zal altijd wel sprake zijn van een zekere uitval in productieprocessen.

Het vaststellen van de hoogwaardigheidsscore voor samengestelde stromen of voor een heel land, vereist aanzienlijk meer kennis over de systemen en dus input.

# 4 Een beslismodel voor het hanteren van de basisregel

In dit hoofdstuk wordt de basisregel geplaatst in een beslismodel 'hoogwaardige recycling' voor afvalstromen.

## Basisregel

De in dit onderzoek ontwikkelde basisregel om de hoogwaardigheid van recyclen te definiëren, bestaat uit drie hoofdcomponenten:

- de *totale hoeveelheid gerecycleerd materiaal* (recycklaat) in vergelijking met de totale hoeveelheid aangeboden (afval) materiaal;
- de hoeveelheid recycklaat, *verdeeld over graden recycklaat*, waarbij alle graden meetellen in het bepalen van een hoogwaardigheidsscore:
  - 1ste graad recycling = hoogwaardig;
  - 2de graad recycling = middelwaardig; en
  - 3de graad recycling = laagwaardig;
- en tenslotte, een set van *wegingsfactoren*; daarbij onderscheiden wij er drie:
  - Een *wegingsfactor q*, waarbij een correctie plaatsvindt per graad vanuit het perspectief van Planet-resources. Bij recycling naar een lagere graad vindt een zekere afwaardering plaats.
  - Een *wegingsfactor e*, waarbij een correctie plaatsvindt per graad vanuit het perspectief van Planet-milieudruk, en dan met name energieverbruik. Bij een relatief groot verbruik (t.o.v. virgin) vindt afwaardering plaats.
  - Een *wegingsfactor s*, waarbij een correctie plaatsvindt vanuit het perspectief van Profit-schaarste of waarde. Deze wegingsfactor wordt hier genoemd maar niet verder uitgewerkt; uitwerking vindt plaats in een apart traject in opdracht van het ministerie van I&M.

De basisregel is uitgewerkt in de hoogwaardigheidsformule ( $H * G * q * e * s$ ; de wegingsfactoren) zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 3.

Het hanteren hiervan ten behoeve van beleid, heeft altijd een element van vergelijking in zich. *Binnen* eenzelfde afvalstroom kan met behulp van de basisregel een vergelijking worden gemaakt tussen de hoogwaardigheidsscores van verschillende beschikbare recyclingtechnieken of -processen. Daarnaast kan een vergelijking worden gemaakt in de *tijd* (is de hoogwaardigheidsscore ten opzichte van x jaar geleden veranderd), plus een beeld van de 'distance-to-target' (maximaal 100%).

Het vergelijken van hoogwaardigheidsscores van verschillende afvalstromen onderling met deze eenvoudige basisregel is lastiger, maar wellicht niet onmogelijk. Maar, als we de basisregel zo toepassen, is het niet om absolute uitspraken te doen vanuit één aspect (recyclen is immers maar één van de relevante invalshoeken ten aanzien van het gebruik en het aanwenden van materiaal) maar om de uitdagingen, waarvoor 'een sector rond afval/ materiaalstromen' zich gesteld ziet bij circulair opereren, in perspectief te plaatsen.

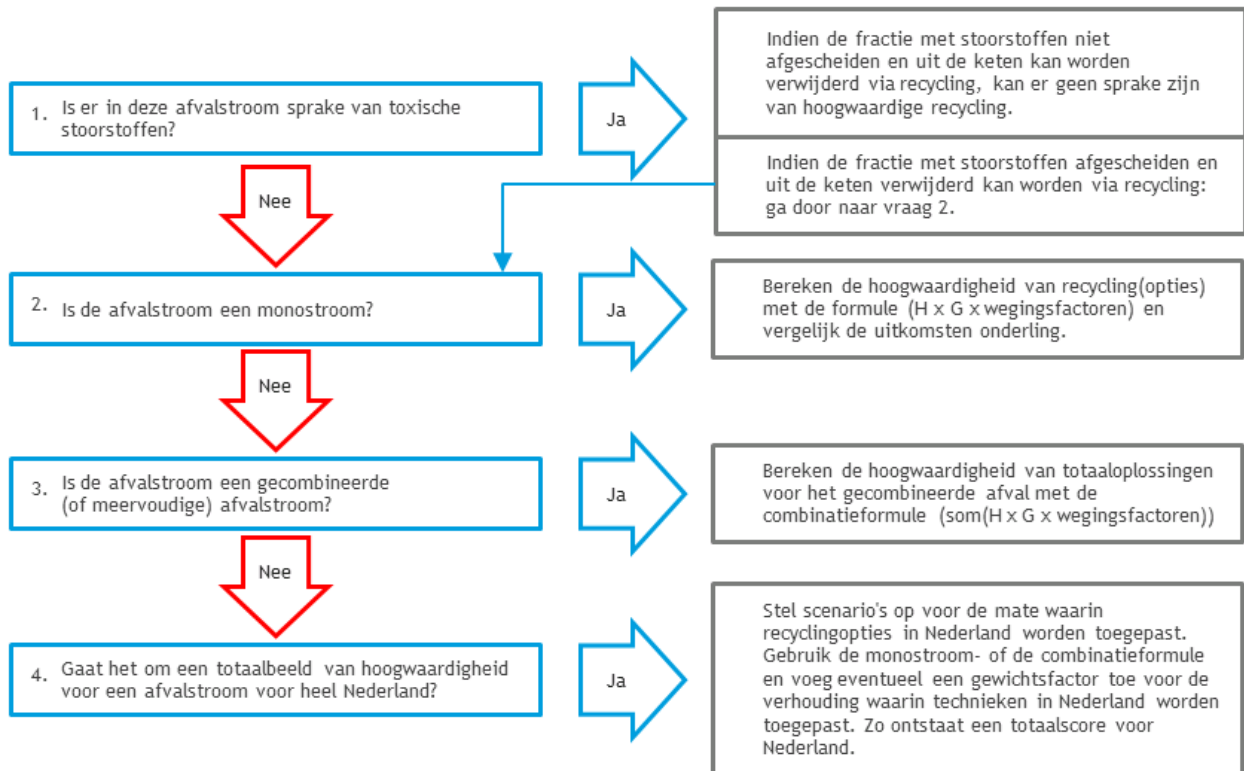
Door het toepassen van weegfactoren vergelijken we bij de basisregel het herwinnen/recycleren met het (opnieuw) maken van het product met primaire grondstoffen. Deze vergelijking maakt het mogelijk om uitspraken te doen over de omvang van een (eventuele) besparing van primaire grondstoffen door de inzet van gerecycled materiaal, een (eventuele) vermindering van milieudruk door inzet van secundair materiaal en het effect op de kosten door inzet gerecycled materiaal. De resultaten moeten dan ook steeds in samenhang worden bekeken. Idealiter wijst evaluatie steeds in een zelfde richting: besparing van resources en vermindering van milieudruk of juist niet en dit tegen meer of minder kosten. Maar het kan ook zo zijn dat er ‘tegenstrijdigheden’ ontstaan: een besparing van primaire grondstoffen tegen een hogere milieudruk. Hoe daarmee om te gaan zal van geval tot geval bekeken kunnen worden.

In dit hoofdstuk geven we via een beslismodel aan hoe met de basisregel om te gaan. Daarna staan we kort stil bij de evaluatie/optimalisatie vanuit de drie invalshoeken, Planet-resources, Planet-milieudruk en Profit/People. We besluiten met aandachtspunten voor beleid.

#### 4.1 Het beslismodel voor het hanteren van de basisregels

Onderstaand beslismodel kan helpen bij hoe de vergelijking tussen recyclingstechnieken voor een bepaalde afvalstroom vorm te geven. Daarbij kan het gaan om vergelijken van recyclingstechnieken binnen een afvalstroom die voornamelijk bestaat uit een component (bijvoorbeeld apart ingezamelde PET-flessen) of uit een gemengde afvalstroom (bijvoorbeeld een mix van plastics of een autowrak).

Figuur 7 Beslismodel



We starten met het thema Toxische stoffen; deze kunnen een belemmering vormen voor het recyclen. Wanneer stoffen niet kunnen worden afgescheiden in het recyclingproces én een reëel gevaar vormen voor de mens of het ecosysteem, dan kan geen sprake zijn van hoogwaardige recyclen. Hooguit is recyclen naar de 3de graad een optie. Per geval zal de impact van toxische stoffen moeten worden bekeken.

## 4.2 De evaluatie naar de invalshoeken Planet, People en Profit

### Ad Planet, onderdeel resources

Bij evaluatie naar grondstoffen gaat het er om in beeld te brengen hoeveel de inzet van primaire grondstoffen te verminderen is door inzet van recyclaat. Dat kan met een smallere bril, door alleen te kijken naar de eerste graad of breder door ook de tweede en derde graad mee te nemen. In de nu ontwikkelde basisregel volgen we de bredere aanpak. Met behulp van de wegingsfactor  $q$  doen we recht aan de verschillen in hoogwaardigheid tussen de drie onderscheiden graden.

### Ad Planet Milieudruk

Bij de evaluatie naar milieudruk gaat het om recyclen binnen de randvoorwaarde milieudruk, of anders gezegd, recyclen onder zo laag mogelijke milieudruk. Dat kan door naar allerlei milieudrukfactoren te kijken of te focussen op een of enkele parameters. Hier hebben we gekozen voor die focus en wel op energie. Als recyclen gepaard gaat met een relatief hoog energieverbruik dan vindt afslag plaats. Daarnaast is de parameter toxische stoffen opgenomen als *knock-out*criterium, of tenminste forse afslag.

### Ad Profit/People, schaarste en waarde

De derde invalshoek en randvoorwaarde komen vanuit het perspectief waarde en/of schaarste (en ook kosten). Het gaat dan enerzijds om de waarde (of inkoopkosten) van het recyclaat versus de waarde van virgin-materiaal, waarbij ook rekening wordt gehouden met kwaliteit, en anderzijds om de te maken kosten om recyclaat te maken versus de marktwaarde van het recyclaat zelf. We hebben in de basisregel al vast een wegingsfactor opgenomen. In een apart onderzoek zal deze factor worden geoperationaliseerd.

## 4.3 Tot slot: aandachtspunten voor het vervolg en beleid

Vanuit het uitgangspunt van de circulaire economie ligt het voor de hand dat Planet-aspecten prevaleren boven de Profit-aspecten. Met ander woorden, de winst op Planet-aspecten mag derhalve wat kosten. (Daarbij speelt ook dat kosten voor nieuwe recyclingtechnieken vaak hoger zijn maar door schaal-grootte en optimalisatie vaak later aanzienlijk kunnen dalen.) Beleidsmakers zullen de afweging maken hoe ver ze daarin willen gaan. Een vergelijkbaar dilemma ontstaat als de Planet-invalshoeken zelf tegenstrijdig zijn, bijvoorbeeld als grondstoffen kunnen worden bespaard, maar met per saldo meer milieudruk tot gevolg.

Een tweede aspect hangt hiermee samen en betreft het stellen van normen voor hoogwaardigheid. Bijvoorbeeld, recycling is hoogwaardig als minimaal zoveel procent wordt toegepast in de 1<sup>e</sup> graad. We zien de basisregel vooralsnog vooral om ontwikkelingen in hoogwaardigheid te kunnen meten en te vergelijken, zonder harde normen. Het is echter denkbaar dat de overheid,

met het oog op het bereiken van meer circulariteit, normen gaat stellen aan de grondstoffenketen, waaronder het hoogwaardig recyclen.

Een derde aspect betreft de inzetbaarheid van het recyclaat. Deze wordt niet alleen gestuurd door Planet-aspecten, maar ook door Profit (en People) aspecten. Hoe nu rekening te houden met verschillen in inzetbaarheid van recyclaat in de verschillende graden? In de totstandkoming van een beleidsvisie op hoogwaardige recycling zal de brede inzetbaarheid én de marktwaarde zeker onderdeel van de overwegingen zijn. Idealiter ontstaan systemen waar circulariteit een natuurlijke plaats inneemt, én die dus op zich zelf werken. Daar waar marktwerking nog niet leidt tot gewenste uitkomsten zijn overheidsinterventies op z'n plaats; via een maatschappelijke -economische analyse kan worden verkend wat daarbij dan wijsheid is. Het 'marktaspect' werken we verder uit in een aanvullend onderzoek over hoogwaardigheid vanuit de Profit-kant.

### **Tot slot**

De hier gepresenteerde basisregel is opgesteld als een beleidsmatige toets die met een beperkte hoeveelheid informatie en vuistregels kan worden gebruikt. Het resultaat uit het model levert meestal een bruikbaar eerste beeld op (zie voor toetsing aan de cases het integratierapport).

Als processen onderling een klein verschil scoren op de basisregel dan raden wij die processen nader te bestuderen aan de hand van de mLCA-methode zoals gepresenteerd in het rapport van Deelproject B.

Ook als het uiteindelijke resultaat van de basisregel vragen oproept, kan de meer bewerkelijke mLCA-methodiek interessant zijn als verdiepende analyse.

# 5 Hoogwaardig beoordeeld met levenscyclusanalyse (LCA)

## 5.1 Inleiding

Klassieke LCA-uitvoer neemt een belangrijk kernbegrip van hoogwaardige recycling en de circulaire economie niet adequaat mee: het waarderen van behoud van materiaal. Dit niet alleen in een eerstvolgende levenscyclus, maar ook eventuele levenscycli daarna.

In dit project kijken we ook naar de recyclemogelijkheden na de eerste keer recycling. Kan het verkregen product nog een keer worden gerecycled, en daarna nog een keer? Het is mogelijk om, met de beginselen van klassieke LCA als basis, de effecten van meerdere keren recycling te berekenen. Deze aanpak noemen we multi-cyclus-LCA, ofwel mLCA.

Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak voor de uitvoer van mLCA voor het vergelijken van recyclingroutes. Het bevat onze aanbevelingen voor toepassing van mLCA voor vergelijking van recycleroutes op hoogwaardigheid als doel. De methode is dus specifiek geschikt voor dit doel: gericht op recycling-processen Het leidt niet tot een complete LCA van een product.

### Introductie: multicyclus-LCA (mLCA)

Multicyclus-LCA, of mLCA in het kort. Dat is de term die wij introduceren voor het LCA-model waarbij meerdere keren recycling wordt doorgerekend.

De methodeontwikkeling is een iteratief proces geweest. Eerst is het mLCA-model in theorie bedacht. Daarna is het getoetst aan de hand van casestudies: recyclingroutes uit de praktijk. Met behulp van de casestudies uit de praktijk zijn richtlijnen voor de uitvoering van mLCA aangescherpt. De in dit hoofdstuk besproken aanpak komt voort uit de bevindingen van de casestudies.

### Leeswijzer

De beschrijving van de aanpak van mLCA volgt de gebruikelijke stappen in LCA-uitvoering:

- afbakening: definitie van *goal & scope*;
- inventarisatie;
- modellering;
- analyse;
- interpretatie.

Voor elk van deze stappen is een paragraaf voorzien, waarin wordt beschreven hoe de LCA-uitvoerder te werk moet gaan anders dan bij de klassieke LCA-uitvoering.



## 5.2 Introductie mLCA

Het mLCA-model bouwt voort op klassieke LCA-uitvoering, met een aantal aanpassingen. Het belangrijkste verschil ten opzichte van klassieke LCA-uitvoering is het kijken naar meerdere levenscycli. Ook kiezen we een specifieke aanpak ten aanzien van de uitvoer van de milieu-analyse: selectie van milieueffecten en weging.

Het mLCA-model voor hoogwaardige recycling is in feite een set richtlijnen voor het uitvoeren van mLCA met als doel het milieukundig ranken van verschillende recyclingroutes voor een bepaald afgedankt materiaal of bepaalde afvalstroom. De vraag die met het model wordt beantwoord is: 'Milieukundig gezien, hoe scoren diverse mogelijke verwerkroutes voor dezelfde afvalstroom ten opzichte van elkaar?' Nevenvraag is: 'Zijn bepaalde recyclingroutes hoog- of laagwaardig te noemen?'

Er is nog niet eerder onderzoek gedaan naar het structureel berekenen van meerdere levenscycli, in de zin van meerdere keren recycling, in LCA. Althans, voor zover wij konden nagaan in literatuur en via LCA-uitvoerders<sup>15</sup>.

Simultaan aan de ontwikkeling van een mLCA-model voor hoogwaardige recycling is een beleidsmatig beslismodel ontwikkeld. Dit beslismodel heeft ook als doel de mate van hoogwaardigheid uit te drukken, maar doet dat aan de hand van beslisregels. mLCA-resultaten alleen kunnen geen oordeel vellen over hoogwaardigheid ja/nee. Een beleidsmatig beslismodel bevat daarentegen niet alle milieukundige gegevens. De twee modellen samen kunnen een goed oordeel vellen over welke recycleroute het meest hoogwaardig is.

## 5.3 Afbakening: definitie van *goal en scope*

### 5.3.1 Doel

Het doel van de multicyclus-LCA (mLCA) is milieukundige analyse van een recyclingroute, waarbij meerdere (drie) levenscycli worden beschouwd. Bij modellering van meerdere routes voor dezelfde afvalstroom levert dit een milieukundige ranking van routes op.

### 5.3.2 Functionele eenheid

De functionele eenheid van de mLCA is:

Eén ton materiaal, vrijkomend bij afdanking (einde levensduur), dat wordt ingezet in nieuwe producten en voor zover mogelijk recycling gedurende drie achtereenvolgende recycling-rondes.

Bij scenario's waarin het materiaal minder dan driemaal gerecycled wordt, worden opeenvolgende cycli gemodelleerd totdat er geen materiaal in de keten meer over is. Een scenario waarbij al het afval naar verbranding gaat (0% recycling) kan op vergelijkbare manier worden doorgerekend: er is dan al na één verwerkingsronde geen materiaal meer over.

<sup>15</sup> International Journal of LCA en het internationale LCA-discussieforum van Pré.

### 5.3.3 Systeemgrenzen

De afbakening van de systeemgrenzen is een van de belangrijkste aspecten van het LCA-model voor hoogwaardige recycling.

In tegenstelling tot de conventionele LCA-uitvoering wordt de systeemgrens uitgebreid, tot drie keer een recyclingstap heeft plaatsgevonden. Er wordt dus in beschouwing genomen of het gerecyclede materiaal na gebruik nog steeds in de keten blijft, en daarmee dus bijdraagt aan de circulaire economie.

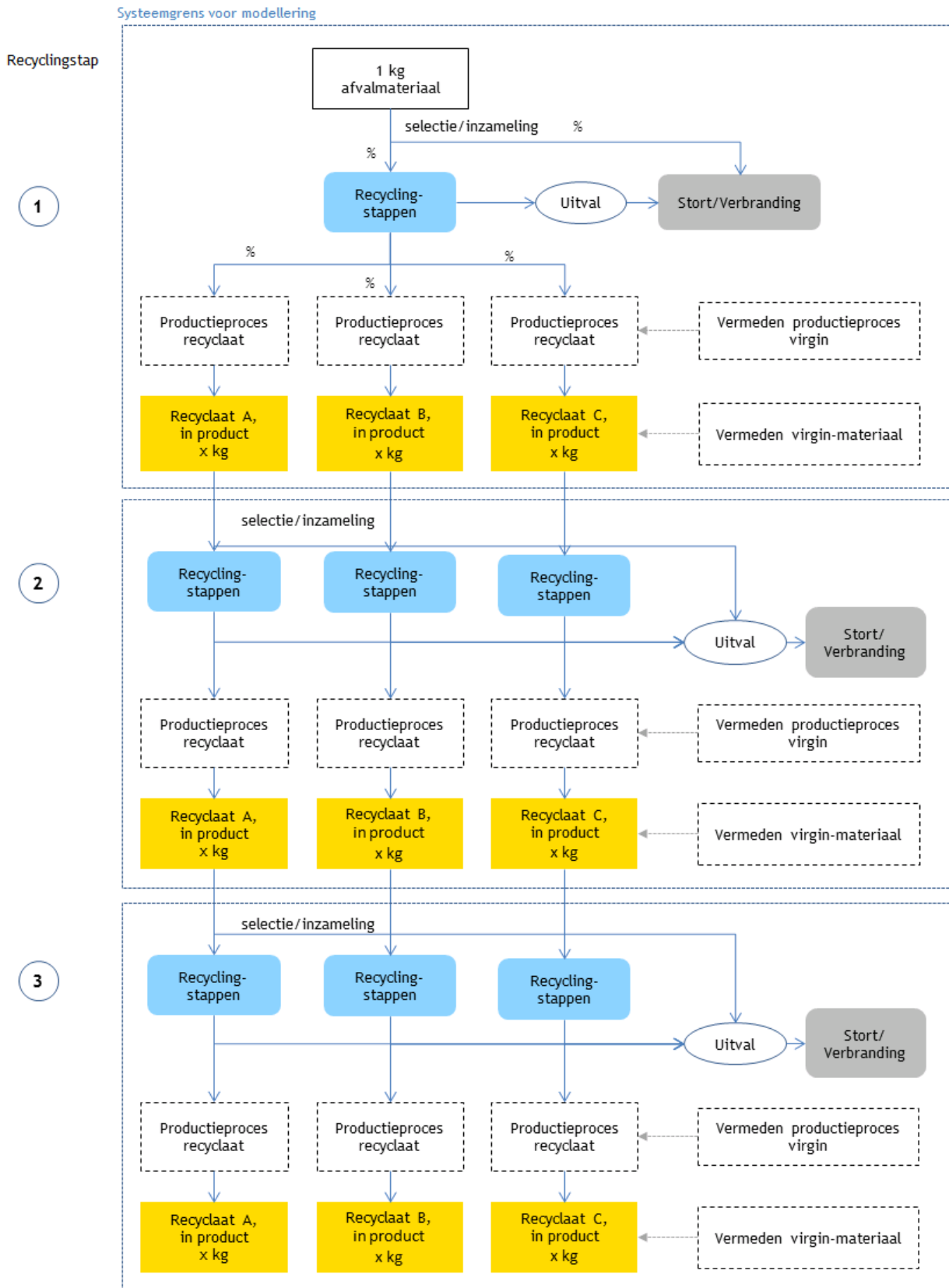
De einde van de modellering is na drie volledige recyclingrondes, dus nadat voor de derde maal gerecycled materiaal is geproduceerd.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Wanneer het materiaal minder dan drie maal gerecycled wordt, eindigt de modellering wanneer er geen materiaal meer in de keten over is.

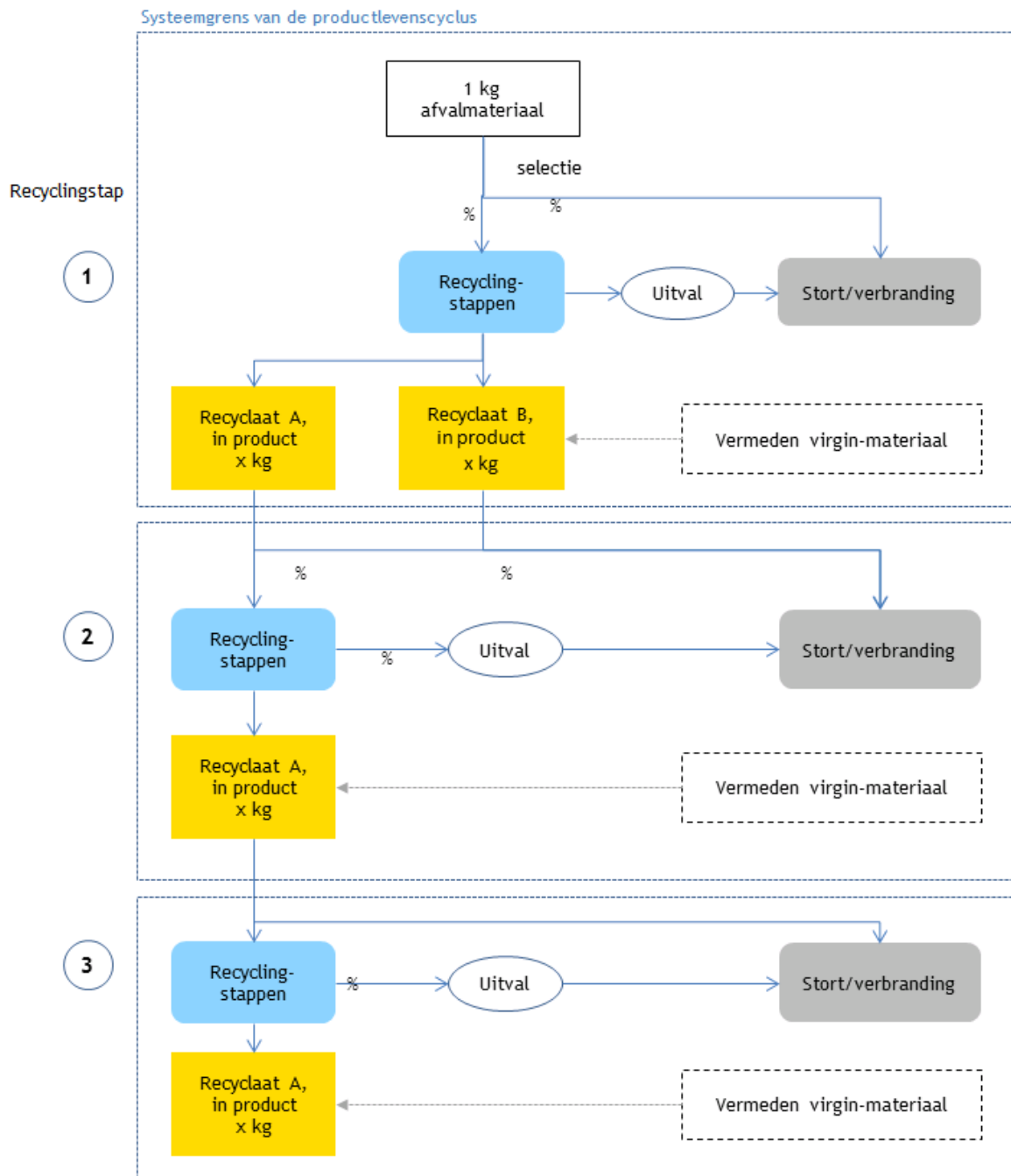
Schematisch en op hoofdlijnen ziet de afbakening er als volgt uit:

Figuur 8 Systeemgrens voor mLCA, algemeen, drie recyclingrondes



Dit is een algemeen schema. Vaak kan de afbakening eenvoudiger zijn, als er minder recycleproducten zijn. Bijvoorbeeld:

Figuur 9 Systeemgrens mLCA bij drie keer recycling, algemeen, beknopte versie



### Opmerkingen en toelichtingen bij het schema

Het blok 'recyclingstappen' is een verzamelnaam voor alle geassocieerde acties voor recycling: inzameling, sortering, verwerken, etc.

Bij elke recyclingstap wordt er virgin-materiaal vermeden en wordt verbranding of stort voorkomen. Ook is er mogelijk verschil in benodigde energie of hulpmiddelen voor productie van het beoogde product.

Vanwege het *mogelijke* verschil is het productieproces hier in stippellijn weergegeven.

Dit is een schema op hoofdlijnen. Tussen recyclingstappen vindt transport plaats. Input van hulpstoffen en energie en emissies bij de recyclingstappen worden wel gemodelleerd, maar zijn niet weergegeven.

Het model richt zich op inzet van materiaal en verwerking na afdanking. Eventuele emissies door *gebruik of onderhoud* van het product worden niet inbegrepen, omdat deze niet gerelateerd zijn aan het al dan niet recycleren van het materiaal. Ook gaan we er van uit dat levensduur en gewicht van producten niet noemenswaardig beïnvloed worden door recycelaat.

Wanneer bij een vergelijking van scenario's bepaalde processen in alle scenario's identiek zijn (en in dezelfde hoeveelheid worden toegepast), kan worden overwogen om deze in alle scenario's weg te laten, wanneer dit de modellering vereenvoudigt.<sup>17</sup>

Dit schema is van toepassing op het modelleren van drie keer recycling. Het systeem houdt op als er voor de derde keer recycelaat is toegepast in een nieuw product. De verwerking van dit laatste product is geen onderdeel meer van het systeem.

### **Uitgespaarde processen**

Zoals in het schema is aangegeven wordt door recycling de productie van virgin-materiaal vermeden. Ook is te zien dat we verschillen in productieprocessen voor recycelaat en virgin-producten meenemen, als die er zijn. Denk hierbij aan de inzet van glasscherven in de productie van glasproducten: deze inzet verlaagt de benodigde hoeveelheid energie. De mLCA-uitvoerder mag uiteraard ook alleen het verschil in productie-energie (primaire min secundaire productie) modelleren in het scenario.

Elke keer dat een nuttig product uit recycelaat wordt gemaakt vermijdt dit het gebruik van virgin-materiaal. Zolang je materiaal in gebruik houdt, in de economie houdt, bespaar je elke ronde de productie van virgin-grondstoffen. Zo kan het dus dat een recyclingroute ervoor zorgt dat er meerdere keren, meerdere levenscycli, virgin-materiaal wordt uitgespaard.

### **Opzetten van het schema: wat gebeurt er bij tweede en derde keer recycleren?**

Het model is gericht op het doorrekenen van een bepaalde recycleroute en deze te vergelijken met alternatieve recycleroutes. Voordat met de inventarisatie wordt begonnen, is het aan te raden een schema op te stellen zoals getoond in het begin van deze paragraaf en de bijlagen bijbehorend bij de cases. Dit schema geeft inzicht in wat er met het materiaal gebeurt na de eerste keer recycling, maar ook wat er mogelijk is bij een tweede en derde keer recycling.

Houd bij het opzetten van het schema één verwerkingsroute centraal. Bijvoorbeeld: recycling van betonpuin tot betongranulaat dat als grindvervanger dient in nieuw beton. Bekijk vervolgens of het verkregen product wederom kan worden gerecycled volgens deze route (in dit geval: ja). Zo blijft de gekozen recycleroute centraal staan.

---

<sup>17</sup> In de verderop beschreven casestudy of shredderafval is dit gedaan.

Het kan natuurlijk zo zijn dat het verkregen product niet meer gerecycled kan worden via de gekozen recycleroute. Kies in dat geval de recycling- of verwerkroute die het meest logisch is, die nu in de praktijk zal voorkomen.

### Levensduur van product

De levensduur van het product waarin het recycleele tereht komt wordt buiten beschouwing gelaten ondanks het feit dat levensduur van producten en kernpunt is in het gedachtengoed van de circulaire economie. Voor de LCA-berekeningen nemen we aan dat er geen causale relatie is tussen de keuze in recycling en de levensduur van producten. Levensduur is dus wel een belangrijk issue maar niet voor onze uitdaging.

## 5.4 Inventarisatie

In de inventarisatie worden de milieu-ingrepen gekwantificeerd: de aspecten die leiden tot een milieu-impact. Daarnaast moet ook goed worden geïnventarisatieerd wat er met het materiaal gebeurt. Bij een LCA over meerdere levenscycli is de **massabalans** heel belangrijk.

De massabalans is de verdeling van 1 ton materiaal naar nieuwe producten via recycling en naar verbranding of stort via uitval. Het is belangrijk om goed in kaart te brengen:

- Welk aandeel van het product wordt geselecteerd of ingezameld ter recycling?
- Welke delen van het product worden daadwerkelijk gerecycled?
- Wat is de uitval van materiaal per verwerkstap bij recycling en wat is de bestemming van de uitval (stort, verbranding)? De totale hoeveelheid gestort materiaal, zoals bepaald in de inventarisatie, wordt in de resultaten apart aangegeven als stortindicator. Het aantal momenten dat in een scenario stort optreedt zal beperkt zijn: mogelijk een fractie die direct naar stort gaat en daarnaast de uitval bij recycling die deels naar stort gaat. Dit totaal aantal kg is de stortindicator.

Daarnaast dienen de volgende aspecten te worden geïnventarisatieerd:

- Transportafstanden + transportmiddel tussen verwerkstappen.
- Energiebehoefte per verwerkstap.
- Benodigde hulpstoffen en waterverbruik per stap.
- Directe emissies naar lucht, water en bodem. Inclusief eventuele toxische emissies.
- Afvalwater per verwerkstap.
- Welk materiaal wordt bespaard door het verkregen recycleele?

Uitval van materiaal is een maat voor kwaliteitsverlies van het materiaal. Bijvoorbeeld: papiervezels kunnen een beperkte hoeveelheid keer worden gerecycled. één kg oud papier levert geen één kg gerecyclede vezel op. Dit geldt voor vele materialen. De uitval, die de recycler opgeeft, komt onder andere voort uit niet-geselecteerd of gekwalificeerd materiaal.

Als een recyclingscenario een toekomstig scenario betreft, of een recycling-route in ontwikkeling, ga dan uit van de te verwachten uitval, het te verwachten energieverbruik, etc.

In allerlei recyclingprocessen zijn hulpstoffen nodig om te zorgen dat het recycleele eigenschappen behoudt/terugkrijgt die overeenkomen met virgin-materiaal. Deze hulpstof kan bijvoorbeeld het mengen van recycleele

bevorderen, de degradatie van polymeerketens afremmen, of veroudering van het materiaal tegengaan. Dergelijke hulpstoffen moeten worden opgenomen in de inventarisatie.

Het feit dat recycleert vaak wordt bijgemengd bij virgin-materiaal hoeft niet specifiek gemodelleerd te worden, zolang het recycleert één-op-één virgin-materiaal uitspaart (dit virgin-materiaal wordt dus niet als hulpstof bij recycling beschouwd).

## 5.5 Modelleren

### Structuur: aanbevelingen bij het modelleren

- Modelleer per recyclingcyclus. Van inzameling van afgedankt materiaal tot en met productie van het recycleert, zoals is aangegeven in de schema's. In de schema's is aangegeven wat de afbakening van het geheel is (drie recyclingrondes) en welke afbakening per cyclus kan worden aangehouden.
- Koppel de impacts per levenscyclus aan elkaar, om zo de impact over drie levenscycli te verkrijgen.
- Gebruik voor de massabalans parameters en *calculated* parameters.
- Gebruik daarnaast een Excelsheet waarmee de materiaalhoeveelheden (massabalans) in de eerste, tweede en derde ronde worden berekend.

### Algemene modelleeraspecten:

De standaard database om te gebruiken is Ecoinvent 3.1 (Allocation, recycled content). Gebruik voor input van hulpmiddelen Ecoinvent, proceskaarten 'market' (deze zijn inclusief transport).

Verbranding van materiaal in een AVI of BEC dient te worden gemodelleerd met opwekking van energie (elektriciteit en warmte). De opgewekte energie is vermeden conventionele elektriciteit en warmte; de hoeveelheid opgewekte energie wordt berekend op basis van de lower heating value van het materiaal, de thermische en elektrische efficiëntie van de gemiddelde Nederlandse afvalverbrandingsinstallatie en de verbrande hoeveelheid materiaal.

Maak gebruik van de volgende (milieu)gegevens:

- Emissie door verbranding: Ecoinvent proceskaarten.
- Vermeden warmte: milieugegevens van de Ecoinvent proceskaart '*Heat, natural gas, at industrial furnace >100 kW/RER*'. Hoeveelheid berekend zoals bovenstaand.
- Vermeden conventionele elektriciteit door verbranding: modelleer liefst de meest recente gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix, o.b.v. de stroometiketten. Modelling geschiedt op basis van energiedrager voor de elektriciteitsmix. Het aandeel elektriciteit opgewekt met kolen wordt bijvoorbeeld gemodelleerd met '*Electricity, hard coal, at power plant/NL*', etc. Alternatieve, maar minder gewenste optie is uitgaan van de gegevens in de Ecoinvent-database voor Nederland.
- Lower heating value van de meeste materialen staan gegeven in de proceskaarten voor verbranding van Ecoinvent.
- De thermische en elektrische efficiëntie van AVI's in Nederland is beschikbaar via (Rijkswaterstaat Leefomgeving, 2013).



## 5.6 Milieuanalyse

### 5.6.1 Interpretatie

Zoals in Paragraaf B.4 is uitgelegd, nemen we de ReCiPe-methode als basis voor de analyses, omdat deze de meeste mogelijkheden biedt en breed gedragen wordt. Met de casestudies is geëxperimenteerd met de diverse mogelijkheden van ReCiPe, aangevuld met resultaten van andere analysemethoden, zoals de cumulative energy demand en (als gevoeligheidsanalyse) de ILCD-methode.

In Paragraaf 5.1 geven we aan hoe de beoordeling van de resultaten kan plaatsvinden. De beoordeling vindt, in het kort, plaats in een aantal stappen:

1. ReCiPe Midpoints en Endpoints, CED: komt daar al een duidelijke ranking uit naar voren? Analyse van één tot vijf recyclingrondes biedt meer inzicht en kan helpen bij de beoordeling.
2. Als er geen duidelijke conclusies kunnen worden getrokken over welke scenario's het best en slechtst zijn, of als de ranking onduidelijk blijft, dan kan de gewogen single score gebruikt worden. Bereken ook de resultaten voor andere weegsets (zie Paragraaf 5.6.4) om te zien of dit nog andere inzichten geeft. Trek alleen conclusies als de resultaten duidelijk verschillen.
3. Wanneer ook de Single Score geen eenduidig resultaat geeft (verschillende ranking bij verschillende weegsets) dan is de conclusie dat de milieuprestaties van de scenario's niet duidelijk van elkaar verschillen en dat de één niet hoogwaardiger is dan de ander. De ranking van het Endpoint Resources kan dan nog apart genoemd worden, als ranking voor het aspect 'behoud van grondstoffen' (kernprincipe van de circulaire economie). Die ranking geeft dan dus niet de hoogwaardigheid van de scenario's, maar wel een ranking van circulariteit.

Daarnaast is het aan de mLCA-onderzoeker om goed te verklaren welke aspecten van de inventarisatie leiden tot de meeste milieuwinst/impact. Net als in conventionele LCA is een goede zwaartepuntanalyse van grote waarde voor het inzicht in de oorzaken van milieu-impact. Check of er specifieke aspecten van de recyclingroutes zijn die niet lijken te stroken met het resultaat van de vergelijking; dat kan duiden op fouten in de modellering.

De resultaten van de mLCA vormen samen met de resultaten van de beleidsanalyse het definitieve beslismodel.

#### **Functie van de resultaten: wat kan er wel en niet met?**

Het ontwikkelde mLCA-model vergelijkt verschillende recyclingroutes. Een rangschikking van hoogwaardigheid kan worden gegeven: van meest hoogwaardig naar het meest laagwaardig. Bij de beoordeling van hoogwaardigheid gaat het om deze relatieve volgorde. Tegelijk kan de methodiek ook de functie vervullen van de bestaande MER-LAP1 LCA-methode: het toetsen van afvalverwerkingsmethoden aan de minimumstandaard. Hiertoe moet dan uiteraard ook de minimumstandaardverwerkingstechniek doorgerekend worden volgens deze methode.

Omdat de verwerkingsopties van verschillende typen afvalstromen zo sterk verschillen is het niet mogelijk om een benchmark of schaalverdeling vast te stellen die voor alle stromen geldt. Daar is dit model ook niet voor bedoeld. De resultaten worden dan ook weergegeven als relatieve vergelijking van de mogelijke verwerkingsroutes binnen één afvalstroom, waarbij de laagste mLCA-score (grootste milieuwinst of minste milieu-impact) het meest

hoogwaardig genoemd wordt. Dit leidt tot een relatieve uitspraak als ‘recyclerroute A is de hoogwaardigste van alle mogelijke opties’. Voor een vergelijking tussen verschillende afvalstromen is de methode in de huidige vorm niet geschikt.

### 5.6.2 Gevoeligheidsanalyses

Net als bij een conventionele LCA moet met een gevoeligheidsanalyse worden onderzocht hoe de belangrijkste aannames de conclusies beïnvloeden. In een mLCA zijn belangrijke parameters om te checken:

- percentage inzameling en uitval van materiaal;
- welk virgin-materiaal door het recycleat wordt uitgespaard;
- keuze/beschikbaarheid van de milieugegevens van uitgespaard materiaal.

Daarnaast stellen we bij een mLCA voor dat aanvullende gevoeligheidsanalyse wordt toegepast voor het aantal cycli: hoe veranderen de resultaten als er éénmaal en tweemaal recycling wordt berekend (in uitzonderlijke gevallen zou ook nog meer cycli interessant kunnen zijn maar in de standaard gevoeligheidsanalyse is dit niet nodig).

Trek alleen conclusies als de resultaten robuust zijn. Dat houdt in dat de LCA-onderzoeker goed nagaat welke aspecten vooral verantwoordelijk zijn voor de resultaten en de belangrijkste keuzes en aannames checkt met behulp van gevoeligheidsanalyses.

### 5.6.3 Weergave van resultaten

De resultaten van de recycle-scenario's worden op de volgende wijze berekend en in tabellen gepresenteerd:

- alle milieueffecten en indicatoren volgens de ReCiPe-methode op midpoint-niveau;
- weergave in de drie ReCiPe schadecategorieën (endpoint-niveau):
  - human health;
  - ecosystems;
  - resources.
- indien weging noodzakelijk is: ReCiPe single score.

Daarnaast de volgende indicatoren:

- Cumulative Energy Demand (MJ) - aandeel fossiele energie;
- indien relevant: stortindicator, kg - indicator die aangeeft hoeveel kg er in totaal naar stort gaat, zoals bepaald tijdens de inventarisatie;
- indien gewenst ook een klimaatanalyse in CO<sub>2</sub>-eq.

### 5.6.4 Weging

Het toepassen van weegfactoren om bepaalde voorkeuren tot uitdrukking te brengen is niet ongebruikelijk in de LCA-wereld. Om deze zodanig te kiezen dat circulariteit beter tot uitdrukking komt is dan ook niet problematisch, zolang de gemaakte keuzes transparant zijn en beargumenteerd worden. ISO14044 staat weging en aggregatie van scores niet toe, maar dat geldt dus evenzeer voor de veel gebruikte ReCiPe single score-resultaten als voor zelf aangepaste weegsets. Het betekent dan ook niet dat de resultaten niet bruikbaar zouden zijn; ze zijn bruikbaar mits goed toegelicht.

Als het nodig is om te wegen, wordt in de basis wordt de normalisatie- en weegset ‘ReCiPe European H/A’ gebruikt. Als er wordt gewogen, bevelen wij aan om daarnaast ook te wegen met andere weegsets, volgens andere perspectieven. Tabel 2 toont karakteristieken van de diverse weegsets die in ReCiPe beschikbaar zijn.

Tabel 2 Perspectieven in de ReCiPe-methode en de bijbehorende weegfactoren

Perspective	Tijds-schaal <sup>18*</sup>	Tijds-horizon CO <sub>2</sub> - effecten	Oplosbaarheid milieuprobleem	Benodigd bewijs milieu- effect	Weegfactor (%)		
					Human Health	Eco- systems	Resources
Hierarchist (H/H)	Balans korte en lange termijn	100 jaar	Het juiste beleid kan problemen voorkomen	Gebaseerd op consensus	30	40	30
Individualist (I/I)	Korte termijn	20 jaar	Technologie kan problemen voorkomen	Alleen bewezen effecten	55	25	20
Egalitarian (E/E)	Zeer lange termijn	500 jaar	Problemen kunnen tot catastrofe leiden	Alle mogelijke effecten	30	50	20
Average H/A					40	40	20

<sup>18</sup> Door het in beschouwing nemen van verschillende tijdshorizonten zijn voor meerdere impactcategorieën ook de normalisatiefactoren verschillend, waardoor de resultaten voor verschillende Perspectives nog verder uit elkaar liggen.

# 6 Bespreking en conclusies mLCA-model

## 6.1 Inleiding

In dit project is het mLCA-model toegepast op vijf casestudies uit de praktijk. Elke casestudie omvat een materiaal dat na de gebruiksfase bij afdanking kan worden gerecycled, maar waarvoor diverse recycleroutes bestaan.

De geselecteerde casestudies zijn:

- PET-flessen;
- A/B-hout;
- beton;
- autowrakken;
- bitumineus dakafval.

We hebben het mLCA-model toegepast op deze vijf casestudies om de mLCA-aanpak te testen en te vergelijken. Hoofdvragen die we met de doorrekening van de casestudies hebben geprobeerd te beantwoorden zijn:

- Is het überhaupt mogelijk om meerdere ronden van recycling door te rekenen (i.e. recycelaat beschikbaar maken voor meerdere opeenvolgende levenscycli)?
- Sluit de mLCA-methodiek aan bij de gedachten achter de circulaire economie (doel: beter dan traditionele LCA)?
- Welke milieueffecten en/of -indicatoren zijn leidend voor de beoordeling van hoogwaardigheid?
- Wat is het aantal recyclingrondes dat tenminste dient te worden doorgerekend, om een goed oordeel te vellen over de beste en minst goede route en over de rangvolgorde van de recyclingroutes?

De resultaten van de casestudies zijn opgenomen in bijlagen C t/m G.

In dit hoofdstuk bespreken we het mLCA-model en lichten we methodologische keuzes toe.

In Paragraaf 6.3 bespreken we de keuzes ten aanzien van de methodiek, die voortkomen uit de resultaten van de casestudies. In Paragraaf 6.4 gaan we in op de voor- en nadelen van mLCA-methodiek voor het waarderen van hoogwaardigheid. In Paragraaf 6.5 worden de belangrijkste resultaten van de casestudies op een rij gezet. De beoordeling van stort wordt behandeld in Paragraaf 6.6.

In Hoofdstuk 7 wordt de mLCA-methodiek naast het beleidsmodel geplaatst en gaan we dieper in op de overeenkomsten en verschillen, de toepasbaarheid ten aanzien van de circulaire economie.

## 6.2 Aansluiting bij basisregels hoogwaardigheid

Bij de start van het project zijn definities van hoogwaardigheid geïnventariseerd, die de ronde doen. Dit zijn geen officiële definities, maar mogelijke opvattingen. Hieronder geven we aan of het aspect wordt meegenomen in of kan worden berekend met het mLCA-model.

Tabel 3 Definities van hoogwaardigheid en mLCA-model

Aspect van hoogwaardigheid	Kan worden berekend met of wordt meegenomen in het LCA-model
Er is sprake van het vervangen van primaire grondstoffen.	Ja
Het materiaal wordt gerecycled in een vorm die meerdere cycli herhaald kan worden.	Ja
Het materiaal wordt ingezet in dezelfde toepassing als het had voordat het product in het afvalstadium raakte.	Ja
Het materiaal kan qua kwaliteit worden ingezet in dezelfde toepassing als het had voordat het product in het afvalstadium raakte. (Let op het nuanceverschil met de voorgaande insteek: als de markt uiteindelijk voor een andere toepassing kiest is het toch 'hoogwaardig').	Ja
Zoveel mogelijk materiaal wordt gerecycled (minimaliseren van uitval).	Ja
Verwerkstappen voor recycling vragen zo min mogelijk energie.	Ja
Het recycklaat heeft een zo hoog mogelijke economische waarde heeft.	Nee
De overall CO <sub>2</sub> -footprint is het laagst.	Ja
De overall milieudrukreductie is het grootst.	Ja

## 6.3 Beoordeling van de mLCA-resultaten

### 6.3.1 Rankingprocedure recyclingopties met mLCA

Het komt zelden voor dat op basis van de milieueffecten en -indicatoren (midpoint-niveau) al volledig eenduidige conclusies kunnen worden getrokken. Soms tekent er zich al een recyclingroute af die duidelijk het best of slechtst scoort. Maar een duidelijke ranking, zeker als er meer dan drie recycleroutes worden vergeleken, is meestal niet te maken op basis van de analyse op midpoint-niveau.

Naar aanleiding van resultaten van de casestudies stellen wij de volgende aanpak voor, voor beoordeling van de resultaten:

#### 1. Schadecategorieën zijn leidend

Bij de beoordeling van de resultaten (ranking) zijn de scores voor de drie schadecategorieën (endpoints) leidend: komt hier een eenduidige rangvolgorde naar voren? Trek alleen conclusies die duidelijk zijn, zoals: 'variant X heeft altijd de beste score'. Kijk hierbij niet alleen naar de ranking, maar ook of er een milieuwinst of een -impact is en hoe ver scores van recyclingroutes uit elkaar liggen. Houd hierbij de resultaten van gevoeligheidsanalyses in de gaten. Houden de conclusies stand als de belangrijkste aannames en keuzes veranderen?

#### 2. Single score en schadecategorie grondstofuitputting

Als er totaal geen conclusie getrokken kan worden op basis van de schadecategorieën, mogen deze gewogen worden (single score). Gebruik hiervoor de ReCiPe-weging hiërarchisch/average (H/A) en doe een gevoeligheidsanalyse met de drie weegsets volgens de perspectieven hiërarchisch (H/H), egalitair (E/E) en individualistisch (I/I).

Trek conclusies na weging volgens deze vier invalshoeken. Als de resultaten met de verschillende weegsets tot verschillende rankings leiden, dan is de conclusie dat de milieuprestaties van de scenario's niet duidelijk van elkaar verschillen, en dat de één niet hoogwaardiger is dan de ander.

De ranking van volgens de schadecategorie grondstofuitputting kan apart genoemd worden. Deze ranking sluit het beste aansluit op het kernprincipe van de circulaire economie: grondstoffenbehoud. Die ranking geeft dan dus niet de hoogwaardigheid van de scenario's, maar wel een ranking van circulariteit. Echter, heel wat milieukundige effecten en -indicatoren, waaronder klimaat-impact, landgebruik en toxiciteit, vallen hierbij buiten beschouwing. Wel is er vaak een link tussen grondstoffenuitputting en klimaatimpact, want brandstofverbruik valt onder uitputting.

### 6.3.2 Recyclingroutes met netto milieu-impact

Als een recycleroute geen milieuwinst oplevert, maar een milieu-impact (recyclingproces heeft meer milieu-impact dan uitgespaarde grondstoffen aan winst geven), betekent dit dat de route niet 'hoogwaardig' genoemd kan worden. Beton en PET-recycling tot eenmalig product (strapping) hebben een milieu-impact (geen milieuwinst), o.a. voor de single score en klimaatimpact. Bepaalde typen afval vereisen nu eenmaal veel energie en moeite om verantwoord te verwerken, terwijl de uitgespaarde grondstof ook nog weinig milieuwinst oplevert. Voor deze materialen is de uitdaging om tot een hoogwaardig en circulair systeem te komen het grootst.

Wanneer het endpoint Resources wel een winst aangeeft, kan het systeem wel binnen een circulaire economie passen en is er hoop dat er in de toekomst bij gebruik van hernieuwbare energie ook een echte milieuwinst optreedt. Ook wanneer er netto milieu-impact optreedt, geeft de hier ontwikkelde mLCA-methode toch een ranking, waarbij er een voorkeursrecycleroute kan worden aangewezen (een 'relatieve hoogwaardigheid').

## 6.4 LCA en multi-cyclus-LCA

### 6.4.1 Verschillen en overeenkomsten mLCA met traditionele LCA

Ten eerste is er een verschil tussen LCA die gericht is op (het vergelijken van) afvalverwerkroutes en een LCA van een product. De term LCA is doorgaans van toepassing op de gehele levenscyclus van een bepaald product en berekent de impact van cradle-to-grave. Dan is het uiteraard ook mogelijk om niet naar een specifiek product te kijken, maar naar een productgroep en met de focus op alleen de afvalverwerking van die productgroep. Dit soort analyses worden in de praktijk veel uitgevoerd: vergelijkende LCA van mogelijke afvalverwerkroutes. Het doel van zo'n LCA is dan ook heel anders dan van een product-LCA.

mLCA kijkt verder waar de LCA van afvalverwerkroutes ophouden. Aan de basis van mLCA ligt dus een LCA van de afvalverwerkroute. Deze wordt vervolgens uitgebreid. Er is zowel extra inventarisatie nodig, als uitgebreidere model-lering.

De uitgebreidere inventarisatie moet de volgende vragen beantwoorden: kan een product uit het recycelaat nogmaals gerecycled worden? Welk materiaal wordt daarbij uitgespaard? Welk aandeel wordt ingezameld voor recycling? Wat is de uitval en energieverbruik bij recyclingprocessen? We hebben gezien dat uitvalpercentages niet altijd bekend zijn, mede doordat uitval soms 'tussen partijen in' gebeurt, en niemand zich er verantwoordelijk voor voelt

en dit dus niet goed wordt geregistreerd. Vanwege diverse recycling-mogelijkheden is het vaak nodig om meerdere deelscenario's op te stellen.

In de uitgebreidere modellering worden drie recyclingrondes opgenomen. Dit vergt een gestructureerde aanpak voor de modellering in SimaPro, met veel aandacht voor de massabalans.

#### 6.4.2 Wat voegt mLCA toe?

Het is zeker niet zo dat een mLCA de traditionele LCA vervangt. Uit de cases zien we dat een multicyclus-LCA aanvullende informatie kan bieden aan een traditionele LCA:

- In sommige cases versterkt de mLCA de ranking die uit een traditionele LCA zou komen.
- Er zijn ook voorbeelden waarin de mLCA nieuwe inzichten biedt. Een voorbeeld is hoe recycling zich verhoudt tot verbranding: dit kan omslaan met meerdere keren recycling.
- Ook zijn de plaatjes met curves voor 1x tot 5x recycling inzichtelijk. Hoe sterker de curve afvlakt, hoe meer materiaaluitval er plaatsvindt. Het wordt nog duidelijker dat het belangrijk is om uitval te voorkomen en materiaal met hoge milieubelasting uit te sparen.
- Als er voor (vrijwel) alle milieueffecten en -indicatoren een milieu-impact optreedt, dus geen winst, kan een recyclingroute als laagwaardig beschouwd worden.

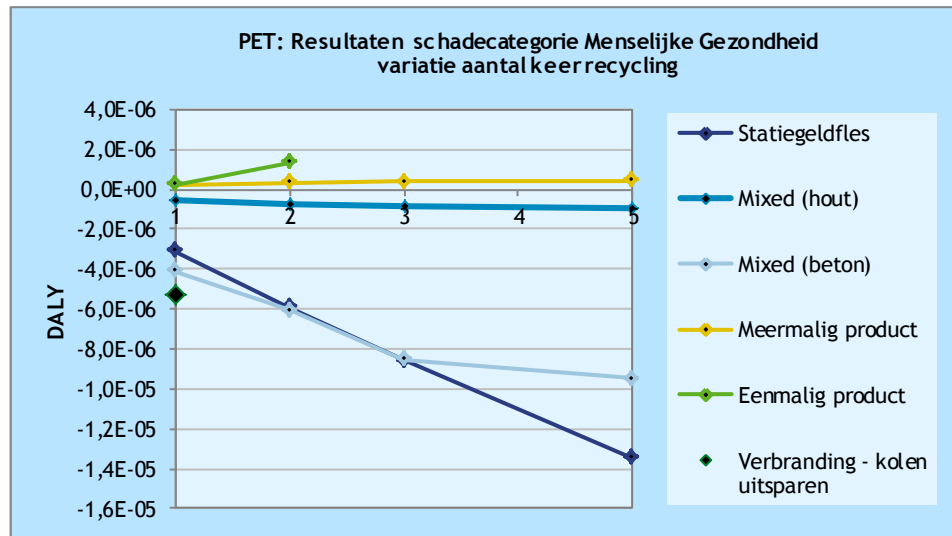
Met name in lastige debatten over recycling versus verbranding (bijvoorbeeld houtverbranding voor duurzame energie versus hout recycling of kunststof-recycling versus inzet in een cementoven) geeft de mLCA-methodiek een nuttig beeld van de milieueffecten over meerdere cycli. Dit nuanceert sterk de resultaten van een enkele LCA-berekening. Dit is zeker ook van nut als energie-inzet subsidie vergt en recycling niet, zoals in het geval van hout.

Hieronder volgen wat voorbeelden aan de hand van de cases.

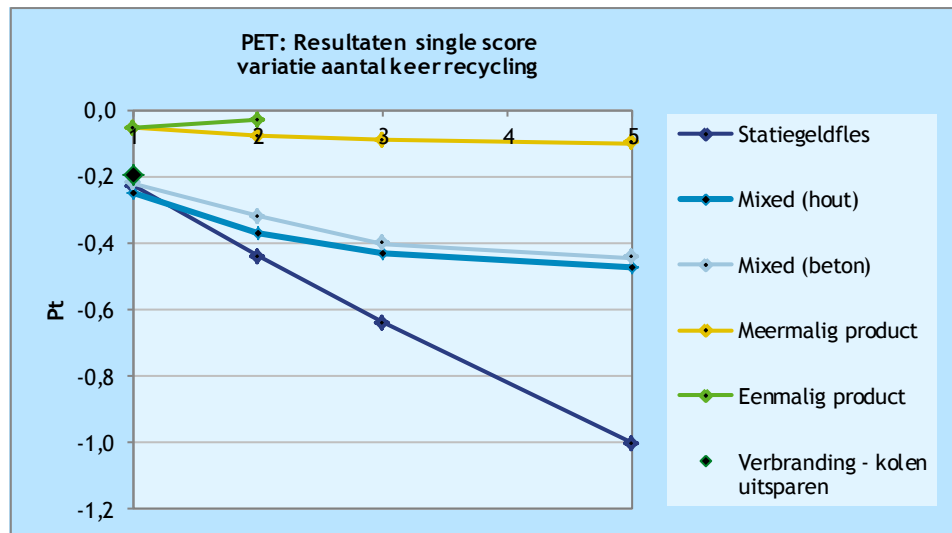
Zowel bij de PET-case als de houtcase zijn er diverse analyses - hieronder zijn er drie getoond - waarbij de volgorde bij 1x recycling anders is dan bij 3x recycling. Bij het eerste en derde plaatje is daarnaast te zien dat de gunstige score voor verbranding (1x recyclen) na meerdere keren recycling wordt ingehaald door recycling. De curves geven meer inzicht dan de resultaten van 1x recycling alleen.



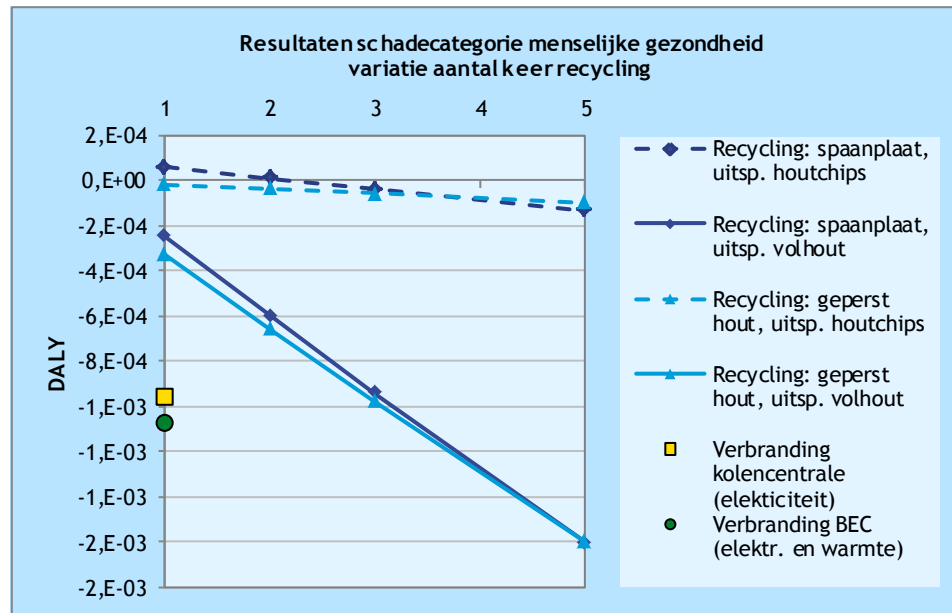
Figuur 10 Resultaten PET, schadecategorie menselijke gezondheid, één tot vijf keer recylen



Figuur 11 Resultaten PET, ReCiPe single score, één tot vijf keer recylen



Figuur 12 Resultaten hout, schadecategorie menselijke gezondheid, één tot vijf keer recycelen



In de meeste analyses biedt de mLCA een versterking van resultaten na 1x recycelen. Vaak laat het duidelijk de superioriteit van een van de routes zien, duidelijker dan bij 1x recycelen.

Detailresultaten geven meer inzicht in welke fracties vooral nuttig zijn om meermaals te recycelen. Zo is in de autowrakcase het meermalig recycelen van kunststof dominant t.o.v. de recycling van glas.

### 6.4.3 Nadelen van mLCA

Multicyclus-LCA is gevoelig voor aannames en keuzes in de inventarisatie, meer nog dan traditionele LCA. De gevoeligheid geldt vooral voor:

- Percentage inzameling en uitval van materiaal.
- Welk virgin-materiaal door het recyclaat wordt uitgespaard?
- Keuze/beschikbaarheid van de milieugegevens van uitgespaard materiaal.

Vaak berust de keuze op *expert opinions*. Maar experts zijn het onderling niet altijd eens en soms zijn er gewoon ook meerdere opties mogelijk.

Een onzekerheid van 10% wordt na 3x recycling een onzekerheid van 30%.

We zien dat het belangrijk is om een robuuste, goed uitgevoerde traditionele LCA als basis te hebben. Daarnaast is de robuustheid van toegevoegde inventarisatie belangrijk, zoals uitvalspercentages en recyclingmogelijkheid bij een 2de en 3de keer recycelen. Hoe onzekerder deze gegevens, hoe onzekerder de resultaten.

Enkele voorbeelden, afkomstig uit de cases:

1. Bij betongranulaat als funderingsmateriaal is het doorslaggevend welk materiaal wordt uitgespaard. Dit funderingsscenario is eigenlijk hypothetisch: betongranulaat wordt sinds jaar en dag ingezet als fundering en er is geen eenduidigheid welk materiaal zou worden uitgespaard. De resultaten kunnen enorm verschillen al naar gelang de keuze voor uitgespaard materiaal (steen of cement, of een mengsel?).
2. Bij betonrecycling tot originele componenten, een route in ontwikkeling, komt gehydrateerd cement vrij. Als dit cementshydraat volledig superplastificeerder uitspaart (zoals nu is gemodelleerd), dan leidt dat tot

een grote milieuwinst, omdat superplastificeerder een hoge impact heeft. Zo niet, dan kelderen de resultaten. Het resultaat is dus zowel afhankelijk van de milieugegevens van superplastificeerder als de aanname dat het cementhydraat 100% inzetbaar is als superplastificeerder.

3. PET: onzekerheid bij inzameling mixed kunststofproducten.
4. Mixed kunststofproducten kunnen worden gerecycled, maar het is ons onbekend of het daadwerkelijk gebeurt en welk deel van de producten wordt ingezameld voor recycling. We hebben 50% inzameling als basis aangenomen, maar het resultaat is erg gevoelig voor deze aanname. De impact kan 50% hoger of lager zijn (bij 80% en 20% inzameling).
5. Autowrakken: onzekerheid over scheiding kunststof in (dichtheids)fracties. Bij verdeling van gemengde plastics over verschillende fracties met verschillende recyclingpercentages wordt bij multicyclus-LCA een extra onzekerheid toegevoegd, omdat moeilijk te voorspellen is of het gerecycleerde plastic zijn precieze dichtheid behoudt en hoe het zich in een volgende recyclingcyclus over die fracties verdeelt.

De betoncase laat zien dat gevoeligheid van het mLCA-model vooral speelt bij toekomstige scenario's of hypothetische scenario's. Zoals we ook melden in Hoofdstuk 3 (resultaten): de resultaten van de betoncase zijn momenteel niet robuust genoeg om harde conclusies aan te verbinden.

De gevoeligheid betekent ook dat het niet mogelijk is om conclusies te trekken als er slechts kleine verschillen tussen verwerkroutes zijn.

**Let op: gevoeligheid voor aannames en keuzes is groot!**

De LCA-uitvoerder moet zich er van bewust zijn dat in het mLCA-model aannames en keuzes versterkt doorwerken al naar gelang er meer recyclingrondes plaatsvinden. Bij ranking en beoordeling van diverse routes is het zeer belangrijk om gevoeligheidsanalyses uit te voeren voor aannames/keuzes die bepalend zijn voor de massabalans en de impact van uitgespaard materiaal. Meer nog dan bij traditionele LCA.

Aanbevolen wordt om met ranges van uitkomsten te werken.

#### 6.4.4 mLCA, ISO en PEF/OEF

De ISO-standaarden geven richtlijnen voor goede uitvoer van LCA. Daarnaast is de laatste jaren op Europees niveau gewerkt aan meer gedetailleerder LCA-richtlijnen in het PEF/OEF-traject<sup>19</sup>.

De quickscan-LCA's die in dit project zijn uitgevoerd voldoen niet geheel aan de ISO-richtlijnen. De analyses zijn uitgevoerd om het LCA-model te toetsen en niet om een volledig kloppend beeld van de recyclingroutes te geven.

Er missen onderdelen, zoals:

- zwaartepuntanalyse: welke aspecten dragen het meest bij aan de resultaten?;
- betere bestudering van neveneffecten (nadelig en voordelig);
- structurele uitvoer van gevoeligheidsanalyses op de voornaamste aannames/keuzes;
- beoordeling van datakwaliteit;
- review (bij vergelijkende LCA is panel review nodig (drie personen)).

<sup>19</sup> PEF= product environmental footprint; OEF = organizational environmental footprint.

mLCA-studies, die ISO-conform worden uitgevoerd, zullen omvangrijke projecten zijn. Ten eerste moet de LCA die aan de basis ligt van mLCA conform ISO zijn. Daarnaast is er meer data-inventarisatie en meer onzekerheid in de resultaten. De studie zelf is omvangrijker en dus ook het te reviewen werk.

### **Weging en (m)LCA**

De ISO-richtlijnen staan weging niet toe. De handleiding van PEF is minder strict: weging is niet verplicht of aan te raden, maar mag wel. De PEF-guide volgt de ILCD-methode. Deze is in ontwikkeling. Een van de ontwikkelingen is dat men werkt aan het toevoegen van endpoints (nog niet beschikbaar voor gebruik in SimaPro) (EC, 2010). Per milieueffect wordt onderzocht hoe die kan worden omgerekend naar schade. Hierbij worden niet per se dezelfde schade-categorieën als in ReCiPe genomen, hoewel omrekening naar DALY (menselijke gezondheid) voor enkele milieueffecten wordt aangehouden. Als interim endpoints verwijst ILCD naar de methoden die in de ReCiPe-methodiek worden gebruikt.

## **6.5 Conclusie volgend uit de casestudies**

### **6.5.1 Beoordeling van de resultaten van de cases op een rij**

#### **PET**

- Bij deze case is het belangrijk te beseffen dat de systemen niet even volgroeid zijn. Statiegeld is een lang bestaand systeem, bronzameling is in Nederland in 2010 gestart en zal nog verder verbeteren. De verschillen tussen deze twee opties zijn daarmee een momentopname. Ook is bronscheiding een totaaloplossing voor alle kunststoffen en statiegeld alleen van toepassing op flessen waardoor ook op dit punt de routes in de cases minder goed vergelijkbaar zijn.
- Midpoints: 1 recyclingroute - recycling tot mixed kunststofproduct met uitsparing van hout - lijkt het minst goed te scoren (11 v/d 18 milieueffecten). Resultaten (ranking) van de overige routes wisselen. Impact of milieuwinst wisselt ook per milieueffect.
- De endpoints ontkrachten de voorlopige conclusie over de mixed kunststof route met uitsparing van hout. Er tekent zich een beste route (recycling tot PET-fles via statiegeld) en een slechtste route af (recycling tot eenmalig product dat daarna wordt verbrand), maar dit is nog niet unaniem voor alle drie de endpoints. De ranking varieert voor de overige routes. De meeste routes hebben milieuwinst op alle drie de endpoints.
- De single score geeft duidelijkheid. Er is een duidelijke beste en minste variant (tot PET-fles via statiegeld; tot eenmalig kunststofproduct dat niet kan worden gerecycled). Dit geldt ook bij weging volgens andere perspectieven. Alle recycleroutes en verbranding met uitsparing van kolen leveren een milieuwinst op (geen impact). De resultaten van de andere routes blijven stuivertje wisselen qua ranking.
- De mLCA-methodiek met 3x recycling versterkt de verschillen in resultaten ten opzichte van een traditionele LCA-berekening van recycling (1x recycling).

## A/B-hout

- Bepalend in deze casestudie is welk materiaal wordt uitgespaard door recycling. Voor beide recyclingroutes kan men redeneren dat er ofwel volhout ofwel houtchips wordt uitgespaard.
- Recycling van volhout scoort beter dan houtchips op alle milieueffecten en -indicatoren.
- De mLCA-methode voor afvalhout laat zien dat het doorrekenen van drie cycli duidelijk een ander beeld kan geven dan een LCA-berekening die slechts naar één cyclus kijkt. Waar een één-cyclusanalyse voor veel milieueffecten verbranding met energieproductie als de beste opties aanwijst omdat er kolen en gas stook wordt voorkomen wijst de mLCA-methodiek aan dat met een analyse van drie recyclingcycli hout beter scoort dan verbranding op vrijwel alle milieuthema's. Verbranding scoort bij 3x recycling slechter dan recycling op alle milieuthema's, behalve op klimaatimpact, aantasting van de ozonlaag en uitputting van fossiele brandstoffen.
- Bij weging (op vier verschillende manieren) is er een duidelijke ranking. Er is voorkeur voor recycling met uitsparing van volhout. Daarna scoort verbranding beter dan recycling tot spaanplaat.

## Betonpuin

- Dit is een theoretischer casus dan de overige cases. Recycling tot oorspronkelijke componenten is in ontwikkeling. Recycling tot fundering wordt standaard toegepast, zodat niet vaststaat welk materiaal hierdoor in de praktijk wordt uitgespaard.
- Ondanks de theoretische component en de onzekerheid die dat voortbrengt, laat deze casus goed zien dat uitsparing van milieu-intensief materiaal belangrijk is. Alle drie de routes kennen weinig uitval, maar er is verschil door wat er wordt uitgespaard.
- Recycling tot fundering en tot oorspronkelijke componenten sparen in theorie milieu-intensieve materiaal uit (zandcement, cement, superplast). Daardoor hebben zij de meeste milieuwinst. Recycling tot granulaten (grof en fijn) waarbij grind en zand wordt uitgespaard hebben een lagere score, omdat de winst door uitgespaarde materialen veelal lager is dan de impact van verwerking en transport.
- Op midpoint-niveau lijkt de ranking de funderingsroute aan te wijzen als beste route, maar als we kijken naar schade (endpoint-niveau) dan heeft recycling tot oorspronkelijke componenten de beste score voor twee van de drie schadecategorieën.
- De single score laat milieuwinst zien voor recycling tot fundering en tot oorspronkelijke componenten. Oorspronkelijke componenten als net iets betere score. Recycling tot zand- en grindvervanger heeft een milieu-impact.

## Autowrakken

- Endpoints, CED en Single Score geven dezelfde ranking.
- Dertien van de achttien midpoints bevestigen de ranking van de Endpoints. Voor de stortindicator is de volgorde andersom.
- De twee beste scenario's (III en IV, handmatige demontage van enkele onderdelen en verwerking van residu in de PST-fabriek) verschillen niet significant van elkaar. Verschillen met de andere twee scenario's zijn wel significant.
- De ranking die uit Recyclingronde 1 volgt is dezelfde als de ranking van de totaalscenario's van drie rondes.
- In detail zien de resultaten van Ronde 1 er anders uit dan die van Ronde 2 en 3. Dit komt vooral door verbrandingsprocessen die wel in Ronde 1 en

niet in de volgende rondes plaatsvinden (omdat deze materiaalfracties niet in Ronde 2 terecht komen).

- Bij verdeling van plastics over verschillende (dichtheids)fracties met verschillende recyclingpercentages wordt bij multicyclus-LCA een extra onzekerheid toegevoegd, omdat moeilijk te voorspellen is hoe het gerecycleerde plastic zich in een volgende recyclingcyclus over die fracties verdeelt.

### Dakafval

- Bij de endpoints scoren de twee materiaalrecyclingsscenario's (naar asfalt (A) en naar dakbedekking (B)) nagenoeg gelijk op Human Health en scoort Scenario A iets beter dan B op Ecosystems. Een groot verschil is te zien bij Resources, waarvoor Scenario A aanzienlijk beter scoort.
- De single score en CED zijn voor Scenario A het gunstigst.
- Op midpoint-niveau scoren zowel Scenario A als B op 10 Midpoint-categorieën het beste. Scenario C en D (verbranding in AVI en TAG-reinigingsinstallatie) hebben voor geen enkele midpoint de beste score.
- Wanneer alleen Recyclingronde 1 wordt beschouwd, liggen de scores van Scenario A en B zeer dicht bij elkaar. Wanneer drie cycli worden beschouwd zijn de verschillen groter.
- Bij Scenario B is de milieuwinst per kg recyclelaat hoger dan bij Scenario A, maar is ook het uitvalpercentage hoger. Dat levert na drie recyclingrondes een groter voordeel op voor Scenario A. In deze casestudie geeft kwantiteit dus de doorslag boven kwaliteit.

### 6.5.2 Welk type scenario scoort het best?

Er zijn meerdere aspecten die bijdragen aan een goede score. De volgende scenario's scoren over het algemeen het best:

- scenario met minste uitval: materiaalbehoud wordt goed beoordeeld in het model;
- scenario met inzet van recyclelaat op zelfde niveau (closed-loop, uitsparing van de originele primaire grondstoffen).

Tenzij er erg veel energie nodig is voor verwerking is dit een recept voor een goede milieuscore. Dit sluit aan bij het beleidsmatig beslismodel.

### 6.6 Beoordeling van stort

Stort gebeurt doorgaans met fracties die niet veel milieuwinst hadden opgeleverd wanneer ze zouden zijn gerecycled (zo ook in de autowrakcase). Een te storten fractie heeft doorgaans ook een lage calorische waarde, dus ook bij verbranding zou er nauwelijks milieuwinst zijn. Wel is er een verlies aan grondstoffen maar dat wordt in de LCA-methodiek over het algemeen minder zwaar meegerekend dan emissies met impact op natuur en mens. Het storten zelf geeft ook maar een kleine impactscore. De verwerking van deze fractie zal dus maar een zeer kleine bijdrage aan de LCA hebben, en derhalve zal een LCA-berekening ook niet resulteren in een duidelijke voorkeur voor wel of niet storten. Alleen de losse stortindicator is dus een duidelijke 'waarschuwingsslag' voor het vóórkomen van stort.

Wanneer de keuze gemaakt moet worden tussen het integraal verbranden van een afvalstroom of het scheiden van die afvalstroom in een deel dat wordt gerecycled en een residu dat moet worden gestort, zal de recyclebare fractie bepalend zijn voor de milieuscore (en speelt de te storten fractie maar een

kleine rol). De afweging wordt daarmee vereenvoudigd tot verbranden versus recyclen.

Tabel 4 geeft voor enkele materialen de milieuscores per kg van verbranden en recyclen. De cijfers zijn gebaseerd op algemene proceskaarten uit de LCA-database Ecoinvent en moeten gezien worden als indicatief.

Tabel 4 Score recyclen versus verbranden per materiaal (LCA-Pt, ReCiPe Single Score, per kg materiaal)

	Hout (grondstoffen spaanplaat)	LDPE	Papier	Glas	Metaal (pig iron)
Netto milieuscore recyclen	-0,012	-0,24	-0,14	-0,006	-0,21
Netto milieuscore verbranden	-0,034	-0,002	-0,058	+0,0028	+0,005 <sup>a</sup>

a: Deze score geldt voor alleen het verbrandingsproces. In de praktijk volgt bij metalen nog terugwinning uit bodemassen en recycling, waardoor de score veel gunstiger wordt.

In de meeste gevallen geeft recyclen een gunstiger score dan verbranden. Alleen bij biotische materialen zoals hout kan het verbranden gunstiger zijn (de emissie van biotische CO<sub>2</sub> geeft geen impact, maar de energieproductie geeft wel milieuwinst) in de bestaande LCA-methodiek. Wanneer we echter vanuit het mLCA-perspectief kijken zou na drie recyclingcycli ook bij hout het recyclen gunstiger scoren dan verbranden. Daarbij speelt ook nog dat het hout dan alsnog verbrand kan worden. De mLCA-methodiek die verder kijkt dan 1 cyclus geeft voor hout daarmee een scherper beeld dan de bestaande LCA-methodiek.

Voor metaal moet worden benadrukt dat dit materiaal na verbranding met hoge efficiëntie uit de bodemassen van de AVI wordt teruggewonnen en gerecycled. Verbranden en recyclen worden bij metalen dus altijd aan elkaar gekoppeld.

Integraal verbranden van een afvalstroom scoort beter dan scheiden gevolgd door recycling en storten als:

- het verbrandingsproces weinig impact heeft (bijv. biogene materialen);
- de calorische waarde van het materiaal hoog is;
- het recyclingproces ingewikkeld is (veel energie verbruikt);
- de uitgespaarde grondstoffen weinig impact hebben.

Uit de rekenvoorbeelden blijkt dat dit het geval kan zijn bij houtachtig materiaal. Recycling scoort beter op de meeste milieueffecten, behalve op klimaatimpact, aantasting van de ozonlaag en uitputting van fossiele grondstoffen. Hier blijft verbranding beter scoren, ook na 3x recyclen. Bij een analyse met mLCA (meerdere recyclinggrondes) zien we dat het cascaderen van hout zin heeft: na 5x recycling scoort recycling op alle milieueffecten beter dan verbranden.

Hoewel de LCA-berekening dus in principe een voorkeur voor recycling/stort boven verbranding zal opleveren, betekent dit nog niet dat stort wenselijk is. De ruimte voor stort blijft in Nederland zeer beperkt, en dus zal een afvalverwerker nog steeds moeten aantonen dat stort van het residu echt



onvermijdelijk is. Vanuit praktisch oogpunt zal er toch een grens aan de te storten hoeveelheid moeten blijven bestaan.

Een maximaal stortpercentage is niet uit de LCA-berekeningen af te leiden, omdat dit in de berekening bijna geen rol speelt: noch bij storten noch bij verbranden draagt die fractie veel bij aan de LCA-score.

Voor de stortindicator uit de LCA-methode kan een (arbitrair) maximum worden gekozen van bijvoorbeeld 10%.<sup>20</sup>

De afweging verbranden versus recycling/stort geldt voor de volgende vier afvalstromen uit het Landelijk Afvalbeheerplan:

*Afval van openbare ruimten:* Dit bestaat vooral uit zand en biotisch organisch (houtachtig) materiaal. Bij 1x recycling heeft verbranding van hout de voorkeur boven recycling en stort. Het gaat hierbij vooral om klimaatimpact, aantasting van de ozonlaag en uitputting van fossiele grondstoffen. Bij 3x recycling liggen de resultaten al vlak bij elkaar en na vijf recyclingrondes is recycling integraal het meest gunstig.

*Shredderafval:* De autowrakken-casestudie laat zien dat een beetje stort met tegelijk closed-looprecycling van glas de voorkeur verdient boven (laagwaardige) recycling tot bouw materiaal van de gehele minerale fractie uit de PST-fabriek. In deze casestudie is geen vergelijking met verbranden gemaakt.

*Huishoudelijk restafval:* Deze afvalstroom bevat veel componenten. Voor de abiotische fracties is het vrij zeker dat recycling de voorkeur heeft, en bij de biotische fracties is stort ongunstig vergisting en inzet van digestaat het meest gunstig.

*Restafval van bedrijven:* Ook dit is een zeer diverse stroom, die enigszins lijkt op huishoudelijk restafval. Voor de abiotische fracties heeft recycling waarschijnlijk de voorkeur, en bij de biotische fracties is mogelijk verbranding het gunstigst.

### Conclusie

De (m)LCA-methodiek geeft geen duidelijk antwoord op de vraag of een beperkte hoeveelheid stort toegestaan zou moeten worden als er meer hoogwaardige recycling mogelijk is hierdoor. Dit komt vooral door het punt dat de maatschappelijke wens om zo min mogelijke stortplaatsen te hebben in Nederland is niet vertaald in de LCA-methodiek.

## 6.7 Toepassen van de mLCA-methodiek: micro en macro

De mLCA-methodiek is ingericht op het beantwoorden van micro/meso-vragen: het beoordelen van het verwerken van een bepaalde hoeveelheid materiaal via vooropgestelde recyclingroutes. De micro- en meso-vragen die kunnen worden beantwoord zijn bijvoorbeeld welke route voor een bepaalde afvalstroom het meest en minst gunstig zijn wat betreft milieu-impact. Het meest gunstig zijn die recycleroutes waardoor een milieu-intensief materiaal wordt uitgespaard en die met weinig verlies meerdere malen recycling mogelijk maken.

---

<sup>20</sup> Ter vergelijking: in de Green Deal Verduurzaming nuttige toepassing AEC-bodemas is het doel om bodemas te reinigen tot niet-IBC materiaal, met maximaal 15% te storten residu.

Macro-vragen zijn vragen op grotere schaal, zoals scenario-analyses, die antwoorden zoeken op hoe de circulaire economie er uit moet gaan zien of hoe al de totale verwerking van een afvalstroom in Nederland het best opgezet kan worden. Hiervoor geeft het mLCA-model geen complete antwoorden. Er zijn altijd andere factoren die ook een rol spelen en in ogenschouw moeten worden genomen, buiten de milieuwinst van een enkele recyclingroute. Denk aan economische gevolgen en milieukundige neveneffecten als een route grootschalig zou worden doorgevoerd. mLCA kan wel helpen bij het opstellen van gedeeltelijke milieukundige antwoorden. Keuze voor technieken met een goede mLCA-score zullen over het algemeen beter passen binnen een totaal circulaire economie maar een compleet plaatje geeft de mLCA nog niet.

Het is echter wel denkbaar om het mLCA-gedachtengoed te gaan toepassen op een scenario-analyse. Complete afvalstromen dienen dan gevolgd te worden in een aantal stappen door de hele economie. Voor een echt compleet beeld zou de vraag naar verschillende materialen/producten ook gemodelleerd moeten worden waarmee met geregeld en steeds minder aanvulling van virgin-materiaal een 'circulariteits-roadmap' geanalyseerd kan worden.

# 7 Vergelijking beleidsmodel en mLCA-model

## 7.1 Inleiding

In dit project is op twee manieren cijfermatige invulling gegeven aan het begrip 'hoogwaardige recycling: via beleidsmatige beslisregels en via meer wetenschappelijke milieukundige berekeningen (levenscyclusanalyse). Hier zijn twee aanpakken uit voortgekomen: het multi-cyclus LCA-model (mLCA) en een beleidsmodel.

Beide modellen zijn geschikt om verschillende recyclingroutes voor een specifieke afvalstroom te vergelijken.

In dit hoofdstuk vergelijken wij de resultaten van het beleidsmodel en het mLCA-model toegepast op de vijf casestudies. Daarna wordt er gekeken in hoeverre er overlap is in de beoordeling van de recyclingroutes door beide modellen. Op grond daarvan wordt beoordeeld wat een best passende aanpak is onder welke voorwaarden.

In dit hoofdstuk halen we eerst de kernpunten van de mLCA-methodiek en het beleidsmodel terug. Vervolgens vergelijken we de principes achter beide methoden. Daarna volgt een vergelijking van de resultaten van de vijf casestudies. Tot slot trekken we conclusies over de werking van beide modellen en een proces hoe beide modellen te hanteren in de praktijk.

In Hoofdstuk 8 zetten we onze eindconclusies en aanbevelingen betreffende beide modellen op een rij.

## 7.2 Kernpunten mLCA-model en beleidsmatig beslismodel

### mLCA

Het mLCA-model is gestoeld op een zo compleet mogelijke cijfermatige analyse van de effecten op milieu en grondstoffen van recyclingroutes. Ten opzichte van de standaard LCA-berekeningen voor recyclingprocessen is een aanvulling gemaakt: met het mLCA-model wordt ook gekeken wat na de eerste recyclingronde nog mogelijk is met het verkregen materiaal. Kan het nog een keer gerecycled worden? En via welke kwaliteit van materiaal? Met de mLCA-aanpak kan worden berekend welke milieu-impacts en milieuwinsten er optreden bij het meermaals recyclen. In de mLCA-methodiek berekenen de effecten van maximaal 3x recycling omdat na die 3x er voldoende lange termijnbeeld ontstaat en omdat nog verder weg kijken meer onzekerheid toevoegt in de analyse.

Deze toevoeging maakt dat de mLCA-methodiek meer aansluit op het gedachtengoed van de circulaire economie. Aan de andere kant maakt dit dat de resultaten meer onzekerheid bevatten en wat theoretischer is dan traditionele LCA. Vaak valt niet heel zeker te zeggen wat er over vele jaren met het product gaat gebeuren dat nu uit recycklaat gemaakt wordt, zeker als

het product een lange levensduur heeft. Een goede rapportage van onzekerheden is dus belangrijk bij de mLCA-methodiek.

Het mLCA-model is geschikt om verschillende recyclingroutes van een specifieke afvalstroom te vergelijken op de mate van hoogwaardigheid. De uitkomst van een mLCA-berekening geeft geen oordeel over het wel of niet hoog- of laagwaardig zijn. Wel leiden de mLCA-berekeningen tot een ranking van recyclingroutes.

### **Beleidsmatig beslismodel (in het kort: beleidsmodel)**

Het beleidsmodel gaat uit van de hoeveelheid daadwerkelijk gerecycled materiaal vermenigvuldigd met een aantal kwaliteitsfactoren. Het model is een manier van beleidsmatig redeneren die lijkt op de veel gebruikte Ladder van Lansink (of afvalhiërarchie).

Het beleidsmodel beoordeelt vier aspecten:

1. De hoeveelheid verkregen recyclelaats die wordt toegepast (H).
2. De vraag of het recyclelaats wordt toegepast als materiaal in hetzelfde type product of sterk vergelijkbaar of dat er sprake is van toepassing in producten met een lagere waarde.
3. En daaraan gerelateerd: Is het materiaal - recyclelaats later opnieuw recyclebaar en zo ja, in welke vorm?
4. Het energieverbruik (niet-hernieuwbaar primair energieverbruik) voor recyclingprocessen en transport in relatie tot virgin-productie. Hoe lager, hoe beter.

Deze aspecten zijn gecombineerd in de basisregel van het beleidsmodel, door de scores te vermenigvuldigen.

De hoeveelheid krijgt een score van 0 tot 100%, berekend op basis van de hoeveelheid verkregen granulaats t.o.v. starthoeveelheid. Kwaliteit wordt beoordeeld met een score van 1, 0.5, of 0.25 en energieverbruik met een score van 1, 0.5, 0.25 of 0 (er zijn dus drie of vier gradaties). Een recyclingroute krijgt een hoge score als de drie aspecten - hoeveelheid 'H', kwaliteit 'q' en laag energieverbruik 'e' - goed scoren.

Parallel wordt onderzocht of er ook nog een economische correctiefactor in het beleidsmodel opgenomen moet worden ('s' van scarcity). In dit rapport wordt daar verder niet op in gegaan.

## **7.3 Methodische vergelijking**

In deze paragraaf bespreken we de overeenkomsten en verschillen van de twee modellen qua aanpak. In Tabel 5 zijn de kenmerken van het mLCA-model en het beleidsmodel op een rij gezet.

Tabel 5 Methodische vergelijking mLCA- en beleidsmodel

Kenmerken	mLCA-model	Beleidsmodel
Hoofdaanpak en uitkomst	LCA-analyse van de milieu-impacts en winst van meerdere alternatieve recyclingroute, waarbij drie opeenvolgende rondes van recycling wordt berekend. Op basis van de berekende milieu-impactscores van de recyclingroutes wordt een ranking gegeven van de mate van hoogwaardigheid.	Een vuistregel voor verschillende recycling die technieken indeelt naar hoeveelheid verkregen recyclaat, kwaliteit van recyclaat in relatie tot grondstofgebruik/uitsparing en energiegebruik voor recycleprocessen. Het beleidsmodel berekent een waarde tussen 0 en 100%.
Meegenomen aspecten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkregen hoeveelheid recyclaat met inbegrip van uitval en eventueel ook <i>response rate</i> bij inzameling.</li> <li>– Vermeden productie virgin-grondstoffen.</li> <li>– Emissies door recycleprocessen (door hulpstoffen, energie en transport).</li> <li>– Effecten over drie recyclerondes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkregen hoeveelheid recyclaat: inbegrip van uitval en eventueel ook <i>response rate</i> bij inzameling.</li> <li>– Toepassing van het recyclaat in verschillende graden (en is het opnieuw te recyclen?).</li> <li>– Energiegebruik van recycleprocessen in vergelijk met virgin-productie.</li> </ul>
Beoordeling via de eenheden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Drie schadecategorieën (endpoints).</li> <li>– Achttien milieueffecten en -indicatoren.</li> <li>– Indien noodzakelijk voor conclusie: ReCiPe single score.</li> </ul>	Dimensieloos percentage of hoogwaardigheidsscore.
Schaal van hoogwaardigheid	Methodiek geeft cijfermatig resultaat dat verschilt per case en techniek. Indeling van 0-100% is te maken op basis van laagste en hoogste score maar is case-afhankelijk.	Methodiek geeft score tussen 0 en 100% die gezien kan worden als mate van hoogwaardigheid.
Dominante aspecten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale hoeveelheid verkregen recyclaat na drie recyclerondes (inzamelrespons &amp; uitval bij recycling).</li> <li>– Vermeden emissies door vermeden virgin-productie, na drie recyclerondes.</li> <li>– Energieverbruik voor recycleprocessen (drie recyclerondes).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale hoeveelheid verkregen recyclaat (inzamelrespons &amp; uitval bij recycling).</li> <li>– Toepassing als materiaal in een vergelijkbaar product of vergelijkbaar productieproces.</li> <li>– Energieverbruik.</li> <li>– Mogelijkheid meerdere keren recycling.</li> </ul>
Precisie	<p>Geschikt voor produceren van een ranking, maar precisie is afhankelijk van:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– theoretische of bestaande recycleroutes;</li> <li>– consensus over vermeden virgin-materiaal;</li> <li>– hoe verder in de toekomst je kijkt (hoe meer cycli), hoe groter de onzekerheid;</li> <li>– databeschikbaarheid.</li> </ul> <p>Met gevoeligheidsanalyses kan robuustheid van ranking onderzocht worden.</p> <p>Pluspunt: vele milieueffecten en -indicatoren zijn inbegrepen.</p>	<p>Grovere benadering dan mLCA-model. Processen zijn ingedeeld in categorieën en daardoor bevat de analyse minder (milieu-)aspecten van de recycleroutes.</p> <p>De parameters omvatten niet alle milieukundige aspecten. Daardoor is het model minder geschikt voor beoordeling van recycling van met name biotische materialen.</p>
Discussiepunten	<p>Welk milieueffect of -indicator is leidend voor de conclusie? Voorkeur voor beoordeling op schadecategorieën, maar dit is niet altijd doorslaggevend. Oordeel 'is het laag- of hoogwaardig' wordt met mLCA-methode niet beslecht. Is recycling tot grondstof in een ander domein dan het oorspronkelijke per definitie nog wel hoogwaardig te noemen?</p> <p>Er is nu (nog) vrijheid in de afbakening: Inclusief of exclusief inzameling van materiaal ter recycling bij 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> ronde? Gaan we voor een meer theoretische benadering (exclusief inzameling) of zoveel mogelijk volgens de praktijk (inclusief)?</p>	Nu gericht op 1x recycling. Meerdere recycling-rondes maakt het minder precies, maar laat het wel meer aansluiten op mLCA-model.

### **Belangrijkste overeenkomsten beleidsmodel en mLCA**

- beide modellen houden rekening met de hoeveelheid en kwaliteit van het verkregen recyclaat en of dit geschikt is voor verdere recycling;
- beide modellen leiden tot een lage score als er weinig recyclaat wordt geproduceerd;
- beide modellen leiden tot een hoge score als er veel materiaal meerdere malen worden gerecycled met een laag energiegebruik in de recyclingketen.

De mLCA-berekeningen ondersteunen de hypothese dat technieken die meerdere recyclingrondes mogelijk maken met weinig uitval en weinig energiegebruik goed scoren. Meer uitval en meer energiegebruik laten de mLCA-waarde snel dalen. De 1, 0.5, 0.25 of 0 stappen in het beleidsmodel sluiten hierbij aan.

### **Verschillen beleidsmodel en mLCA**

- De mLCA-berekening kijkt naar alle milieuaspecten. Het beleidsmodel neemt (uitsparen) grondstoffen en energiegebruik als grove maat voor deze aspecten.
- Het mLCA-model: Geeft alleen een ranking van hoogwaardigheid aan en doet geen absolute uitspraak. De score van het beleidsmodel kan in de buurt van 100% wel beschouwd worden als absoluut hoogwaardig.
- Het mLCA-model is beter geschikt dan het beleidsmodel om (de impacts van) verbranding te vergelijken met recycling. Hierbij leidt de 3x-recyclingaanpak van het mLCA-model tot nieuwe inzichten. Zo draait bij hout de voorkeursvolgorde om: de benadering in de mLCA geeft de voorkeur aan recycling, terwijl berekening van slechts 1x recycling (traditionele LCA) een milieuvoorkeur geeft voor verbranding (en 3 maal recycling en ook nog verbranding scoort nog beter).
- Voor biotische grondstoffen sluit de mLCA goed aan bij de beleidsmatige wens om biomassa gecascadeerd in te zetten (zie het Energieakkoord 2020-23).
- Het beleidsmodel doet een percentuele beoordeling in drie grove stappen (1, 0.5, of 0.25) de mLCA-berekening geeft kleinere verschillen preciezer weer.

### **Houtcase: mLCA keert LCA-resultaten om**

Bij deze biomassacase sluit de conclusie ook goed aan bij economische parameters. Inzet voor energie kost namelijk subsidiegeld (SDE+) en recycling hoeft niet gesubsidieerd te worden. De mLCA-methodiek lijkt voor hout een goede methodiek.

### **Andere cases**

Bij de PET-case worden de bestaande verschillen in de eerste aanleg al aanwezig vooral versterkt. Ook bij de andere cases worden de verschillen vooral vergroot door meer cycli mee te nemen.

Bij de dakafvalcase valt op dat de verschillen tussen de twee recyclingroutes (naar asfalt en dakbaan) na één recyclingronde klein zijn: bij asfalt is er minder uitval en bij dakbaan geeft het uitgespaarde materiaal meer milieuwinst per kg. Wanneer meerdere recyclingrondes worden beschouwd scoort het asfaltscenario relatief steeds beter, doordat er meer materiaal in de cyclus blijft dan bij het dakbaanscenario.

Bij de mLCA-berekeningen is wel opgekomen dat de onzekerheden in de absolute waarden duidelijk toenemen bij de drie cyclibenadering.

De verschillen worden dus groter tussen de technieken maar de onzekerheid ook, dus het onderscheidend vermogen neemt maar beperkt toe.

Bij de PET-case speelt de economie anders mee dan bij de houtcase. PET-recycling kost op dit moment namelijk geld (bijdrage bedrijven voor bron- en nascheiding via afvalfonds of statiegeldkosten). Deze cyclus driemaal doorlopen geeft meer milieuwinst maar dus ook meer kosten. In het vervolg economische project kan afgewogen worden hoe dit samen gewogen kan worden.

### **Conclusie en aanbevelingen meerdere cycli**

De mLCA-benadering sluit beter aan bij het gedachtegoed van circulaire economie en cascadering van biomassa dan de standaard LCA. De resultaten zijn echter wel onzekerder. Het lijkt ons het meest transparant als naast de mLCA-berekening ook de standaard LCA-berekening voor alleen de huidige cyclus wordt gepresenteerd.

## **7.4 Vergelijking mLCA en beleidsmodel aan de hand van de casestudies**

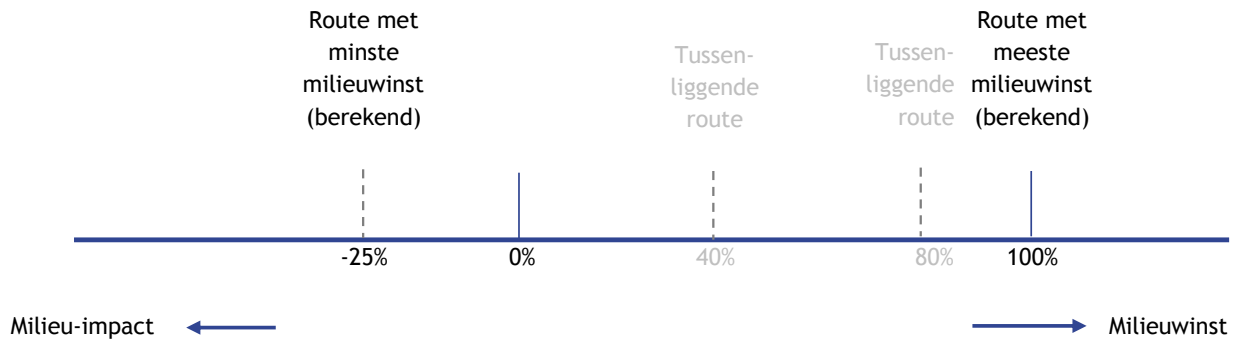
In deze paragraaf wordt kwantitatief onderzocht in hoeverre de mLCA-resultaten aansluiten bij de wat grovere beoordeling volgens het beleidsmodel. Dit doen we aan de hand van de vijf cases en de mLCA-resultaten voor de drie schadecategorieën en de single score.

Om de vergelijking te kunnen doen, rekenen we de mLCA-resultaten om naar een percentage. We hebben dit als volgt gedaan:

- De beste berekende milieuscore van een recyclingoptie krijgt een score van 100%.
- De overige berekende scenario's worden hieraan gerelateerd. Wanneer een scenario een milieu-impact levert (i.p.v. milieuwinst) dan is de score negatief (bijvoorbeeld -25%). De hoogte van de negatieve score is gerelateerd aan de hoogte van de 100%-score.

Een nadeel van deze indeling is dat de score afhankelijk van de geselecteerde recyclingroutes. Er zijn wellicht betere routes denkbaar. Het zou mogelijk moeten zijn om een ideale vorm van recycling te definiëren - met vrijwel geen uitval, weinig transport en laag hulpstoffenverbruik - en groen energieverbruik - die een nominale 100% representeert. Het bepalen van een best-case, om de resultaten tegen af te zetten, is in dit onderzoek alleen gedaan voor kunststof. Het is een interessante vervolgdaging voor verdere verfijning van de mLCA-methodiek.

Figuur 13 Grafische weergave: bepaling van percentuele score mLCA (voorbeeld)



Tabel 6 toont de resultaten van de percentuele vergelijking. Voor het mLCA-model tonen we de resultaten voor de schadecategorieën en de single score. Voor het beleidsmodel is de standaardformule berekend, inclusief energie-factor. Daarnaast is als check een aangepaste formule gehanteerd, gericht op het berekenen van meerdere keren recycling (drie keer)<sup>21</sup>, om zo beter aan te sluiten bij de mLCA-resultaten.

Tabel 6 geeft het totaaloverzicht, maar is visueel nogal onduidelijk. Daarom lichten we, onder de tabel, een aantal resultaten er grafisch uit, om meer inzicht te bieden.

Voor deze analyse hebben we naar de drie endpoints en de twee manieren van het berekenen van basisregel van het beleidsmodel gekeken. De endpoints zijn hiervoor gekozen omdat zij een aantal milieueffecten aggregeren tot een effectscore op mensen, ecosystemen of voorraden. Het is ook mogelijk om te kijken naar de correlatie met midpoints maar dan is de kans veel groter dat de correlatiecase afhankelijk is omdat de cases heel verschillende scores op de midpoints.

<sup>21</sup> De aanpak voor de beleidsformule met meerdere cycli is als volgt: Met behulp van de geïnventariseerde gegevens van de mLCA wordt de massabalans bepaald per recycleroute. Dit levert drie scores voor hoeveelheid op. Ook de kwaliteit van het recyclelaat wordt beoordeeld na 1, 2 en 3 keer recyclen, op dezelfde manier als in de basisaanpak (drie graden: 25, 50 of 100%). Idem voor energieverbruik voor recycling. Voor alle drie recyclingrondes wordt een score berekend en deze score wordt gemiddeld. In de tabel ziet u de gemiddelde score.



Tabel 6 Vergelijking percentuele resultaten beleidsmodel en mLCA (omgerekend)

Case en routes	mLCA-model				Beleidsmodel	
	Schadecat. Ecosystemen	Schadecat. Grondstof-uitputting	Schadecat. Menselijke gezondheid	Single score standaard (H/A)	Beleids %	Meer cycli
<b>PET</b>						
Best-case	23%	100%	100%	100%	100%	100%
Statiegeld naar PET	21%	88%	88%	88%	95%	90%
Bronscheiding - hout	100%	1%	9%	59%	0%	0%
Bronscheiding - beton	17%	37%	87%	55%	14%	16%
Bronscheiding, weer in verpakking	-2%	24%	-4%	12%	55%	34%
Bronscheiding, eenmalig product	-4%	17%	-14%	4%	14%	18%
PET als brandstof	5%	16%	34%	21%	N.v.t.	N.v.t.
<b>Beton/puin</b>						
Funderingsmateriaal	92%	-25%	45%	23%	25%	25%
Grindvervanger	-44%	-37%	-46%	-42%	0%	0%
Oorspronkelijke componenten	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Autowrakken</b>						
Handmatige demontage, geen PST-fabriek	-100%	23%	-194%	15%	8%	7%
Geen handmatige demontage, residu naar PST-fabriek	-82%	97%	-9%	92%	19%	13%
Handmatige demontage glas + kunststof onderdelen, residu naar PST-fabriek	-31%	100%	94%	100%	32%	24%
handmatige demontage glas, residu naar PST-fabriek	-28%	100%	100%	100%	31%	23%
<b>A/B hout</b>						
Recycling, uitsparing houtchips	11%	4%	3%	10%	0%	0%
Recyclen uitsparing volhout	100%	61%	88%	100%	50%	50%
Verbranding in bio-energiecentrale	3%	78%	89%	12%	N.v.t.	N.v.t.
<b>Dakafval</b>						
Recyclen tot asfalt	100%	100%	86%	100%	49%	48%
Recyclen tot dakbaan	78%	78%	100%	82%	70 à 90%	70 à 90%
AVI verbranding	-53%	15%	-61%	2%	N.v.t.	N.v.t.
Verbranding in TAG-reiniger	-55%	16%	-63%	2%	8%	8%

**Box 2 Belangrijk noten bij deze resultaten**

De meeste van de hier gepresenteerde cases zijn gekozen omdat er al eerder een LCA over was uitgevoerd. Er kon dus gebruik gemaakt worden van bestaande onderzoeken die zijn aangescherpt voor deze mLCA-analyse, met inspraak van de begeleidingscommissie en brancheverenigingen.

Voor verschillende cases geldt dat de opties niet dezelfde mate van rijpheid qua techniek of implementatie in de markt hebben. Dit maakt dat het gaat om momentopnamen die kunnen veranderen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de vergelijking statiegeld en bronscheiding van PET.

We willen hier benadrukken dat de cases in deze studie bedoeld zijn om de methodiek op een realistische manier te toetsen en illustreren. Het is niet het doel om een definitieve vergelijking te maken tussen verschillende recyclingroutes.

Het betreft hier vijf casestudies. Er zijn echter veel meer afvalstromen. Alle conclusies zijn daarmee een startpunt voor de discussie over kwantificeren van hoogwaardigheid.

Hoofdconclusies op basis van de overzichtstabel zijn:

- De verschillen tussen de twee beleidsmodellen zijn relatief klein. Ons advies is om verder uit te gaan van de simpelere versie van het beleidsmodel.
- De schadecategorie grondstoffenuitputting van de mLCA-methodiek lijkt het best te correleren met de uitkomsten van het beleidsmodel voor de abiotische casestudies.
- Bij biotische grondstoffen (hout, in deze analyse) leidt verbranding bij mLCA-methode tot een vrij hoge score voor de schadecategorie grondstofuitputting (78%, een hoge milieuwinst). Dit komt niet overeen met het beleidsmodel, waar verbranding per definitie een score van 0% krijgt. Voor deze biotische casus komen de schadecategorie ecosystemen en de single score beter overeen met de beleidsbenadering. Dit komt doordat het landgebruik, dat een belangrijk thema is bij biotische grondstoffen, alleen is inbegrepen in de schadecategorie ecosystemen.

We verwachten dat de correlatie tussen de uitkomsten zal verbeteren wanneer voor de mLCA-berekeningen een best-case-scenario wordt gedefinieerd, een benchmark (100%-score) waar de andere scenarioresultaten aan worden gerelateerd.

In de volgende sectie lichten we wat detailresultaten toe, waaruit deze zijn voortgekomen.

### **PET: grafische vergelijking**

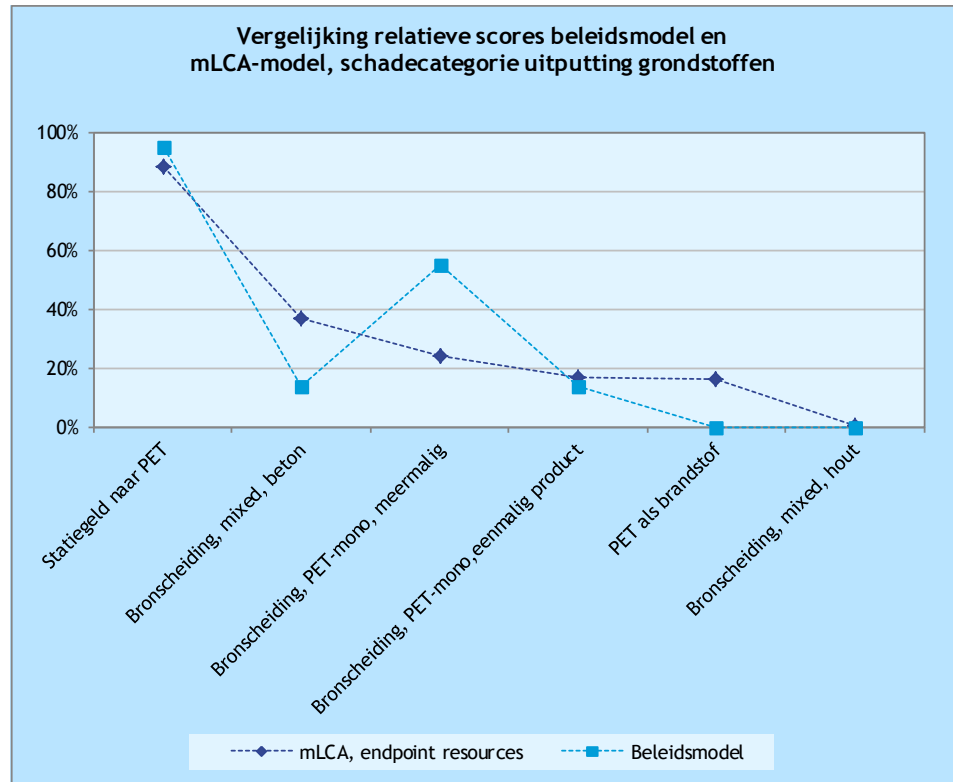
Voor extra inzicht hebben we de vergelijking ook grafisch gepresenteerd. Allereerst zijn, voor de PET-casus, de scores die volgen uit het beleidsmodel afgezet tegen de omgerekende mLCA-scores voor de schadecategorie grondstofuitputting. Voor PET komen de resultaten van deze schadecategorie het best overeen met de scores van het beleidsmodel. Als er sprake is van een milieunadeel, dus een negatieve milieuwinst, is dit als 0% gepresenteerd in de grafiek.

Er is een behoorlijke correlatie tussen de waarden. De resultaten lopen alleen uiteen bij toepassing van materiaal als betonvervanger en bij recycling via bronscheiding naar de PET-mono-stroom, tot meermalige te recyclen product. Het beleidsmodel is strenger voor de toepassing als betonvervanger dan de mLCA-methodiek. Het verschil in score komt zeker ook doordat er een ander materiaal wordt uitgespaard dan PET (namelijk beton). Ook in traditionele LCA-studies geeft uitsparing van een materiaal buiten het eigen domein meer variatie of extremere resultaten.

Bij bronscheiding naar de PET-mono-stroom, tot een meermalig te recyclen product, is het beleidsmodel juist een stuk optimistischer: 55 versus 25%. Voor dit scenario komt het ingewikkeldere beleidsmodel (3x recycling, niet getoond) dicht bij de mLCA-score (34 i.p.v. 55%).












Figuur 14 en Figuur 15 tonen de percentuele scores van het mLCA-model en het beleidsmodel schematisch voor de PET-scenario's.

Figuur 14 Grafische vergelijking percentuele scores, PET, schadecategorie grondstofuitputting



Voor het toepassen van PET als houtvervanger is er tussen de mLCA-endpoint resources en de beleidsformule overeenstemming dat dit niet hoog scoort. Hout scoort in de mLCA wel sterk op ecosystemen (landgebruik) maar niet op resources (fossiele energie en fossiele materialen). In de beleidsformule wordt deze optie door de energiefactor afgewaardeerd. Er namelijk meer energie nodig om PET-afval te bewerken dan om hout te produceren. Deze optie geeft dus aan dat voor opties met biotische stromen de resources endpoint niet veel zegt en dat in de beleidsformule de energiefactor beter zou worden met een aanpassing voor biotische materialen.

Figuur 15 PET-casus: grafische vergelijking van percentuele scores mLCA-model en beleidsmodel

PET	Beleidsmodel	mLCA, endpoint uitputting
Via statiegeld		
Via bronscheiding, mixed (hout)		
Via bronscheiding, mixed (beton)		
Via bronscheiding mono, meermalig recyclebaar product		
Via bronscheiding mono, eenmalig product		
Bijstook kolencentrale		

Onze conclusie op basis van de PET-casus is dat de methodieken overeenkomen wat betreft de best scorende en de minst scorende optie. De tussenliggende scenario's worden net iets verschillend geduid.

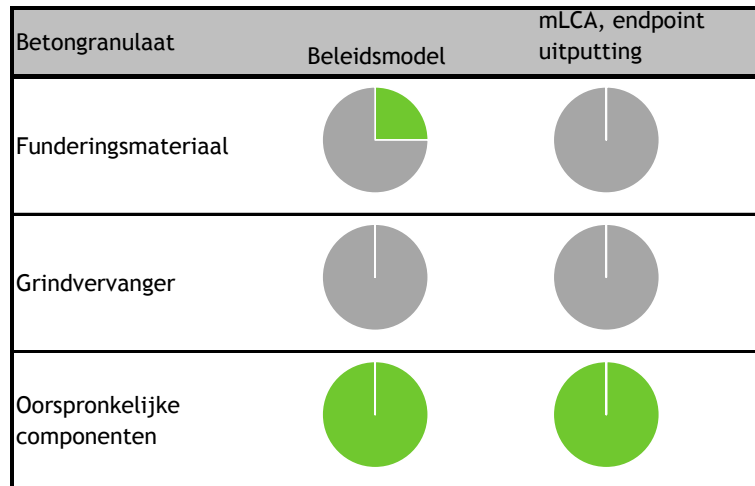
### Kanttekening

Deze analyse is niet bedoeld als complete vergelijking van een statiegeld- en een bronscheidingssysteem. We vergelijken hier uitsluitend op basis van de Planet-aspecten in het beleidsmodel. Daarbij is het statiegeldsysteem in Nederland een lang bestaand systeem. Het bronscheidingssysteem wordt uitgerold sinds 2010 en zal nog verder verbeterd worden. De vergelijking is daarmee een momentopname waarbij de verwachting is dat de verschillen tussen deze twee systemen gaan afnemen.

### Beton

Voor de casestudie beton wijzen alle indicatoren het toepassen als oorspronkelijke componenten aan als beste optie en het vervangen van grind als de minste. Toepassen als funderingsmateriaal scoort daartussen in. De schadecategorie grondstofuitputting in de mLCA-methodiek correleert het best met de scores van het beleidsmodel.

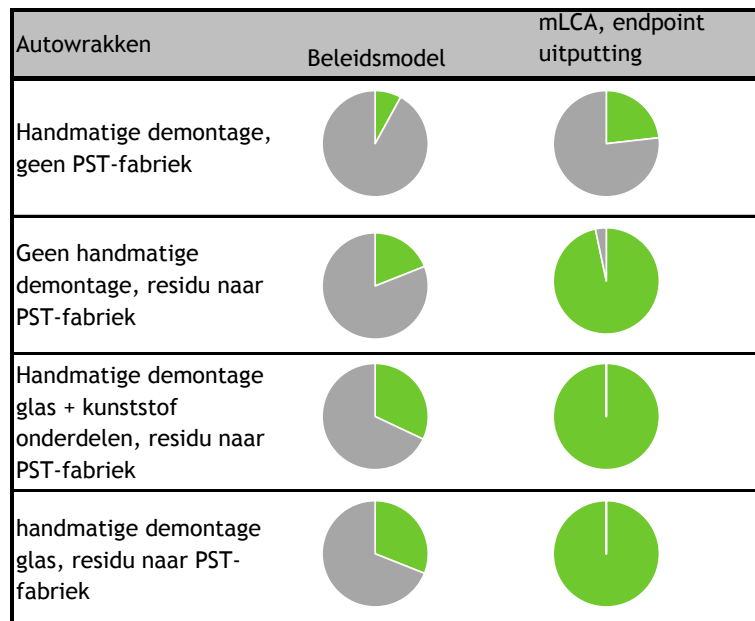
Figuur 16 Beton-casus: grafische vergelijking van percentuele scores mLCA-model en beleidsmodel



### Autowrakken

Bij de autowrakkencasus valt op dat het beleidsmodel maximaal tot een score van 32% komt. Dit geeft aan dat de recyclingroute nog verder valt te verbeteren wat betreft hoeveelheid en kwaliteit van het verkregen materiaal en/of energieverbruik. Door de manier van omrekenen van resultaten komt dat niet tot uitdrukking met de mLCA-resultaten, waar het beste scenario een score van 100% krijgt. Hier zou het opstellen van een best-case-benchmark, doorgerekend met de mLCA-methodiek, uitkomst bieden. We denken dat de percentuele resultaten van de beide modellen dan beter overeen komen. De volgorde van de scenario's komt namelijk wel goed overeen. De beleids-score correleert het best met de schadecategorie grondstofuitputting in de mLCA-methodiek.

Figuur 17 Autowrakken: grafische vergelijking van percentuele scores mLCA-model en beleidsmodel

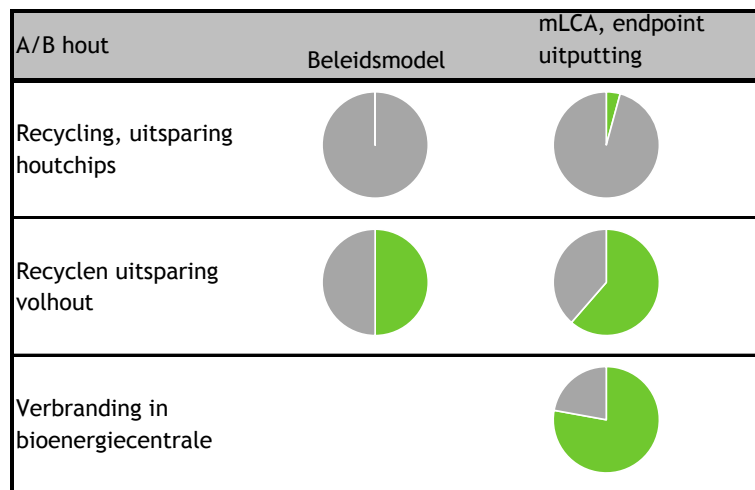


## A/B hout

Bij de hout-casus wijzen alle indicatoren de uitsparing van volhout als beste optie aan, uitsparing van houtchips als de minste. In de mLCA-methodek is recycling ook vergeleken met verbranding. Voor de schadecategorie ecosystemen scoort recycling met uitsparing van volhout veel beter dan verbranding. Dat komt doordat landgebruik in deze indicator een belangrijke rol speelt. Eerder concludeerden we al dat voor biotische materialen de schadecategorie grondstoffenuitputting niet de beste graadmeter is voor de beoordeling van hoogwaardigheid. Bij de vergelijking van verbranding versus recycling van biotische grondstoffen lijkt het beter om de recyclingroutes te beoordelen met de single score.

Landgebruik komt niet tot uitdrukking in de score van het beleidsmodel. Voor biotische grondstoffen lijkt er dus een hiaat te zitten in het beleidsmodel.

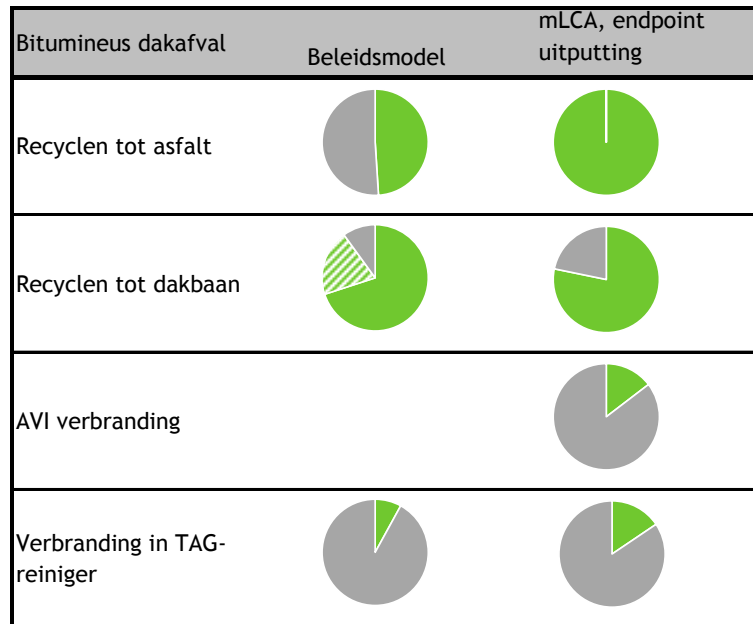
Figuur 18 A/B-hout: grafische vergelijking van percentuele scores mLCA-model en beleidsmodel



## Bitumineus dakafval

Verbranding in de AVI leidt tot de laagste score bij zowel het beleidsmodel als het mLCA-model. Verbranding in de TAG-reiniger krijgt een (net) iets betere score, doordat hier een deel van het materiaal gerecycled wordt. Recycling tot asfalt of dakbaan heeft hogere scores bij beide modellen. Welke van deze twee het best is, verschilt per indicator. De beleidsformule en de schadecategorie menselijke gezondheid wijzen recyclen tot dakbaan aan als beste recyclingroute. De andere indicatoren wijzen recyclen tot asfalt aan als beste recyclingroute. Het beleidsmodel beoordeelt de recycling tot asfalt vrij streng ( $q=0,5$ ), terwijl de mLCA laat zien dat het milieuvoordeel van de uitgespaarde grondstoffen bij asfalt dicht in de buurt komt van de uitgespaarde grondstoffen voor dakbaan (Q zou dus hoger mogen zijn bij het asfaltscenario).

**Figuur 19** Bitumineus dakafval: grafische vergelijking van percentuele scores mLCA-model en beleidsmodel



### Conclusies vergelijking van de modellen

Uit deze vergelijking van de verschillende modellen met de cases trekken we de volgende conclusies:

De schadecategorie grondstofuitputting uit de mLCA-berekening en de twee varianten van het beleidsmodel wijzen bij niet-biotische afvalstromen bijna altijd dezelfde opties aan als de meest en de minst hoogwaardige recycling-techniek. Alleen bij bitumineus dakafval is er een verschil (veroorzaakt door de strenge definitie van q in het beleidsmodel).

Ook de rangorde van recyclingroutes en -varianten komt meestal overeen tussen de twee modellen. Alleen bij de PET-case worden niet alle recycling-scenario's op dezelfde volgorde gewaardeerd. Dit komt onder andere door de manier waarop beide methodieken de 'vermeden effecten' door substitutie van andere grondstofketens hanteren.

De meer ingewikkelde beleidsmodelberekening is maar beperkt anders dan de 'simpele' variant. De simpele formule krijgt daarmee de voorkeur. Dat wil zeggen dat er geen berekening uitgevoerd hoeft te worden van 3x recycling, maar dat berekening op basis van 1x recycling volstaat.

De absolute waarden en verhoudingen tussen de mLCA-methodiek en het beleidsmodel zijn wel duidelijk verschillend.

Behoud van grondstoffen is een kernpunt van de circulaire economie. Het beleidsmodel is (onder andere) naar dit kernpunt opgezet. Dat het mLCA-model en het beleidsmodel het best overeenkomen op deze schadecategorie is dan niet zo verwonderlijk. Echter, daarmee wordt tekort gedaan aan diverse andere belangrijke milieueffecten, zoals toxiciteit en landgebruik. Deze twee aspecten zijn nu niet inbegrepen in het beleidsmodel.

We moeten benadrukken dat deze conclusies getrokken zijn na doorrekening van vijf casestudies. Er zijn echter veel meer verschillende afvalstromen.

Het zou kunnen dat andere cases aspecten aan het licht brengen die nog niet naar voren zijn gekomen met deze vijf casestudies. Andere casestudies brengen mogelijk aanvullende inzichten

Het gemis van een indicator voor landgebruik in het beleidsmodel is vooral merkbaar bij het uitsparen van hout.

### **Conclusie varianten mLCA-methodiek en beleidsmodel**

Op basis van deze cases stellen wij voor om de mLCA-methodiek te definiëren op basis van de grondstoffenuitputting endpoint voor niet-biotische afvalstromen en op basis van de ecosysteem endpoint voor biotische afvalstromen.

Daarnaast stellen we voor om het beleidsmodel te hanteren in de simpele variant zonder drie berekeningen voor drie tijdstippen.

## **7.5 Integratie basisregel en mLCA procesmatig**

Naar onze mening vullen het beleidsmodel en het mLCA-model elkaar aan. Bij de beoordeling van de meest hoogwaardige en de minst hoogwaardige variant wijzen de methoden meestal in dezelfde richting. De LCA-methodiek kan gezien worden als een precieze variant van het beleidsmodel. Het is daarom zinvol deze twee methodieken procesmatig te integreren. De twee opties kunnen daarbij geïntegreerd worden in de huidige afvalhiërarchie (vroeger Ladder van Lansink) voor een compleet afvalbeeld. Dat zou er zo uit kunnen zien:

- a Afvalbeleidsopties worden ingedeeld qua voorkeur volgens de afvalhiërarchie (preventie, producthergebruik, materiaalhergebruik, energietoepassing, stort).
- b De hoogwaardigheid van verschillende vormen van materiaalhergebruik kan beoordeeld worden met het beleidsmodel.
- c Mocht het beleidsmodel geen duidelijke uitspraak doen of mocht er discussie ontstaan over het resultaat, dan is de aanbeveling om een screening mLCA te doen voor de verschillende technieken.
- d Mocht de screening mLCA geen duidelijk uitsluitsel geven, dan raden we een volledige mLCA aan.

In de volgende gevallen lijkt de basisregel minder geschikt en lijkt een mLCA-benadering als toets noodzakelijk:

- Toepassing van materiaal in een situatie waarbij hout wordt vervangen omdat de milieudruk van hout door energie niet goed wordt gerepresenteerd; een andere factor (landgebruik) is belangrijker (zie PET in mixed i.p.v. hout en spaanplaat cases).
- Een complexe mix van afvalstromen met zeer verschillende waarde (telefoon met kunststof en goud) door het idee nu om te wegen naar kg (de factor H). Een alternatieve economische weging zou dit kunnen oplossen.
- Kleine verschillen in de uitkomst van het beleidsmodel.

### **7.5.1 Discussie: recycling nu en potentieel**

Iets wat regelmatig terugkomt in de cases is de vraag of er gerekend moet worden met de huidige terugwinning- en recyclepercentages of dat het potentieel aan terugwinning en recycling over een paar jaar genomen mag worden. Vaak is het immers goed mogelijk om terugwinning- en sorteer-efficiency nog aanmerkelijk te verbeteren. Of soms is er een kip-ei-dilemma zoals bij bio-plastics die nog niet gerecycled worden omdat er weinig volume



op de markt is. Dit beperkte volume is weer de reden dat er niet gerecycled wordt.

Het beleidsmodel en de mLCA zijn beiden geschikt om te kijken naar de situatie rond een afvalstroom nu en naar het potentieel in de toekomst. Het is te overwegen om bij het vergelijken van opties die verschillend zijn in marktpenetratie naast een vergelijking nu ook een potentieel vergelijking toe te voegen om een potentieel toekomst beeld als aanvulling te krijgen.

## 7.6 Verbeterpunten die opkomen na de vergelijking van het mLCA- en beleidsmodel

Alhoewel er een flinke correlatie bestaat tussen het beleidsmodel en het mLCA-model zijn er ook verschillen. We zien een paar verbeterpunten die ervoor kunnen zorgen dat de uitkomsten van de beide modellen beter overeen komen.

### Beleidsmodel

- Bij het beleidsmodel is de energie/planetfactor voor het vervangen van hout een aandachtspunt. Met virgin hout hangt weinig energiegebruik samen met wel een hoeveelheid landgebruik. Wellicht zouden we volgens de carbon footprintmethode van het WWF landgebruik kunnen vertalen naar een CO<sub>2</sub>/energie-impact.
- Wat een vergelijkbaar toepassing is als de oorspronkelijke toepassing, kan nog scherper gedefinieerd worden. Hier kan de economische benadering wellicht helpen.  
Zijn gerecycled en oorspronkelijk product vergelijkbaar qua waarde?

### mLCA-model

- Bij de mLCA-methode zou een 100%-waarde voor de meeste ideaal denkbare recyclingtechniek meer duiding kunnen geven. Deze zouden we bijvoorbeeld kunnen definiëren op basis van 95% inzameling, toepassing in oorspronkelijk materiaal en 5% energiegebruik of grotendeels duurzame energie en een beperkte hoeveelheid transport voor recyclelaat.
- Bij de mLCA-methode zou nog uitgebreider kunnen worden afgewogen of de schadecategorie grondstofuitputting echt het best model staat voor de hoogwaardigheid van recycling van niet-biotische grondstoffen en of dit ook geldt voor de schadecategorie ecosystemen voor biotische afvalstoffen.

## 7.7 Sturing naar circulaire toekomst

Op dit moment hebben we wereldwijd grotendeels te maken met een lineaire economie, waar producten gemaakt worden voor kortdurend gebruik en waar, vooral buiten Noordwest-Europa, soms maar beperkte recycling in het afvalstadium plaatsvindt. De bedoeling is dat in een aantal decades dit perspectief helemaal gedraaid is en dat het normaal is dat producten en materialen in een circulaire economie meedraaien. Circulaire economie betekent dan niet alleen recycling, maar ook vooral levensduurverlenging, reparatie en product-hergebruik.

De vraag komt op of de twee ontwikkelde indicatoren (zowel basisregel als mLCA) voldoende sturen richting deze grootschalige en langjarige transitie.

Het beantwoorden van deze vraag vergt een grootschaligere analyse van alle benodigde stappen richting een circulaire economie en het maken van technologie roadmaps voor verschillende product/dienstgroepen of eventueel materialen.

Hieronder beoordelen we grof en voorlopig op basis van de vijf cases of de methodieken aansluiten bij een lange termijn streven naar een circulaire economie.

### **Beleidsmodel**

- + Het kijken naar meerdere cycli bevordert grootschalig en langjarig recyclen wat nodig is voor een complete circulaire economie.
- Het is mogelijk lastig te beoordelen of toepassing van het recycelaat in een ander product als vergelijkbaar kan worden getypeerd. Hier kan een economische benadering wellicht meer duiding geven (vergelijkbaar qua waarde?).
- De waarden uit het beleidsmodel geven een richting aan en niet de absolute verhouding (60% is niet twee maal goed als 30%).

### **mLCA**

- + Het kijken naar meerdere cycli bevordert grootschalig en langjarig recyclen, wat nodig is voor een complete circulaire economie.
- De mLCA vergt relatief veel data en inschattingen wat de methodiek complex maakt.
- De mLCA modelleert nu geen complete systeemveranderingen, dat past beter in een scenario-analyse of roadmap.
- De 100% scores die nu worden gegeven geven onterecht de indruk dat de recyclingtechnieken van nu goed genoeg zijn voor de toekomst.
- ± Het definiëren van een algemene 100% hoogwaardige recycling norm (weinig uitval, oorspronkelijk product en weinig of duurzame energie) zou de afstand tot de circulaire toekomst beter weergeven.

## **7.8 Check of formules geschikt zijn om materialen te vergelijken**

Tijdens het project is de vraag opgekomen of de hoogwaardigheidsbeoordeling ook goed werkt over materialen heen. Daarbij komt gelijk naar voren dat deze afval- en recyclingstudie geen uitsluitsel kan geven over hoogwaardigheid van materiaaltoepassingen. Wij houden immers geen rekening met bijvoorbeeld materiaalgewichtsverschillen van producten van verschillende producten. Zo zullen we zeker niet kunnen zeggen of een PET-flesje hoogwaardiger is dan een aluminium blikje.

### **Lessen uit de cases en het beleidsmodel over materialen heen**

Het beleidsmodel geeft meestal als hoogste waarde voor een afvalstof een waarde tussen de 50 en de 70%. Alleen PET uit statiegeld scoort met 95% hoger. Dat laatste komt vooral de hoge terugwinning en beperkte ingrepen om PET weer in hetzelfde materiaal. Dat geldt eigenlijk ook voor dakafval recyclen tot asfalt, maar dat wordt beleidsmatig afgewaardeerd omdat het in een ander product gaat (waar op zich ook een recycelaat voor beschikbaar is, te weten asfalt). Als asfalt gedefinieerd zou worden als een vergelijkbaar product dan zouden deze scores bij elkaar in de buurt komen. Een vergelijking over materialen heen is daarmee sterk afhankelijk van de nu nog vrij subjectieve indeling naar 'vergelijkbaar' product. Een vergelijking over materialen heen is daarmee minder gemakkelijk.

### Is het mLCA-model bruikbaar om materialen te vergelijken?

Zoals de resultaten gepresenteerd worden in de tabel hierboven met de beste optie op 100% is een vergelijking over materialen niet geschikt. Elke 100% betekent wat anders. Natuurlijk zou ook de absolute milieuwinst per kg recycling vergeleken kunnen worden. Dat heeft alleen als nadeel dat er van sommige materialen veel kilogrammen zijn en van andere weinig. Daarnaast zijn van sommige materialen om een product te maken veel kilogrammen nodig en van andere minder. Een vergelijking zou zich daarmee alleen beperken tot het afvalstadium.

Een optie is om de mLCA-procent score te gaan normeren naar een soort ideaal recyclingmodel (vergelijkbaar product, weinig uitval, weinig energie).

De procentuele scores geven dan weer hoe ver de recycling scores nog af liggen van het ideaal. Binnen grenzen worden de waarden dan meer vergelijkbaar.

#### Box 3 Materiaalvergelijking in de verpakgingssector

Omdat de discussie over recycling binnen het verpakkingendomein vrij dominant is, hebben we illustratief extra getoetst hoe twee extremen in het verpakkingendomein zouden gaan scoren in de twee methodieken.

- glasverpakkingenrecycling met een recyclepercentage van circa 90% en een energiebehoefte van de bewerking van recycleaat in vergelijking met virgin van ongeveer 70%;
- aluminiumverpakkingenrecycling met een recyclepercentage van circa 60% (via eddy current) en een energiebehoefte voor het recycling proces van circa 10% t.o.v. virgin-productie.

Beide materialen zijn vele malen te recyclen. Beide materialen leveren geen energie in de AVI, maar belanden in de bodemas. Daar wordt aluminium teruggewonnen. De beleidsformule zonder rekening te houden met energie zal de glasrecycling case waarderen met een eerste graads oordeel en HxK wordt daarmee 90%. Het energiegebruik voor recycling (70% van virgin) waardeert deze 90% echter met 50% af tot uiteindelijke een score van 45%

De beleidsformule zonder energie zal de aluminium case waarschijnlijk ook met 100% kwaliteit waarderen en afwaarderen voor energie is niet nodig en HxK wordt daarmee 60%.

Qua milieuvoordeel zal de glascase uitgedrukt in energie ongeveer  $90\% \times 30\%$  is 27% energievoordeel is ook ongeveer klimaatvoordeel scoren.

De aluminiumcase scoort qua energie/milieuvoordeel  $60\% \times 90\%$  = 54% energie/milieuvoordeel tov virgin.

De basisregel (45% vs 60%) en de mLCA (27% vs 54%) wijzen beiden dezelfde kant op maar de verhoudingen zijn wel heel verschillend. Een vergelijking over materialen heen lijkt hiermee wel mogelijk maar niet heel nauwkeurig.

Of de milieuformule geschikt is voor een vergelijking over materialen heen hangt vervolgens af van de vraag of het nuttig is om 1 kg aluminiumafval te vergelijken met 1 kg glasafval.

In het afvalbeleid kan dit nuttig zijn maar in alle andere discussie ook rond de circulaire economie gaat het niet om 1 kg afval maar om een bepaald product of dienst en dan is deze vergelijking niet nuttig. (Zo is bijvoorbeeld een bierflesje van glas veel zwaarder dan een aluminiumbierblikje) De mLCA-formule is daarmee wellicht wel geschikt om materialen te vergelijken maar dan alleen op het gebied van gelijke hoeveelheden afval.

Conclusie op basis de basisregel en de mLCA-benadering is voorlopig dat vergelijkingen over materialen heen meestal niet eenvoudig te maken zijn.

## 7.9 Integratie voorlopige conclusie

Het beleidsmodel en de mLCA-benadering zijn in een stappenplan goed te combineren met de in afvalland al vaak in gebruik zijnde afvalhiërarchie. De mLCA dient er toe om in gevallen dat het beleidsmodel niet voldoet een preciezere uitspraak te doen over de hoogwaardigheid van recycling.

De mLCA-berekening biedt naast standaard LCA-resultaten een interessant beeld dat beter dan LCA aansluit bij de principes van circulaire economie en gecascadeerd+ inzetten van biomassa.

# 8 Conclusies en aanbevelingen

## 8.1 Conclusies methoden toetsing hoogwaardige recycling

In dit project hebben we een beleidsmodel en een mLCA-methodiek voor het beoordelen van hoogwaardigheid van verschillende recyclingtechnieken ontwikkeld. Beide methoden hebben we toegepast op vijf complexe afvalcases. Deze analyses geven interessante resultaten.

Het beleidsmodel maakt een relatieve snelle hoogwaardigheidsbeoordeling van recyclingopties mogelijk. De parallelle berekeningen met de mLCA-methodiek laten zien dat beide methodieken meestal dezelfde volgorde van beoordeling geven. Vooral technieken die meerdere cycli van recycling mogelijk maken en die weinig energie in de recyclingketen nodig hebben scoren goed. Voor complexere cases waarin materialen naar een andere sector verschuiven zijn de beoordelingen echter regelmatig verschillend. De methodieken zijn daarom op dit moment een interessante aanvulling op de standaard LCA-methodiek maar dienen nog met voorzichtigheid gebruikt te worden. Beleidsformule, mLCA en een gewone LCA geven samen een compleet beeld.

Beide methodieken zijn nog slechts getest op vijf afvalcases. Ze zijn daarmee beide versie 1.1 - ontwikkeld en eenmaal getest - en kunnen nog verbeterd worden. De volgende stap is het voorleggen van de mLCA-methodiek aan andere LCA-uitvoerders en -ontwikkelaars. Ook zou het goed zijn om de dialoog met de afval- en recyclingsector over de methodieken te vervolgen.

Daarnaast is het economische aspect van hoogwaardige recycling nog niet opgenomen in de modellen. Integratie hiervan in de methodieken zou de analyse ook nog kunnen doen wijzigen.

### Hoofdconclusies zijn:

- Het beleidsmodel en de mLCA-methodiek zijn interessante toevoegingen aan de bestaande afvalhiërarchie en aan bestaande LCA's over afval.
- Het beleidsmodel en de mLCA-methodiek sluiten beter aan bij de principes van de circulaire economie en het gecascadeerd inzetten van biomassa dan een klassieke LCA.
- Het beleidsmodel biedt een eerste handzame stap om hoogwaardigheid te duiden, de mLCA is beschikbaar voor complexere cases en in geval van discussie over beleidsmodel.

### Overeenkomsten mLCA-model en beleidsmodel

- Beide modellen wijzen over het algemeen dezelfde recyclingopties aan als meest hoogwaardige optie. Ook over de minst hoogwaardige optie zijn de modellen het meestal eens.
- Beide modellen geven aan dat ketens met hoge inzamelingspercentages, beperkte energiebehoefte in het recyclingproces en de mogelijkheid om meer malen te recyclen het beste scoren.

### **Verschillen beleidsmodel en mLCA**

- Het beleidsmodel deelt in drie grove stappen, de mLCA-methodiek geeft kleinere verschillen preciezer weer.
- De mLCA-berekening kijkt naar alle milieuaspecten. Het beleidsmodel neemt besparing op grondstoffen en energiegebruik als grove maat voor deze aspecten.
- Voor complexe cases waarbij recycleat ingezet wordt in een andere sector lopen de oordelen van de methodieken vaak uiteen.

### **Let op: innovatie en toekomst**

Veel recyclingopties zijn nog in ontwikkeling. In dit geval is het belangrijk om niet alleen de huidige situatie te beoordelen met de methodieken maar ook een inschatting te maken van de uitontwikkelde techniek en deze te beoordelen.

### **Let op: hoogwaardige recycling is deelaspect circulaire en duurzame economie**

De twee methodieken zijn ontworpen als beoordeling van verschillende manieren van omgaan met afval. Het is goed om te benadrukken dat dit slechts één van de aspecten van de circulaire duurzame economie is en dat aspecten als preventie van materiaalgebruik, levensduurverlenging, product-hergebruik, etc. hierin niet meegenomen zijn. Daardoor zijn de hier gepresenteerde indicatoren niet geschikt voor het geven van een totaal duurzaamheidsoordeel over materialen en of producten.

### **Let op: economische hoogwaardigheid moet nog toegevoegd worden**

Economische hoogwaardigheid van recycling wordt nog separaat onderzocht.

## **8.2 Aanbevelingen voor vervolg**

Wij hebben aanbevelingen op het gebied van het verder vergaren van draagvlak en verbeteren van methodiek, het goed sturen richting een circulaire economie en suggesties voor technische verbeteringen.

### *Verder verbeteren methodiek en vergaren van draagvlak bij onderzoekers en praktijk*

- de mLCA-methodiek ter discussie voor te leggen aan andere LCA-onderzoekers met de vraag: Is de mLCA beter geschikt om richting de circulaire economie te sturen dan standaard LCA-studies?";
- de methodieken verder te bediscussiëren met stakeholders in het afval- en recyclingveld;
- de methodieken te testen met meer afvalstromen om tot een meer definitief oordeel te komen over de bruikbaarheid;
- het economische aspect van recycling ook mee te nemen in het beleidsmodel en naast de mLCA-resultaten (verwerken resultaat parallelproject).

### **Goed sturen richting een circulaire economie**

- in beleidstukken over recycling het beleidsmodel als belangrijkste indicator voor beleid mee te nemen die in complexe gevallen aangevuld moet worden met een mLCA-berekening;
- bij recyclingkeuzes de mLCA-benadering als circulair check te laten berekenen;
- het gedachtegoed van het mLCA-model en het beleidsmodel ook los te laten op een roadmap circulaire economie richting 2030/2040 waarbij

grote afval en materiaalstromen in de economie worden beoordeeld en geoptimaliseerd.

#### *Technische verbeteringen*

- voor de mLCA-benadering een standaard 100%-ideaalscore te definiëren om de afstand tot het uiteindelijke doel beter weer te geven;
- in het beleidsmodel nog te kijken naar een betere energie/planetfactor voor hout/biomateriaalvervanging;
- voor beide methodieken een handleiding te laten maken waarmee uitvoerders stap voor stap aan de hand worden genomen;
- te onderzoeken of de mLCA-methode ook te vertalen is naar product LCA's die gebruikt worden om producten te vergelijken.

# Bibliografie

ARN Holding, 2014. *ARN Duurzaamheidsverslag 2013 : In beweging*. [Online]  
Available at: [https://issuu.com/arnbv/docs/jaarverslag\\_arn\\_2013\\_nl](https://issuu.com/arnbv/docs/jaarverslag_arn_2013_nl)  
[Geopend 2016].

ARN, 2015. *Layman's Report ARN 2015 : PST-realisatie 95%-recyclingsprestatie Nederlandse autowrakken*. [Online]  
Available at: [https://issuu.com/arnbv/docs/2015\\_11\\_11\\_-\\_nl\\_-\\_laymansreport\\_hir/1](https://issuu.com/arnbv/docs/2015_11_11_-_nl_-_laymansreport_hir/1)  
[Geopend 2016].

BRBS Recycling, [2014]. *Informatieblad : Toepassingsmogelijkheden Recyclingsgranulaten*, Zaltbommel: BRBS Recycling, Branchevereniging breken en sorteren.

BWA, 2013. *Environmental Declaration for Bitumen Roof Waterproofing Systems*. [Online]  
Available at:  
[http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9113/epd414e\\_Bitumen](http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9113/epd414e_Bitumen)  
[Geopend 2016].

CE Delft, 2015. *Metten is weten in de bouw; Milieu-impacts van Nederlandse bouw- en sloopactiviteiten in 2010*, Delft: CE Delft.

DEFRA, 2013. *Quality Action Plan : Proposals to promote high quality recycling of dry recyclates*, London: Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA).

EC, 2010. *ILCD handbook : International Reference Life Cycle Data System*, Ispra: European Commission (EC), Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Ellen MacArthur Foundation and Granta Design, 2015. *Circularity Indicators, an approach to measuring circularity, project overview and methodology*, sl: Ellen MacArthur Foundation.

FWS, 2014. *Verduurzamingsplan FWS: Hoogst Haalbare Doelen R-Pet 2018-2022*. [Online]  
Available at: [www.kidv.nl/4870/fws-brancheverduurzamingsplan.pdf](http://www.kidv.nl/4870/fws-brancheverduurzamingsplan.pdf);  
[www.kidv.nl/4871/fws-toetsingsdocument.pdf](http://www.kidv.nl/4871/fws-toetsingsdocument.pdf)  
[Geopend 2016].

Lazarevic, D., Aoustina, E., Buclet, N. & Brandt, N., 2010. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective.. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 55, pp. 246-259.

Rijkswaterstaat Leefomgeving, 2013. *Nederlands afval in cijfers : gegevens 2006-2010*, Utrecht: Rijkswaterstaat Leefomgeving.

RLI, 2015. *Circulaire economie : van wens naar uitvoering*, Den Haag: Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.



Rossi, V. et al., 2015. Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. *Journal of Cleaner Production*, Volume 86, pp. 132-145.

RVO, lopend. *Monitoring MJA3/MEE*. [Online]  
Available at: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/monitoring-mja3/mee>  
[Geopend 2016].

Slimbreker, lopend. *Homepage SmartChrusher bv*. [Online]  
Available at: <https://slimbreker.nl/index.html>  
[Geopend 2016].

The Netherlands, 2015. *Further Proposals for a new circular economy package, 30th April 2015*. sl:The netherlands.

Tweede Kamer, 2012. *Landelijk afvalbeheerplan, motie van het lid van der Werf voorgesteld 5 juli 2012, Kamerstuk 30 872, nr. 116*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.

Tweede Kamer, 2014a. *Landelijk afvalbeheerplan, Brief van de Staatsecretaris van Infrastructuur en milieu , Aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, 18 december 2014, Kamerstuk 30 872, nr. 185, p. 20*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.

Tweede Kamer, 2014b. *Landelijk afvalbeheerplan, verslag van een algemeen overleg, vastgesteld 22 januari 2014, Kamerstuk 30872, nr. 159, p.22*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal.

Tweede Kamer, 2014c. *Landelijk afvalbeheerplan, verslag van een algemeen overleg, vastgesteld 4 december 2014, Kamerstuk 30872, nr. 168, p.3*, Den Haag: Tweede kamer der Staten Generaal.

Tweede Kamer, 2014d. *Landelijk afvalbeheerplan, verslag van een algemeen overleg, vastgesteld 4 december 2014, Kamerstuk 30872, nr. 168, p.14*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal.

Wetenschappelijke toetsingscommissie KIDV, 2015. *Toetsingsdocument Deelplan Nederlandse vereniging Frisdranken, Waters en Sappen (FWS): "Hoogst haalbare doelen r-PET 2018 - 2022" - Onderdeel van "Brancheverduurzamingsplan levensmiddelen en levensmiddelenhandel"*. [Online]  
Available at: [www.kidv.nl/4871/fws-toetsingsdocument.pdf](http://www.kidv.nl/4871/fws-toetsingsdocument.pdf)  
[Geopend 2016].

# Bijlage A Beleidsmatig buitenland

## A.1 Begripsvorming hoogwaardige recycling: inspiratie uit andere landen

### Algemeen

Het gesprek in Europa over 'high quality recycling' vindt plaats in algemene termen en gaat daarnaast vooral ook over hoogwaardig hergebruik in relatie tot de circulaire economie (zie bijvoorbeeld het Europees voorstel voor een circular economy package). We hebben een aantal aanknopingspunten gevonden voor definitie en operationalisering, maar nergens is nog een duidelijk en compleet antwoord te vinden. Hetzelfde geldt voor beleid en sturingsinstrumenten.

### *De aanvliegroute verschilt*

Het belang van recyclen in het kader van de circulaire economie wordt in internationaal verband onderkend, maar wordt tegelijkertijd ook bepleit vanuit meerdere invalshoeken:

- a Next Generations (sustainability): de zorg voor duurzame ontwikkelingen staat centraal. Ook volgende generaties (ver na ons) moeten gebruik kunnen maken van de schaarse grondstoffen.
- b Less environmental impact (NL: planet): bij deze invalshoek neemt milieudruk een centrale plaats in. Meer recyclen gaat (onder voorwaarde van aanvaardbaar energiegebruik) gepaard met een lagere milieudruk.
- c Urban mining (China: economical use of resources): secundair materiaal wordt gezien als een waardevolle grondstof voor de toekomst. Daar waar we nu nog niet beschikken over efficiënte recyclingtechnieken, worden materialen opgeslagen. Later kan alsnog de waarde worden gecreëerd.
- d New economic sector (EU: employment): in deze visie wordt de recycling-industrie gezien als grote nieuwe economische activiteit die een bijdrage kan leveren aan extra welvaart.
- e Strategic thinking (Duitsland: resource dependency): vanuit deze optiek levert recycling een belangrijke bijdrage aan het verminderen van de afhankelijkheid van de import van grondstoffen. Een land is daarmee minder kwetsbaar voor turbulenties in de grondstoffenmarkten.

### *Het denken in de UK biedt enkele aanknopingspunten*

De ontwikkeling in het denken over hoogwaardigheid in recyclingprocessen is in de UK mogelijk het verste. In de UK zijn grote verbeteringen te bewerkstelligen in inzamelsystemen en recyclingpercentages. Dit is aanleiding geweest om voorstellen te ontwikkelen voor (hoogwaardige) recycling.

De focus in het denken over hoogwaardige recycling ligt op 'closed-loop recycling'; de terugval in een andere loop is denkbaar maar wordt minder wenselijk geacht. Als 'closed-loop' niet kan, moet worden gestreefd naar de toepassing in een andere loop op een zo'n hoog mogelijk niveau (DEFRA, 2013). De twee kernwoorden in de discussie zijn:

- kwantiteit: hoe minder uitval, hoe beter;
- kwaliteit: hoe hoger, hoe beter.

De invalshoeken voor de beoordeling van recycling zijn:

- te behalen netto milieueffecten;
- en de kosten en marktwaarde van het recycleat versus de marktwaarde van virgin.

Als beleidsinstrumenten worden genoemd:

- incentives: ambitie om kwaliteit te stimuleren via prijsmechanisme (Packaging Regulations);
- regelgeving: o.a. gericht op meer gescheiden inzameling, Material Recovery Facility (MRF) code of practice (kwaliteitsmanagement) vrijwillig/verplicht, een grading systeem voor kwaliteit, end-of-waste-criteria.

Het delen van inzichten over mogelijkheden van recycling is belangrijk in de Engelse aanpak. Communicatie speelt dus een grote rol. Hierbij gaat het om monitoring en evaluatie, ondersteuning inkoop en contractmanagement, uitwisseling best practices en communicatie richting huishoudens.

Een adviescommissie verpakkingen werkt aan een ‘responsibility deal’ tussen industrie en overheid ‘that will help to support the delivery of the recycling targets for plastic packaging’.

### **De insteek van de Ellen MacArthur Foundation**

De Ellen MacArthur Foundation (EMAF) legt in haar definitie van circulaire economie de nadruk op preventie van afval door middel van levensduurverlenging en tweedehands gebruik en op verschillende vormen van hergebruik. Daarna komt recycling van afvalstromen. In de discussie over hoogwaardigheid hanteert EMAF dan ook een bredere insteek: zowel preventie, hergebruik als recycling. Figuur 3 maakt dat duidelijk. Het denken en doen start al direct bij de eerste stap: producten worden ontworpen, gericht op zo hoog mogelijk % hernieuwbaar gebruik en vervolgens recyclebaarheid. Grondstoffen schaarste is de belangrijkste drijfveer. Minder energiegebruik en klimaatemissies zijn een belangrijk neven doel.

Om in kaart te brengen hoe effectief een bedrijf is in het maken van de transitie van een lineair naar een circulair model heeft EMAF een aantal indicatoren ontwikkeld en die samengebracht in de methode van ‘Material Circularity Indicators (MCI)’ (Ellen MacArthur Foundation and Granta Design, 2015). Er zijn zowel indicatoren opgesteld op productniveau als op bedrijfsniveau. Om tot een uitspraak op bedrijfsniveau te komen, is de veronderstelling dat de productscores kunnen worden opgeteld. Omdat bedrijven veel producten kunnen hebben, kan gewerkt worden met referentieproducten die onderling gewogen kunnen worden (bijvoorbeeld naar omzet of massa).

Om de MCI op productniveau te berekenen wordt een materiaaloverzicht opgesteld. De hoeveelheid gerecycled en hergebruikt materiaal wordt in kaart gebracht als input en als output en ook de efficiëntie van recycling wordt meegenomen. Meer specifiek wordt gekeken naar (1) instroom in het productieproces (onderverdeeld naar primaire grondstoffen, gerecycled materiaal en hergebruik), (2) gebruiksduur en intensiteit (in vergelijking met een gemiddeld product), (3) bestemming einde levensduur (aandeel hergebruik, recycling, verbranding en stort), (4) efficiency van recycling (om gerecycled materiaal te maken en materiaal na gebruik te recyclen). De methode is in ontwikkeling en zal in de toekomst verder worden verfijnd. Momenteel is er bijvoorbeeld nog geen aandacht voor waardering van down- en up-cycling. Ook waardeert de huidige methode gesloten kringlopen nog niet beter dan niet gesloten kringlopen; in het kader van de circulaire economie ligt dat wel voor de hand. Daarnaast is een aantal aannames gedaan die in de praktijk niet altijd of lastig overeind zijn te houden. Bijvoorbeeld dat teruggewonnen materiaal aan het einde van het gebruik altijd kan worden opgewaardeerd naar de oorspronkelijke kwaliteit of dat er geen uitval is in het

voorbereiden van producthergebruik. Niettemin is het denken erover en de ontwikkelde methode relevant bij de operationalisering van hoogwaardige recycling in de vorm van basisregels.

### **Duitsland: continuïteit van waardeketens**

De Duitse Rohstoff Allianz wil de functionaliteit van de industriële waardeketens in Duitsland en Europa duurzaam veiligstellen. Hiertoe worden bestaande risico's en verstoringen geïdentificeerd en worden de ontwikkeling en productie van innovatieve toepassingen en producten ondersteund. In de benadering staan beschikbaarheid/leveringszekerheid en functionaliteit van grondstoffen voorop. De discussie over duurzaamheid en hoogwaardigheid gericht op sluiten van kringlopen en sturen op kwaliteit recycelaat zodat toepasbaarheid vergroot wordt, wordt gevoerd vanuit de behoefte aan continuïteit voor de langere termijn. Een hanteerbare uitwerking van de begrippen 'hochwertig' of 'hochwertiges recycling' is niet gevonden.

### **Conclusie**

Wij constateren op basis van deze scan dat de discussie over hoogwaardigheid en hoogwaardige recycling op meerdere plaatsen wordt gevoerd, maar dat de duiding nog in de kinderschoenen staat.

# Bijlage B Totstandkoming mLCA-methodiek

## B.1 De uitdaging

Voor verschillende materialen kan recycling op verschillende manier worden aangepakt. Een klassiek voorbeeld is recycling van kunststof. Met PET als voorbeeld: PET-flessen kunnen gerecycled worden tot granulaat voor nieuwe PET-flessen, maar ook terecht komen in de mixed kunststoffractie, waarmee mixed kunststofproducten worden gemaakt, zoals planken voor bankjes en steigers, speeltoestellen en bermpaaltjes. Deze verschillende recyclingroutes verschillen wat betreft milieu-impact, grondstoffengebruik en kosten.

Diversificatie in recyclingroutes komt voor bij een heleboel afvalstromen, niet alleen bij kunststof. Regelmatig komt daarom de vraag of er onderscheid gemaakt moet worden tussen de verschillende mogelijke recyclingroutes van een afvalstroom. Is de ene route beter dan de ander? Daarvoor worden termen gebruikt als hoogwaardig en laagwaardig of up-, re- en down-cycling.

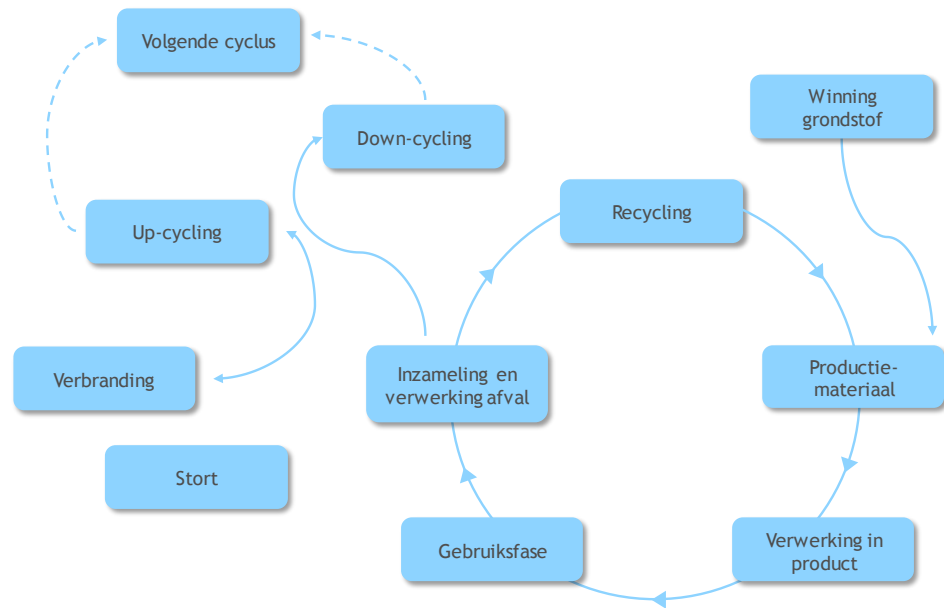
## B.2 Doel

In dit deel van het project wordt een LCA-model ontwikkeld waarmee de beginselen van 'hoogwaardigheid' milieukundig kunnen worden uitgedrukt. Het model maakt creatief gebruik van bestaande LCA-methodieken. Het model is in wezen zelf een methodiek, een aanpak die men toe kan passen op recycleroutes, ter bepaling van een milieukundige rangvolgorde van verschillende recycleroutes voor een bepaalde afvalstroom.

In de beleidsmatige verkenning (Hoofdstuk 22 zijn kernwaarden van 'hoogwaardigheid' op een rij gezet. Belangrijke kernwaarden zijn: vermindering van virgin-grondstoffengebruik, vermindering van finaal afval, en zo min mogelijk en zo duurzaam mogelijk energiegebruik en lage impact op het milieu. Het doel is om deze waarden tot uitdrukking te laten komen in het LCA-model.

Figuur 20 geeft de algemene levenscyclus van een product weer.

Figuur 20 De algemene levenscyclus van een product. Recycling kan plaatsvinden in dezelfde keten, of naar een andere keten (down-cycling/up-cycling)



Bij de methodeontwikkeling kunnen we voor een groot deel putten uit de LCA- en milieuwetenschap. Deze bieden analysemethoden voor milieueffecten, zoals klimaatimpact en toxiciteit, en milieu-indicatoren, zoals primair energiegebruik, hoeveelheid afval. In de LCA-literatuur zijn meerdere studies beschikbaar waarin de (Europese) afvalhiërarchie wordt doorgerekend met LCA (Rossi, et al., 2015) (Lazarevic, et al., 2010). Hieruit blijkt dat de bestaande hiërarchie en de bijbehorende LCA-score in grote lijnen gelijk opgaan, maar niet perfect overeenkomen.<sup>22</sup>

Een uitdaging in het project is om goed invulling te geven aan het behoud van materialen. Immers, een gerecycled product kan zelf ook mogelijk weer gerecycled worden. In de huidige LCA-methodiek wordt dat niet meegenomen. We zullen dus aandacht besteden aan wat er gebeurt na de eerste recyclingronde. Recycling naar andere cycli (andere producten) krijgt ook specifieke aandacht in het nieuwe LCA-model.

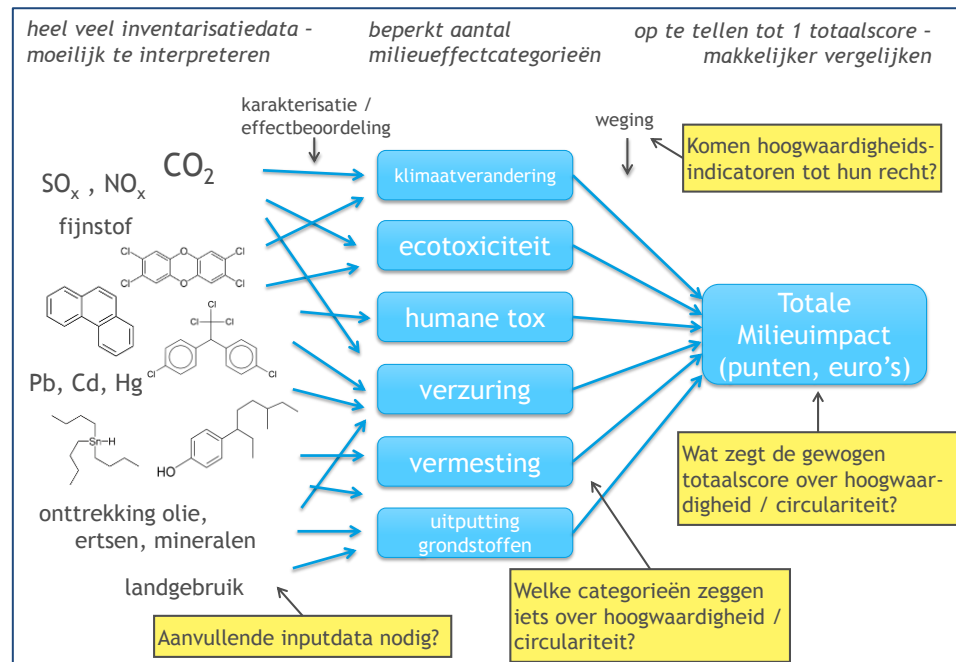
Bij het kwantificeren van de verschillende factoren van het begrip hoogwaardig, spelen er in dit deelproject een aantal belangrijke kwesties:

- worden milieuresultaten uitgedrukt ten opzichte van een referentie (bijvoorbeeld verbranding) of niet?;
- welke milieueffecten en -indicatoren worden berekend en hoe gaan we om met weging van milieueffecten en -indicatoren?;
- wanneer is een route 100% hoogwaardig of 0% hoogwaardig: hoe beoordelen we het milieuresultaat?;
- de eventuele wisselwerking met storten van reststromen: het kan zo zijn dat een recycleroute een kwalitatief hoogwaardig eindproduct oplevert, maar ook leidt tot een bijproduct (reststroom) dat gestort wordt.

<sup>22</sup> Specifieke aannames zoals mate van vervuiling en substitutie-ratio van primair materiaal (in een verpakkingencasestudie) maken dat recycling soms slechter scoort dan verbranding. Bij het beschouwen van klimaatverandering kan verbranding met energieopwekking slechter scoren dan landfill. Composteren (een vorm van recycling) kan slechter scoren dan verbranden met energieopwekking.

Figuur 21 geeft de structuur aan van een life cycle-impact assessment. In geel staan er een aantal vragen bij die we in dit project beantwoorden.

Figuur 21 LCA-impactanalyse en vragen bij de ontwikkeling van het LCA-model



### B.3 Basisgedachte mLCA-methodiek

Op hoofdlijnen spelen de volgende twee milieukundige aspecten een hoofdrol bij LCA's van recyclingprocessen:

- milieuwinst door besparing van de winning en productie van virgin-grondstoffen en soms voorkomen verbranding van afvalstoffen;
- milieunadeel: emissies door verbruik van energie, transportbrandstof en hulpstoffen t.b.v. recyclingstappen.

In de huidige LCA-praktijk wordt de milieuwinst bepaald door de kwaliteit van het recyclelaat. Hierbij speelt een rol:

- Kwaliteitsverlies: is het materiaal vergelijkbaar met virgin-materiaal? Is inzet in zelfde toepassing mogelijk? Is dit tot 100% mogelijk? Wat is de potentie van het materiaal? Dit wordt in huidige LCA's meestal meegenomen via vervangingsratio's, extra uitval van materiaal en/of benodigde extra opwerkprocessen.
- Inzetbaarheid: wat kan men met het recyclelaat? Welk materiaal vervangt het?
- Toekomstmogelijkheden: Is het opnieuw recyclebaar in een volgende levenscyclus? Dit aspect komt in LCA's zelden aan bod, maar is een belangrijk onderdeel van de hier ontwikkelde methode.

## B.4 Aansluiting op algemeen geaccepteerde LCA-analysmethoden

Om de (internationale) acceptatie van het LCA-model te vergemakkelijken, blijft de ontwikkelde methode zo dicht mogelijk bij bestaande analyse-methodes die in LCA's doorgaans gebruikt worden.

Er zijn twee geschikte analysmethoden die momenteel veel gebruikt worden: de ReCiPe- en de ILCD-methode. Zij maken het mogelijk om met de laatste inzichten uit de milieuwetenschapemissies te duiden en te vatten in een serie milieueffecten. Er zijn andere analysmethoden beschikbaar die meerdere milieueffecten berekenen, maar die zijn ofwel verouderd - zo is ReCiPe de opvolger van Ecoindicator99 - ofwel van toepassing op een specifiek werkveld (SBK Bepalingsmethoden voor de bouw) of van toepassing op andere werelddelen (Traci, BEES).

Er is overlap tussen de twee methoden ReCiPe en ILCD. Zo berekenen beide methoden een aantal milieueffecten op dezelfde manier (bijvoorbeeld klimaatimpact). Er zijn echter ook verschillen. Zo berekent ILCD land-gebruikseffecten op een andere manier en zijn er verschillen de mogelijkheid tot duiding/clustering van de milieueffecten middels schadecategorieën.

Voordelen van de ReCiPe-methode zijn:

- Er wordt een groot aantal milieueffecten mee berekend.
- De methode wordt veel gebruikt, ook internationaal, er is veel ervaring mee.
- Milieuresultaten kunnen worden omgerekend naar drie schadecategorieën (endpoint-niveau). Zo kan met een beperkte lijst getallen worden aangegeven hoe de scores voor milieu, gezondheid en grondstoffen-uitputting zich tot elkaar verhouden, zonder dat hiervoor een subjectieve weging nodig is. De ReCiPe-methode is de enige allround analysmethode die deze mogelijkheid biedt.
- Gewogen totaalscore ('single score') is mogelijk.

Een nadeel van de ReCiPe-methode is:

- De methode wordt, voor zover wij weten, alleen basaal doorontwikkeld (alleen aanpassingen aan bestaande aanpak). Er wordt niet actief doorontwikkeld wat betreft methodologische aanpassing van analyse-methode voor berekening van de milieueffecten.

Voordelen van de ILCD-methode zijn:

- Er wordt een groot aantal milieueffecten mee berekend.
- Dit wordt de nieuwe Europese standaard. Er wordt volop aan doorontwikkeld.

Nadelen van de ILCD-methode zijn:

- De methode is nog in ontwikkeling. Er is kritiek op aanpak voor berekening van landgebruik en toxiciteit, die verschilt van die van ReCiPe. Hierover wordt debat gevoerd.
- Er is geen mogelijkheid tot berekening van schade (schadecategorieën). Als tijdelijke oplossing hiervoor verwijst ILCD naar de aanpak van de ReCiPe-methode (wat weer voor ReCiPe pleit).
- Een totaalscore (single score) kan alleen geproduceerd worden wanneer de milieueffecten worden opgeteld via normalisatie (allen weegfactor 1). Dat is dus geen echte weging van de importantie van issues maar willekeurige optelling van issues.



Er is in overleg met de begeleidingscommissie besloten om de ReCiPe-methode als basis te selecteren voor het LCA-model, vanwege drie redenen:

1. Praktischer in gebruik: mogelijkheid van schadecategorieën en weging. De één-op-één-weging van ILCD mist een wetenschappelijke basis. Vooral de schadecategorieën vormen een goede balans tussen een beperkt aantal scores (drie) en een aggregatie van resultaten die nog wetenschappelijk verantwoord is. De mogelijkheid om ook een single score te genereren is een bijkomend voordeel, omdat hiermee resultaten op nog eenvoudiger wijze kunnen worden getoond.
2. Gebruikt geen omstreden methoden voor landgebruik en toxiciteit (hooguit wat verouderd voor toxiciteit).
3. Uitputting van grondstoffen kan via ReCiPe eenvoudig worden onderscheiden in de midpoint-categorieën fossiele grondstoffen en mineralen, en kan ook samen worden beschouwd als één van de drie schadecategorieën. De ILCD-methode heeft slechts één (midpoint) categorie voor fossiele en minerale grondstoffenuitputting.

Er zal een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd met toepassing van de ILCD-methode. Centrale vraag is: veranderen de conclusies bij toepassing daarvan?

Daarnaast zijn er enkele andere methoden die bruikbare andere milieu-indicatoren leveren:

- MER-LAP1-methode neemt ook energieverbruik en finaal te storten afval mee als indicatoren.
- De SBK Bepalingsmethode, in Nederland specifiek ontwikkeld voor de bouw op basis van bestaande analysemethoden, heeft als extra indicatoren 'gevaarlijk afval', en 'niet-gevaarlijk afval'.
- De Cumulative Energy Demand is een analysemethode die de primaire energiebehoefte berekent. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen fossiele energie en hernieuwbare energie. Deze methode wordt bijvoorbeeld ook gebruikt door RVO voor de 'GER-waarden' bij MJA-berekeningen.

De hier genoemde LCA-methoden kunnen op meerdere manieren worden gekoppeld aan de basisregels en kernpunten van hoogwaardige recycling. Er zijn bijvoorbeeld bestaande milieueffecten of milieu-indicatoren die goed aansluiten, zoals uitputting van fossiele grondstoffen. De mogelijkheden geven we weer in Tabel 7.

Tabel 7 Koppelingen tussen de LCA-methode en uitgangspunten van hoogwaardige recycling

Aspect	Mogelijkheden in huidige LCA-methodieken	Gevolg voor inventarisatie
Benodigde hulpstoffen, energie en transportbrandstof voor recycling.	Legio milieueffecten zijn beschikbaar (ReCiPe en ILCD).	Bij een LCA over recycling zijn dit standaardaspecten die worden geïnventariseerd.
Milieuwinst door uitsparing van (productie van) virgin-grondstoffen.	Legio milieueffecten zijn beschikbaar (ReCiPe en ILCD).	Naast de hoeveelheid verkregen recycklaat is beoordeling van de kwaliteit ervan erg belangrijk om hoogwaardigheid goed te kunnen bepalen.
Het voorkomen van uitputting van grondstoffen.	Indicatoren: <ul style="list-style-type: none"> <li>– uitputting fossiele grondstoffen (ReCiPe)</li> <li>– uitputting metalen (ReCiPe)</li> <li>– uitputting van fossiele en minerale grondstoffen (ILCD)</li> <li>– schadecategorie ‘Resources’ (ReCiPe)</li> </ul>	Indicatoren komen voort uit gebruik of voorkomen van grondstofgebruik (wordt standaard geïnventariseerd).
Uitval naar verbranding en/of stort.	Indicatoren: <ul style="list-style-type: none"> <li>– finaal te storten afval (MER-LAP)</li> <li>– gevaarlijk en niet-gevaarlijk afval (SBK)</li> </ul>	Specifiek moet worden geïnventariseerd: aandeel uitval van materiaal en de bestemming ervan.
Aandeel gebruik van hernieuwbare energie.	Indicator: Cumulative Energy Demand, hernieuwbare energie.	Komt voort uit zowel energie- als materiaalgebruik (wordt standaard geïnventariseerd).

Het uitsparen van primaire grondstoffen dankzij recycling (met bijbehorende uitgespaarde milieu-impact) geeft waarschijnlijk het meest duidelijk weer hoe circulariteit bijdraagt aan de LCA-score. Daarmee komen echter nog niet alle kenmerken van een circulaire economie tot uitdrukking.

Over de volgende aspecten van een circulaire economie kunnen we binnen een LCA-context een uitspraak doen:

- Lagere kwaliteit kan ook tot uitdrukking komen in het type grondstof dat wordt uitgespaard. Dit is geen regel, er zijn ook andere manieren. Uitval van materiaal bij verwerkprocessen geeft meestal ook aan dat er kwaliteitsverlies optreedt. Eventueel kan lagere kwaliteit van recycklaat ook worden verwerkt in een vervangingsratio.
- Hoog energieverbruik tijdens recycling komt tot uitdrukking in een LCA en er is een analysemethode<sup>23</sup> beschikbaar die onderscheid maakt tussen hernieuwbare en niet-hernieuwbare energie.
- Uitputting van grondstoffen is een bestaande LCA-effectcategorie, die duidelijk een aspect van de circulaire economie kwantificeert. Wanneer uit de casestudies blijkt dat dit aspect meer nadruk verdient, kan deze score als aparte kolom worden weergegeven, en mogelijk een andere weegfactor krijgen.
- Uitval tijdens recycling geeft minder uitsparing van virgin-grondstoffen, dus komt op die manier indirect tot uitdrukking in een LCA. In de SBK Bepalingsmethode, die veelvuldig in de bouw wordt gebruikt, is de hoeveelheid finaal gevaarlijk en niet-gevaarlijk afval als milieu-indicator opgenomen. Deze hoeveelheid afval hoeft niet altijd gestort te worden.

<sup>23</sup> Dit is de methode ‘Cumulative Energy Demand’.

- De bruikbaarheid van deze indicator als stort-indicator is beschreven in Paragraaf 6.6 en Bijlage B.4.1.
- Het streven om in een circulaire economie zo weinig mogelijk afval te storten komt tot uitdrukking in de finaal-afvalindicator uit de MER-LAP LCA-methode. Deze indicator wordt verder besproken in Bijlage B.4.1.
- Het streven om materiaal zoveel mogelijk cycli mee te laten gaan is gerelateerd aan de hierboven genoemde aspecten. Het (éénmaal) uitsparen van primaire grondstoffen dankzij recycling is onvoldoende om dit te kwantificeren. Dit aspect wordt verder besproken in Bijlage B.5.

#### B.4.1 Stortindicator

Uit ervaring blijkt dat de milieu-impactscore van stort van materialen vaak niet hoog is. Dit komt doordat er weinig emissies plaatsvinden (vergelijk met verbranding) en doordat er behalve wat transportbrandstof geen energie voor processen nodig is (vergelijk met recycling).

Het (directe) bezwaar van storten zou dus via een indicator benadrukt moeten blijven worden, zoals in de MER-LAP1-methode het geval is. Op het moment is deze indicator weinig specifiek: elk te storten materiaal is even bezwaarlijk.<sup>24</sup> De SBK Bepalingsmethode uit de bouwwereld kent indicatoren voor gevaarlijk en niet-gevaarlijk finaal afval.

Twee afvalindicatoren uit bestaande LCA-methodes zijn overwogen voor gebruik als indicator voor stort in de huidige methode. Beide indicatoren geven geen milieu-impact aan, en hebben dus een andere status dan de LCA-effectcategorieën.

In de MER-LAP1-methode wordt een afvalindicator gebruikt waarin de hoeveelheid te storten materiaal is opgenomen. Ook afval dat gegenereerd wordt tijdens de productie van materialen is opgenomen in deze afval-indicator. Wanneer er grondstofwinning wordt uitgespaard dankzij recycling geeft de MER-LAP1-methode een winst voor de afvalindicator, die met name voor metalen aanzienlijk is (vanwege mijnafval). Het gaat daarbij om afval dat veelal niet in Nederland ontstaat, en dat ook niet per definitie gestort wordt. De afvalindicator is daarmee geen ideale parameter om aan te duiden of er een probleem met stort is in een scenario. Een softwarematig probleem is bovendien dat de naamgeving van emissies in MER-LAP1 niet overeenkomen met die van de in de huidige methode gebruikte database Ecoinvent v.3.1.

In de SBK-methode geven de afvalindicatoren voor gevaarlijk en niet-gevaarlijk afval niet precies de hoeveelheid gestort materiaal aan, omdat dit geproduceerde afval ook op een andere manier verwerkt kan worden. Ook bij deze methode zijn er softwarematige complicaties die een directe toepassing in de huidige methode bemoeilijken.<sup>25</sup> De afvalindicatoren van de SBK-methode zijn niet toepasbaar op modellering met de Ecoinvent-database en daarom niet bruikbaar voor dit LCA-model.

<sup>24</sup> In het huidige LAP2 wordt overigens wel onderscheid gemaakt tussen te storten materialen: één van de doelstellingen is om het storten van *brandbaar* restafval terug te brengen naar 0.

<sup>25</sup> De SBK-methode heeft een bewerkelijke manier om de afvalindicatoren correct te berekenen, via een speciale Excelfile die ook uit de inventarisatie zelf (de gebruikte proceskaarten) de afvalproductie bepaalt, en niet alleen uit de geïnventariseerde emissies. Die Excelfile is bovendien niet geschikt voor Ecoinvent 3.1, omdat de naamgeving van proceskaarten niet overeenkomt.

De manier die in de LCA-model is gekozen om tot een stortindicator te komen is het apart noteren van het aantal kg stort, bij de inventarisatie. Het aantal momenten dat in een scenario stort optreedt zal beperkt zijn: mogelijk een klein deel van de afvalstroom dat direct naar stort gaat en daarnaast de uitval bij recycling dat deels naar stort gaat. Deze gegevens zijn eenvoudig op te tellen en dit totaal aantal kg vormt de stortindicator.<sup>26, 27</sup>

## B.5 Aansluiten bij de circulaire economie

Het model moet het streven naar een circulaire economie tot uitdrukking laten komen in de LCA-resultaten. ‘Circulariteit’ is geen effectcategorie binnen LCA, en een LCA-resultaat zegt dan ook niet direct iets over de circulaire economie.

In de circulaire economie staat het optimaal gebruik en hergebruik van grondstoffen centraal; bij delfstoffen door goed onderhoud, hergebruik, re-furbishing én tot slot door (hoogwaardige) recycling. In het uiterste geval lekken de oorspronkelijk gebruikte functionele grondstoffen weg door de nuttige toepassing via verbranding, of door te storten. Bij biobased producten spelen vergelijkbare voorkeuren die worden aangeduid als het toepassen van het cascaderingprincipe en het zo hoogwaardig mogelijk inzetten van de beschikbare biomassa.

Vanuit deze optiek treedt hoogwaardige recycling op wanneer de teruggewonnen (secundaire) grondstoffen de oorspronkelijke kwaliteit benadert of zelfs overtreft. Wat ons betreft ligt bij een strenge interpretatie de focus op *hoogwaardige recycling* dan ook primair op het terugwinnen van de (functionele) grondstof, zoals deze is aangewend in de productie van halffabricaten of eindproducten (recycling en soms up-cycling). Wanneer recycling of up-cycling niet mogelijk is, resulteert down-cycling<sup>28</sup>.

Zoals in Paragraaf B.4 werd besproken, heeft het in de cyclus houden van grondstoffen een gunstige invloed op de LCA-score, en sluit daarmee de LCA-methode aan op de kerngedachte van de circulaire economie.

De uitdaging is nu om de LCA-methodiek om te vormen naar multicyclus LCA (mLCA) die rekening houdt met het wel of niet goed in de cyclus houden van materialen.

---

<sup>26</sup> Wat er op deze wijze mist is de eventuele bijdrage van bijv. AVI's aan stort, voor dat deel van de bodemassen dat niet nuttig wordt toegepast. Dit zal echter een kleine bijdrage zijn.

<sup>27</sup> De LCA-software kan alleen milieu-impactscores op basis van emissies (en de andere ingrepen landgebruik en extractie van grondstoffen) bepalen, en niet uit de gebruikte (type + hoeveelheid) proceskaart (dit is een beperking van de LCA-software). In de toekomst zou het werkbaar kunnen zijn om in elke Ecoinvent-proceskaart die stort beschrijft een emissie ‘1 kg stort per kg stort-proceskaart’ toe te voegen, en een nieuwe impactcategorie ‘stort’ aan ReCiPe willen toevoegen, die deze kilogrammen stort simpel optelt. Dat zou dan de stortindicator worden.

<sup>28</sup> Dit begrip is nieuw en introduceren wij om aan te geven dat circulaire economie ‘leakages’ zal kennen.

### B.5.1 De Material Circularity Indicator

In mei 2015 werd vanuit de Ellen MacArthur foundation (EMAF) een rekenmethodiek gepubliceerd die circulariteit kwantificeert (Ellen MacArthur Foundation and Granta Design, 2015).

De Material Circularity Indicator (MCI) is gebaseerd op vier principes:

1. Mate van hergebruik en gebruik van gerecycled materiaal bij productie.
2. Mogelijkheid voor recycling van materialen na gebruik en hergebruik van componenten (hergebruik wordt beschouwd als recycling met 100% efficiency).
3. Het langer in gebruik houden van producten.
4. Intensiever gebruik van producten.

De belangrijkste parameters bij de MCI zijn recyclingefficiency en mate van hergebruik. De MCI neemt *niet* in beschouwing:

- up- of down-cycling;
- uitsparen van een ander materiaal bij recycling (recycling naar andere keten);
- het type materiaal dat in beschouwing wordt genomen;
- materiaalschaarste;
- energie- en chemicaliënverbruik tijdens recycling;
- milieuemissies, toxiciteit.

Het verschil tussen de MCI- en een LCA-score wordt als volgt verwoord: *‘An LCA focuses on deriving the environmental impacts throughout the life cycle of a product for different scenarios, whereas the MCI concentrates on the flow of materials throughout the use of a product. It specifically encourages the use of recycled or reused material and recycling or reusing it at the end of use, while recognising increased utility of a product (i.e. durability and usage intensity).’*

Een aanbeveling in het rapport is de ontwikkeling van ‘complementary impact indicators’, die kunnen worden gegenereerd via een LCA-aanpak.

Voor verdere verfijning van de MCI wordt voorgesteld om down-cycling op te nemen (kwaliteitsverlies van materiaal in het recyclingproces), en concepten zoals re-manufacturing en re-furbishment een plek te geven.

De in het huidige rapport beschreven methode geeft invulling aan een aantal van de aanbevelingen van EMAF. De gebruikte midpoint- en endpoint-categorieën kunnen in principe alle worden gezien als de door EMAF genoemde ‘complementary impact indicators’, waarbij mogelijk climate change en uitputting van grondstoffen de meest aansprekende zijn om door EMAF geïmplementeerd te worden.

In de ontwikkelde basisregels zijn indicatoren opgenomen voor down-cycling (de kwaliteitsfactor) en energieverbruik (de verhouding energieverbruik bij primaire/secundaire productie). Daarmee kunnen dus ook de basisregels worden gezien als een uitbreiding van de Material Circularity Indicator.

### B.6 Waar moet het mLCA-model aan voldoen?

In deze paragraaf bespreken we de eisen en wensen aan het mLCA-model. Waar moet het mLCA-model aan voldoen, en waar houdt het mLCA-model rekening mee? We spreken hier over mLCA omdat het een LCA-model moet zijn dat beter rekening houdt met het in meerdere cycli houden van afvalstromen.

### B.6.1 Toepasbaarheid

Het mLCA-model dient toepasbaar te zijn op alle verwerkingsroutes van afgedankte materiaalstromen, dus ook routes die leiden tot finaal afval (verbranding, stort). De eisen voor data-inventarisatie en selectie van milieueffecten en -indicatoren is zodanig dat alle typen materialen gemodelleerd kunnen worden. Het model is ook toekomstproof: ook nieuwe recycleroutes zouden ermee berekend kunnen worden.

### B.6.2 Innovatie- en toekomstbestendig

De wereld van recycling verandert snel. Voortdurend worden er nieuwe concepten en technieken ontwikkeld. Het hoogwaardige recyclingbeleid dient op zijn minst rekening te houden met innovaties en veranderingen maar nog liever deze innovatie ook te stimuleren. Dit stelt ook eisen aan beleidsinstrumenten en regelgeving. Met het mLCA-model kunnen ook nog niet bestaande routes worden gemodelleerd en doorgerekend.

### B.6.3 Kwaliteit van recyclelaat waarderen

Milieuwinst en hoge kwaliteit recyclelaat gaan niet per definitie hand in hand: voor hoge kwaliteit zijn soms meerdere recyclestappen nodig die soms veel energie en/of hulpstoffen vergen. Zo kan het voorkomen dat het milieunadeel van recycling niet opweegt tegen de milieuwinst van uitsparing van virgin-materiaal. De wens 'recyclelaat moet inzetbaar zijn in zijn oorspronkelijke functie' leidt dan ook niet altijd tot de beste milieuprestatie. Hoewel de LCA-methode geen specifieke parameter genaamd 'kwaliteit' kent, kan er wel invulling aan worden gegeven door te inventariseren in welke toepassing een recyclelaat kan worden ingezet en welk materiaal daarbij vervangen wordt.

Soms kan met volledig gerecycled materiaal niet dezelfde kwaliteit bereikt worden als met virgin-materiaal. Er is bijvoorbeeld meer recyclelaat nodig dan voor de virgin variant om de specs te behalen (voorbeeld: dikwandige emmers van gerecycled kunststof). Op deze manier vervangt gerecycled materiaal niet één-op-één virgin-materiaal. In een dergelijk geval moet gebruik gemaakt worden van een vervangingsratio.

Als recyclelaat wordt bijgemengd met virgin-materiaal, dan gaan we er wel van uit dat het recyclelaat één-op-één virgin-materiaal vervangt. Bijmengen wordt dus niet 'bestraft'.

### Toxiciteit

Rondom toxiciteit spelen twee vragen:

Hoe om te gaan met (risico op) toxische emissies tijdens het recycleproces en het vermijden van toxische emissies door vermeden grondstofproductie dankzij recycling? En: is hier een aparte indicator voor nodig?

Toxische milieuemissies worden in de LCA geïnventariseerd en zijn terug te vinden in de scores voor humane en ecotoxiciteit. Vaak komen deze echter niet als relevant naar boven (in verhouding tot bijvoorbeeld klimaatverandering), terwijl er wel maatschappelijke zorg over bestaat.

Wanneer in een specifiek recyclingscenario een bekende toxische emissie onvoldoende duidelijk in de resultaten tot uitdrukking komt, zou de midpoint-score voor ecotoxiciteit apart getoond kunnen worden, om zo toch een rol in de vergelijking van scenario's te spelen. Er is geen aparte indicator voor het in de kringloop houden van toxische stoffen door recycling en in de bestaande effectcategorieën komt dit niet tot uitdrukking.

In sommige bestaande producten zitten stoffen die we liever niet in de kringloop houden, bijvoorbeeld schadelijke gebromeerde brandvertragers in kunststof (elektronica), of teer in dakafval. Voor dit soort producten of materiaalstellingen is soms al regelgeving actief: deze mogen niet worden gerecycled. Gezien de grote huidige inspanningen om probleemstoffen uit producten en dus op termijn het milieu te verwijderen, verdient dit aspect aandacht in het beleidsmodel.

Binnen LCA-methodiek zijn hier onvoldoende mogelijkheden voor: de scores zullen niet genoeg 'opvallen'. Er valt ook geen lijst op te stellen met 'verboden stoffen' (inclusief maximumconcentraties), aangezien elke materiaalstroom zijn eigen specifieke probleemstoffen kent. Er kan niets concreter gedaan worden dan het opnemen van een algemene opmerking in het beleidsmodel: 'wanneer er door recycling ongewenste probleemstoffen in de keten blijven dient dit te worden meegenomen in de overweging'.

#### **B.6.4 Aantal levenscycli waarderen**

Wanneer in de volgende levenscyclus recycling opnieuw mogelijk is, verhoogt dat de 'hoogwaardigheid' van een verwerkingsroute. Om dit kwantitatief uit te drukken, wordt niet alleen naar één afvalverwerkingsronde gekeken, maar worden ook de volgende levenscycli in de berekening opgenomen. We bepalen de milieu-impact van een aantal volgende cycli van het materiaal.

Bij het berekenen van de mLCA voor meerdere cycli van een afvalstroom spelen een aantal keuzen.

##### **1. Aantal cycli**

De eerste vraag is hoeveel cycli er bekeken moeten worden. Het lijkt interessant om een groot aantal cycli van een afvalstroom te bekijken, bijvoorbeeld 100. Maar dit is in de praktijk rekenkundig erg bewerkelijk. Ook nemen we met zoveel toekomstkeuzen een heel grote 'hypotheek' op de toekomst. Voor een keten waarin producten tien jaar meegaan zou dan 1.000 jaar gemodelleerd worden. Zo ver vooruit kijken geeft een veel te grote onzekerheid. Pragmatisch stellen we voor om voorlopig uit te gaan van drie cycli. Voor een product dat gemiddeld twee tot tien jaar meegaat, betekent dat een doorkijk van 4 tot 20 jaar vooruit (de eerste cyclus is nu, de tweede over twee tot tien jaar, de derde cyclus over vier tot twintig jaar).

Elke toevoeging van een extra cyclus maakt dat de methodiek meer aansluit bij de principes van de circulaire economie maar maakt aan de andere kant de analyse onzekerder omdat steeds minder zeker is wat er echt in de toekomst met een materiaal zal gebeuren.

##### **2. Cycli vs. levensduur**

De tweede vraag is of  $x$  cycli worden gemodelleerd of dat het aantal cycli af moet hangen van de levensduur van een product. Een vaste tijdsspanne kan worden gehanteerd en dat vervolgens wordt ingeschat hoeveel cycli in die periode passen. Bijvoorbeeld twintig jaar, zoals in LCA-studies ook is vastgesteld voor verschuiving in landgebruik (*land use change*). Voor een verpakking omvat 20 jaar vele levenscycli; voor een bouwproduct omvat twintig jaar één cyclus, of zelfs minder dan één.

##### **Discussie en keuze**

In de tabel zijn de argumenten voor en tegen het rekenen met een tijdsduur en een aantal cycli samengevat.



Tabel 8 Argumenten voor/tegen aantal cycli of voor tijd in de economie

Onderwerp	Argument
Voor drie cycli	Behapbaar aantal, relatief efficiënt te berekenen. Dit biedt een vergelijkbare functionele eenheid voor verschillende recyclingroutes, ook als de routes andere type recycleert produceren en dus divergeren bij de tweede keer recycling.
Tegen drie cycli	De tijdsspanne (zichtperiode) verschilt voor producten met een korte levensduur en producten met lange levensduur. De zichtperiode kan verschillen voor de diverse recyclingroutes van een afvalstroom. Bij producten met lange levensduur (bijvoorbeeld bouwwerken) kan de zichtperiode lang zijn, ook bij drie cycli. Dit levert onzekerheid op: de analyse krijgt dan een erg toekomstvoorspellend karakter.
Voor twintig jaar	Sluit aan bij de zichtperiode die gebruikt wordt bij ontbossing in LCA.
Tegen twintig jaar	Veel producten hebben een variabele levensduur: lastig te bepalen hoeveel cycli in 20 jaar passen. Het levert meteen onzekerheid op in de analyse. Als een product een levensduur van meer dan twintig jaar heeft, zou er minder dan 1 recyclingcyclus worden berekend. Naast dat dit praktische problemen oplevert voor berekening, gaat dit in tegen het hoofddoel van de circulaire economie: materiaal zo lang mogelijk behouden. Modelleren op deze manier zorgt voor een perverse prikkel ('korte levensduur is goed, want geeft meer recyclingrondes'). Dit levert verschillende functionele eenheden op. Soms 10x een product en soms maar een 0,5x. Ook als producten in een andere keten worden gerecycled (denk aan de mixed kunststofproducten) verandert de functionele eenheid. De levensduur van producten wordt in het algemeen niet beïnvloed door recyclingtechnieken. Omdat we zoeken naar een methodiek die aansluit bij aspecten die beïnvloed worden door recyclingkeuzen nu is het daarom niet logisch om een verschil in levensduur van invloed te laten zijn op de methodiek.

Zowel modellering volgens een zichtperiode als volgens een vast aantal cycli heeft voor- en nadelen. Het werken met een vast aantal cycli is makkelijker toepasbaar en sluit beter aan bij de functionele eenheidsbenadering in LCA-studies. Ook sluit het beter aan op het circulaire economie, in die zin dat een langere levensduur nu niet in het nadeel van het product werkt. Laatst belangrijke argument is dat er meestal geen causale relatie is tussen keuzen in recyclingtechnieken en de levensduur van producten. Een methodiek met een vast aantal cycli zonder invloed van de levensduur van producten sluit beter aan bij deze causaliteit.

Gezien deze argumenten wordt in de ontwikkelde LCA-methode gewerkt met drie cycli. In tenminste één van de casestudies wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de hoeveelheid cycli: hoe veranderen de conclusies als er wordt gewerkt met meer en minder cycli (1, 2, 3 of 5)?



## B.7 Rekening houden met 'end-of-life' of 'recycled content'?

Een belangrijke discussie rond LCA's van recycling processen is vaak de vraag aan welke actor of aan welke stap van de keten het milieuvoordeel van recycling dient te worden toegerekend. Bij de recycled content-methodiek wordt dit voordeel toegerekend aan de gebruiker van recycklaat. Bij de end-of-life benadering wordt het voordeel toegerekend aan de partij die haar afval netjes ontdoet. Ook is er nog de net-scrap-methodiek die beide methoden combineert.

In dit project ligt de maatschappelijke vraag voor welke recyclingroute beter/hoogwaardiger is dan een ander. We kiezen daarbij dus een brede blik en hoeven de vraag niet te beantwoorden aan welke actor de voordelen van recycling moet worden toegerekend. We starten met 1.000 kg afval en vragen ons af wat daar het best mee gedaan kan worden. We spreken ons niet uit over de vraag wie daar precies de credits moet krijgen. Dat zou de ontdoener kunnen zijn, dat zou de gebruiker van recycklaat kunnen zijn of nog anders de overheid die recycling met beleid stimuleert of een combinatie van deze actoren.

Voor deze maatschappelijke afval-LCA-benadering is toerekening aan actoren dus niet nodig. Zodra recycling een rol speelt in product-LCA's is het wel zaak om de toerekening van recycling goed te adresseren.

## B.8 Overige overdenkingen

### B.8.1 Vergelijking met energietoepassing

Recycling ligt beleidsmatig tussen twee niveaus in de afvalhiërarchie in, te weten producthergebruik en energietoepassing. In dit project zoomen we in op het waarderen van vormen van recycling (hoog/laagwaardig). In de casestudies besteden we waar relevant ook aandacht aan de afstand van recycling tot energietoepassing (sport lager), door dit als extra scenario door te rekenen. Hergebruik is voor lang niet alle producten mogelijk. Mogelijk kunnen wel een best-case-recyclingroute definiëren, aan de hand van onze bevindingen. Dit geeft extra inzicht in de betekenis en positie van hoogwaardige recycling t.o.v. andere afvalverwerkingsopties.

### B.8.2 Duurzame energie

Binnen LCA-berekeningen heeft energieverbruik doorgaans een dominant effect op de score. Binnen een volledig doorgevoerde circulaire economie is het toepassen van duurzame energie een basisveronderstelling; echter in de realiteit is een volledig duurzame energievoorziening nu nog ver weg in Nederland dus is gerekend met de huidige energiemix. De bedrijvencommissie bij dit project ondersteunt dit ook en geeft ook aan dat ook in een wereld met meer duurzame energie een laag energiegebruik een belangrijke waarde zal blijven.

# Bijlage C Case: transparante PET-verpakkingen

## C.1 Omschrijving

Voor PET worden drie recyclingsscenario's met elkaar vergeleken. Ter vergelijking wordt ook berekend wat de resultaten zijn als het PET wordt verbrand (bijgestookt) in een cementoven of kolencentrale. Alle scenario's gaan alle uit van grote PET-flessen als basis. Deze kunnen verwerkt worden via alle gekozen routes. Momenteel gebeurt dit in de praktijk vooral via het statiegeldsysteem, maar ook via bronscheiding kunnen grote PET-flessen worden ingezameld en gesorteerd voor recycling. Bij de onderstaande omschrijving van de scenario's zijn inzichtelijke schema's beschikbaar in Bijlage A.

1. **PET-flessen via statiegeld tot granulaat, ter inzet in nieuwe PET-flessen**  
Grote PET-flessen worden ingezameld via het statiegeldsysteem. Het kent een hoge respons: 95% van de flessen komt retour. De flessen worden bij supermarkten verzameld en naar verwerkers getransporteerd. Deze stroom bevat alleen PET-flessen en is dus een zeer monotone en schone stroom, die met relatief weinig verwerkstappen en energie wordt verwerkt tot transparant granulaat. Dit is schoon genoeg om weer in te zetten in PET-flessen. Hierbij wordt het granulaat vermengd met virgin-granulaat, waardoor 1-op-1 virgin-granulaat ('*bottle grade*') wordt vervangen. Het verkregen product kan wederom via dezelfde recyclingroute worden gerecycled.
2. **PET-flessen via bronscheiding tot granulaat**  
Ook via bronscheiding kunnen grote PET-flessen worden ingezameld voor recycling. De '*response rate*' voor PET is bekend: momenteel ongeveer 55% van het PET bij huishoudens komt via het bronscheidingsysteem beschikbaar voor recycling. De PET-flessen worden samen met andere typen kunststof verpakkingen ingezameld. Daarom vindt er na inzameling eerst een sorteerstap (mechanisch) plaats. Een deel van het PET afgescheiden tot een PET-stroom die allerlei typen PET-producten bevat: transparante flessen, flacons en schaalpjes. Deze PET-stroom wordt bij verwerkers opgewerkt tot PET-flakes en PET-granulaten. Vergeleken met de statiegeldroute zijn schoonmaak/verwerkstappen en dus meer energie nodig. De flakes en granulaten worden in een veelheid aan toepassingen ingezet. Sommige van deze producten kunnen weer worden ingezameld voor recycling via bronscheiding, sommige niet. Er worden daarom twee deelscenario's doorgerekend:
  - a Recycling tot een verpakking, zoals een PET-schaaltje of klein PET-flesje, die vervolgens zelf weer via bronscheiding kan worden ingezameld ter recycling. Deze PET-stroom wordt opgewerkt tot granulaten die worden ingezet in nieuwe verpakkingen, waarbij amorf virgin PET wordt uitgespaard.
  - b Recycling tot een PET-product waarvoor geen inzamelsysteem bestaat en die dus niet nogmaals gerecycled worden, ook al zou dat technisch wel kunnen. Het bronscheidingsysteem is immers alleen gericht op verpakkingen. Denk bijvoorbeeld aan textiel van gerecycled polyester (oa fleece) en strapping (stevig band dat wordt gebruikt om gestapelde producten op pallets vast te zetten). Deze producten worden verbrand. Er is dus geen 2de en 3de keer recycling.

### 3. PET-flessen via bronscheiding naar de mixed kunststofstroom en inzet als mixed kunststofproduct

Deze recyclingroute start hetzelfde als hierboven: inzameling via bronscheiding en sortering. Sortering gebeurt hier echter naar de mixed kunststofstroom. In deze stroom komen de kunststofproducten terecht die na uitsortering van de mono-stromen overblijven. De mixed kunststofstroom wordt door verwerkers gebruikt om palen en planken van te maken. Typische toepassingen zijn steigers, kadebeschoeiingen, bermpaaltjes en (planken voor) bankjes en bloembakken.

Na gebruik kunnen de producten worden ingezameld en weer worden gerecycled. Het is ons niet bekend in hoeverre dit ook echt gebeurt. Het is ons niet bekend in welke mate de producten worden ingezameld, welk deel geschikt is voor recycling en welk deel uiteindelijk daadwerkelijk wordt gerecycled tot (wederom) een mixed product. Om het LCA-model te testen is als basisscenario uitgegaan van 50% recycling, 50% verbranding. We doen een gevoeligheidsanalyse, om te zien hoe de resultaten veranderen als met een range van 20 tot 80% wordt gerekend.

### 4. PET-flessen ingezet als brandstof in cementoven

Dit is geen recyclingroute, maar wordt toch berekend, omdat dit scenario in klassieke LCAs (één levenscyclus) op sommige milieueffecten beter scoort dan recycling van PET. In een cementoven wordt doorgaans kolen gebruik als energiedrager. Dus als PET wordt bijgestookt spaart dit kolen uit (berekend via de verbrandingswaarde van PET en kolen). Uiteraard worden ook de emissies van het verbranden van PET gemodelleerd.

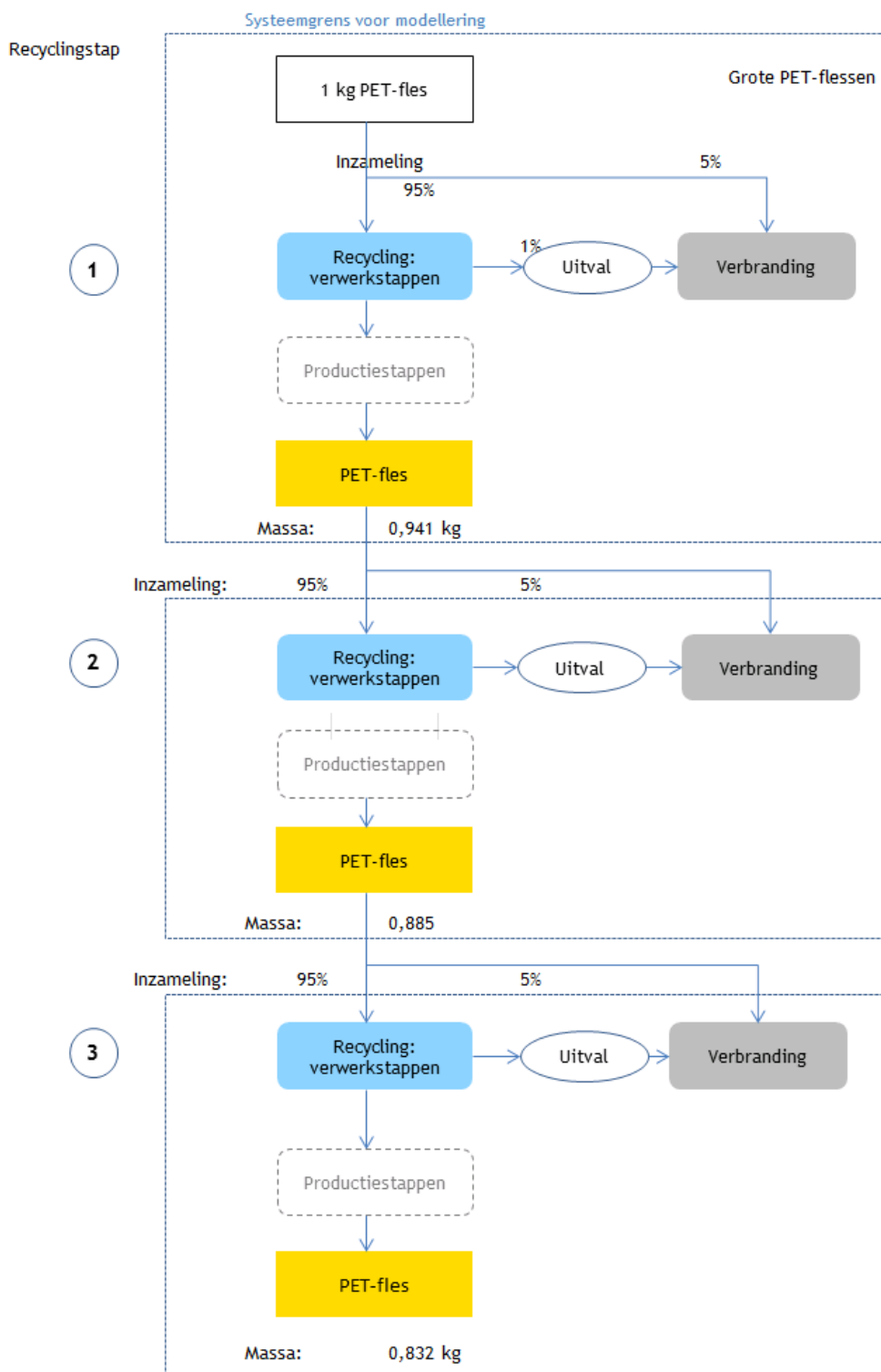
We willen onderzoeken hoe verbranding in de cementoven zich verhoudt tot de diverse recyclingroutes als er naar meerdere levenscycli wordt gekeken. Het schema voor verbranding in de cementoven is heel eenvoudig: in de tweede en derde (recycling)ronde is er geen product, dus ook geen impact en geen winst.

Voor de PET-cases geldt dat ze niet allemaal even rijp in de markt zijn ingevoerd. Een vergelijking tussen statiegeld en bronscheiding (nog in ontwikkeling) is daarmee een momentopname.

## C.2 Schema's PET-flessen

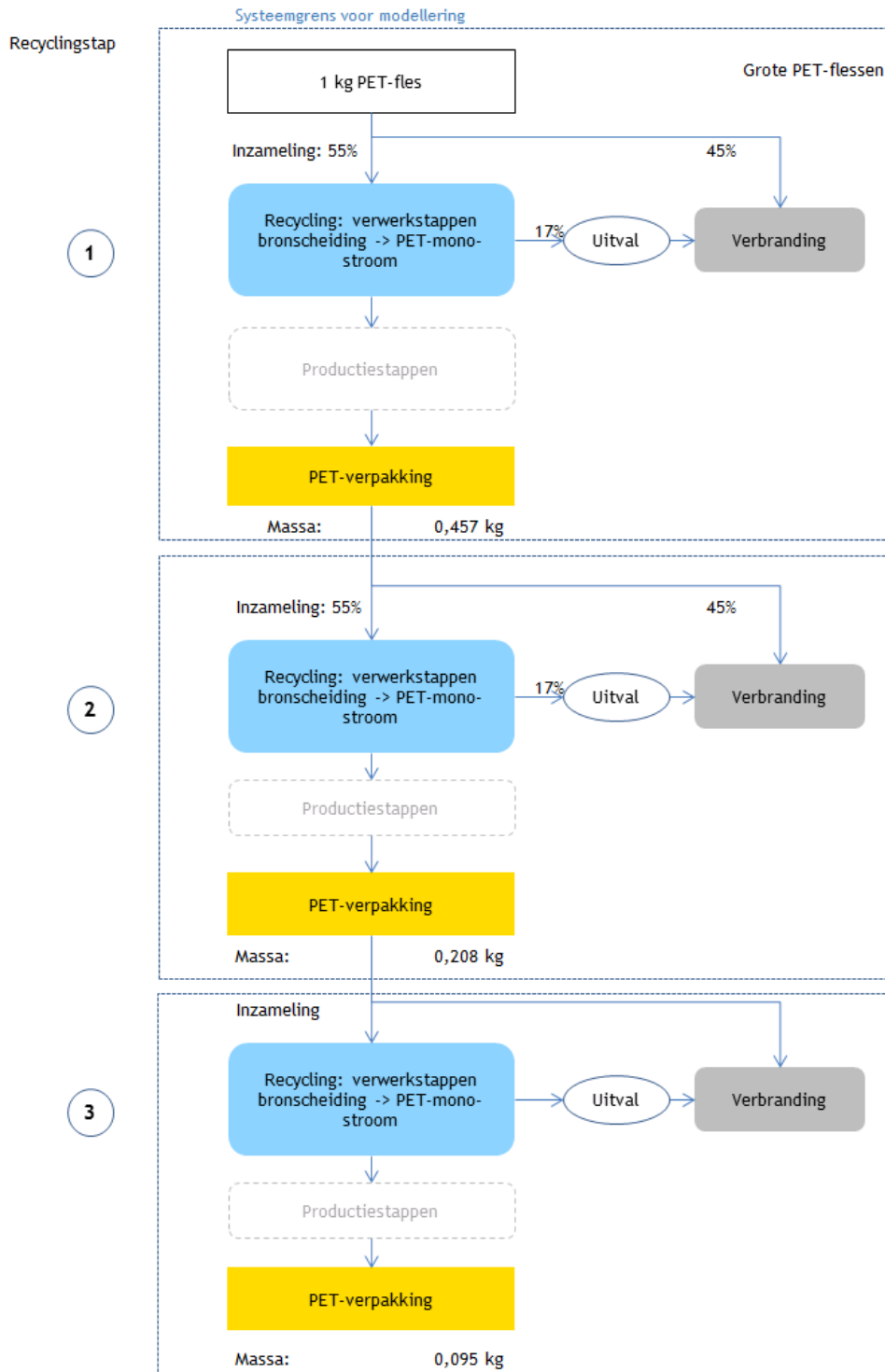
### C.2.1 PET-fles via statiegeldsysteem

Figuur 22 Systeemgrens PET-fles via statiegeldsysteem, drie keer recycling



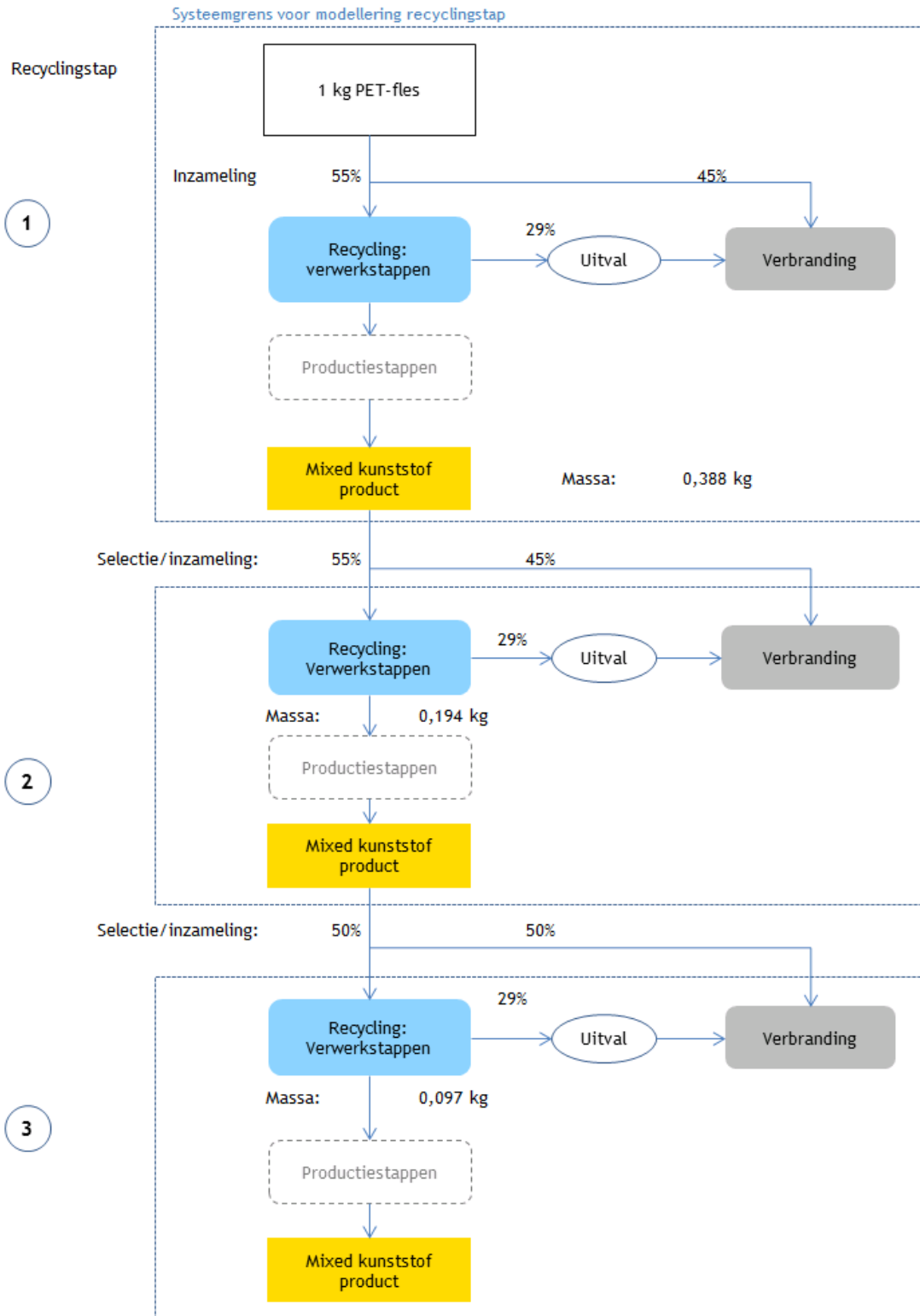
### C.2.1 PET-fles via bronscheiding; scenario: sortering naar de PET-mono-stroom, recycling tot PET-verpakking dat zelf weer gerecycled kan worden

Figuur 23 Systeemgrens PET-fles via bronscheiding PET-mono-stroom tot meermalig te recyclen product, drie keer recycling



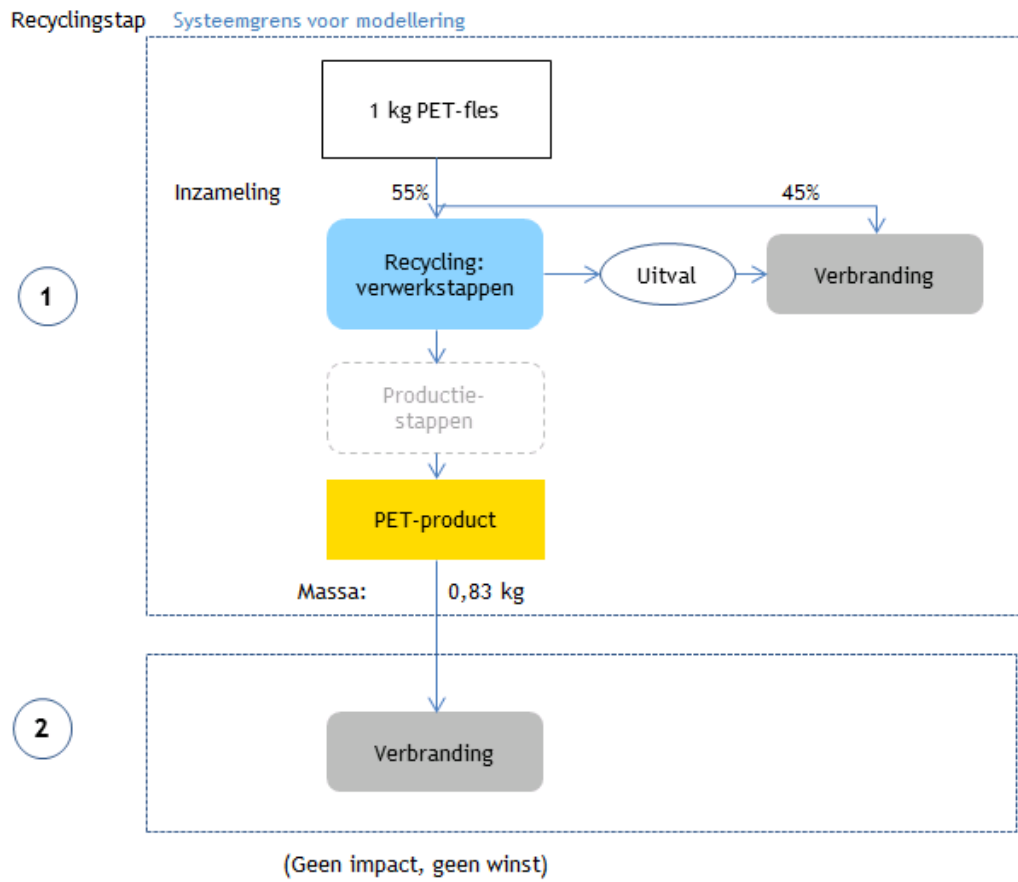
## C.2.2 PET-fles via bronscheiding; scenario: sortering naar de mixed kunststofstroom

Figuur 24 Systeemgrens PET-fles via bronscheiding mixed kunststofstroom tot mixed kunststofproduct, drie keer recycling



### C.2.3 PET-fles via bronscheiding; scenario: sortering naar de PET-mono-stroom, recycling tot product dat zelf niet gerecycled kan worden

Figuur 25 Systeemgrens PET-fles via bronscheiding PET-mono-stroom tot PET-product dat vervolgens niet meer wordt gerecycled



3 Geen impact, geen winst.

### C.3 Resultaten

Zie ter ondersteuning van onderstaande bespreking ook de tabellen en grafieken in deze paragraaf.

Naast deze hoofdresultaten worden twee aanvullende scenario's en een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze worden besproken in Paragraaf C.4 en C.5:

- best-case-scenario voor PET-recycling;
- bronscheiding met hoog inzamelpercentage (80%);
- het effect van verandering van het recyclingpercentage van mixed kunststofproducten (basisaannname: 50%).

#### Beste recyclingroute

Recycling via statiegeld tot nieuwe PET-fles heeft het beste milieuprofiel voor:

- vier van de achttien milieueffecten (midpoint-niveau);
- twee van de drie de schadecategorieën (endpoint-niveau);
- de ReCiPe single score;
- de cumulative energy demand, aandeel fossiele energie.

Met medeneming van al deze scores komt recycling via statiegeld tot PET-fles uit beste uit de multicyclus-LCA.

#### Milieueffecten (midpoint-niveau)

De resultaten op midpoint-niveau alleen zijn niet doorslaggevend voor een ranking, ook niet voor het bepalen van een duidelijke nummer één. De ranking verschilt enorm per milieueffect. Als we door de oogharen heen kijken naar de ranking op midpoint-niveau, scoren de statiegeldroute, mixed kunststof-uitsparing beton en verbranding (kolen uitsparen) beter dan mixed kunststof-uitsparing hout en eenmalig recyclen tot PET-product. Recycling tot mixed kunststofproduct met uitsparing van hout lijkt het minst goed te scoren (elf v/d achttien milieueffecten).

De discussie wat er wordt uitgespaard door een mixed kunststofproduct is dus (uiteraard) ook in deze analyse relevant. We tonen hier twee uitersten: hout en beton uitsparen.

Tabel 9 zijn veel negatieve getallen te zien (= milieuwinst), maar ook heel wat positieve getallen (= milieu-impact). Lang niet alle routes leiden tot milieuwinst voor alle milieueffecten.

#### Schadecategorieën (endpoint-niveau)

Op endpoint-niveau verandert de ranking: hier blijkt dat het mixed product dat hout uitspaart niet meer de slechtste scores heeft. Nu komt het eenmalige PET-product, dat niet meer kan worden gerecycled, als minst goed naar voren. Toch is de ranking van beste en slechtste variant niet unaniem. Ook hier zien we zowel milieuwinst (negatieve getallen) als milieu-impact (positieve getallen).

#### Single score

De single score bevestigt wat we al vermoedden bij de endpoints: de beste en slechtste variant tekenen zich nu duidelijk af. Ook pas na weging zien we allemaal negatieve getallen (= milieuwinst).



Tabel 9 Hoofresultaten PET op milieueffectniveau (midpoint)

Milieueffect	Eenheid	3 x recycling; PET naar PET- fles	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: hout)	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: beton)	3 x recycling; PET naar recyclebare PET- verpakking via bronscheiding	3 x recycling; PET naar eenmalig PET-product (strapping)	PET als brandstof, bijstook (uitsparing: kolen)	Ranking per milieueffect					
								Statiegeld- fles	Mixed (hout)	Mixed (beton)	Verpakking meermaalig	Eenmalig	Verbranding (kolen)
Climate change	kg CO <sub>2</sub> -eq.	-4,79	1,79	-3,60	0,41	1,02	-0,98	1	6	2	4	5	3
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	-2,83E-05	-3,52E-08	-6,11E-07	-7,61E-06	-4,59E-06	-1,09E-08	1	5	4	2	3	6
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	-0,018	-0,002	-0,015	-0,004	-0,003	-0,01905	2	6	3	4	5	1
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	0,0001	0,0001	-0,0004	0,0001	0,0000	-0,00101	5	6	2	4	3	1
Marine eutrophication	kg N-eq.	-0,0005	1,99E-05	-0,00082	-1,26E-05	8,14E-06	-0,0004	2	6	1	4	5	3
Human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	-0,33	0,31	-0,50	0,20	0,18	-0,59511	3	6	2	5	4	1
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-0,020	-0,001999	-0,02431	-0,00376	-0,00236	-0,00823	2	6	1	4	5	3
Particulate matter formation	kg PM <sub>10</sub> -eq.	-0,0056	-0,0138	-0,0121	-0,0011	-0,0007	-0,00573	4	1	2	5	6	3
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-3,36E-04	3,57E-05	-4,22E-04	-4,13E-05	-6,71E-06	-1,24E-05	2	6	1	3	5	4
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,006	0,031	-0,007	0,027	0,034	0,011787	2	5	1	4	6	3
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,002	0,027	-0,010	0,025	0,029	0,009756	2	5	1	4	6	3
Ionising radiation	kBq U235-eq.	-2,45	0,00	-0,29	-0,65	-0,42	-0,0886	1	6	4	2	3	5
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	0,008	-21	-0,018	0,003	-0,001	-0,06323	6	1	3	5	4	2
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	0,000	-0,001	-0,044	0,001	0,000	-0,01539	4	3	1	6	5	2
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	1,42E-04	-7,30E-05	-1,19E-03	5,28E-05	-2,43E-05	-1,11E-04	6	3	1	5	4	2
Water depletion	m <sup>3</sup>	-0,141	0,007	-0,008	-0,035	-0,024	-0,00623	1	6	4	2	3	5
Metal depletion	kg Fe-eq.	-0,045	0,008	-0,361	0,003	0,002	-0,00392	2	6	1	5	4	3
Fossil depletion	kg oil-eq.	-3,58	-0,02	-1,35	-0,98	-0,69	-0,65027	1	6	2	3	4	5

Tabel 10 Hoofresultaten PET per schadecategorie (endpoint)

Milieueffect	Eenheid	3 x recycling; PET naar PET- fles	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: hout)	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: beton)	3 x recycling; PET naar recyclebare PET- verpakking via bronscheiding	3 x recycling; PET naar eenmalig PET-product (strapping)	PET als brandstof, bijstook (uitsparing: kolen)	Ranking per milieueffect					
								Statiegeld-fles	Mixed (hout)	Mixed (beton)	Verpakking meermalig	Eenmalig	Verbranding (kolen)
Human Health	DALY	-8,57E-06	-8,72E-07	-8,55E-06	3,84E-07	1,33E-06	-3,28E-06	1	4	2	5	6	3
Ecosystems	species.yr	-3,79E-08	-1,84E-07	-3,18E-08	3,41E-09	8,06E-09	-9,16E-09	2	1	3	5	6	4
Resources	\$	-0,59	-0,003	-0,25	-0,16	-0,11	-0,11	1	6	2	3	4	5

Tabel 11 Hoofresultaten PET voor de gewogen single score

Milieueffect	Eenheid	3 x recycling; PET naar PET- fles	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: hout)	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: beton)	3 x recycling; PET naar recyclebare PET- verpakking via bronscheiding	3 x recycling; PET naar eenmalig PET-product (strapping)	PET als brandstof, bijstook (uitsparing: kolen)	Ranking per milieueffect					
								Statiegeld-fles	Mixed (hout)	Mixed (beton)	Verpakking meermalig	Eenmalig	Verbranding (kolen)
Single score	Pt	-0,64	-0,43	-0,40	-0,09	-0,029	-0,15	1	2	3	5	6	4

Tabel 12 Hoofresultaten PET voor de Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie

Milieueffect	Eenheid	3 x recycling; PET naar PET- fles	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: hout)	3 x recycling; PET naar mixed kunststof product (uitsparing: beton)	3 x recycling; PET naar recyclebare PET- verpakking via bronscheiding	3 x recycling; PET naar eenmalig PET-product (strapping)	PET als brandstof, bijstook (uitsparing: kolen)	Ranking per milieueffect					
								Statiegeld-fles	Mixed (hout)	Mixed (beton)	Verpakking meermalig	Eenmalig	Verbranding (kolen)
Cumulative energy demand (aandeel niet-hernieuwbare energie)	MJ	-173,0	-1,0	-62,6	-47,4	-33,2	-29,6	1	6	2	3	4	5

## C.4 Toekomstscenario's en variatie: 1 tot 5 keer recycelen

In deze paragraaf wordt gekeken naar de resultaten voor de PET-case bij ook éénmaal recycelen, tweemaal recycelen en vijfmaal recycelen.

Als extra analyse zijn er twee toekomstscenario's doorgerekend:

1. Best-case-scenario voor recycling. Dit scenario representeert 100% inzameling van PET, geen uitval tijdens recyclingprocessen, gelimiteerde transportafstand en hoeveelheid energieverbruik en gebruik van groene energie. Transportmiddel (truck EURO-klasse 4), gebruikte hulpstoffen en gasverbruik zijn niet aangepast (dus zijn volgens huidige verwerking).
2. Bronscheidingssysteem met hoge inzamelrespons op PET (80%, in plaats van 50%). Het bronscheidingssysteem is sinds een aantal jaar operationeel en zal nog verder ontwikkelen. De verwachting is dat de inzamelrespons zal stijgen. Op sommige locaties in Nederland wordt ook al een hoge inzamelrespons behaald.

De resultaten zijn onderaan weergegeven voor een aantal van de milieuanalyses (klimaatimpact, schadecategorie 'menselijke gezondheid', single score en CED). Een stip representeert verbranding: na deze ene verwerkstap is het materiaal weg. Bij recycling tot eenmalig product vindt éénmaal recycling plaats, daarna wordt het verbrand.

### Uitvergroot en dynamisch inzicht

Te zien is dat verschillen tussen de routes worden uitvergroot naarmate er meer recyclingstappen plaatsvinden. In de getoonde analyses biedt driemaal recycelen al een goed beeld: de rangvolgorde verandert niet meer.

Waar verbranding of eenmalige recycling bij éénmaal verwerking nog vergelijkbaar scoort met éénmaal recycling, of soms beter, is te zien dat dit vaak niet meer opgaat voor meerdere keren recycelen. De resultaten voor meerdere keren recycelen, waarbij dus meerdere keren materiaal wordt behouden, heeft in de meeste gevallen een duidelijk betere score dan verbranden of eenmalige recycling.

Voor individuele milieueffecten kan het resultaat verschillen, zoals te zien is voor klimaatimpact en uitsparing van een houten product.

De milieuwinst (of impact) van recyclingroutes vlak op den duur af, vanwege de afnemende massa: bij elke recyclingstap valt er materiaal uit, waardoor het extra milieuvoordeel (of nadeel) afneemt. Hoe meer materiaal uitvalt, hoe sneller de curve afvlakt. Met deze grafieken is het mogelijk om in te beelden hoe de curve zal voortzetten in verdere recyclingstappen (zes en verder).

### Best-case en hoge inzamelrespons bronscheiding

Het best-case-scenario is gedefinieerd door geen uitval, laag energieverbruik voor opwerking en gebruik van groene stroom en verwerking geschiedt binnen Nederland (lage transportafstand). Het transportmiddel en hulpmiddel- en gasverbruik zijn niet aangepast.

Het resultaat voor een hogere inzamelrespons op PET via bronscheiding (80%) levert wel wat extra milieuwinst op, maar niet heel veel meer dan het basisscenario (55% inzameling). Dit heeft de volgende redenen:

- Er is toch nog aanzienlijk meer uitval van PET bij sortering en verwerking dan bij statiegeld.
- Het uitval wordt verbrand, wat tot hogere emissie leidt.
- Het energieverbruik voor verwerking via bronscheiding aanzienlijk hoger dan voor verwerking via statiegeld. Dit komt vooral omdat er meer verwerkstappen nodig zijn om hoogwaardig granulaat te verkrijgen dat weer kan worden ingezet in nieuwe PET-producten.

Wil meermalige recycling van PET via bronscheiding beter scoren, dan is er een efficiëntieslag nodig: minder uitval en minder energie bij verwerking.

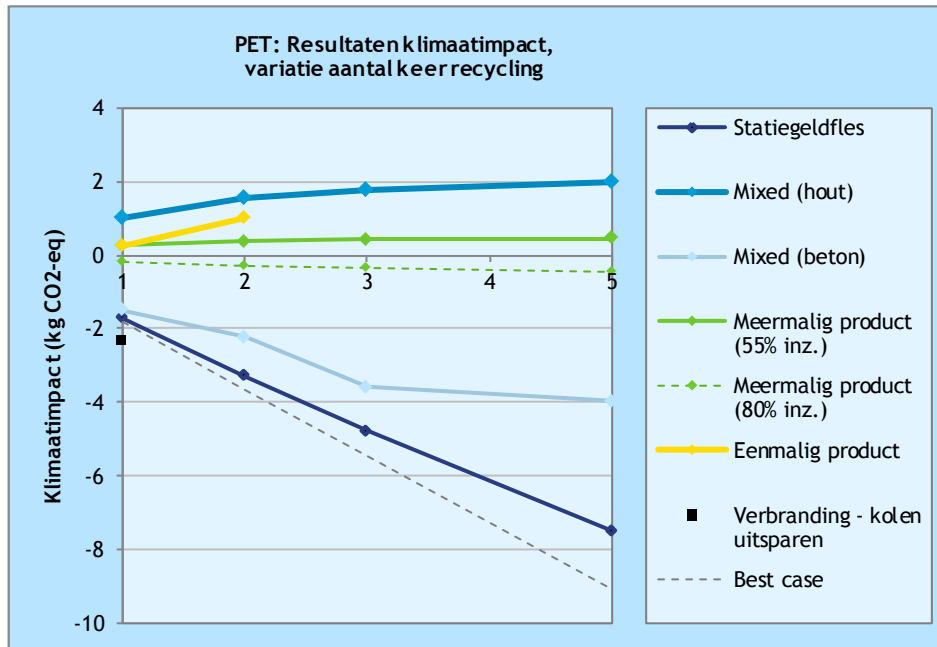
### Conclusies

De analyse van kunststof maakt duidelijk dat er enkele voorwaarden zijn, voor het behalen van een hoge milieuwinst. Op volgorde van belangrijkheid:

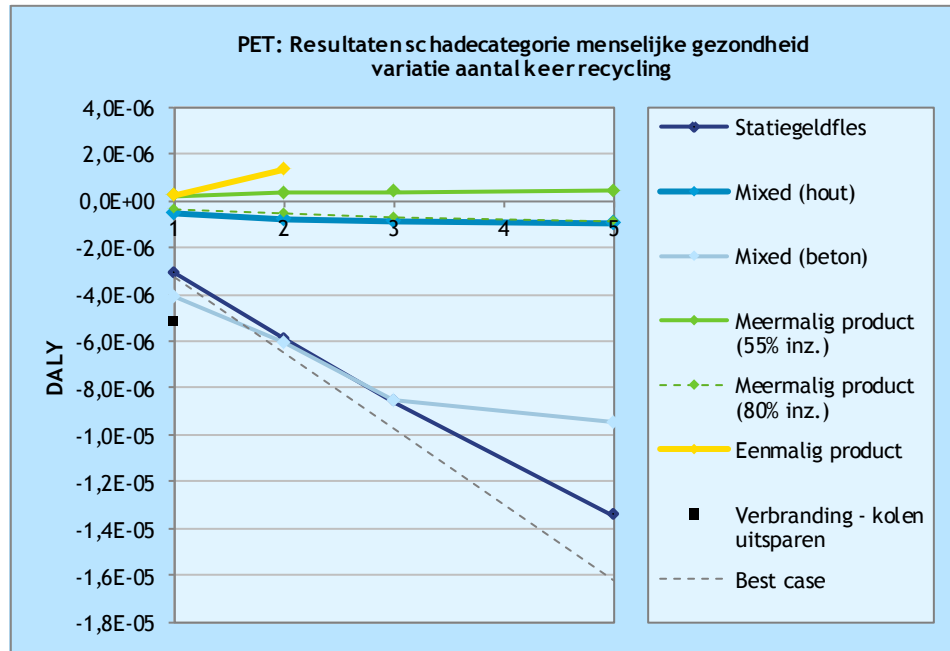
1. Hoge inzameling en beperken van uitval.
2. Het uitsparen van een milieubelastend materiaal.
3. Laag energieverbruik.

Verbranding van kunststof met uitsparing van kolen heeft vaak een goede score ten opzichte van recycling, als er naar 1x recycling wordt gekeken. Deze winst verdwijnt wanneer rekening wordt gehouden met meermalen recycling. Het *in-the-loop* houden van kunststof blijkt op termijn een hogere milieuwinst op te kunnen leveren.

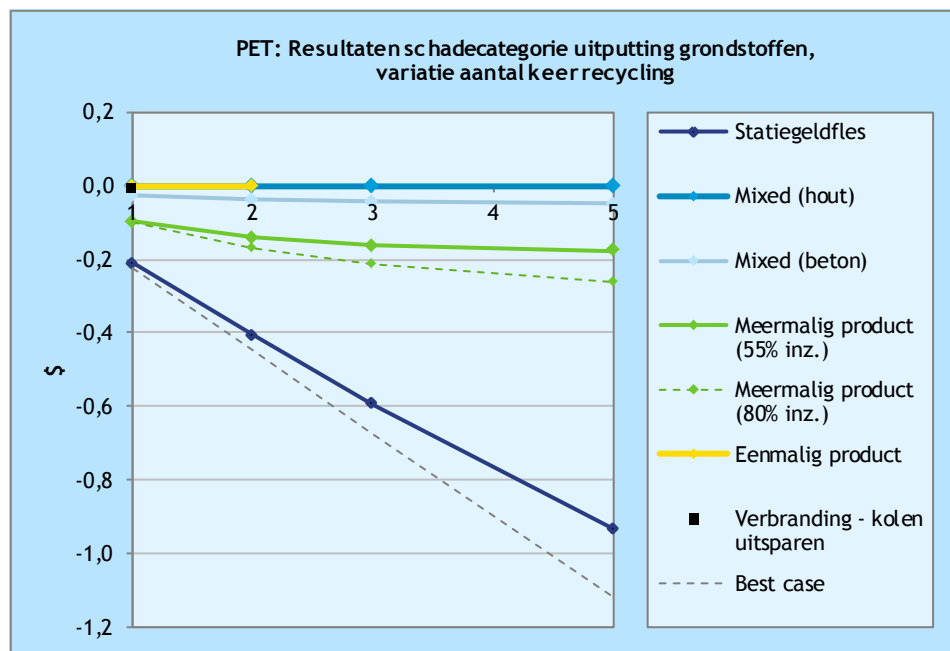
Figuur 26 Resultaten klimaatimpact van 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



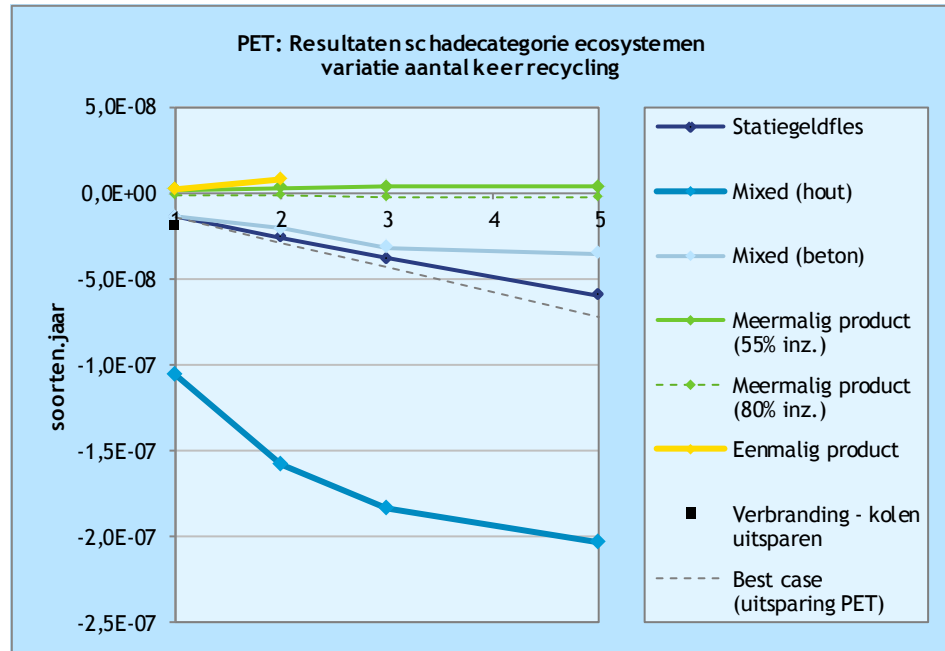
Figuur 27 Resultaten schadecategorie menselijke gezondheid, 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



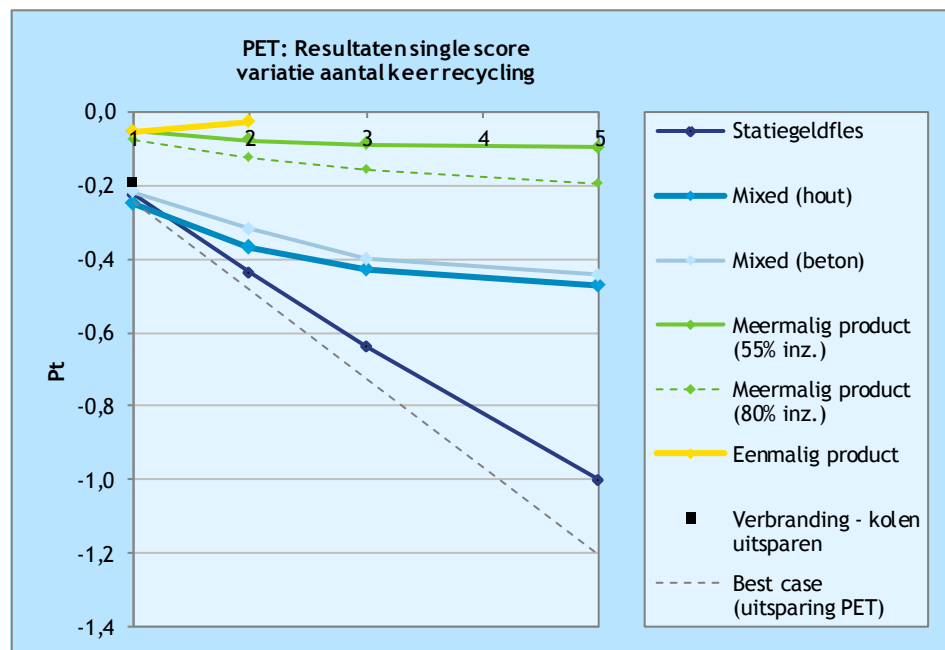
Figuur 28 Resultaten schadecategorie uitputting grondstoffen, 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



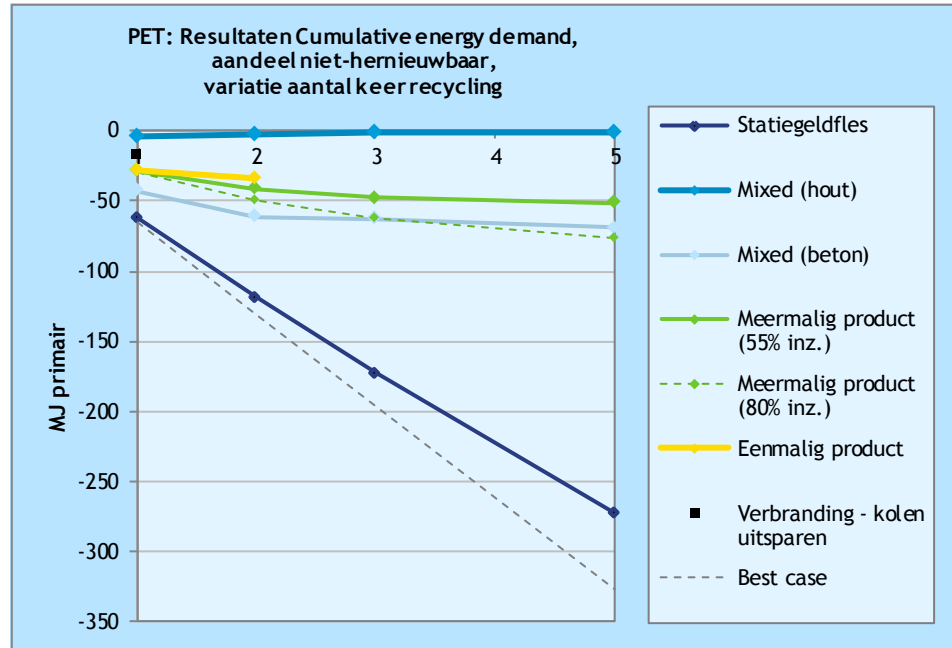
Figuur 29 Resultaten schadecategorie ecosystemen, 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



Figuur 30 Resultaten ReCiPe single score, 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



Figuur 31 Resultaten cumulative energy demand, 1 kg PET, één tot vijf keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



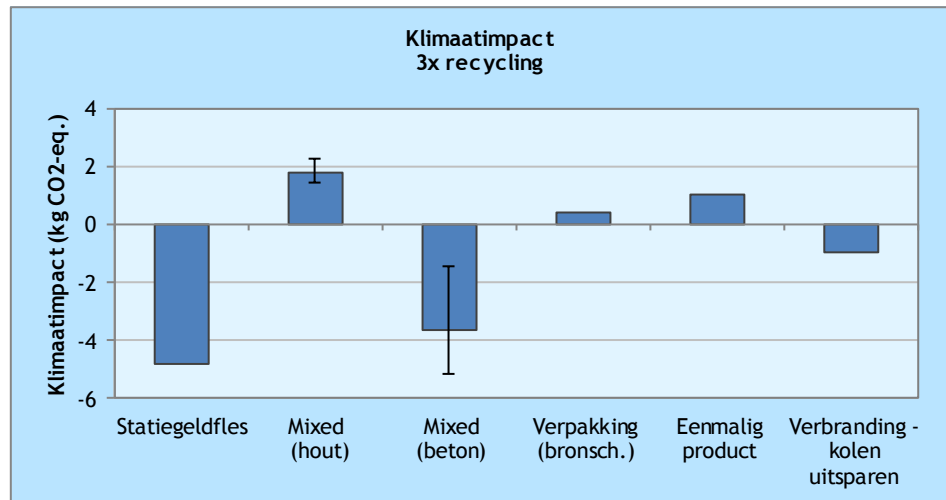
### C.5 Gevoeligheidsanalyse: recyclingpercentage mixed kunststofproducten

In de basisanalyse is de (werk)aanname gemaakt dat 50% van de mixed kunststofproducten weer worden ingezameld ter recycling. Het niet-ingezamelde deel wordt naar veronderstelling verbrand. Dit percentage is een dummygetal, een werkwaarde. Het is bij ons niet bekend hoe de mixed kunststofproducten in werkelijkheid worden verwerkt. Daarom hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, met een range voor het inzamelpercentage: minimaal 20%, maximaal 80%.

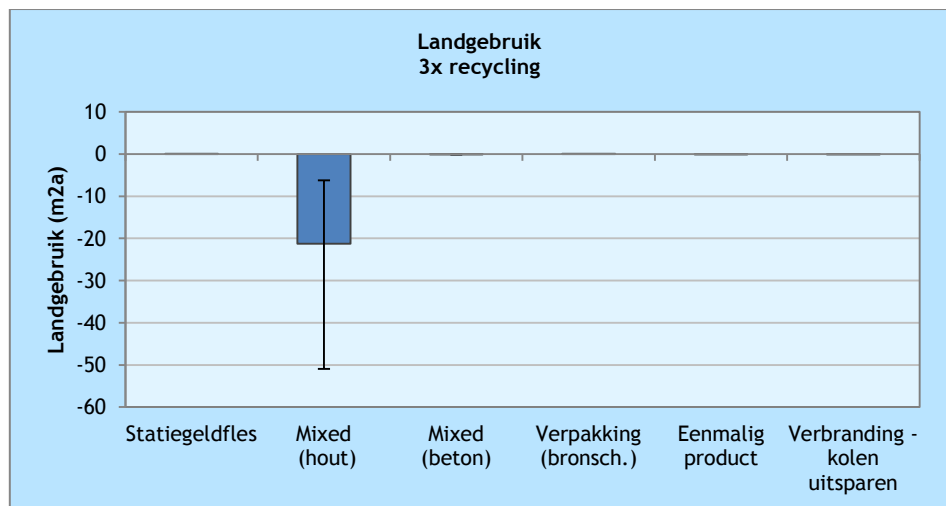
De resultaten zijn zoals verwacht sterk afhankelijk van het aandeel mixed kunststofproducten dat weer wordt ingezameld voor recycling. De variatie in resultaten kan meer dan 50% zijn (hoger en lager). Voor zowel de afzonderlijke milieueffecten als de endpoints kan dit de ranking veranderen.

Bij de ReCiPe single score zien we geen gevolgen voor de ranking, ook niet als er maar erg klein deel (20%) wordt ingezameld ter recycling. Het verandert niet de conclusie dat recycling tot PET-fles de meest gunstige route is, milieukundig gezien.

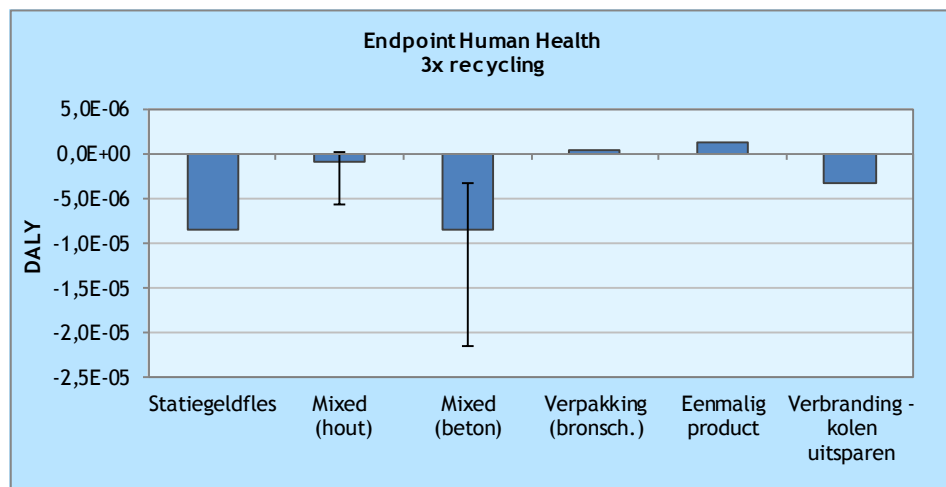
Figuur 32 Resultaten klimaatimpact, 1 kg PET, drie keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



Figuur 33 Resultaten landgebruik, 1 kg PET, drie keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's

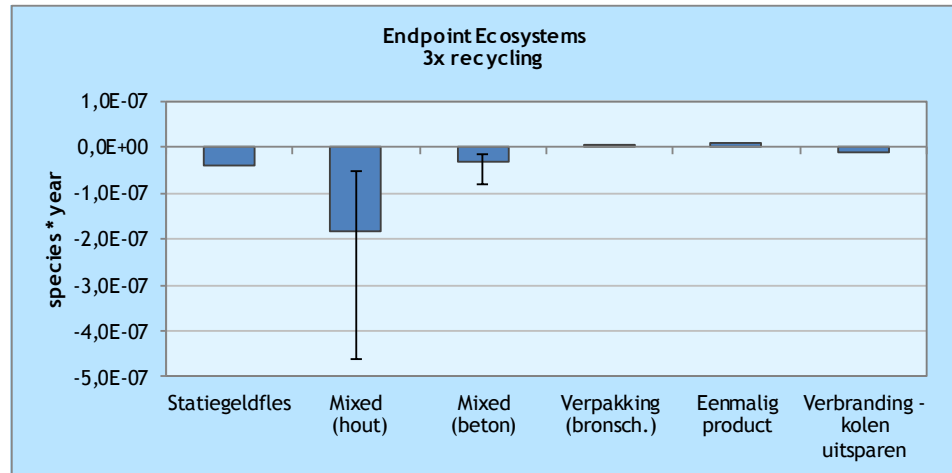


Figuur 34 Resultaten schadecategorie menselijke gezondheid, 1 kg PET, drie keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's

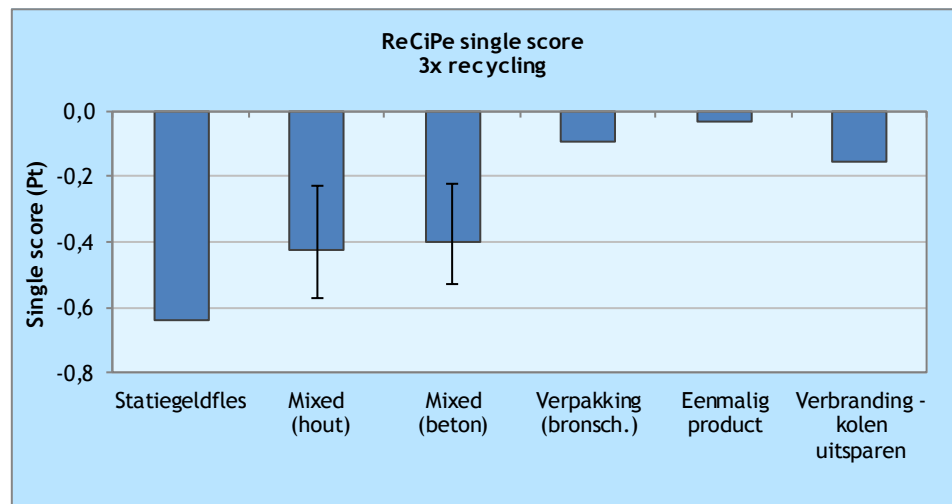




Figuur 35 Resultaten schadecategorie ecosystems, 1 kg PET, drie keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



Figuur 36 Resultaten ReCiPe single score, 1 kg PET, drie keer recycling, diverse recycleroutes en scenario's



## C.6 Variatie: weegsets en ILCD-methode

Er is onderzocht of de rangvolgorde verandert als er een andere weegset wordt gebruikt. We kijken hierbij naar andere wegingen volgens de ReCiPe-methode en naar de gewogen score van de analyse volgens ILCD.

De ReCiPe-methode biedt analyse op endpoint-niveau en de single score (weging van endpoints) volgens drie perspectieven: egalitair, individualistisch en hiërarchisch). De normalisatiefactoren en weegfactoren verschillen voor deze perspectieven. Als basis gebruiken we de analyse volgens hiërarchisch perspectief met gemiddelde weegfactoren ('H/A'). Nu berekenen we ook de resultaten volgens de drie perspectieven met hun karakteristieke weegfactor. Zie voor omschrijving van deze perspectieven.

De ILCD-methode berekent vergelijkbare milieueffecten als de ReCiPe-methode (midpoint-niveau) maar soms met een andere eenheid en ook de aanpak voor normalisatie en weging verschilt van ReCiPe. Na normalisatie past ILCD-methode gelijke weegfactoren toe voor de milieueffecten. Hoewel ILCD

ook de gewogen score uitdrukt in punten (Pt), zijn deze niet te vergelijken met de ReCiPe-punten.

### Vergelijking van rangvolgorde PET-case

Als we naar de rangvolgorde kijken zien we dat het recyclen tot PET-fles door alle methoden het best wordt gewaardeerd. Het eenmalige product heeft bij alle ReCiPe-weegsets de slechtste score. Dit is anders bij ILCD: daar scoort uitsparing van hout het slechtst.

Tabel 13 Ranking, variatie van weegmethode en op basis van ILCD-analysemethode

	PET-fles (via statiegeld)	Mixed (hout)	Mixed (beton)	Eenmalig	Verbranding - kolen uitsparen
ReCiPe H/A (basis)	1	2	3	5	4
ReCiPe H/H	1	3	2	5	4
ReCiPe E/E	1	4	2	5	3
ReCiPe I/I	1	4	2	5	3
ILCD, gewogen score	1	5	2	4	3

NB: De ILCD-weging wordt ook door de EU niet gezien als een verantwoorde weegmethode.

De verklaring is te zien in de detailresultaten (niet hier getoond). We zien dat er grote verschillen zijn tussen de ReCiPe-methode en de ILCD-methode qua waardering van milieueffecten. Waar ReCiPe de nadruk legt op klimaatimpact, landgebruik, fijnstofvorming en uitputting van fossiele grondstoffen, leveren bij de ILCD-methode de effecten toxiciteit menselijke gezondheid en ecotoxiciteit (zoetwater) de hoogste bijdrage aan de gewogen score.

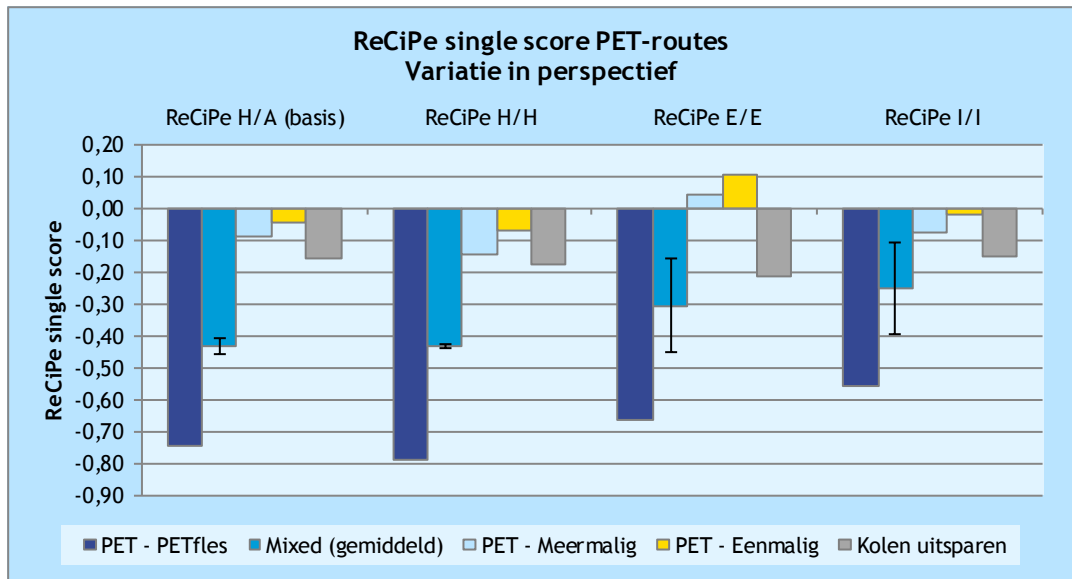
### Vergelijking absolute scores ReCiPe

De ReCiPe-scores kunnen op absolute waarde worden vergeleken, zodat we kunnen zien wat de verschillen zijn tussen de recyclingroutes. Zie Figuur 37: de resultaten zijn hier getoond voor de basisanalyse en de drie perspectieven. In deze analyse is de gemiddelde score getoond voor inzet als mixed product (rood). De uitersten (uitsparing hout en uitsparing beton) zijn te zien als range.

Hier zien we:

- Het verschil tussen recycling tot PET-fles heeft in alle gevallen een stuk betere score dan de overige routes. Dit komt door de relatief grote hoeveelheid materiaal die keer op keer wordt behouden.
- Het uitsparen van kolen wordt in het egalitaire perspectief beter gewaardeerd dan bij de andere perspectieven. Dit komt door grotere nadruk op effecten op menselijke gezondheid. Het verbranden van fossiele grondstoffen leidt diverse emissies -broeikasgassen, fijnstof, smogvorming- die invloed hebben op de menselijke gezondheid.
- Bij het egalitaire en individualistische perspectief is een grote variatie te zien in resultaat bij mixed kunststof (uitsparing hout of uitsparing beton). Ook dit komt door verschil in waardering van fossiele grondstoffen: hoe meer fossiele grondstoffen er wordt uitgespaard, hoe beter het wordt gewaardeerd, bij deze perspectieven. Het landgebruik, dat tot uitdrukking komt in het endpoint 'ecosystems', weegt hier minder mee.

Figuur 37 ReCiPe single score op basis van diverse perspectieven (variatie normalisatie en weegset)



# Bijlage D Case: A/B-hout

## D.1 Omschrijving

Voor A/B-hout worden twee recyclingroutes onderzocht: recycling van 1 ton hout tot spaanplaat en recycling tot geperst houten product (palletklos, pallet). Bij meerdere keren recycling wordt dus ook gekeken naar het vervolgens weer recyclen van spaanplaat en de geperst houten producten. Ter vergelijking wordt ook gekeken naar verbranding in een bio-energiecentrale (BEC) in de vorm van houtpellets. Of recycling of verbranding in een BEC plaatsvindt, hangt af van welke route financieel het meest interessant is voor de inzamelaar. In deze analyse vergelijken we 100% verbranding versus 100% recycling. Er is dus geen inzamelpercentage gehanteerd.

De routes zijn besproken met de houtrecyclingbranche<sup>29</sup>. Er is besproken wat er qua recycling kan met A/B-hout, spaanplaat en palletklossen en of er uitval plaatsvindt bij recyclingprocessen. Zie voor de bespreking van de verwerkroutes, hieronder, ook de schema's met massabalans in de volgende paragraaf.

### **A/B-hout tot spaanplaat (en weer tot spaanplaat)**

Bij deze route wordt ingezameld hout verspaand tot chips, die worden ingezet voor de productie van spaanplaat. Spaanplaatproducenten stellen eisen aan de grootte van de chips. De meeste spaanplaatproducenten verwerken zowel de grotere chips als de fijnere fractie, die ontstaat bij het verspanen, in hun spaanplaten. De grotere chips vormen de basis, de fijne fractie wordt gebruikt als opvulling en toplaag. Sommige spaanplaatproducenten verwerken beide fracties gemengd (0 tot 500 mm).

Het is niet precies bekend hoeveel materiaal uitvalt bij het verspanen. De verliezen worden klein geacht. Zo wordt zaagsel bijvoorbeeld ook heringezet. In deze analyse nemen we, in overleg met Stichting Kringloop Hout, een kleine uitval aan van 2% (dat wordt verbrand in BEC).

Spaanplaten, gebruikt als bouw materiaal, kunnen na gebruik en sloop worden ingezameld ter recycling. In deze analyse gaan we ervan uit dat recycling ook gebeurt: we volgen de recyclingroute tot spaanplaat voor al het materiaal. In de praktijk wordt een deel niet ter recycling worden aangeboden, maar verbrand.

In deze analyse beschouwen we alleen het hout. De benodigde lijm voor spaanplaatproductie valt buiten de scope. De lijm verhindert recycling van spaanplaten niet.

De impact van recycling van A/B-hout, dus zowel het startmateriaal als het spaanplaat, is zeer basic gemodelleerd aan de hand van openbaar beschikbare informatie. Voor het doel van deze analyse -het valideren van het LCA-mode- is dat afdoende. Voor het verspanen gaan we uit van de Ecoinvent proceskaart 'Wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper'. Voor modellering is de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix op basis van de stroomtethering gehanteerd. Eventuele bijproducten bij verspanen en emissies anders dan van brandstofgebruik (bijvoorbeeld fijnstofemissie) zijn

<sup>29</sup> Stichting Kringloop Hout en Rewaste.

niet inbegrepen. Energieverbruik voor spaanplaatproductie valt buiten de scope van de analyse. Voor transport per truck maken we gebruik van de Ecoinvent proceskaart 'lorry, 16-32 ton' en zijn de volgende afstanden aangehouden:

- 250 km naar spaanplaatproducent (in België of Duitsland);
- 100 km naar BEC.

### **A/B-hout tot geperst hout (en weer tot geperst hout)**

Van A/B-hout kunnen ook geperst houten producten worden gemaakt, zoals palletklossen of gehele pallets.

**Figuur 38** Voorbeeldproducten: geperst houten pallet en palletklossen



Bron: Presswoord.nl

Bron: Euroblock.com.

Voor verspaning en transport houden we dezelfde gegevens aan als bij recycling van A/B-hout tot chips. Net als bij recycling tot en van spaanplaat is niet precies bekend hoeveel materiaal uitvalt bij het verspanen. De verliezen worden klein geacht. Ook hier nemen we een kleine uitval aan van 2% (verbranding in BEC). De massabalans is dus hetzelfde als bij recycling tot spaanplaat zonder uitval bij inzameling. De transportafstand naar een producent van geperst houten producten wordt 50 km aangehouden.

### **Vermeden materiaal door inzet A/B-hout in spaanplaat en geperste producten**

Er kan gediscussieerd worden over welk materiaal wordt vermeden door inzet van gerecycled hout in spaanplaat en geperste producten. Wat wordt vermeden ligt aan je zienswijze:

1. Wat zou er gebeuren als er geen gerecycled hout wordt gebruikt?
2. Welk materiaal wordt vermeden door het geproduceerde product?

Bij Zienswijze 1:

- in spaanplaat zouden virgin houtchips worden gebruikt;
- de geperste producten zouden uit virgin houtchips kunnen worden gemaakt, of ze zouden niet meer geproduceerd worden (businessmodel is opgezet voor verwerking van afvalhout).

Bij Zienswijze 2:

- spaanplaat vermijdt het gebruik van volhouten planken of gipsplaten;
- geperst hout vermijdt het gebruik van volhouten planken en blokken.

Er zijn dus meerdere scenario's mogelijk. Afhankelijk van de zienswijze vermijden beide producten uit gerecycled hout ofwel virgin houtchips ofwel virgin volhout. Om beide routes eerlijk te vergelijken berekenen we voor beide routes beide scenario's.

Het vermijden van volhout wordt gemodelleerd met de proceskaart ‘Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER’. Bij het vermijden van houtchips wordt gebruik gemaakt van de proceskaart ‘Wood chips, softwood, u=140%, at forest/RER’ (Ecoinvent). Deze houtchips zijn een bijproduct van de volhoutproductie. Daardoor is de impact van virgin volhout hoger dan de impact van bijproduct houtchips<sup>30</sup>.

### A/B-hout bijgestookt in een BEC of kolencentrale

In plaats van recycling wordt er vaak voor gekozen om hout te verbranden in een bio-energiecentrale (BEC) of bijgestookt in een kolencentrale. Hier wordt elektriciteit opgewekt en er ontstaat nuttig te gebruiken warmte. Dit vermijdt de conventioneel opgewekte elektriciteit en warmte: Nederlandse elektriciteitsmix en warmte opgewekt met gas en kolen.

De efficiëntie van BEC's in Nederland verschillen nogal. Ook wordt er hout bijgestookt in kolencentrales. Niet altijd wordt er ook warmte geleverd ter gebruik. Daarom is er een tweede verbrandingsscenario opgesteld, voor verbranding in een kolencentrale met alleen elektriciteitslevering.

Voor het modelleren van de vermeden emissies is gerekend met de volgende waarden:

Tabel 14 Achtergrondgegevens verbranding van hout

Aspect	Waarde	Bron
Stookwaarde hout ('lower heating value')	14,0 MJ/kg	Ecoinvent (verbranding van hout)
Thermische efficiëntie BEC	29%	IVAM, 2010: Milieuanalyses Bouw- en sloopafval - Ten behoeve van prioritaire stromen ketengericht afvalbeleid <sup>31</sup>
Elektrische efficiëntie BEC	25%	
Elektrische efficiëntie biomassa/kolencentrale	35%	PBL, 2013 'Climate effects of wood used for bioenergy' 30 tot 40%

We nemen aan dat het hout eerst wordt versnipperd. Hiervoor is dezelfde energie aangehouden als bij verspanen van A/B-hout (zie recycling tot spaanplaat). Voor transport naar een BEC wordt 150 km aangehouden.

<sup>30</sup> Dit komt door verschil in allocatiefactoren: volhout is meer waard dan bijproduct chips en krijgt daarom een groter deel van de impact van houtproductie toebedeeld.

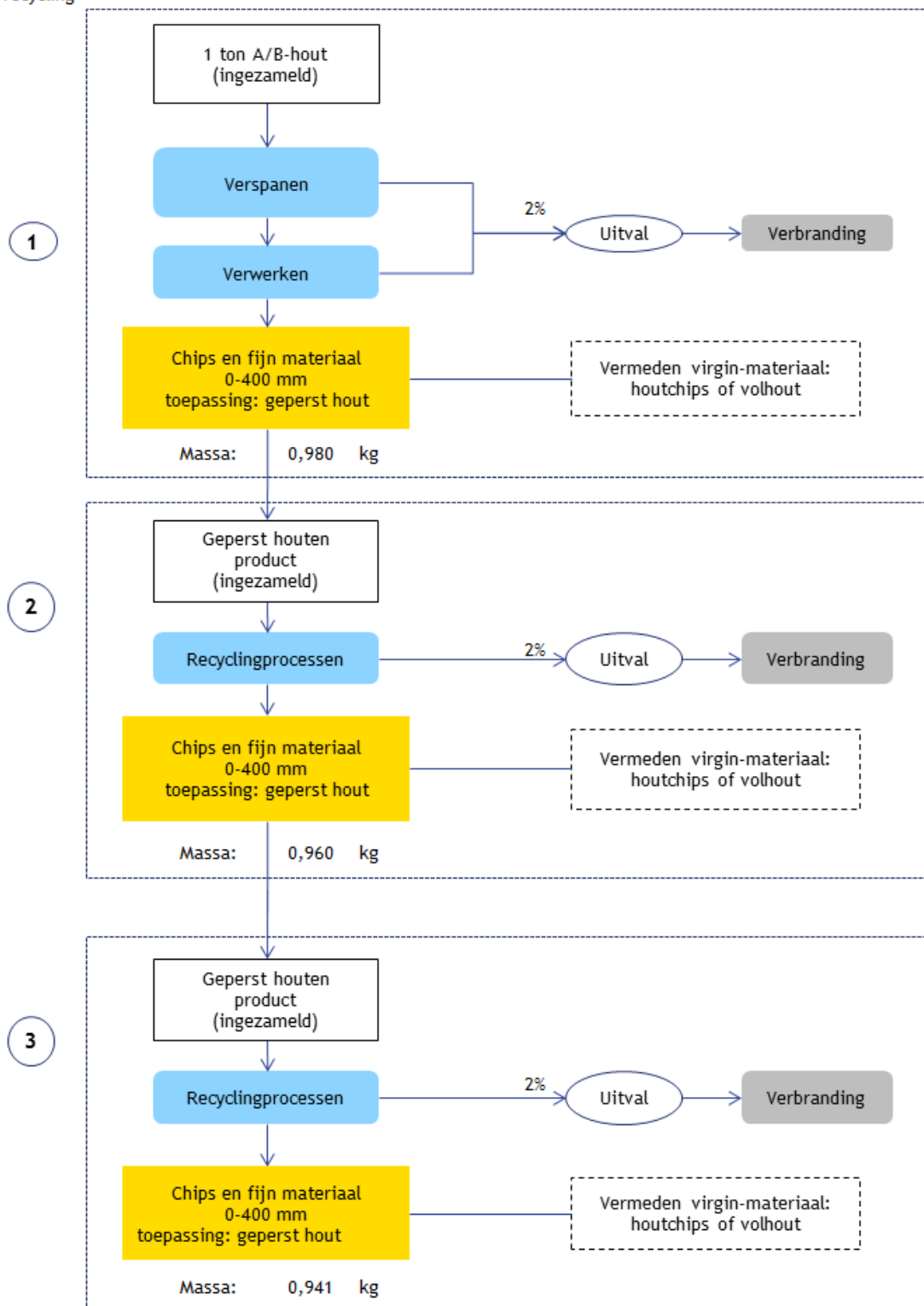
<sup>31</sup> In IVAM, 2010 wordt als bronvermelding van deze gegevens Agentschap NL opgegeven (mondelijke communicatie, 2010).

## D.2 Schema's A/B-hout

### D.2.1 Hout tot spaanplaat

Figuur 39 Systeemgrens houtrecycling tot spaanplaat, drie keer recycling

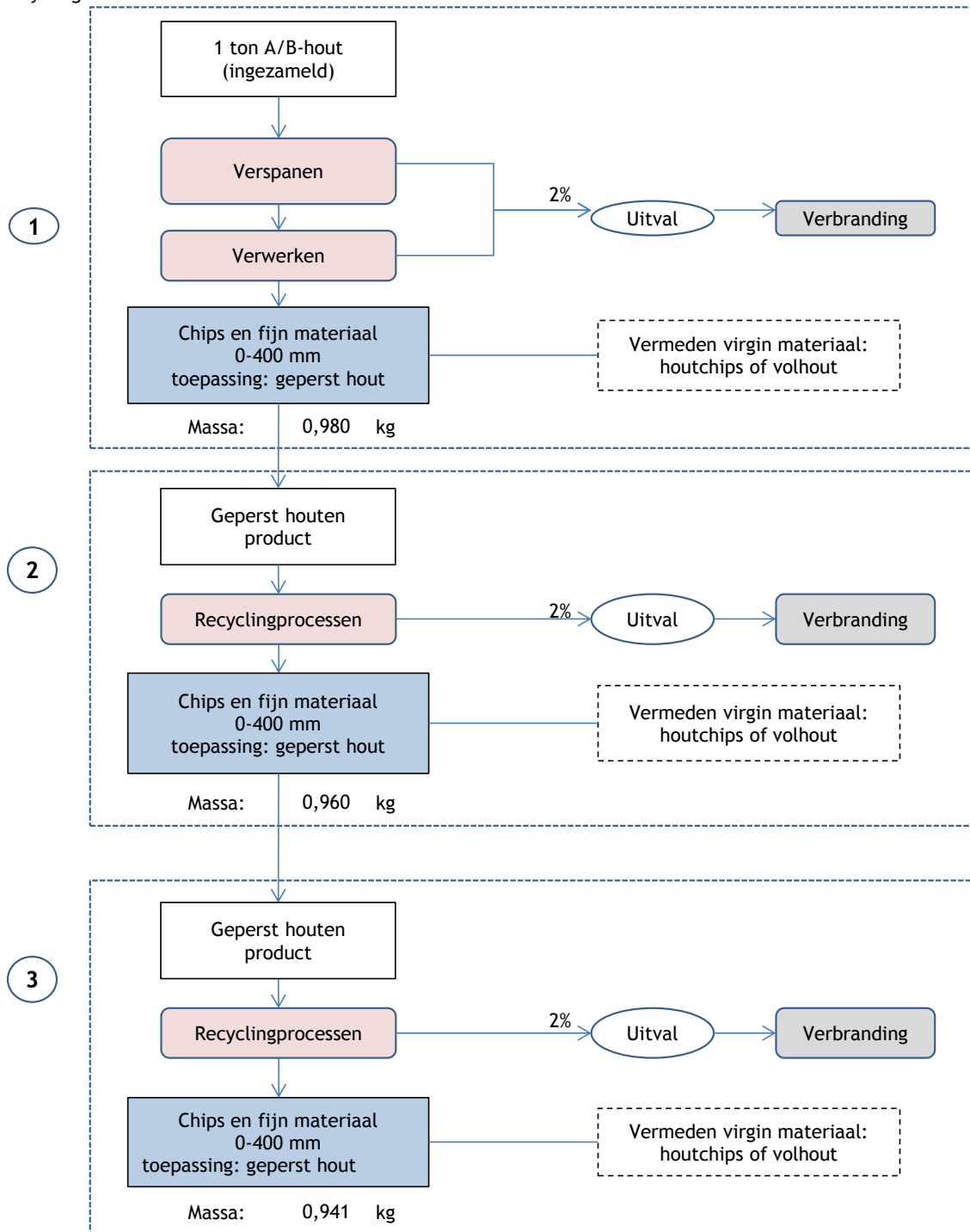
3x recycling



## D.2.2 Hout tot geperst houten product

Figuur 40 Systeemgrens houtrecycling tot geperst houten product, drie keer recycling

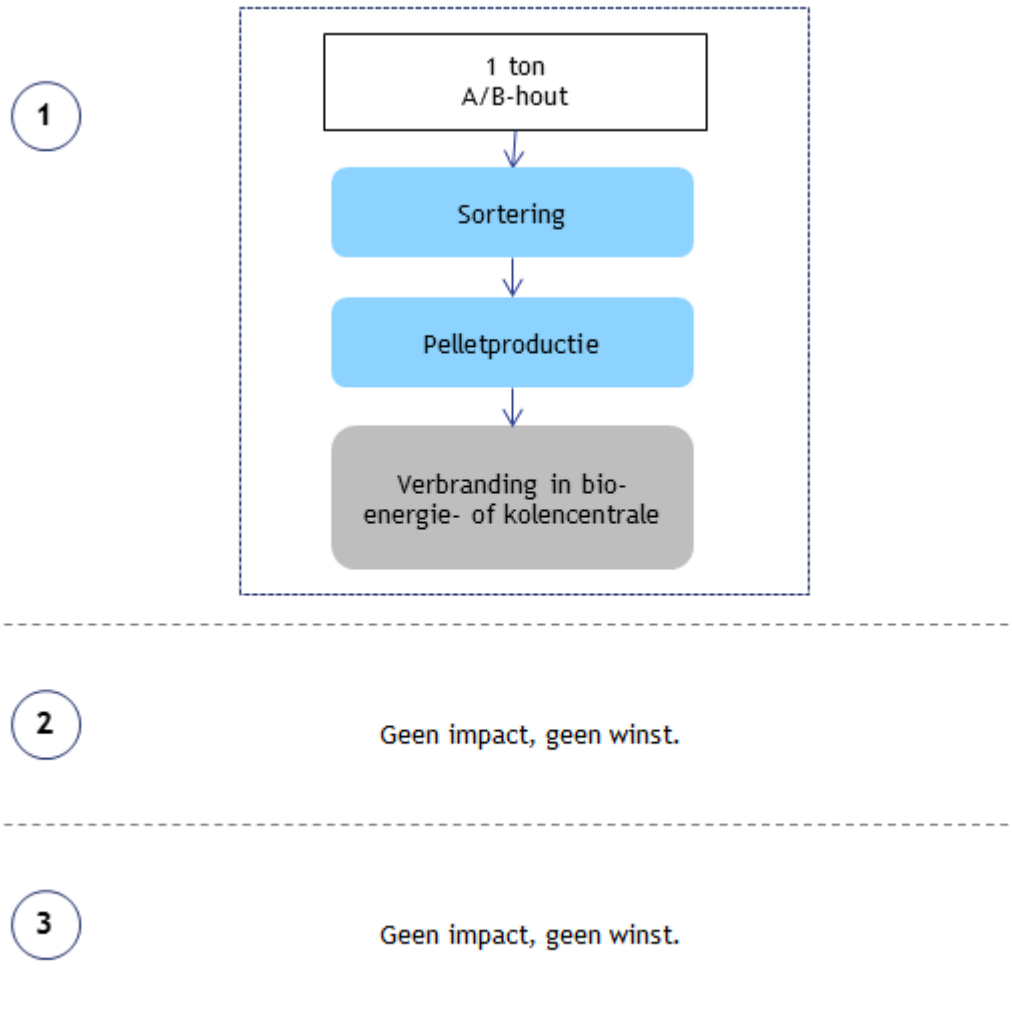
3x recycling





### D.2.3 Hout: verbranding

Figuur 41 Systeemgrens hout, verbranding



### D.3 Resultaten

In de grafieken worden de resultaten getoond voor de twee recyclingroutes met beide recyclingscenario's (via spaanplaat en via geperst hout) en de twee mogelijke variaties in uitsparing van materiaal (uitsparing van houtchips en van volhout). Ook zijn de resultaten van twee verbrandingsvarianten te zien: verbranding in een BEC en in een kolencentrale.

Op de x-as staat het aantal recyclingronden, 1 t/m 5. Het basisscenario is 3. De verbrandingsvarianten zijn stippen: na verbranding is het materiaal weg.

In de praktijk wordt een deel van het hout, spaanplaten en geperst hout worden gerecycled en een deel verbrand. Voor heel Nederland gezien zal dus het resultaat van een houten product tussen de resultaten voor verbranding en recycling in liggen.

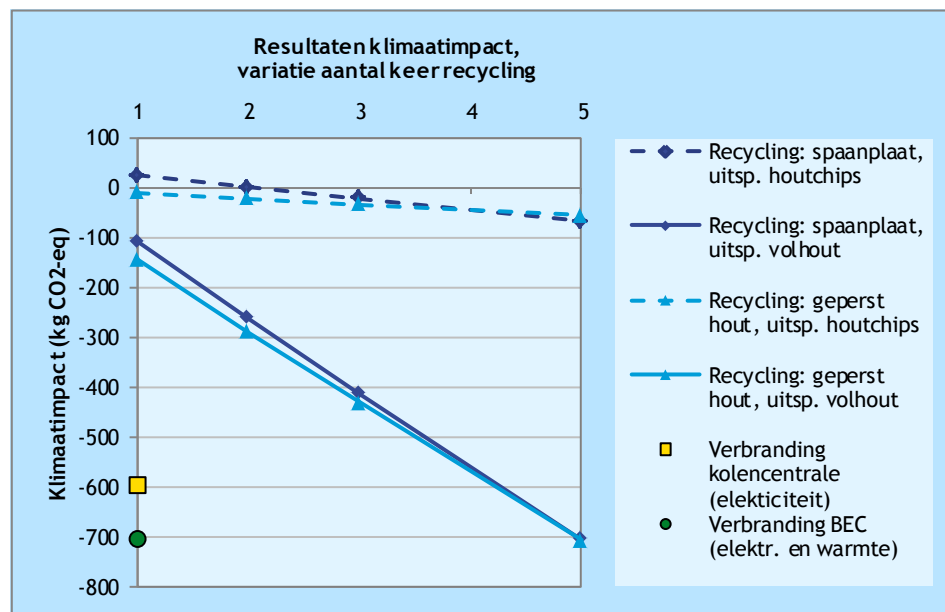
## Constateringen

Als we de twee recyclingroutes met twee varianten met elkaar vergelijken, dan zien we dat de recyclingroutes waarbij volhout wordt uitgespaard het meeste milieuvoordeel oplevert voor alle milieuanalyses (milieueffecten, de schadecategorieën, single score en CED). Dit komt doordat de impact van het volhout hoger is dan de impact van houtchips - een bijproduct van de houtindustrie.

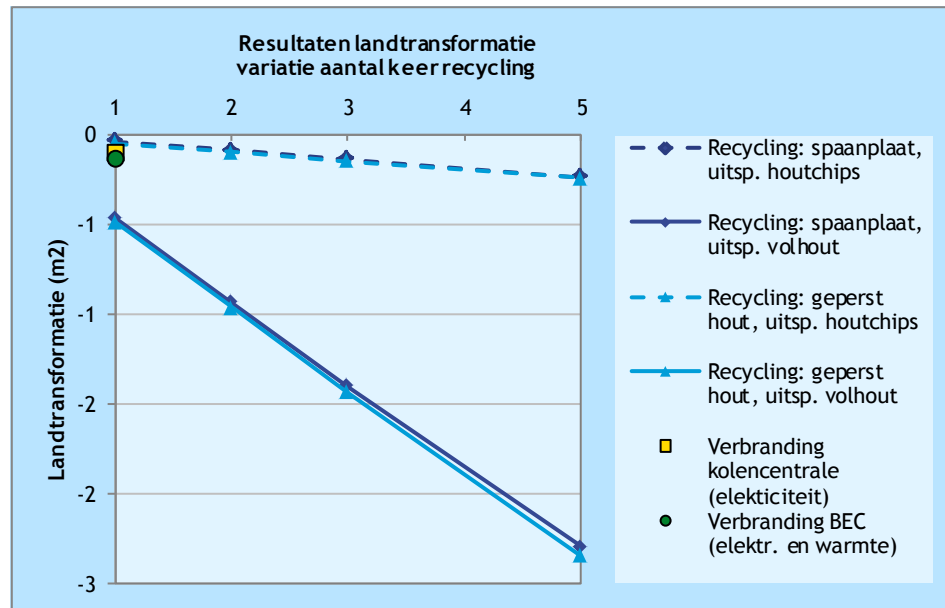
Er is weinig uitval bij recycling. Net als bij kunststof valt op dat de combinatie van weinig uitval en uitsparing van een milieubelastend materiaal de voorkeur heeft. Omdat er discussie is over welk materiaal wordt uitgespaard (volhout of houtchips) met beide recyclingroutes, is het niet mogelijk een oordeel te vellen over welke route beter is.

Als we naar verbranding kijken is te zien dat verbranding met uitsparing van fossiele energie op sommige milieueffecten beter scoort dan beide recyclingroutes, ook bij driemaal recycling. Bijvoorbeeld bij klimaatimpact, ecotoxiciteit en uitputting van fossiele grondstoffen. Maar voor de meeste milieueffecten (veertien van de achttien) heeft driemaal recycling met uitsparing van volhout een betere score. Verbranding scoort het slechtst op vijf milieueffecten/indicatoren, waaronder de drie landgebruikergerelateerde milieueffecten.

Figuur 42 Resultaten hout, klimaatimpact, één tot vijf keer recyclen en verbranding



Figuur 43 Resultaten hout, landtransformatie, één tot vijf keer recyclen en verbranding

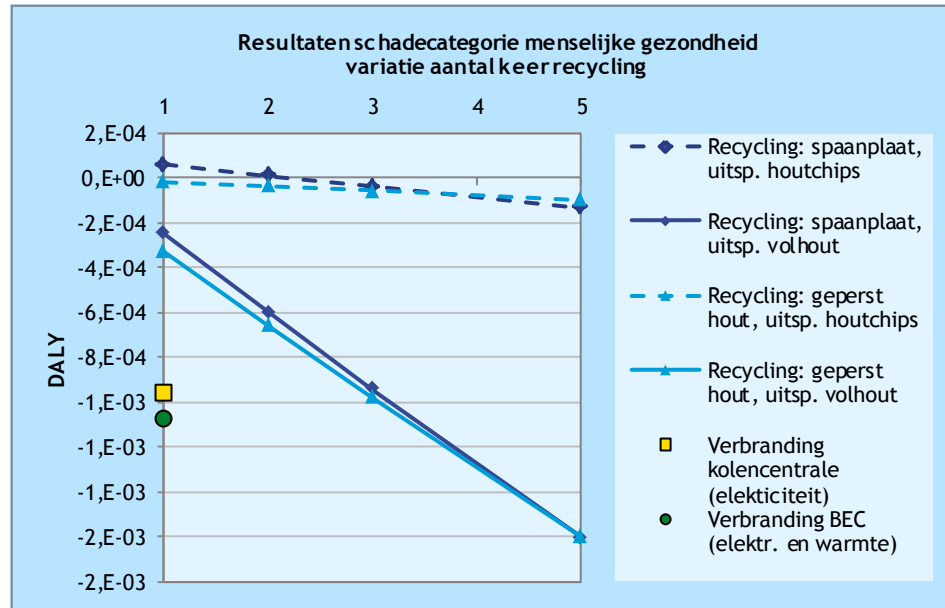


Doordat de ene keer verbranding beter scoort en de andere keer recycling, verschillen de resultaten van de drie schadecategorieën (zie onder).

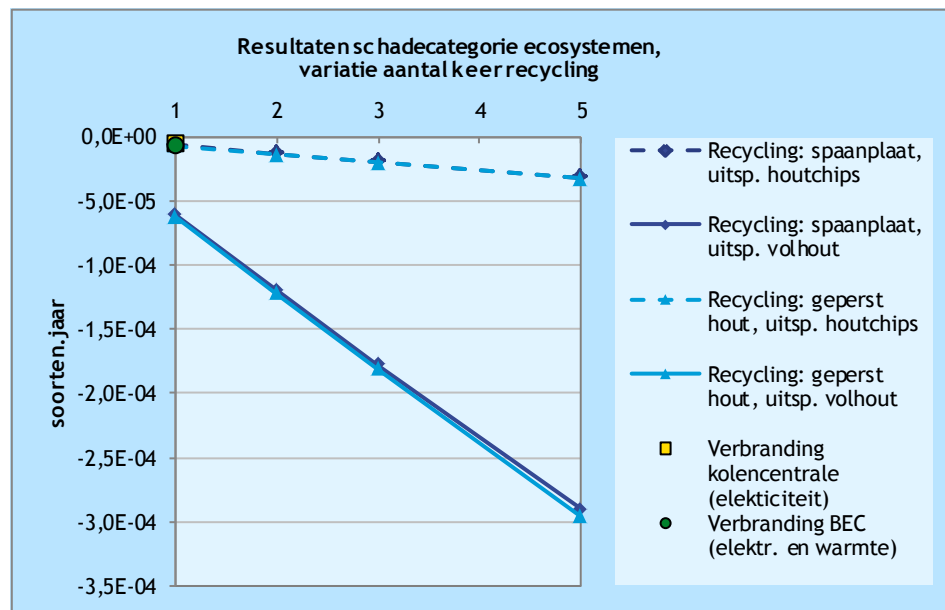
- Voor de schadecategorie ‘menselijke gezondheid’ scoren verbranding en driemaal recycling met uitsparing van volhout ongeveer gelijk. Driemaal recycling met uitsparing van houtchips heeft een duidelijk lagere score.
- Voor de schadecategorie ‘ecosystemen’ hebben beide recyclingroutes de voorkeur boven verbranding.
- Voor de schadecategorie ‘grondstofuitputting’ is verbranding het meest voordelig; immers, dat spaart direct fossiele grondstoffen uit.

In alle grafieken is duidelijk te zien dat de milieuwinst bij uitsparing van volhout snel toeneemt bij nog een keer recycling. Dit komt doordat er weinig uitval is. De lijn vlakt sneller af als er meer uitval is, of als wel rekening wordt gehouden met het aandeel dat in de praktijk wordt ingezameld ter recycling (zie bijvoorbeeld de resultaten voor PET).

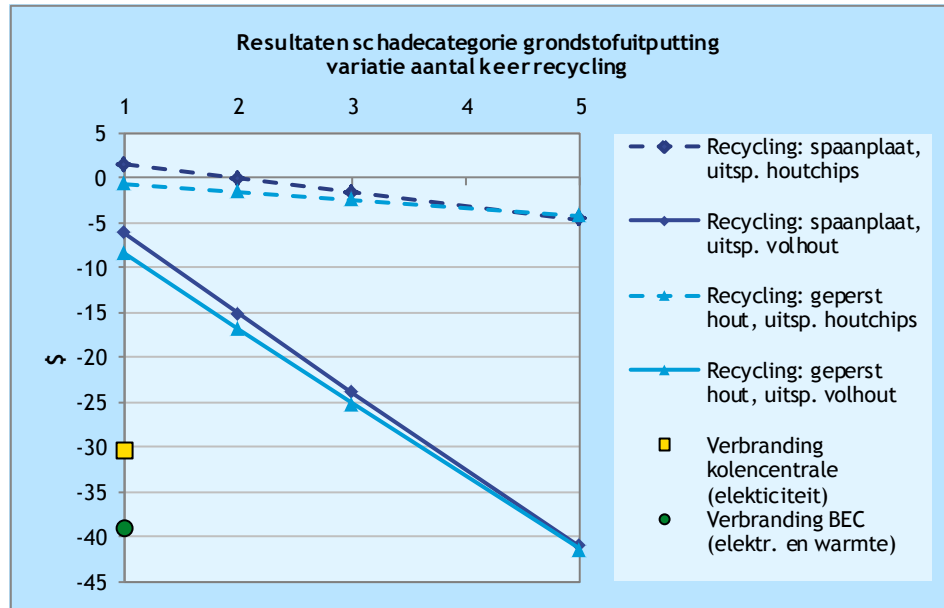
Figuur 44 Resultaten hout, schadecategorie menselijke gezondheid, één tot vijf keer recylen en verbranding



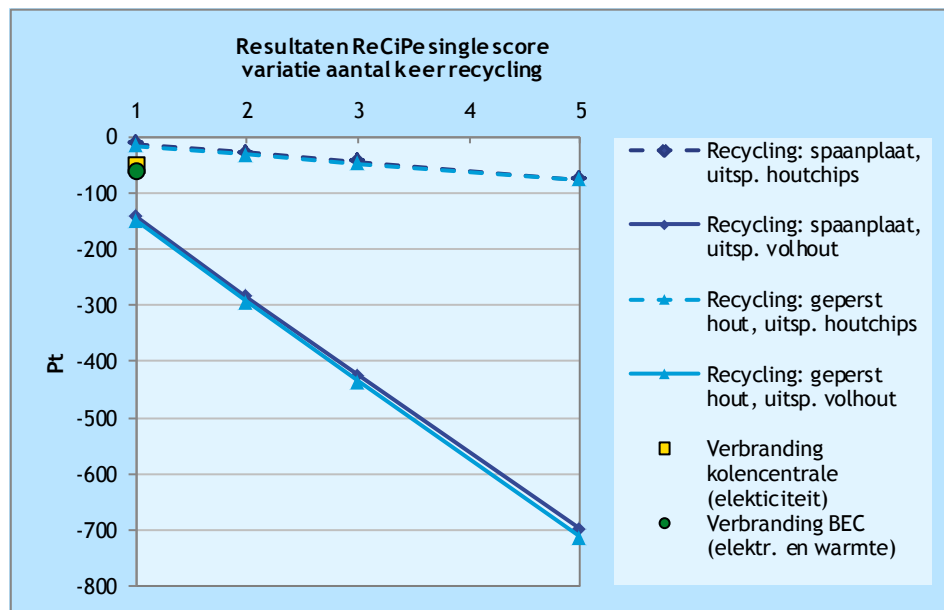
Figuur 45 Resultaten hout, schadecategorie ecosystemen, één tot vijf keer recylen en verbranding



Figuur 46 Resultaten hout, schadecategorie grondstofuitputting, één tot vijf keer recyclen en verbranding



Figuur 47 Resultaten hout, ReCiPe single score, één tot vijf keer recyclen en verbranding



Tabel 15 Resultaten houtrecycling en -verbranding, ranking alle varianten, midpoints

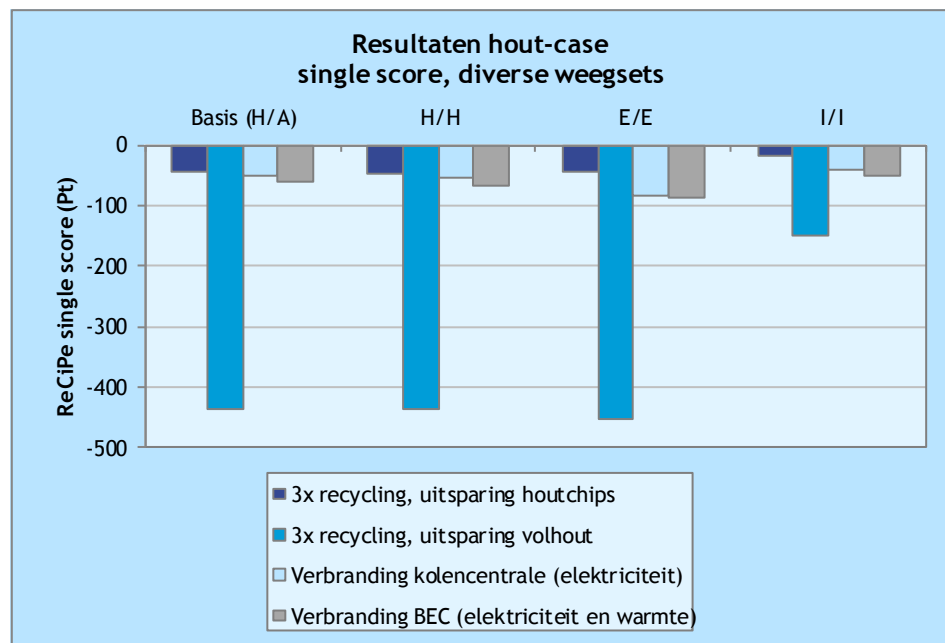
Impact category	Unit	3x recycling tot spaanplaat , uitsparing houtchips	3x recycling tot spaanplaat, uitsparing volhout	3x recycling tot geperst hout, uitsparing houtchips	3x recycling tot geperst hout, uitsparing volhout	Bijstook hout in elektriciteitscentrale	Bijstook hout in bio-energiecentrale	Ranking		
								Uitsparing houtchips	Uitsparing volhout	Verbranding
Climate change	kg CO <sub>2</sub> -eq.	-22	-412	-32	-431	-596	-705	3	2	1
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	3,85E-06	-3,18E-05	2,44E-06	-3,39E-05	-1,52E-05	-5,11E-05	3	2	1
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	-0,14	-2,33	-0,18	-2,41	-0,70	-0,6	3	1	2
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-0,016	-0,233	-0,018	-0,240	-0,220	-0,2	3	1	2
Marine eutrophication	kg N-eq.	0,055	-0,127	0,110	-0,076	-0,055	0,0	3	1	2
Human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	13,6	-153	14	-156	-99	-61	3	1	2
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-0,53	-5,05	-0,57	-5,19	-0,38	-0,4	2	1	3
Particulate matter formation	kg PM <sub>10</sub> -eq.	-0,06	-0,97	-0,07	-1,00	-0,20	-0,2	3	1	2
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,0489	0,0005	0,0461	-0,0032	-0,0013	-0,00099	3	1	2
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,10	-4,3	0,1	-4,4	-2,8	-1,8	3	1	2
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,38	-3,9	0,3	-4,0	-2,9	-2,0	3	1	2
Ionising radiation	kBq U235-eq.	-8	-179	-10	-184	-109	-80	3	1	2
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	-1552	-14032	-1584	-14318	-9,4	-6,7	2	1	3
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	-12	-154,8	-11,9	-158	-2,4	-1,7	2	1	3
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	-0,14	-1,40	-0,15	-1,4	-0,10	-0,1	2	1	3
Water depletion	m <sup>3</sup>	-1,0	-11,4	-1,1	-11,8	-13,1	-9,1	3	1	2
Metal depletion	kg Fe-eq.	-8,7	-40,2	-9,1	-41,2	-0,85	-1,0	2	1	3
Fossil depletion	kg oil-eq.	-6,2	-128	-11	-135	-184	-236	3	2	1

## D.4 Variatie: weegsets en ILCD-methode

Om een uitspraak te doen of recycling beter is dan verbranding, of andersom, is weging nodig. We hebben weging uitgevoerd volgens vier verschillende weegsets: gemiddeld hiërarchisch (H/A), hiërarchisch (H/H), individualist (I/I) en egalitair (E/E). Zie Paragraaf 5.6.4 voor toelichting op de weegsets.

Duidelijk te zien is dat, volgens elke weegset, recycling met uitsparing van volhout de meeste milieuwinst oplevert en een stuk beter scoort dan verbranding. Het recyclen tot houtchips heeft voor alle weegsets een iets minder goede score dan verbranding, hoewel het volgens de hiërarchische weging niet veel scheidt met verbranding in een kolencentrale met alleen elektriciteitslevering. Bij lagere rendementen voor opwekking van elektriciteit zal 3x recycling met uitsparing van houtchips dus wel beter scoren dan verbranding.

Figuur 48 Resultaten houtrecycling en verbranding, ReCiPe single score, diverse weegsets



Tabel 16 Ranking scenario's houtrecycling en -verbranding volgens ReCiPe single score, diverse weegsets

	3x recycling, uitsparing houtchips	3x recycling, uitsparing volhout	Verbranding kolencentrale (elektriciteit)	Verbranding BEC (elektriciteit en warmte)
Basis (H/A)	4	1	3	2
H/H	4	1	3	2
E/E	4	1	3	2
I/I	4	1	3	2
ILCD, gewogen score	4	1	2	3

## D.5 Carbon debt

De laatste jaren gaan er meer en meer stemmen op om het gebruik van hout als energiebron (door verbranding) niet zonder meer als CO<sub>2</sub>-neutraal te zien. Het idee is dat hout wel CO<sub>2</sub>-neutraal is, maar pas na verloop van tijd: als het hout weer is bijgegroeid. Als hout wordt verbrand is er een directe CO<sub>2</sub>-emissie, die wel degelijk bijdraagt aan de klimaatimpact. Afhankelijk van het type hout, plaats van het bos en bosbeheer is het hout na jaren weer bijgegroeid<sup>32</sup> en is de koolstofschuld, ofwel carbon debt, vereffend. Ook de effecten van CO<sub>2</sub>-emissies werken jaren door (100 jaar tijdshorizon). Dit is een goede reden om een extra CO<sub>2</sub>-emissie (carbon debt) toe te rekenen aan hout dat voor energietoepassing wordt gebruikt.

In enkele recente studies is dit inzicht van carbon debt uitgewerkt. In 2013 publiceerden het PBL en Alterra een rapport over carbon debt: 'Climate effects of wood used for bioenergy', in opdracht van het ministerie van I&M. Het JRC publiceerde CO<sub>2</sub>-factoren voor carbon debt die in LCA te gebruiken zijn, in 'Carbon accounting of forest bioenergy' (2013). We hebben onderzocht hoe carbon debt is mee te nemen in de analyse van verbranding van hout.

### Carbon debt niet van toepassing op afvalhout

In onze studie is afvalhout de stroom die wordt verbrand, niet virgin hout. (PBL/Alterra, 2013) geeft aan dat de extra CO<sub>2</sub>-emissie voor afvalhout verwaarloosbaar is. Het afvalhout is immers afkomstig van een houten product, dat meestal al meerdere jaren is gebruikt. Carbon debt is niet van toepassing op houten producten, dus ook niet op afvalhout. Ook (EC, JRC, 2013) biedt geen factor voor carbon debt voor afvalhout.

De carbon debt-factor voor energie gaat zowel over het hout dat verbrand wordt als wortels en takken die door oogsten vergaan. Het eerste punt geldt niet voor houtproducten (C blijft opgeslagen in hout). Het tweede punt is echter ook geldig voor houtproducten maar is helaas nog onvoldoende gekwantificeerd om in deze analyse mee te nemen en is daarmee buiten deze case studie gehouden. Deze factor zou recycling nog iets voordeliger hebben gemaakt.

## D.6 Conclusies hout: mLCA weegt verbranding vs. recycling anders

De mLCA-methode voor afvalhout laat zien dat de mLCA-methodiek met het doorrekenen van drie cycli duidelijk een ander beeld kan geven dan een LCA-berekening die slechts naar één cyclus kijkt. Waar een één-cyclusanalyse voor veel milieueffecten verbranding met energieproductie als de beste opties aanwijst omdat er kolen en gas stook wordt voorkomen wijst de mLCA-methodiek aan dat met een analyse van drie recyclingcycli hout beter scoort dan verbranding op veel milieuthema's.

---

<sup>32</sup> Dit kan soms tot meer dan 100 jaar duren bij langzaam groeiende soorten in noordelijke gebieden. Er zijn ook soorten met een snellere rotatie, zoals eucalyptus (10 jaar) en populier (20-25 jaar) uit gematigde gebieden (bron: PBL/Alterra, 2013).



# Bijlage E Case: beton

## E.1 Omschrijving

Voor beton worden drie recyclingsscenario's met elkaar vergeleken:

1. Recycling tot betongranulaat, inzet als funderingsmateriaal in de GWW.
2. Recycling tot betongranulaat, inzet in nieuw beton: de fijne (zand)fractie als zandvervanger en de grove fractie als grind.
3. Recycling tot de oorspronkelijke componenten: ongebonden cement, zeer fijne, fijne en grove fractie. Inzet in nieuw beton ter vervanger van cement, superplast, zand en grind.

Het startpunt van de analyse is gesloopt betonpuin dat niet vermengd is met ander steenachtig materiaal. Bij recycling ter inzet als funderingsmateriaal is het niet per se nodig dat betongranulaat wordt gebruikt – dat mag ook menggranulaat zijn – maar we willen uitgaan van eenzelfde functionele eenheid voor alle drie de recyclingroutes. Als we zouden uitgaan van gemengd puin, sluit dit bij voorbaat al bepaalde routes uit. Het betonpuin wordt verkregen via gericht slopen of via slopen van een volledig (gewapend) betonnen bouwwerk. BRBS Recycling geeft aan dat dit gerichte slopen niet direct meer energie kost, maar het vergt een andere aanpak vanaf het begin van de sloop.

De functionele eenheid is zodoende **één ton betonpuin**. De verwerking van de wapening wordt gelijk verondersteld voor alle drie de betonrecyclingroutes en wordt buiten beschouwing gelaten. Ook verontreinigingen in het betonpuin, zoals isolatiemateriaal en hout, vallen buiten de functionele eenheid.

Hieronder volgt een korte omschrijving per recycleroute, inclusief de belangrijkste aannames. Zie ook de schema's in Bijlage B, voor beter begrip van de routes en voor de massabalans. Tussen de stappen vindt transport plaats.

Het informatieblad 'Toepassingsmogelijkheden Recyclinggranulaten' (BRBS Recycling, 2014) geeft een helder overzicht van typen granulaat van bouwwerken en de materialen die worden uitgespaard bij recycling. Voor een uitgebreider toelichting verwijzen wij daarnaar.

### 1. Beton gerecycled tot funderingsmateriaal

De meest toegepaste route voor betonpuin is momenteel inzet als funderingsmateriaal. Door deze inzet wordt het gebruik van steen uit steengroeven vermeden.

Het betonpuin wordt vervoerd naar een locatie waar het beton verder wordt gebroken en ook zift- en zeefstappen plaatsvinden. Gezift materiaal is lichtgewicht materiaal dat ongewenst is in het granulaat, zoals hout, isolatiematerialen, papier, etc. Deze stoffen vallen in deze analyse niet onder de functionele eenheid (1 ton betonpuin) en verwerking ervan wordt dus buiten beschouwing gelaten.

Een klein deel van het betonpuin valt uit en wordt gestort. Verreweg het grootste deel van het beton wordt verwerkt tot betongranulaat, dat direct als fundering wordt ingezet. Wij gaan ervan uit dat het funderingsmateriaal na gebruik wordt afgegraven en weer opnieuw kan worden ingezet als funderings-

materiaal. Betongranulaat wordt sinds jaar en dag ingezet als fundering en heeft specifieke eigenschappen (stabiliserend vermogen) die het granulaat daarvoor zo goed geschikt maken. Het is dus lastig te bepalen welk materiaal precies wordt uitgespaard door inzet van granulaat. BRBS Recycling geeft aan dat zandcement het meest voor de hand ligt. Volgens BRBS Recycling kan worden uitgegaan van een 1-op-1 vervanging: 1 kg betongranulaat vermijdt het gebruik van 1 kg zandcement (bevat ongeveer 10% portlandcement (CEM I)).

## **2. Beton gerecycled tot fijne en grove fractie (zand- en grindvervanger)**

Betonpuin kan ook worden gebroken tot een grove en fijne fractie die beide ingezet kunnen worden in nieuw beton, ter vervanging van zand en grind. Dit gebeurt in de praktijk met een klein deel van het betonpuin (en menggranulaat). Er is strengere selectie en er zijn iets strengere eisen aan de reinheid van het granulaat, daarom vindt vaak een wasstap plaats. De fijne fractie die ontstaat bij de breekstappen en het slib dat ontstaat bij het wassen fungeren als zandvervanger. Energiegebruik voor slopen en breken is gelijk verondersteld als voor recycling tot funderingsmateriaal.

Het nieuwe beton, kan nadien opnieuw worden gerecycled tot fijne en grove fractie. Hierbij doorloopt het dezelfde recycleprocessen als de eerste keer en ontstaat wederom slib en een fijne fractie. In de modellering van het zandvervangende slib en de fijne fractie, gaan we ervan uit dat na gebruik als zand, dit zand wederom wordt ingezet als zand. Zo spaart het slib en de fijne fractie gedurende meerdere levenscycli virgin zand uit.

## **3. Beton gerecycled tot oorspronkelijke componenten**

In Nederland en Europa zijn er meerdere ontwikkeltrajecten voor het terugbrengen van beton tot zijn voornaamste oorspronkelijke componenten, zijnde (ongebonden) cement, grind en zand. Een deel (40%) van het cement in beton blijft ongebonden en kan dus nogmaals worden gebruikt in nieuw beton als cementvervanger, mits het uit het betonpuin kan worden gescheiden. Diverse technieken worden hiervoor ontwikkeld. Voor het doorrekenen van deze casus hebben we gebruik gemaakt van de 'slim breken'-methode (Slimbreker, lopend).

Gesloopt en voorgebroken betonpuin wordt eerst voorgebroken tot 150 mm. Daarna wordt dit op een dusdanige manier gebroken dat het grind loskomt uit het beton, het gebonden cement wordt afgezogen. Met zeefstappen kunnen vervolgens het ongebonden cement van de rest (fijne fractie) worden gescheiden. Omdat het afzuigen en zeven in een gesloten omgeving (machine) gebeurt, hebben we geen extra fijnstofemissie opgenomen. Voor het slimbreken van het voorgebroken granulaat, inclusief aandrijving van lopende banden, gaan we uit van een energiegebruik van 50% ten opzichte van conventioneel breken<sup>33</sup>.

De vier fracties die ontstaan, kennen ieder hun toepassing in nieuw beton (zie Tabel 17). Omdat alle fracties kunnen worden ingezet in nieuw beton, kan dit beton daarna weer via hetzelfde procedé worden gerecycled. Bij elke verdere recyclestep neemt de hoeveelheid ongebonden cement af en de hoeveelheid cementhydraat toe. Ook valt er bij elke recyclingstep wat betonpuin uit bij het breken.

---

<sup>33</sup> In een eerdere kleinschalige testopstelling ging men bij 'slim breken' uit van 10% van de energie, maar dat lijkt ons voor de grootschalige machine, inclusief afzuiging, zeefstappen en aandrijving van lopende banden, te laag.

Tabel 17 Verkregen recyclaten en bijbehorend vermeden virgin-materiaal

Fractie	Aandeel verkregen materiaal na 1x recyclen	Inzet in/als
Ongehydrateerd cement	5,6%	In beton, als cementvervanger (CEM I)
Grind	48%	In beton, als grindvervanger
Zand	37%	In beton, als zandvervanger
Cementhydraat	8,4%	In beton, als vervanger van superplastificeerder

Dit is een techniek in ontwikkeling. Er is onzekerheid over de hoeveelheid energie die nodig is voor het slim-breken: er zijn nog geen praktijkmetingen van energieverbruik voor de opgeschaalde slim-breekmachine. Een tweede onzekerheid is de inzet van cementhydraat. Hier ontstaat bij elke recyclestep meer van (zie ook het schema in Paragraaf E.2.3.). Op basis van communicatie met de ontwikkelaar van slim breken zijn we uitgegaan van uitsparing van bindmiddel (superplastificeerder). In onderzoeken hebben we hier nog geen bewijs voor teruggevonden dat dit ook daadwerkelijk zal gebeuren in de praktijk.

#### Gehanteerde milieu-informatie

Het berekenen van de milieu-impact van verwerkprocessen en de vermeden impact door vermeden productie geschiedt met behulp van bestaande milieu-informatie daarvan. Voor bouwmaterialen en recyclinggranulaten in Nederland zijn milieuresultaten beschikbaar in de SBK Nationale Milieudatabase en in MRPI-bladen, berekend met de SBK-Bepalingsmethode. Het lijkt dus logisch om deze milieu-informatie te gebruiken voor de analyse.

Deze milieu-informatie is echter niet compatibel met analyse volgens de ReCiPe-methode die wij hanteren in deze studie. Landgebruik en fijnstofvorming missen onder andere, zodat geen schadecategorieën (endpoints) en single score kunnen worden berekend. Dit zou kunnen worden ondervangen de missende milieueffecten aan te vullen op basis van (verouderde) productiegegevens en/of proceskaarten uit de Ecoinvent-database. Een groter probleem vormt echter de resultaten voor toxiciteit, en dan vooral mariene ecotoxiciteit, die extreem hoog uitvallen: een factor 100.000 hoger dan bij doorrekening van cement in de Ecoinvent-database met de ReCiPe-analysmethode. Als we de schadecategorieën en de single score willen berekenen met de milieuresultaten van de MRPI-bladen, levert dit vertekende scores op. De verklaring ligt dat de SBK-bepalingsmethode de verouderde analysmethode van CML als basis neemt. Deze verouderde methode heeft heel hoge karakterisatiefactoren voor emissies naar water.

Onze oplossing voor dit probleem is om uit te gaan van wat verouderde data voor breken en cement, maar die wel geloofwaardige en volledige milieuresultaten opleveren bij toepassing van de ReCiPe-analysmethode. We gebruiken geen milieuresultaten van MRPI-bladen, maar alleen SBK-proceskaarten als deze achtergrondgegevens bevatten over energieverbruik, materiaalgebruik transportafstand en dergelijk. Die kunnen we goed met de ReCiPe-methode doorrekenen. Hier voegen we dan landgebruik aan toe vanuit de Ecoinvent-database. Het gaat om gegevens van zandcement, zand en breken.

Voor cement en grind maken we gebruik van Ecoinvent-gegevens. Ecoinvent heeft in 2015 de gegevens over cement heeft geüpdatet.

De CO<sub>2</sub>-resultaten zijn vrijwel gelijk voor Ecoinvent (873 kg CO<sub>2</sub>/ton) en het MRPI-blad van CEM I van Cement en Beton (856 kg CO<sub>2</sub>/ton).

Voor energiegebruik voor productie van betongranulaat maken we gebruik van de breekinformatie uit de SBK Nationale Milieudatabase (/Dubocalc/MRPI-bladen): 'SBK BD Average energy use stationary crusher (excl. washing step)'. Fijnstofemissie bij breken is toegevoegd, volgens de aanpak als gehanteerd in het project Meten is Weten in de Nederlandse Bouw (CE Delft, 2015).

Of het cement en het grind nu net hogere of lagere CO<sub>2</sub>-resultaten hebben in andere bronnen: de impact door breken is (zeer) laag, de winst door vermeden CEM I is hoog en de winst door vermeden grind is laag.

#### **Disclaimer**

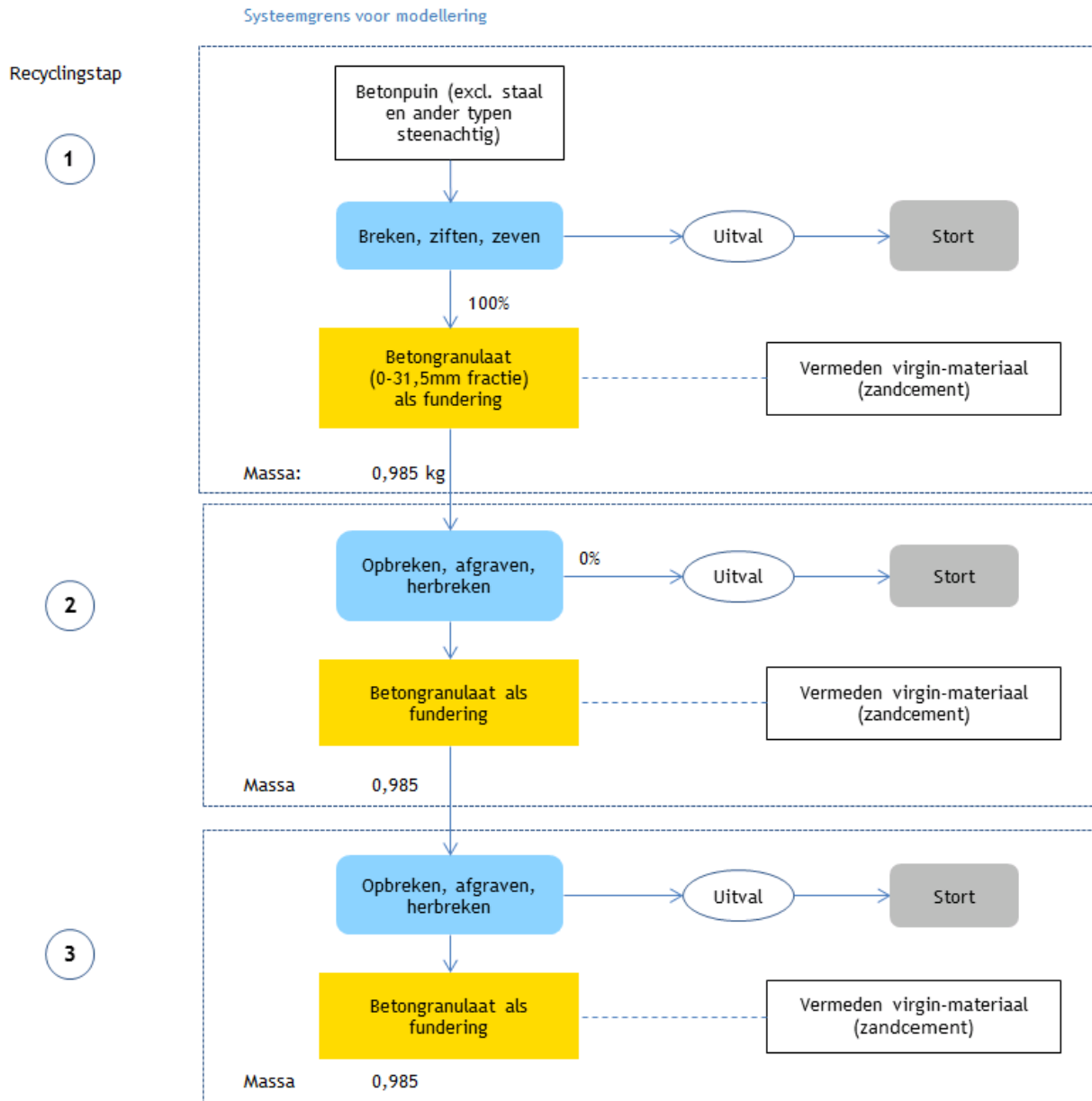
Deze analyse kent zijn limieten. Er is vooral gekeken naar energiegebruik bij recycling en wat met het recycalaat wordt bespaard. Het energiegebruik voor recycling tot oorspronkelijke componenten is een inschatting, gebaseerd op één van de mogelijke recyclingroutes voor recycling tot oorspronkelijke componenten. Niet inbegrepen zijn eventuele verschillen op het gebied van landgebruik (bouwterrein) en eventueel waterverbruik. Dit betekent dat deze analyse een eerste screening is, bedoeld om het model te testen.

*De resultaten dienen NIET gebruikt te worden voor bewijsvoering voor superioriteit van een van de recyclingroutes. Om dit te doen dient de LCA te worden aangescherpt.*

## E.2 Schema's beton

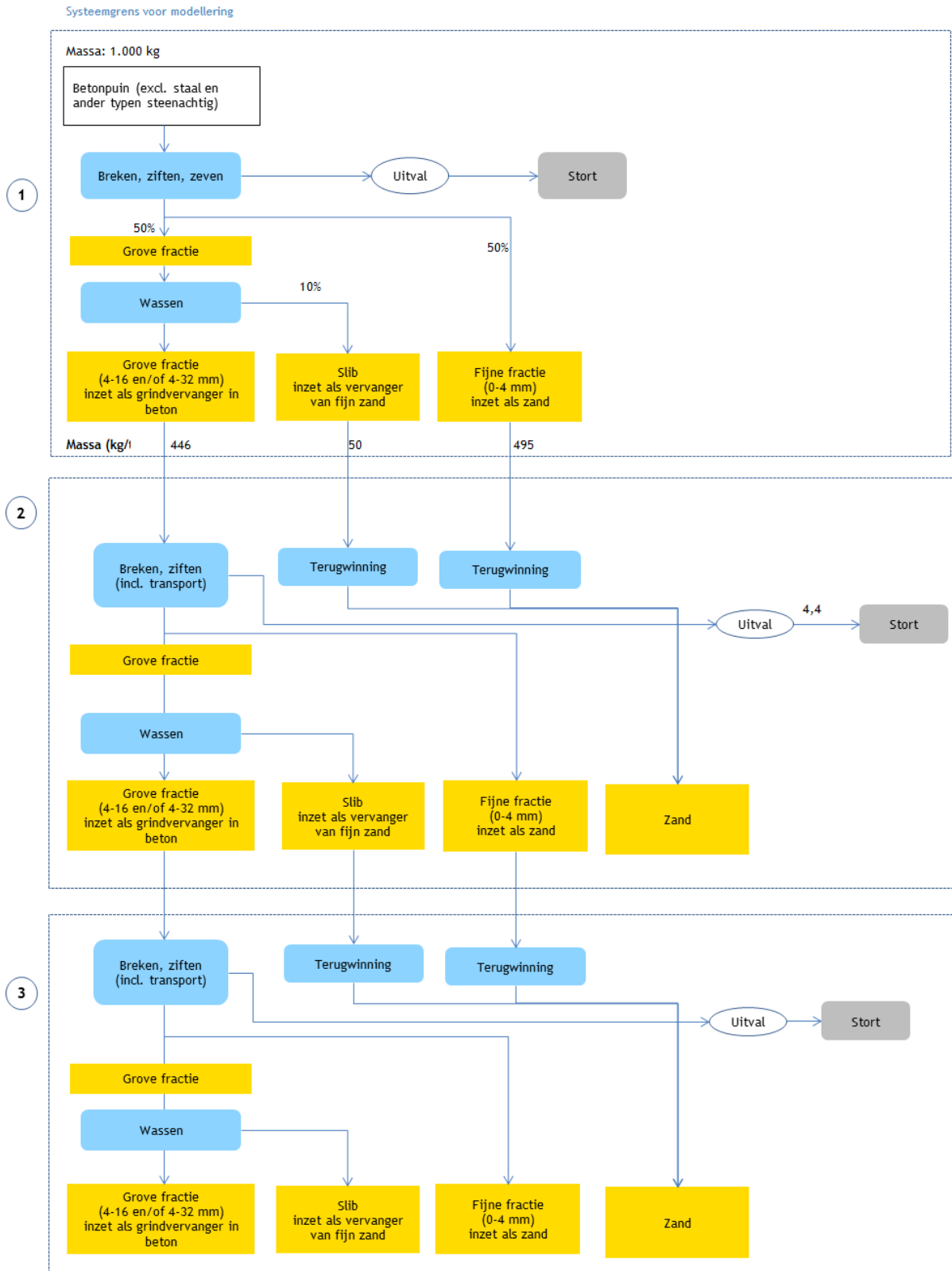
### E.2.1 Beton naar betongranulaat, inzet als funderingsmateriaal

Figuur 49 Systeemgrens betonpuin, inzet als fundering, drie keer recycling



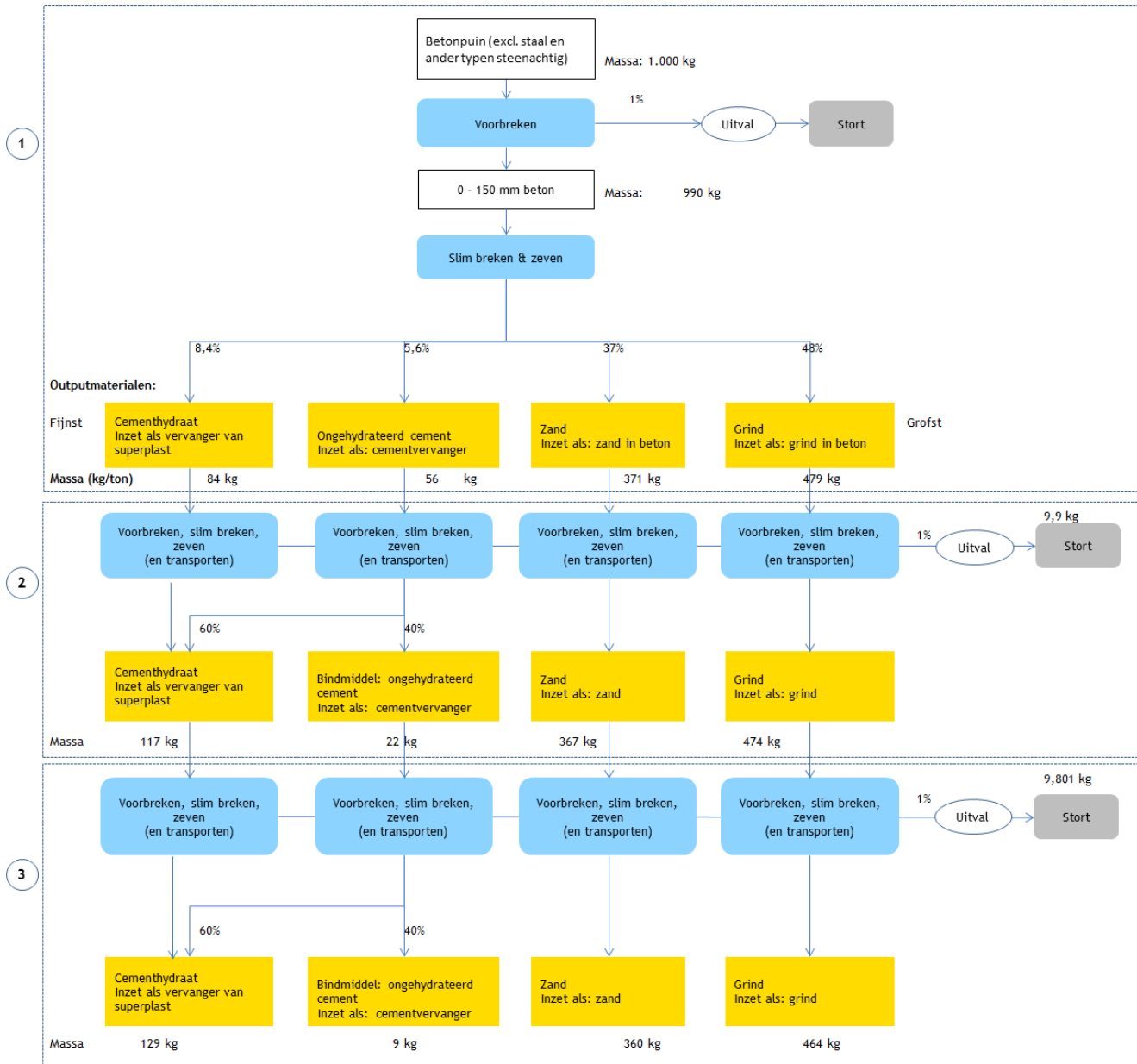
## E.2.2 Betongranulaat en zand, inzet in nieuw beton

Figuur 50 Systeemgrens betonpuin, recycling tot grove en fijne fractie ter vervanging van zand en grind, drie keer recycling



## E.2.3 Beton wordt ontleed in zijn oorspronkelijke componenten

Figuur 51 Systeemgrens betonpuin, recycling tot oorspronkelijke componenten, drie keer recycling



NB: De hoeveelheden cemendhydraat (gebonden cement) lopen op, omdat elke recyclingronde er meer cement gebonden raakt.

### E.3 Resultaten

In deze casus is iets theoretischer dan de andere cases, omdat er sprake is van een uitsparing die in de praktijk niet voorkomt (recycling als funderingsmateriaal) en een recyclingroute in ontwikkeling (recycling tot oorspronkelijke componenten). Ondanks de onzekerheden die dit met zich meebrengt, kunnen we wederom concluderen dat een route scoort goed als er meermalen en met weinig uitval een materiaal wordt uitgespaard, dat een hoge milieu-impact heeft.

Bij de volgende bespreking horen de tabellen en grafieken, die onder de bespreking staan.

#### Milieueffecten (midpoint-niveau)

Op milieueffect-niveau heeft recycling tot fundering op eerste gezicht de beste papieren. Door het meermalen uitsparen van zandcement heeft deze route de beste scores op de meeste milieueffecten, waaronder landgebruikseffecten en toxische emissies. Voor klimaatimpact en uitputting van fossiele grondstoffen heeft recycling tot oorspronkelijke componenten het beste milieuprofiel.

Voor recycling tot grind- en zandvervanger is wat minder energie nodig dan bij de andere recyclingroutes, maar de milieuwinst door uitgespaard zand en grind is zeer laag. Zo komt deze route voor de meeste milieueffecten niet tot een milieuwinst, maar leidt tot een milieu-impact voor vrijwel alle milieueffecten. Deze route zou daarom geïnclassificeerd kunnen worden als laagwaardig.

Bij alle drie de routes is de uitval zeer laag. Uit deze casus blijkt dan ook duidelijk dat er alleen winst geboekt als er een materiaal wordt uitgespaard met een hoge milieu-impact. Bij uitsparing van een materiaal met lage impact loont het niet de moeite: de impacts van verwerking en transport zijn hoger dan de winst.

Niet op alle milieueffecten wordt milieuwinst geboekt, bij recycling tot fundering en oorspronkelijke componenten. In de tabel is voor diverse milieueffecten milieu-impact te zien. In dit geval weegt het breken, zeven, afgraven, etc. niet op tegen de milieuwinst door vermeden materialen.

Bepalend voor de resultaten zijn het uitsparen van zandcement bij betongranulaat als funderingsmateriaal en het uitsparen van superplastificeerder door het cementshydraat. Beiden zijn echter theoretische besparingen. De resultaten vallen heel anders uit als inzet als fundering niet deels CEM I uitspaart of als het cementshydraat geen superplastificeerder vervangt. In deze analyse wordt het resultaat dus vooral bepaald door drie aspecten:

- de theoretische uitsparing van zandcement bij recycling tot fundering;
- de aanname dat al het cementshydraat superplastificeerder vervangt;
- de keuze voor proceskaart van superplastificeerder.

Er is niet of nauwelijks milieuwinst als bij recycling tot fundering een materiaal zou worden uitgespaard dat geen bindmiddel bevat, bijvoorbeeld breuksteen of een steenachtig granulaat zonder bindmiddel.



## Schadecategorieën (endpoints)

Op het niveau van schadecategorieën verdwijnt de voorkeur voor recycling tot fundering. Alleen voor de schadecategorie ecosystemen heeft recycling tot fundering de beste score. Dit komt omdat de milieueffecten waar dit scenario goed op scoort - landgebruik en diverse toxiciteitseffecten - vooral bijdraagt aan de schadecategorie ecosystemen. Recycling tot oorspronkelijke componenten heeft de voorkeur volgens de schadecategorieën menselijke gezondheid en uitputting van grondstoffen.

Beide routes hebben dus hun voordelen. In theorie dan, want de uitsparing van zandcement en superplastificeerder is geen praktijksituatie. De lage score voor schadecategorie grondstofuitputting van recycling tot oorspronkelijke componenten, is grotendeels te danken aan de uitsparing van de superplastificeerder, zo is te zien in Figuur 55.

## Single score

Als we naar de gewogen score kijken heeft recycling tot oorspronkelijke componenten de beste score. Dit komt voornamelijk door de bijdrage van de schadecategorie grondstofuitputting. Recycling naar fundering leidt ook tot een milieuwinst. Recycling met uitsparing van zand en grind heeft een milieupact. Dit scenario zou daarom laagwaardig kunnen worden genoemd.

## Conclusie

Uit deze casestudie blijkt duidelijk dat het uitsparen van materiaal met hoge impact loont. Als alleen materiaal wordt uitgespaard met lage impact (zand, steen, grind), dan overschaduwde de impact voor de recyclingprocessen de winst van het uitgespaarde virgin-materiaal.

Ook blijkt dat de midpoints alleen niet toereikend zijn om een oordeel te vellen.

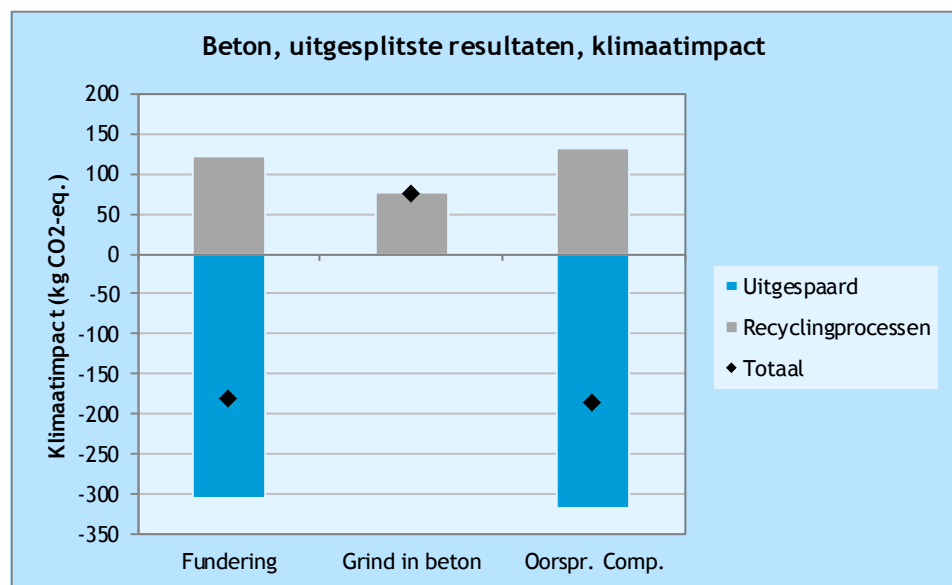
Zoals eerder gezegd, deze resultaten zijn op basis van een quickscan waarbij aannames zijn gedaan. Het doel van deze resultaten is het testen van het LCA-model. De resultaten geven een eerste indicatie.

Tabel 18 Hoofresultaten beton (per ton) op milieueffectniveau (midpoint)

Milieueffect	Eenheid	3 levenscycli; beton als funderings- materiaal	3 levenscycli; beton tot grove fractie (grind- vervanger)	3 levenscycli; beton tot oorspronkelijke componenten	Ranking per milieueffect		
					Fundering	Grind en zand	Oorspr. Comp.
Climate change	kg CO <sub>2</sub> -eq.	-183,0	73,1	-186,0	2	3	1
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	7,37E-06	1,32E-05	-1,10E-05	2	3	1
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	-0,1	0,33	-2,5	2	3	1
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-0,016	0,0047	0,002	1	3	2
Marine eutrophication	kg N-eq.	0,00	0,03	0,01	1	3	2
Human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	10,0	25,7	28,8	1	2	3
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	0,02	0,48	-0,95	2	3	1
Particulate matter formation	kg PM <sub>10</sub> -eq.	0,03	0,19	-0,50	2	3	1
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,06	0,05	0,07	2	1	3
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,06	0,47	0,56	1	2	3
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,45	0,74	0,96	1	2	3
Ionising radiation	kBq U235-eq.	-5,7	4,71	4,6	1	3	2
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	-1,16	0,82	0,83	1	2	3

Milieueffect	Eenheid	3 levenscycli; beton als funderings- materiaal	3 levenscycli; beton tot tot grove fractie (grind- vervanger)	3 levenscycli; beton tot oorspronkelijke componenten	Ranking per milieueffect		
					Fundering	Grind en zand	Oorspr. Comp.
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	-4,8	0,58	1,4	1	2	3
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	-0,04	0,009	0,02	1	2	3
Water depletion	m <sup>3</sup>	-4,14	-2,04	-3,33	1	3	2
Metal depletion	kg Fe-eq.	-0,3	2,42	2,6	1	2	3
Fossil depletion	kg oil-eq.	5,9	26,2	-75,2	2	3	1

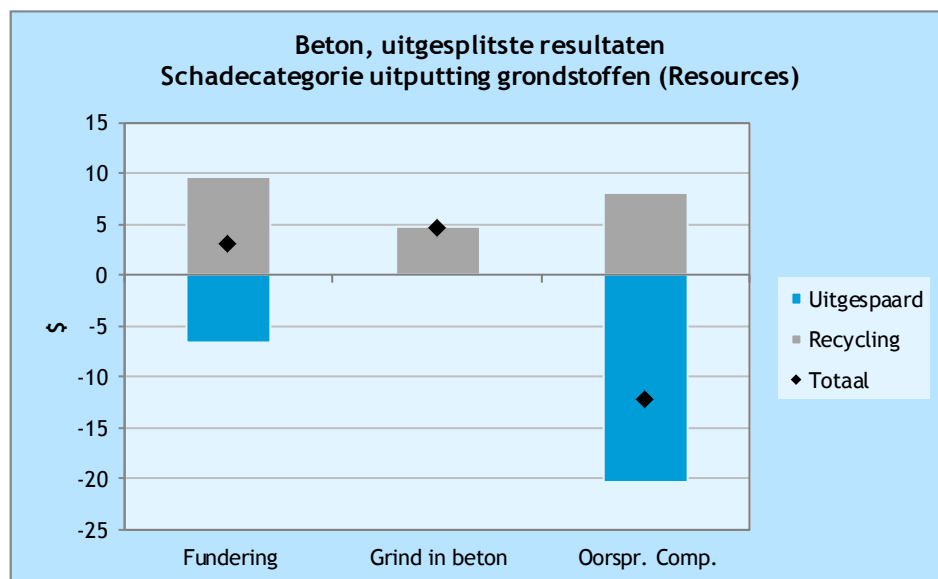
Figuur 52 Resultaten betonrecycling, klimaatimpact, drie keer recycling, uitgesplitst naar impact door recyclingprocessen en winst door vermeden materiaal



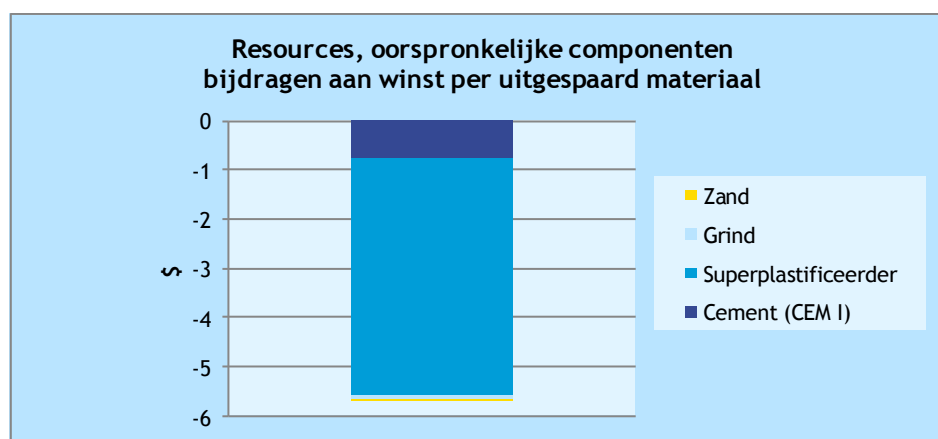
Tabel 19 Hoofresultaten beton (per ton) per schadecategorie (endpoint)

Milieueffect	Eenheid	3 levenscycli; beton als funderings- materiaal	3 levenscycli; beton tot grove fractie (grind-vervanger)	3 levenscycli; beton tot oorspronkelijke componenten	Ranking per milieueffect		
					Fundering	Grof, grind	Oorspr. Comp.
Human Health	DALY	-2,42E-04	1,70E-04	-3,70E-04	2	3	1
Ecosystems	species.yr	-1,63E-06	6,25E-07	-1,41E-06	1	3	2
Resources	\$	0,9	4,51	-12,3	2	3	1

Figuur 53 Resultaten betonrecycling, schadecategorie grondstofuitputting, drie keer recycling, uitgesplitst naar impact door recyclingprocessen en winst door vermeden materiaal



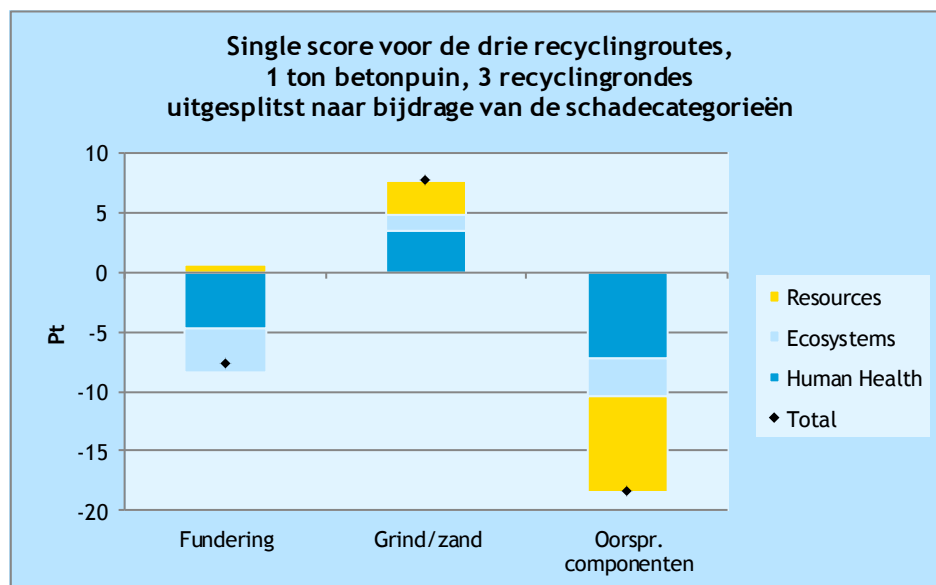
Figuur 54 Beton, schadecategorie grondstofuitputting, winst door uitgespaard materiaal bij recycling tot oorspronkelijke componenten, drie keer recycling



Tabel 20 Hoofdresultaten beton (per ton) voor de gewogen single score

Milieueffect	Eenheid	3 levenscycli; beton als funderings- materiaal	3 levenscycli; beton tot grote fractie (grind- vervanger)	3 levenscycli; beton tot oorspronkelijke componenten	Ranking per milieueffect		
					Funderin g	Grof, grind	Oorspr. Comp.
Single score	Pt	-7,8	7,7	-18,4	2	3	1

Figuur 55 Beton, resultaten ReCiPe single score, uitgesplitst naar bijdrage van de drie schadecategorieën aan de single score



Tabel 21 Hoofresultaten beton (per ton) voor de Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie

Milieueffect	Eenheid	3 levenscycli; beton als funderingsmateriaal	3 levenscycli; beton tot grove fractie (grind-ervanger)	3 levenscycli; beton tot oorspronkelijke componenten	Ranking per milieueffect		
					Fundering	Grof, grind	Oorspr. Comp.
Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie	MJ	141	1.165	-4.542	2	3	1

# Bijlage F Case: schredderafval - autowrakken

## F.1 Omschrijving

In deze casestudy is gekeken naar het shredderafval van autowrakken. Er zijn vier scenario's vergeleken. De scenario's verschillen in de hoeveelheid materialen die handmatig worden gedemonteerd, en het al dan niet aanwezig zijn van een PST-fabriek<sup>34</sup>. Deze verschillen leiden tot verschillen in de hoeveelheden gerecycleerd materiaal en de hoeveelheid stort.

In de scenario's worden alleen de verschillen tussen de verwerkingsmethodes gemodelleerd. Aspecten die in beide scenario's gelijk blijven laten we buiten beschouwing, waaronder droogleggen, demontage van accu, airbags, vloeistoffen en tweedehands onderdelen bij het demontagebedrijf en metaalrecycling door het shredderbedrijf.

De verschillen betreffen alleen het shredderresidue. Dit is een gemiddelde hoeveelheid van 170 kg per 1.000 kg auto. De overige 830 kg van het autowrak wordt niet gemodelleerd.

Er worden vier verwerkingsscenario's vergeleken (zie Tabel 22):

- Scenario I: Handmatige demontage 8 onderdelen (o.a. glas, bumper, grille, wioldoppen), shredderresidue naar stort/AVI, geen PST-fabriek;
- Scenario II: geen handmatige demontage, shredderresidue naar PST-fabriek;
- Scenario III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wioldoppen; shredderresidue naar PST-fabriek;
- Scenario IV: handmatige demontage glas; shredderresidue naar PST-fabriek.

Bij deze scenario's wordt opgemerkt dat de coördinerende organisatie ARN stelt dat Scenario III en IV niet economisch haalbaar meer zijn. Economische aspecten van recycling komen in dit rapport verder niet aan de orde, maar worden in een gerelateerd project wel onderzocht.

---

<sup>34</sup> PST = post-shredder technology. Dit is de fabriek waarin shredderafval in verschillende fracties gescheiden wordt, die vervolgens voor een groot deel gerecycled kunnen worden.

Tabel 22 Verdeling van het shredderresidue van 1.000 kg auto over de verschillen hoofdstromen in Scenario I-IV.

	I: handmatige demontage 8 onderdelen, shredder-residue naar stort/AVI, geen PST-fabriek	II: geen handmatige demontage, shredder-residue naar PST-fabriek	III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wioldoppen; shredder-residue naar PST-fabriek	IV: handmatige demontage glas; shredder-residue naar PST-fabriek
Hoeveelheid handmatig verwijderd (kg)	49	0	32	25
Hoeveelheid naar PST-fabriek (kg)	0	170	138	145
Hoeveelheid shredderresidue direct naar stort/AVI (kg)*	122	0*	0*	0*

\* In Scenario II, III en IV wordt wel een deel van de PST-fracties gestort.

Voor de casestudy shredderafval is een specifieke vraag in hoeverre het stortverbod uit het Landelijk Afvalbeheerplan strookt met het streven naar hoogwaardige recycling. Deze vraag speelt bij het al dan niet handmatig verwijderen van glas uit het autowrak. Wanneer het glas handmatig wordt verwijderd kan dit closed-loop tot glas gerecycled worden, maar dan kan er niets nuttigs meer gedaan worden met de minerale fractie uit de PST-fabriek. Die minerale fractie moet dan gestort worden. Wanneer het glas in het autowrak achterblijft, komt dit in de minerale fractie van de PST-fabriek terecht en is het door de veranderde samenstelling van de minerale fractie wel mogelijk deze te recyclen tot een bouwstof. Dan hoeft de minerale fractie dus niet gestort te worden. Voor deze vraag is vooral het verschil tussen Scenario II en IV interessant.

### Scenario I: handmatige demontage acht onderdelen (o.a. glas, bumper, grille, wioldoppen), shredderresidue naar stort en AVI, geen PST-fabriek

Het scenario is schematisch weergegeven in Bijlage F.2.1.

De volgende materialen worden handmatig gedemonteerd: bumper, grille, wioldoppen, rubber strips, gordels, kokoshaar, PUR en glas (zie Tabel 23). Glas wordt grotendeels gerecycled tot glas (96% recycling, 4% stort) (ARN Holding, 2014), en ook bumper, grille en wioldoppen worden als mono-stromen (PP en PC) grotendeels gerecycled tot dezelfde producten (76% recycling, 16% verbranding, 8% stort). Voor het recyclingproces zelf wordt 10% uitval gerekend. Uitval van plasticrecycling wordt verbrand, en uitval van glasrecycling gaat naar stort. De overige vier handmatig gedemonteerde materialen kunnen niet gerecycled worden en gaan dus naar verbranding.

Na shredderen van het gedemonteerde autowrak gaat het shredderresidue grotendeels naar stort (90%). Een klein deel (10%) wordt verbrand in een AVI, waarbij energie wordt teruggewonnen. Er is in dit scenario geen PST-fabriek.

Het materiaal van de bumper, grille, wioldoppen en het glas worden in de volgende cyclus weer ingezet in dezelfde functie in een auto en weer handmatig gedemonteerd.<sup>35</sup>

Tabel 23 Auto-onderdelen die voorheen handmatig gedemonteerd werden en tegenwoordig niet meer

Materiaal/ onderdeel	kg	Bestemming bij handmatige demontage	Bestemming bij verwerking in PST-fabriek
Glas	25	Inzameling door ARN, daarna materiaalrecycling, (96% recycling, 4% stort)	Minerale fractie, recycling tot baksteen
Bumper	6,1	Inzameling door ARN, daarna materiaalrecycling (76% recycling, 16% verbranding, 8% stort)	80% fractie plastic <1.1 (88% recycling, 10% stort, 2% verbranding); 20% fractie plastic 1.1-1.3 (100% verbranding)
Grille	0,45		
Wioldoppen	0,8		
Rubberen strips	7,7	Bleek niet goed gerecycled te kunnen worden: verbranden	Fractie rubber/hout/plastic (77% verbranding, 22% recycling, 1% stort)
Gordels	0,5		Vezelfractie (100% verbranding)
Kokoshaar	0,55		
PUR	7,4		

### Scenario II: geen handmatige demontage, shredderresidue naar PST-fabriek

Het scenario is schematisch weergegeven in Bijlage F.2.2.

De materialen uit Tabel 23 blijven in het autowrak zitten, gaan door de shredder en komen terecht in de PST-fabriek. Het energieverbruik in de PST-fabriek is 185 kWh elektriciteit per ton verwerkt materiaal, en is voor 95% afkomstig van Nederlandse windmolens<sup>40</sup>.

Glas komt na scheiding in de PST-fabriek in de minerale fractie terecht. Deze fractie (glas+roest+zand) wordt in de volgende levenscyclus ingezet in baksteenproductie<sup>36</sup>. Aan het einde van de levensduur van de baksteen wordt deze gerecycled tot grind. Dit wordt niet meer gerecycled.

Bumper, grille en wioldoppen komen na scheiding in de PST-fabriek voor 80% in de fractie plastic <1.1 en voor 20% in de fractie plastic 1.1-1.3 terecht.<sup>37</sup> Een deel hiervan wordt gerecycled (zie Tabel 23). Het kunststofdeel dat naar recycling gaat, wordt op dezelfde manier gerecycled als het gerecyclede kunststof uit Scenario I. In het recyclingproces wordt gerekend met 10% materiaalverlies. De rubber strips komen terecht in de fractie 'rubber/hout/plastic' en gordels, kokoshaar en PUR komen in de vezelfractie terecht. Uitval bij de recycling van plastics, rubber/hout/plastic en metalen wordt verbrand, en uitval van mineralen en zware delen wordt gestort.

<sup>35</sup> Dit is één van de mogelijke toepassingen van het recyclaat. In praktijk kan het materiaal nog in vele andere toepassingen terecht komen.

<sup>36</sup> Baksteen is gekozen als representatief voorbeeld. Er zijn ook andere toepassingen van het recyclaat mogelijk.

<sup>37</sup> Schatting door ARN. Een deel van het materiaal kan ook in de stoffractie terecht komen, maar in de huidige berekeningen is hiermee geen rekening gehouden.

Alle materialen behalve glas worden in de volgende levenscyclus weer ingezet in een auto en gaan aan het einde van de levensduur weer naar de shredder.<sup>38</sup> Tabel 24 geeft de percentages stort en verbranding voor de verschillende fracties weer.

Tabel 24 Samenstelling shredderresidue in Ronde 1 en bestemming van verschillende fracties uit de PST-fabriek (ARN, 2015)

Fractie	Scenario II		Scenario III	Scenario IV	% naar recycling	% naar verbranding	% naar stort
	kg	% van shredder-residue	kg	kg			
Vezels	44,2	26%	44,2	44,2	0%	100%	0%
Mineralen	37,4	22%	12,4	12,4	100%	0%	0%
Plastics >1.3	20,4	12%	20,4	20,4	49%	51%	0%
Stof	15,3	9%	15,3	15,3	0%	100%	0%
Rubber/Hout/Plastic	13,6	8%	13,6	13,6	22%	77%	1%
Plastic <1.1	11,9	7%	6,02	11,9	88%	2%	10%
Zware delen	10,2	6%	10,2	10,2	38%	30%	32%
Plastic 1.1-1.3	8,5	5%	7,03	8,5	0%	100%	0%
Metalen	8,5	5%	8,5	8,5	93,4%	6,6%	0%

### Scenario III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wioldoppen; shredderresidue naar PST-fabriek

Het scenario is schematisch weergegeven in Bijlage F.2.3.

In dit scenario worden glas, bumper, grille en wioldoppen handmatig verwijderd. Dit zijn de onderdelen die ook in Scenario I gerecycled werden. De materialen rubber strips, gordels, kokoshaar en PUR blijven in het autowrak achter (in Scenario I werden deze wel handmatig verwijderd, maar vervolgens verbrand en niet gerecycled).

Glas wordt (net als in Scenario I) grotendeels gerecycled tot glas (96% recycling, 4% stort), en ook bumper, grille en wioldoppen worden als mono-stromen grotendeels gerecycled tot dezelfde producten (76% recycling, 16% verbranding, 8% stort).

De minerale fractie van de PST-fabriek (waarin geen glas meer aanwezig is) wordt gestort. De verwerkingspercentages van de overige fracties zijn zoals vermeld in Tabel 24.

Voor het recyclingproces zelf wordt 10% uitval gerekend. Uitval bij de recycling van plastics, rubber/hout/plastic en metalen wordt verbrand, en uitval van glas en zware delen wordt gestort.

Door de handmatige verwijdering van glas, bumper, grille en wioldoppen zijn in de PST-fabriek de fracties 'Plastic <1.1', 'Plastic 1.1-1.3' en mineralen kleiner dan in Scenario II.

<sup>38</sup> Dit is één van de mogelijke toepassingen van het recyclaat. In praktijk kan het materiaal nog in vele andere toepassingen terecht komen.



#### **Scenario IV: handmatige demontage glas; shredderresidue naar PST-fabriek**

De schematische weergave van dit scenario is te zien in Bijlage F.2.4. In dit scenario wordt alleen glas handmatig verwijderd. Alle overige onderdelen uit Tabel 23 blijven in het autowrak achter.

Het verwijderde glas wordt (net als in Scenario I) grotendeels gerecycled tot glas (96% recycling, 4% stort).

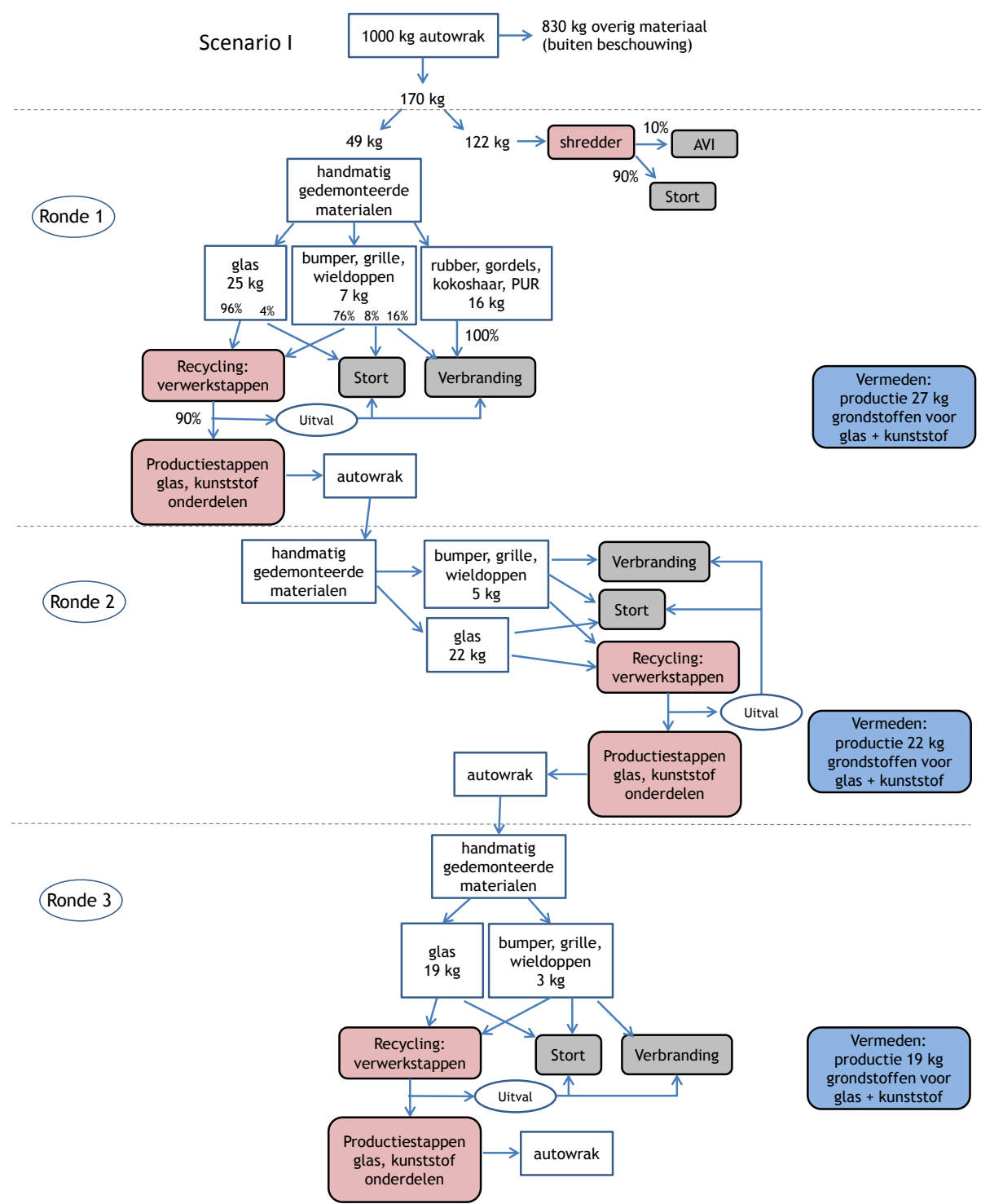
De minerale fractie van de PST-fabriek (waarin geen glas meer aanwezig is) wordt gestort. De verwerkingspercentages van de overige fracties zijn zoals vermeld in Tabel 24.

Voor het recyclingproces zelf wordt 10% uitval gerekend. Uitval bij de recycling van plastics, rubber/hout/plastic en metalen wordt verbrand, en uitval van glas en zware delen wordt gestort.

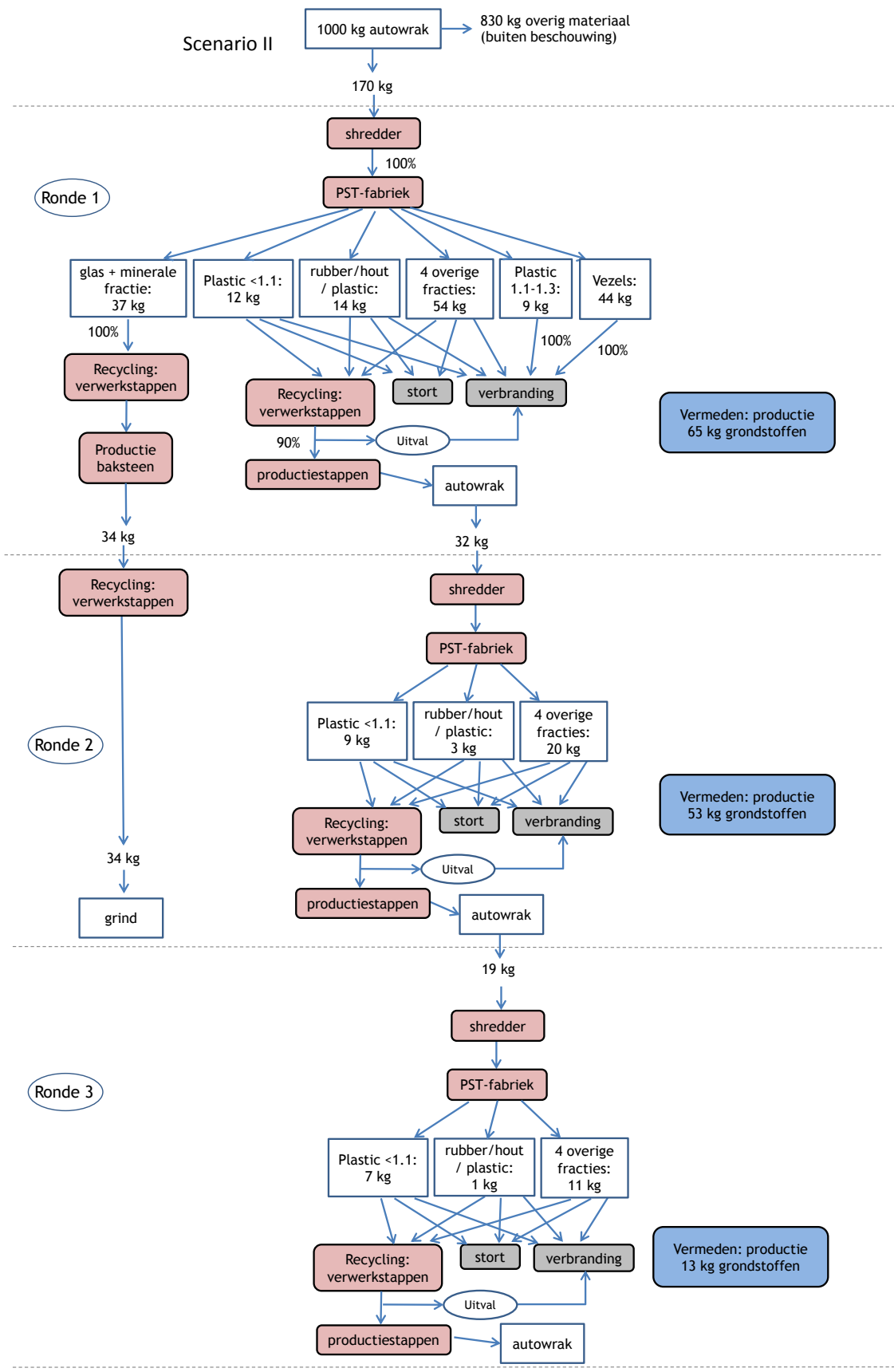
Door de handmatige verwijdering van glas is in de PST-fabriek de fractie mineralen kleiner dan in Scenario II.

## F.2 Schema's autowrakken

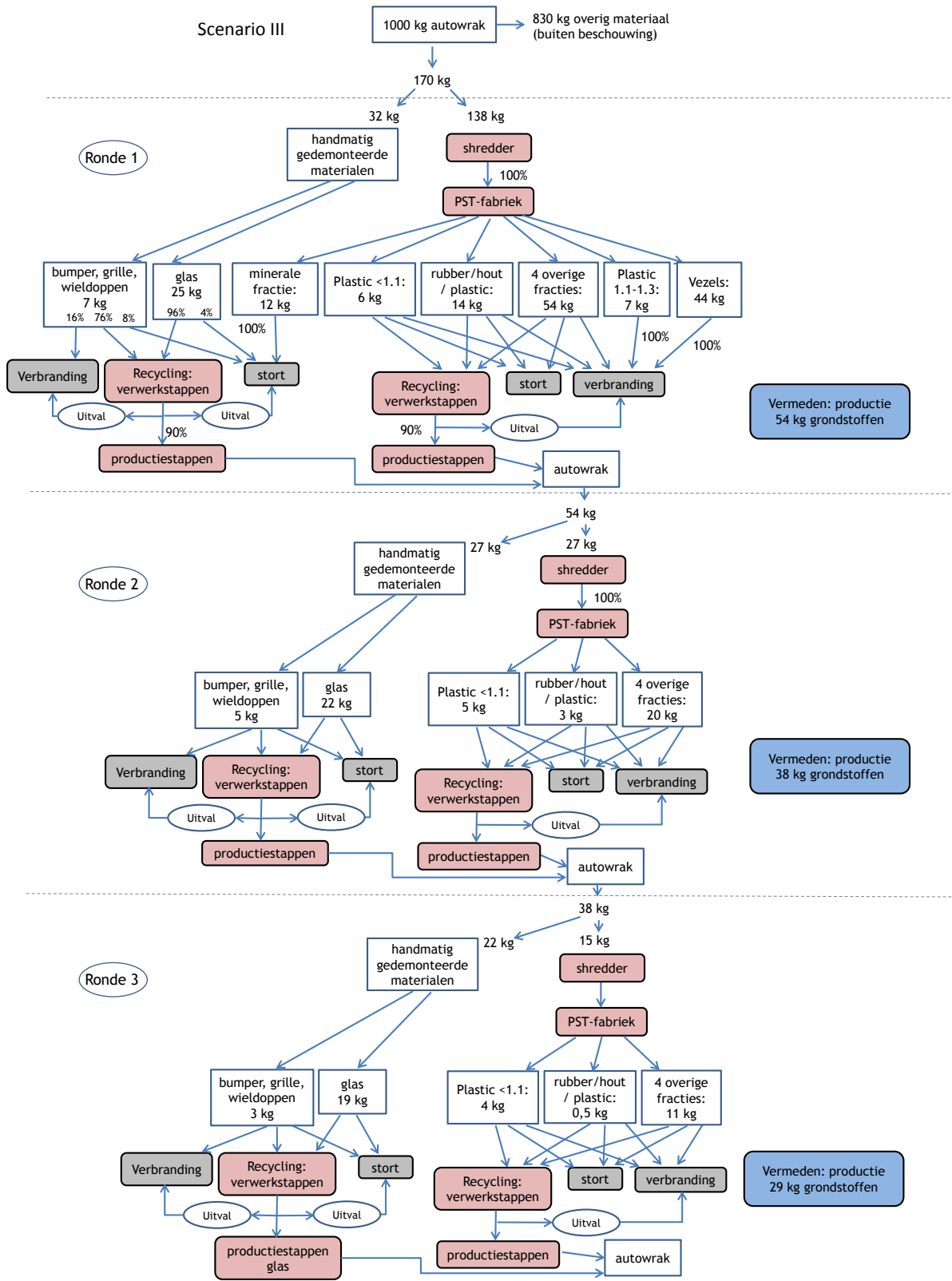
### F.2.1 Scenario I: Handmatige demontage 8 onderdelen (o.a. glas, bumper, grille, wioldoppen), shredderresidue naar stort en AVI, geen PST-fabriek



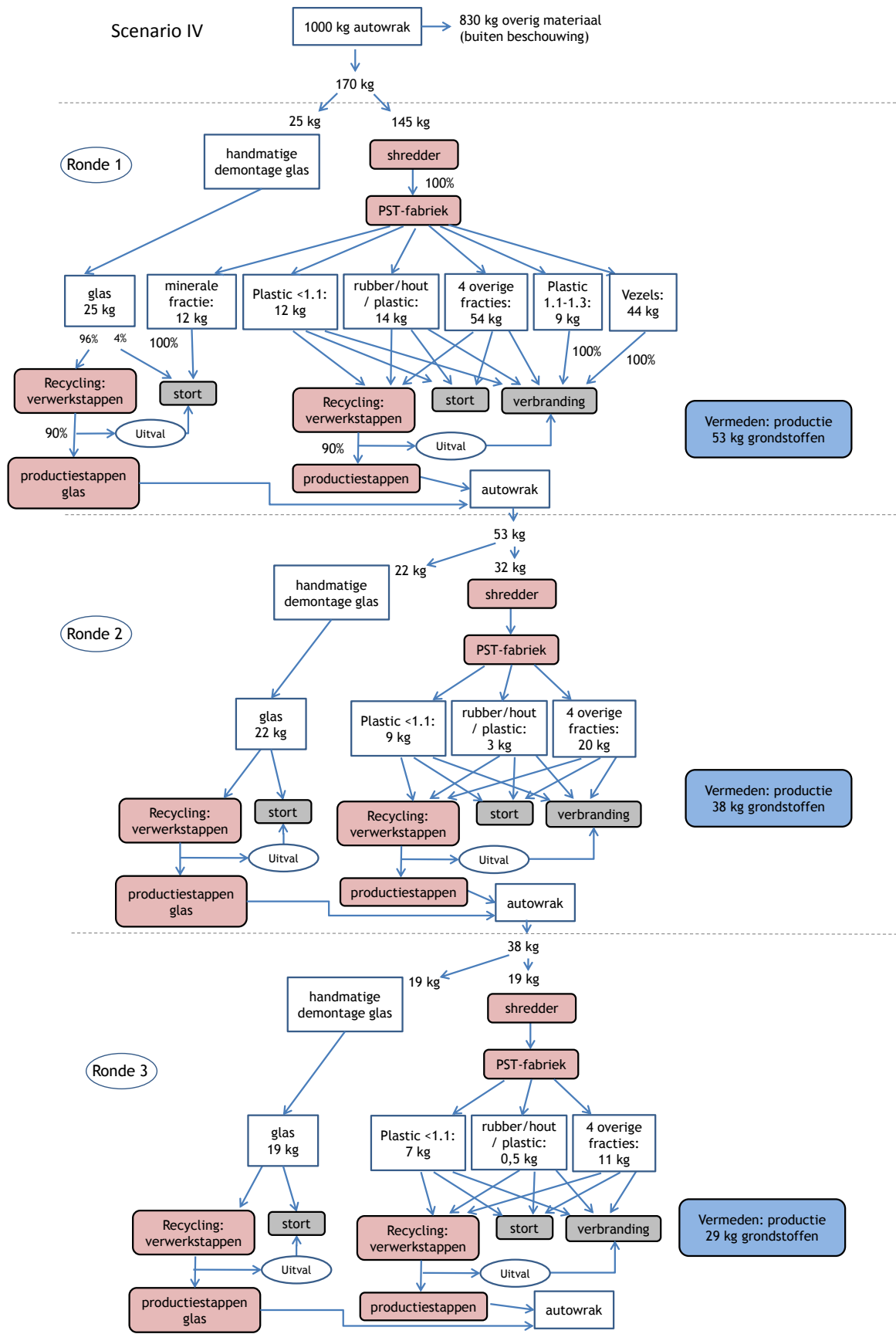
## F.2.2 Scenario II: geen handmatige demontage, shredderresidue naar PST-fabriek



### F.2.3 Scenario III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wioldoppen; shredderresidue naar PST-fabriek



## F.2.4 Scenario IV: handmatige demontage glas; shredderresidue naar PST-fabriek



### F.3 Resultaten

De functionele eenheid is het shredderafval van 1.000 kg autowrak (=170 kg). De overige 830 kg van het autowrak worden buiten beschouwing gelaten. De resultaten geven dus de milieuprestatie van slechts een klein deel van de autowrakverwerking: dat deel waarin de scenario's van elkaar verschillen. Wanneer de volledige autowrakverwerking zou worden doorgerekend, zouden de relatieve verschillen tussen de scenario's veel kleiner worden.

Onderstaande figuren en tabellen geven de resultaten weer. De hoeveelheid en type uitgespaarde virgin-materialen zijn in alle berekeningen de doorslaggevende parameters.

#### Scenario I

Zoals in Figuur 56 te zien is voor Recyclingronde 1, geeft de milieuwinst dankzij uitsparing van grondstoffen een grotere bijdrage aan de score dan de milieu-impact van de recyclingprocessen. De uitgespaarde grondstoffen voor kunststoffen hebben een aanzienlijk grotere bijdrage aan de milieuwinst dan de uitgespaarde grondstoffen voor glas.

Secundaire glasscherven zorgen voor een lager energieverbruik bij de productie van gerecycled glas in vergelijking tot de productie van primair glas. De resulterende milieuwinst is te zien in de vijfde kolom van Figuur 56.

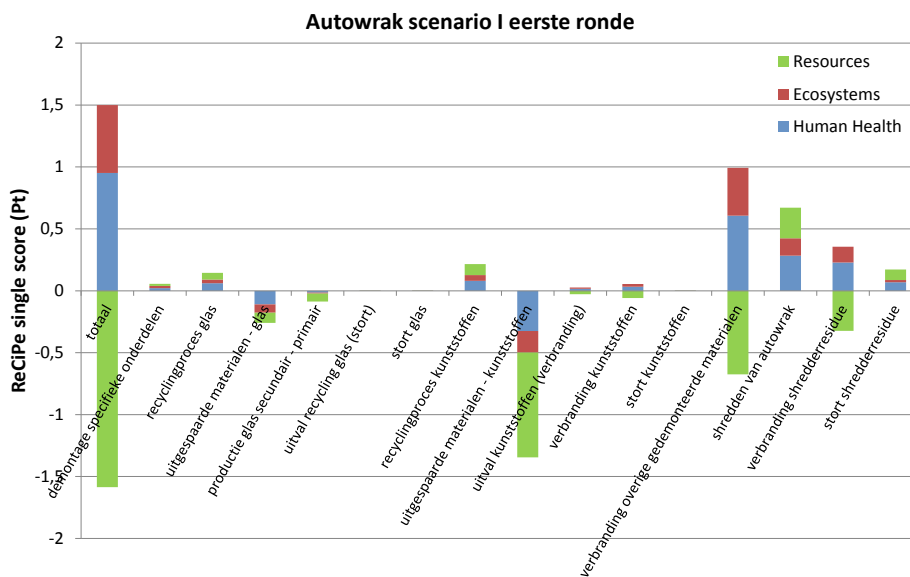
De verbranding van gedemonteerde materialen (rubber, gordels, kokoshaar, PUR) geeft een relatief grote milieu-impact. Dankzij energieopwekking in de AVI geeft dit proces ook een uitsparing van fossiele brandstoffen.

Het shredden van het autowrak geeft de grootste milieu-impact van alle verwerkingsprocessen. Verbranding van het shredderresidue met energieopwekking in de AVI (10%) geeft netto een kleine milieu-impact. Stort van shredderresidue (90%) geeft tot slot ook nog enige milieu-impact.

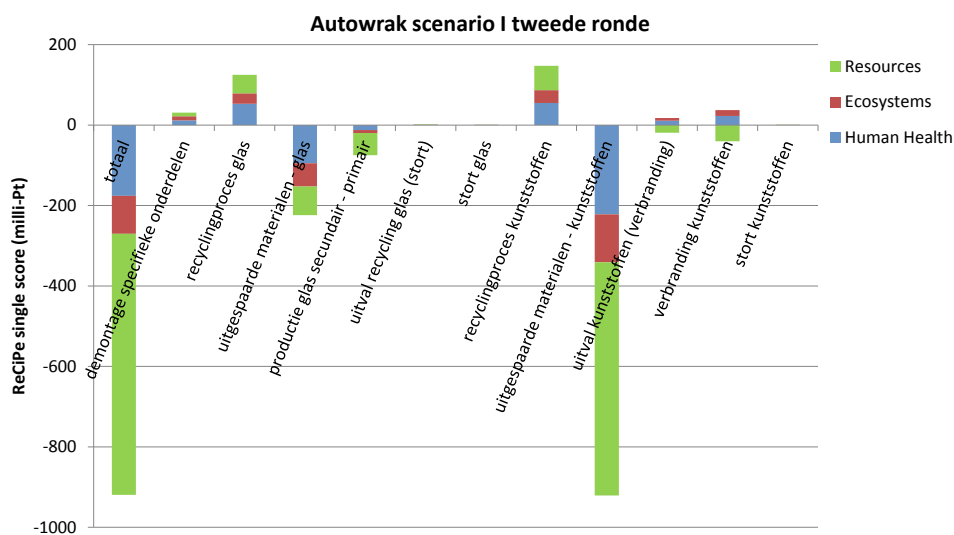
Figuur 57 toont voor het recyclelaat dat in Ronde 2 terecht komt een vergelijkbaar beeld: uitgespaarde grondstoffen voor kunststoffen geven de grootste bijdrage aan de milieuwinst, gevolgd door de uitgespaarde grondstoffen voor glas. De milieu-impact van de verwerkingsprocessen is relatief klein. Het recyclelaat in Ronde 3 (niet weergegeven in een aparte figuur) geeft hetzelfde beeld.

Figuur 58 toont de totaalscores voor de 3 recyclingrondes en het totaal voor Scenario I. Opvallend is dat Ronde 2 de meest gunstige score heeft. In Ronde 1 geeft de verwerking van niet recyclebaar materiaal een aanzienlijke milieu-impact (m.n. CO<sub>2</sub>-emissie). In Ronde 2 en 3 is alleen nog recyclebaar materiaal over dat resulteert in milieuwinst, en zijn er geen processen meer met grote milieu-impact. Dit levert dus een gunstiger score op dan in Ronde 1, ondanks het feit dat er door uitval tijdens recycling in elke ronde minder recyclelaat over blijft.

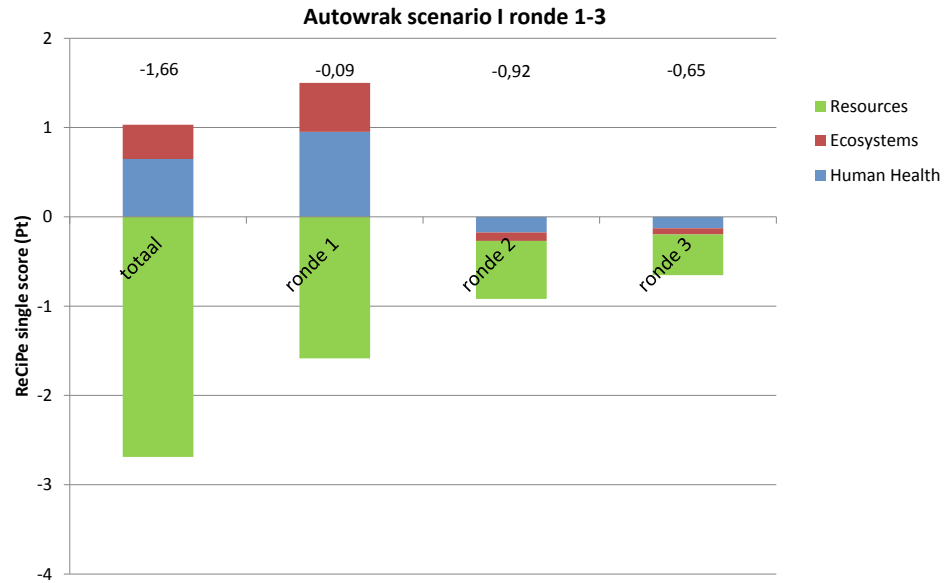
Figuur 56 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario I, eerste recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de ReCiPe single score



Figuur 57 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario I, tweede recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de single score



Figuur 58 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario I, alle recyclingrondes samen



### Scenario II

In Scenario II is er dankzij de PST-fabriek veel meer uitsparing van grondstoffen door recycling dan in Scenario I (zie Figuur 59). Opnieuw levert de uitsparing van plastics de grootste milieuwinst.

Ook de recycling van de fracties ‘rubber/hout/plastic’, ‘zware delen’ en metalen geven milieuwinst. Door de verschillende verbrandingsprocessen heeft Ronde 1 als geheel een CO<sub>2</sub>-uitstoot die leidt tot een netto impact voor Human Health en Ecosystems.

De recycling van de minerale PST-fractie (inclusief glas) tot baksteen geeft uitsparing van virgin-materiaal van mindere kwaliteit (klei, zand en kalkzandsteen) dan bij recycling tot glas. De milieuwinst is dan ook kleiner dan bij de glasrecycling in Scenario I.

Doordat er meer materiaal in de auto achterblijft, is de milieu-impact van het shredderproces iets hoger dan in Scenario I.

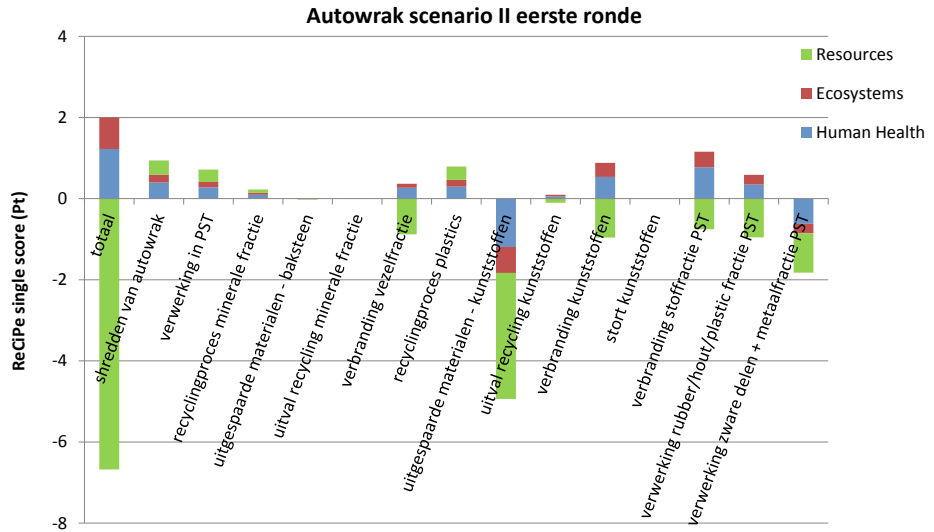
In de tweede recyclingronde (Figuur 60) is te zien dat de recycling van baksteen geen milieuvoordeel oplevert, en dat het recyclingproces zelfs iets meer milieu-impact heeft dan de milieuwinst van de uitgespaarde materialen. Het resultaat wordt opnieuw sterk gedomineerd door de milieuwinst van de uitsparing van plastics dankzij recycling.

In Ronde 2 worden minder materialen verbrand, en is de CO<sub>2</sub>-uitstoot dus lager dan in Ronde 1. De netto scores voor alle drie de Endpoints is negatief (milieuwinst).

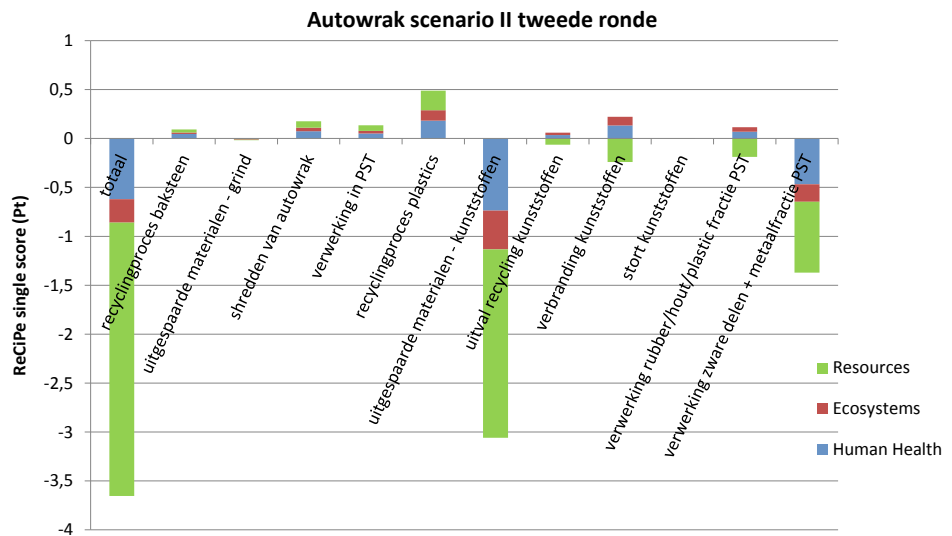
Figuur 61 laat de totaalscores voor de 3 recyclingrondes en het totaal voor Scenario II zien. De milieuwinst wordt in elke ronde kleiner door uitval van materiaal.



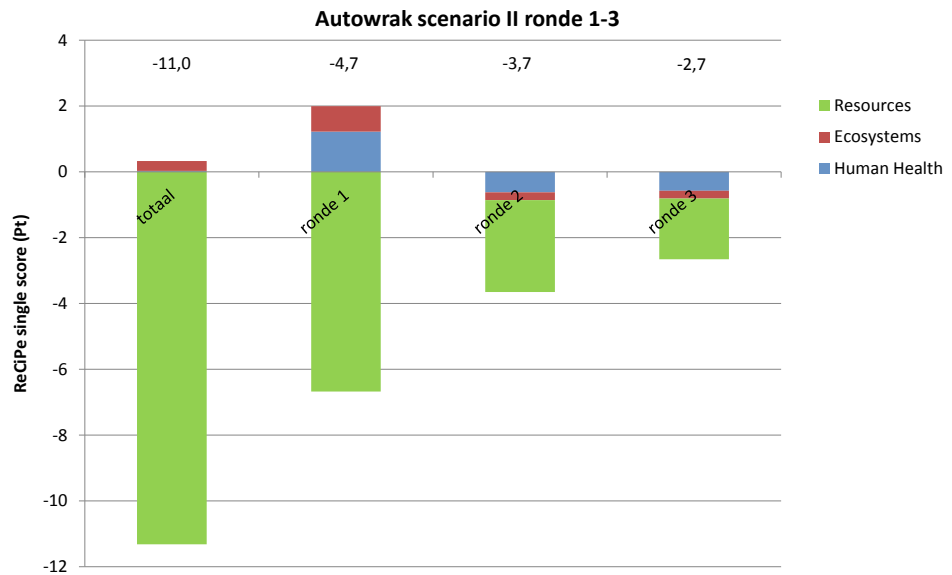
Figuur 59 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario II, eerste recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de ReCiPe Single Score



Figuur 60 Autowrakverwerking, Scenario II, tweede recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de Single Score



Figuur 61 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario II, alle recyclingrondes samen



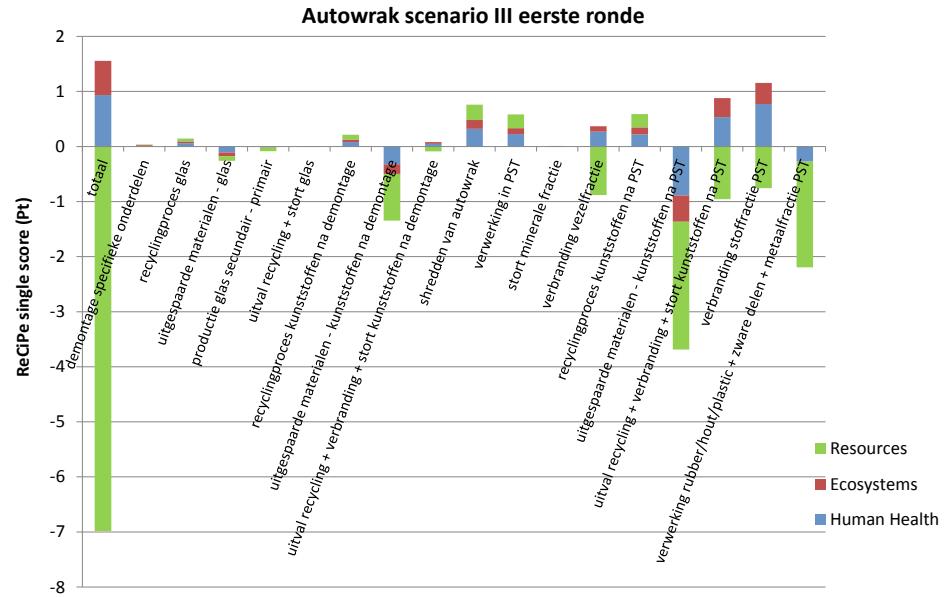
### Scenario III

In Scenario III vindt er recycling plaats van zowel handmatig verwijderde onderdelen als materiaal uit de PST-fracties. De resultaten zijn te zien in Figuur 62. De hoeveelheid uitgespaard plastic vanuit de PST-fracties is aanzienlijk hoger dan die van de handmatig verwijderde onderdelen. Wanneer we de hoeveelheid uitgespaard plastic van de handmatig verwijderde stroom en van de PST-fracties optellen, is die net iets groter dan de hoeveelheid uitgespaard plastic in Ronde 1 van Scenario II (respectievelijk 18,8 en 18,4 kg). Het milieuvoordeel van glasrecycling in dit scenario is groter dan die van het recyclen tot baksteen in Scenario II. De milieu-impact van de minerale PST-fractie die gestort wordt is zeer klein. Doordat er minder materiaal in de auto achterblijft, is de milieu-impact van het shredderproces iets lager dan in Scenario II. Voor het overige zijn de resultaten gelijk aan die van Scenario II.

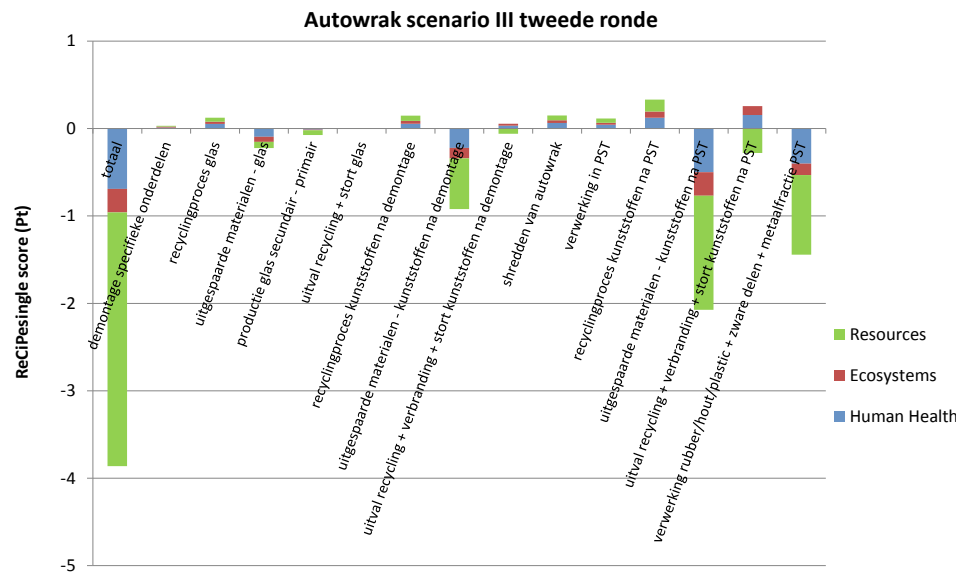
De tweede recyclingronde (zie Figuur 63) geeft eenzelfde beeld als Ronde 1, waarbij het resultaat opnieuw sterk gedomineerd wordt door de milieuwinst van de uitsparing van plastics dankzij recycling.

Figuur 64 toont de totaalscores voor de 3 recyclingrondes en het totaal voor Scenario II. De milieuwinst wordt in elke ronde kleiner door uitval van materiaal.

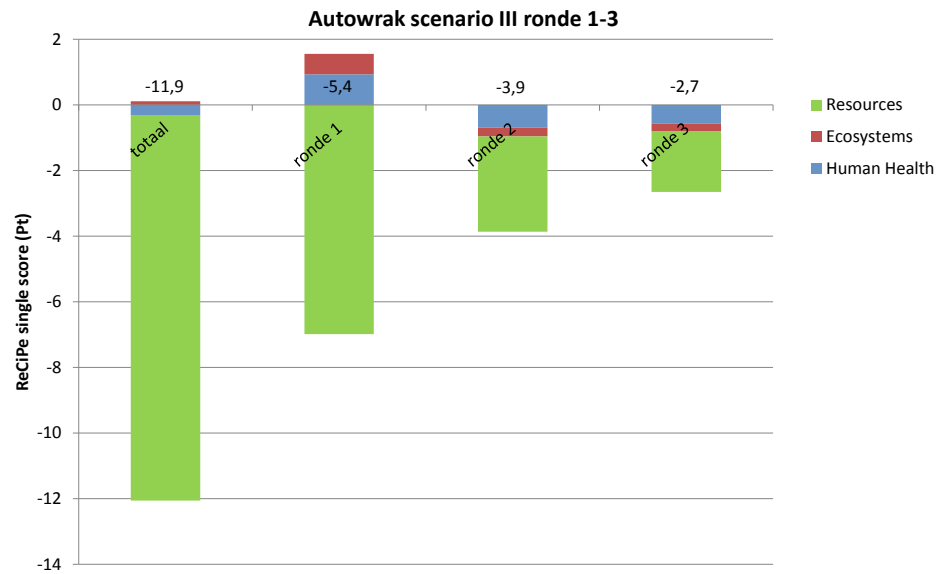
Figuur 62 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario III, eerste recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de ReCiPe Single Score



Figuur 63 Autowrakverwerking, Scenario III, tweede recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de Single Score



Figuur 64 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario III, alle recyclingrondes samen



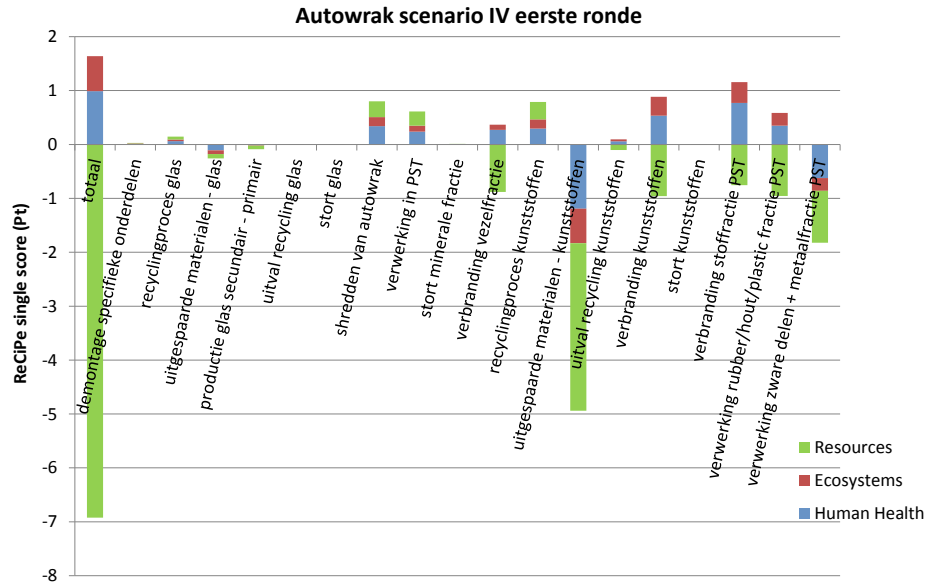
### Scenario IV

De resultaten voor Scenario IV zijn te zien in Figuur 65 en Figuur 66. Dit scenario is in de meeste opzichten gelijk aan Scenario III, met als enige verschil dat er geen handmatige verwijdering van kunststof onderdelen plaatsvindt. Gevolg is dat de hoeveelheid uitgespaard plastic vanuit de PST-fracties hoger is dan in Scenario III (en gelijk aan die van Scenario II).

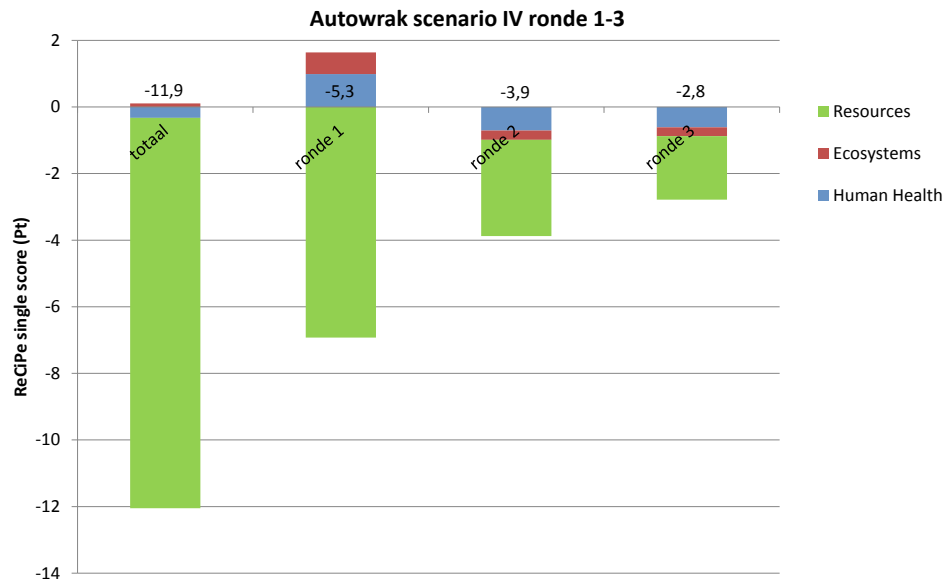
Het resultaat voor de tweede recyclingronde geeft eenzelfde beeld als Ronde 1, waarbij de grootste bijdrage aan het resultaat komt van de milieuwinst van de uitsparing van plastics dankzij recycling.

Figuur 66 toont de totaalscores voor de 3 recyclingrondes en het totaal voor Scenario IV. De milieuwinst wordt in elke ronde kleiner door uitval van materiaal.

Figuur 65 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario IV, eerste recyclingronde. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de ReCiPe Single Score



Figuur 66 LCA-resultaten voor autowrakverwerking, Scenario IV, alle recyclingrondes samen



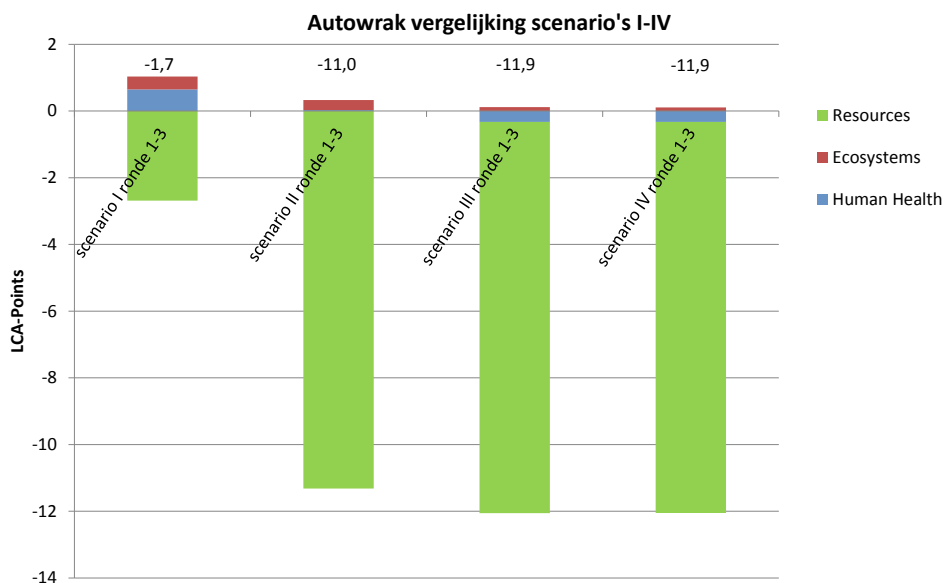
## Vergelijking van de vier scenario's

In Figuur 67 zijn de totaalscores van de vier scenario's naast elkaar gezet. Duidelijk is dat de aanwezigheid van de PST-fabriek (Scenario's II, III en IV) zorgt voor een grote toename van de milieuwinst. Het handmatig verwijderen van glas gevolgd door recycling (Scenario's III en IV) geeft ongeveer 7% extra milieuwinst. Het gevolg hiervan is wel dat de stortindicator in Scenario III en IV iets hoger is dan in Scenario II. Handmatig verwijderen van bumper, grille en wiel dop (Scenario III) geeft geen extra milieuwinst t.o.v. het recyclen van deze materialen via de plastic fracties van de PST-fabriek (Scenario IV). De totale hoeveelheid over drie recyclingrondes uitgespaard plastic is nagenoeg gelijk in beide scenario's.

Tabel 25 laat zien dat voor dertien midpoint-effect-categorieën Scenario III het beste scoort en voor twaalf midpoint-effectcategorieën Scenario IV het beste. De scores van Scenario III en IV liggen zeer dicht bij elkaar. Op alle endpoint-categorieën, de Single Score en CED staan Scenario III en IV op een gedeelde eerste plaats. Bij de stortindicator staan Scenario III en IV op de tweede plaats, en Scenario II op de eerste.

Tabel 26 laat voor alle scenario's de totaalscores per ronde en voor het totaal zien. Hieruit is op te maken dat de ranking die uit Ronde 1 volgt dezelfde is als de ranking van de totaalscenario's. De conclusie op basis van één recyclingronde is dus dezelfde als op basis van multicyclus-LCA. Verder valt op dat de volgorde van Scenario II, III en IV niet precies dezelfde is: III-IV-II; IV-III-II en IV-II-III in Ronde 1, 2 en 3. Deze verschillen zijn klein, en worden veroorzaakt door de verschillende hoeveelheden plastic en glas recycleert die in de verschillende rondes beschikbaar zijn.

Figuur 67 Vergelijking van autowrakverwerking Scenario I, II, III en IV



Tabel 25 Vergelijking van autowrakverwerking scenario's I, II, III en IV

Milieueffect (midpoint)	Eenheid	I	II	III	IV	Ranking per milieueffect			
						I	II	III	IV
Climate change	kg CO <sub>2</sub> -eq.	24,3	20,1	12,1	11,7	3	2	1	1
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	-1,4E-06	-6,1E-06	-7,2E-06	-7,0E-06	3	2	1	1
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	-0,066	-0,21	-0,28	-0,28	3	2	1	1
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-0,0012	-0,0041	-0,0052	-0,0050	3	2	1	1
Marine eutrophication	kg N-eq.	-0,0005	0,0087	0,0054	0,0056	1	3	2	2
Human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	3,2	16,6	15,5	15,6	1	3	2	2
Photochem. oxidant formation	kg NMVOC	-0,025	-0,20	-0,23	-0,22	3	2	1	1
Particulate matter formation	kg PM <sub>10</sub> -eq.	-0,014	-0,15	-0,17	-0,17	3	2	1	1
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,0070	0,044	0,043	0,043	1	2	2	2
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,29	2,55	2,55	2,55	1	2	2	2
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	0,090	0,70	0,68	0,69	1	2	2	2
Ionising radiation	kBq U235-eq.	0,15	-1,05	-1,97	-1,79	4	3	1	2
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	-1,05	-1,42	-2,67	-2,70	3	2	1	1
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	0,19	-0,10	-0,11	-0,10	2	1	1	1
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	-0,009	-0,016	-0,019	-0,019	3	2	1	1
Water depletion	m <sup>3</sup>	-1,05	-2,93	-3,46	-3,44	3	2	1	1
Metal depletion	kg Fe-eq.	0,3	-23,9	-24,7	-24,6	3	2	1	1
Fossil depletion	kg oil-eq.	-25,3	-95,3	-98,8	-98,8	3	2	1	1

Schadecategorie (endpoint)	Eenheid	I	II	III	IV	Ranking per schadecategorie			
						I	II	III	IV
Human Health	DALY	3,3E-05	1,5E-06	-1,6E-05	-1,7E-05	3	2	1	1
Ecosystems	species.yr	1,7E-07	1,4E-07	5,2E-08	4,8E-08	3	2	1	1
Resources	\$	-4,2	-17,5	-18,1	-18,1	3	2	1	1
Single Score	Pt	-1,79	-10,99	-11,94	-11,94	3	2	1	1

Indicator	Eenheid	I	II	III	IV	Ranking per schadecategorie			
						I	II	III	IV
Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie	MJ	-1.145	-4.298	-4.455	-4.454	3	2	1	1
Stortindicator	kg	119,5	15,3	23,2	23,4	3	1	2	2

Tabel 26 Vergelijking van autowrakverwerking scenario's I, II, III en IV: totaal en per ronde (ReCiPe LCA-punten)

	Scenario I	Scenario II	Scenario III	Scenario IV
Totaal 3 rondes	-1,66	-10,99	-11,94	-11,94
Ronde 1	-0,09	-4,68	-5,43	-5,29
Ronde 2	-0,92	-3,65	-3,86	-3,87
Ronde 3	-0,65	-2,66	-2,65	-2,78

## Plasticrecycling in meerdere rondes

Tabel 27 laat zien welke hoeveelheden plastic er als recycklaat beschikbaar zijn in de verschillende scenario's en recyclingrondes. Hierbij valt op dat in Ronde 1 Scenario III het meeste plastic recycklaat oplevert, terwijl in Ronde 2 en 3 Scenario II en IV het meeste plastic recycklaat geven. Hoewel de verschillen klein zijn, is dit wel typerend voor een multicyclus-LCA.

De reden van deze verschillen is dat in de PST-fabriek het plastic uit bumpers/grille/wieldop wordt verdeeld over de fracties 'plastic <1.1' (80%) en 'plastic 1.1-1.3' (20%). De fractie 'plastic 1.1-1.3' wordt geheel verbrand, en de aanname is dat er in de volgende recyclingronde dus geen plastic van die dichtheidsrange meer is. Dat betekent dat het plastic dat nog over is in de volgende recyclingrondes in de fractie 'plastic <1.1' terecht komt, en vervolgens voor 88% gerecycled wordt. Het totale plasticrecyclingpercentage in de PST-fabriek is in Ronde 2 dus hoger dan in Ronde 1. Voor het handmatig gedemonteerde plastic blijft het recyclingpercentage gelijk in de verschillende rondes.

De praktijk zou echter ook anders kunnen zijn: het is ook mogelijk dat het gerecyclede plastic wordt vermengd met andere plastics en additieven waardoor de dichtheid verandert en het materiaal in de PST-fabriek in een andere plasticfractie terecht komt. Dan zou er ook in Ronde 2 en 3 materiaal in de fractie 'plastic 1.1-1.3' terecht komen.

Wanneer we in Scenario IV voor Ronde 2 en 3 een verdeling van het plastic uit bumper, grille en wieldop over de PST-fracties plastic <1.1 en plastic 1.1-1.3 aanhouden van respectievelijk 80% en 20% (in plaats van de huidige 100% plasticfractie <1.1), veranderen de hoeveelheden beschikbaar plastic recycklaat enigszins: 10,7 kg in Ronde 2 en 6,6 kg in Ronde 3. Het totaal over 3 rondes komt dan op 35,7 kg, en daarmee zou Scenario IV dan net iets slechter scoren dan Scenario III.

De aanname over de verdeling van materiaal over plasticfracties in toekomstige cycli zorgt in deze casestudy dus voor een omslagpunt in de ranking van scenario's. Dit illustreert enerzijds de relevantie van toekomstige cycli, en anderzijds de toename van de onzekerheden bij het modelleren van meerdere cycli.

Tabel 27 Hoeveelheid plastic recycklaat (kg) beschikbaar uit verschillende recyclingrondes via handmatige demontage en plastic fracties uit de PST-fabriek

	I: handmatige demontage 8 onderdelen, shredder-residue naar stort/AVI, geen PST-fabriek	II: geen handmatige demontage, shredder-residue naar PST-fabriek	III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wieldoppen; shredder-residue naar PST-fabriek	IV: handmatige demontage glas; shredder-residue naar PST-fabriek
Hoeveelheid recycklaat uit handmatig gedemonteerd plastic, Ronde 1	5,0	0	5,0	0
Hoeveelheid recycklaat uit handmatig gedemonteerd plastic, Ronde 2	3,4	0	3,4	0



	I: handmatige demontage 8 onderdelen, shredder-residue naar stort/AVI, geen PST-fabriek	II: geen handmatige demontage, shredder-residue naar PST-fabriek	III: handmatige demontage glas, bumper, grille, wioldoppen; shredder-residue naar PST-fabriek	IV: handmatige demontage glas; shredder-residue naar PST-fabriek
Hoeveelheid recycalaat uit handmatig gedemonteerd plastic, Ronde 3	2,4	0	2,4	0
Hoeveelheid recycalaat uit PST-fabriek plasticfracties, Ronde 1	0	18,4	13,8	18,4
Hoeveelheid recycalaat uit PST-fabriek plasticfracties, Ronde 2	0	11,4	7,7	11,4
Hoeveelheid recycalaat uit PST-fabriek plasticfracties, Ronde 3	0	7,7	4,7	7,7
Hoeveelheid plastic recycalaat, totaal Ronde 1	5,0	18,4	18,8	18,4
Hoeveelheid plastic recycalaat, totaal Ronde 2	3,4	11,4	11,2	11,4
Hoeveelheid plastic recycalaat, totaal Ronde 3	2,4	7,7	7,1	7,7
Hoeveelheid plastic recycalaat, totaal 3 rondes	10,8	37,5	37,1	37,5

### Stort in de autowrak casestudie

In Scenario II wordt glas handmatig verwijderd en closed-loop gerecycled, en wordt de minerale fractie uit de PST-fabriek gestort. In Scenario IV komt glas in de minerale fractie uit de PST-fabriek terecht, en wordt deze fractie gerecycled tot baksteen.

Het gestorte materiaal in Scenario IV heeft maar een zeer kleine milieupact. Wel is de stortindicator in Scenario IV hoger dan in Scenario II (zie Tabel 25). Het milieuvoordeel van de uitgespaarde grondstoffen voor glas in Scenario IV is groter dan het milieuvoordeel van de uitgespaarde grondstoffen voor baksteen in Scenario II. De totaalscore van Scenario IV is dan ook gunstiger.

In deze case studie leidt de situatie waarbij er meer gestort wordt niet tot zodanig verminderde recycling dat de totale milieuprestatie ook significant slechter wordt. Het materiaal dat gestort wordt (zand, roest, e.d.) leidt wanneer het gerecycled zou worden tot slechts weinig milieuwinst (door uitgespaarde primaire grondstoffen).

In de huidige berekening leidt het niet recycelen van glas om zo stort te voorkomen tot een milieunadeel.

De stortindicator kan niet via een wetenschappelijke weging worden opgeteld bij de ReCiPe-scores. Het belang (gewicht) van deze indicator blijft daarmee een subjectieve kwestie.

In Paragraaf 6.6 wordt verder besproken in hoeverre de huidige mLCA-methode kan zeggen wanneer 'stort + recycling' gunstiger scoren dan het alternatief. Dit alternatief is meestal 'verbranden' (hoewel in de autowrakken casestudie het alternatief 'recycling tot baksteen' was).

# Bijlage G Case: bitumineus dakafval

## G.1 Omschrijving

Voor bitumineus dakafval worden vier verwerkingsscenario's met elkaar vergeleken:

- a Recycling tot asfalt.
- b Recycling tot nieuwe dakbanen.
- c Verbranding in een AVI.
- d Verbranding in een TAG-reinigingsinstallatie.

De functionele eenheid is **één ton bitumineus dakafval**. De aanname is dat dit dakafval geen teer bevat (voor teerhoudend dakafval bestaan er andere verwerkingsroutes).

Deze verschillende recyclingopties sluiten elkaar niet uit, en kunnen zonder probleem naast elkaar bestaan. Acceptatiecriteria voor recycling tot dakbaan zijn strenger dan voor recycling tot asfalt. In praktijk heeft een aanzienlijk deel van het dakafval niet de juiste kwaliteit om tot dakbaan te recyclen.

Voor de toepassing in asfalt zijn de eisen minder kritisch.

Voor recycling tot dakbedekking wordt het materiaal voor verwijdering op het dak geïnspecteerd. Voor recycling tot asfalt wordt het dakafval in de recyclingfabriek gecontroleerd, vooral op de aanwezigheid van teer.

De TAG-reinigingsinstallatie is specifiek geschikt voor teerhoudend materiaal, dus bij mengsels van teerhoudend en niet-teerhoudend dakafval (bijvoorbeeld bij meerdere verkleefde lagen) is dit de meest geschikte verwerkingsroute.

De samenstelling van bitumineus dakafval is gebaseerd op een recente branchebrede Europese Environmental Product Declaration (EPD): (BWA, 2013)

- 51,7% bitumen;
- 14,0% polypropyleen (APP); dit is een aanpassing t.o.v. het Europese gemiddelde in de EPD, die beter voldoet aan de Nederlandse situatie;<sup>39</sup>
- 21,2% vulstof (kalkzandsteen);
- 9,1% zand;
- 4,1% vezel, waarvan 50% polyester en 50% glasvezel.

Naar schatting wordt van de 100-150 kton bitumineus dakafval die per jaar in Nederland vrij komt ongeveer 20% gerecycled, waarbij het meeste recycklaat in asfalt terecht komt.

Hieronder worden de verwerkingsscenario's kort beschreven. Stroomschema's van het materiaal in de scenario's zijn te vinden in Bijlage G.2.

### Scenario A: Recycling tot asfalt

De meest toegepaste recyclingroute voor dakafval is recycling tot asfalt. In het recyclingbedrijf wordt het dakafval via meerdere shredders tot granulaat vermalen. Via o.a. magneet- en eddy current scheiding wordt vervuiling verwijderd zoals isolatiemateriaal, nonferro-metalen, ferro-metalen, hout en plastics. Dit is ongeveer 1-3% van het binnenkomend materiaal. Er vindt alleen mechanische bewerking van het dakafval plaats, en er is geen chemicaliënverbruik. Voor de machines wordt diesel en elektriciteit verbruikt. Er is geen gasverbruik.

<sup>39</sup> Deze hoeveelheden bitumen en APP komen overeen met 21% APP-gemodificeerd bitumen.

Het granulaat wordt geleverd aan asfaltcentrales. Bij recycling tot asfalt komt het dakafvalgranulaat geheel in het asfalt terecht (bitumen en minerale fractie) en is er dus in principe geen afval. Er wordt gerekend met 2% uitval van materiaal.

Bij recycling tot asfalt wordt *ongemodificeerd* bitumen uitgespaard<sup>40</sup>, omdat dit normaal ook in asfalt wordt gebruikt. Het minerale deel van het dakafval geeft uitsparing van zand en kalkzandsteenmeel.

Asfalt bevat ongeveer 5% bitumen en dakafvalgranulaat ongeveer 50%, dus zou dakafvalgranulaat maximaal 10% bij asfalt kunnen worden bijgemengd. In de praktijk is dit nog zo'n 4x minder.

In deze modellering wordt aangenomen dat de eigenschappen van asfalt waarin dakafvalgranulaat is verwerkt niet of nauwelijks verschilt van asfalt zonder dit recyclaat.<sup>41</sup> De recycleerbaarheid van dit asfalt is dan ook even goed als ander asfalt. Het energieverbruik bij het breken van de weg aan het einde van de levensduur verschilt dan niet van die van een weg zonder recyclaat, en kan dus buiten beschouwing blijven. Het energieverbruik voor de productie van asfaltgranulaat voor recycling is iets hoger dan bij het shredderen van dakafval, omdat asfalt een harder materiaal is. Bij het recyclen van het asfalt gaat nauwelijks materiaal verloren. Er wordt in de frees/breekstap een uitval van 1% aangehouden, en in de asfaltcentrale opnieuw 1% uitval.

### Scenario B: Recycling tot nieuwe dakbanen

Bij recycling tot dakbedekking wordt na inspectie op het dak en het sloopproces de dakbedekking geshredderd tot stukken van ~20 cm. Vervolgens wordt het materiaal naar het recyclingbedrijf getransporteerd. Het recyclingproces bestaat uit het verhitten en 'zeven' van het dakafval, waarbij tegelijkertijd stoffen worden toegevoegd om het materiaal te 'verjongen'. Het vaste afval dat hierbij ontstaat bestaat uit vezels, mineralen maar ook een aanzienlijke hoeveelheid bitumen, en gaat naar de AVI. Er gaat geen afval naar stort.

Het grootste deel van de mineralen in het dakafval gaat (net als het bitumen) door de zeef en komt dus in het recyclaat terecht. Bij recycling tot dakbaan spaart het recyclaat dakbaan uit (zowel het organische als het minerale deel). In de nieuwe dakbaan wordt ongeveer 15% recyclaat bijgemengd.

De energie voor de recyclingprocessen komt van aardgas en elektriciteit op basis van zon en wind.

De dakbaan wordt in de tweede en derde ronde opnieuw op dezelfde manier gerecycled.

### Scenario C: Verbranding in een AVI

Bitumineus dakafval dat bij gemengd bouw- en sloopafval terecht komt kan eindigen in een AVI. In de AVI geeft de verbranding van het bitumendeel een bijdrage aan elektriciteit- en warmteproductie. Bitumineus dakafval heeft een energieinhoud (lower heat value, LHV) van ongeveer 22 MJ/kg. De gemiddelde elektrische efficiëntie van een AVI is 16% en de warmte-efficiëntie is 18%.

<sup>40</sup> De in het dakafval aanwezige hoeveelheid bitumen en APP wordt uitgespaard als bitumen.

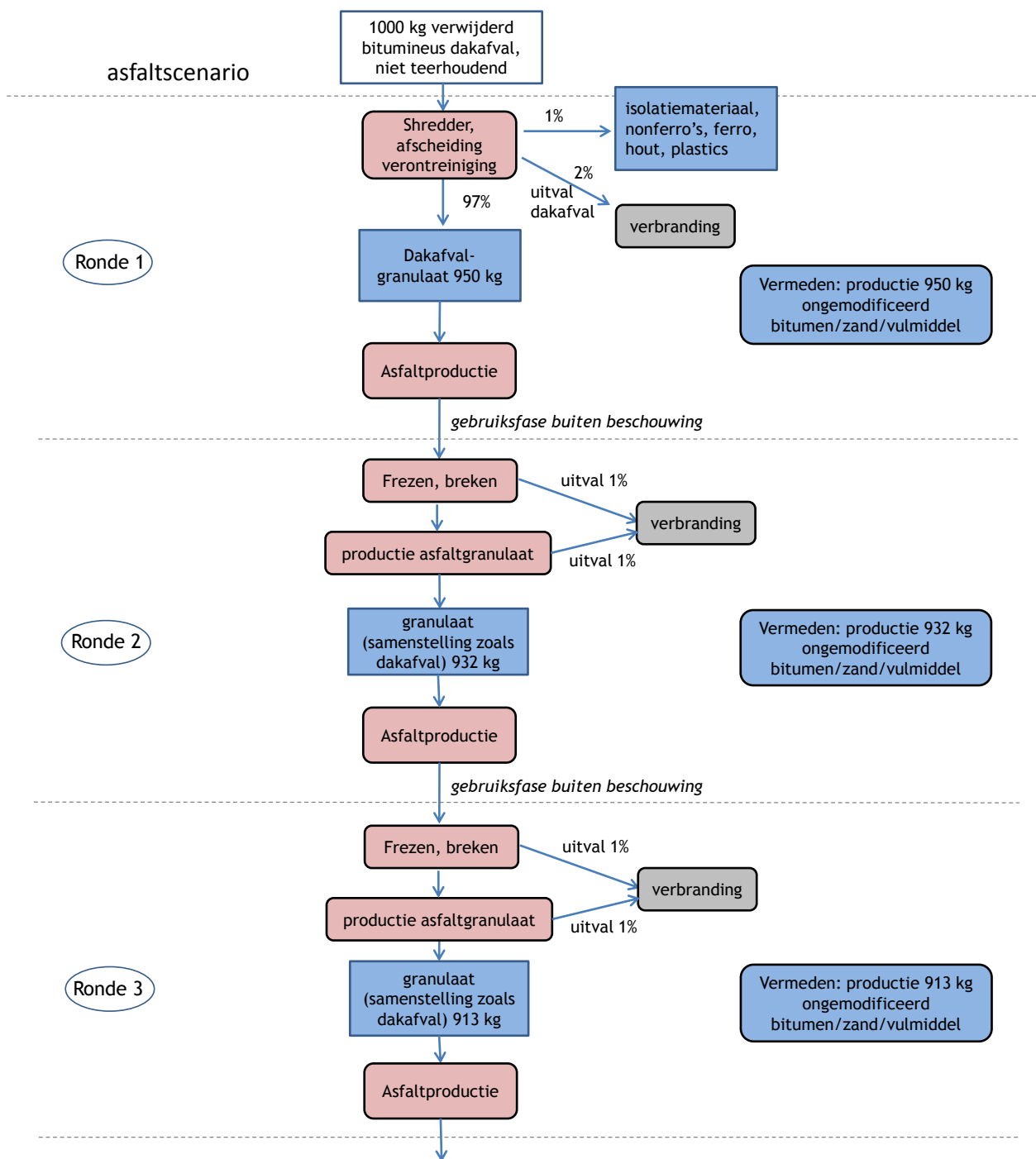
<sup>41</sup> Er bestaan studies die aantonen dat de kwaliteit van asfalt met dakafvalgranulaat beter is dan van normaal asfalt. Tegelijkertijd heeft asfalt met dakafvalgranulaat nog niet het volledige validatietraject doorlopen dat door Rijkswaterstaat wordt voorgeschreven, dus is de kwaliteitsgarantie van dit asfalt nog niet volledig dichtgetimmerd. Dat de recycleerbaarheid van asfalt met dakafvalgranulaat gelijk is aan die van ander asfalt is dus een aanname.

### **Scenario D: Verbranding in een TAG-reinigingsinstallatie**

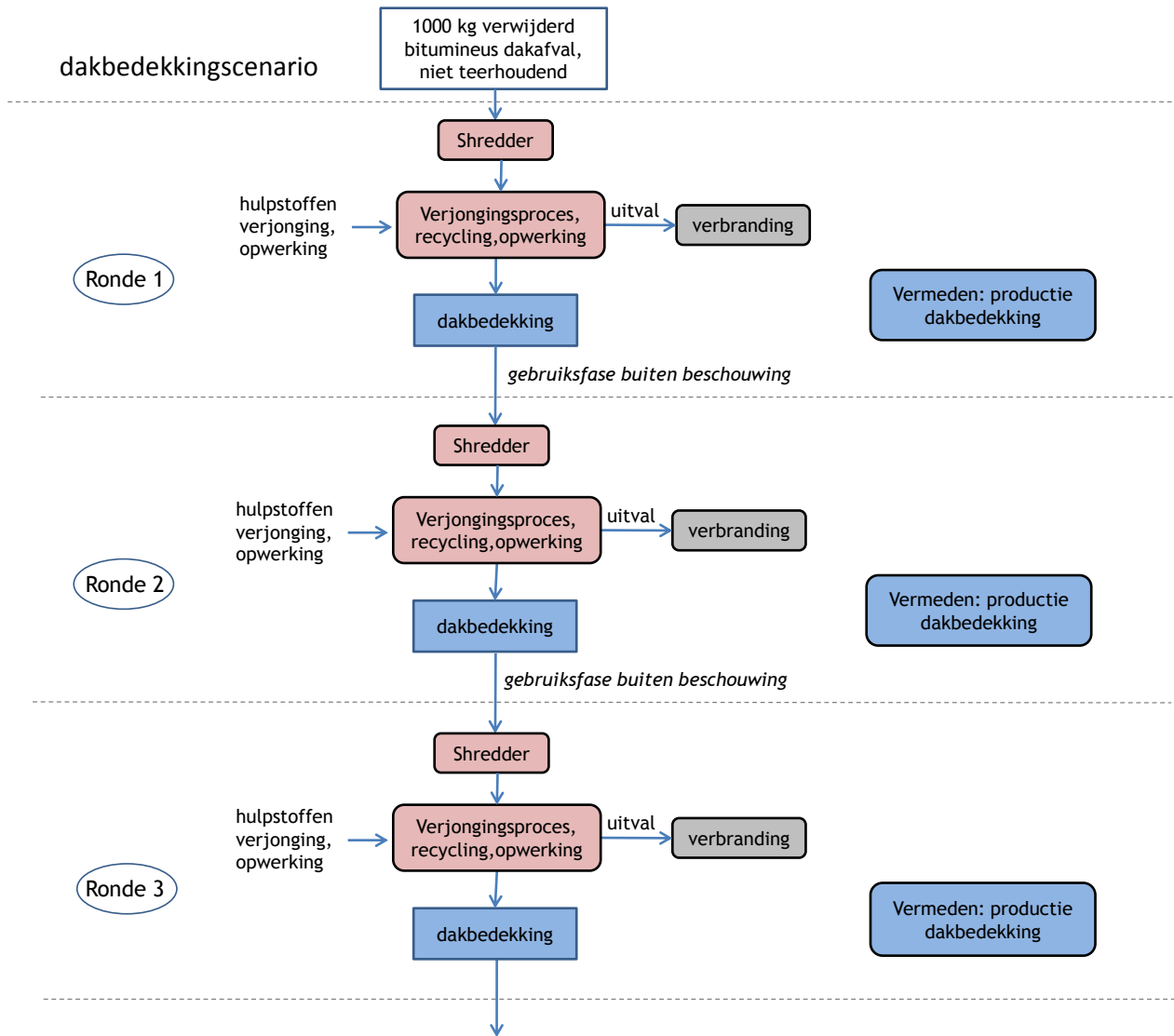
Hoewel bitumineus dakafval (met laag teergehalte) in principe niet naar een TAG-reiniger wordt gestuurd, zal een deel van dit afval daar wel terecht komen, bijvoorbeeld omdat het verkleefd zit aan teerhoudend dakafval. Het dakafval kan daar dienen als brandstof, en zo een aanzienlijke reductie geven in het aardgasverbruik van de TAG-reinigingsinstallatie. De reductie in aardgasverbruik is ongeveer 40% van de energie-inhoud van het dakafval. In de TAG-reinigingsinstallatie wordt bovendien ook elektriciteit opgewekt. De totale elektriciteitsproductie van de TAG-reinigingsinstallatie is 5 MW. Het milieuvoordeel van deze elektriciteitsproductie wordt gealloceerd op basis van de energie-input vanuit het aardgas, TAG en dakafval. Het minerale deel dat overblijft kan worden ingezet als vulstof in bijvoorbeeld de cementindustrie. Net als in de andere scenario's worden voor de materiaalrecycling van dit minerale deel drie recyclingrondes meegerekend. Bij de TAG-reinigingsinstallatie wordt op dit moment gewerkt aan het benutten van restwarmte door het warmtebedrijf Rotterdam, wat waarschijnlijk in 2016 operationeel wordt. Omdat deze warmtebenutting op dit moment nog niet gebeurt, is dit niet opgenomen in het basisscenario. In een gevoeligheidsanalyse is wel doorgerekend wat het milieuvoordeel van warmtebenutting is. Ook is in de gevoeligheidsanalyse de volgende generatie TAG-reinigingsinstallatie doorgerekend, die volgens planning in 2019 operationeel wordt.

## G.2 Schema's bitumineus dakafval

### G.2.1 Recycling van bitumineus dakafval tot asfalt



## G.2.2 Recycling van bitumineus dakafval tot nieuwe dakbedekking



### G.3 Resultaten

#### Eerste recyclingronde

Figuur 68 laat zien wat de bijdrage van verschillende processen aan de totale milieu-impact voor de eerste recyclingronde is voor het asfaltscenario (A). Figuur 69 doet dit voor het dakbedekkingsscenario (B).

De milieuwinst dankzij uitgespaarde grondstoffen geeft in beide recycling-scenario's de grootste bijdrage aan de score. Bij Scenario A spaart de combinatie bitumen + APP (gemodificeerd bitumen uit het dakafval) pure bitumen in het asfalt uit (ongemodificeerde bitumen), omdat in asfalt ongemodificeerde bitumen gebruikt wordt. Deze uitsparing van bitumen geeft de grootste milieuwinst in Scenario A, en de milieuwinst van de uitsparing van zand en vulmiddel is relatief klein.

In Scenario B wordt volledige dakbedekking uitgespaard (zowel bitumen en APP als de minerale bestanddelen). Dit levert een grotere milieuwinst per kg recyclelaat dan bij Scenario A.

De productie van de stoffen die in de verjongings- en opwerkingsstap van Scenario B worden toegevoegd geven de grootste milieu-impact.

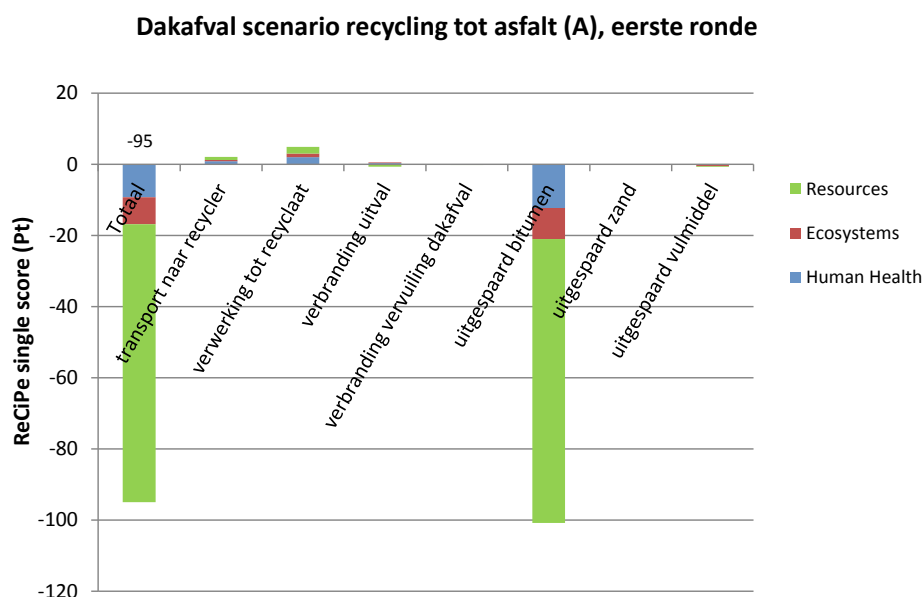
Deze vergroten ook de hoeveelheid beschikbaar recyclelaat en de bijbehorende milieuwinst.

De uitval van dakafval in het recyclingproces is groter in Scenario B dan in Scenario A.

Totaalscores voor Recyclingronde 1 voor Scenario A en B zijn respectievelijk -95 en -87 Pt (ReCiPe Single Score). Dit verschil van 9% is gezien de onzekerheden in de data niet significant.

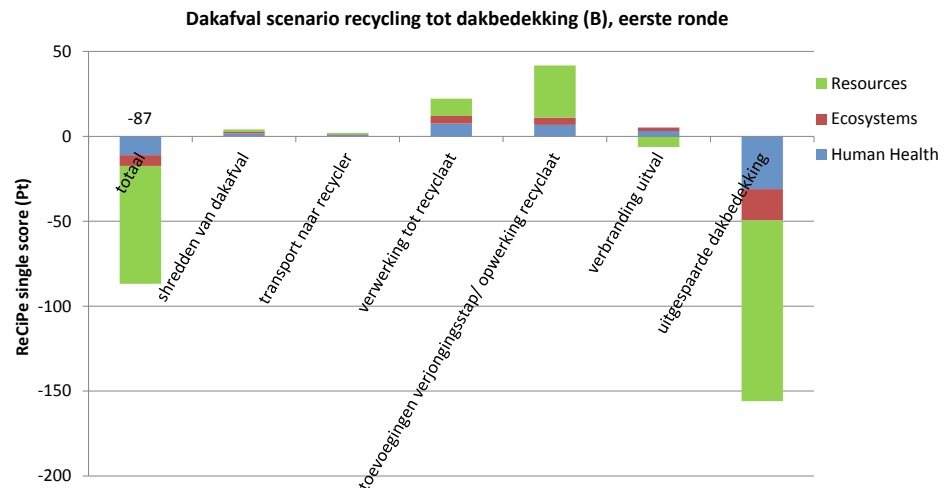
In Recyclingronde 2 en 3 vinden dezelfde processen plaats als in Ronde 1 (maar dan met iets minder materiaal vanwege uitval), en dit levert resultaten vergelijkbaar met die in Figuur 68 en Figuur 69.

Figuur 68 LCA-resultaat voor de eerste verwerkingsronde van dakafval in het asfaltscenario (LCA-methode: ReCiPe, Single Score). Een positieve score geeft een milieu-impact aan, en een negatieve score geeft milieuwinst. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint-scores aan de ReCiPe Single Score





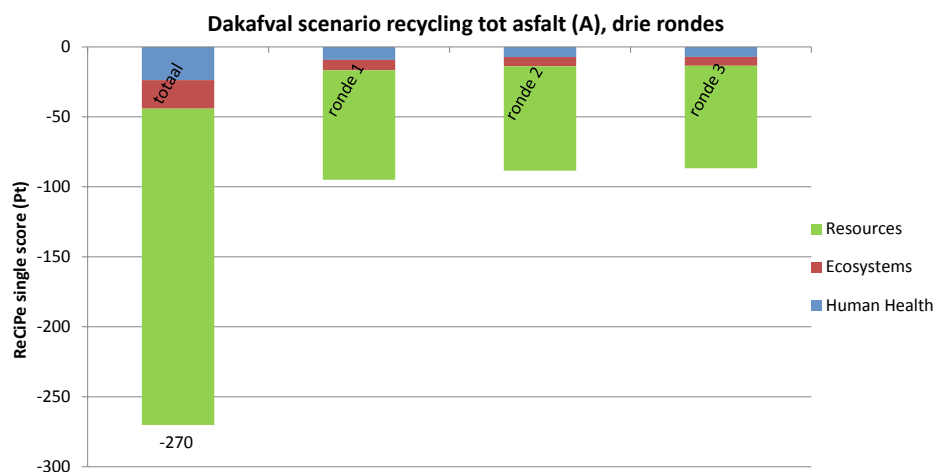
**Figuur 69** LCA-resultaat voor de eerste verwerkingsronde van dakafval in het dakbedekkingsscenario. Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint-scores aan de ReCiPe Single Score



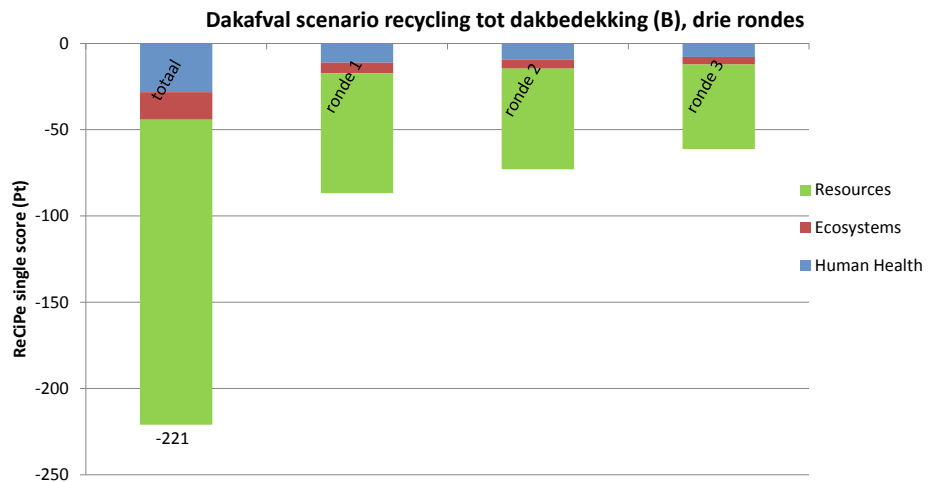
### Drie recyclingrondes

Figuur 70 en Figuur 71 geven de vergelijking van drie opeenvolgende recyclingrondes voor Scenario A en B. Deze drie rondes vormen samen het totale scenario. Voor beide scenario's geldt dat er in elke ronde minder materiaal over is, en dus de milieuwinst kleiner wordt. Doordat de uitval in Scenario A kleiner is dan in Scenario B neemt de milieuwinst in Scenario A minder af dan in Scenario B, en wordt het verschil tussen de scenario's in elke ronde groter.

**Figuur 70** LCA-resultaat voor drie opeenvolgende recyclingrondes voor het asfaltscenario



Figuur 71 LCA-resultaat voor drie opeenvolgende recyclingrondes voor het dakbedekkingsscenario



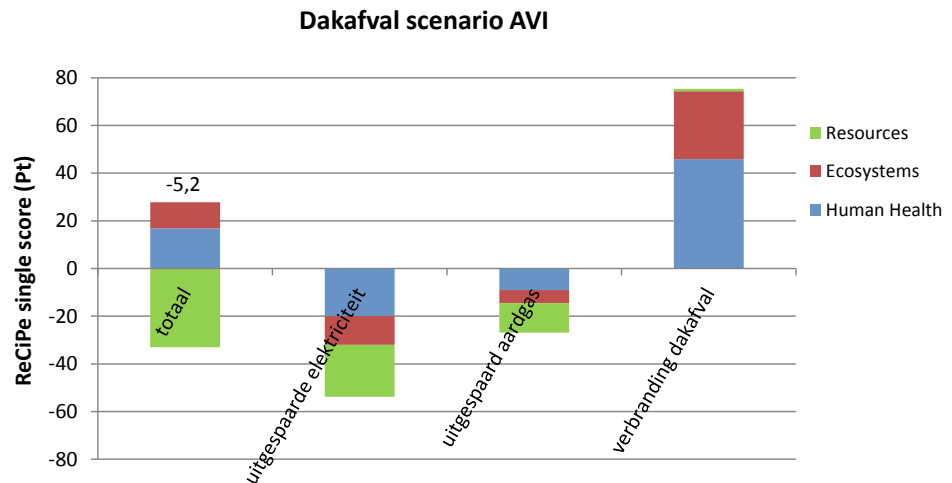
### AVI en TAG-reinigingsinstallatie

Figuur 72 en Figuur 73 laat de resultaten zien voor verwerking van dakafval in de AVI en TAG-reinigingsinstallatie. In beide scenario's is er milieu-impact door de verbranding van het dakafval, en milieuwinst door de uitsparing van aardgas en elektriciteit. Het meestoken van dakafval in een TAG-reinigingsinstallatie zorgt voor een aanzienlijke reductie van het benodigde aardgasverbruik voor TAG-verwerking. Deze milieuwinst is groter dan die van de uitsparing van aardgas door de benutting van warmte in een AVI. De efficiëntie van elektriciteitsproductie in een AVI is groter dan die in een TAG-reinigingsinstallatie. Het minerale deel dat overblijft in de TAG-reinigingsinstallatie wordt toegepast als bouwstof. De hoeveelheid uitgespaard materiaal geldt voor het totaal van drie recyclingrondes (vergelijkbaar met Scenario A en B)<sup>42</sup>. De milieuwinst van dit uitgespaarde materiaal is bescheiden.

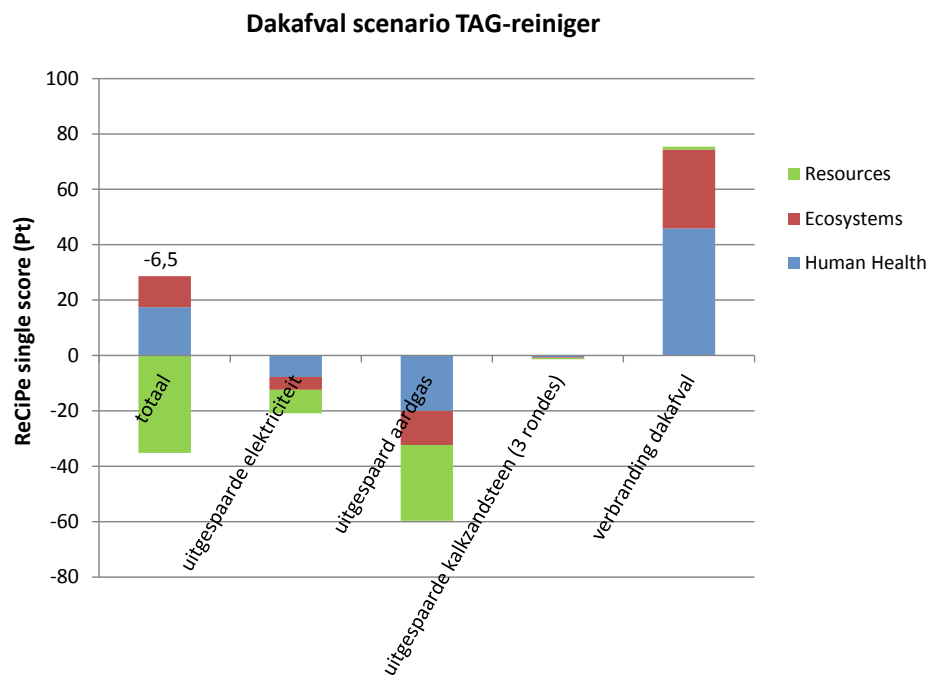
De totaalscore van scenario D is 25% gunstiger dan die van Scenario C (respectievelijk -6,5 en -5,2 Pt).

<sup>42</sup> Uiteraard wordt de verbranding van dakafval en de uitsparing van gas en elektriciteit voor één ronde gerekend, omdat dit maar één keer plaatsvindt.

Figuur 72 LCA-resultaat voor de verwerking van dakafval in Scenario C (AVI). Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint-scores aan de ReCiPe Single Score



Figuur 73 LCA-resultaat voor de verwerking van dakafval in Scenario D (TAG-reinigingsinstallatie). Kleuren geven de bijdrage aan van de Endpoint scores aan de ReCiPe Single Score



### Gevoeligheidsanalyse: TAG-reinigingsinstallatie in de toekomst

Volgens planning zal bij de TAG-reinigingsinstallatie van Reko in 2016 de restwarmte benut gaan worden door het warmtebedrijf Rotterdam. De extra opbrengst aan warmte ligt in de range 1,1-2,0 GJ/ton dakafval. Wanneer dit wordt opgenomen in de berekeningen van Scenario C wordt de totaalscore -20,2 Pt (ReCiPe Single Score).

Een nieuwe TAG-reinigingsinstallatie is op dit moment in de ontwerpfase en zal volgens planning in 2019 in gebruik worden genomen. In dit ontwerp is de optimalisatie van energierugwinning een belangrijk uitgangspunt.

Dit ontwerp leidt tot een vermeden elektriciteitsproductie van 5,0 GJ per ton dakafval. Doorrekenen van dit toekomstscenario geeft een resultaat van -74,4 Pt (ReCiPe Single Score).

Tabel 28 Resultaat gevoeligheidsanalyse: TAG-reiniging met warmteterugwinning en toekomstige TAG-reinigingsinstallatie

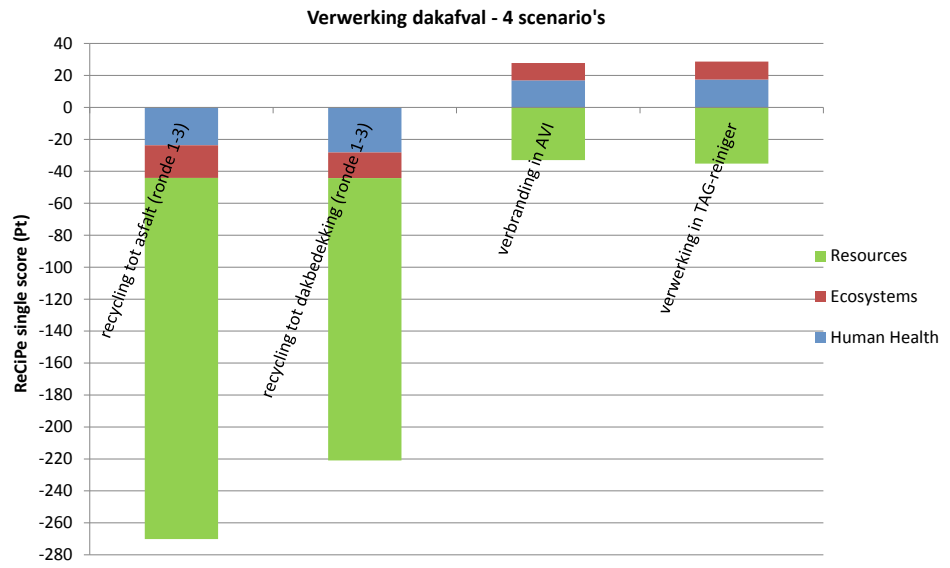
	Eenheid	Huidig scenario D	Huidige TAG-reiniger met terugwinning restwarmte	Toekomstige TAG-installatie Reko II
Totaal	Pt	-6,5	-20,2	-74,4
Human Health	DALY	8,8E-04	6,5E-04	-3,7E-04
Ecosystems	species.yr	5,1E-06	3,8E-06	-1,7E-06
Resources	\$	-54,3	-64,0	-97,6

### Vergelijking van de scenario's

Figuur 74 en Tabel 29 t.e.m. Tabel 32 geven de vergelijking van de vier scenario's. Op midpoint-niveau scoren zowel Scenario A als B op 10 midpoint-categorieën het beste. Bij de endpoints scoren Scenario A en B nagenoeg gelijk op Human Health en scoort Scenario A iets beter dan B op Ecosystems. Het grote verschil zit in Resources, waarvoor Scenario A aanzienlijk beter scoort. De single score is voor Scenario A het gunstigst.

Scenario C en D scoren minder gunstig dan Scenario A en B. In Tabel 30 is te zien dat de endpoint-scores van Scenario C en D dicht bij elkaar liggen: een verschil van 3% voor Human Health en Ecosystems en een verschil van 7% voor Resources. In de single score ontstaat door het optellen van de positieve scores van Human Health en Ecosystems en de negatieve scores van Resources totaalscores die sterker van elkaar verschillen: de single score resultaten verschillen 25%. Omdat de scores van de endpoints zo weinig van elkaar verschillen, is ook het verschil tussen de single score-resultaten van Scenario C en D niet significant te noemen.

Figuur 74 LCA-resultaat voor de vergelijking van de vier scenario's voor dakafvalverwerking (drie recyclingrondes /cycli)



Tabel 29 Vergelijking van de 4 scenario's voor dakafvalverwerking (per ton, 3 cycli)

Milieueffect (midpoint)	Eenheid	Recycling tot asfalt (A)	Recycling tot dakbedekking (B)	Verbranding in AVI (C)	Verbranding in TAG-reiniger (D)	Ranking per milieueffect			
						A	B	C	D
Climate change	kg CO <sub>2</sub> -eq.	-478	-505	660	673	1	1	2	2
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	-8,0E-04	-4,0E-04	-6,6E-05	-1,1E-04	1	2	4	3
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq.	-7,6	-8,1	-0,8	-0,6	1	1	2	3
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-0,013	-0,044	-0,031	-0,015	4	1	2	3
Marine eutrophication	kg N-eq.	-0,071	-0,150	-0,024	-0,014	2	1	3	4
Human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	-63,2	-98,1	5,8	6,9	2	1	3	4
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-3,9	-6,4	-0,79	-0,68	2	1	4	3
Particulate matter formation	kg PM <sub>10</sub> -eq.	-1,9	-2,5	-0,29	-0,26	2	1	3	3
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-0,084	0,009	0,014	0,013	1	2	3	3
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-2,2	-1,0	1,0	1,0	1	2	3	3
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-3,4	-1,6	-0,10	-0,07	1	2	3	4
Ionising radiation	kBq U235-eq.	-37,0	-81,3	-29,6	-19,3	2	1	3	4
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	-30,6	-34,8	-8,9	-3,8	2	1	3	4
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	-8,1	-6,8	-1,6	-0,6	1	2	3	4
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	-3,2	-1,7	-0,20	-0,21	1	2	3	3
Water depletion	m <sup>3</sup>	-18,8	-29,1	-12,8	-4,7	2	1	3	4
Metal depletion	kg Fe-eq.	-11,6	5,4	-3,2	-4,6	1	4	3	2
Fossil depletion	kg oil-eq.	-2103	-1652	-307	-327	1	2	3	3

Tabel 30 Hoofddata dakafval (per ton, 3 cycli) per schadecategorie (endpoint)

Schadecategorie (endpoint)	Eenheid	Recycling tot asfalt (A)	Recycling tot dakbedekking (B)	Verbranding in AVI (C)	Verbranding in TAG-reiniger (D)	Ranking per milieueffect			
						A	B	C	D
Human Health	DALY	-1,2E-03	-1,4E-03	8,5E-04	8,8E-04	1	1	2	2
Ecosystems	species.yr	-9,2E-06	-7,2E-06	4,9E-06	5,1E-06	1	2	3	3
Resources	\$	-349	-273	-51,0	-54,3	1	2	3	3

Tabel 31 Hoofdresultaten dakafval (per ton) voor de gewogen single score

Milieueffect	Eenheid	Recycling tot asfalt (A)	Recycling tot dakbedekking (B)	Verbranding in AVI (C)	Verbranding in TAG-reiniger (D)	Ranking per milieueffect			
						A	B	C	D
Single score	Pt	-270,1	-221,0	-5,2	-6,5	1	2	4	3

Tabel 32 Hoofdresultaten dakafval (per ton, 3 cycli) voor de Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie, en stortindicator

Milieueffect	Eenheid	Recycling tot asfalt (A)	Recycling tot dakbedekking (B)	Verbranding in AVI (C)	Verbranding in TAG-reiniger (D)	Ranking per milieueffect			
						A	B	C	D
Cumulative Energy Demand, aandeel niet-hernieuwbare energie	GJ	-92,8	-73,1	-14,1	-15,1	1	2	3	3
Stortindicator	kg	0	0	0	0	1	1	1	1

# Bijlage H Complete tabel mLCA vs. beleidsmodel

Case en routes	mLCA model				Beleidsmodel	
	Schadecat. Ecosystemen	Schadecat. Grondstof-uitputting	Schadecat. Menselijke gezondheid	Single score standaard (H/A)	Beleids %	Meer cycli
<b>PET</b>						
Best case	23%	100%	100%	100%	100%	100%
Statiegeld naar PET	21%	88%	88%	88%	95%	90%
Plastic heroes mixed - hout	100%	1%	9%	59%	0%	0%
Plastic heroes mixed - beton	17%	37%	87%	55%	14%	16%
Plastic heroes, weer in verpakking	-2%	24%	-4%	12%	55%	34%
Plastic heroes, eenmalig product	-4%	17%	-14%	4%	14%	18%
PET als brandstof	5%	16%	34%	21%	nvt	nvt
<b>Beton/puin</b>						
Funderingsmateriaal	92%	-25%	45%	23%	25%	25%
Grindvervanger	-44%	-37%	-46%	-42%	0%	0%
Oorspronkelijke componenten	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Autowrakken</b>						
Handmatige demontage, geen PST-fabriek	-100%	23%	-194%	15%	8%	7%
Geen handmatige demontage, residu naar PST-fabriek	-82%	97%	-9%	92%	19%	13%
Handmatige demontage glas + kunststof onderdelen, residu naar PST-fabriek	-31%	100%	94%	100%	32%	24%
handmatige demontage glas, residu naar PST-fabriek	-28%	100%	100%	100%	31%	23%
<b>A/B hout</b>						
Recycling, uitsparing houtchips	11%	4%	3%	10%	0%	0%
Recyclen uitsparing volhout	100%	61%	88%	100%	50%	50%
Verbranding in bioenergiecentrale	3%	78%	89%	12%	nvt	nvt
<b>Dakafval</b>						
Recyclen tot asfalt	100%	100%	86%	100%	49%	48%
Recyclen tot dakbaan	78%	78%	100%	82%	70 à 90%	70 à 90%
AVI verbranding	-53%	15%	-61%	2%	nvt	nvt
Verbranding in TAG-reiniger	-55%	16%	-63%	2%	8%	8%

Beleidsmodel input						
H= recycle %	Q meerder cycli	incl Q meedere cycli	excl E= Energie waarde	H 2e stap	H 3e stap	

95%	100%	100%	100%	95%	95%	
55%	25%	50%	0%	50%	50%	
55%	25%	50%	100%	50%	50%	
55%	100%	100%	100%	55%	55%	
55%	25%	100%	100%	0%	0%	
0% nvt	nvt		0%	0%	0%	

100%	25%	25%	100%	100%	100%	
100%	50%	50%	0%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	

16%	100%	100%	50%	83%	84%	
38%	50%	50%	100%	81%	25%	
32%	100%	100%	100%	70%	77%	
31%	100%	100%	100%	71%	78%	

100%	50%	50%	0%	100%	100%	
100%	50%	50%	100%	100%	100%	
100%	nvt					

98%	50%	50%	100%	98%	98%	
vertrouwelijk						
0% nvt	nvt		0%	0%	0%	
32%	25%	25%	100%	100%	100%	



# Bijlage I Input uit bedrijvenpanel

Er is draagvlak en waardering voor het voeren van deze hoogwaardigheidsdiscussie op deze integrale manier.

Pas wel op: probeer zo eenduidig mogelijke formules te maken die voor zo min mogelijk uitleggen vatbaar is. De sector vindt altijd creatieve oplossingen.

Les voor overheid: Wees goed voorbereid om zo goed geïnformeerd gesprek met de sector te kunnen voeren. Basisregel biedt daar aanknopingspunten voor.

Let op het belang van energiegebruik en kosten in de basisregel. Met name energiegebruik is vaak een zeer onderscheidend punt tussen vormen van recycling die uit kunnen en ecologisch verantwoord zijn en vormen die dat niet zijn.

Is dezelfde toepassing altijd het meest hoogwaardig? De praktijk geeft aan dat vaak een andere sector een bepaalde afvalstroom veel beter kan gebruiken dan de sector waar het afval uit vandaan komt. Wees hierin niet te dogmatisch.

Vraag die nog speelde was: hoe waardeer je up-cycling?

Wees ook reëel:

1. Niet alles is te recyclen (of tegen elke prijs te recyclen).
2. Soms is primair veel goedkoper en niet schaars (voorbeeld zand en grind winning als 'bijproduct' vaarwegenbeheer). En
3. Soms is er nog niet voldoende afval om primair overbodig te maken (voorbeeld staalschroot is 40% van de totale vraag naar staal, voor aluminium geldt dit nog sterker 20%).