

Vergisting en papierrecycling van karton-PLA koffiebekers

Tom Ligthart (TNO), Martien van den Oever (WFBR)

Rapport nr. 1792



Milieu-impact van twee verwerkingsroutes voor warme drankenbekers

Vergisting en papierrecycling van karton-PLA koffiebekers

Tom Ligthart (TNO), Martien van den Oever (Wageningen FBR)

Rapport nr. 1792

Colofon

Titel	Milieu-impact van twee verwerkingsroutes voor warme drankenbekers – Vergisting en papierrecycling van karton-PLA koffiebekers
Auteur(s)	Tom Ligthart (TNO), Martien van den Oever (Wageningen FBR)
Nummer	Wageningen Food & Biobased Research nummer 1792
ISBN-nummer	ISBN nummer 978-94-6343-883-4
DOI	https://doi.org/10.18174/434835
Publicatiedatum	Februari 2018
Versie	eindversie
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	
Goedgekeurd door	Jan Jetten
Review	Intern
Naam reviewer	Harriëtte Bos (WFBR), Toon Ansems (TNO)
Financier	RVO.nl
Opdrachtgever	RVO.nl

Wageningen Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl/foodandbiobased-research

© Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.

Samenvatting

De Rijksoverheid gebruikt op dit moment warmedrankenbekers gemaakt uit papierzvezels met een coating van PLA. Tot begin 2017 werden deze bekertjes na gebruik nog in de afvalenergiecentrale (AEC) verwerkt. Maar per 1 mei 2017 is er een pilot gestart met twee verschillende manieren van afvalverwerking:

1. Collect a cup, waarbij de warmedrankenbekers door de firma Renewi (voorheen Van Gansewinkel) worden ingezameld en door papierfabriek WEPA Nederland B.V. (voorheen Van Houtum B.V.) worden verwerkt tot toiletpapier en tissues.
2. Vergisting en compostering, waarbij de warme drankenbekers door Attero worden vergist, waarbij biogas ontstaat en de rest wordt gecomposteerd tot compost.

De overheid wil inzicht in de duurzaamheid van deze beide verwerkingsroutes om een keuze te kunnen maken voor de meest duurzame. Wageningen Food and Biobased Research (WFBR) en TNO als onderaannemer hebben de opdracht gekregen om een studie uit te voeren waarin de milieu-impact van deze twee verwerkingsroutes voor warme drankenbekers worden vergeleken.

De milieu-evaluatie omvat voor alle alternatieven dezelfde vergelijkingsbasis, die de functionele eenheid wordt genoemd. Aangezien deze eenheid voor alle onderscheiden systemen gelijk is, waarborgt het zo een gelijkwaardige vergelijking. De functionele eenheid is hierna gedefinieerd.

Functionele eenheid

De inzameling, verwerking en recycling van 1000 door consumenten afgedankte koffiebekers, inclusief aanhangend vocht en vuil.

De functionele eenheid bevat dus 1000 schone koffiebekers met daarnaast het aanhangende vocht en vuil, zoals productresten.

Voor de milieu-evaluatie is de een veel gebruikte effectbeoordelingsmethode gebruikt: ReCiPe midpoints. Door deze methode te combineren met schaduw prijzen, die een milieueffect vertalen naar schade- ofwel schaduwkosten, kunnen alle milieueffectcategorieën worden uitgedrukt in een monetaire eenheid en daardoor kunnen de milieuprofielen van de alternatieven eenduidig met elkaar worden vergeleken. Vergeleken met ReCiPe endpoints, dat ook een geaggregeerde milieubelasting oplevert, is het voordeel dat deze methode waarde vrij is en niet gebaseerd is op een waardeoordeel van een panel zoals voor de endpoints het geval is. Als alternatieve beoordelingsmethode is in dit rapport de Carbon footprint genomen vanwege de relevantie voor het beleid.

Uit de resultaten van de milieu-analyse blijkt dat bij evaluatie van het volledige milieuprofiel de recyclingroute het beste presteert met €1,22 vermeden milieukosten per 1000 bekertjes. Dit mede dankzij dat 89% van de ingezamelde koffiebekers geschikt wordt bevonden voor recycling. De

bekers met teveel verontreiniging worden in de afvalenergiecentrale verwerkt, waar energie wordt teruggewonnen. De vergistingsroute neemt met een milieuprestatie van €0,45 vermeden milieukosten de tweede plaats in en presteert beter dan verwerking van afgedankte bekers in de AEC (€0,28 vermeden milieukosten).

Wanneer alleen naar het effect van klimaatverandering (CO₂ uitstoot) wordt gekeken presteert de vergistingsroute het beste met een vermijding van 5,4 kg CO₂-eq. per 1000 ingezamelde bekers. Dit alternatief wordt gevolgd door achtereenvolgens de AEC en daarna de recyclingroute. De recyclingroute presteert bij de Carbon footprint het minst, omdat het vermijden van primaire papierpulp een relatief geringe winst voor klimaatverandering oplevert.

De komende ($\pm$ 3) jaren zijn voor gecoate kartonnen koffiebekers geen andere verwerkingsroutes op industriële schaal te verwachten dan de nu toegepaste en onderzochte: vergisten tot biogas en recycelen tot papier, naast verbranden in een AEC. Eveneens worden geen significante verbeteringen in de technologieën verwacht. Wel zijn er andere bio-based warmedrankenbekers op de markt waarvan de milieupact tijdens productie en in de afvalverwerkingsfase mogelijk concurrerend is.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
1.1 Doel en reikwijdte van het milieu-advies	7
1.2 Leeswijzer	8
1.3 Functionele eenheid	8
1.4 Systeemgrenzen	9
1.5 Gebruikte LCA beoordelingsmethode	9
2 Recycling van koffiebekers	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Inventarisatie sorteer- en recyclingsproces	11
3 Vergisting gevolgd door compostering van koffiebekers	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Inventarisatie vergisting	14
4 LCA analyse en advies	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Recycling van koffiebekers	17
4.3 Vergisting van koffiebekers	19
4.4 Vergelijking van de verwerkingsroutes	21
4.5 Gevoeligheidsanalyses	23
5 Potentiële andere verwerkingsroutes in ontwikkeling	27
5.1 Karton-PLA versus karton-PE bekers	27
5.2 Bio-based plastic koffiebekers	27
5.3 Biovezel versterkte/gevulde composieten	28
5.4 Vergisting en recycling	29
6 Conclusies en aanbevelingen	31
6.1 Levenscyclusanalyse	31
6.2 Alternatieve verwerkingsroutes	32
Literatuur	33
Lijst van afkortingen	35
Bijlage A LCA netwerken	36
Bijlage B Gekarakteriseerde resultaten verwerkingsroutes	43

1 Inleiding

De Rijksoverheid gebruikt op diverse ministeries warme drankenbekers gemaakt uit papiergevezels met een coating van PLA. Uiteindelijk zal de gehele Rijksoverheid overgaan naar een duurzame warme drankenbeker waar geen fossiele grondstoffen in zijn verwerkt. Tot eind maart 2017 werden deze bekens na gebruik nog via afvalverbranding verwerkt, maar per 1 mei 2017 is er een pilot gestart met twee verschillende manieren van afvalverwerking:

1. Collect a cup, waarbij de warme dranken bekens door de firma Renewi worden ingezameld en door papierfabriek WEPA Nederland B.V. worden omgezet naar toiletpapier en tissues.
2. Vergisting en compostering, waarbij de warme drankenbekens door Attero worden vergist waarbij biogas ontstaat en de rest wordt gecomposteerd tot compost.

De overheid wil inzicht in de duurzaamheid van deze beide verwerkingsroutes, teneinde een keus te maken voor de meest duurzame. Wageningen Food and Biobased Research en TNO Sustainability zijn daarom door RVO gevraagd een voorstel te maken voor een studie waarin de milieu-impact van deze twee verwerkingsroutes voor warme drankenbekens worden vergeleken.

1.1 Doel en reikwijdte van het milieu-advies

Het doel van deze studie is de Rijksoverheid duidelijkheid te geven over het milieuvoordeel van de recycling van koffiebekens ten opzichte van het verbranden van koffiebekens in een afvalenergiecentrale (AEC). Het voorliggende onderzoek is een milieukundige studie van de verwerking van kartonnen warmedrankbekens afgedankt na gebruik door de consument. In het vervolg spreken we voor het gemak over koffiebekens, omdat koffie veruit de meest genuttigde warme drank is; echter in principe worden ook de overige warme dranken, aangeboden in dezelfde bekens, meegenomen. De studie omvat de milieueffecten van de inzameling van afgedankte koffiebekens, de verwerking daarvan en de milieuvordelen van het vervangen van andere grondstoffen, door de inzet van secundair materiaal uit koffiebekens.

Hoofddoel van de studie is het vergelijken van de milieueffecten van inzameling via het restafval en verbranding in een AEC van koffiebekens met die van twee verschillende vormen van recycling. Het eerste alternatief is de recycling van de koffiebekens tot pulp, dat gebruikt wordt voor de productie van sanitair papier; hierdoor wordt de inzet van primaire sulfaatpulp vermeden. Het tweede alternatief is vergisting en compostering, waarbij het geproduceerde biogas de inzet van aardgas en/of door inzet in een WKK-installatie de Nederlandse mix van elektriciteit en warmte vermijdt. De te vergelijken alternatieven zijn dus:

1. Gescheiden inzameling gevolgd door sorteren en recycling van koffiebekens
2. Gescheiden inzameling gevolgd door vergisting en compostering van koffiebekens
3. Inzameling met restafval en verbranding in een AEC

De productie van koffiebekers, voordat deze bij de consument terechtkomen, is niet opgenomen in de studie. Ook de productie van de warme dranken, die uit de koffiebekers worden gedronken, en het gebruik daarvan vallen buiten de scope van deze studie.

De milieuprestatie van deze drie varianten wordt door middel van de levenscyclusanalyse (LCA) vastgesteld; hierbij worden de ISO-normen voor LCA (ISO, 2006a, 2006b) als uitgangspunt genomen.

1.2 Leeswijzer

Een nadere toelichting op de systeemgrenzen, de functionele eenheid en de gebruikte LCA methode worden in de volgende paragrafen besproken. In de hoofdstukken 2 en 3 zijn de processen van respectievelijk de recycling en vergisting van koffiebekers beschreven. De berekende milieu-impact van de verwerkingsroutes met uitleg wordt gepresenteerd in hoofdstuk 4, evenals een onderlinge vergelijking en een vergelijking met verwerking in een AEC.

Naast de milieu-impact analyse van de karton-PLA koffiebekers, is een analyse gemaakt van de meest relevante ontwikkelingen van de verwerking van soortgelijke producten; een doorkijk over de komende 3 jaar is in hoofdstuk 5 gegeven.

Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

Details van LCA netwerken en gekarakteriseerde milieu-impact waarden zijn samengevat in de bijlagen.

In dit rapport worden de volgende resultaten gepresenteerd:

- De milieuprestatie van de varianten voor de inzameling en verwerking van door de consument afgedankte koffiebekers;
- Een uitleg van de milieuprestatie van de varianten, zoals de bijdragen van onderliggende processen;
- Een onderlinge vergelijking van de varianten, waarbij die van verwerking in een afvalenergiecentrale als referentie dient.

1.3 Functionele eenheid

Centraal in de evaluatie van de verwerking van koffiebekers staat de functionele eenheid. Deze eenheid is voor alle te beschouwen systemen gelijk en waarborgt zo een gelijkwaardige vergelijking. De functionele eenheid is hierna gedefinieerd.

De inzameling, verwerking en recycling van 1000 door consumenten afgedankte koffiebekers, inclusief aanhangend vocht en vuil.

De functionele eenheid bevat dus 1000 schone koffiebekers en daarnaast het aanhangende vocht en vuil, zoals productresten. De koffiebekers bestaan voor 85% uit karton met aan de binnenzijde een coating van polymelkzuur (PLA, 14% van de totale massa) en 1% inkt (Pelican Rouge, 2017). Het PLA werkt als een effectieve vochtbarrière. Roerstaafjes en dergelijke vallen

onder de noemer vocht en vuil. Daar de hoeveelheden vocht en vuil niet uit metingen bekend zijn, is een inschatting gemaakt op basis van een eerdere studie (Ligthart en Ansems, 2004). De voor deze studie gehanteerde waarden zijn respectievelijk 10% en 20%.

1.4 Systeemgrenzen

De milieu-evaluatie start op het moment, waarop een koffiebeker haar functie verliest. De milieubelasting van de beker zelf maakt dus geen deel uit van de milieuevaluatie. Productresten maken als ‘vocht en vuil’ wel deel uit van de studie. Het transport en de verwerking van ‘vocht en vuil’ na dit transport, zoals bijvoorbeeld in een waterzuivering, maakt ook deel uit van de milieu-evaluatie.

Aspecten die binnen het systeem vallen, maar niet worden inbegrepen, zijn infrastructuur (gebouwen, machines en transportmiddelen zelf) en lange termijn emissies, die niet in de eerste honderd jaar na afdanking van de koffiebekers ontstaan. De redenen hiervoor zijn dat de lange termijn emissies een grote onzekerheid kennen; het uitsluiten van de infrastructuur is gebaseerd op de doorgaans geringe bijdrage, in termen van massa, aan de totale massabalans. Voor wat betreft de lange termijn emissies, dit speelt met name voor enkele achtergrondprocessen, wordt de onzekerheid verder vergroot doordat er geen zicht is op beheersmaatregelen van deze emissies op de lange termijn. Daarnaast wordt ook het transport van personeel, actief in de beschouwde systemen, niet meegenomen in de studie.

1.5 Gebruikte LCA beoordelingsmethode

Voor de milieu-evaluatie, ofwel effectbeoordeling, wordt gebruik gemaakt van de ReCiPe midpoints methode, waarbij de resultaten als enkelvoudige score worden getoond (Goedkoop et al., 2013). Deze ReCiPe methode heeft een zogenaamde midpoint benadering, waarbij de nadruk op de afzonderlijke milieueffecten ligt. De milieueffectcategorie wordt dan gepresenteerd in een eenheid die de milieudruk aangeeft. Voor klimaatverandering, bijvoorbeeld, is de eenheid kg CO₂-equivalenten. Bij het gebruikmaken van de midpoint methode kan de milieubelasting in één getal worden uitgedrukt door het toepassen van zogenaamde schaduw prijzen (De Bruyn et al., 2017; Harmelen et al., 2006). Iedere milieueffectcategorie heeft zijn eigen schaduw prijs (zie Tabel 1), de schaduw prijzen geven de schade aan het milieu vertaald naar euro's (€) aan. Vergeleken met ReCiPe endpoints, dat ook een geaggregeerde milieubelasting oplevert, is het voordeel dat deze methode waarde vrij is en niet gebaseerd is op een waardeoordeel van een panel zoals voor de endpoints het geval is.

Tabel 1 Schaduwprijzen behorende bij de ReCiPe midpointmethode (De Bruyn et al., 2017).

Effectcategorie	Eenheid	Schaduwprijs
Klimaatverandering	€/kg CO ₂ -eq.	€ 0,057
Aantasting ozonlaag	€/kg CFC-eq.	€ 123
Humane toxiciteit	€/kg 1,4DB-eq.	€ 0,158
Fotochemische oxidantvorming	€/kg NMVOC-eq.	€ 2,1
Fijnstofvorming	€/kg PM ₁₀ -eq.	€ 69
Radiatie, ioniserende straling	€/kg kBq U235-eq.	€ 0,0473
Verzuring, land	€/kg SO ₂ -eq.	€ 8,89
Vermesting, zoetwater	€/kg P-eq.	€ 1,9
Vermesting, zoutwater	€/kg N	€ 3,11
Ecotoxiciteit, land	€/kg 1,4DB-eq.	€ 8,89
Ecotoxiciteit, zoetwater	€/kg 1,4DB-eq.	€ 0,0369
Ecotoxiciteit, zoutwater	€/kg 1,4DB-eq.	€ 0,00756
Landgebruik	€/(m ² *jaar)	€ 0,037
Landtransformatie	m ²	-
Waterconsumptie	m ³	€ 0,89 ^a
Uitputting, metalen	kg Fe	-
Uitputting, fossiel	kg olie	-

^aVoor uitputting van grondstoffen geven (De Bruyn et al., 2017) geen schaduwprijs, de prijs van €0,89 is afgeleid van de economische schade bij geïrrigeerde teelten.

Het systeem omvat ingaande en uitgaande stromen. Bij ingaande stromen moet worden gedacht aan het gebruik van grondstoffen, zoals mineralen, energiedragers en water. De uitgaande stromen betreffen de emissies naar bodem, water en lucht. In de onderhavige rapportage worden de geaggregeerde resultaten gepresenteerd, waarbij de vijf meest bijdragende effectcategorieën apart worden getoond. De niet-geaggregeerde resultaten worden in Bijlage B *Gekarakteriseerde resultaten verwerkingsroutes* gepresenteerd.

In de effectbeoordeling wordt de opname van kooldioxide door biogene processen, vastgelegd in het kanton van de drankenkantons, en de latere emissie van de biogene kooldioxide, bijvoorbeeld bij verbranding, als klimaatneutraal beschouwd. Voor fossiel CO₂ wordt een karakterisatiefactor van 1 kg CO₂-eq. gebruikt. Door deze wijze van modelleren worden de voordelen van energierugwinning uit hernieuwbare grondstoffen, zoals dat in de AEC gebeurt, op een reële wijze meegenomen. Op verzoek van de opdrachtgever worden de resultaten ook gepresenteerd als een zogenaamde carbon footprint, waarbij alleen de effectcategorie 'Klimaatverandering' wordt beschouwd.

2 Recycling van koffiebekers

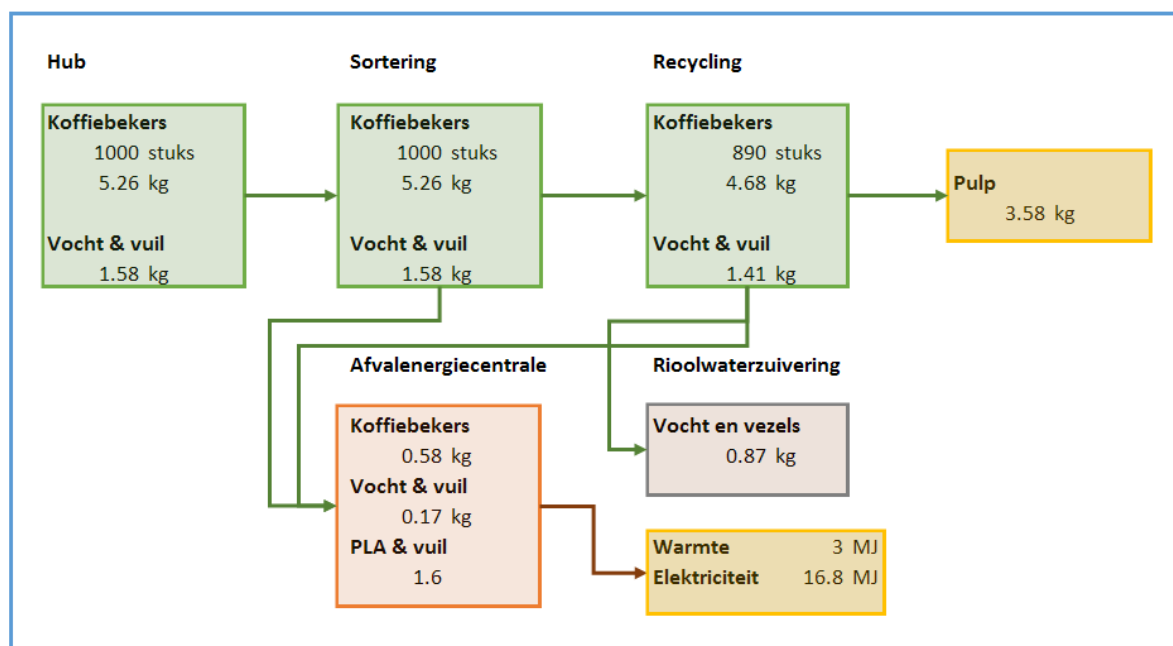
2.1 Inleiding

Koffiebekers worden gemaakt van hoogwaardig karton en dit karton kan worden gerecycled tot nieuw karton of papier. WEPA Nederland B.V., het vroegere Van Houtum B.V., recycleert oud papier en karton, op haar locatie in Swalmen, tot sanitair papier zoals toiletpapier en handdoekjes. Als proef worden ook afgedankte koffiebekers afkomstig van de Rijksoverheid verwerkt. Recycling van koffiebekers vermijdt op de Nederlandse markt direct en indirect, doordat andere bronnen van oud papier en karton niet worden aangesproken, het gebruik van primaire pulp uit hout. De voor de milieuanalyse benodigde gegevens worden hierna besproken.

2.2 Inventarisatie sorteer- en recyclingsproces

Vanaf de hubs waar de ingezamelde bekertjes naar toe zijn gebracht, worden deze per vrachtwagen naar Destra, een onderdeel van Renewi dat onder meer oud papier en karton verwerkt, gebracht voor het uitsorteren van niet voor recycling geschikte bekertjes en van niet-bekertjes materiaal. Daar bedrijfsspecifieke data over het sorteerproces ontbreken, is het sorteerproces voor oud papier en karton vanecoinvent¹ gebruikt. Wel is voor dit proces de elektriciteit als afkomstig van het Nederlandse net gekozen. Van de ingezamelde bekertjes is gemiddeld 89% volgens Destra geschikt voor recycling en wordt de resterende 11% afgekeurd. Deze laatste fractie wordt voor verdere verwerking getransporteerd naar de afvalenergiecentrale (AEC); zie Figuur 1. De afgekeurde stroom bevat bijvoorbeeld veel vreemde materialen zoals verpakkingen. De bekertjes die geschikt zijn voor recycling worden per vrachtwagen naar WEPA getransporteerd. Aangezien meetgegevens over het percentage vocht en vuil niet voorhanden zijn, is geen onderscheid gemaakt in het gehalte vocht en vuil voor de goedgekeurde en de afgekeurde bekertjes.

¹ *“Waste paperboard, sorted {Europe without Switzerland} | treatment of waste paperboard, sorting plant”*



Figuur 1 Stroomschema recycling koffiebekers. Vermeden producten zijn in gele kaders weergegeven.

Bij WEPA worden de koffiebekers vanuit de opslag van het inkomende materiaal in de pulper gebracht, waar deze met proceswater, afkomstig uit het papierproces, worden gemixt tot een slurrie, waarin de kartonvezels zijn losgemaakt uit de bekertjes. Vervolgens vindt er een reiniging plaats met elders uit het papierproces teruggewonnen proceswater. WEPA wekt 7,5% van de benodigde elektriciteit op met zonnepanelen (PV). De rest is gecertificeerde stroom van Noorse waterkrachtcentrales. Het elektriciteitsgebruik van de papiermachine is buiten beschouwing gelaten, omdat alleen de pulpbereiding zelf onderdeel van de analyse is. Zie verder Tabel 2. Aangenomen is dat het vocht en de niet teruggewonnen vezels (10%) in de afvalwaterstroom terecht komen en verwerkt worden in de waterzuivering. De PLA coating wordt afgescheiden evenals het vaste vuil dat met de koffiebekers is meegekomen; deze twee stromen worden in de AEC verwerkt.

Tabel 2 Inventarisatie recyclingproces WEPA.

Processtroom	Hoeveelheid	Eenheid
Elektriciteit	173.8	kWh/ton
Aandeel eigen fotovoltaïsch	7,5	%
Proceswater	4,0	m ³ /ton
Afvalwater naar RWZI	4,0	m ³ /ton
Rejects	10	%

De transport afstanden zijn gebaseerd op een op full time equivalent (FTE) gewogen gemiddelde afstand tussen de locaties van overheidskantoren en Destra te Breda, waarbij er van uit is gegaan dat de afstand tussen kantoren en de hub gemiddeld 20 km is. Deze afstand van 20 km wordt

voor de milieubelasting buiten beschouwing gelaten, daar de bestelwagens de bakers op een lege retourrit meenemen. De transportafstand naar Breda is op basis van 85% van het totaal aantal fte's 79.2 km. De afstand tussen Destra en WEPA bedraagt 127 km. Voor het transport naar de AEC, voor de verwerking van rejects, is een afstand van 75 km aangenomen. Door de energierugwinning in de AEC wordt aan externe netten warmte en elektriciteit geleverd; dit vermijdt de conventionele opwekking van warmte (met aardgas) en elektriciteit (NL mix), zie Tabel 3.

Tabel 3 Door verbranding van 1 kg op huisvuil gelijkend afval, met een LHV van 9,45 MJ/kg opgewekte vermeden energie (MJ)².

Vermeden energie	Hoeveelheid
Electriciteit, hoogspanning {NL}	1,98
Warmte, industrie/warmtenetten aardgas {Europa}	0,36
Warmte, centraal/kleinschalig aardgas {Europa}	0,39

² Gemiddelde stookwaarde van restafval gebaseerd op (Rijkswaterstaat, 2017)

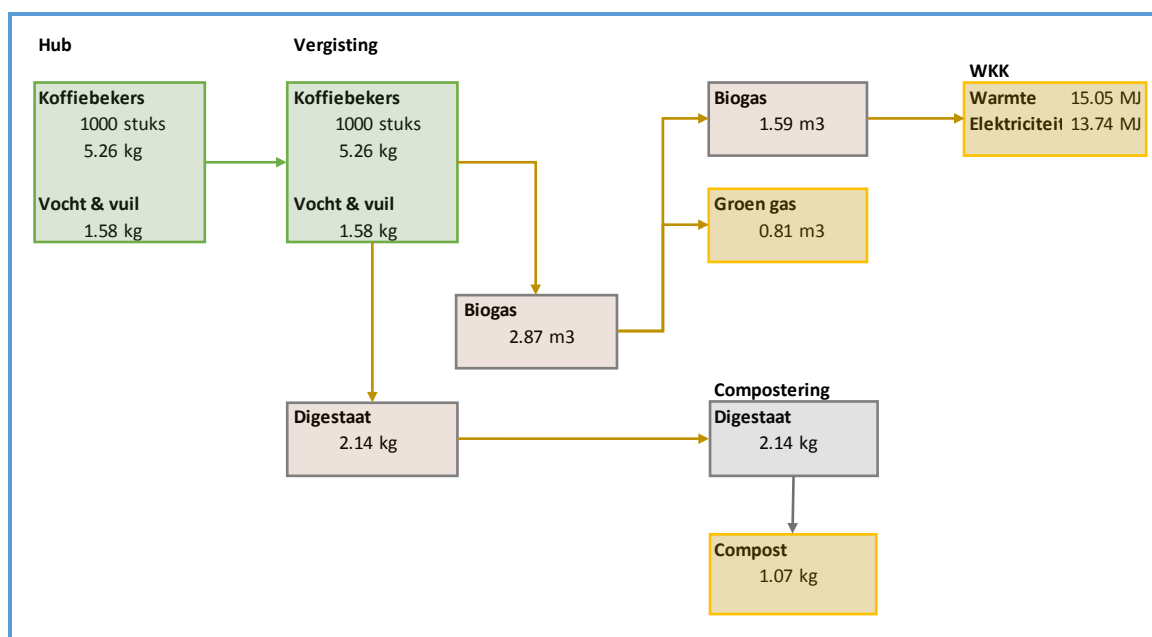
3 Vergisting gevolgd door compostering van koffiebekers

3.1 Inleiding

Het karton van koffiebekers kan ook, samen met het vocht en vuil, worden vergist. De vergisting levert biogas en digestaat op. Het digestaat wordt vervolgens gecomposteerd en levert dan compost op. Het biogas wordt soms opgewerkt tot zogenaamd groen gas, dat aardgas vervangt of het biogas wordt als brandstof in een warmtekrachtinstallatie gebruikt en dat levert warmte en elektriciteit op. De voor de milieuanalyse benodigde gegevens, die specifiek zijn voor de locatie Wijster van Attero, worden hierna besproken.

3.2 Inventarisatie vergisting

Vanaf de hubs waar de ingezamelde bekers naar toe zijn gebracht worden deze per vrachtwagen naar Attero in Wijster getransporteerd voor de vergisting van de bekers samen met het meegekomen vocht en vuil. Sortering is als tussenstap niet nodig, de bekers gaan via een tussenopslag direct de vergistingsinstallatie in. De biogasopbrengst van de vuile bekers is door middel van een proef vastgesteld en bedraagt gemiddeld 419 Nm³/ton met een methaangehalte van 51% (OPure B.V., 2017). De te vergisten koffiebekers worden met aardgas voorverwarmd om het vergistingsproces te versnellen. In de vergistingstank worden de bekers en het vocht en vuil grotendeels omgezet in biogas, het niet vergiste deel en afgestorven micro-organismen vormen het digestaat, 322 kg/ton bekers (OPure B.V., 2017). Het digestaat van de warmedrankbikers wordt vervolgens gecomposteerd, waarbij het voor 50% wordt omgezet in compost. Op basis van het bij Attero getoonde composteringsproces is aangenomen is dat de koffiebekers een verwaarloosbare hoeveelheid rejects geeft. Een overzicht van de massastromen is gegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Stroomschema voor de vergisting van afgedankte koffiebekers. Vermeden producten zijn in geel neergegeven.

Het biogas wordt voor een deel (55.3%) gebruikt om in een warmtekrachtinstallatie te worden omgezet in elektriciteit en warmte³. Het betreft elektriciteit en warmte, die anders elders zouden moeten worden opgewekt. Het andere deel van het biogas wordt omgezet in groen gas, dat in het aardgasnet wordt gebracht en hiermee Nederlands aardgas vervangt. Daarbij wordt rekening gehouden met de andere calorische waarde van het biogas ($20,65 \text{ MJ.Nm}^{-3}$) ten opzichte van Nederlands aardgas ($31,65 \text{ MJ.Nm}^{-3}$). Daar het groen gas biogeen is, is de verbranding van dit gas CO_2 -neutraal; de daaraan gekoppelde milieuwinst is ook in de analyse meegenomen bij de vermeden producten.

De verwerking van het digestaat levert compost op, dat wordt ingezet als potgrond (90%) en als landbouwcompost (10%). Inzet als potgrond vervangt veen als grondstof; bij de inzet in de landbouw wordt het aanwezige organische materiaal voor circa 30% vastgelegd als organisch koolstof in de bodem. De rest van de koolstof wordt door micro-organismen verademd, in de modellering van het broeikas effect wordt kort-cyclisch CO_2 als CO_2 -neutraal beschouwd, het verademde koolstof draagt daarom niet bij aan het broeikas effect. In de studie van (BVOR & IVAM, 2013), is voor de toepassing van compost als veenvervanger ook de vermeden CO_2 -emissie van de afbraak van het veen meegenomen. De door hen gehanteerde waarde van $0.85 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$ veen is ook hier gehanteerd. Voor toepassing als landbouwcompost uit koffiebekers is geen vermeden product opgenomen daar de N-P-K inhoud van compost gemaakt van het digestaat uit koffiebekers verwaarloosbare concentraties van deze nutriënten zal hebben.

³ Voor de elektriciteitsopwekking op de locatie Wijster is uitgegaan van $0.01074 \text{ kg CO}_2\text{-eq}/\text{MJ}_e$

Evenals bij de recycling zijn de transportafstanden gebaseerd op een op FTE gewogen gemiddelde afstand tussen de locatie van de overheidskantoren en Attero te Wijster. De afstand tussen kantoren en de hub, gemiddeld 20 km, is van de transportafstand naar Wijster afgetrokken en die komt daardoor op 100 km. Dit omdat het transport met bestelwagens naar de hub toch al plaatsvindt en het meenemen van de afgedankte koffiebekers niet tot significant meer milieubelasting zal leiden.

4 LCA analyse en advies

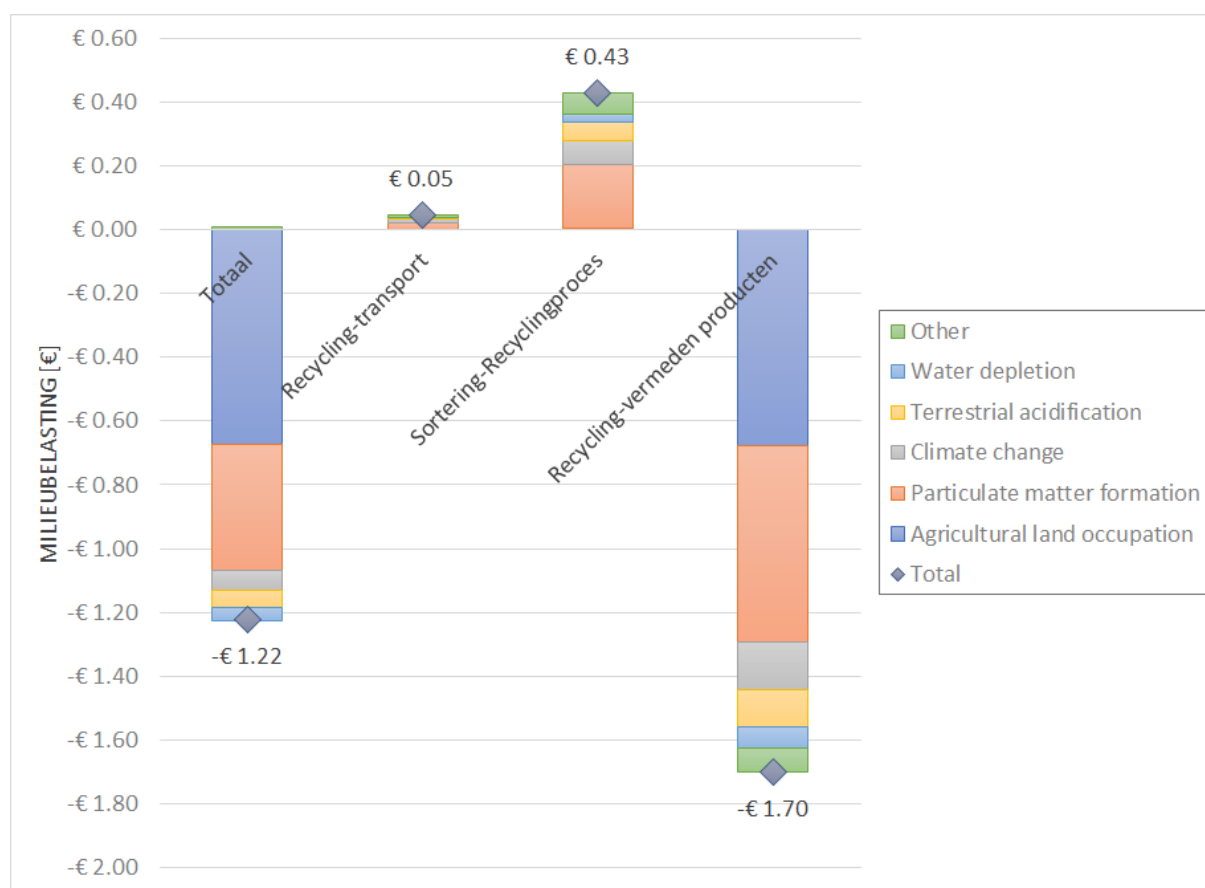
4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de milieuanalyse gepresenteerd. In eerste instantie worden de resultaten van de twee alternatieven afzonderlijk besproken, daarna wordt de vergelijking gemaakt. Bij het presenteren van de resultaten wordt een onderscheid in een drietal fasen gemaakt:

1. Transport van koffiebekers en afgeleide stromen
2. Verwerkingsproces (recycling, vergisting)
3. Vermeden producten

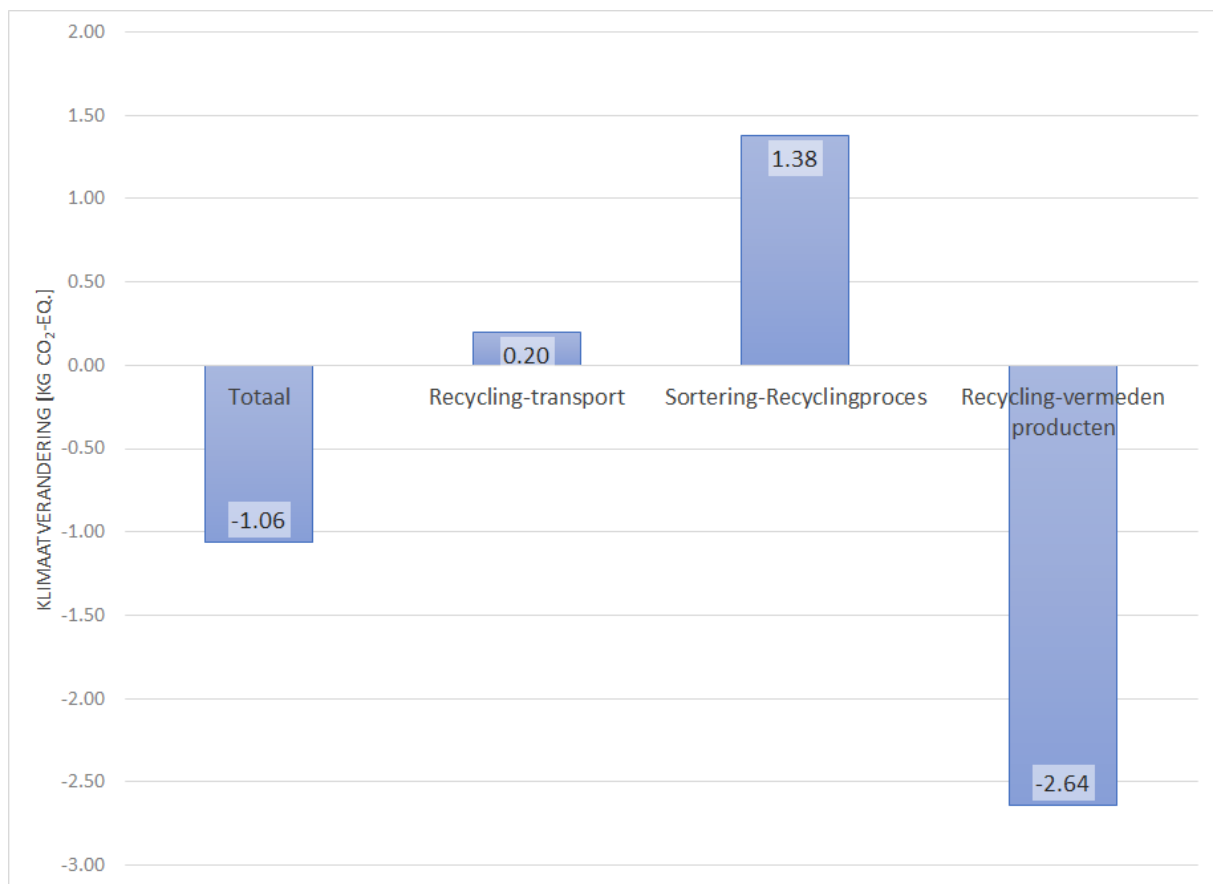
4.2 Recycling van koffiebekers

De totale milieubelasting, uitgedrukt in schaduwkosten bedraagt per 1000 bekers -€ 1,22. Het negatieve bedrag in Figuur 3 betekent, dat er sprake is van een milieuwinst bij de door recycling vermeden producten. Deze milieuwinst is het gevolg van het vermijden van de inzet van primaire pulp voor de fabricage van sanitair papier en van het vermijden van de inzet van primaire energie door energierugwinning in de AEC. De bijdrage van de pulp is, vergeleken met de bijdrage van de energierugwinning, relatief het grootst, doordat 89% van de bekers wordt gerecycled. In Bijlage A *LCA netwerken* is dit in meer detail te zien. De meeste winst komt van de milieueffecten ‘Agricultural land occupation’, ‘Particulate matter formation’ en ‘Climate change’. Het sorteren en recyclen van de bekers heeft een veel grotere bijdrage aan de milieubelasting dan de transporten (zie Figuur 3).



Figuur 3 Milieubelasting, uitgedrukt als schaduwkosten, van de recycling van 1000 warmedrankbepers. De vijf meest bijdragende effectcategorieën zijn hierbij weergegeven.

De onderliggende processen die de milieuprestatie bepalen, zijn, wat betreft de processen die een bijdrage leveren aan de milieuwinst, in de aangegeven volgorde van belang: houtproductie, primair pulpproces, elektriciteitsopwekking en warmteproductie. De eerste twee processen zijn gekoppeld aan het vermijden van primaire pulp; de laatste twee aan de levering van elektriciteit en warmte door de AEC. De verbranding in de AEC van de niet voor recycling geschikte bekers heeft de grootste milieubelasting, gevolgd door het sorteerproces zelf. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat dit ecoinvent proces betrekking heeft op het volledige sorteerproces van oud papier en karton en daardoor mogelijk tot een overschatting van de milieubelasting van dit proces leidt. De invloed van het transport van de bekers is, met een bijdrage van minder dan 5% aan het totaal, betrekkelijk klein.

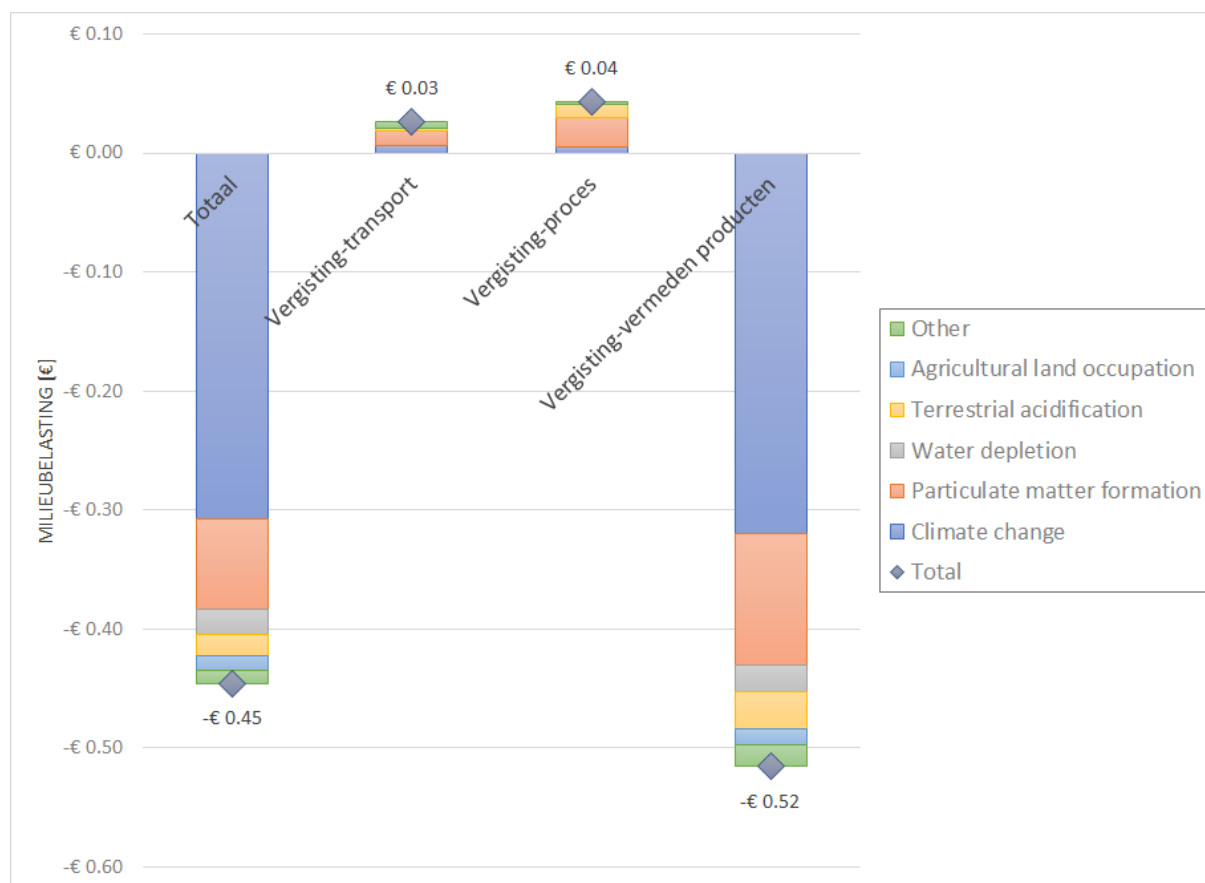


Figuur 4 Carbon footprint van de recycling van 1000 warmedrankbepers.

Wanneer niet naar het volledige milieuprofiel wordt gekeken, maar wordt ingezoomd op klimaatverandering en deze wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten krijgt men de zogenaamde Carbon footprint. In Figuur 4 is de Carbon footprint van de recycling van koffiebekers gepresenteerd. Ook nu is er sprake van een milieuwinst: 1,06 kg CO₂-eq. per 1000 ingezamelde bekers. De grootste bijdrage aan de milieuwinst is afkomstig van het vermeden elektriciteitsgebruik bij de productie van de (vermeden) primaire pulp. Daarnaast wordt er door de energierugwinning van de AEC de conventionele productie van elektriciteit (NL mix) vermeden, zie hiervoor Figuur A-2 in Bijlage A. Daarmee wordt de uitstoot van fossiele koolstofdioxide en methaan vermeden, stoffen die bijdragen aan klimaatverandering.

4.3 Vergisting van koffiebekers

De vergisting van koffiebekers, gevolgd door compostering van het digestaat, levert een netto milieuvoordeel, uitgedrukt als schaduwprijs, op van €0,45 per 1000 ingezameld bekers (zie Figuur 5). De meeste milieuwinst is gerelateerd aan het vermijden van de uitstoot van broeikasgassen 'Climate change' en van fijnstof 'Particulate matter formation'. Het transport van de afgedankte bekers en de vergisting en compostering leiden tot een zekere milieubelasting en dan met name door de uitstoot van fijnstof en fijnstofvormende stoffen.



Figuur 5 Milieubelasting, uitgedrukt als schaduwkosten, van de vergisting van 1000 warmedrankbepers.

De grootste milieuwinst wordt bereikt door het vermijden van conventionele elektriciteitsopwekking (Nederlandse mix), het vermijden van de uitstoot van fossiel CO₂ ten gevolge van de verbranding van groen gas in plaats van aardgas en het vermijden van de inzet van fossiele brandstoffen bij de conventionele energieopwekking. Daarnaast draagt de vermeden emissie door compost in plaats van veen te gebruiken als potgrond bij aan de milieuwinst. Het elektriciteitsgebruik bij de vergisting en compostering geeft een zekere milieubelasting.

De Carbon footprint van de vergistingsroute laat een winst zien van 5,4 kg CO₂-eq. per 1000 ingezamelde bekers (zie Figuur 6). Ten opzichte van de vermeden producten hebben het transport en het vergistings- en composteringsproces een zeer geringe milieubelasting. De milieuwinst is het gevolg van de vermeden elektriciteits- en warmteproductie. Daarnaast speelt het vervangen van veen in potgrond door compost, met name de vermeden emissie van fossiel CO₂ bij afbraak van het veen, een rol.



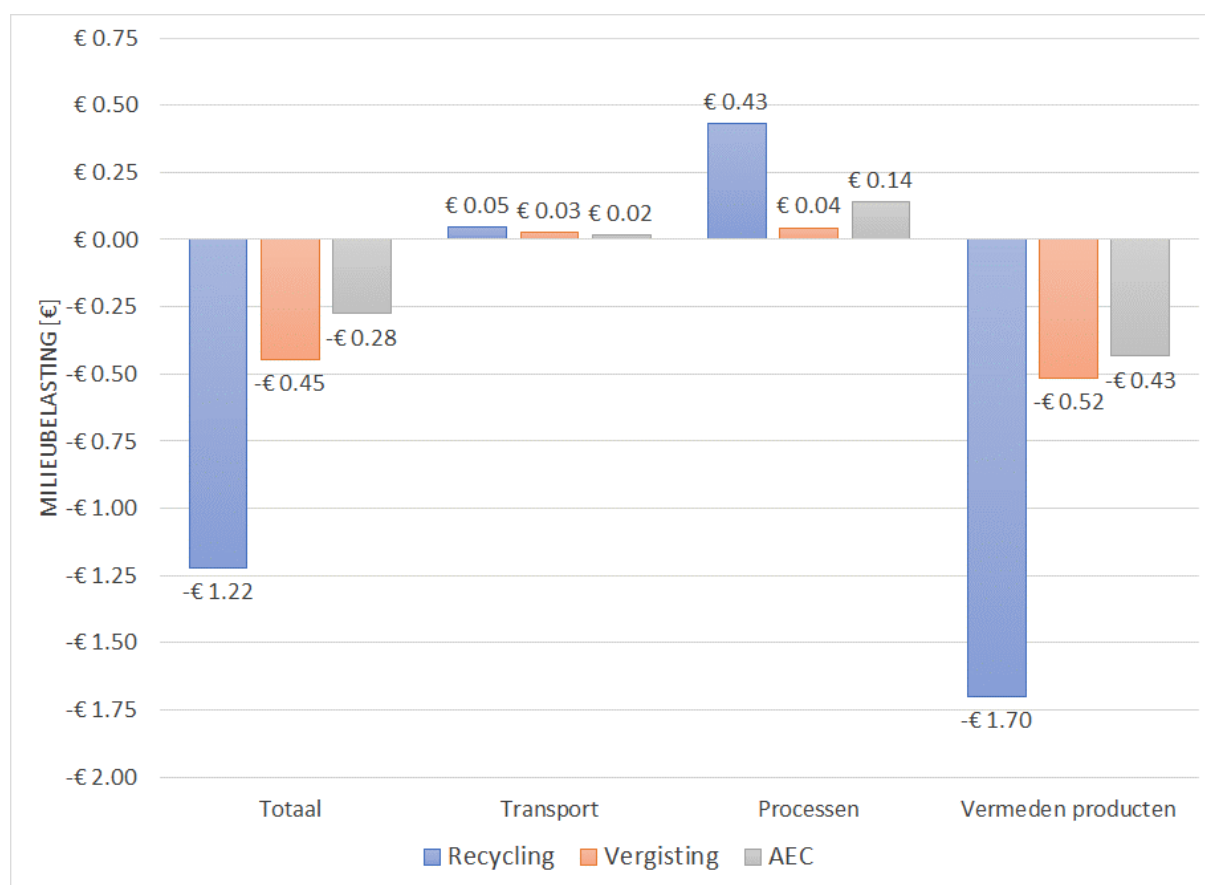
Figuur 6 Carbon footprint van de vergisting van 1000 warmedrankbepers.

4.4 Vergelijking van de verwerkingsroutes

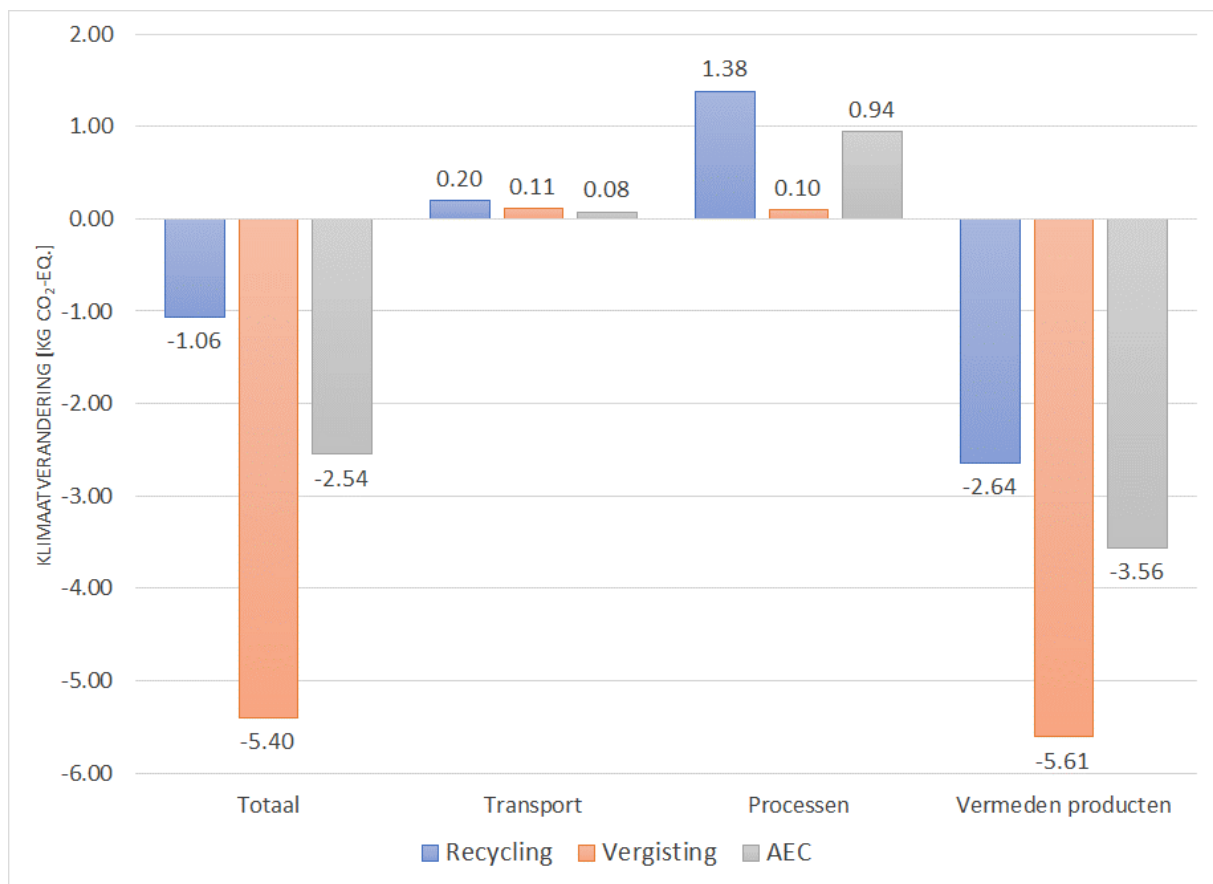
Bij het vergelijken van de twee verwerkingsroutes met de AEC als referentie, blijkt dat de recycling van warmedrankbepers duidelijk een betere milieuprestatie heeft dan de vergistingsroute, zoals te zien is in Figuur 7. De AEC laat de minste milieuwinst zien. De goede prestatie van de recyclingroute is het gevolg van de relatief grote vermeden milieubelasting door de productie van secundaire pulp.

Wanneer echter de Carbon footprint als basis voor de vergelijking wordt gebruikt (Figuur 8), heeft de vergistingsroute veruit de beste prestatie. Deze prestatie van de vergistingsroute wordt veroorzaakt door het inzetten van groen gas, waarmee de uitstoot van fossiel CO₂ door verbranding van aardgas wordt vermeden, en door de inzet van biogas in een WKK, waardoor de inzet van fossiele brandstoffen wordt vermeden. De AEC neemt qua Carbon footprint een positie in tussen de vergistings- en recyclingroute.

Bij de vergelijking van de drie routes moet worden opgemerkt dat de aanwezigheid van vocht en vuil met name voor de recyclingsroute kritisch is. Te hoge vervuiling, op basis van een visuele inspectie, van de zakken met bepers leidt tot afkeur voor verdere recycling. Voor de vergistingsroute, en zeker de AEC, is de mate van vervuiling minder kritisch.



Figuur 7 Vergelijking milieubelasting als schaduwkosten van de recyclingroute, de vergistingsroute en de AEC.

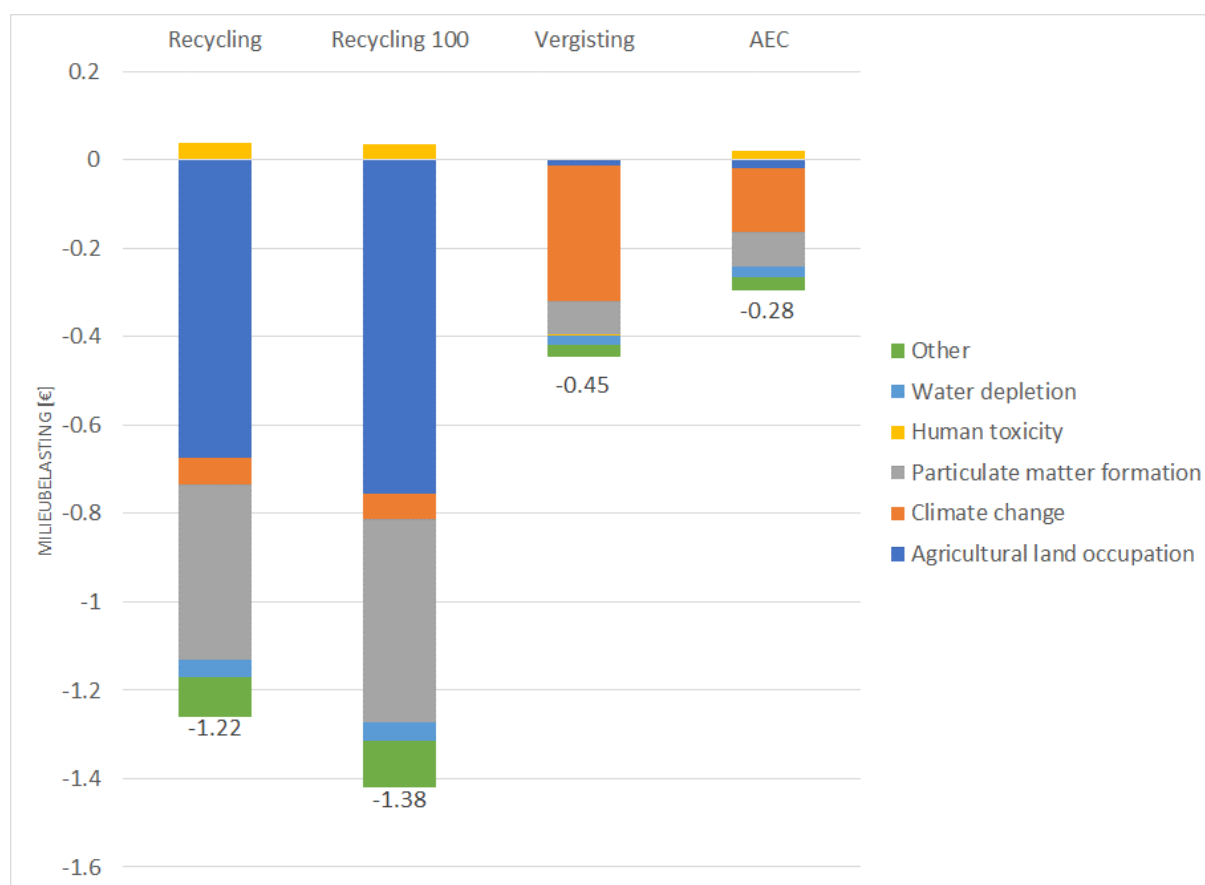


Figuur 8 Vergelijking Carbon footprint van de recyclingroute, de vergistingsroute en de AEC.

4.5 Gevoeligheidsanalyses

Bij het uitvoeren van een LCA is het in veel gevallen noodzakelijk om aannames te doen of zijn er andere bronnen van onzekerheid zoals in de nabije toekomst optredende veranderingen binnen het onderzochte systeem. Om het effect hiervan op de uitkomsten van de LCA vast te stellen worden gevoeligheidsanalyses gebruikt. Deze worden hierna gepresenteerd.

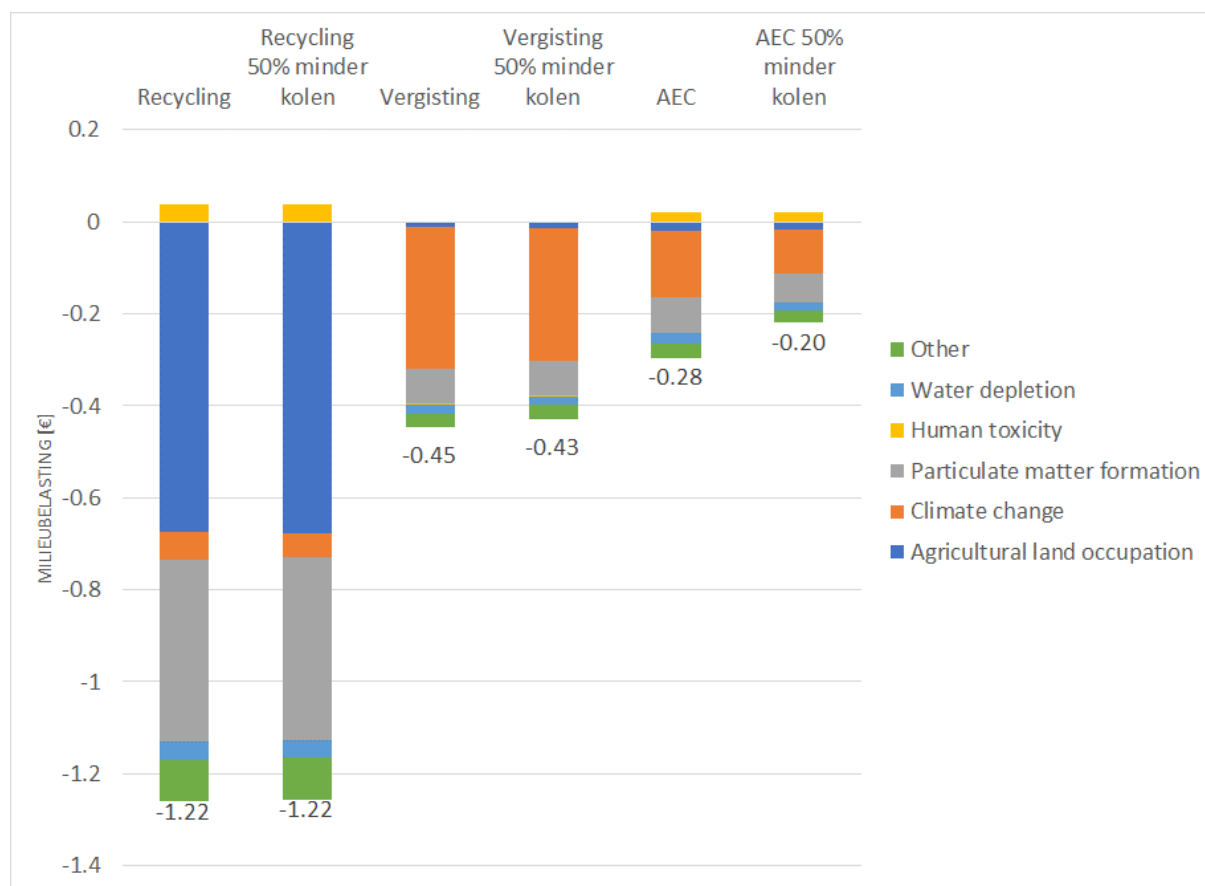
Onder de huidige omstandigheden is reeds 89% van de koffiebekers geschikt voor recycling, het overige deel gaat naar de AEC voor energierugwinning. Het is mogelijk dat de sorteerefficiëncy in de toekomst nog verder verhoogd kan worden, bijvoorbeeld door het beter instrueren van de ambtenaren. In een gevoeligheidsanalyse is nagegaan wat het effect zou zijn wanneer 100% van de bekers geschikt is voor recycling en waardoor ook geen bekers meer voor energierugwinning worden ingezet. Het resultaat is te zien in Figuur 9. Het milieuvoordeel van de recyclingroute neemt in dat geval met ruim 10 procent toe.



Figuur 9 Gevoeligheidsanalyse voor 100% sorteerefficiëncy. 'Recycling 100' geeft het alternatief aan waarbij 100% van de afgedankte koffiebekers geschikt is voor recycling.

In de huidige studie wordt voor het gebruik van elektriciteit, bijvoorbeeld bij de sortering, de Nederlandse mix genomen. Uitzonderingen zijn het recyclingsproces waarbij een mix van Noorse waterkrachtstroom en zelf opgewekte stroom met PV wordt gebruikt, en het vergistingsproces waar de elektriciteit van de eigen AEC wordt ingezet. Ook in geval van energierugwinning in de vorm van elektriciteit wordt de Nederlandse elektriciteitsmix vermeden. In de Nederlandse elektriciteitsmix maakt stroom afkomstig van kolencentrales 18% uit. In de toekomst zal dit aandeel verder afnemen ten gunste van elektriciteit uit duurzame bronnen. In een gevoeligheidsanalyse is de Nederlandse elektriciteitsmix aangepast door 50% van de stroom opgewekt met kolencentrales te vervangen door stroom uit offshore windparken.

De verschuiving van stroom uit kolencentrales naar stroom uit offshore windparken leidt tot een zekere afname van de milieuwinst van de alternatieven, met uitzondering van de recyclingroute waar de afname te verwaarlozen is, zoals in Figuur 10 zichtbaar is. De afname is met 28% het grootste bij de afvalenergiecentrale. De vergistingsroute is minder gevoelig.

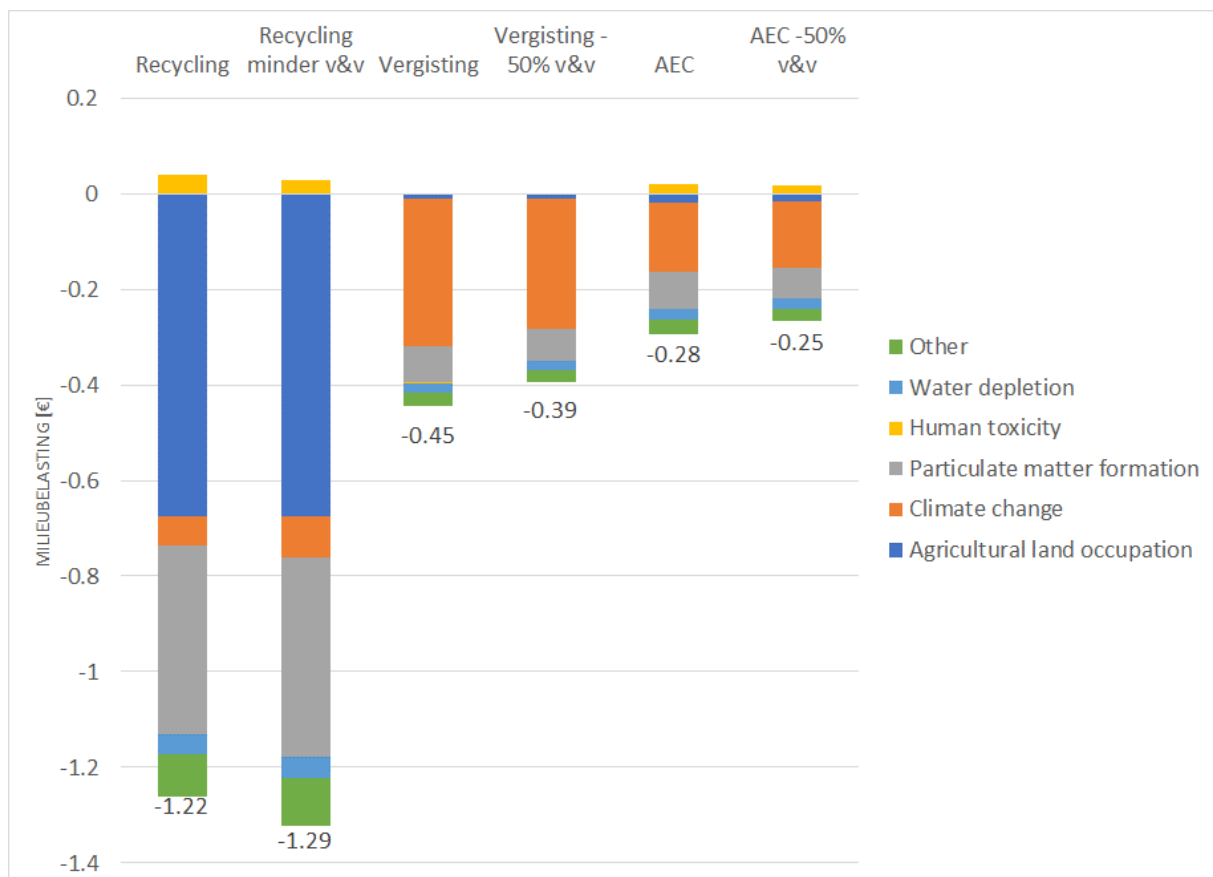


Figuur 10 Gevoeligheidsanalyse voor vervanging van 50% van de stroom uit kolencentrales door offshore windenergie.

Voor de hoeveelheden vocht en vuil zijn respectievelijk waarden van 10% en 20% genomen, gebaseerd op gegevens van een eerdere studie (Ligthart en Ansems, 2004). Het is zeker denkbaar, bijvoorbeeld door invoering van het rookverbod op de werkplek, dat dit percentage omlaag is gegaan. Daarom is in een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor vocht en vuilpercentages die 50% lager zijn, dus respectievelijk 5% en 10%. Omdat de functionele eenheid gebaseerd is op 1000 schone bekers betekent dit dat de totale massa in het systeem met 12% afneemt.

Het blijkt, zoals te zien is in Figuur 11, dat met name de vergistingsroute gevoelig is voor het percentage vocht en vuil. De milieuprestatie vermindert daar met 12% doordat er minder materiaal naar de vergistingsinstallatie gaat en er zo minder biogas wordt geproduceerd. Hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat de gasopbrengst (419 Nm³/ton) van koffiebekers bepaald is voor vuile bekers waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen de bijdrage van de koffiebekers zelf en het vocht en vuil. Omdat het vocht en vuil waarschijnlijk een mindere gasopbrengst heeft, is een overschatting van de afname van de milieuprestatie van de vergistingsroute zeer zeker mogelijk. Minder vuil betekent weliswaar minder transport, en daarmee milieubelasting, maar dus ook minder gasopbrengst. De verwachting is dat in werkelijkheid de gasopbrengst met minder dan 12 % zal afnemen omdat de gasopbrengst van het vocht en vuil per massa-eenheid lager zal zijn dan dat van de bekers zelf, hoeveel lager is echter

niet bekend. Dit zou betekenen dat de gasopbrengst nog steeds afneemt, ook het vocht en vuil draagt bij aan de gasopbrengst, maar met minder dan 12%. De totale milieuprestatie neemt dus af, maar minder dan in deze gevoeligheidsanalyse getoond. De recyclingroute laat een lichte verbetering van de milieuprestatie zien doordat er minder massa hoeft te worden getransporteerd en te worden verwerkt. Er wordt minder onnodige energie gestoken in het pulpen van vuil dat niet bijdraagt aan de productie van papier. Ten slotte laat de AEC ook een verbetering van de milieuprestatie zien. Indien minder vocht en vuil verbrand worden, zijn de emissies per functionele eenheid van 1000 bekers ook kleiner. De bijdrage van vocht en vuil aan de opgewekte energie is relatief gering en het totaal aan vermeden energie wordt dus beperkt beïnvloed.



Figuur 11 Gevoeligheidsanalyse voor 50% minder vocht en vuil.

5 Potentiële andere verwerkingsroutes in ontwikkeling

Door middel van gesprekken met experts en literatuuronderzoek is een inventarisatie gemaakt van potentiële andere afvalroutes die momenteel in ontwikkeling zijn, en die naar verwachting de komende (± 3) jaren kunnen leiden tot alternatieve opties voor de productie, afvoer en verwerking van koffiebekers. Deze worden in onderstaande paragrafen nader besproken.

5.1 Karton-PLA versus karton-PE bekers

Kartonnen koffiebekers bestaan momenteel in een variant gecoat met PLA en een variant gecoat met PE. Dit PE kan in principe ook bio-based PE zijn. Deze beide soorten bekers worden nu door de afvalverwerker niet gescheiden gehouden. Indien het gewenst is dat naast de papiervezels eveneens het plastic wordt gerecycled, dan dienen de karton-PLA bekers gescheiden aangeleverd te worden bij de papier recycler. Vanaf ca 10 ton kan WEPA een batch bekers in principe separaat verwerken. Om de PLA-folie van koffiebekers echter daadwerkelijk apart te kunnen recycleren, dient WEPA een extra zeef- en reinigingsinstallatie in te bouwen. Dit vergt een investering. Tevens dient er rekening mee gehouden te worden dat de kwaliteit van de vezels onder invloed van vocht en micro-organismen achteruit kan gaan tijdens opslag, met name in de zomer. Indien het acceptabel is dat kleine hoeveelheden PLA terecht komen in de PE stroom die hoofdzakelijk van de drankenkartons komt, dan is het eveneens nodig dat WEPA de karton-PLA bekers gescheiden aangeleverd krijgt om te kunnen sturen in het verwerkingsproces.

Karton-PE bekers kunnen samen met drankenkartons gerecycled worden. Aangezien drankenkartons een grote stroom vormen, kunnen karton-PE bekers flexibeler verwerkt worden dan karton-PLA bekers. Echter, hoewel het gebruik van PE versus PLA als coating van de kartonnen koffiebekers niet in dit onderzoek is meegenomen, dient opgemerkt te worden dat de productie van PLA gunstiger scoort op eerder onderzochte milieu-effectcategorieën niet-hernieuwbaar energiegebruik en broeikasgassen dan PE (Bos, 2011).

Conclusie

Karton-PE koffiebekers kunnen samen met drankenkartons verwerkt worden waardoor deze op dit moment flexibeler gerecycled kunnen worden dan karton-PLA bekers. Hierbij dient opgemerkt dat de productie van PLA gunstiger scoort dan PE op de milieu-effectcategorieën niet-hernieuwbaar energiegebruik en broeikasgassen. Batches karton-PLA vanaf 10 ton kunnen separaat verwerkt worden zodat ook de PLA gerecycled kan worden. Hiervoor is het nodig dat de karton-PLA koffiebekers gescheiden worden aangeleverd. Tevens dient een extra zeef- en reinigingsinstallatie ingebouwd te worden.

5.2 Bio-based plastic koffiebekers

Koffiebekers kunnen eveneens gemaakt worden van bio-based hittestabiel PLA. Total Corbion claimt voor dit product een lagere CO₂ voetafdruk in vergelijking met PS bekers en gecoate kartonnen koffiebekers (Total Corbion, 2017). Het is niet duidelijk hoe deze hittestabiele PLA

koffiebeker scoort op andere milieueffecten dan de CO₂ voetafdruk. Na brongescheiden inzameling kunnen dergelijke bekers gerecycled worden tot recyclaat, bijvoorbeeld bij Loopla (2017).

Conclusie

Total Corbion claimt voor hittestabiele PLA koffiebekers een lagere CO₂ voetafdruk dan gecoate kartonnen koffiebekers; de totale milieupact van deze bekers is niet duidelijk.

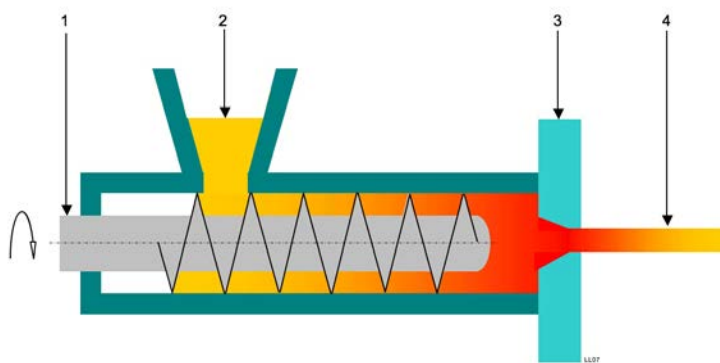
5.3 Biovezel versterkte/gevulde composieten

De cellulosevezels uit karton-PLA koffiebekers zijn in principe te gebruiken als versterkende/vullende vezels in composieten.

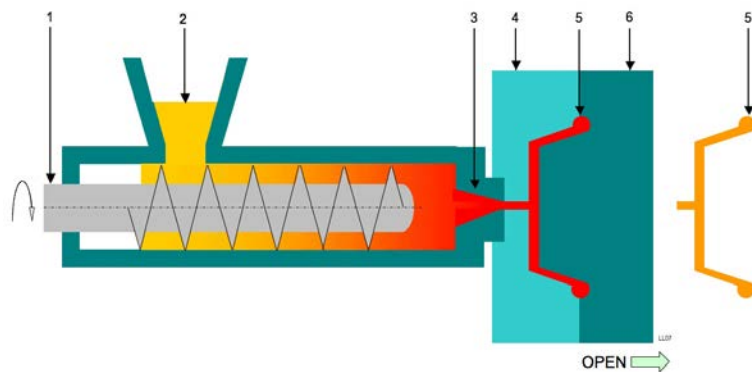
Technologie

In een extruder wordt een plastic (thermoplast) zoals bijvoorbeeld PP, PE of PLA opgesmolten en gemengd met biovezels (Figuur 12), ook wel ‘compounderen’ genoemd. Het resultaat is een materiaal (ook wel ‘compound’ genoemd) dat in korrelvorm (ook wel ‘granulaat’ genaamd) wordt gemaakt. Dit granulaat wordt in een spuitgietmachine opnieuw gesmolten en in een matrijs gespoten tot een gewenste vorm (Figuur 13). Indien correct verwerkt kunnen biovezels de plastics beter maken wat betreft:

- Sterkte: Minder materiaal nodig om aan sterkte-eisen te voldoen
- Stijfheid (minder doorbuigen bij een bepaalde belasting): Dunnere en goedkopere producten mogelijk
- Weerstand tegen vervormen bij hogere temperatuur: Gewenst/vereist voor veel toepassingen in auto's en apparaten



Figuur 12. Schematische weergave van extrusieproces voor mengen van biovezels in plastics: 1 = Extruder, 2 = Thermoplastisch granulaat en biovezels, 3 = Granulator, 4 = Korrels van gemengd plastic en biovezels (Extruderen, 2014).



Figuur 13. Smitgiet proces. 1 = Doseerschroef, 2 = Granulaat, 3 = Inspuitopening (spuitmond), 4 = Matrijs-helft 1, 5 = Product, 6 = Matrijs-helft 2 (Smitgieten, 2017).

De biovezels dienen voor verwerking in plastics min of meer droog te zijn. Papiersnippen geven matige compound-eigenschappen.

Status

De technologie is min of meer uitontwikkeld. In dergelijke composieten worden met name biovezels als houtvezels, vlas en andere vezels toegepast. Smitgietbare composieten zijn sinds 10-15 jaren in kleine volumes op de markt. In 2012 was het volume voor smitgietbare composieten in de EU ca 17 kton (Nova, 2015). De markt is nog klein doordat enerzijds biovezelprijzen relatief hoog zijn t.o.v. goedkope (minerale) vullers zoals krijt en talk, en anderzijds relatief minder presteren dan (duurdere) glasvezels. Desalniettemin presenteert Nova in dezelfde studie de verwachting dat in 2020 het marktvolume voor smitgietbare composieten vervijfvoudigt t.o.v. 2012.

Een aantal bedrijven waaronder Sappi in Maastricht hebben smitgietbare composieten (compounds) op basis van papiervezel ontwikkeld. Sappi gebruikt de papiervezels om witte en min of meer geurloze compounds te maken, iets dat met de reguliere houtvezels, vlas of andere biovezels moeilijker is. Het gebruikelijke extractieproces van cellulosevezels uit hout voor de productie van papier heeft echter een ongunstig effect voor optimaal gebruik in compounds: de vezels dienen in papier in zekere zin intern beschadigd te zijn, voor toepassing in compounds is dat ongewenst.

Conclusie

Gerecyclede papiervezels hebben meer waarde voor de productie van nieuw papier dan voor composieten. De verwachting is dat dit de komende jaren niet verandert.

5.4 Vergisting en recycling

Voor de nu onderzochte verwerkingsroutes recycling en vergisting worden de komende 3 jaren geen significante verbeteringen in de technologieën verwacht.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Levenscyclusanalyse

Wanneer de milieuprestatie van de recyclingroute en die van de vergistingsroute voor de verwerking van warmedrankbepers met een coating van PLA, op basis van de ReCiPe midpoints methode, gecombineerd met schaduwkosten, worden beoordeeld, presteert de recyclingroute duidelijk het beste. Het recyclen van de afgedankte bekers vermijdt de inzet van primaire papierpulp. Hiermee wordt het sulfaatpulpproces vermeden, en dat leidt onder meer tot minder uitstoot van fijnstof, een belangrijk milieueffect van dit proces. Doordat de productie van hout in productiebossen wordt vermeden is er sprake van minder agrarisch landgebruik. De energierugwinning in de afvalenergiecentrale (AEC) vermijdt de opwekking van elektriciteit en warmte met fossiele brandstoffen; dit leidt tot winst op het gebied van klimaatverandering (reductie CO₂ uitstoot). Verwerking van de bekers in de AEC levert door energierugwinning ook een milieuwinst op, maar deze is kleiner dan die van de twee alternatieve routes.

Momenteel gaat reeds 89% van de afgedankte bekers naar de recycling, de rest is te vervuilen. De recyclingroute zou nog beter presteren, wanneer dit percentage verder omhoog gaat. Door minder vocht en vuil in de afgedankte bekers te laten zitten, kunnen er meer bekers richting recycling, en wordt er zo meer primaire pulp vermeden. Dit levert een grotere milieuwinst op.

Ook de vergistingsroute levert milieuwinst op, met name door het opwekken van elektriciteit en warmte in een WKK-installatie. Daarnaast leidt de inzet van groen gas in het aardgasnet tot een reductie van de emissie van fossiel koolstofdioxide doordat minder (fossiel) aardgas wordt verbrand. De productie van compost uit het digestaat van de vergiste bekers draagt mede bij aan de milieuprestatie door het vervangen van veen in potgrond en door het vermijden van de emissies, van fossiel CO₂, bij het gebruik van veen.

Vergelijking van de beide verwerkingsroutes op basis van de Carbon footprint laat de vergistingsroute als beste alternatief voor de verwerking van afgedankte koffiebepers zien. Per 1000 bekers wordt 5,4 kg CO₂ vermeden. De vermeden productie van warmte en elektriciteit met de WKK, maar ook de inzet van groen gas in het Nederlandse aardgasnet, leveren de grootste bijdragen aan het reduceren van broeikasgassen. Verwerking in de AEC neemt een intermediaire positie in met een hoeveelheid vermeden CO₂ van 2,54 kg.

Het verschil in rangorde van de verwerkingsroutes bij de milieuprestatie op basis van schaduwkosten of op basis van de Carbon footprint is gelegen in het feit dat bij de recyclingroute klimaatverandering slechts 5% bijdraagt en bij de vergistingsroute 69%. Bij beschouwing van de Carbon footprint wordt voor de recyclingroute een veel groter deel van de totale milieubelasting buiten beschouwing gelaten, vergeleken met de vergistingsroute.

De vergelijking van de verwerkingsroutes vergisting en recycling is gebaseerd op locatiespecifieke gegevens van de twee routes. De recycling van warmedrankbepers zou in de toekomst in principe ook op andere locaties kunnen plaatsvinden. De milieubelasting van het proces zelf zou dan kunnen wijzigen, bijvoorbeeld door een andere samenstelling van de gebruikte elektriciteit. De vergisting van koffiebepers kan nu al op andere locaties worden uitgevoerd; de bijdrage van de milieubelasting van het proces zelf aan de totale milieubalans zal naar alle waarschijnlijkheid niet veel anders zijn dan voor de huidige locatie. De transportafstand heeft een beperkte invloed op zowel milieubelasting als klimaatverandering. De verhouding tussen de afzet van compost als potgrond of in de landbouw is wel van belang; de grootste milieuwinst wordt behaald door afzet als potgrond. In de huidige studie wordt 90% van de compost als zodanig afgezet, een lager percentage zal tot een afname van de milieuwinst leiden.

Er wordt aanbevolen dat de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, op basis van de resultaten van de voorliggende milieuanalyse, kiest voor de recycling van afgedankte warme drankbepers. Wanneer de kwaliteit van het aangeleverde materiaal nog verder verbeterd kan worden, kunnen door de sorteerder Destra meer bepers voor recycling worden aangeboden en levert de recyclingroute nog meer milieuvoordeel op.

6.2 Alternatieve verwerkingsroutes

Karton-PE koffiebepers kunnen samen met drankkartons verwerkt worden waardoor deze veel flexibeler gerecycled kunnen worden dan karton-PLA bepers. Batches karton-PLA vanaf 10 ton kunnen separaat verwerkt worden zodat ook de PLA gerecycled kan worden. Hiervoor is het nodig dat de karton-PLA koffiebepers gescheiden worden aangeleverd. Tevens dient een extra zeef- en reinigingsinstallatie ingebouwd te worden.

Voor hittestabiele PLA koffiebepers claimt Total Corbion een lagere CO₂ voetafdruk dan gecoate kartonnen koffiebepers; de totale milieu-impact van deze bepers is niet duidelijk.

Tevens zijn er de afgelopen 10 jaar technologieën voor toepassing van papier in composieten ontwikkeld. Gerecyclede papiervezels hebben echter meer waarde voor de productie van nieuw papier dan voor composieten. Deze verschillende composiettechnologieën zullen daarom naar verwachting de komende jaren niet leiden tot concurrenten voor de nu onderzochte verwerkingsroutes.

De komende (± 3) jaren zijn voor gecoate kartonnen koffiebepers geen andere verwerkingsroutes op industriële schaal te verwachten dan de nu toegepaste/onderzochte: vergisten tot biogas en recycleren tot papier, naast verbranden in een AEC. Eveneens worden geen significante verbeteringen in de technologieën verwacht.

Literatuur

- Bos, H., Conijn, S., Corré, W., Meesters, K., Patel, M., 2011. Duurzaamheid van biobased producten – Energiegebruik en broeikasgasemissie van producten met suikers als grondstof, Wageningen Food & Biobased Research, ISBN 978-90-8585-902-4, <http://www.groenegrondstoffen.nl/downloads/Boekjes/11Duurzaamheidvan%20biobased%20producten.pdf>
- De Bruyn, S., Ahdour, S., Bijleveld, M., de Graff, L., Schrotten, A., & Vergeer, R. (2017). *Handboek Milieuprijzen 2017 Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*. Delft.
- De Meester S, Ragaert K, 2017. Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system and implications for the circular economy, Waste Management (in press), <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034>
- Extruderen, 2014. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Extruderen> , bezocht op 6 oktober 2017.
- Goedkoop, M., Huijbregts, M., Schryver, A. De, Struijs, J., van Zelm, R., & Zelm, R. van. (2013). *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level* (1st ed. (r). The Hague: Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM).
- Harmelen, A. K. Van, Korenromp, R. H. J., Deutekom, C. Van, & Ligthart, T. N. (2006). The price of toxicity. Methodology for the assessment of shadow prices for human toxicity , ecotoxicity and abiotic depletion. In *Quantified Eco-Efficiency* (Vol. 2, pp. 105–125). Springer International Publishing.
- ISO. (2006a). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006). Brussels: CEN (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION).
- ISO. (2006b). Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006). Brussels: CEN (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION).
- Ligthart, T.N. en Ansems, A.M.M. (2004) Eco-efficiency van retoursystemen van gebruikte eenmalige PS koffiebekers. Rapportnr TNO R 2003/453
- Loopla, 2017. <http://www.loopla.org/> , bezocht op 11 december 2017.
- Manders J (WEPA), 2017. Persoonlijke communicatie.
- Nova, 2015. WPC/NFC Market Study 2014-10 (Update 2015-06), <https://compositesuk.co.uk/system/files/documents/WPC-NFC-Market-Study-Short-Version%202015.pdf> , bezocht op 6 oktober 2017.
- OPure B.V. (2017). Analysebericht: Onderzoek vergistbaarheid 017/RMO/015/CO/G. Ede.
- Pelican Rouge, 2017. Re-use – Koffiebeker Recycle Totaalconcept, product flyer verkregen van RVO.

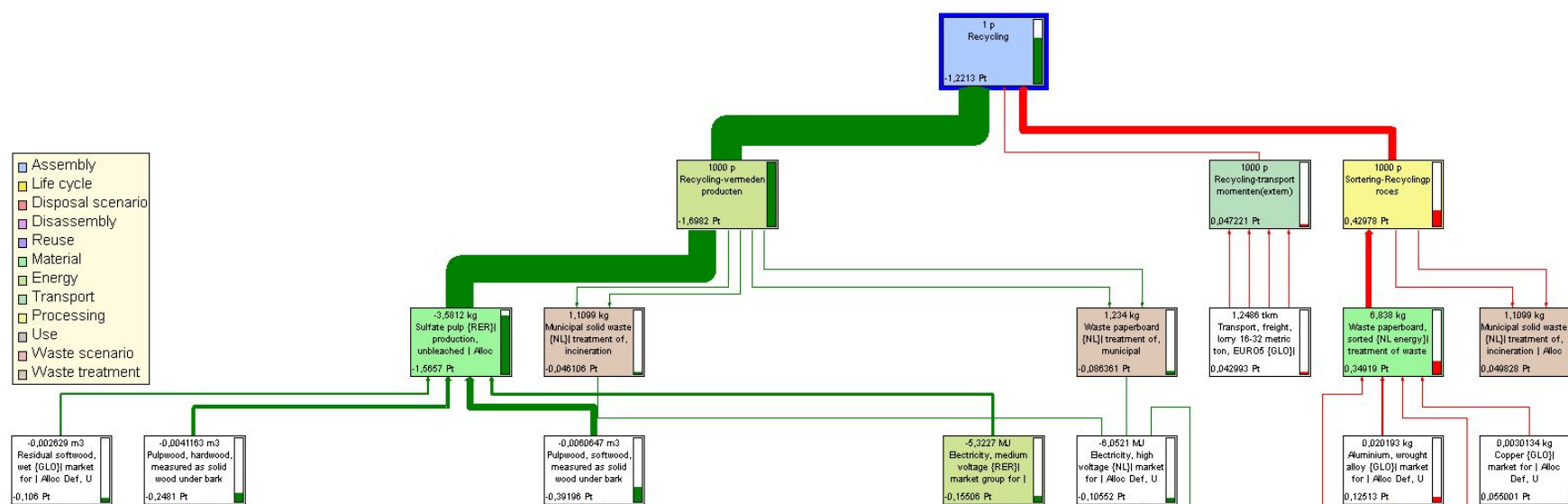
- Rijkswaterstaat, 2017. Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2016. Utrecht, The Netherlands. <https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/helpdesk-afvalbeheer/publicaties/downloads/afvalverwerking-7/> .
- Smitgieten, 2017. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Smitgieten> , bezocht op 6 oktober 2017.
- Total Corbion, 2017. Persbericht, <http://www.biobasedeconomy.nl/wp-content/uploads/2017/05/Total-Corbion-PLA-to-showcase-innovative-biobased-packaging-at-Interpack-170502.pdf> , bezocht op 11 december 2017.

Lijst van afkortingen

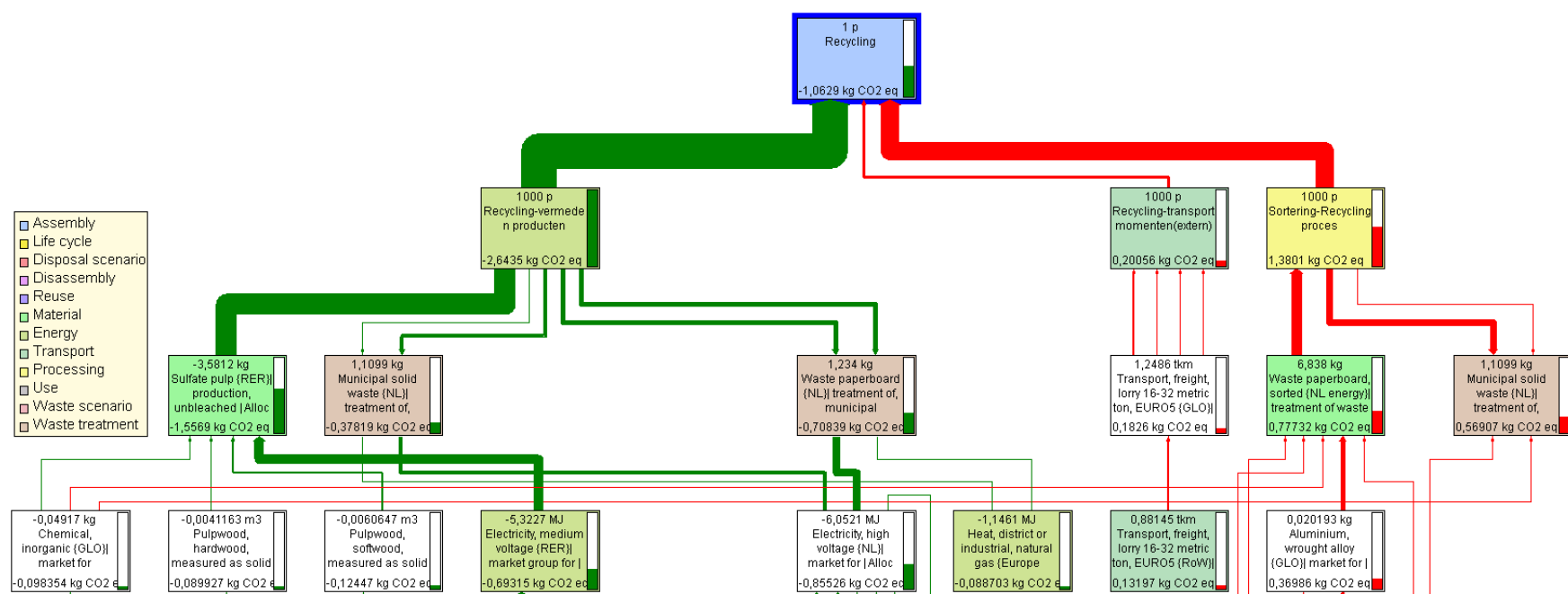
Afkorting	Betekenis
AEC	Afvalenergiecentrale
CFC	Chlorofluorocarbons
FTE	Full time equivalents
ISO	International Standard Organization
LCA	Levenscyclusanalyse
MJ	Megajoule
NIR	Nabij-infrarood
Nm³	Normaal kubieke meter
NMVOC	Non-methane Volatile Organic Compounds
PE	Polyethyleen
PET	Polyethyleentereftalaat
PLA	Polylactic acid (polymelkzuur)
PP	Polypropyleen
PS	Polystyreen
RDF	Refuse derived fuel
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Bijlage A LCA netwerken

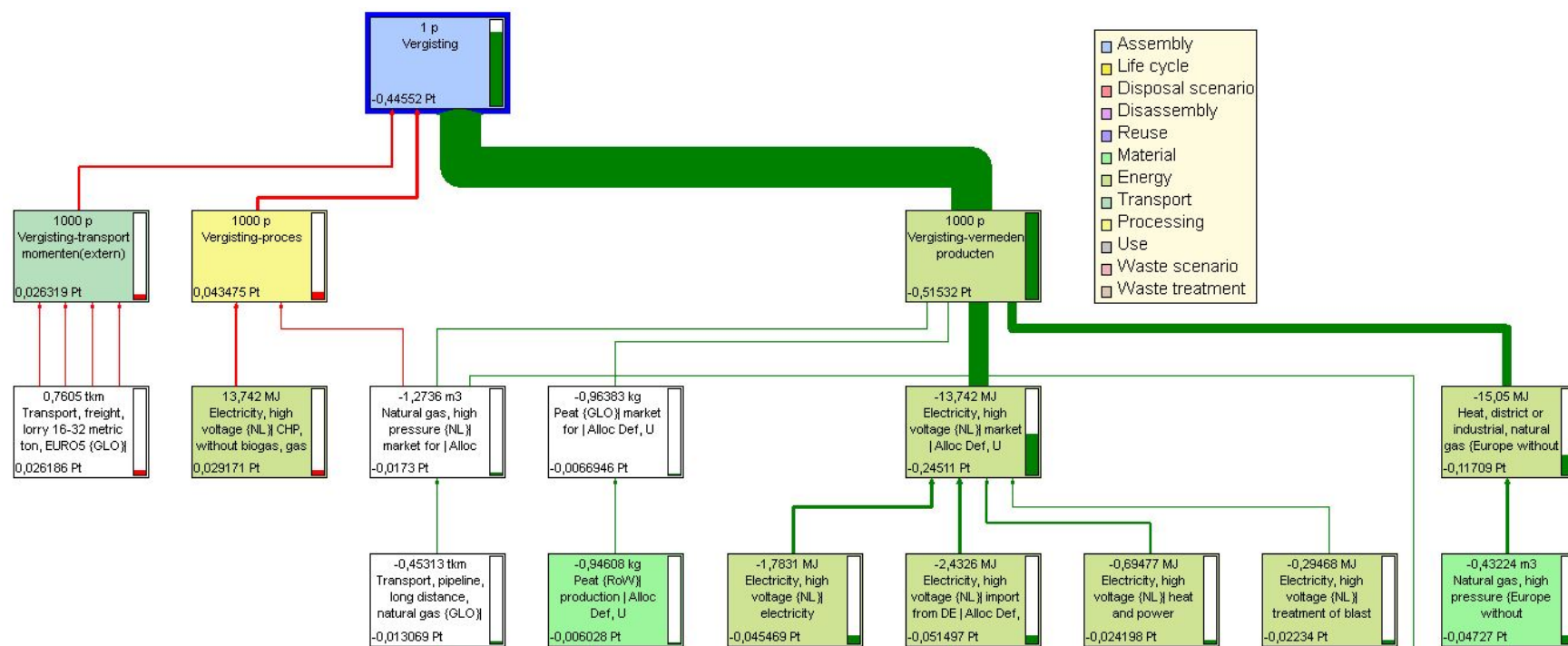
In deze bijlage wordt de milieuanalyse als netwerk van een verwerkingssysteem getoond.



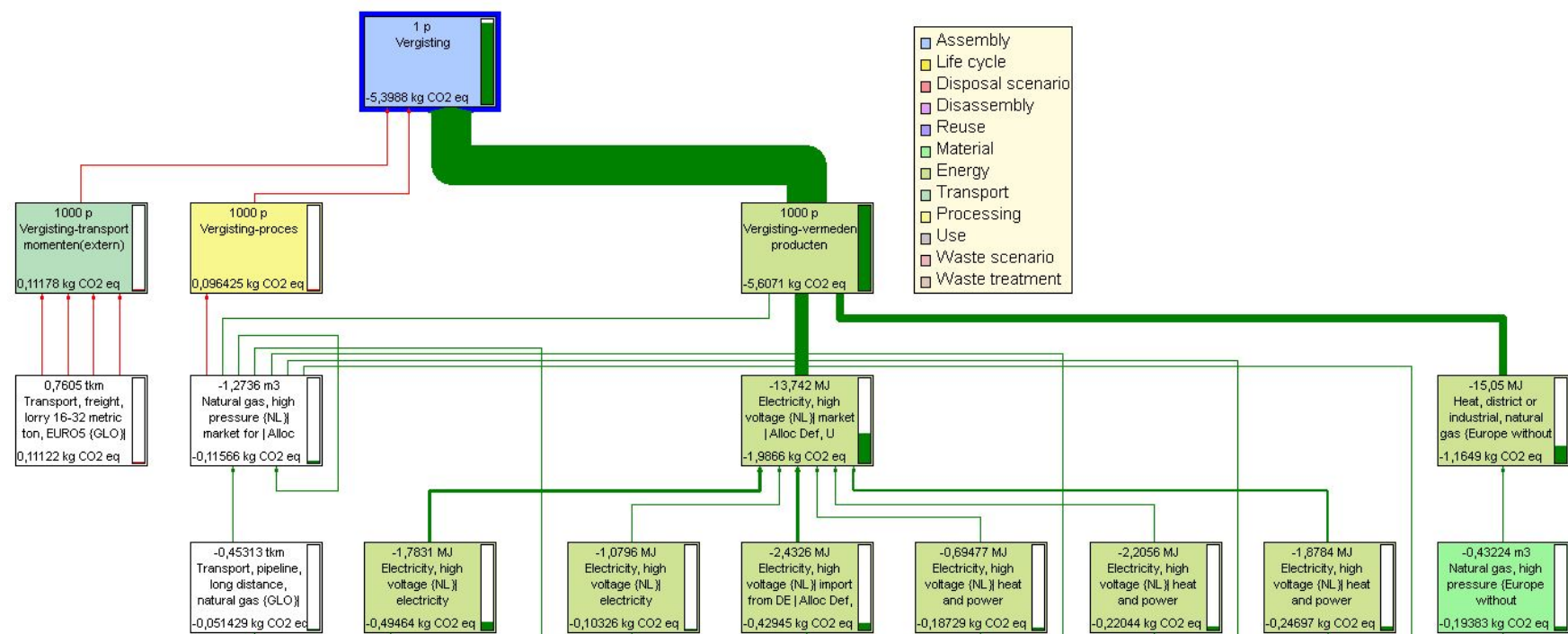
Figuur A-1 Milieubelasting als schaduwkosten in het netwerk van het recyclingsysteem.



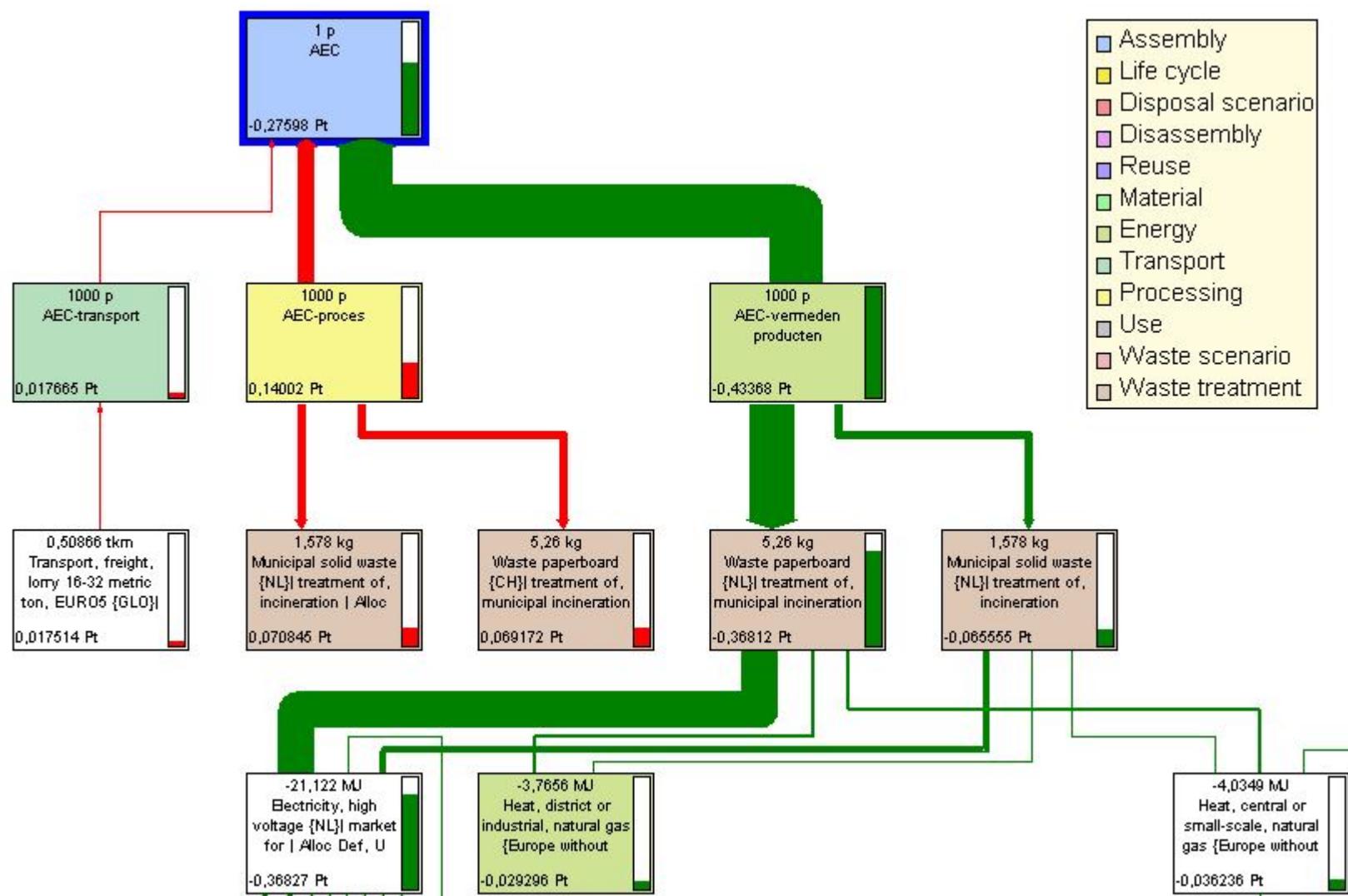
Figuur A-2 Carbon footprint van het netwerk van de recyclingsroute.



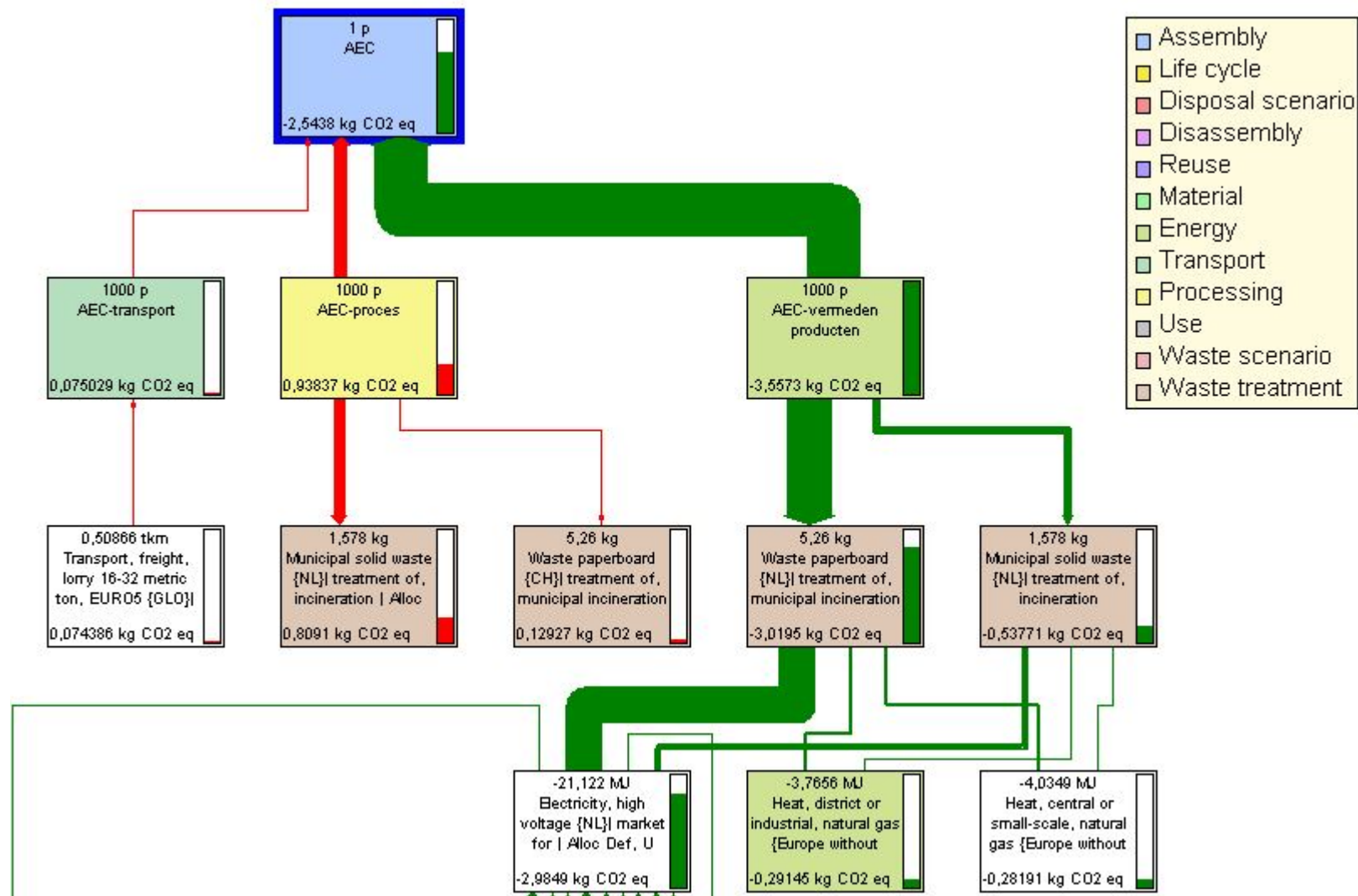
Figuur A-3 Milieubelasting als schaduwkosten in het netwerk van de vergistingsroute.



Figuur A-4 Carbon footprint van het netwerk van de vergistingsroute.



Figuur A-5 Milieubelasting als schaduwkosten in het netwerk van de AEC.



Figuur A-6 Carbon footprint van het netwerk van de verwerking van warmedrankbepers in de AEC.

Bijlage B Gekarakteriseerde resultaten verwerkingsroutes

In deze bijlage worden de gekarakteriseerde milieuprofielen, dus zonder toepassing van schaduw prijzen, van de verwerkingssystemen getoond.

Tabel B-1 Milieuprofiel van de recycling van 1000 warmedrankbepers.

Impact category	Unit	Total	Recycling-vermeden producten	Recycling-transportmomen (extern)	Sortering-Recyclingproces
Climate change	kg CO ₂ eq	-1.06E+00	-2.64E+00	2.01E-01	1.38E+00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	-2.15E-07	-3.24E-07	3.83E-08	7.07E-08
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	-6.85E-03	-1.43E-02	5.76E-04	6.90E-03
Freshwater eutrophication	kg P eq	5.06E-06	-1.88E-04	5.41E-07	1.92E-04
Marine eutrophication	kg N eq	-6.00E-04	-1.21E-03	2.50E-05	5.86E-04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	2.50E-01	-1.33E-01	4.05E-02	3.43E-01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-7.30E-03	-1.15E-02	7.55E-04	3.49E-03
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	-5.73E-03	-8.91E-03	3.03E-04	2.88E-03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	-7.45E-05	-4.32E-04	9.57E-05	2.62E-04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4.66E-03	-1.17E-03	1.31E-04	5.70E-03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.98E-03	-2.18E-03	7.31E-04	4.42E-03
Ionising radiation	kBq U235 eq	-1.52E-01	-1.92E-01	1.33E-02	2.66E-02
Agricultural land occupation	m ² a	-1.82E+01	-1.83E+01	1.00E-03	7.35E-02
Urban land occupation	m ² a	-2.35E-01	-2.88E-01	8.07E-03	4.50E-02
Natural land transformation	m ²	-1.49E-03	-1.55E-03	4.89E-06	5.53E-05
Water depletion	m ³	-4.58E-02	-7.36E-02	3.45E-04	2.74E-02
Metal depletion	kg Fe eq	3.84E-01	-3.99E-02	6.58E-04	4.23E-01
Fossil depletion	kg oil eq	-5.98E-01	-8.74E-01	7.20E-02	2.04E-01

Tabel B-2 Milieuprofiel van de vergisting van 1000 warmedrankbepers.

Impact category	Unit	Total	Vergisting-transportmomenten (extern)	Vergisting-proces	Vergisting-vermeden producten
Climate change	kg CO ₂ eq	-5.40E+00	1.12E-01	9.64E-02	-5.61E+00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	-3.77E-07	2.14E-08	8.49E-09	-4.06E-07
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	-2.27E-03	3.21E-04	1.30E-03	-3.89E-03
Freshwater eutrophication	kg P eq	-8.76E-05	3.02E-07	3.68E-06	-9.16E-05
Marine eutrophication	kg N eq	-9.94E-05	1.39E-05	2.56E-05	-1.39E-04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	-7.57E-03	2.26E-02	1.09E-03	-3.13E-02
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-2.36E-03	4.21E-04	8.92E-04	-3.67E-03
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	-1.09E-03	1.69E-04	3.43E-04	-1.60E-03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.19E-06	5.33E-05	1.75E-06	-4.79E-05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	-4.60E-04	7.32E-05	9.85E-06	-5.44E-04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	5.77E-05	4.07E-04	1.16E-05	-3.61E-04
Ionising radiation	kBq U235 eq	-8.04E-02	7.44E-03	3.22E-03	-9.10E-02
Agricultural land occupation	m ² a	-3.32E-01	5.59E-04	1.52E-02	-3.47E-01
Urban land occupation	m ² a	-4.57E-03	4.50E-03	3.55E-04	-9.42E-03
Natural land transformation	m ²	-4.13E-05	2.73E-06	1.24E-06	-4.52E-05
Water depletion	m ³	-2.40E-02	1.92E-04	1.02E-03	-2.52E-02
Metal depletion	kg Fe eq	-4.92E-02	3.67E-04	2.28E-03	-5.19E-02
Fossil depletion	kg oil eq	-1.77E+00	4.01E-02	4.82E-02	-1.86E+00

Tabel B-3 Milieuprofiel van de energijeterugwinning in een AEC van 1000 warmedrankbepers.

Impact category	Unit	Total	AEC-transport	AEC-proces	AEC-vermeden producten
Climate change	kg CO ₂ eq	-2.54E+00	7.50E-02	9.38E-01	-3.56E+00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	-1.95E-07	1.43E-08	1.63E-08	-2.26E-07
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	-2.99E-03	2.16E-04	1.36E-03	-4.57E-03
Freshwater eutrophication	kg P eq	-1.21E-04	2.02E-07	2.73E-06	-1.24E-04
Marine eutrophication	kg N eq	-2.69E-05	9.35E-06	1.31E-04	-1.67E-04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.24E-01	1.52E-02	1.56E-01	-4.65E-02
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-1.81E-03	2.82E-04	1.97E-03	-4.06E-03
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	-1.11E-03	1.13E-04	5.47E-04	-1.77E-03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.17E-04	3.58E-05	1.49E-04	-6.78E-05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.11E-03	4.91E-05	7.14E-03	-1.08E-03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.70E-03	2.73E-04	2.00E-03	-5.74E-04
Ionising radiation	kBq U235 eq	-9.56E-02	4.99E-03	2.84E-03	-1.03E-01
Agricultural land occupation	m ² a	-5.04E-01	3.75E-04	2.31E-03	-5.07E-01
Urban land occupation	m ² a	-8.43E-03	3.02E-03	3.75E-04	-1.18E-02
Natural land transformation	m ²	-3.83E-05	1.83E-06	1.11E-06	-4.13E-05
Water depletion	m ³	-2.60E-02	1.29E-04	7.61E-03	-3.38E-02
Metal depletion	kg Fe eq	-7.39E-02	2.46E-04	1.79E-03	-7.60E-02
Fossil depletion	kg oil eq	-1.13E+00	2.69E-02	2.36E-02	-1.18E+00