



TNO-rapport

R 2003/453

**Eco-efficiency van retoursystemen van
gebruikte éénmalige PS koffiebekers**

TNO-MEP
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

Datum	november 2003
Auteur(s)	Dr. T.N. Ligthart Ir. A.M.M. Ansems
Projectnr	34661
Versie	1
Trefwoorden	Eco-efficiency Retoursysteem Éénmalige bekers Polystyreen
Opdrachtgever	Stichting Disposables Benelux

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2003 TNO

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Summary	7
1 Inleiding	10
2 Doel en reikwijdte van de studie	11
2.1 Doelstelling.....	11
2.2 Reikwijdte.....	11
2.2.1 Scenario's voor verwerking van koffiebekers	11
2.2.2 Functie, functionele eenheid en referentiestromen	13
2.2.3 Systeemgrenzen	14
2.2.4 Milieueffect categorieën	15
2.3 Weging van de milieueffect categorieën.....	17
3 Scenario's voor de verwerking van éénmalige PS koffiebekers	18
3.1 Huidig systeem	18
3.2 Co-zameling.....	20
3.3 Subcoal route	22
3.4 Verbranding met energierugwinning in een AVI.....	24
4 Allocatie van materiaal- en energiestromen	25
5 Milieueffecten verwerking éénmalige PS koffiebekers	26
5.1 Inleiding.....	26
5.2 Huidig systeem	26
5.3 Co-inzameling.....	27
5.4 Subcoal route	27
5.5 Verbranding met energierugwinning in een AVI.....	28
5.6 Vergelijking scenario's	29
6 Economie van de verwerking van gebruikte éénmalige PS koffiebekers	31
6.1 Huidig systeem	31
6.2 Co-inzameling.....	32
6.3 Subcoal route	33
6.4 Verbranding met energierugwinning in een AVI.....	34
6.5 Vergelijking saldi scenario's	35
7 Eco-efficiency verwerking gebruikte éénmalige PS koffiebekers	36
7.1 Inleiding.....	36
7.2 Vergelijking van de vier verschillende inzamel- en verwerkingsscenario's.....	36
8 Gevoeligheidsanalyse	38
8.1 Inleiding.....	38
8.2 50 procent vermeden productie van primair PS.....	39
8.3 Gesubstitueerde elektriciteit uit gas in plaats van uit kolen.....	40
8.4 Recycling verliesgevend.....	42
8.5 80 % inzameling bij 30% van de ontdoeners.....	43

9	Conclusies	45
10	Referenties	46
11	Afkortingen	47
12	Verantwoording	48

Bijlage(n)

A Berekeningen transport

B Berekeningen hoeveelheid vervuiling

C Resultaten LCA

D Resultaten Eco-efficiency

Samenvatting

De Stichting Disposables Benelux heeft in Nederland een retoursysteem voor eenmalig gebruikte bekertjes voor dranken (veelal uit automaten) opgezet. Dit systeem functioneert al vele jaren; echter momenteel loopt de hoeveelheid ingezamelde bekertjes terug. De vraag, die daarbij opkomt, is of het huidige systeem, zowel wat betreft economie als milieu, nog optimaal is.

Bijvoorbeeld voor de recycling van polystyreen, waarbij primair polystyreen vervangen wordt, gelden milieubaten voor de substitutie, maar daar staan milieulasten tegenover voor de extra transporten die dit mogelijk maken.

Het verdient aanbeveling om het huidige systeem te vergelijken met enige alternatieven, wat betreft de kosten en baten en de milieubelasting. De Stichting Disposables Benelux heeft aan TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) opdracht gegeven om het huidige systeem, wat betreft economische en milieukundige impact, te vergelijken met drie alternatieven.

Het doel van het onderzoek is het vergelijken van het huidige retoursysteem voor éénmalige PS bekertjes met drie alternatieven wat betreft economische en milieukundige aspecten. Zo'n gecombineerde analyse van de milieubelasting en de kosten/baten van een (product)systeem wordt ook wel een eco-efficiency analyse genoemd.

Om een pragmatische vergelijking mogelijk te kunnen maken, zijn alternatieven voor het huidige systeem gedefinieerd, die in de praktijk invulbaar zijn. De volgende systemen, ook wel scenario's genoemd, zijn nader geanalyseerd:

- Scenario 1, huidig systeem. Gescheiden inzameling van éénmalige polystyreen (PS) bekertjes bij bedrijven en transport ervan naar een centraal overslagpunt in Nederland (Geldermalsen) vindt plaats. Daarna geschiedt transport naar Hoek van Holland, alwaar reiniging en voorscheiding van de bekertjes wordt uitgevoerd en de bekertjes worden in balen geperst. Deze gebaalde bekertjes worden vervolgens naar een recycling bedrijf in Vroomshoop getransporteerd waar na wassen en malen PS flakes worden vervaardigd. Hiermee wordt primair PS gesubstitueerd.
- Scenario 2, co-inzameling. De gebruikte koffiebekertjes worden in dit scenario gescheiden ingezameld, maar worden niet apart opgehaald. Het ophalen geschiedt samen met een andere belangrijke gescheiden ingezamelde (afval)stroom bij bedrijven, oudpapier. Vanuit regio's wordt de bekerstroom, na afscheiding van het oudpapier, naar Hoek van Holland getransporteerd. Verder invulling van scenario 2 geschiedt conform scenario 1.
- Scenario 3, subcoal route. Hierbij vindt inzameling van de bekertjes tezamen met droog bedrijfsafval plaats. Uit dit bedrijfsafval wordt een brandstof fractie afgescheiden. Deze fractie (subcoal) wordt in een kolengestookte energiecentrale met een relatief hoog energierendement bijgestookt.
- Scenario 4, afvalverbrandingsinstallatie (AVI). De inzameling van de bekertjes vindt tezamen met droog bedrijfsafval plaats. Deze afvalstroom wordt in een AVI voor huishoudelijk afval en daarop gelijkend bedrijfsafval verbrand. Hierbij vindt energierugwinning plaats.

Van de 4 scenario's zijn de milieukundige en economische aspecten bepaald. Daarbij is telkens de stroom van 1 ton gebruikte, vervuilde éénmalige koffiebekertjes, zoals die binnen Nederland (veelal in automaten) worden gebruikt, beschouwd.

De belangrijke milieuvoordelen van de vier scenario's zijn:

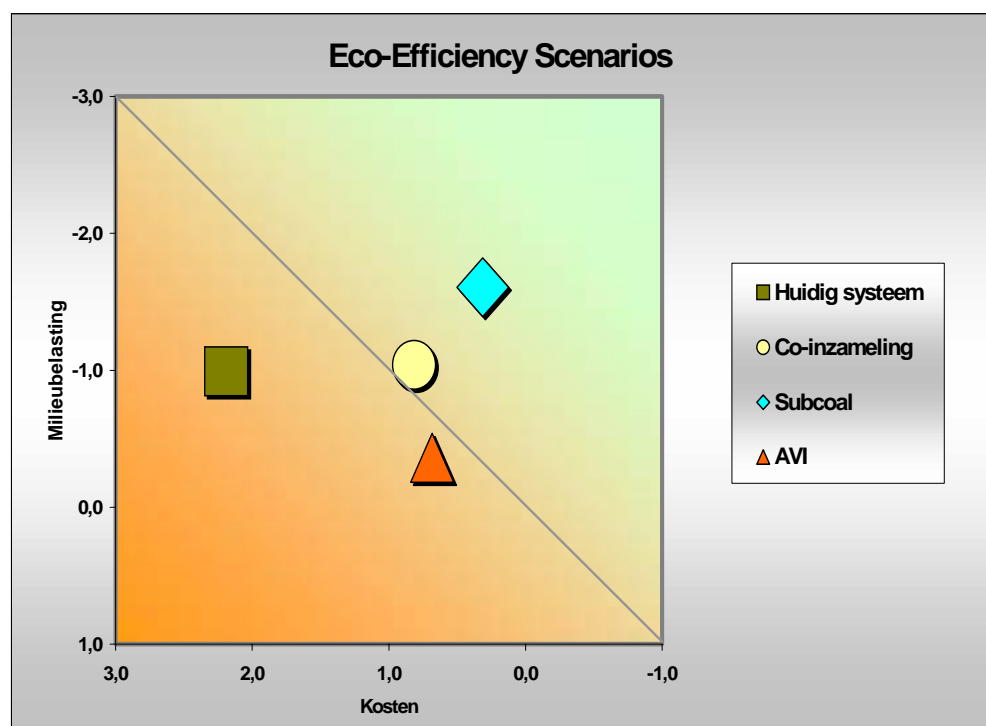
- Huidig systeem en co-inzameling; 1 kg PS maalgoed vervangt 0,9 kg virgin PS (Polystyreen). De milieubelasting van de productie van grondstoffen en van PS wordt hiermee vermeden.
- Subcoal route; 1 kg subcoal vervangt 1,1 kg poederkool in een kolen gestookte energiecentrale. De milieubelasting van steenkoolwinning, van de productie van poederkool en van de elektriciteitswinning uit poederkool wordt vermeden.
- AVI route. Elektriciteit uit bekers in een AVI vervangt elektriciteit uit een mix van brandstoffen, geproduceerd in een gemiddelde Nederlands energiecentrale. De milieubelasting van de brandstoffenwinning en van de productie van elektriciteit uit deze brandstoffen wordt hiermee vermeden.

Een overzicht van de kosten/baten balans van de vier scenario's (in Euro's per ton gebruikte bekers) wordt in de hierna volgende tabel gegeven.

Scenario	Kosten	Baten	Saldo
Huidig systeem	> 478	? ¹	-449
Co-inzameling	> 137	?	-168
Subcoal	256	192	-64
AVI	157	17	-140

¹ ?: niet bekend

Combinatie van de berekende milieubelasting en netto kosten van de 4 scenario's leidt tot de volgende figuur, waarbij de (relatieve) milieubelasting en de kosten van de 4 alternatieven grafisch worden vergeleken. De afstand tot de diagonaal is een maat voor de eco-efficiency, waarbij de punten boven de diagonaal een voordelig eco-efficiency profiel kennen.



Uit de figuur blijkt dat het huidige systeem een betere milieuprestatie dan de AVI route en een vergelijkbare milieuprestatie ten opzichte van co-inzameling heeft. Door de hoge kosten heeft het huidige systeem de laagste eco-efficiency van de 4 scenario's. De subcoal route scoort het beste wat betreft milieu impact en kosten en heeft daardoor de hoogste eco-efficiency. De AVI heeft een lage eco-efficiency door het geringe rendement van de energierugwinning.

Er is een analyse uitgevoerd om de gevoeligheid van de belangrijkste aannames te toetsen. Uit de resultaten blijkt dat de milieu impact van de 4 scenario's vooral bepaald wordt de fase recycling (voor huidig systeem en co-inzameling) en de fase energiebenutting (subcoal en AVI). Hierbij speelt de keuze van de soort materiaalsubstitutie (in dunwandige of dikwandige producten) en de aard van de brandstofsubstitutie in een energiecentrale (kolen, aardgas of een mix) een belangrijke rol. De kosten worden vooral bepaald door die van inzameling en van recycling; de gevoeligheid hiervan is getoetst.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Recycling van gebruikte koffiebekers heeft een duidelijk milieuvoordeel ten opzichte van de verbranding van bekere in een AVI.
- Het huidige systeem en het systeem van co-inzameling scoren qua milieu gelijkwaardig en zijn met name energie-efficiënt.
- De route subcoal als alternatief voor poederkool is minder energie-efficiënt dan het huidige systeem, maar heeft een duidelijk milieuvoordeel wat betreft toxiciteit en finaal afval.
- Het huidige systeem kent de hoogste kosten; de co-inzameling is economischer.
- De subcoal route is het meest eco-efficiënt en het huidige systeem heeft de laagste eco-efficiency score.
- Subcoal is slechts eco-efficiënt, als het poederkool in een energiecentrale vervangt. In de niet reële situatie dat het aardgas (een duidelijk schonere brandstof) vervangt, valt het milieuvoordeel weg en scoort de subcoal route wat betreft eco-efficiency vergelijkbaar met de AVI route (waarbij elektriciteit uit een mix van brandstoffen wordt gesubstitueerd).
- De eco-efficiency performance wordt duidelijk bepaald door specifieke kosten (economie) enerzijds en de aard van de substitutie van primaire materialen/brandstoffen (milieu) anderzijds. Dus het eco-efficiency profiel wordt beter, als:
 - Lage inzamel- en/of recyclingkosten optreden.
 - Kunststoffen in dunwandige, in plaats van dikwandige, producten worden vervangen.
 - Milieubelastende, in plaats van schone, brandstoffen worden vervangen in een energiecentrale.
- Hoewel de co-inzameling en de subcoal route beide eco-efficiënter zijn dan het huidige systeem, functioneren deze routes nog niet in de praktijk (en zijn daardoor vooralsnog theoretisch van aard).

Summary

The Foundation Disposables Benelux has set up a take-back scheme for used drinking cups from vending-machines (“Save-a-Cup”). This scheme has been proven since many years, but the quantity of collected cups decreases. This is one of the reasons people wonder whether the existing scheme is still an optimal one, with respect to economics and environment. For instance environmental benefits are realized when polystyrene is recycled, because primary plastic is substituted. However, extra transports, needed to make recycling possible, result in extra environmental burden.

It is recommended to compare the existing scheme with alternatives, looking at economic costs and benefits and the environmental impact.

The Foundation Disposables Benelux has requested TNO Environment Energy and Process innovation (TNO-MEP) to compare their scheme with three alternatives, with regard to economical and environmental aspects.

The objectives of the study are to compare the existing take-back scheme for cups with three alternatives with regard to economical and environmental aspects. Such a combined analysis of the environmental and economical impact of a (product)system is called an eco-efficiency analysis.

To be able to obtain a real comparison alternatives are defined, which can be applicable in practice. The following schemes, called scenarios, are analysed in depth:

- Scenario 1, existing scheme. Source separated collection of polystyrene (PS) cups at enterprises takes place and transportations of volumes to a central transfer station in The Netherlands (Geldermalsen) are executed. After that transport to a facility in Hoek van Holland is carried out and cleaning and pre-separation of the cups takes place. The concentrated, partly cleaned, cups are baled and transported to a recycling facility in Vroomshoop. After washing and shredding PS flakes are produced and these flakes substitute primary PS in several products.
- Scenario 2, co-collection. Also in this scenario the used coffee cups are separated at source, but not solely collected. The collection occurs together with waste paper, another important bulky stream from enterprises. After regional co-collection the separated cup mixtures are transported to Hoek van Holland. Further treatment is the same as described for scenario 1.
- Scenario 3, subcoal route. Together with the dry waste from enterprises the cups are collected. Out of this waste a fuel fraction is separated with the help of a mechanical process. This fuel (subcoal) is combusted in a coal-fired power plant with a relatively high energy efficiency.
- Scenario 4, waste incineration plant (MSWI). Again the cups are collected with the rest of the dry waste from enterprises. This integral stream is incinerated together with household waste in a municipal solid waste incinerator (MSWI). In this facility energy recovery takes place.

The environmental and economical impacts of the 4 scenarios have been determined. Each calculation is based on the treatment of 1 ton used and contaminated coffee cups, as used in a vending-machine.

The important environmental advantages of the 4 scenarios are:

- Existing scheme and co-collection; 1 kg PS flakes substitute 0.9 kg virgin PS (PolyStyrene). The environmental burden of the resources production and PS production is avoided.

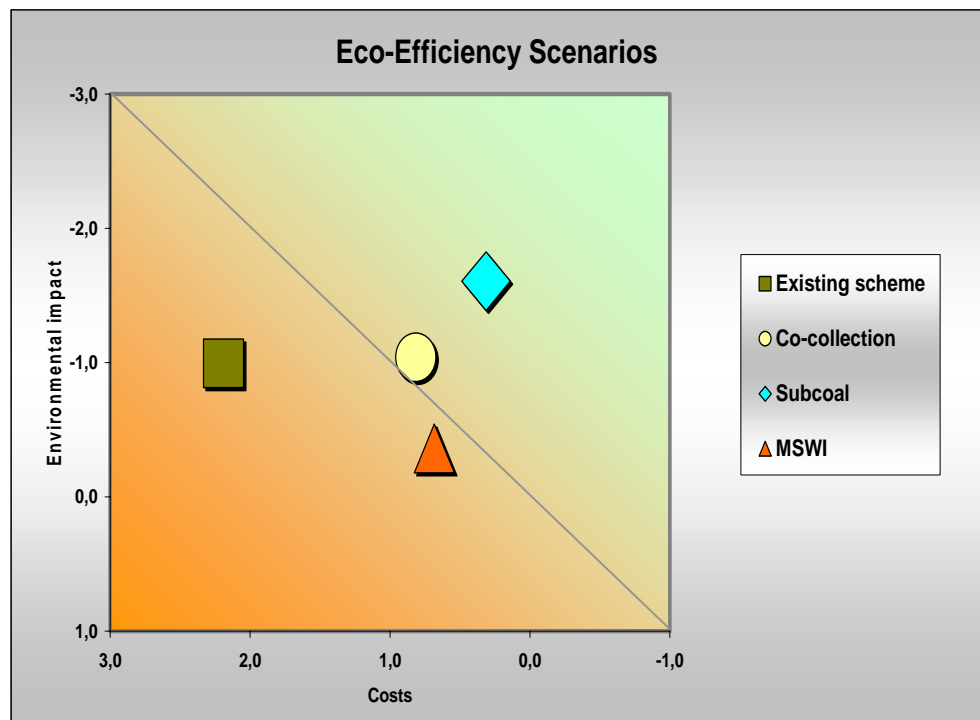
- Subcoal route; 1 kg subcoal substitutes 1.1 kg powder coal in coal-fired power plant. The environmental burden of coal extraction, production of powder coal and electricity production out of coal is avoided.
- MSWI route; electricity production out of cups in a MSWI substitutes an average Dutch electricity production from a fuels mixture. The environmental burden of fuels production and electricity production out of the Dutch fuels mixture is avoided.

An overview of the costs/benefits balance of the 4 scenarios (Euros per ton used cups) is presented in the following table.

Scenario	Costs	Benefits	Balance
Running system	> 478	? ¹	-449
Co-collection	> 137	?	-168
Subcoal	256	192	-64
MSWI	157	17	-140

¹ ?: not known

A combination of the calculated environmental impact and net costs of the 4 scenarios provides the eco-efficiency graph; by means of an illustration the (relative) environmental impact and the (relative) economical impact of the 4 scenarios are compared. The magnitude of the distance to the diagonal is a measure of the eco-efficiency; the dots above the diagonal have a beneficial eco-efficiency profile.



The results presented in the graph show that the existing scheme has a better environmental performance than the MSWI route and a comparable environmental performance with respect to the co-collection scenario. The existing scheme has the lowest eco-efficiency score of the 4 scenarios, because of the relatively high costs. The subcoal route has the best performance with regard to the environmental impact and the costs and consequently the highest eco-efficiency score. The MSWI route has a low eco-efficiency, caused by the relatively low efficiency of the energy utilization.

A sensitivity analyses of the most relevant assumptions has been carried out. The results of the calculations show that the environmental impact of the 4 scenarios will be dominated by the environmental benefits of the stages material recycling (existing scheme and co-collection) and energy utilization (subcoal and MSWI routes). The influence of the kind of material substitution (in thin-sized or thick-sized products) as well as the choice which fuel will be substituted in a power plant (coal, natural gas or a mixture of fuels) play an important role.

The economy of the scenarios is especially influenced by the costs for the collection and the recycling; these sensitivities are checked.

The most relevant conclusions are:

- The material recycling of used coffee cups has a distinct environmental benefit when compared to the incineration of cups in a MSWI.
- The existing scheme and the co-collection scheme have a comparably environmental impact and both schemes are energy efficient.
- The subcoal route, as an alternative for powder coal application, is less energy efficient than the existing scheme, but has a clear environmental advantage with respect to toxicity and final waste.
- The existing scheme accounts for the highest costs; the co-collection scheme is more economical.
- The subcoal route is the most eco-efficient one while the existing scheme has the lowest eco-efficiency score.
- The subcoal route is really eco-efficient, when it substitutes powder coal in a power plant. In the case it substitutes natural gas (an obviously cleaner fuel) the environmental advantage disappears and the eco-efficiency score of the subcoal route will become comparable with the score of the MSWI route (in the case solid waste substitutes a mixture of fuels during electricity production).
- The key determining factors influencing the eco-efficiency performance are the specific costs (economics) and the way of substitution of primary materials/fuels (environment). The eco-efficiency profile will improve, when:
 - Low collection and/or recycling costs occur.
 - Plastics are substituted in thin-sized products instead of thick-sized products.
 - Environmentally burdening fuels are substituted in power plants instead of clean fuels.
- The co-collection route and the subcoal route are both more eco-efficient than the existing scheme. However, these systems are not practised yet and are more theoretical.

1 Inleiding

De Stichting Disposables Benelux heeft in Nederland een retoursysteem voor eenmalig gebruikte bekers voor dranken (veelal uit automaten) opgezet. Dit systeem functioneert al vele jaren, echter momenteel loopt de hoeveelheid ingezamelde bekers terug. De vraag die daarbij opkomt is of het huidige systeem, zowel wat betreft economie als milieu, nog optimaal is. Bijvoorbeeld voor de recycling van polystyreen, waarbij primair polystyreen vervangen wordt, gelden milieubaten voor de substitutie, maar daar staan milieulasten tegenover voor de extra transporten die dit mogelijk maken.

Het verdient aanbeveling om het huidige systeem te vergelijken met enige alternatieven, wat betreft de kosten en baten en de milieubelasting.

De Stichting Disposables Benelux heeft daarom aan TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) opdracht gegeven om het huidige systeem, wat betreft economische en milieukundige aspecten, te vergelijken met drie alternatieven.

In het onderhavige rapport wordt deze vergelijking beschreven.

In hoofdstuk 2 worden doel en reikwijdte van de studie nader toegelicht. De te analyseren scenario's voor de inzameling en verwerking van éénmalige polystyreen (PS) koffiebekers zijn uitgebreid in hoofdstuk 3 omschreven, waarna in hoofdstuk 4 de allocatie van materiaal- en energiestromen wordt uitgelegd.

De milieu-effecten en economische impact van de 4 te vergelijken scenario's worden respectievelijk in de hoofdstukken 5 en 6 gegeven.

De combinatie van milieukundige en economische invalshoeken, de vergelijking tussen de zgn. eco-efficiency van de beschouwde systemen, is in hoofdstuk 7 geïllustreerd en in hoofdstuk 8 wordt hiervan een gevoeligheidsanalyse getoond. Tenslotte volgen in hoofdstuk 9 de conclusies.

2 Doel en reikwijdte van de studie

2.1 Doelstelling

Gedurende de uitvoering van het project wordt het huidige retoursysteem voor éénmalige PS bekers vergeleken met een drietal mogelijke alternatieven wat betreft milieukundige en economische impact.

Dit leidt tot de volgende doelstelling:

Het definiëren van drie alternatieve systemen voor de verwerking van gebruikte éénmalige PS koffiebekers en daarna het vergelijken van het huidige retoursysteem voor bekers met de drie alternatieven wat betreft economische en milieukundige aspecten.

Zo'n gecombineerde analyse van de milieubelasting en de kosten/baten van een (product)systeem wordt ook wel een eco-efficiency analyse genoemd.

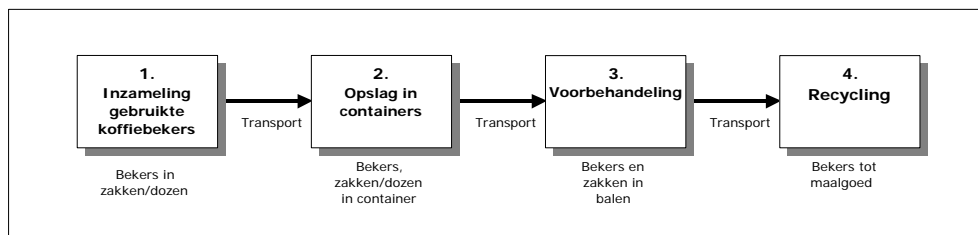
2.2 Reikwijdte

2.2.1 Scenario's voor verwerking van koffiebekers

Uitgangspunt voor de vergelijking zijn alternatieven voor het huidige retoursysteem die in de praktijk invulbaar zijn. Deze alternatieven zullen verder scenario's genoemd worden. Inclusief het huidige systeem zijn de volgende scenario's denkbaar:

Scenario 1: Huidig systeem

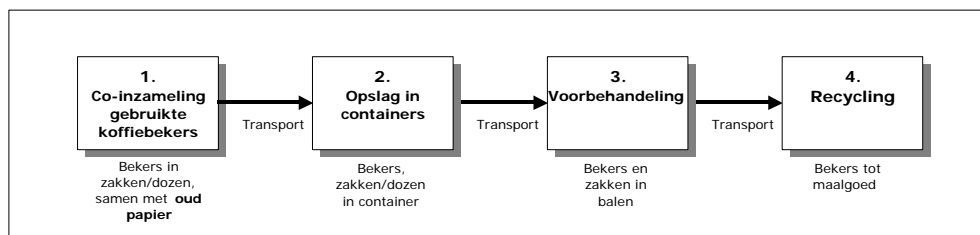
Gescheiden inzameling van gebruikte éénmalige PS bekers bij bedrijven en transport ervan naar een centraal overslagpunt in Nederland (Geldermalsen). Daarna vindt transport naar Hoek van Holland plaats, alwaar reiniging en voorscheiding van de bekers plaatsvindt en de bekers in balen worden geperst. Vervolgens worden de bekers getransporteerd naar een recyclingbedrijf in Vroomshoop waar na wassen en malen PS flakes worden vervaardigd. Hiermee wordt primair PS gesubstitueerd.



Scenario 2: Co-inzameling

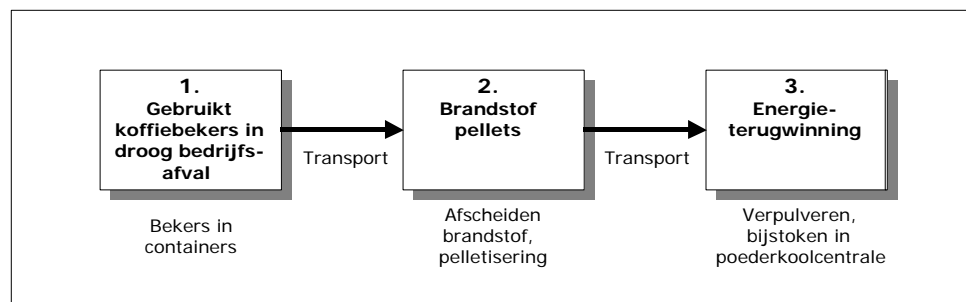
De gebruikte éénmalige PS koffiebekers worden in dit scenario gescheiden ingezameld, maar worden echter niet apart opgehaald. Het ophalen geschiedt samen met een andere belangrijke gescheiden ingezamelde (afval)stroom bij bedrijven, oudpapier. In massa gezien, is deze stroom veruit de grootste gescheiden ingezamelde stroom [2].

Dit scenario heeft een verkennend en theoretisch karakter. Inzameling op deze wijze vindt nog niet of nauwelijks plaats. In de praktijk zouden maatregelen moeten worden genomen om vervuiling van papier/karton met vocht en vuil uit de éénmalige PS bekers te voorkomen. Compartimentering in de transportmiddelen zou een maatregel kunnen zijn.



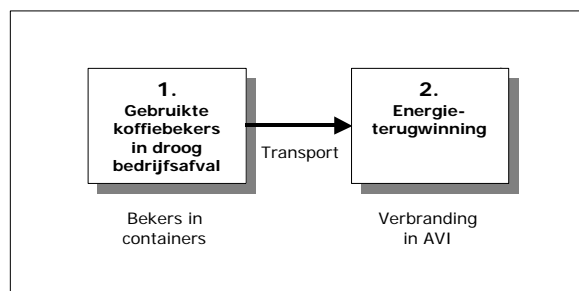
Scenario 3: Subcoal route

Hierbij vindt inzameling van de éénmalige PS bekers tezamen met droog bedrijfsafval plaats. Uit dit bedrijfsafval wordt een brandstof fractie afgescheiden. Deze fractie wordt in een kolengestookte energiecentrale (Subcoal) met een relatief hoog energierendement bijgestookt.



Scenario 4: AVI route

De inzameling van de gebruikte éénmalige PS bekers vindt tezamen met bedrijfsafval plaats. Deze afvalstroom wordt in een afvalverbrandingsinstallatie voor huishoudelijk afval en daarop gelijkend bedrijfsafval verbrand. Hierbij vindt energieretugwinning plaats.



2.2.2 *Functie, functionele eenheid en referentiestromen*

Het huidige systeem is gebaseerd op het inzamelen van gebruikte éénmalige koffiebekers uit met name drankenautomaten. De gebruikte éénmalige koffiebekers worden doorgaans verzameld in afvalbakken voorzien van een kunststof binnenzak die op gezette tijden wordt opgehaald. Soms wordt in plaats van de kunststof zak een kartonnen doos gebruikt.



Figuur 1 Inzameling van gebruikte éénmalige koffiebekers.

De functionele eenheid die in de studie zal worden gebruikt is de volgende:

1 ton in kunststof zakken / kartonnen dozen ingezamelde gebruikte éénmalige PS koffiebekers, zoals deze in koffieautomaten worden gebruikt binnen Nederland.

Als uitgangssituatie geldt de situatie voor Nederland in de periode juli 2002 – juni 2003.

De bij de functionele eenheid horende materiaalsoorten zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Beschrijving van de functionele eenheid in materialen en hun hoeveelheden.

Onderdeel	Materiaal	Hoeveelheid (kg)	Hoeveelheid (%)
Gebruikte koffiebeker	PS	763	64
Verzameldoos	Karton	177,2	15
Verzamelzak	PE	20,7	2
Drankresten en overig afval	Water en diverse organische materialen	237	20
Binddraad baal	IJzer	0,074	0,01
Totaal	-	1198	100

Op basis van (een beperkte set van) gegevens over 2003 is de aanname gedaan dat de ingezamelde kunststof bekervaten gemiddeld 24% vocht en vuil bevatten (zie voor de berekening bijlage B). Aangenomen is dat 35% van de hoeveelheid bekervaten wordt ingezameld in kartonnen dozen, de resterende 65% in zakken.

Gezien de zeer geringe (kleiner dan 0.05%) hoeveelheid ijzerdraad in de functionele eenheid is dit materiaal niet in de LCA opgenomen.

De functionele eenheid moet voor de scenario's waarbij de éénmalige PS bekervaten niet meer apart worden ingezameld, worden aangepast, omdat de verzamelverpakkingen niet meer nodig zijn. De definitie luidt dan:

1 ton ingezamelde gebruikte éénmalige PS koffiebekervaten, zoals deze in koffieautomaten worden gebruikt binnen Nederland.

In Tabel 2 zijn de resulterende materiaalhoeveelheden gegeven.

Tabel 2 Beschrijving van de aangepaste functionele eenheid in materialen en hun hoeveelheden.

Onderdeel	Materiaal	Hoeveelheid (kg)
Gebruikte koffiebeker	PS	763
Drankresten en overig afval	Water en diverse organische materialen	237
Totaal	-	1000

2.2.3 Systeemgrenzen

Het systeem begint op het punt waarbij de gebruikte éénmalige PS koffiebeker afval is geworden; het is met andere woorden een end-of-life systeem.

De volgende activiteiten vallen buiten het systeem in verband met de geringe te verwachten effecten:

Productie interne en externe transportmiddelen (energieverbruik transportbanden is wel meegenomen);

Productie opslagbakken voor de gebruikte éénmalige PS koffiebekervaten;

Productie installaties en productie, verlichting, warmteverbruik van gebouwen voor de verwerking van de gebruikte éénmalige PS koffiebekers.

2.2.4 Milieueffect categorieën

In overleg met de opdrachtgever zijn een zevental milieueffect categorieën in het milieuprofiel opgenomen, deze zijn gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 De geselecteerd milieueffect categorieën met hun eenheden.

Milieueffect categorie	afkorting	eenheid
broeikaseffect	GWP	kg CO ₂ equivalenten
aantasting ozonlaag	ODP	kg CFC-11 equivalenten
humane toxiciteit	HT	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
terrestrische ecotoxiciteit	TETP	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
fotochemische oxydantvorming	POCP	kg ethylene equivalenten
Speciale categorieën		
finaal afval	FW	kg
totale energiebehoefte	GER	MJ

De in deze studie gehanteerde milieueffect categorieën [3] zijn hierna kort toegelicht.

Klimaatverandering (GWP)

Klimaatverandering is gedefinieerd als het effect van emissies op het warmtestraling absorberend vermogen van de atmosfeer. Dit kan op zijn beurt negatieve effecten hebben op de stabiliteit van het ecosysteem, de volksgezondheid en materiële welvaart. Broeikasgassen vergroten het warmtestraling absorberend vermogen waardoor de temperatuur van het aardoppervlak stijgt, in de volksmond 'het broeikas effect' geheten. Broeikasgassen hebben elk een verschillende Global Warming Potential en elke afzonderlijke emissie kan worden omgerekend tot een equivalente hoeveelheid kooldioxide (CO₂) emissie.

Aantasting ozonlaag (ODP)

De aantasting van de stratosferische ozonlaag door emissies zorgt ervoor, dat een groter gedeelte van de UV-B straling van de zon het aardoppervlak bereikt, met mogelijk schadelijke effecten op volksgezondheid, dierlijke gezondheid, terrestrische en aquatische ecosystemen, biochemische cycli en stoffen. De belangrijkste ozonlaag aantastende stoffen zijn de zogenaamde chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen. Het ozonlaag aantastende vermogen van deze stoffen wordt uitgedrukt in equivalenten van de referentiestof CFK-11.

Humane en terrestrische toxiciteit (HTP, TETP)

Voor het bepalen van de potentiële toxiciteit van de stof wordt gerekend met een multimediaal verspreidingsmodel, USES 2.0, ontwikkeld door RIVM, en vertaald naar de LCA toepassing door de Universiteit van Amsterdam [2]. Door middel van stofspecifieke verspreidingsfactoren wordt bepaald hoeveel van de initiële emissie uiteindelijk *in potentie* in andere milieucompartimenten terecht komt. Vervolgens worden de berekende hoeveelheden per stof per milieucompartiment gedeeld door een

uit de toxicologie afgeleide factor, zoals acceptable daily intake (ADI) of no-observed-effect concentration (NOEC), afhankelijk van de effectcategorie en de stofgroep. Humane toxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen in het milieu op de volksgezondheid. Terrestrische ecotoxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen op terrestrische ecosystemen. De humane toxiciteit en terrestrische ecotoxiciteit worden uitgedrukt in 1,4-dichloorbenzeen equivalenten.

Fotochemische oxydantvorming (POCP)

Fotochemische oxydantvorming is de vorming van reactieve chemische verbindingen, zoals ozon, door de werking van zonlicht op bepaalde primaire luchtvervuilende stoffen. Deze reactieve verbindingen kunnen schadelijk zijn voor zowel de gezondheid als voor gewassen. Fotochemische oxidanten kunnen onder invloed van ultraviolet licht in de troposfeer gevormd worden, door de fotochemische oxidatie van vluchtige organische stoffen (VOS) en koolmonoxide (CO) in aanwezigheid van stikstofdioxide (NO_x). Het vermogen tot smogvorming van stoffen is bepaald met C₂H₂ als referentie.

Finaal afval (FW)

Finaal afval is het afval dat overblijft na eindverwerking (meestal verbranding) en dat gestort moet worden. De eventuele milieueffecten van het storten, door bijvoorbeeld emissies uit de stort naar de lucht of het oppervlaktewater, komen bij de hierboven genoemde effect categorieën tot uiting.

Totale energiebehoefte (GER)

De totale of cumulatieve energiebehoefte van een materiaal bestaat uit de som van de benodigde procesenergie en de energie-inhoud van het materiaal zelf. Deze laatste wordt berekend als de Lower Heating Value (LHV); deze energie-inhoud zou vrijkomen bij volledige verbranding van het materiaal.

Normalisatie

Na het karakteriseren van de systemen, door het geven van de absolute scores (totale hoeveelheden) van de afzonderlijke effect categorieën, is de volgende stap in de interpretatie van de LCA-resultaten het normaliseren van de scores. Deze normalisatie vindt plaats door de absolute scores te relateren aan de score voor de totale bijdrage per jaar van een effectcategorie voor geheel Nederland. Het hierbij gebruikte referentiejaar is 1997. Bij normalisatie ontstaat de dimensie jaar. De gebruikte normalisatiegegevens zijn gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Normalisatiewaarden per (milieu)effectcategorie voor Nederland in 1997

Milieueffectcategorie	Afkorting	Waarde (jaar/kg)
Broeikaseffect	GWP	4.0E-12
Aantasting ozonlaag	ODP	1.0E-06
Humane toxiciteit	HTP	5.3E-12
Terrestrische ecotoxiciteit	TETP	1.0E-09
Fotochemische oxydantvorming	POCP	5.5E-09
Speciale categorieën		
Finaal afval	FW	2.4E-10
Totale energiebehoefte	GER	3.2E-13

2.3 Weging van de milieueffect categorieën

Voor het bepalen van de eco-efficiency¹ van de afzonderlijke scenario's, waarbij de milieubelasting van een scenario wordt gekoppeld aan de economische prestatie van het scenario, is het nodig om de scores voor de verschillende effect categorieën te integreren tot één waarde. Dit wordt bereikt door de genormaliseerde scores te vermenigvuldigen met vooraf gekozen weegfactoren en daarna te sommeren

Voor deze studie is de basisset van weegfactoren gebruikt zoals die door TNO voor APME zijn ontwikkeld. Uitgangspunt is dat met uitzondering van de toxiciteit categorieën alle effect categorieën even zwaar scoren. De toxiciteit categorieën (TETP en HTP) tellen de helft zo zwaar mee.

Tabel 5 Weegfactoren per (milieu)effect categorieën.

Milieueffect categorie	Waarde (1/jaar)
broeikaseffect	0.167
aantasting ozonlaag	0.167
humane toxiciteit	0.083
Terrestrische ecotoxiciteit	0.083
fotochemische oxydantvorming	0.167
Speciale categorieën	
finaal afval	0.167
totale energiebehoefte	0.167

¹ Zie voor een verdere uitleg Hoofdstuk 7 "Eco-efficiency verwerking gebruikte éénmalige PS koffiebekers".

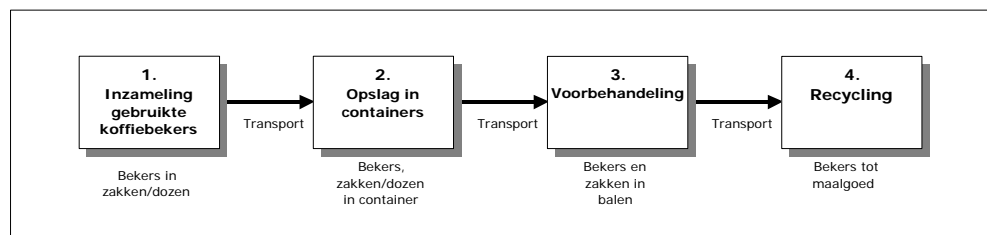
3 Scenario's voor de verwerking van éénmalige PS koffiebekers

3.1 Huidig systeem

In het huidige systeem zijn vier fasen te onderscheiden (zie ook Figuur 2):
 Inzameling gebruikte éénmalige PS koffiebekers;
 Opslag in containers;
 Voorbehandeling;
 Recycling.

1 Inzameling

De éénmalige polystyreen koffiebekers worden na gebruik in een daartoe bestemde afvalzak of kartonnen doos geworpen. De met gebruikte éénmalige PS koffiebekers gevulde zakken en dozen worden door een transporteur in het gehele land opgehaald met vrachtwagens met een laadruimte van 38 m³. Het vervoer van de bekers was in 2002-2003 volledig in handen van H.J. van Oort Transport B.V., gevestigd in Eck & Wiel.



Figuur 2 De keten voor de huidige verwerking van gebruikte koffiebekers.

Transport 1 naar 2

Per vrachtwagen wordt per dag gemiddeld 1020 kg opgehaald. Hierbij wordt gemiddeld 275 km per dag afgelegd. Voor het berekenen van de milieubelasting voor transport geldt dat wordt uitgegaan van volumetransport waarbij de vrachtwagen qua massa vrijwel onbeladen is. Voor meer detail wordt verwezen naar Bijlage A.

2 Opslag in containers

Bij de transporteur wordt de inhoud (bekers, dozen en zakken) van de inzwelwagens overgeladen in een verzamelcontainer van 40 m³. Bij de overslag, via een transportband, in containers vindt een volumereductie van ruim 50% plaats. In iedere container zit ruim 3000 kg aan bekers, dozen en zakken.

Transport 2 naar 3

Wanneer bij de transporteur twee containers vol zijn, dit gebeurt 2 à 3 keer per week, worden deze per vrachtwagen naar Kras Recycling BV in Hoek van Holland gereden. Dit is een afstand van 105 km enkele reis².

De uitgangspunten voor het berekenen van de milieubelasting voor dit transport zijn gegeven in Bijlage A.

² Afstand geschat met routeplanner.

3 Voorbehandeling

De inhoud van de containers wordt door Kras voorbehandeld voor de uiteindelijke recycling. Dit houdt in dat de dozen, niet de zakken, handmatig worden verwijderd. De zakken worden opengemaakt en eventuele grove verontreinigingen worden handmatig verwijderd. De kartonnen dozen, met een gewicht van 177,2 kg per functionele eenheid gaan naar een papierrecycler op een aangenomen afstand van 75 km.

Een opvoerband transporteert de bekers en zakken naar een balenpers die er balen van circa 0,7 m³ van maakt met een gewicht van circa 230 kg. De balen worden gebonden met ijzerdraad en opgeslagen voor transport naar de recycler.

In de balenpers wordt een deel van het vocht uit de massa bekers en zakken geperst. Op basis van de door de Stichting Disposables beschikbaar gestelde data is berekend dat bij Kras 8% vuil en vocht, ten opzichte van de bruto hoeveelheid éénmalige PS bekers, vrijkomt. Dit afval wordt gezuiverd in een eigen afvalwaterzuivering. Aangenomen is dat de milieueffecten van deze stap verwaarloosbaar zijn (minder dan enkele procenten van de milieubelasting van het totale systeem).

Transport 3 naar 4

Een truck (28 ton) brengt de balen van Hoek van Holland naar Auba Kunststofrecycling in Vroomshoop. Dit is een afstand van 200 km enkele reis. Een lading heeft veelal een gewicht van 27 ton.

Recycling

De recycler, Auba, past een nat verwerkingsproces toe. De gebruikte éénmalige PS bekers worden samen met materialen van de bloemenveilingen, zoals PS plantentrays verwerkt. Gekozen is voor het natte proces, omdat de uitgang producten zijn vervuild. Door een gesloten watersysteem is het waterverbruik beperkt.

Auba ontvangt balen voorbehandelde bekers met de kunststofzakken er nog tussen. Het toegepaste scheidings- en reinigingsproces is gebaseerd op de verwerking van trays en kent de volgende stappen:

1. verwijderen bindraden van de baal;
2. afbrokkelen balen en visuele inspectie;
3. transportband;
4. verkleinen bekers;
5. zeven verkleind materiaal;
6. wassen van het zeefgoed;
7. nat malen;
8. scheiden via drijf/zinkscheiding
9. scheiden via hydrocycloon;
10. mechanisch drogen van de kunststof fracties.

Het in stap 1 vrijkomende ijzer wordt afgevoerd naar een oudmetaal handel. De verwerking van de geringe hoeveelheid ijzer is niet meegenomen.

Naast de polystyreen bekers komen andere kunststof materialen (o.a. PE) in de te verwerken fracties voor. Hierdoor is in de stappen 8 en 9 het scheiden van de verschillende kunststoffen noodzakelijk.

Op basis van de door de Stichting Disposables beschikbaar gestelde data is berekend dat bij Auba 16% vuil en vocht, ten opzichte van de bruto hoeveelheid gebruikte éénmalige PS bekers, vrijkomt. De aanname is dat van deze 16% de helft wordt verbrand en dat de andere helft op het riool wordt geloosd. Aangenomen is dat de milieueffecten van deze afvalverwerking verwaarloosbaar zijn (minder dan enkele procenten van de milieubelasting van het totale systeem).

In Tabel 6 wordt het energiegebruik van de verschillende toegepaste eenheidsprocessen samengevat [7].

Tabel 6 Energiegebruik van de eenheidsprocessen die in het huidige systeem worden gebruikt.

Fase	Eenheidsproces	Energiegebruik (MJ/ton)
Inzaming	-	-
Opslag	Transportband	0,47
Voorbehandeling	Transportband	0,47
	Balenpers	12,6
Recycling	Baalopener	19,8
	Transportband	0,47
	Shredder	46,8
	Trommelzeef	3,6
	Wassen	72,0
	Malen (nat)	46,8
	Drijf/zink systeem	28,8
	hydrocycloon	54,0
	Drogen (mechanisch)	180,0
	Opslagsilo	2,3

3.2 Co-zameling

De gebruikte éénmalige PS koffiebekers worden in dit scenario gescheiden ingezameld, gecombineerd met oudpapier. Dit is de qua massa belangrijkste gescheiden ingezamelde afvalstroom bij bedrijven [2].

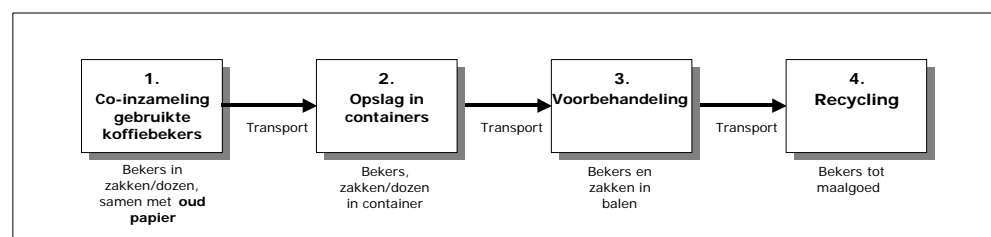
In het systeem van co-inzameling zijn vier fasen te onderscheiden (zie ook Figuur 3):

Inzameling gebruikte koffiebekers;

Opslag in containers;

Voorbehandeling;

Recycling.



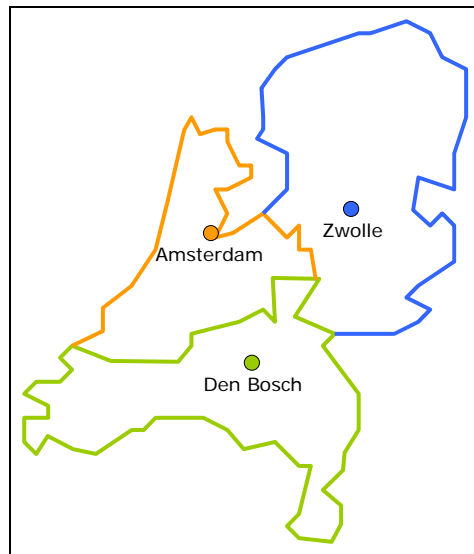
Figuur 3 De keten voor de verwerking van gebruikte koffiebekers in het systeem van co-inzameling.

Het systeem is aan de hand van de postcodes van de ontdoeners, verstrekt door de Stichting Disposables Benelux, onderverdeeld in drie regio's (zie Figuur 4):

Randstad/Midden;

Zuid;

Noord/Oost



Figuur 4 Indeling in de drie regio's.

De inzameling gebeurt in dit systeem via een regionale inzamelaar, gevestigd in respectievelijk Amsterdam, Den Bosch en Zwolle.

1 Inzameling

Het systeem ziet er in theorie als volgt uit. De gebruikte éénmalige PS bekers worden in de huidige PE-zakken of kartonnen dozen door de gebruikers verzameld. De inzamelaar van oudpapier neemt de gebruikte bekers met hun omverpakking mee. Er zijn voorzieningen getroffen zodat de gebruikte bekers de papier/karton fractie niet verder verontreinigen.

Transport van 1 naar 2

Binnen de regio's worden met een ringrit de bekers in zakken en dozen opgehaald. Voor de gemiddelde afgelegde afstand is 100 km aangenomen.

2 Opslag in containers

Bij de regionale inzamelaar van papier en karton worden de dozen uit de massa gehaald en bij het andere karton opgeslagen. De bekers en zakken worden in 40 m³ containers opgeslagen waarbij verdichting van de massa plaatsvindt. De inzamelaar voert het karton af naar een papier/karton recycler op een aangenomen afstand van 75 km.

Transport van 2 naar 3

Vanuit de regionale inzamelaar worden de containers naar Kras in Hoek van Holland getransporteerd. Voor dit transport is aangenomen dat de gemiddelde afstand tot Hoek van Holland 125 km enkele reis is (zie bijlage A).

3 Voorbehandeling

De inhoud van de containers wordt door Kras voorbehandeld voor de uiteindelijke recycling. De zakken worden open gemaakt en eventuele grove verontreinigingen worden handmatig verwijderd. Een opvoerband transporteert de bekers en zakken naar een balenpers die er balen van maakt met een gewicht van circa 230 kg. De balen worden gebonden met ijzerdraad en getransporteerd naar de recycler.

In de balenpers wordt een deel van het vocht uit de massa bekens en zakken geperst. Op basis van de door de Stichting Disposables beschikbaar gestelde data is berekend dat bij Kras 8% vuil en vocht, ten opzichte van de bruto hoeveelheid bekens, vrijkomt.

Transport 3 naar 4

Een truck (28 ton) brengt de balen van Hoek van Holland naar Auba Kunststofrecycling in Vroomshoop. Dit is een afstand van 200 km enkele reis. Een lading heeft veelal een gewicht van 27 ton.

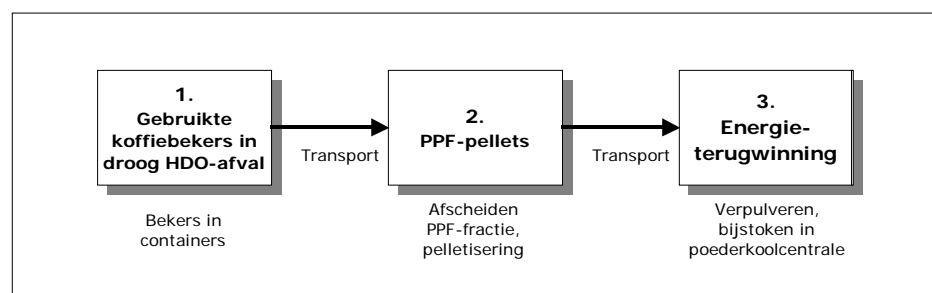
Recycling

De recycler, Auba, past voor de verwerking van de gebruikte bekens een nat proces toe. Voor een uitgebreide beschrijving van dit proces wordt verwezen naar de beschrijving van het huidige systeem (zie 3.1).

3.3 Subcoal route

Hierbij vindt inzameling van de gebruikte éénmalige PS bekens tezamen met droog bedrijfsafval³ plaats.

Er worden geen aparte verzamel dozen of zakken gebruikt (zie Figuur 5).

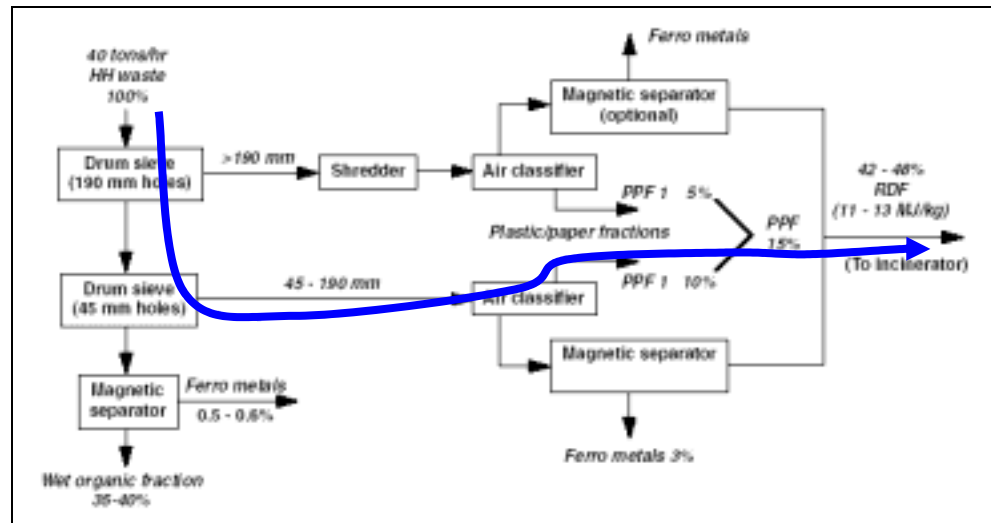


Figuur 5 De keten voor de verwerking van gebruikte koffiebekens in de subcoal route.

De VMK heeft samen met andere partijen het Subcoal initiatief ontwikkeld om kunststofafval en papierafval uit huishoudelijk afval te verwerken tot een hoogwaardige brandstof ten behoeve van elektriciteitsproductie. Het initiatief bevindt zich momenteel in het proefstadium. In de afvalverwerkingsinstallatie te Wijster wordt uit huishoudelijk afval een plastic/papier fractie (PPF) afgescheiden. Na te zijn gepelletiseerd kan dit materiaal dienen als brandstof voor de EZH-kolencentrale op de Maasvlakte [8]. Het materiaal is te hoog energetisch (22 MJ/kg) om in de huidige AVI's te worden verbrand [9]. Daarom kan deze fractie in een kolengestookte energiecentrale (Subcoal) met een relatief hoog energierendement (40%) worden bijgestookt [8].

Het HDO-restafval (droog bedrijfsafval), waaruit de subcoal kan worden gemaakt, bestaat volgens het LAP uit een organische fractie, papier/karton en kunststoffen [5]. Voor dit scenario is alleen naar dat deelproces gekeken, dat de gebruikte éénmalige kunststof bekens volgen (zie de pijl in Figuur 6).

³ Droog bedrijfsafval is afkomstig van kantoren, overheden en detailhandel en bestaat voor een groot deel uit papier.



Figuur 6 Processchema van de scheiding van huishoudelijk afval [9]. Met de pijl is het deelproces voor de gebruikte koffiebekers gegeven.

Op basis van de route voor gebruikte koffiebekers in Figuur 6 en de gegevens voor het energiegebruik van eenheidsprocessen uit de afvalverwerking [7], is het energiegebruik voor het maken van de subcoalfractie uit gebruikte koffiebekers berekend. De gebruikte koffiebekers gaan eerst door een trommelzeef (met gaten van 190 mm) waar ze doorheen vallen en worden met de rest van de uitgezeefde massa naar een tweede trommelzeef (met gaten van 45 mm) gevoerd. Aangenomen is dat de helft van de totale hoeveelheid vuil, die in de koffiebekers zit, naar de uitgezeefde fractie, < 45 mm, gaat. Dit restmateriaal wordt in een AVI verbrand. Aangenomen is dat de milieueffecten van deze afvalverwerking verwaarloosbaar zijn.

Tabel 7 Eenheidsprocessen nodig voor de fabricage van subcoal brandstof uit bekers in de fractie 45-190 mm en het energiegebruik dat, met uitzondering voor het drogen, het gebruik van elektriciteit betreft.

Eenheidsproces	Energiegebruik (MJ/ton)
Trommelzeven (190 en 45 mm)	7.2
Windzifter	4.1
Drogen (thermisch)	432.0
Subtotaal	446
Pelletiseren	108.0
Verpulveren	72.0
Opslagsilo	2.3
Subtotaal	182.3
Totaal	625.6

Voor het toerekenen van het energiegebruik van een eenheidsproces, waar een gemengde stroom in gaat, wordt gealloceerd op massabasis⁴. Het blijkt dat voor de fabricage van 1 ton subcoal uit gebruikte éénmalige PS bekers 626 MJ elektriciteit⁵ nodig is.

Transport

De bekers worden samen met droog bedrijfsafval in geheel Nederland ingezameld en in containers naar Wijster gebracht. Als gemiddelde afstand is 150 km aangenomen. Vanuit Wijster worden de pellets naar de Maasvlakte getransporteerd. Hiervoor is een afstand van 240 km aangenomen.

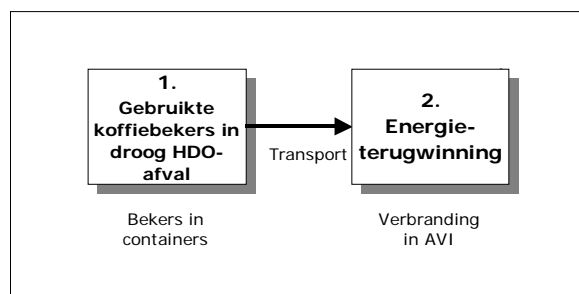
3.4 Verbranding met energierugwinning in een AVI

De inzameling van de gebruikte bekers vindt tezamen met bedrijfsafval plaats. Deze afvalstroom wordt in een afvalverbrandingsinstallatie voor huishoudelijk afval en daarop gelijkend bedrijfsafval verbrand. Hierbij vindt energierugwinning met een rendement van 22 tot 27% plaats [5]. Voor deze studie is het in de praktijk gerealiseerde energie rendement voor een gemiddelde Nederlandse AVI van 23% aangehouden [6].

In Nederland kwam in 1999 3,3 Mton KWD⁶-afval vrij. Bijna 1,4 Mton van dit afval wordt gescheiden ingezameld, waarbij papier en karton de grootste fractie vormen. Het gemengd ingezameld KWD-afval werd in 1999 voornamelijk gestort [1].

In het beleidsscenario van het LAP [5] wordt aangegeven dat in 2000 de hoeveelheid brandbaar afval uit het HDO-afval (Handel, Diensten en Overheden) 1,8 Mton bedroeg.

In dit scenario is uitgegaan van de situatie dat de gebruikte bekers in het gemengde droge HDO-afval terechtkomen. Dit afval gaat zonder voorbehandeling de AVI in.



Figuur 7 De keten voor de verwerking van gebruikte koffiebekers bij verbranding in een afvalverwerkingsinstallatie (AVI).

Transport

Voor het transport naar een AVI is een gemiddelde afstand van 100 km⁷ aangenomen.

⁴ In de trommelzeef bijvoorbeeld wordt het totale huishoudelijk afval gezeefd, het energieverbruik hiervoor wordt over de verschillende fracties op basis van hun massa-aandeel verdeeld. Dit houdt in dat voor een eenheidsproces het energiegebruik per ton zonder herberekening kan worden gebruikt

⁵ In de studie van CE [6] wordt voor het **totale** voorbereidingproces zoals weergegeven in Figuur 3 aangegeven dat er voor het voorbereiden, drogen en pelletiseren van de PPF fractie 360 MJ aardgas en 340 MJ elektriciteit nodig zijn.

⁶ Kantoor, winkel- en dienstenaafval.

⁷ Deze afstand is een gebruikelijke afstand voor de Nederlandse situatie en wordt ook voor MRPI[®] gebruikt.

4 Allocatie van materiaal- en energiestromen

Allocatie, het toerekenen van milieubelasting aan een in- of uitgaande stroom, is noodzakelijk wanneer het in de LCA beschouwde systeem multi-input of multi-output processen bevatten. In deze studie is hiervan sprake, omdat de éénmalige PS koffiebekers samen met de kartonnen dozen en PE-zakken worden verwerkt.

Allocatie is ook noodzakelijk wanneer andere systemen worden beïnvloed die echter niet in de studie zijn meegenomen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor recycling. Het verkregen maalgoed vervangt primair polystyreen. Ook wordt tijdens de verwerking in het AVI-scenario en in het subcoal-scenario elektriciteit geproduceerd. Hiermee wordt de productie van elektriciteit op de in Nederland gebruikelijke wijze deels vervangen. Voor het AVI-scenario is ook de vermeden productie van warmte uit een aardgasoven van kleiner dan 100kW meegenomen.

Bij de elektriciteitsproductie is rekening gehouden met de relatief beperkte set van emissies zoals die voor het subcoal proces [8] bekend zijn. Dit houdt in dat er geen emissies naar water plaatsvinden en de emissies naar lucht beperkt zijn tot die verbindingen, zoals CO₂, die bij de verbranding van subcoal vrijkomen. Bij de berekening van de vermeden elektriciteitsproductie o.a. via de verbranding van steenkool, is rekening gehouden met deze relatief beperkte set van emissies. Dezelfde situatie treedt op bij de winning van elektriciteit in een AVI. Daarbij zijn wel de emissies naar lucht in de vorm van elementen, zoals kwik, meegenomen omdat deze in principe ook bij het gebruikte AVI-model van TNO [4] worden berekend.

5 Milieueffecten verwerking éénmalige PS koffiebekers

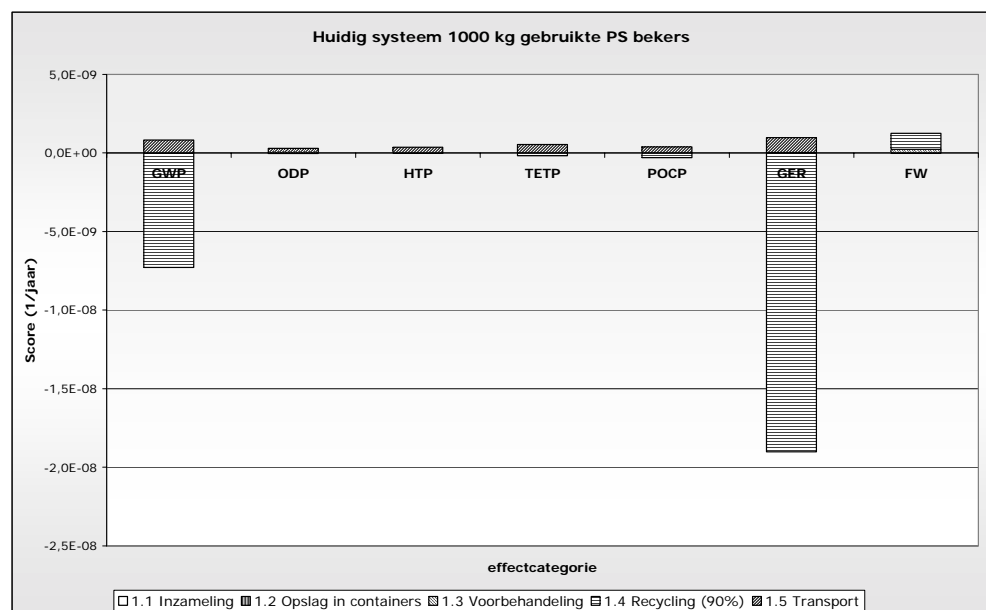
5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de milieueffecten van de vier scenario's voor de verwerking van gebruikte éénmalige PS koffiebekers besproken aan de hand van de scores van de zeven vastgelegde effect categorieën (zie 2.2.4). Voor de resultaten van de berekende genormaliseerde milieuprofielen voor de zeven effect categorieën, zie bijlage C.

5.2 Huidig systeem

Het milieuprofiel van het huidige systeem wordt gekenmerkt door negatieve scores voor met name de effect categorieën energie (GER) en broeikaseffect (GWP); zie Figuur 8. Negatieve scores betekenen in dit milieuprofiel milieuwinst. Deze winst wordt geboekt door het recyclen van met name het PS; hiermee wordt de energie-intensieve productie van primair PS vermeden. De recyclingstap zelf en het transport voor het gehele systeem zijn veruit de belangrijkste fasen die het milieuprofiel bepalen.

Bij de overige effect categorieën treden ook negatieve scores ten gevolge van de recyclingstap op, maar de netto score is positief. Dit houdt een milieubelasting in. Deze milieubelasting wordt met name door het afhalen en de daarop aansluitende verdere transporten veroorzaakt.

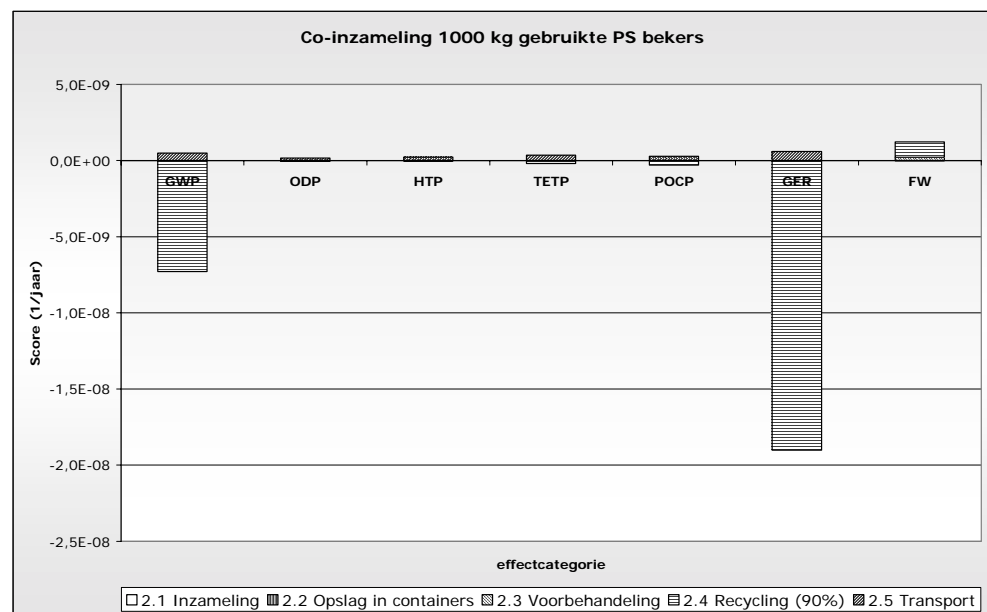


Figuur 8 Genormaliseerd milieuprofiel van het huidige systeem.

Een uitzondering op de negatieve scores voor de recyclingstap vormt het thema finaal afval (FW), waarbij de recyclingstap een milieubelasting betekent. Met name afval bij de recycling van de kartonnen dozen en het afval, ontstaan door elektriciteitsgebruik dragen hiertoe bij. Er is wel sprake van vermeden afval, maar deze hoeveelheid is kleiner dan de resterende hoeveelheid afval.

5.3 Co-inzameling

Het milieuprofiel van het systeem in geval van co-inzameling is vergelijkbaar met dat van het huidige systeem; zie Figuur 9. Het wordt gekenmerkt door negatieve scores voor met name de effect categorieën energie (GER) en broeikas effect (GWP). De milieuwinst wordt geboekt door het recyclen van met name PS, waarmee de energie-intensieve productie van primair PS wordt vermeden. Wederom zijn de recyclingstap zelf en het afhalen en de daarop aansluitende verdere transporten voor het gehele systeem veruit de belangrijkste fasen die het milieuprofiel bepalen.

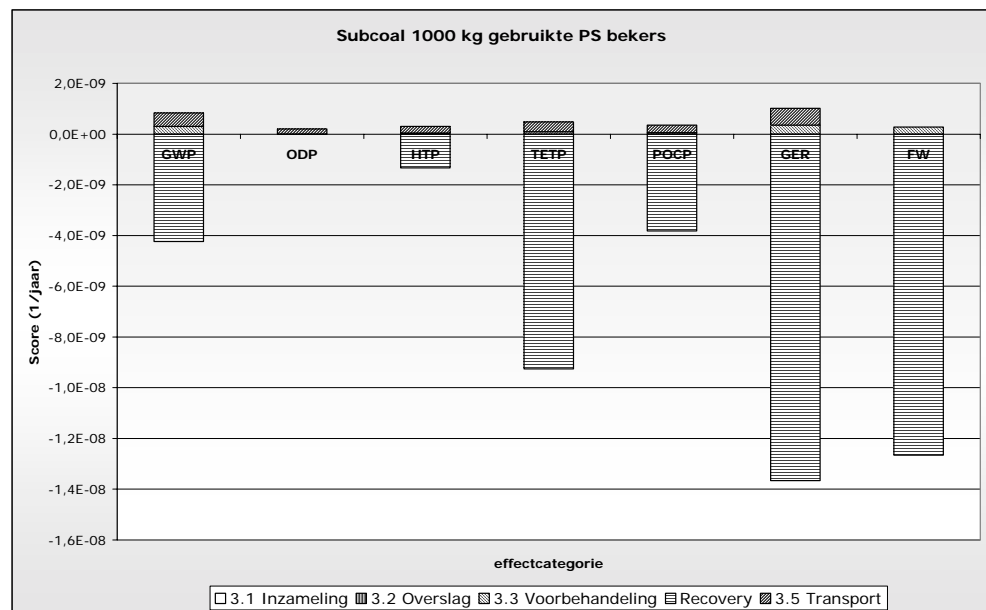


Figuur 9 Genormaliseerd milieuprofiel van het systeem in geval van co-inzameling.

Bij de overige effect categorieën, met uitzondering van HTP, treden ook negatieve scores ten gevolge van de recyclingstap op, maar de netto score is positief. Deze milieubelasting is echter geringer dan bij het huidige systeem, omdat per 1000 kg gebruikte éénmalige bekers minder transport nodig is. De score van finaal afval (FW) kan ook hier met name aan het vrijkomen van afval bij de recycling van de kartonnen dozen en het gebruik van elektriciteit tijdens de recycling worden toegeschreven.

5.4 Subcoal route

Ook het milieuprofiel voor het subcoal scenario wordt gekenmerkt door negatieve scores voor vrijwel alle effect categorieën; zie Figuur 10. Naast energie (GER) zijn dit terrestrische ecotoxiciteit (TETP) en als laatste finaal afval (FW). Deze milieuwinst wordt geboekt door het winnen van energie in de vorm van elektriciteit door het verstoken van PS, waarmee een deel van de Nederlandse productie van elektriciteit uit kolen wordt vermeden. Daardoor wordt netto ook het vrijkomen van finaal afval vermeden.

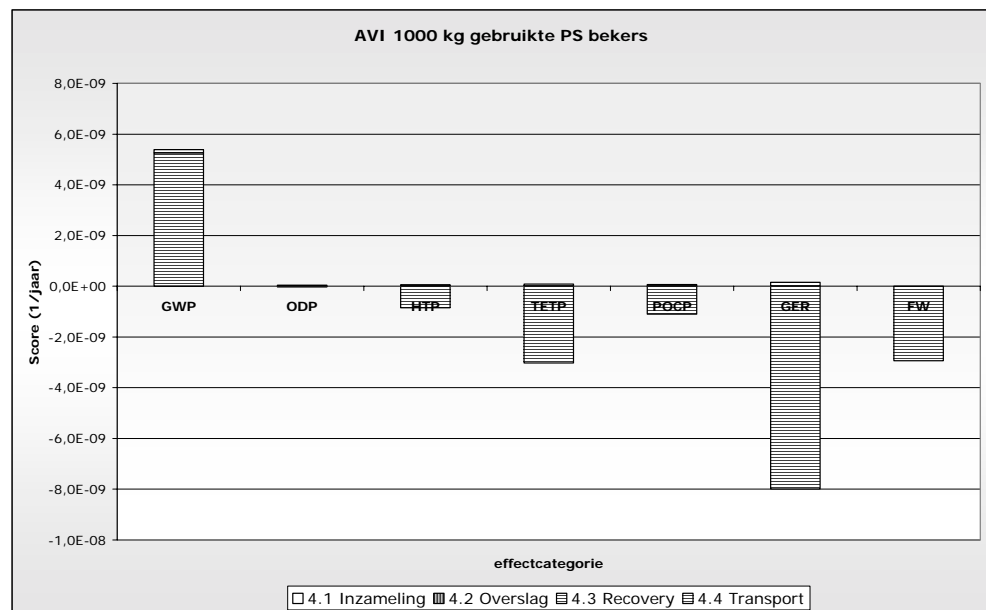


Figuur 10 Genormaliseerd milieuprofiel van het systeem in geval van de subcoal route.

De voorbereiding van de gebruikte éénmalige bekers tot subcoal en het transport leveren milieubelasting op. Deze milieubelasting is echter voor alle effect categorieën kleiner dan de milieuwinst uit de energieteerugwinning. Alleen de categorie ozondepletie (ODP) kent een positieve score (milieubelasting). Dit komt doordat de vermeden productie van elektriciteit geen vermeden emissies kent, die bijdragen aan deze effect categorie.

5.5 Verbranding met energieteerugwinning in een AVI

Vergeleken met het subcoal scenario is er voor het scenario met de verbranding met energieteerugwinning in een AVI van de gebruikte éénmalige bekers een zekere overeenkomst; zie Figuur 11. Met uitzondering van het broeikas effect (GWP) hebben alle overige effect categorieën een netto milieuwinst. De milieuwinst is wel duidelijk geringer dan bij het subcoal scenario. Dit komt omdat de energieteerugwinning in een AVI een beduidend lager elektrisch rendement (20%) heeft dan een kolencentrale (40%) en er dus minder vermeden elektriciteitsproductie is. Daarnaast wordt in dit geval de Nederlandse elektriciteitsproductie uit een mix van energiedragers (kolen, gas, kern-energie, waterkracht en olie) als vermeden productie gezien. Productie via deze mix is schoner dan de productie van elektriciteit uit kolen alleen. Voor GWP is er sprake van een netto milieubelasting. Hoewel er dus elektriciteitsproductie elders in het Nederlandse systeem wordt vermeden, komt er netto CO₂ vrij.



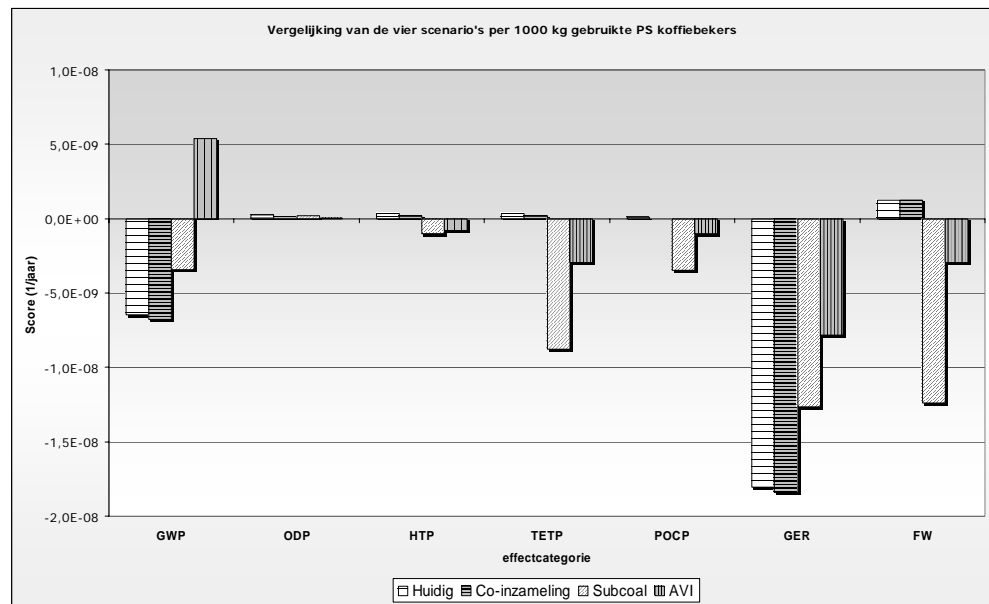
Figuur 11 Genormaliseerd milieuprofiel van het systeem in geval van verbranding met energierugwinning in een AVI.

5.6 Vergelijking scenario's

Wanneer de genormaliseerde milieuprofielen van vier scenario's tezamen in één grafiek worden gepresenteerd, is het duidelijk dat alle scenario's milieuwinst opleveren voor met name de totale energiebehoefte (GER). Vooral de op mechanische recycling van PS gebaseerde systemen scoren hierbij goed; zie Figuur 12.

Het huidige systeem en het systeem van co-inzameling hebben een gelijkwaardige score. Het co-inzameling scenario kent een iets gunstiger milieuprofiel, maar het verschil met het huidige systeem is verwaarloosbaar.

De op de energierugwinning gebaseerde scenario's (subcoal en AVI) kennen voor vrijwel alle thema's een netto milieuwinst. Een uitzondering treedt op voor het broeikas-effect; bij het AVI scenario is hier sprake van een netto milieubelasting. Dit komt door de geringere hoeveelheid vermeden elektriciteitsproductie vanwege het relatief lage elektrisch rendement en doordat voor de AVI de schonere elektriciteit uit de mix van energiedragers als vermeden product is genomen. Bij de aantasting van de ozonlaag (ODP) is er altijd sprake van een (geringe) milieubelasting ten gevolge van het transport.



Figuur 12 Vergelijking van de genormaliseerde milieuprofielen van de vier verschillende scenario's.

6 Economie van de verwerking van gebruikte éénmalige PS koffiebekers

6.1 Huidig systeem

De in het huidige systeem onderscheiden vier fasen (zie ook Figuur 2) worden ook bij het bepalen van de kosten gebruikt:

Inzameling gebruikte éénmalige PS koffiebekers;
Opslag in containers;
Voorbehandeling;
Recycling.

In de financiële rapportage van de Stichting Disposables Benelux is evenwel geen onderscheid gemaakt tussen de fasen inzameling en opslag; deze zijn tezamen genomen. In deze samengevoegde kosten zijn ook de kosten voor het transport naar de voorbehandeling opgenomen.

In deze studie wordt gekeken naar de werkelijk gemaakte kosten en baten, dus exclusief die financiële bijdragen die nodig zijn om het systeem kostendekkend te maken. Daarom zullen de bijdragen van de deelnemende bedrijven in de verdere berekeningen buiten beschouwing worden gelaten om zo een juist beeld van het werkelijke saldo van kosten en baten voor het systeem te hebben.

Inzameling en opslag in containers

De kosten voor het transport (van de ophaaladressen naar Eck en Wiel en van daar naar Hoek van Holland) en de opslag in containers bedroegen in de periode 2002-2003 €434 per ton bruto ingezamelde bekers (voor transportafstanden en overige berekeningen met betrekking tot transporten, zie bijlage A).

Het verschil in kosten dat ten gunste van de ontdoener ontstaat, omdat deze minder afval via de overige afvalinzameling hoeft af te voeren, is niet meegenomen.

Voorbehandeling

Uit de financiële rapportage van de Stichting Disposables is berekend dat de voorbehandeling in Hoek van Holland en het transport naar Vroomshoop in de periode 2002-2003 €44 per ton bruto ingezamelde bekers bedroegen. De transportkosten zelf bedragen volgens Kras Recycling €15 per ton bruto, zodat de voorbehandeling zelf dus €29/ton bruto kost.

Recycling

Het huidige systeem, in de opzet zoals sedert eind 2002 operationeel, kent een positief saldo bij de recycling van PS materiaal. Volgens de rapportage van de Stichting is er een positief saldo van €29/ton bruto ingezamelde bekers. De afzonderlijke baten en lasten zijn niet bekend.

Het huidige systeem kent in totaal een negatief saldo van €449/ton bruto ingezamelde gebruikte bekers (zie Tabel 8). De grootste kostenpost is de combinatie van de fasen inzameling en opslag.

Tabel 8 Overzicht van de operationele kosten en baten voor het huidige systeem (euro's per ton bruto gebruikte PS bekers).

Fase	Kosten	Baten	Saldo
<i>Inzameling en opslag</i>	434		-434
<i>Voorbehandeling en transport</i>	44		-44
<i>Recycling</i>	?	?	29
Totaal	> 478	?	-449

6.2 Co-inzameling

Inzameling

De eerste fase in dit scenario is het door de gebruiker ontdoen van de gebruikte éénmalige PS bekers tezamen met het oudpapier. Voor de kosten is een schatting gemaakt op basis van de kosten voor inzameling van oudpapier. Deze bedragen in 2003 naar schatting €60/ton [10]. Omdat voor de co-inzameling extra voorzieningen voor het meenemen van de koffiebekers moeten worden getroffen en omdat het stortgewicht van gebruikte koffiebekers lager is dan dat van oudpapier, waardoor het meer ruimte per ton inneemt, is een correctiefactor 2 toegepast. De inzamelkosten komen daardoor op €120/ton.

Opslag

Bij de lokale inzamelaar worden de bekers in 40 m³ containers opgeslagen. In 1998 bedroegen de kosten voor overslag €16/ton [1]. Bij een prijsinflatie van 3% per jaar komen deze kosten voor 2003 uit op €18/ton.

Transport naar voorbehandeling

De kosten voor het transport van de lokale inzamelaar naar Hoek van Holland zijn geschat op €0,071 per tonkm. Deze schatting is gebaseerd op de door Kras Recycling opgegeven transportkosten van €15/ton bij een volle container en een transportafstand voor Kras naar Auba van totaal 200 km. De transportafstand van de lokale inzamelaar naar Hoek van Holland bedraagt gemiddeld 100 km en hiermee bedragen de transportkosten €15/ton (voor transportafstanden en overige berekeningen met betrekking tot transporten, zie bijlage A).

Voorbehandeling en transport naar recycling

Uit de financiële rapportage van de Stichting blijkt dat de voorbehandeling en het transport naar Vroomshoop €44 per ton ingezamelde bekers bedroegen (zie 6.1). Een truck (28 ton) brengt de balen van Hoek van Holland naar Auba Kunststofrecycling in Vroomshoop. Dit is een afstand van 200 km enkele reis. Kras Recycling geeft hiervoor transportkosten van €15/ton op. Dus de voorbehandeling zelf kost €29/ton.

Recycling

Het netto saldo voor de recycling van PS materiaal is gelijk aan dat van het huidige systeem en bedraagt €29/ton.

Het systeem gebaseerd op co-inzameling heeft een negatieve opbrengst van €168 per ton bruto ingezamelde gebruikte PS bekers; zie Tabel 9.

Tabel 9 Overzicht van de operationele kosten en baten voor het systeem van co-inzameling (euro's per ton bruto gebruikte PS bekers).

Fase	Kosten	Baten	Saldo
<i>Inzameling</i>	120		-120
<i>Opslag/overslag</i>	18		-18
<i>Transport naar voorbehandeling</i>	15		-15
<i>Voorbehandeling en transport</i>	44		-44
<i>Recycling</i>	?	?	29
Totaal	> 197	?	-168

6.3 Subcoal route

De kosten van de subcoal route zijn gebaseerd op een voor APME uitgevoerde studie in 2000 [9]. De kosten zijn gebaseerd op het operationeel zijn van een pellets fabriek met een capaciteit van 60 kiloton per jaar.

Aangenomen is dat de kosten voor inzameling in 2003 €50/ton bedragen.

De mechanische scheiding van de PPF fractie in Wijster kost, inclusief kapitaalkosten, €14/ton PPF. De productie van de pellets kost €40 per ton. Na pelletisering wordt voor het transport naar de kolencentrale €10 per ton aan kosten gemaakt [9].

Het verpulveren van de pellets en de injectie van het poeder in de kolencentrale kosten €15 per ton PPF [9].

De totale kosten van de subcoal route bedragen voor de gebruikte éénmalige PS koffiebekers €129 per ton bruto; zie Tabel 10.

Tabel 10 Kosten van de subcoal route.

Kosten per fase	Kosten (€ton PPF)
Inzameling	50
Recovery PPF	14
Productie pellets	40
Transport pellets	10
Verpulveren/injectie	15
Totaal	129

Opbrengsten

Door het gebruik van PPF kan er echter op het gebruik van poederkool worden bespaard; de besparing bij PPF uit gebruikte éénmalige PS koffiebekers bedraagt €43 per ton ingezamelde bekers.

De opbrengsten in geval van de subcoal route komen uit de verkoop van elektriciteit. De inkomsten hiervan worden geschat op €0.04/kWh⁸. Hiervan moeten echter nog wel de kosten voor het in bedrijf houden van de elektriciteitscentrale worden afgetrokken.

⁸ Dit is de commodity prijs excl. transportkosten, heffingen et cetera [13].

Deze kosten zijn echter onbekend. Ze zijn berekend op basis van een aangenomen winstpercentage van 15% voor de productie van elektriciteit.

Uitgaande van een elektrisch rendement van 40% en een LHV van 34.6 MJ/kg voor gebruikte éénmalige PS koffiebekers van polystyreen en een opbrengst per kWh van €0.04, komen de baten voor de elektriciteitsproductie hiermee op €149 per ton bruto bekens (inclusief winst). De kosten bedragen 85 procent hiervan en dus €127 per ton bruto gebruikte PS bekens; zie Tabel 11.

Totaal saldo

Het negatieve saldo van dit scenario komt uit op €64 per ton bruto gebruikte PS bekens.

Tabel 11 Overzicht van de operationele kosten en baten per functionele eenheid voor de subcoal route (euro's per ton bruto gebruikte PS bekens).

Fase	Kosten	Baten	Saldo
<i>Inzameling</i>	50		-50
<i>Productie PPF (poeder)</i>	79		-79
<i>Elektriciteitsproductie,</i>	127	149	22
<i>incl. besparing poederkool</i>		43	43
Totaal	256	192	-64

6.4 Verbranding met energierugwinning in een AVI

De kosten voor inzameling van droog HDO-afval bedragen €50/ton [10].

Tabel 12 Kosten-baten analyse van een conventionele Nederlandse AVI met energierugwinning (euro's per ton bruto gebruikte PS bekens).

Fase	Kosten	Baten	Saldo
<i>Inzameling</i>	50		-50
<i>Verbranding,</i>	107		-107
<i>incl. verkoop stroom</i>		17	17
Totaal	157	17	-140

Op basis van een zeer recente studie van KEMA en ECN [13] is een kosten-baten analyse gemaakt van een conventionele Nederlandse AVI met energierugwinning. De kosten voor de installatie komen in de ECN/KEMA-studie op €107/ton (zie Tabel 12). De AVI brengt uit de stroomopbrengst per ton afval €17 op; hierbij wordt door KEMA en ECN uitgegaan van een vergoeding van de geleverde stroom van €0.027/kWh. Dit bedrag is lager dan de prijs voor elektriciteit die voor de subcoalroute wordt gehanteerd. Hoewel gebruikte PS koffiebekers een hogere stookwaarde (34.6 MJ/kg) hebben dan het gemiddelde afval (10 MJ/kg), dat in een AVI wordt verbrandt, is een correctie van de energie opbrengsten niet op zijn plaats. Doordat dit hoogcalorische afval slechts in beperkte mate aanwezig zal zijn, is de invloed op de calorische waarde van de volledige hoeveelheid te verbranden afval verwaarloosbaar.

Het scenario van de AVI komt hiermee op een negatief saldo van €140 per ton bruto gebruikte PS bekens.

6.5 Vergelijking saldi scenario's

In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de kosten/baten saldi van de vier verschillende scenario's.

Tabel 13 Overzicht van het saldo per scenario voor de functionele eenheid (euro's per ton bruto gebruikte PS bekers).

Scenario	Kosten	Baten	Saldo
Huidig systeem	> 478	?	-449
Co-inzameling	> 137	?	-168
Subcoal	256	192	-64
AVI	157	17	-140

Het huidige systeem is met €449 het meest kostbare van de vier scenario's. Het co-inzameling scenario leidt tot beduidend lagere kosten. Dit scenario is economisch gezien iets ongunstiger dan de AVI route. Het subcoal scenario is het systeem met de laagste kosten.

7 Eco-efficiency verwerking gebruikte éénmalige PS koffiebekers

7.1 Inleiding

Om de ontwikkeling naar economisch en ecologisch duurzame producten en diensten te kunnen volgen, heeft de OECD eind jaren negentig het begrip eco-efficiency geïntroduceerd. De OECD hanteert de volgende definitie:

‘Eco-efficiency is a management strategy based on quantitative input-output measures which seeks to maximize the productivity of energy and material inputs in order to reduce resource consumption and pollution/waste per unit of output, and to generate cost savings and competitive advantage.’

Op basis van deze definitie is een indicator ontwikkeld die de economische prestatie van een systeem relateert aan de milieu impact van dat systeem. In deze studie zullen de kosten van een scenario worden gerelateerd aan de milieu impact ervan.

Eco-efficiency diagram

De gecombineerde presentatie van de integrale milieu impact en van de economische prestatie wordt het eco-efficiency diagram genoemd. Om tot de eco-efficiency van een systeem te komen wordt op de verticale as de genormaliseerde en geëvalueerde milieubelasting uitgezet. Op de horizontale as worden of de genormaliseerde opbrengsten of de genormaliseerde kosten uitgezet. In dit geval zijn de kosten gepresenteerd

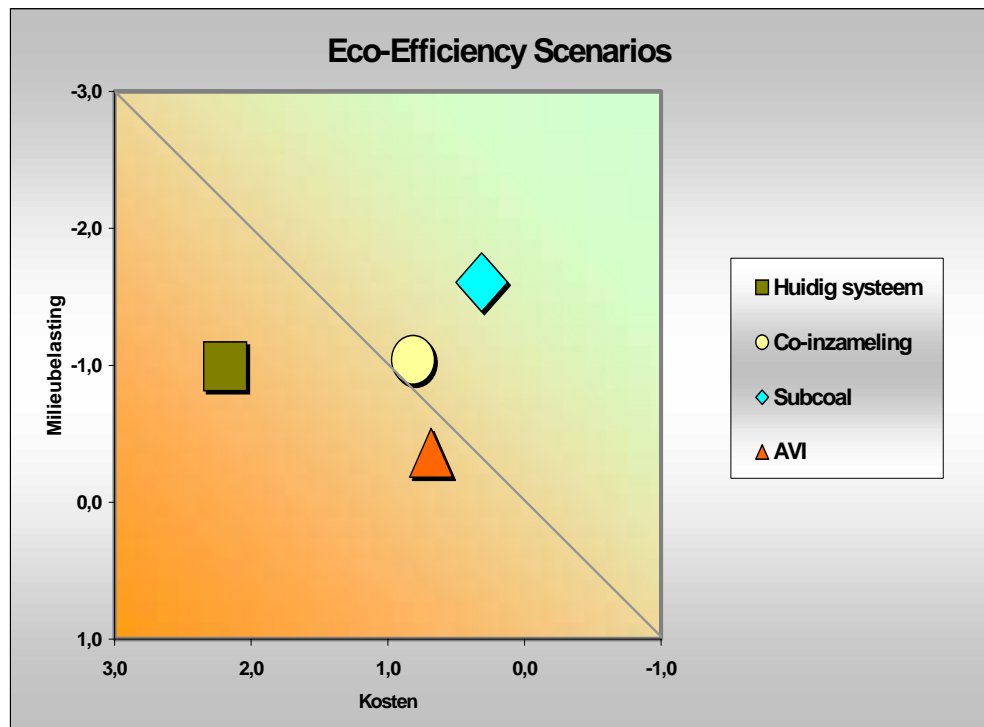
Punten die op een gelijke afstand van de diagonaal liggen, hebben een gelijke eco-efficiency.

7.2 Vergelijking van de vier verschillende inzamel- en verwerkingsscenario's

Voor de berekeningen van de eco-efficiency wordt verwezen naar bijlage D.

Recycling van gebruikte éénmalige PS bekers heeft een duidelijk milieuvoordeel ten opzichte van verbranding van bekers in een AVI. Het huidige systeem heeft evenwel de laagste eco-efficiency van de vier verschillende inzamel- en verwerkingsscenario's; dit komt door de hoge kosten van het systeem.

De subcoal route scoort het beste wat betreft milieuimpact en kosten en heeft daardoor de hoogste eco-efficiency. De AVI heeft een lage eco-efficiency door het geringe rendement van de energiebenutting.



Figuur 13 Eco-efficiency van de vier verschillende inzamel- en verwerkingsscenario's.

8 Gevoeligheidsanalyse

8.1 Inleiding

Om de gevoeligheid van het beschouwde systeem te toetsen wordt een gevoeligheidsanalyse voor de belangrijkste aannames uitgevoerd. Uit de resultaten blijkt dat in de vier verschillende inzamel- en verwerkingsscenario's de fase van materiaalrecycling (huidig systeem en co-inzameling) of van de energiebenutting (subcoal en AVI) de meest bepalende fase is voor de grootte van de milieu impact van een scenario. Hierbij speelt met name de keuze voor het gesubstitueerde product, primair PS of elektriciteit, een belangrijke rol. In de studie zijn ten aanzien van dit punt de volgende aannames gedaan:

In het huidige systeem en in het scenario van co-inzameling wordt door de materiaalrecycling van polystyreen de productie van primair polystyreen vermeden. Aangenomen is dat het maalgoed uiteindelijk voor 90% primair PS granulaat vervangt (dus hoogwaardige substitutie in dunwaardige producten, zoals kunststof tray, bloempot).

In het scenario van de subcoalroute is aangenomen dat opwekken van 1 kWh uit PPF met polystyreen 1 kWh uit kolen substitueert.

In het scenario van de verbranding in een AVI is aangenomen dat door het opwekken van 1 kWh uit polystyreen afval 1 kWh uit de Nederlandse mix van brandstoffen voor elektriciteitsproductie vervangt.

In overleg met de opdrachtgever zijn voor twee situaties de gevoeligheid onderzocht:

In de eerste situatie wordt in het huidige systeem en in het scenario van co-inzameling door materiaalrecycling van 1 kg polystyreen de productie van 0.5 kg primair polystyreen vervangen (er wordt in deze situatie kunststof in een dikwandig product vervangen, zoals krat, pallet).

De prijs van het PS maalgoed bedraagt circa 50% van die van virgin PS granulaat.

In de tweede situatie is aangenomen dat in het scenario van de subcoalroute het opwekken van 1 kWh uit PPF met polystyreen, 1 kWh uit een gasgestookte centrale substitueert.

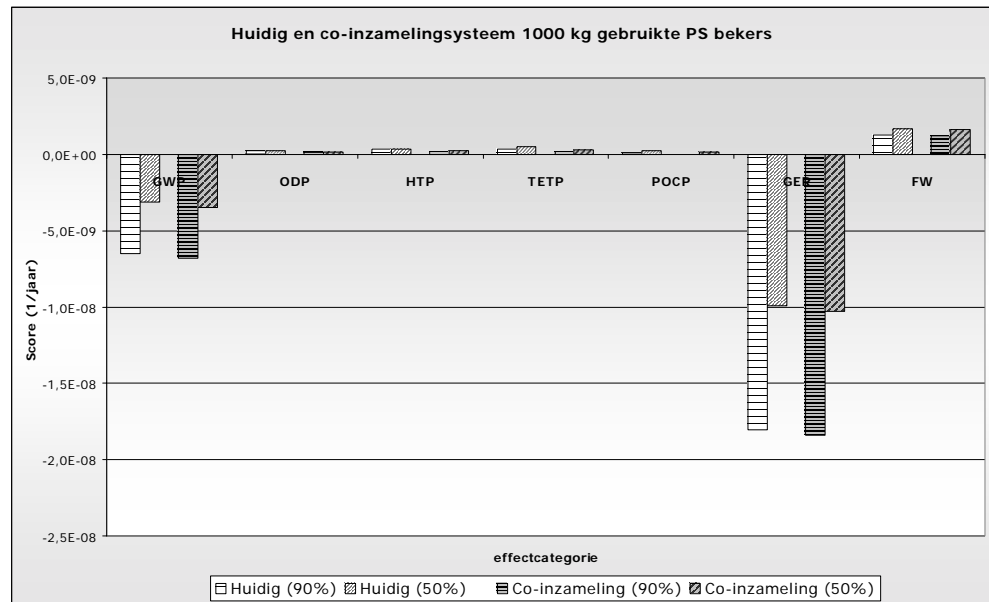
Er wordt een vergelijking gemaakt met de relatief schone opwekking van elektriciteit in een gasgestookte centrale. Eerder is een vergelijking gemaakt met substitutie van kolen in een kolengestookte centrale door PPF met PS in een kolengestookte centrale.

Naast deze twee situaties is er nog een derde gevoeligheid wat betreft de economie van het huidige systeem onderzocht, namelijk in het huidige systeem heeft de recyclingfase voor gebruikte koffiebekers niet langer een netto opbrengst van €29/ton, maar een verlies van €40 per ton.

Deze situatie is gebaseerd op het signaal van Auba dat de materiaalrecycling van gebruikte PS bekers als het ware "meelift" met de recycling van schonere PS plantentrays. De materiaalrecycling van gebruikte PS bekers zelf zou dan vanwege de hogere vervuilinggraad met verlies plaatsvinden; het opgegeven verlies vormt slechts een indicatie.

8.2 50 procent vermeden productie van primair PS

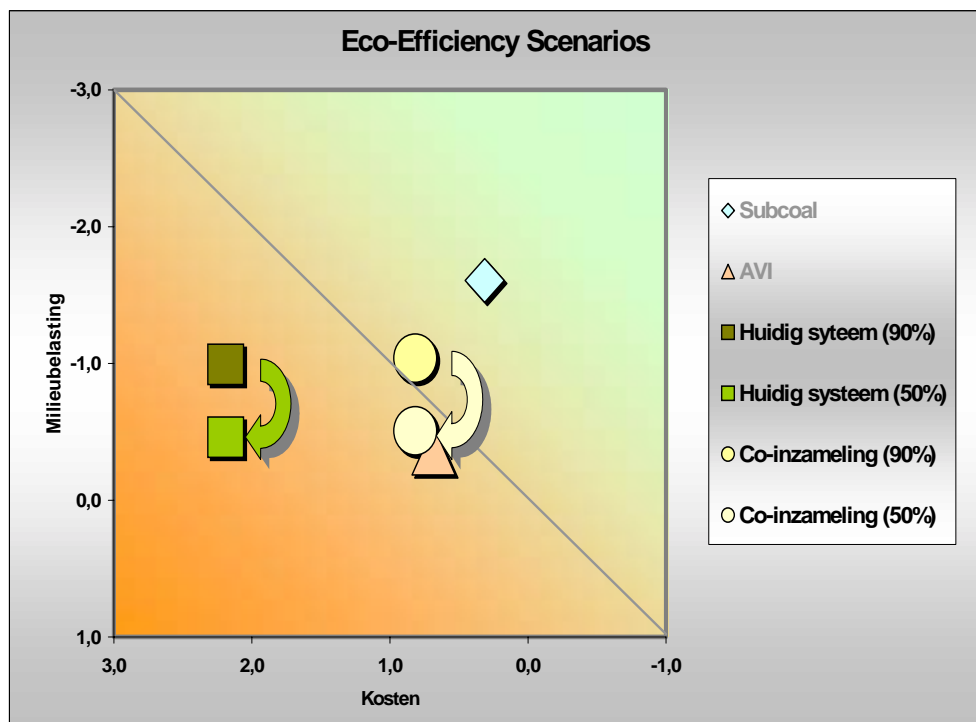
In de basis scenario's voor het huidige systeem en het systeem van co-inzameling wordt door de materiaalrecycling van 1 kg polystyreen de productie van 0.9 kg primair polystyreen vervangen. Met de gevoeligheidsanalyse is gekeken naar het effect van het terugbrengen van deze hoeveelheid naar 0.5 kg, ofwel een vermeden productie van slechts 50% primair PS (voor de resultaten van de berekende genormaliseerde milieuprofielen, zie bijlage C).



Figuur 14 Gevoeligheid van het huidige systeem en het systeem van co-inzameling voor een verandering van 90% naar 50% in de waarde van de gesubstitueerde productie van primair PS.

Uit Figuur 14 blijkt dat het milieuvoordeel van het huidige systeem en dat van co-inzameling sterk terugloopt wanneer uit wordt gegaan van een substitutie van 50% primaire PS. De scores voor het broeikaseffect (GWP) en voor de totale energiebehoefte (GER) geven aan dat het milieuvoordeel met bijna helft afneemt.

Door het afnemen van het milieuvoordeel, neemt ook de eco-efficiency af. In Figuur 15 is te zien dat het huidige systeem en het systeem van co-inzameling zich naar beneden verplaatsen in het eco-efficiency diagram. Doordat er geen wijziging van de kosten is, zien we geen horizontale beweging in het diagram (voor de berekening van de eco-efficiency waarden, zie bijlage D).



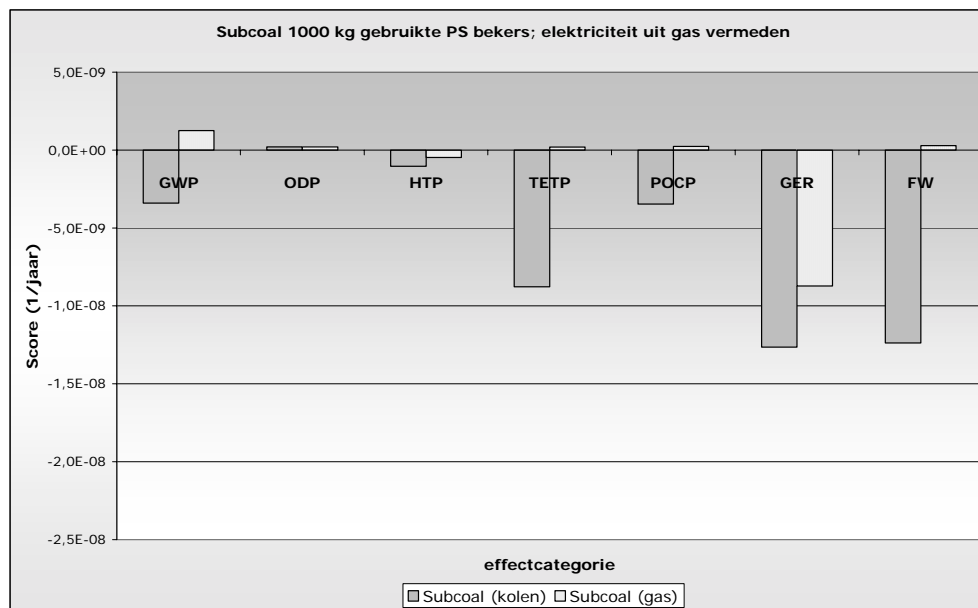
Figuur 15 Gevoeligheid van de eco-efficiency van het huidige systeem en van het systeem van co-inzameling voor een verandering van de waarde van 90% naar 50% van de gesubstitueerde productie van primair PS.

Door het dalen van het milieuvoordeel wordt het systeem van co-inzameling vergelijkbaar met het AVI scenario. De positie van het huidige systeem verslechtert in het geval van 50% substitutie en blijft dan ook het minst presterende systeem wat betreft eco-efficiency.

8.3 Gesubstitueerde elektriciteit uit gas in plaats van uit kolen

In het basis scenario van de subcoal route wordt door het opwekken van 1 kWh uit PPF met polystyreen 1 kWh uit een kolengestookte centrale vermeden. In de gevoeligheidsanalyse wordt uitgegaan van de substitutie van 1 kWh uit een gasgestookte centrale (voor de resultaten van de berekende genormaliseerde milieuprofielen, zie bijlage C).

Het subcoal scenario blijkt bijzonder gevoelig te zijn voor de soort vervangen elektriciteitsproductie. Wanneer in plaats van elektriciteit uit kolen die uit gas als vermeden product wordt beschouwd, neemt het milieuvoordeel van de subcoal route sterk af (zie Figuur 16).

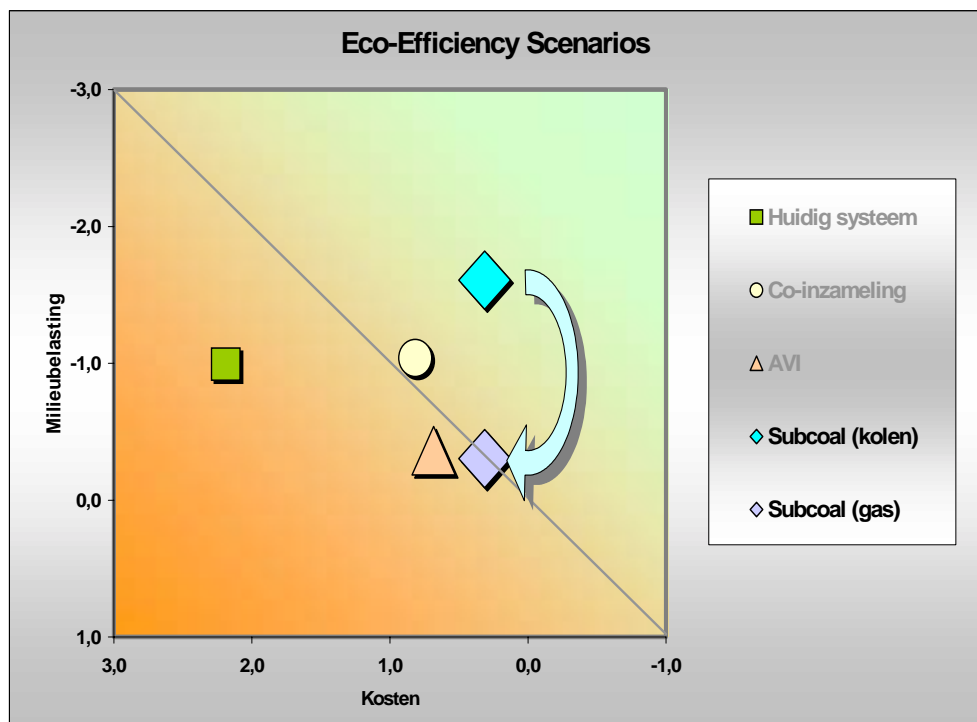


Figuur 16 Gevoeligheid van het subcoal scenario voor een verandering van de vermeden elektriciteitsproductie uit kolen naar die uit gas.

Het subcoal scenario geeft de meest opvallende veranderingen voor terrestrische ecotoxiciteit (TETP) en voor finaal afval (FW) te zien. Hiervoor slaat een duidelijk milieuvoordeel om in een gering miliunadeel. Het algemene beeld is een sterke afname van het milieuvoordeel naar een gering miliunadeel.

Door de sterke afname van het milieuvoordeel, als gevolg van de veranderde substitutie, verdwijnt ook het eco-efficiency voordeel. In is te zien dat het subcoal scenario zich duidelijk naar beneden verplaatst in het eco-efficiency diagram. Doordat er geen wijziging van de kosten is, zien we geen horizontale beweging in het diagram (voor de berekening van de eco-efficiency waarden, zie bijlage D).

Door de sterk verminderde milieuprestatie gaat het subcoal scenario waarbij elektriciteit uit een gasgestookte centrale vervangen wordt, vergelijkbaar presteren met de AVI met energierugwinning. Het co-inzameling scenario heeft nu de hoogste eco-efficiency.

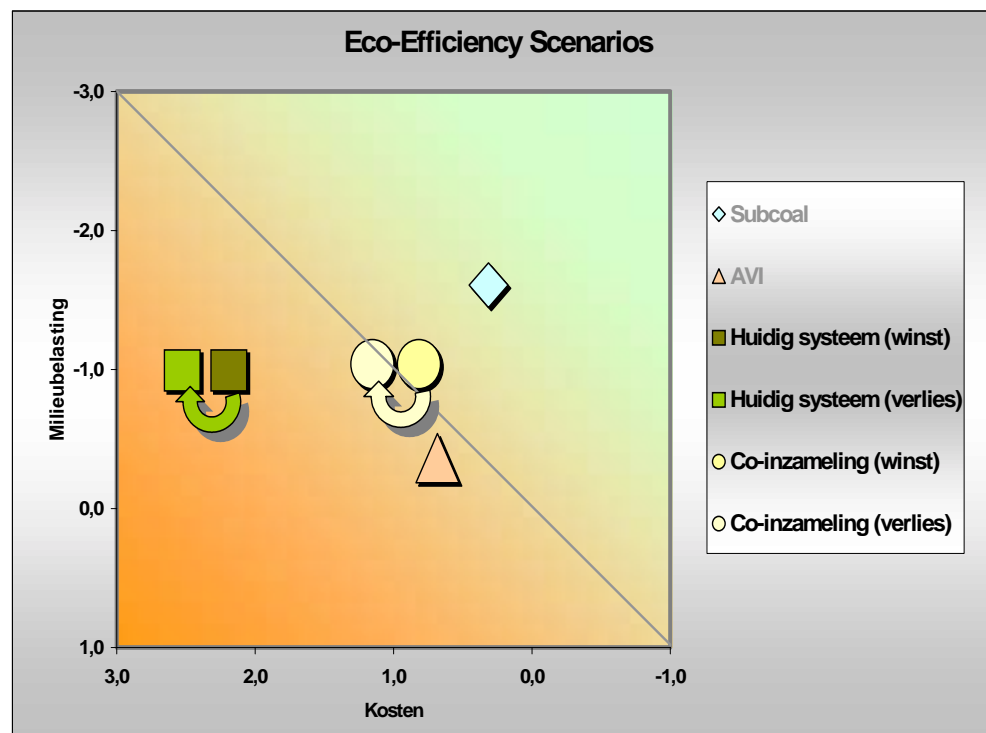


Figuur 17 Gevoeligheid van de eco-efficiency van het subcoal scenario voor een verschuiving in de vermeden productie van elektriciteit uit kolen naar de vermeden productie van elektriciteit uit gas.

8.4 Materiaalrecycling van PS verliesgevend

De economie van het huidige systeem en van het op co-inzameling gebaseerde systeem kent in de fase van materiaalrecycling van PS een netto opbrengst van €29/ton. Het effect van een netto verlies van €40/ton voor de materiaalrecycling van PS op de eco-efficiency is vastgesteld.

Het effect van het verlies van de materiaalrecycling heeft tot gevolg dat de netto kosten van het huidige systeem €518 per ton bedragen en die van het systeem van co-inzameling €176 per ton.



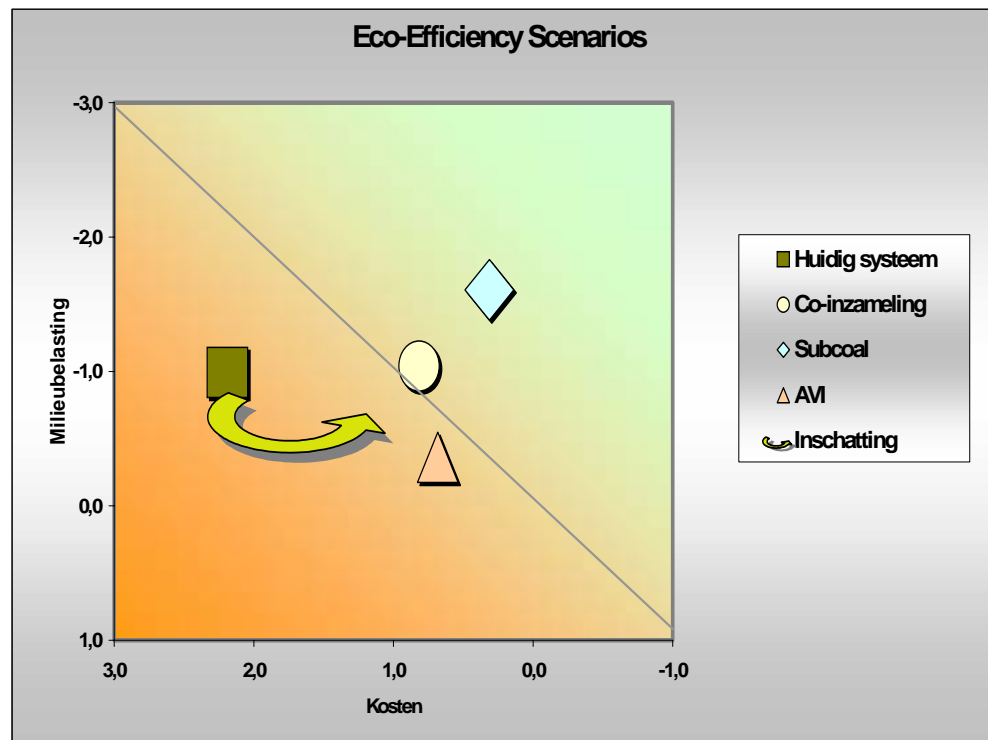
Figuur 18 Gevoeligheid van de eco-efficiency van het huidige systeem en van het systeem van co-inzameling voor een verschuiving van €29/ton baten naar €40/ton kosten voor materiaalrecycling.

Uit Figuur 18 wordt duidelijk dat de eco-efficiency van het huidige systeem en die van co-inzameling verslechtert. Het huidige systeem blijft de laagste eco-efficiency houden. De eco-efficiency van systeem van co-inzameling, dat eerder een positie innam tussen het subcoal scenario en het AVI scenario, wordt nu vergelijkbaar met die van het AVI-scenario (voor de berekening van de eco-efficiency waarden, zie bijlage D).

8.5 80 % inzameling bij 30% van de ontdoeners

Een optie, die verder niet wordt doorgerekend, maar waarvan de eco-efficiency verandering zal worden uitgelegd, is het scenario, waarbij 80% van de bekers wordt ingezameld bij 30% van de abonnees; met andere woorden alleen bij de 30% "grootste" abonnees van de Stichting; wordt ingezameld, waarbij 80% van de bekers wordt opgehaald. De resterende 20% bekers wordt verwerkt met droog bedrijfsafval in een AVI. Voor de kosten is aangenomen dat de kosten per ton voor de inzamel fase duidelijk omlaag gaan. De geschatte kosten voor het systeem gaan €200/ton bedragen en dit kostenniveau ligt tussen dat van het huidige systeem en dat van co-inzameling.

De milieuwinst verbetert enerzijds licht doordat er relatief minder transport nodig is. Anderzijds daalt de milieuwinst, omdat 20% van de bekers in de AVI met energieteerugwinning wordt verwerkt. Waarschijnlijk ligt de uiteindelijke milieuwinst iets onder het niveau van het huidige systeem.



Figuur 19 Inschatting van de eco-efficiency van het scenario "80% inzameling bij 30% van de abonnees".

Introductie van het scenario "80% inzameling bij 30% van de abonnees" geeft ten opzichte van de eco-efficiency van het huidige systeem een verbetering van de eco-efficiency positie. De situatie wordt vergelijkbaar met die voor de AVI route.

9 Conclusies

- Materiaalrecycling van gebruikte éénmalige PS koffiebekers heeft een duidelijk milieuvoordeel ten opzichte van verbranding van de bekens in een AVI met energierterugwinning. Het huidige systeem heeft echter de laagste eco-efficiency van alle 4 vergeleken systemen; dat komt met name door de hoge kosten van het huidige systeem.
- Het huidige systeem en het systeem van co-inzameling scoren qua milieu gelijkwaardig en zijn met name energie-efficiënt; co-inzameling scoort beter met betrekking tot eco-efficiency, omdat de kosten (met name de inzamelkosten) lager zijn.
- De route subcoal als alternatief voor poederkool is minder energie-efficiënt dan het huidige systeem, maar heeft een duidelijk milieuvoordeel wat betreft toxiciteit en finaal afval. Naast de goede milieuproductie heeft deze route duidelijk de laagste kosten van de 4 vergeleken systemen. Daarom scoort de subcoal route voor eco-efficiency duidelijk het beste.
- Subcoal is eco-efficiënt als het poederkool in een energiecentrale vervangt. In de niet reële situatie dat het aardgas (een duidelijk schonere brandstof) vervangt, is het milieuvoordeel weg en scoort de subcoal route wat betreft eco-efficiency vergelijkbaar met de AVI-route.
- De AVI-route heeft een hogere milieubelasting dan de subcoal route en kent ook hogere kosten. Daardoor scoort de AVI-route wat betreft eco-efficiency slechter dan de subcoal route. Wat betreft eco-efficiency heeft het huidige systeem een slechter profiel dan de AVI-route. Onder AVI wordt hier een AVI met energierterugwinning verstaan.
- De eco-efficiency performance wordt duidelijk bepaald door de kosten (economie) enerzijds en de aard van de substitutie van primaire materialen/brandstoffen (milieu) anderzijds. Dus het eco-efficiency profiel wordt beter als:
 - Lagere inzamel- en/of recyclingkosten optreden.
 - Kunststoffen in dunwandige, in plaats van dikwandige, producten worden vervangen.
 - Milieubelastende, in plaats van schonere, brandstoffen worden vervangen in een energiecentrale.
- Hoewel co-inzameling en de subcoal route beide eco-efficiënter zijn dan het huidige systeem, dient geconstateerd te worden dat deze beide routes (nog) niet in de praktijk functioneren (en daardoor dus vooralsnog theoretisch van aard zijn).

10 Referenties

- [1] Ansems, A.M.M., Jong, T.P.R de, 1998, Heroverweging Logistiek Stichting Retour. TNO-rapport TNO-MEP R98/258
- [2] Verhagen H., Brink R.M.M. van den, Duvoort G.L., Meijer P.J., 2001 Monitoring prioritaire afvalstoffen, gegevens 1999; RIVM Rapport 776205006.
- [3] Guinée, J.B. et al, Life cycle assessment - an operational guide to the ISO standard, vol. I, II and III, Centrum voor Milieukunde - Universiteit Leiden, May 2001.
- [4] P.G. Eggels, A.M.M. Ansems, B.L. van der Ven, 2000, Eco-efficiency of recovery scenarios of plastic packaging, R 2000/127
- [5] Afval Overleg Orgaan, 2002, Milieueffectrapport Landelijk Afvalbeheerplan 2002-2012
- [6] Eggels, P.G., Ven, B.L. van der, 2000, Achtergronddata voor de Bouw, een uitwerking in de vorm van een referentie, de VLCA database. TNO-rapport R 2000/109
- [7] Ansems, A.M.M., Krajenbrink, G.W., 1996, Cold Box Feed Preparation Routes, TNO-rapport TNO-MEP 95/338
- [8] Croezen, H.J., Bergsma, G.C., 2000, Subcoal milieukundig beoordeeld; Nagescheiden huishoudelijk kunststofafval in een kolencentrale vergeleken met biomassa, vergassing, verwerking in cementoven en AVI; Publicatienummer: 00.5498.21
- [9] Schöen, L.A.A., Beekes, M.L., Tubergen, J. van, Korevaar, C.H., 2000, Mechanical separation of mixed plastics from household waste and energy recovery in a pulverised coal-fired power station. <http://www.apme.org/>
- [10] AOO, 2003, Gemeentelijke afvalstoffenheffingen 2003. <http://www.aoo.nl/>
- [11] IBO en MDW, 2003, Afvalverwijdering.
- [12] Stichting MRPI, 2000, Handleiding voor het opstellen van milieurelevante productinformatie (MRPI®), versie 1.2 juli 2000
- [13] Pfeiffer, A.E., Lange, T.J. de, 2003, Kosten Duurzame Elektriciteit; Afvalverbrandingsinstallaties. ECN-rapport ECN-C--03-074/E

11 Afkortingen

ADI	: Acceptable daily intake
APME	: Association of plastics manufacturers in Europe
AVI	: Afvalverbrandingsinstallatie
CFK	: Chloorfluorkoolwaterstof
ETH	: Eidgenössische Technische Hochschule
EZH	: Energiemaatschappij Zuid-Holland
FW	: Final waste
GER	: Gross energy requirement
GWP	: Global warming potential
HDO	: Handel, diensten, overheid
HTP	: Human toxicity potential
KWD	: Kantoren, winkels en diensten
LAP	: Landelijk afvalbeheer plan
LCA	: Life cycle assessment
LCI	: Life cycle inventory
LHV	: Lower heating value
MRPI	: Milieu relevante product informatie
NOEC	: No-observed effect concentration
OECD	: Organisation of economic co-operation and development
ODP	: Ozone depletion potential
POCP	: Photochemical ozone creation potential
PPF	: Plastic papier fractie
PE	: Polyetheen
PS	: Polystyreen
RDF	: Refuse derived fuel
RIVM	: Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieuhygiëne
TETP	: Terristic eco-toxicity potential
VMK	: Vereniging milieubeheer kunststof verpakkingen
VOS	: Vluchtige organische stoffen

12 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:
Stichting Disposables Benelux

Namen en functies van de projectmedewerkers:
Dr. T.N. Ligthart
Ir. A.M.M. Ansems

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:
juli – oktober 2003

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

Ir. A.M.M. Ansems
projectleider

Ir. H.S. Buijtenhek
afdelingshoofd

A Berekeningen transport

Huidig systeem

Voor het berekenen van de lading per inzamelwagen is de volgende methode gebruikt.

aantal weken t/m juni	26
weken vakantie	1
weken effectief	25
werkdagen	125
aantal vrachtwagens	3
Bruto ingezameld gewicht (kg)	382220
Kg/wagen.dag	1020

Voor het berekenen van de milieubelasting voor transport van de inzameling naar Eck en Wiel gelden de volgende aannames:

Vrachtwagen heeft 16 ton laadvermogen;

De rit heeft het karakter van een ringrit, waarbij op de helft van de afstand 50% van de vracht aanwezig is;

Dit leidt tot een gemiddelde beladingsgraad⁹ van 3%¹⁰ (50% van 1020 kg gedeeld door 16,000 kg).

Met de waarde van de beladingsgraad wordt met behulp van een LCI-database een correctiefactor bepaald. Met deze factor wordt het aantal ton kilometers gecorrigeerd dat betrekking heeft op een vol beladen truck (met bijbehorende emissiewaarden). Na correctie resteert een reëel aantal ton kilometers waarvoor emissies worden berekend.

Voor het berekenen van de milieubelasting voor het transport van Eck en Wiel naar Kras Recycling BV gelden de volgende aannames:

Vrachtwagen heeft 28 ton laadvermogen;

De lading heeft een gewicht van circa 6,5 ton;

Het gewicht van de container zelf wordt niet meegerekend; dit gewicht is bij het vrachtwagengewicht inbegrepen;

De rit heeft het karakter van vol heen, leeg terug;

Dit leidt tot een gemiddelde beladingsgraad van 11%¹¹;

Voor het berekenen van de milieubelasting voor het transport van Hoek van Holland naar Auba in Vroomshoop gelden de volgende aannames:

Vrachtwagen heeft 28 ton laadvermogen;

Lading is 27 ton;

De rit heeft het karakter van vol heen, leeg terug;

⁹ De beladingsgraad is de massa van de lading gedeeld door het laadvermogen. Bij een beladingsgraad van 0% rijdt de truck leeg en heeft daarbij nog wel verbruik van brandstof en komen er emissies vrij. Bij een vol beladen truck (100% beladingsgraad) is het brandstofverbruik en hiermee ook de emissies hoger dan bij een beladingsgraad van 0%. Een lege truck gebruikt circa 55% van de hoeveelheid brandstof per km ten opzichte van een volledig geladen truck.

¹⁰ Dit resulteert in een correctiefactor voor het gebruik van een 16 ton truck uit de ETH3 LCI database van 0,78. Met andere woorden 1 tonkm met de 16 ton truck telt bij de beladingsgraad van 3% voor 0,78 tonkm. Hierbij is uitgegaan van gelijke afstanden in de bebouwde kom en daarbuiten. Een andere verdeling, bijv. 100% snelweg leidt tot een iets gewijzigde factor: 0,80

¹¹ Dit resulteert in een correctiefactor voor het gebruik van een 28 ton truck uit de ETH3 LCI database van 0,84. Hierbij is uitgegaan van gelijke afstanden in de bebouwde kom en daarbuiten. Een andere verdeling, bijv. 100% snelweg leidt tot een nauwelijks gewijzigde factor: 0,86

Dit leidt tot een gemiddelde beladingsgraad van 48%¹²;

Overzicht te transporteren hoeveelheden

Tabel 14 Overzicht van het aantal tonkilometers transport in het huidige systeem op basis van de afstand en de te transporteren hoeveelheid massa.

Fase	Afstand (km)	Massa (kg)	Factor (-)	tonkm
Transport bedrijven naar Eck en Wiel	275	1198	0,78	258
Transport Eck en Wiel naar Hoek van Holland	210	1198	0,84	210
Transport Hoek van Holland naar Vroomshoop	400	941	1,05	394
Transport karton van Hoek van Holland naar recycler	15	177	1	5,3

Co-inzameling

Voor het transport van de regionale inzamelaar naar Kras in Hoek van Holland gelden de volgende aannames:

De gemiddelde afstand, bepaald met een routeplanner, van de drie regionale inzamel punten (Amsterdam, Zwolle, Den Bosch) tot Hoek van Holland is 100 km enkele reis;

De opgehaalde, gebruikte bekers worden met een vrachtwagen combinatie met twee 40 m³ containers getransporteerd;

Vrachtwagen heeft 28 ton laadvermogen, de lading weegt 6 ton;

Het gewicht van de container zelf wordt niet meegerekend, dit gewicht is bij het vrachtwagengewicht inbegrepen;

De rit heeft het karakter van vol heen, leeg terug;

Dit leidt tot een gemiddelde beladingsgraad van 12%¹³;

Voor het berekenen van de milieubelasting voor het transport van Kras in Hoek van Holland naar Auba in Vroomshoop gelden de volgende aannames:

Vrachtwagen heeft 28 ton laadvermogen;

Afstand enkele reis 200 km

Lading is 27 ton;

De rit heeft het karakter van vol heen, leeg terug;

Dit leidt tot een gemiddelde beladingsgraad van 48%¹⁴;

¹² Dit resulteert in een correctiefactor voor het gebruik van een 28 ton truck uit de ETH3 LCI database van 1,05. Hierbij is uitgegaan van gelijke afstanden in de bebouwde kom en daarbuiten.

¹³ Dit resulteert in een correctiefactor voor het gebruik van een 28 ton truck uit de ETH3 LCI database van 0,84. Hierbij is uitgegaan van gelijke afstanden in de bebouwde kom en daarbuiten. Een andere verdeling, bijv. 100% snelweg leidt tot een nauwelijks gewijzigde factor: 0,86

¹⁴ Dit resulteert in een correctiefactor voor het gebruik van een 28 ton truck uit de ETH3 LCI database van 1,05. Hierbij is uitgegaan van gelijke afstanden in de bebouwde kom en daarbuiten.

Overzicht te transporteren hoeveelheden

Tabel 15 Overzicht van het aantal tonkilometers transport in het systeem van co-inzameling op basis van de afstand en de te transporteren hoeveelheid massa.

Fase	Afstand (km)	Massa (kg)	Factor (-)	tonkm
Transport bedrijven naar regionaal	30	1198	0,89	32
Transport regionaal naar Hoek van Holland	200	1021	1	204
Transport Hoek van Holland naar Vroomshoop	400	941	1	376
Transport karton van Hoek van Holland naar recycler	15	177	1	5,3

Subcoal

De bekens worden samen met droog bedrijfsafval in geheel Nederland ingezameld en in containers naar Wijster gebracht met 28 ton trucks. Als gemiddelde afstand is 150 km aangenomen. Er is aangenomen dat de beladingsgraad 50% bedraagt.

Vanuit Wijster worden de pellets naar de Maasvlakte getransporteerd. Hiervoor is een afstand van 240 km aangenomen. Ook voor dit transport is aangenomen dat de beladingsgraad 50% is.

Overzicht te transporteren hoeveelheden

Tabel 16 Overzicht van het aantal tonkilometers transport in het subcoal systeem op basis van de afstand en de te transporteren hoeveelheid massa.

Fase	Afstand (km)	Massa (kg)	Factor (-)	Transport (tonkm)
Transport bedrijven naar regionaal	30	1000	0,84	25
Transport regionaal naar Wijster	300	1000	1	300
Transport Wijster naar Maasvlakte	480	941	1	423

AVI met energierterugwinning

Het transport vindt plaats met een 28 ton truck waarbij een beladingsgraad van 50% is aangenomen.

Tabel 17 Overzicht van het aantal tonkilometers transport in het AVI-systeem op basis van de afstand en de te transporteren hoeveelheid massa.

Fase	Afstand (km)	Massa (kg)	Factor (-)	tonkm
Transport bedrijven naar regionaal	30	1000	0,84	25
Transport regionaal naar AVI	150	1000	1	150

B Berekeningen hoeveelheid vervuiling

De hoeveelheid vervuiling die bij Kras Recycling BV vrijkomt is als volgt berekend.

Er is voor de periode van 25 maart tot en met 28 april 2003 opgave gedaan van de hoeveelheden karton, vervuiling en bekertjes (zie Tabel 18). Opgaven waarbij geen hoeveelheid vervuiling is aangegeven, zijn voor de berekening buiten beschouwing gelaten. Dit geldt ook voor zendingen zonder kunststof bekertjes.

De gevonden hoeveelheid vervuiling is 8%, de hoeveelheid karton 10% en kunststof 82% op gewichtsbasis.

Tabel 18 Overzicht hoeveelheden inkomend materiaal, karton, vocht/ vervuiling en kunststof; percentages vervuiling, karton en kunststof zijn berekend.

datum	bruto in	karton (kg)	vocht/vuil (kg)	kunststof netto in	%vuil	%karton (netto)	%kunststof (netto)
25-03-03	920	540	380	0	41%	59%	0%
28-03-03	4600	860	220	3520	5%	19%	77%
1/4/03	600	340	260	0	43%	57%	0%
1/4/03	7200	320	650	6230	9%	4%	87%
4/4/03	6860	660	1040	5160	15%	10%	75%
8/4/03	620	500	120	0	19%	81%	0%
9/4/03	6740	640		6100			
9/4/03	5040	580		4460			
11/4/03	6400	350	704	5346	11%	5%	84%
15/4/2003	580	580		0			
16/4/2003	4240	660	290	3290	7%	16%	78%
17/4/2003	7140	420	570	6150	8%	6%	86%
22/4/2003	5520	760	190	4570	3%	14%	83%
24/4/2003	6000	240	320	5440	5%	4%	91%
28/4/2003	640	360	280	0	44%	56%	0%
Gemiddeld					8%	10%	82%

De hoeveelheid vervuiling die vrijkomt bij AUBA is gebaseerd op de rapportage van de Stichting Disposables Benelux. In de periode van januari tot juni 2003 kwam er bij de recycler (Auba) 311.057 kg aan recyclebare PS bekertjes binnen. De hoeveelheid netto PS bekertjes bedroeg in dezelfde periode 262.153 kg. Aangenomen is dat het verschil van 48.904 kg vocht en vervuiling betreft. Dit betekent dat recyclebare PS bekertjes 16% vervuiling bevatten. De totale hoeveelheid vervuiling komt hiermee op 24%.

C Resultaten LCA

In deze bijlage worden de genormaliseerde milieuprofielen in tabelvorm weergegeven (zie tabellen 19 tot en met 25).

Tabel 19 Genormaliseerde milieuprofiel van het huidige systeem.

Categorie	1.1 ¹	1.2	1.3	1.4	1.5
	Inzameling	Opslag	Voorbehandeling	Recycling	Transport
GWP	0.0E+00	5.0E-13	1.4E-11	-7.3E-09	8.0E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-3.6E-11	2.8E-10
HTP	0.0E+00	5.9E-14	1.6E-12	-2.1E-11	3.6E-10
TETP	0.0E+00	2.4E-13	6.7E-12	-1.8E-10	5.2E-10
POCP	0.0E+00	8.7E-14	2.4E-12	-3.0E-10	3.7E-10
GER	0.0E+00	5.4E-13	1.5E-11	-1.9E-08	9.5E-10
FW	0.0E+00	3.4E-12	2.2E-10	1.0E-09	0.0E+00

Tabel 20 Genormaliseerde milieuprofiel van het huidige systeem, gevoeligheidsanalyse 50% vermeden productie primair PS.

Categorie	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	Inzameling	Opslag	Voorbehandeling	Recycling	Transport
GWP	0.0E+00	5.0E-13	1.4E-11	-4.0E-09	8.0E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-3.6E-11	2.8E-10
HTP	0.0E+00	5.9E-14	1.6E-12	4.9E-12	3.6E-10
TETP	0.0E+00	2.4E-13	6.7E-12	-4.6E-11	5.2E-10
POCP	0.0E+00	8.7E-14	2.4E-12	-1.5E-10	3.7E-10
GER	0.0E+00	5.4E-13	1.5E-11	-1.1E-08	9.5E-10
FW	0.0E+00	3.4E-12	2.2E-10	1.4E-09	0.0E+00

Tabel 21 Genormaliseerde milieuprofiel van het systeem van co-inzameling.

Categorie	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	Inzameling	Opslag	Voorbehandeling	Recycling	Transport
GWP	0.0E+00	5.0E-13	1.2E-11	-7.3E-09	4.7E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-3.6E-11	1.7E-10
HTP	0.0E+00	5.9E-14	1.4E-12	-2.1E-11	2.3E-10
TETP	0.0E+00	2.4E-13	5.7E-12	-1.8E-10	3.5E-10
POCP	0.0E+00	8.7E-14	2.1E-12	-3.0E-10	2.7E-10
GER	0.0E+00	5.4E-13	1.3E-11	-1.9E-08	6.0E-10
FW	0.0E+00	3.4E-12	2.1E-10	1.0E-09	0.0E+00

¹ 1.1 betekent scenario 1, stap (fase) 1

Tabel 22 Genormaliseerde milieuprofiel van het systeem van co-inzameling, gevoeligheidsanalyse 50% vermeden productie primair PS.

Categorie	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	Inzameling	Opslag	Voorbehandeling	Recycling	Transport
GWP	0.0E+00	5.0E-13	1.2E-11	-4.0E-09	4.7E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-3.6E-11	1.7E-10
HTP	0.0E+00	5.9E-14	1.4E-12	4.9E-12	2.3E-10
TETP	0.0E+00	2.4E-13	5.7E-12	-4.6E-11	3.5E-10
POCP	0.0E+00	8.7E-14	2.1E-12	-1.5E-10	2.7E-10
GER	0.0E+00	5.4E-13	1.3E-11	-1.1E-08	6.0E-10
FW	0.0E+00	3.4E-12	2.1E-10	1.4E-09	0.0E+00

Tabel 23 Genormaliseerde milieuprofiel van het systeem van de subcoal route.

Categorie	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	Inzameling	Overslag	Voorbehandeling	Recovery	Transport
GWP	0.0E+00	4.1E-13	3.0E-10	-4.2E-09	5.3E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	2.9E-12	8.3E-15	1.9E-10
HTP	0.0E+00	4.9E-14	4.0E-11	-1.3E-09	2.6E-10
TETP	0.0E+00	2.0E-13	9.2E-11	-9.3E-09	3.9E-10
POCP	0.0E+00	7.2E-14	5.3E-11	-3.8E-09	3.0E-10
GER	0.0E+00	4.5E-13	3.6E-10	-1.4E-08	6.6E-10
FW	0.0E+00	2.0E-13	2.7E-10	-1.3E-08	0.0E+00

Tabel 24 Genormaliseerde milieuprofiel van het systeem van de subcoal route, gevoeligheidsanalyse vermeden elektriciteitsproductie op basis van aardgas.

Categorie	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	Inzameling	Overslag	Voorbehandeling	Recovery	Transport
GWP	0.0E+00	4.1E-13	3.0E-10	4.3E-10	5.3E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	2.9E-12	8.3E-15	1.9E-10
HTP	0.0E+00	4.9E-14	4.0E-11	-7.7E-10	2.6E-10
TETP	0.0E+00	2.0E-13	9.2E-11	-2.9E-10	3.9E-10
POCP	0.0E+00	7.2E-14	5.3E-11	-1.2E-10	3.0E-10
GER	0.0E+00	4.5E-13	3.6E-10	-9.7E-09	6.6E-10
FW	0.0E+00	2.0E-13	2.7E-10	0.0E+00	0.0E+00

Tabel 25 Genormaliseerde milieuprofiel van het systeem van de AVI route.

Categorie	4.1	4.2	4.3	4.4
	Inzameling	Overslag	Recovery	Transport
GWP	0.0E+00	4.1E-13	5.3E-09	1.2E-10
ODP	0.0E+00	0.0E+00	-2.3E-11	4.5E-11
HTP	0.0E+00	4.9E-14	-8.5E-10	6.0E-11
TETP	0.0E+00	2.0E-13	-3.0E-09	8.8E-11
POCP	0.0E+00	7.2E-14	-1.1E-09	7.0E-11
GER	0.0E+00	4.5E-13	-8.0E-09	1.5E-10
FW	0.0E+00	2.0E-13	-2.9E-09	0.0E+00

D Resultaten Eco-efficiency

In deze bijlage worden de eco-efficiency berekeningen gegeven.
Voor de waarden van de 4 vergeleken scenario's; zie Tabel 26.

Tabel 26 Overzicht van de waarden voor de kosten en de milieubelasting waarop het eco-efficiency diagram is gebaseerd.

Systeem	Kosten (€)	Kosten (gem. = 1)	Milieu	Milieu (gem. = -1)
Huidig systeem	449	2.19	-3.8E-09	-0.99
Co-inzameling	167	0.82	-3.9E-09	-1.04
Subcoal	64	0.31	-6.1E-09	-1.61
AVI	140	0.68	-1.4E-09	-0.36
gemiddeld (absoluut)	205	1.00	3.8E-09	-1.00

Voor de in de gevoeligheidsanalyse bekeken systemen zijn de waarden gegeven in Tabel 27.

Bij de berekeningen zijn de gemiddelden uit Tabel 26 gebruikt.

Tabel 27 Overzicht van de waarden voor de kosten en de milieubelasting waarop de eco-efficiency diagrammen voor de gevoeligheidsanalyses zijn gebaseerd.

Systeem	Kosten (€)	Kosten (gem. = 1)	Milieu	Milieu (gem. = -1)
Huidig systeem (50%)	449	2.19	-1.7E-09	-0.46
Co-inzameling (50%)	167	0.82	-1.9E-09	-0.51
Huidig systeem (verlies)	518	2.53	-3.8E-09	-0.99
Co-inzameling (verlies)	236	1.15	-3.9E-09	-1.04
Subcoal (gas)	64	0.31	-1.2E-09	-0.30
Subcoal (mix)	64	0.31	-3.6E-09	-0.96
gemiddeld (absoluut)	205	1.00	3.8E-09	-1.00