



LCA afvalverwerking luiermateriaal



CE Delft

Committed to the Environment

LCA afvalverwerking luiermateriaal

Dit rapport is geschreven door:
Ingrid Odegard, Erik Roos Lindgreen en Martijn Broeren

Delft, CE Delft, mei 2018

Publicatienummer: 18.2M03.155a

Afvalverwerking / Incontinentiemateriaal / LCA / Verbranden / Hergebruik / Kunststoffen

Opdrachtgever: Elsinga Beleidsplanning en Innovatie, ARN, MARN

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Ingrid Odegard (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

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



Contents

	Samenvatting	3
	Begrippenlijst	4
1	Inleiding	5
2	Doel en reikwijdte	6
	2.1 Doelstelling	6
	2.2 Functionele eenheid	6
	2.3 Beschrijving Elsinga's TDH-proces	6
	2.4 Systeemgrenzen	7
	2.5 Methode en dataverzameling	9
3	Inventarisatie	10
	3.1 Input: Luiers en incontinentiemateriaal	10
	3.2 Route 1: Verbranding in een AEC met energierugwinning	11
	3.3 Route 2: Verwerking TDH met winning van kunststofgranulaat en biogas	13
4	Resultaten	18
	4.1 CO ₂ -voetafdruk	18
	4.2 Resultaten op midpoint- en endpointniveau	21
	4.3 Milieu-impact van kunststof granulaat uit het TDH-proces	23
5	Gevoeligheidsanalyses	25
	5.1 Additionele luierinzameling	25
	5.2 Optimalisatie van stoomgebruik	26
	5.3 Waarde van kunststofgranulaat	26
	5.4 AEC-rendement	27
6	Interpretatie	29
7	Referenties	30
A	ReCiPe-methode	31
B	Sorteeranalyse	32
C	Review	33



Samenvatting

In deze studie voor Elsinga Beleidsplanning & Innovatie B.V. ('Elsinga'), ARN B.V. en MARN (Milieusamenwerking en Afvalverwerking Regio Nijmegen) staat de volgende vraag centraal: *Wat is de milieu-impact van luierverwerking via:*

1. *Thermische drukhydrolyse (TDH) gelinkt aan een AEC, RWZI en een WKK-installatie. Of*
2. *Verbranding (met energierugwinning) in een afvalenergiecentrale (AEC)?*

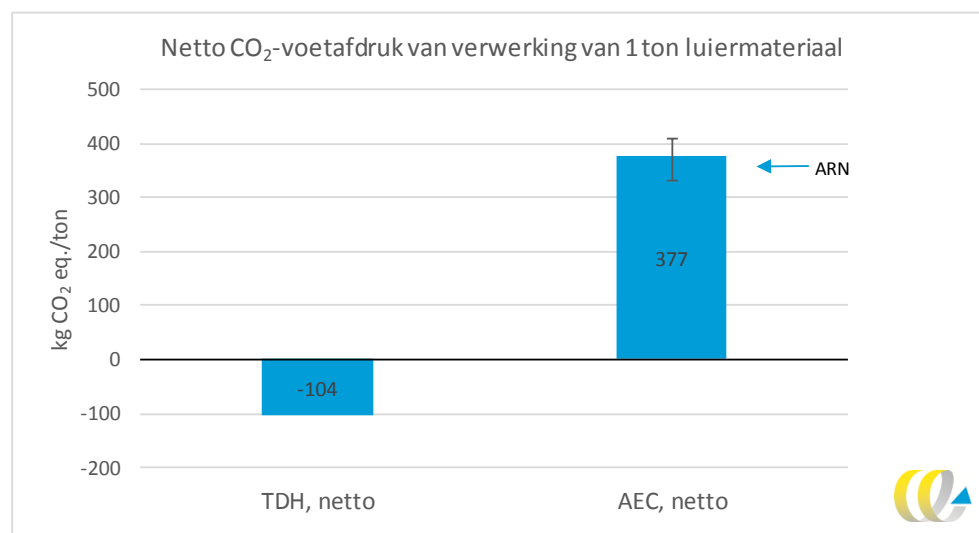
Om deze vraag te kunnen beantwoorden, heeft CE Delft de milieu-impact van beide verwerkingsmethoden bepaald met behulp van levenscyclusanalyse (LCA). LCA's worden vaak gebruikt om diverse afvalverwerkingstrategieën te vergelijken en daarmee de milieuwinst van recycling te bepalen.

De effecten van deze routes over de hele levenscyclus zijn bepaald voor:

- **CO₂-voetafdruk:** Het vervangen van de huidige conventionele methode door de TDH-methode levert in de huidige situatie een klimaatwinst van 480 kg CO₂-eq. per ton verwerkt luiermateriaal.
- **Overige milieuthema's:** Verwerking in een TDH-installatie is gunstiger voor 12 van de 17 midpoints.
- **Drie impactcategorieën:** Om de relevantie van de scores op de verschillende midpoints te duiden, zijn de effecten op endpointniveau bepaald (menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen). Hieruit blijkt dat de TDH-methode gunstiger is voor alle drie de endpoints.

De beoordeling van midpoints en endpoints laat zien dat effecten op klimaatverandering de meeste invloed hebben op menselijke gezondheid en ecosystemen. Terwijl andere milieu-impactcategorieën op lokale schaal invloed kunnen hebben, kunnen beide verwerkingsroutes goed vergeleken worden op basis van hun CO₂-voetafdruk, deze is weergegeven in Figuur 1. De TDH-route heeft een netto voordeel, de AEC een netto nadeel, het verschil is ~480 kg CO₂-eq. per ton verwerkt luiermateriaal.

Figuur 1 - Netto CO₂-voetafdruk van verwerking van 1 ton luiermateriaal



Noot: 'ARN' geeft de carbon footprint van de verwerking van 1 ton luiermateriaal in de ARN AEC.

Review van de LCA door SGS Search geeft aan dat er geen reden voor twijfel over de conclusies in het rapport is (zie Bijlage C).

Begrippenlijst

Term of afkorting	Betekenis
Elsinga	Elsinga Beleidsplanning & Innovatie B.V.
ARN	ARN B.V.; Afvalenergiecentrale in Weurt
MARN	Milieusamenwerking en Afvalverwerking Regio Nijmegen
TDH	Thermische drukhydrolyse op 250°C > 40 Bar
Luiermateriaal	Verwijst naar gebruikte babyluiers en incontinentiematerialen
AEC	Afvalenergiecentrale
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
WKK	Warmtekrachtkoppelinginstallatie
SAP	Superabsorberend polymeer
GMB	Verwerker van rioolwaterzuiveringslib tot biogranulaat

1 Inleiding

Elsinga Beleidsplanning & Innovatie B.V. ('Elsinga') en ARN B.V. hebben een innovatieve technologie ontwikkeld voor het verwerken en recyclen van gebruikte babyluiers en incontinentiemateriaal. Deze methode is gebaseerd op thermische drukhydrolyse op 250°C >40 Bar ('TDH') van het afval, waaruit vervolgens kunststof (LDPE/PP) en biogas wordt geproduceerd.

In mei 2017, heeft Elsinga de CO₂-scan van hun luierecyclingprocedure afgerond. CE Delft heeft deze CO₂-scan geëvalueerd, met specifieke aandacht voor de methodologische keuzes die in de analyse zijn gemaakt. In oktober hebben Elsinga, ARN en Milieusamenwerking en Afvalverwerking Regio Nijmegen (MARN) CE Delft gevraagd een gedetailleerde levenscyclusanalyse (LCA) uit te voeren, waarin de verwerking van luiermateriaal via TDH vergeleken wordt met verbranding met energierugwinning (het referentiescenario). De onderzoeksvraag in deze studie is:

Wat is de milieu-impact van luierverwerking via thermische drukhydrolyse (TDH) in verhouding tot verbranding (met energierugwinning) in een afvalenergiecentrale (AEC)?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, heeft CE Delft de milieu-impact van beide verwerkingsmethoden bepaald met behulp van levenscyclusanalyse (LCA). Een LCA geeft inzicht in de milieu-impact van iedere afzonderlijke stap in de levenscyclus van een product. Daarbij wordt gekeken naar de effecten op verschillende milieuthema's. Naast klimaatimpact (de CO₂-eq.-voetprint) komen onder andere landgebruik, verzuring en fijnstofemissies aan bod. LCA's worden vaak gebruikt om diverse afvalverwerkingsstrategieën te vergelijken en daarmee de milieuwinst van recycling te bepalen.

Dit rapport is zowel bedoeld voor intern gebruik bij Elsinga, ARN en MARN als voor externe communicatie over de milieuprestatie van de TDH-methode.

In Hoofdstuk 2 wordt de reikwijdte en methodologie van deze studie beschreven, waaronder de functionele eenheid en de vastgestelde systeemgrenzen van het onderzoek. In Hoofdstuk 3 presenteren wij de inventarisatie van gegevens over de processtappen in de keten. Deze is met name gebaseerd op data aangeleverd door Elsinga en ARN. Hoofdstuk 4 omvat de resultaten, waarna in Hoofdstuk 5 gevoeligheidsanalyses zijn opgenomen. In Hoofdstuk 6 volgt een interpretatie (conclusie) van onderzoeksuitkomsten. In Bijlage C is de review van SGS Search opgenomen.

2 Doel en reikwijdte

2.1 Doelstelling

Het doel van de analyse is het bepalen van de milieu-impact van de verwerking van 50% lui- en 50% incontinentiemateriaal volgens de 'Elsinga' TDH-methode en deze te vergelijken met de huidige verbranding in een afvalenergiecentrale (AEC) (de referentie). Om beide afvalverwerkingsmethodes te vergelijken wordt een LCA ingezet. Deze geeft een *ex ante*-analyse voor de TDH-route omdat die pas in 2018 volledig operationeel zal zijn. De onderzochte routes zijn:

1. Referentiescenario: Verbranding van gebruikt luiermateriaal en incontinentiemateriaal¹ in een AEC met energierugwinning.
2. Verwerking van apart ingezameld luiermateriaal door thermische drukhydrolyse (TDH), waarmee gerecyclede kunststoffen en biogas worden geproduceerd, evenals additioneel biogas uit toegevoegd uitgegist rioolwaterzuiveringsslib, en digestaat dat verwerkt wordt (met winning van de kunstmeststof ammoniumsulfaat) tot biogranulaat voor de terugwinning van energie.

2.2 Functionele eenheid

De functionele eenheid geeft de functie van een bepaald systeem weer en zorgt er daarmee voor dat alle ingrepen in de verschillende processen gerelateerd worden aan dezelfde basis. In de huidige analyse is de functionele eenheid als volgt gedefinieerd:

Het verwerken van 1 ton lui- en incontinentiemateriaal met een bepaalde samenstelling, inclusief de toepassing van producten die gemaakt zijn gedurende dit proces en alle additionele ingrepen die optreden door de integratie van deze technologie in het bestaande afvalverwerkingsstelsel.

De afvalverwerkingsmethoden die in deze studie zijn onderzocht zijn (of zullen) beiden gesitueerd worden op de bestaande ARN-locatie. De samenstelling van de inputmaterialen zal gedetailleerd worden beschreven in Hoofdstuk 3 (inventarisatie van de levenscyclus).

2.3 Beschrijving Elsinga's TDH-proces

Elsinga's TDH-methode is gebaseerd op een pilot-scale configuratie zoals getest door Elsinga en ARN. In Nederland hebben ze meer dan 150 testen uitgevoerd met een proefreactor die een capaciteit van 300 liter heeft.

Het TDH-proces bestaat uit twee of meer reactoren en een flash tank. Het systeem is gekoppeld aan een bestaande rioolwaterzuiveringsinstallatie met slibvergisting, waaruit ontwaterd digestaat wordt verkregen dat gebruikt wordt als hulpmateriaal. De koppeling biedt additionele voordelen zoals de beschikbaarheid en nabijheid van een bestaande vergister en een hogere productie van biogas in die vergister. Er wordt extra biogas geproduceerd uit uitgegist rioolwaterzuiveringsslib dat in de TDH wordt toegevoegd als hulpstof: door de TDH kan er nog biogas uit het uitgegiste slib geproduceerd worden. Een ander voordeel van de locatie is de verbinding met een lokale AEC die hogedruk- en hogetemperatuurstoom kan leveren.

¹ Luiers en incontinentiemateriaal worden hierna gezamenlijk aangeduid als 'luiermateriaal'.

Allereerst wordt één van de twee reactors (potentieel drie) gevuld met een combinatie van reeds vergist digestaat en gebruikt luiermateriaal. Het geheel wordt met stoom verwarmd tot 250°C en onder druk gezet tot ≥ 40 bar. Dit duurt 10-40 minuten. Daarna wordt de temperatuur teruggeschroefd naar circa 100°C en de druk naar 1 bar. De stoom gaat door naar de tweede reactor, die ook ontwaterd digestaat en gebruikt luiermateriaal bevat. De procedure van verhitting is hetzelfde, waarna de stoom teruggaat naar de eerste reactor. Er is dus telkens een reactor die verwarmd wordt met stoom uit de andere reactor, aangevuld met nieuwe stoom. Eventuele overbodige stoom wordt afgevoerd naar de flash tank.

Gedurende het TDH-proces, ondergaat het organische materiaal in de reactor hydrolyse: het cellulair weefsel en lange polymeerketens worden afgebroken door de invloed van water, hitte en druk naar de originele, kleinere moleculaire componenten. Tegelijkertijd smelten de kunststof componenten van het inputmateriaal en vormen deze een drijvende laag bovenop de andere onderdelen. Hierdoor kan dit worden gescheiden van de organische slurry. De kunststof wordt vervoerd naar een granulatiebedrijf en kan worden hergebruikt in nieuwe producten.

Het andere product, de vloeibare en warme slurry die bestaat uit waterig organisch materiaal zonder kunststof, wordt naar een vergister in de nabijgelegen RWZI verpompt. De warme slurry verwarmt het aanwezige rioolwaterzuiverings-slib en wordt samen met het RWZI-slib vergist. Dit resulteert in biogas, wat gebruikt wordt in een WKK. Er is aangenomen dat de warmte die door de WKK geproduceerd wordt in de vergister gebruikt wordt (in de berekening is geen warmtevraag van de vergister toegevoegd, en ook geen warmteproductie uit de WKK). Het uitgegiste slib wordt ontwaterd. Het digestaat wordt vervoerd naar GMB en daar verwerkt tot biogranulaat. Bij dit proces wordt ammoniumsulfaat teruggewonnen, dit wordt toegepast als meststof. Het rejectiewater wordt teruggevoerd op de RWZI. Omdat de TDH-slurry die naar de vergister wordt gepompt warm is, vermindert dit de warmtevraag van de vergister. Dit betekent dat de WKK additioneel warmte overhoudt. Deze warmte kan potentieel gebruikt worden om het zuiveringsrendement op de RWZI te verhogen. Dit potentiële voordeel is niet opgenomen in de analyse vanwege gebrek aan data over het effect op het (lagere) energiegebruik van de RWZI, en om er zeker van te zijn dat de resultaten een conservatieve inschattingen geven.

2.4 Systeemgrenzen

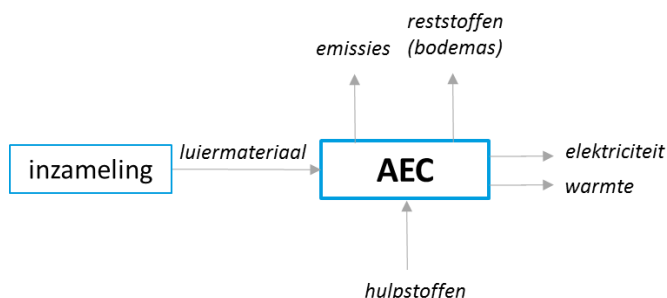
2.4.1 Referentiescenario: Verbranding van luiermateriaal

Momenteel bestaat de verwerking van gebruikt luiermateriaal in Nederland uit verbranding met energierugwinning. Omdat er nog geen andere verwerkingsopties beschikbaar zijn, is dit het referentiescenario in de LCA.

Alle AEC's in Nederland hebben een zogenoemde R1-status. Dit betekent dat ze installaties voor nuttige toepassing zijn en ze voldoende energie-efficiënt zijn. Ze produceren elektriciteit en warmte (zie Figuur 2). Tegelijkertijd produceren AEC's CO₂ en andere emissies door het verbranden van (stedelijk) afval. In deze LCA wordt het transport voor de inzameling van afval ook meegenomen.



Figuur 2 - Route 1: Verbranding van luiermateriaal met energierugwinning (referentie)

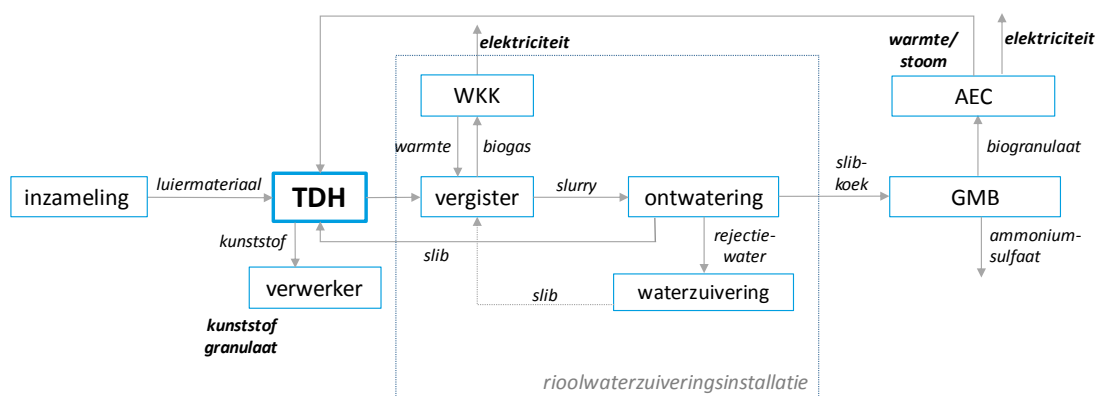


2.4.2 Thermische drukhydrolyse van luiermateriaal

De LCA richt zich vooral op de verwerking van luiermateriaal via thermische drukhydrolyse (TDH). Figuur 3 toont de systeemgrenzen van de LCA, gebaseerd op de procesbeschrijving in Paragraaf 2.3.

Zoals eerder vermeld, is Elsinga’s TDH-proces nauw verbonden met de dichtbij gelegen RWZI. De RWZI levert digestaat wat gebruikt wordt als input. De AEC zorgt voor de aanlevering van stoom. Hierdoor moeten keuzes gemaakt worden wat betreft de allocatie van de materialen (en hun milieu-impact). In de analyse zullen de milieueffecten die uitsluitend toe te rekenen zijn aan de TDH-methode worden meegenomen en bepaald. De achterliggende redenering komt per relevante processtap aan bod in Hoofdstuk 3.

Figuur 3 - Route 2: Verwerking van luiermateriaal met TDH, tot kunststofgranulaat, biogas en biogranulaat



Er zijn nog een aantal aandachtspunten met betrekking tot de systeemgrenzen van de LCA:

- Een aantal zorginstellingen verzamelt incontinentiemateriaal via vacuümgetrokken plastic zakken. Omdat deze zakken zowel in de AEC als in de TDH-reactor terecht zullen komen, nemen we het energieverbruik van deze stap (het vacumeren) niet mee in de analyse.
- Plastic zakken die gebruikt worden voor het verzamelen van afval nemen we mee in beiden verwerkingsroutes omdat deze een integraal aspect vormen van de inputstroom.
- Een sorteeraanlyse door Elsinga van meer dan 500 kg input (zie Bijlage B) laat zien dat de aangeboden luiers en het incontinentiemateriaal verontreinigd zijn. De meeste verontreinigingen worden op dezelfde manier verwerkt in het THD-proces als het luiermateriaal en worden verwerkt tot kunststofagglomeraten en slurry. Slechts een klein gedeelte van de verontreinigingen eindigt in



een AEC (dit wordt bij het afscheiden van de plastics uit de slurry verwijderd). Voor luiers geldt dat slechts 0,3% van de input uit residueel materiaal bestaat en uiteindelijk in een AEC terecht komt. Omdat de samenstelling van deze stroom onbekend is, is deze niet apart meegenomen in de analyse. Bij incontinentiemateriaal bestaat de input voor 0,5% uit latex handschoenen en voor 0,4% uit residueel materiaal, waarbij alleen de verbranding van latex handschoenen is toegevoegd aan de analyse.

- De RWZI gebruikt warmte die geproduceerd is in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK), vooral in de vergister. In de analyse wordt aangenomen dat de warmte van de WKK voldoende is voor de vergister; vermeden warmte uit andere bron is niet opgenomen in de analyse. Dit betekent ook dat vermeden productie van warmte niet wordt meegenomen. Omdat de warme slurry uit de TDH extra warmte levert aan de vergister, kan de WKK-warmte elders in de RWZI worden ingezet. Hierdoor zou het elektriciteitsgebruik voor beluchting kunnen dalen en/of zou de efficiëntie van de biologische zuivering toe kunnen nemen. Deze potentiële effecten vallen buiten de huidige analyse wegens gebrek aan gegevens. We adviseren deze impacts in kaart te brengen wanneer het TDH-systeem enige tijd operationeel is. Dan pas is duidelijk hoe de systemen elkaar beïnvloeden en of optimalisaties mogelijk zijn.

2.5 Methode en dataverzameling

Primaire gegevens van Elsinga en ARN zijn gebruikt om het TDH-proces en stoomlevering te modelleren. Hierbij gaat het om de samenstelling van binnenkomende materialen, de grote stromen gerelateerd aan de TDH-technologie, de hoeveelheid bijproducten (zoals gerecycled kunststof, biogas en slib dat verwerkt wordt tot biogranulaat) en de stoom. Gegevens zijn gevalideerd door CE Delft. Daarnaast zijn gegevens uit eerdere CE Delft-analyses gebruikt om het model compleet te maken. Hierbij gaat het onder andere om informatie over de verwerking van zuiveringsslib tot biogranulaat, afvalwaterzuivering, afvalverbranding en transport. Daarnaast is de Ecoinvent-database (Ecoinvent, 2017) gebruikt. Meer informatie over het modelering is te vinden in Hoofdstuk 3.

Voor het doorrekenen van de resultaten is gebruik gemaakt van de ReCiPe 2016 (H)-methode, Versie 1.00. Hierin is een aanpassing gemaakt in de impactcategorie Human non-carcinogenic toxicity, in de karakterisatiefactor voor de emissie van zink naar water. Deze aanpassing zal in ReCiPe 2016, Versie 1.1 doorgevoerd worden (RIVM, 2017). De gebruikte SBK-bepalingsmethode is Versie NMD 2.0, v.3.03, lange termijnemissies zijn uitgesloten.

3 Inventarisatie

Dit hoofdstuk beschrijft de LCA-modellering van beide afvalverwerkingsroutes (zie Figuur 2 en Figuur 3). De inventarisatie wordt gebruikt om alle stromen van en naar het milieu in kaart te brengen en te relateren aan de functionele eenheid. Dit is de basis van de analyse, waarna in Hoofdstuk 4 de impacts bepaald kunnen worden.

Paragraaf 3.1 gaat in op de samenstelling van de afvalstroom (de inputs). In Paragraaf 3.2 wordt de AEC-route beschreven, waarna de TDH-route aan bod komt in Paragraaf 3.3. Elke processtap (weergegeven als boxen in Figuur 2 en Figuur 3) wordt apart besproken.

3.1 Input: Luiers en incontinentiemateriaal

De aanname is dat 50% (massa) van het inputmateriaal bestaat uit luiers en 50% uit incontinentiemateriaal. Deze producten bestaan uit dezelfde materialen, maar in verschillende verhoudingen. Tabel 1 toont de samenstellingen van beiden en de onderste verbrandingswaarde (LHV) van ieder materiaal.

Tabel 1 - Samenstelling van het inputmateriaal

Materiaal	LHV (MJ/kg)	Luiers (wt%)	Luiers (LHV)	Incontinentiemateriaal (wt%)	Incontinentiemateriaal (LHV)
SAP	25.0	9.7%	2.4	3.9%	1.0
Fluff-pulp	16.8	7.1%	1.2	17.9%	3.0
Non-woven (PP)	41.6	6.2%	2.6	3.0%	1.3
Elastiek en zelfklevend tape	27.2	3.8%	1.0	0.3%	0.1
PE-film (PE)	41.2	1.5%	0.6	1.7%	0.7
Lijm	41.0	0.9%	0.4	0.8%	0.3
Anders	0.0	0.3%	0.0	0.0%	0.0
Vloeibaar bioafval	-2.6 ²	67.5%	-1.8	67.5%	-1.8
Plastic zakken (PE)	41.2	3.0%	1.2	5.0%	2.1
LHV			7.7 MJ/kg		6.6 MJ/kg

Het materiaal 'vloeibaar bioafval' betreft de natte delen van gebruikte luiers en incontinentiemateriaal (urine en faeces). Omdat dit vooral bestaat uit water, gaan we er voor de verbrandingswaarde van uit dat deze overeenkomt met die van water. Omdat dit water verdampt wordt, verlaagt dit de totale verbrandingswaarde (LHV) van het inputmateriaal. Dit is meegenomen in de analyse, gebaseerd op de hittecapaciteit en verdampingswarmte van water. De aanname dat de hoeveelheid 'inhoud' in gebruikt luiermateriaal 67,5% van het totale gewicht uitmaakt, is gebaseerd op (Rijkswaterstaat; NVRD, 2015) en (CE Delft, 2014b).

² Deze waarde omvat verwarmingswater van 15°C tot 100°C en verdamping.

3.2 Route 1: Verbranding in een AEC met energierugwinning

In de referentieroute wordt het luiermateriaal verbrand in een AEC. De allereerste verzameling van afval (door huishoudens thuis) is niet significant verschillend bij beide routes en valt buiten de analyse. De afstand tussen de kinderdagverblijven en zorginstellingen en de AEC-locatie wordt op gemiddeld 40 km gesteld. Deze afstand wordt afgelegd via een vaste inzamelingsroute met vrachtauto's, gemodelleerd op basis van de STREAM-datasets voor transport met vrachtauto's zonder trailer (> 20 ton, (CE Delft, 2016b)). Een aantal parameters is aangepast om aan te sluiten bij de specifieke situatie voor afvalinzameling:

- de laadfactor is 40% omdat vrachtauto's leeg zijn bij aanvang en bijna vol (80%) terugkomen;
- van de totale route wordt aangenomen dat 80% door stedelijk gebied, 15% door half-stedelijk gebied en 5% het vervoer op snelwegen betreft;
- de totale afstand van de route wordt verondersteld twee maal de gemiddelde afstand tussen AEC-installatie en afvalverzamelpunt te zijn.

De verbranding van het luiermateriaal is gemodelleerd op basis van de prestaties van een gemiddelde Nederlandse AEC, met energierugwinning.

De gemiddelde LHV van het luiermateriaal is bepaald aan de hand van het gewicht en de LHV van ieder bestanddeel (zie Tabel 1). Vervolgens zijn, op basis van de LHV's en het elektrisch en thermisch rendement van een gemiddelde AEC, de gegenereerde warmte en elektriciteit bepaald. Tabel 2 toont het gemiddelde rendement en een gemiddeld hoog en gemiddeld laag rendement. Deze zijn afgeleid van (RWS, 2014). Ook het rendement van ARN is gegeven (ARN, 2017). De hoge en lage categorieën zijn bepaald door het gemiddelde totaalrendement, respectievelijk 63 en 22%. Deze waarden zijn gebaseerd op het gemiddelde van installaties met een hoger of lager algeheel rendement. Het totaalrendement van de lage categorie is lager dan die van de hoge categorie omdat de hogere elektrische-efficiëntie niet opweegt tegen de lagere warmte-efficiëntie.

Tabel 2 - AEC (netto) energierendementen, gemiddelden op basis van data van 2012

Categorie	Rendement (totaal) (%)	Elektrisch rendement (%)	Thermisch rendement (%)
Gemiddelde rendement ⁽¹⁾	36	16	19
Gemiddelde van hoog rendementinstallaties ⁽¹⁾	63	11	52
Gemiddelde van laag rendementinstallaties ⁽¹⁾	22	16	6
ARN ⁽²⁾	40	17	23

Bronnen: ⁽¹⁾ Gebaseerd op (RWS, 2014). ⁽²⁾ Gebaseerd op (ARN, 2017).

Aangenomen wordt dat de gegenereerde warmte en elektriciteit van de AEC andere productie vermijdt. Uitbreiding levert dan een milieuvoordeel op. Het voordeel is bepaald op basis van de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsproductie en de gemiddelde Europese industriële warmteproductie door de verbranding van aardgas.

Tabel 3 - Relevante processen in AEC-modellering

Proces	Gemodelleerd proces	Achtergrond
Vermeden elektriciteits-productie	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit	Nederlandse elektriciteitsmix, gebaseerd op productiedata ('stroometiket') van de Nederlandse elektriciteitsopwekking. Voor meer informatie zie (CE Delft, 2014a). Dit is exclusief netwerk- en transformatieverliezen, deze worden dus niet vermeden.
Vermeden warmteproductie	Warmte (wijk of industrieel), aardgas	Ecoinvent.
Transport	80 tkm door vuilniswagen, >20t, EURO 5	Standaardvoertuig en -afstand voor stedelijk afval in Nederland. Gebaseerd op de geografische verdeling van AEC's en de daarvan afgeleide gemiddelde nabijheid van een AEC.

Hulpstoffen en emissies anders dan CO₂ zijn opgenomen in de AEC-route. Hiervoor is gebruik gemaakt van Ecoinvent-processen. De warmte-input die standaard is opgenomen in de Ecoinvent-proceskaarten is verwijderd, omdat de netto energierendementen apart gemodelleerd zijn.

De geselecteerde processen zijn samengevat in Tabel 4. Hierbij is aangegeven welke proceskaart voor welk materiaal gebruikt is, wat de aanname is geweest als er gebruik gemaakt is van een proxy, en of er additionele aanpassingen gemaakt zijn.

Tabel 4 - Geselecteerde verbrandingsprocessen

Materiaal	Verbrandingsproces of proxy	Achtergrond
SAP	Ecoinvent-proces: <i>Waste plastic, mixture {CH}</i> treatment of, municipal incineration	Voor dit materiaal is geen Ecoinvent-verbrandingsproces beschikbaar. Als proxy is verbranding van mixed plastic afval gekozen. De CO ₂ -emissies zijn aangepast voor het koolstofgehalte in SAP.
Fluff-pulp	Ecoinvent-proces: <i>Waste paperboard {CH}</i> treatment of, municipal incineration	Er wordt aangenomen dat fluff-pulp in luiermateriaal uit cellulosevezels bestaat. Er is geen Ecoinvent-verbrandingsproces voor cellulose beschikbaar. Als proxy is verbranding van (afval) karton gekozen.
Nonwoven (PP)	Ecoinvent-proces: <i>Waste polypropylene {CH}</i> treatment of, municipal incineration	-
Elastiek en zelfklevend tape	Ecoinvent-proces: <i>Waste rubber, unspecified {CH}</i> treatment of, municipal incineration	Elastiek wordt vaak gemaakt van rubber.
PE-film	Ecoinvent-proces: <i>Waste polyethylene {CH}</i> treatment of, municipal incineration	-
Lijm	Ecoinvent-proces: <i>Waste plastic, mixture {CH}</i> treatment of, municipal incineration	We nemen aan dat dit synthetisch materiaal is. Voor lijm is geen Ecoinvent-verbrandingsproces beschikbaar. Als proxy is daarom gekozen voor verbranding van mixed plastic afval.
Vloeibaar bioafval	Ecoinvent-proces: <i>Raw sewage sludge {CH}</i> treatment of, municipal incineration	Met 'vloeibaar bioafval' wordt het natte organisch materiaal (inhoud) in het luiermateriaal bedoeld. Omdat de samenstelling vergelijkbaar is met RWZI-slib, is als proxy verbranding van RWZI-slib gekozen.
Plastic zakken (PE)	Ecoinvent-proces: <i>Waste polyethylene {CH}</i> treatment of, municipal incineration	-
Anders	-	Insignificante hoeveelheid (< 0,2%). Er wordt aangenomen dat dit de resultaten van de LCA niet beïnvloedt, en wordt daarom niet opgenomen in de modellering.

3.3 Route 2: Verwerking TDH met winning van kunststofgranulaat en biogas

3.3.1 Afvalinzameling

Tabel 5 toont hoe de afvalinzameling is gemodelleerd. De transportafstand tussen het afvalverzamel-punt en de TDH-installaties varieert van een paar kilometer tot 75 kilometer. De gemiddelde afstand wordt 40 kilometer verondersteld. Deze wordt afgelegd via een vaste inzamelingsroute met vrachtauto's, gemodelleerd op basis van de STREAM-datasets voor transport met vrachtauto's zonder trailer (> 20 ton, (CE Delft, 2016b)). Een aantal parameters is aangepast om aan te sluiten bij de specifieke situatie van afvalinzameling, op dezelfde manier als voor de inzameling in de AEC-route.

Tabel 5 - Transport afvalinzameling

Proces	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Transport luiermateriaal naar TDH-installatie	80 tkm	Vrachtauto, > 20t, EURO 5, STREAM aangepast voor vuilniswagen in stedelijk gebied (CE Delft, 2016b).

3.3.2 Energiegebruik van het TDH-proces

Het inputmateriaal wordt in de TDH-installatie onder hoge druk en temperatuur verwerkt. ARN en Elsinga hebben gegevens aangeleverd over stoomgebruik (druk en hitte) en het elektriciteitsgebruik tijdens het roeren van de massa. Tabel 6 toont de details.

Tabel 6 - Energie input tijdens het TDH-proces

Proces	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Elektriciteit	18 kWh	Nederlandse elektriciteitsmix, gebaseerd op productiedata ('stroometiket') van de Nederlandse elektriciteitsopwekking. Voor meer informatie zie (CE Delft, 2014a).
Stoom	981 MJ	Stoom van aangesloten AEC. Emissiefactor stoom: 59,5 kg CO ₂ -eq. per GJ stoom.

De stoom die door de AEC geleverd wordt heeft een hoge druk (> 40 bar) en temperatuur (250°C). Uitgaande van een emissiefactor van 105,7 kg CO₂ per GJ afval (RVO.nl, 2016) en een biogene inhoud van 55%, resulteert 1 GJ afval in een uitstoot van 47,6 kg CO₂. Omdat de (gewogen) gemiddelde efficiëntie van boilers circa 81,9% is komt de emissiefactor van stoom uit op 58,1 kg CO₂ per GJ.

3.3.3 Verwerking van kunststoffen

Nadat de massa is afgekoeld, zijn er twee outputs:

1. Vloeibare slurry die organisch materiaal bevat, deze slurry wordt naar een vergister op de nabijgelegen RWZI geleid³.
2. Vaste gemengde kunststoffen die 95% bevatten van al het kunststof dat aanwezig was in het inputmateriaal. De kunststoffen worden naar een granuleerinstallatie gebracht.

³ Elsinga heeft onderzoek laten uitvoeren over de risico's gerelateerd aan microplastics (vertrouwelijk rapport).



De opbrengst is 96,6 kg kunststof per ton verwerkt luiermateriaal, exclusief wat vervuiling (7% massa) in deze stroom. Kunststof bestaat voor 55% (51 kg) uit polyethyleen (PE) en voor 45% (42 kg) uit polypropyleen (PP).

Kunststof wordt gegraneerd en de verontreinigingen worden verwijderd en verbrand. Er wordt kleine hoeveelheid (van een onbekende) compatibilisator gebruikt bij het granuleren. De gegraneerde kunststoffen kunnen gebruikt worden in nieuwe producten. Een producent van tuinbouwproducten heeft interesse getoond in de aankoop van deze kunststoffen. Tabel 7 geeft een overzicht van de modellering van kunststofverwerking.

Tabel 7 - Kunststofverwerking

Aspect	Hoeveelheid	Proces/proxy voor proces
Transport van kunststof van TDH-installatie naar verwerker (147 km)	14 tkm per ton luiermateriaal	Diesel vrachtauto zonder trailer, >20 t max. capaciteit EURO 5.
Granuleren van kunststof	93 kg per ton luiermateriaal	Extrusie: Ecoinvent-proces: <i>Extrusion, plastic pipes {RER} production.</i>
Compatibilisator	0,01 kg per kg geproduceerd granulaat	Ecoinvent-proces: <i>Chemical, organic {GLO} market for</i> (proxy voor compatibilisator).
Elektriciteitsgebruik voor het verwijderen van verontreinigingen	0,175 kWh per kg geproduceerd granulaat	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit (CE Delft, 2014a).
Verbranding van verontreinigingen	7% van kunststof input	Verbranding met energierugwinning in gemiddelde AEC. Exacte compositie onbekend, aanname is gemengd kunststof.
Vermeden productie van virgin PE	28 kg per ton luiermateriaal	Polyethyleen, hoge dichtheid, granulaat, productie.
Vermeden productie van virgin PP	65 kg per ton luiermateriaal	Ecoinvent-proces: <i>Polyethylene, high density, granulate, production.</i>

3.3.4 Vergisting en WKK

De vloeibare slurry met organisch materiaal wordt naar een vergister op een nabijgelegen RWZI gepompt. In de vergister wordt circa 40% van het organisch materiaal afgebroken. Er is geen (weg)transport nodig omdat de TDH-installatie fysiek gelinkt is aan de RWZI. De vergister is gekoppeld aan een WKK, die het produceerde biogas gebruikt om elektriciteit en warmte te produceren.

De 88 Nm³ geproduceerd biogas is specifiek toe te rekenen aan het TDH-proces. Het bestaat uit zowel biogas dat voortkomt uit de verwerking van het luiermateriaal (72 Nm³) als biogas dat ontstaat uit het uitgegiste slib (16 Nm³).

Het gebruik van elektriciteit, warmte en additieven, alsook de emissies van de vergister zijn gemodelleerd op basis van Ecoinvent-data, zoals weergegeven in Tabel 8. De energie die nodig is voor het pompen is in de modellering opgenomen.

Tabel 8 - Vergister

Aspect	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Geproduceerd biogas door de vergister (input voor de WKK-installatie)	88 Nm ³	-
Verwerking van slib in de vergister	1 ton	Ecoinvent-proces: <i>Sewage sludge {CH}</i> / <i>treatment of by anaerobic digestion.</i>

Voor de WKK-installatie zijn de rendementen uit Ecoinvent gebruikt. Het geproduceerde biogas heeft een CH₄-inhoud van 62% wat een LHV heeft van 50 MJ/kg. De opgewekte warmte wordt intern gebruikt (in de vergister) en er wordt dus geen milieubaat toegekend. De gegeneerde elektriciteit die teruggeleverd wordt aan het net wordt in de analyse meegenomen als vermeden opwekking van gemiddelde Nederlandse elektriciteit. Emissies anders dan fossiele CO₂ die voorkomen uit de verbranding van biogas in de WKK zijn apart gemodelleerd, op basis van Ecoinvent. Tabel 9 toont de details.

Tabel 9 - WKK

Aspect	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Hoeveelheid CH ₄ in biogas	62%vol.	-
Elektrisch rendement van WKK	37%	Ecoinvent informatie
Thermisch rendement van WKK	53%	Ecoinvent informatie
Vermeden elektriciteitsproductie door biogas in WKK	251 kWh ⁴ (2,09 kWh per Nm ³)	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit (zie Tabel 3).
Warmteproductie uit biogas in WKK	1.293 MJ ⁵ (10,8 MJ per Nm ³)	Niet opgenomen als vermeden warmte.
Emissies door verbranding van biogas voor elektriciteitsopwekking	Total: 184 kWh (2,09 kWh/Nm ³ 88 Nm ³)	Gebaseerd op Ecoinvent-proces: <i>Electricity, high voltage {NL}</i> / <i>heat and power co-generation, biogas, gas engine.</i>
Emissies door verbranding van biogas voor warmteproductie	Total: 950 MJ (10,8 MJ/Nm ³ 88 Nm ³)	Gebaseerd op Ecoinvent-proces: <i>Heat, central or small-scale, other than natural gas {NL}</i> / <i>heat and power co-generation, biogas, gas engine.</i>

De hier gepresenteerde gegevens zijn conservatief van aard om een aantal redenen:

- De gegevens zijn gebaseerd op twee gekoppelde TDH-reactoren die reststoom aan elkaar kunnen leveren. In de praktijk zullen op termijn drie reactoren gecombineerd worden.
- De slurry die naar de vergister gaat (bij 90°C) levert warmte aan het rioolwaterzuiverings-slib. Hierdoor daalt de warmtevraag die voorzien wordt door de WKK-vergister. De warmte van de WKK kan daarom gebruikt worden in het afvalwaterzuiveringsproces, waardoor het zuiveringsrendement omhoog gaat.
- In de analyse is de warmte die de WKK genereert (uit het biogas) niet meegenomen als baat. Aangenomen wordt dat deze warmte wordt ingezet bij de vergister. Zoals gezegd kan het overschot aan warmte van de WKK-installatie worden gebruikt om het zuiveringsrendement in de RWZI te verhogen.

⁴ Gebaseerd op een dichtheid CH₄ van 0,66 kg/m³, LHV van CH₄ van 50 MJ/kg, elektrische efficiëntie van 37%.

⁵ Gebaseerd op een dichtheid CH₄ van 0,66 kg/m³, LHV van CH₄ van 50 MJ/kg, warmte-efficiëntie van 53%.



3.3.5 Ontwateren

De slurry die uit de vergister komt, wordt ontwaterd. Er zijn geen (weg)transportbewegingen omdat de ontwatering plaatsvindt op dezelfde locatie. De energie die nodig is voor het pompen, is meegenomen in de analyse van de vergister. Door centrifugering van de slurry worden water en vaste stoffen gescheiden. Het elektriciteitsgebruik gerelateerd aan het ontwateren is gebaseerd op een waarde van 0,120 kWh/kg droge stof (STOWA, 2012) en de aanwezigheid van 60,2 kg aan droge stof.

Het restant vaste stof wordt 'digestaat' genoemd. Deze output, bestaande uit 285 kg/ton verwerkt luiermateriaal, wordt bewerkt bij GMB. Het rejectiewater dat is gescheiden van de vaste stoffen bedraagt 332 liter/ton. Dit water wordt verwerkt in de rioolwaterzuiveringsinstallatie. Gegevens over energiegebruik en emissies die gerelateerd zijn aan dit proces komen uit Ecoinvent.

Tabel 10 en Tabel 11 geven details over de analyse van ontwatering en afvalwaterzuivering.

Tabel 10 - Ontwatering

Aspect	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Elektriciteitsgebruik voor ontwatering	7,2 kWh	Gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix.

Tabel 11 - Afvalwaterzuivering

Aspect	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Afvalwaterzuivering	332 liter	Gebaseerd op Ecoinvent-proces: <i>Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 1.1E10l/year</i> . Elektriciteitsgebruik is aangepast aan de Nederlandse elektriciteitsmix.

3.3.6 Slibverwerking/productie van biogranulaat

De verwerking van de resterende 285 kg slibkoek vindt plaats bij GMB in Tiel. De modellering is gebaseerd op eerdere analyses van CE Delft; een LCA van slib-compostering door GMB (vertrouwelijk) (CE Delft, 2017). Hierin is de winning van ammoniumsulfaat uit het slib opgenomen. Dit wordt gebruikt als (kunst)meststof. Aangenomen is dat de verwerking van 'TDH-slibkoek' en rioolwaterzuiveringsslib gelijk is. Op dit moment is er geen reden om een andere aanname te doen, mogelijk verandert dit wanneer de TDH-installatie volledig operationeel is. Omdat de bijdrage van slibverwerking op de eindresultaten verwaarloosbaar is, is het niet aannemelijk dat potentiële veranderingen in slibverwerking een significante impact hebben op de uitkomsten.

Vanuit de RWZI gaat ontwaterd slib naar de verwerkingslocatie. Dit ontwaterd slib heeft verschillende bronnen; deels direct RWZI-slib, deels RWZI-slib dat via de TDH opnieuw bij de vergister en daarna bij de ontwatering terecht is gekomen, en deels slib uit het organisch materiaal in het luiermateriaal. In deze studie kijken we naar additionaliteit. Dit betekent dat we de verwerking van het slib wat een extra 'rondje' maakt via de TDH-reactor, niet toerekenen aan de TDH. Dit slib zou immers anders ook verwerkt zijn. Het additionele biogas wat geproduceerd wordt uit het eerder uitgestoste slib is wel toegerekend.

De volgende gegevens zijn bekend:

- met 1 ton luiermateriaal en 428,6 kg uitgegist slib wordt 215,5 kg biogranulaat geproduceerd;
- uit 1 ton rioolwaterzuiveringsslib wordt normaliter 302 kg biogranulaat geproduceerd.

Dit leidt tot de conclusie dat uit 1 ton luiermateriaal 86,1 kg biogranulaat geproduceerd wordt⁶. Tabel 12 geeft een samenvatting. Aangenomen is dat het slib uit het luiermateriaal dezelfde samenstelling heeft als rioolwaterzuiveringsslib.

Tabel 12 - Slibverwerking

Aspect	Hoeveelheid	Toelichting
Biogranulaatopbrengst, uit slib	0,302 ton/ton rioolslib	(CE Delft, 2017)
Biogranulaatproductie uit 1 ton verwerkt luiermateriaal en 428,6 kg slib	215,5 kg	Biogranulaatopbrengst van 285 kg slibkoek.
...waarvan uit slib	129,4 kg	Biogranulaatproductie toe te rekenen aan uitgestist slib is $(428,6 * 0,302 =) 129$ kg. Dit deel is niet opgenomen in het model.
...waarvan uit verwerkt luiermateriaal	86,1 kg	Totale hoeveelheid geproduceerd biogranulaat (uit 285 kg slibkoek) minus het gedeelte dat voortkomt uit rioolslib, geeft de granulaatproductie dat toe te rekenen is aan verwerkt luiermateriaal.

3.3.7 Verbranding van biogranulaat

In de modellering wordt aangenomen dat het biogranulaat uit slibverwerking getransporteerd wordt naar een AEC en daar verbrand wordt. De transportafstand is 40 km. The LHV van biogranulaat is afgeleid uit (CE Delft, 2017). De hoeveelheden opgewerkte elektriciteit en warmte zijn bepaald aan de hand van de rendementen van een gemiddelde Nederlandse AEC (zie Tabel 13). Dit zijn milieubaten.

Tabel 13 - Verbranding van biogranulaat (86,1 kg per ton luiermateriaal)

Aspect	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Transport (biogranulaat naar AEC), 40 km	3,4 tkm	Grote vrachtauto, Diesel, EURO 5.
Vermeden elektriciteitsproductie	23 kWh	Gemiddelde Nederlandse elektriciteit (zie Tabel 3).
Vermeden warmteproductie	96 MJ	Warmte, wijk of industrieel, aardgas.

⁶ $215,5 - (428,6 * 0,302) = 86,1$.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk beschrijven we de belangrijkste resultaten uit de analyse van de Elsinga's TDH-methode en de referentieroute: verbranding van de inputmaterialen in een AEC. In Paragraaf 4.1 komt de CO₂-voetafdruk aan bod, waarbij we focussen op de bijdragen van de verschillende processen en hun relatieve aandeel in de voetafdruk. Paragraaf 4.2 bevat de LCA-uitkomsten. Deze zijn zowel op midpointniveau (milieuthema's) gegeven als op endpointniveau (uiteindelijke schade op menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen), waarbij gebruik gemaakt is van de ReCiPe-methode (2016) (zie Bijlage A). In Hoofdstuk 5 is een aantal aannames verder uitgewerkt in gevoeligheidsanalyses.

4.1 CO₂-voetafdruk

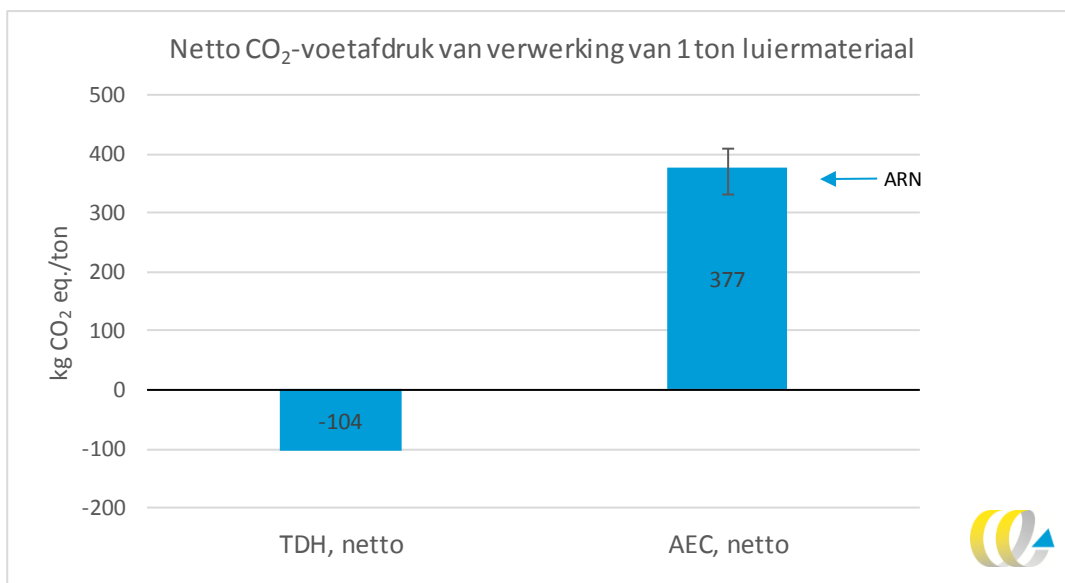
De belangrijkste midpointcategorie in deze studie is de CO₂-voetafdruk. De resultaten voor dit milieuthema zijn dan ook afzonderlijk en gedetailleerd beschreven. Klimaatimpact is belangrijk in deze analyse omdat:

- energie, in de vorm van elektriciteit en warmte, is de belangrijkste input in het TDH-proces;
- biogas, één van de outputs, is een energiedrager die bij gebruik fossiele CO₂ vervangt door biogene CO₂;
- granulaat is een substituut voor een virgin fossiele bron.

4.1.1 Netto CO₂-voetafdruk

Figuur 4 toont de netto CO₂-voetafdruk voor de verwerking van 1 ton luiermateriaal bij zowel het TDH-proces als verbranding in een AEC. Het verschil bedraagt ~480 kg CO₂/ton input. Dit betekent dat het vervangen van de huidige conventionele methode door de TDH-methode in de huidige situatie een klimaatwinst oplevert van ~480 kg CO₂ per ton verwerkt luiermateriaal.

Figuur 4 - Netto CO₂-voetafdruk bij TDH-proces en verbranding in AEC, input is 1 ton luiermateriaal



4.1.2 Gedetailleerde CO₂-voetafdruk TDH-route

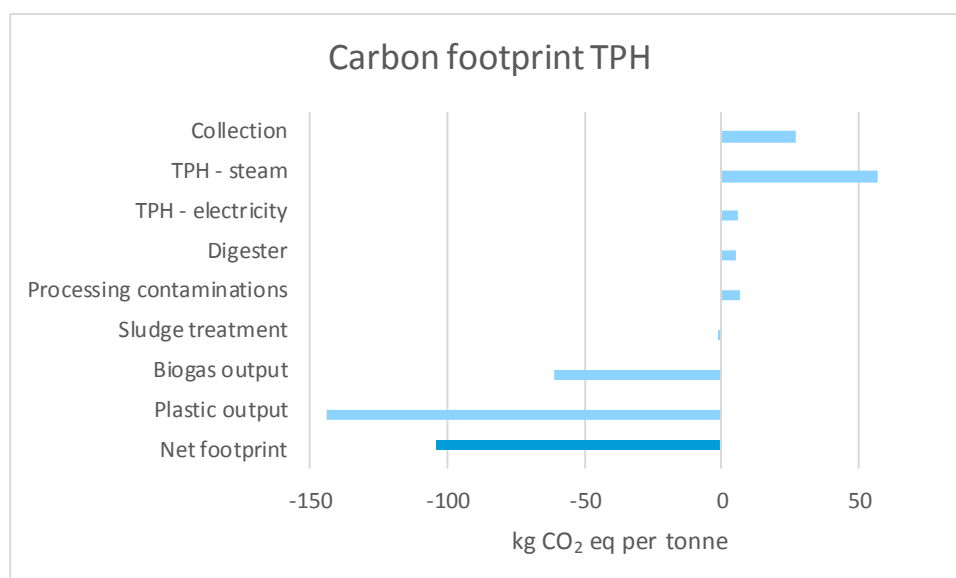
Figuur 5 en Tabel 14 tonen de bijdragen van de verschillende TDH-processtappen aan de CO₂-voetafdruk. De grootste milieuwinst wordt behaald door:

- de productie van kunststoffen;
- de productie van biogas.

Deze producten zorgen voor milieuwinst omdat ze het gebruik en de verwerking van fossiele grondstoffen vermijden.

De overige onderdelen belasten het klimaat, waarbij stoom de grootste impact heeft (~50% van de klimaatbelasting). Wanneer we het gehele proces samen nemen, resulteert een CO₂-voetafdruk van -103 kg CO₂-eq./ton inputmateriaal.

Figuur 5 - Gedetailleerd overzicht van CO₂-voetafdruk bij TDH-methode



Op basis van Figuur 5 kunnen de drie belangrijkste impacts worden geïdentificeerd. Het meest opvallende is de vermeden productie van kunststoffen, verantwoordelijk voor -144 kg CO₂-eq. per ton input. De kunststof bestaat uit PP en PE, zoals aanwezig in het inputmateriaal in de vorm van non-woven materiaal, vlies- en plastic zakken voor inzameling. Deze worden eruit gezeefd, gegranuleerd en vervolgens hergebruikt in nieuwe producten. Voor het granulaat is al een afnemer gevonden, die dit kan gebruiken als grondstof voor bestaande producten. We nemen daarom aan dat dit kunststof de virgin kunststof uit fossiele bronnen vervangt. De bijbehorende productieprocessen zoals extractie, gebruik van compatibilisator en de verwijdering van verontreinigingen zijn meegenomen in de analyse.

Ten tweede resulteert de productie van biogas in een CO₂-reductie van -61 kg CO₂-eq./ton input. Deze milieuwinst komt voort uit de productie van 88 Nm³ biogas dat specifiek is toe te rekenen aan het TDH-proces en gebruikt wordt in een WKK-installatie om elektriciteit en warmte op te wekken.

Ten derde zorgt het gebruik van hoge temperatuur en hogedruk stoom als energiedrager in het TDH-proces voor een CO₂-impact van 57 kg CO₂-eq./ton input. De toegepaste emissiefactor van 58,1 kg CO₂-eq. per GJ stoom is een belangrijke factor voor dit resultaat. In Hoofdstuk 5 presenteren we een casus met geoptimaliseerd stoomgebruik.

De overige processtappen die noodzakelijk zijn voor het TDH-proces tellen op tot een CO₂-impact van circa 45 kg CO₂-eq./ton input. Het meest relevant hierbij is de inzameling van het inputmateriaal (27 kg CO₂-eq./ton) met vrachtauto's. Tabel 14 toont de resultaten van alle onderdelen van het TDH-proces.

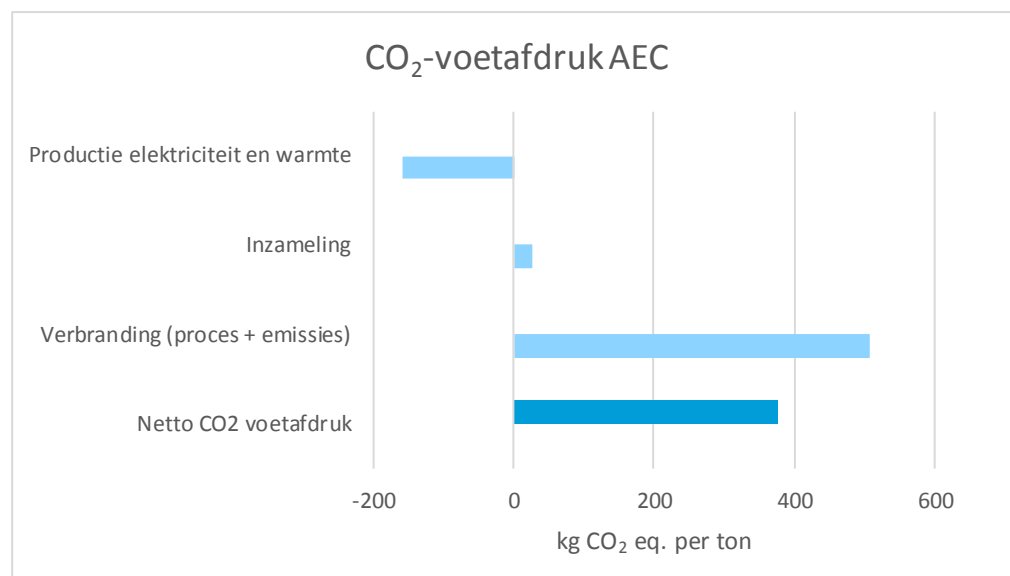
Tabel 14 - CO₂-voetafdruk per TDH-onderdeel

Onderdeel	CO ₂ -voetafdruk (kg CO ₂ -eq./ton input)
TDH - stoom	57
TDH - elektriciteit	6
Slibverwerking	-1
Biogas output	-61
Kunststof output	-144
Vergister	5
Inzameling	27
Verwerking verontreinigingen	7
Netto voetafdruk	-104

4.1.3 Gedetailleerde CO₂-voetafdruk AEC-route

Nederlandse AEC's produceren elektriciteit en warmte, waarbij de hoeveelheden afhankelijk zijn van hun rendement. Voor de referentieroute hebben we een gemiddelde AEC gemodelleerd met een totaal netto rendement van 36%. De netto CO₂-voetafdruk van deze AEC is 377 kg CO₂-eq./ton input. Uit Figuur 6 en Tabel 15 blijkt dat het verbrandingsproces verantwoordelijk is voor een klimaatimpact van 509 kg CO₂-eq., vooral via emissies. De vermeden productie van elektriciteit en warmte reduceert de algehele CO₂-voetafdruk met 159 kg CO₂-eq.

Figuur 6 - Gedetailleerd overzicht van CO₂-voetafdruk bij verbranding van 1 ton input in een AEC



Tabel 15 - Gedetailleerd overzicht van de CO₂-voetafdruk bij verbranding in AEC

Onderdeel	CO ₂ -voetafdruk (kg CO ₂ eq./ton input)
Productie van elektriciteit en warmte	-159
Inzameling	27
Verbranding: proces en emissies	509
Netto voetafdruk	377

4.2 Resultaten op midpoint- en endpointniveau

Midpointindicatoren richten zich op individuele milieuproblemen. De ReCiPe-methode presenteert 17 midpoints. Tabel 16 geeft de resultaten voor beide luierverwerkingsroutes. De groene stippen tonen de route met de laagste score voor de betreffende impactcategorie.

Tabel 16 - Midpointresultaten: vergelijking van verwerkingsroutes op midpointniveau

Midpoint	Eenheid	AEC-route	TDH-route	Impact op endpointcategorie
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	376,6	-104,2●	Menselijke gezondheid Ecosystemen
Stratosferische ozonafbraak	kg CFC11-eq.	0,0●	0,0	Menselijke gezondheid
Ioniserende straling	kBq Co-60 eq.	-15,5●	2,2	Menselijke gezondheid
Ozonvorming, menselijke gezondheid	kg NO _x -eq.	0,3	-0,1●	Menselijke gezondheid
Fijnstofvorming	kg PM _{2.5} -eq.	0,0	-0,1●	Menselijke gezondheid
Ozonvorming, terrestrische ecosystemen	kg NO _x eq.	0,3	-0,2●	Ecosystemen
Terrestrische verzuring	kg SO ₂ -eq.	0,1	-0,2●	Ecosystemen
Eutrofiëring van zoet water	kg P-eq.	0,0	0,0●	Ecosystemen
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	0,0●	0,1	Ecosystemen
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	15,4	1,3●	Ecosystemen
Mariene ecotoxiciteit	kg 1,4-DBC e	20,3	1,8●	Ecosystemen
Menselijke carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DBC e	8,8	-1,7●	Menselijke gezondheid
Menselijke niet-carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DBC e	1.250,0	158,0●	Menselijke gezondheid
Landgebruik	m ² a crop eq.	-4,3●	6,9	Ecosystemen
Schaarste van minerale hulpbronnen	kg Cu eq.	0,0●	0,1	Grondstoffen
Schaarste van fossiele hulpbronnen	kg oil eq.	-45,9	-153,6●	Grondstoffen
Watergebruik	m ³	-0,3	-1,0●	Menselijke gezondheid Ecosystemen

Noot: De ReCiPe 2016 (H), Versie 1.00 methode is aangepast voor de categorie menselijke niet-carcinogene toxiciteit, de geplande update van de karakterisatiefactor voor zink naar water (Versie 1.1) is in bovenstaande resultaten doorgevoerd.

De TDH-route heeft een lagere score op alle milieuthema's behalve stratosferische ozonafbraak, ioniserende straling, terrestrische ecotoxiciteit, landgebruik en schaarste van minerale hulpbronnen. Wanneer we kijken naar effecten op endpointniveau wordt de relevantie hiervan duidelijk.

Op endpointniveau zijn alle midpoints gegroepeerd naar drie categorieën: impact op menselijke gezondheid, kwaliteit van ecosystemen en grondstoffschaarste. In de laatste kolom van Tabel 16 staat bij welke endpoint de betreffende midpointscore hoort.

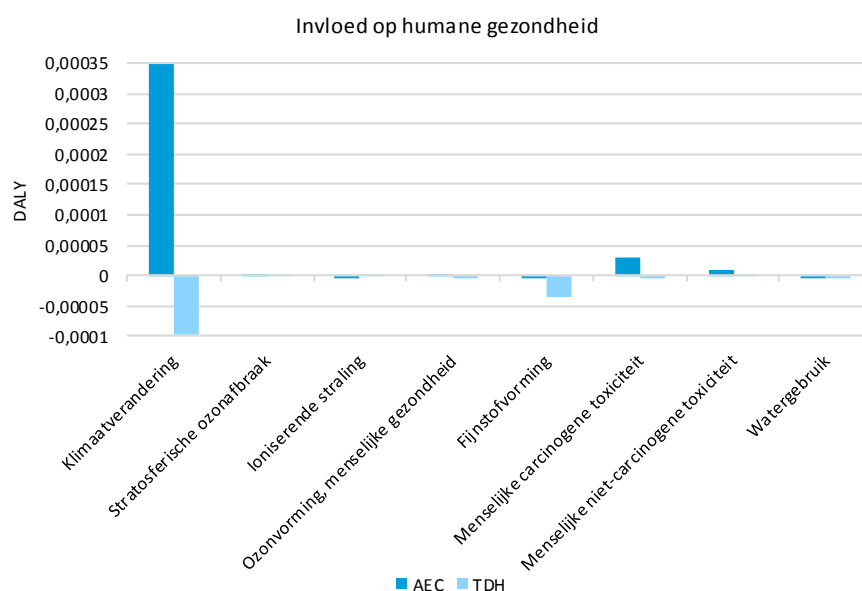
De resultaten op endpointniveau staan in Tabel 17, waarbij de groene stippen de laatste score voor de betreffende impactcategorie aangeven. De milieuvoordelen van luierverwerking met TDH zijn overduidelijk; de TDH-route scoort beter dan de AEC-route op ieder endpoint.

Tabel 17 - Endpointresultaten: vergelijking van verwerkingsroutes op endpointniveau

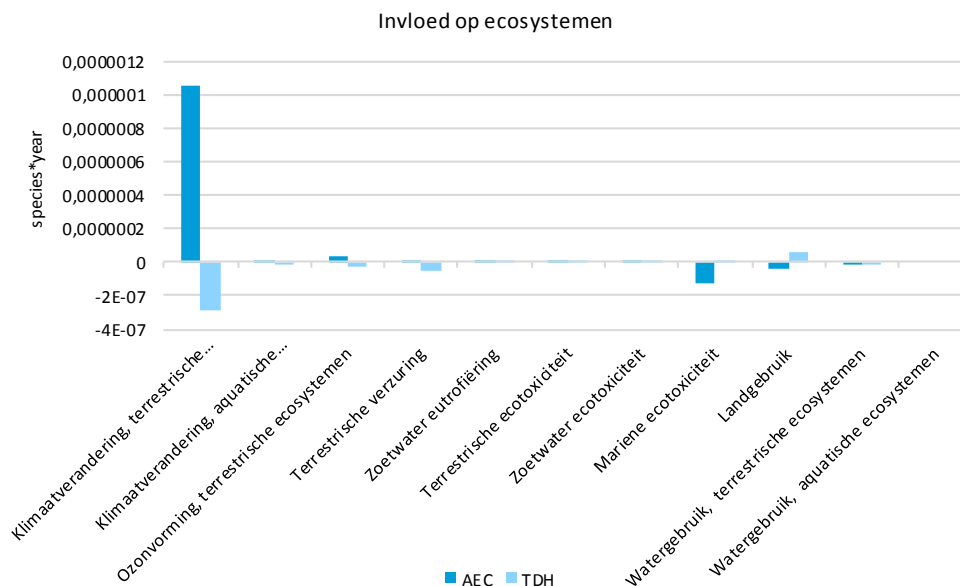
Endpoint	Eenheid	AEC-route	TDH-route
Menselijke gezondheid	DALY	0,00039	-0,00014 ●
Ecosystemen	species.yr	1,09E-06	-3,00E-07 ●
Grondstoffen	USD2013	-11	-61 ●

Om meer inzicht te krijgen in de bijdrage van de verschillende midpoints aan de endpointscores, wordt in Figuur 7 en Figuur 8 deze bijdrage geïllustreerd. Hierbij is gekeken naar de endpoints 'humane gezondheid' en 'ecosystemen', omdat er veel verschillende midpointcategorieën zijn die hier invloed op hebben. In de figuren is te zien dat 'klimaatverandering' de belangrijkste categorie is; voor beide verwerkingsroutes geldt dat het resultaat op deze midpoint de grootste impact heeft op menselijke gezondheid en ecosystemen. Het resultaat op de categorie klimaatverandering is ook sterk gecorreleerd aan het resultaat op de endpoint 'resources' (deze wordt daarom niet apart behandeld).

Figuur 7 - Bijdrage van de verschillende midpoints op menselijke gezondheid



Figuur 8 - Bijdrage van de verschillende midpoints op ecosystemen



4.3 Milieu-impact van kunststof granulaat uit het TDH-proces

In deze paragraaf gaan we in op de milieu-impact van het granulaat dat voortkomt uit het TDH-proces. In de sector wordt gebruik gemaakt van de Stichting Bouwkwiteit (SBK)-methodiek om de milieu-prestatie van gebouwen, GWW-werken en bouwmaterialen te bepalen. De MilieuKostenIndicator (MKI) van SBK wordt gebruikt voor materialen die worden toegepast in de bouwsector om de milieu-impact te vatten in één indicator. Hierdoor kunnen producten makkelijk vergeleken worden. De methode is gebaseerd op CML-2, een andere impact assessmentmethode dan ReCiPe. Daarom worden er verschillende midpointcategorieën genoemd in Tabel 18 en Tabel 16. In de berekening is Versie NMD 2.0 van de SBK-bepalingsmethode gebruikt.

4.3.1 Functionele eenheid: 1 ton kunststofgranulaat

De functionele eenheid in deze analyse is de verwerking van 1 ton luiermateriaal. Om de vertaalslag te maken naar de milieu-impact van een van de outputmaterialen (het kunststofgranulaat), moeten de effecten gealloceerd worden naar drie aspecten:

1. Verwerking van luiermateriaal; omdat het een afvalmateriaal is, is verwerking noodzakelijk en heeft het een prijs.
2. Productie van biogas.
3. Productie van kunststofgranulaat.

Economische allocatie is gebruikt om de allocatiefactor voor granulaat te bepalen. Allocatie betekent dat alle geleverde diensten en producten die een economische waarde hebben een deel van de invloed op het milieu toegeschreven krijgen. Omdat het hier gaat om afvalverwerking, waarvoor betaald wordt, krijgt ook de luierverwerking een deel van de milieu-impact toegerekend. Op basis van de prijzen van luierverwerking, elektriciteit uit biogas (WKK) en granulaat, alloceren we 35,9% van de procesemissies naar granulaat (Elsinga, 2017). De inschatting van de prijs van het granulaat is gemaakt op basis van een test van de eigenschappen van het materiaal, en inschattingen van afnemers. De achterliggende gegevens zijn vertrouwelijk.



Dit betekent dat 35,9% van de impact van het verwerken van 1 ton luiers, wordt toegerekend naar de 96,6 kg granulaat die per ton luiers geproduceerd wordt. Hiermee is vervolgens een milieuprofiel opgesteld per ton geproduceerd granulaat (uit het TDH-proces), zie Paragraaf 4.3.2.

4.3.2 Resultaten

In Tabel 18 zijn de MKI-resultaten weergegeven. Deze waarden hebben betrekking op 1 ton plastic granulaat uit het TDH-proces. Omdat de functionele eenheid nu anders is, moeten de resultaten ook anders geïnterpreteerd worden. De functionele eenheid die bij de resultaten in Tabel 18 staan hoort is: '1 ton granulaat', en niet meer 'verwerking van 1 ton luiers'. Deze waarden kunnen gebruikt worden om vergelijkingen met andere granulaten te maken, en helpen afnemers om milieu-impact kwantitatief mee te wegen bij de keuzes voor verschillende materialen.

Tabel 18 - MKI-resultaten voor 1 ton kunststofgranulaat uit TDH-proces verwerking van luiermateriaal

Categorie	Eenheid voor MKI-categorie	Waarde categorie	Schaduwprijs (€)	Aandeel van categorie in totale schaduwprijs
1 Abiotic depletion, non-fuel (AD)	kg Sb-eq.	9,07E-04	0,0	0,0%
2 Abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb-eq.	1,66E+00	0,0	0,0%
4 Global warming (GWP)	kg CO ₂ -eq.	5,89E+02	29,5	54,9%
5 Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11-eq.	3,09E-05	0,0	0,0%
6 Photochemical oxidation (POCP)	kg C ₂ H ₄	1,16E-01	0,2	0,4%
7 Acidification (AP)	kg SO ₂ -eq.	1,63E+00	6,5	12,1%
8 Eutrophication (EP)	kg PO ₄ ³⁻ eq.	2,76E-01	2,5	4,6%
9 Human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq.	7,34E+01	6,6	12,3%
10 Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq.	1,99E+00	0,1	0,1%
12 Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq.	8,16E+04	8,2	15,2%
14 Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq.	1,65E+00	0,1	0,2%
101 Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	9,09E+02	0,0	0,0%
102 Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	4,03E+03	0,0	0,0%
103 Energy, primary (MJ)	MJ	4,93E+03	0,0	0,0%
104 Water, fresh water use (m ³)	m ³	3,48E-01	0,0	0,0%
105 Waste, non hazardous (kg)	kg	6,51E+01	0,0	0,0%
106 Waste, hazardous (kg)	kg	1,99E-02	0,0	0,0%
Totaal	-	-	53,6	100%

Noot: De namen van de categorieën zijn niet vertaald naar het Nederlands om vergelijkingen met andere materialen makkelijker te maken.

Noot: De waarde voor ecotoxiciteit (marine water) valt hoog uit. In de nieuwste (recent beschikbare) versie van de methode (NMD 2,1) zijn karakterisatiefactoren voor deze categorie verlaagd (ten opzichte van Versie NMD 2.0, v. 3.03). Met methode 2.1 is de schaduwprijs negatief op deze categorie. Deze methode wordt echter nog niet voorgeschreven, dus is Versie NMD 2.0 gebruikt om de resultaten voor de THD plastic granulaat vergelijkbaar te houden met andere producten.



5 Gevoeligheidsanalyses

In dit hoofdstuk worden vier gevoeligheidsanalyses uitgediept:

1. **Additionele luierverzameling:**
Wat gebeurt er als ouders de 'thuis-luiers' naar het kinderdagverblijf brengen voor recycling en daar de auto voor pakken in plaats van de fiets?
2. **Optimalisatie van stoomgebruik:**
Hoeveel winst is er te behalen met gebruik van reststoom?
3. **Waarde van kunststofgranulaat:**
Hoe beïnvloedt een minimale waarde voor het kunststofgranulaat de resultaten voor de TDH-route (worst case)?
4. **AEC-rendement:**
Hoe beïnvloedt het AEC-rendement de verwerking in de AEC en de verwerking in de TDH (waar voor reststromen ook gebruik gemaakt wordt van verbranding)?

5.1 Additionele luierinzameling

Luiers worden zowel thuis als bij kinderdagverblijven gebruikt. Er kunnen dan ook veel verschillende manieren van inzameling worden overwogen. In de basisanalyse (besproken in Hoofdstuk 3) wordt aangenomen dat luiers alleen bij kinderdagverblijven verzameld en verwerkt worden via de TDH-route (en dat ouders hun vervoergedrag niet aanpassen om luiers van thuis bij het kinderdagverblijf te krijgen). In deze gevoeligheidsanalyse richten we ons op de mogelijkheid ook luiers van huishoudens te verwerken. Hierbij wordt aangenomen dat ouders/verzorgenden de luiers inleveren bij kinderdagverblijven (of andere centrale locaties).

Twee effecten zijn bepaald:

1. De extra plastic zakken die nodig zijn om de luiers te verzamelen.
 2. Additioneel transport om de zakken met luiers naar het verzamelpunt te brengen.
- Hier kan het gaan om ouders die naar het inzamelpunt rijden met de auto omdat ze niet met zakken gebruikte luiers op de fiets of in het openbaar vervoer stappen. Tabel 19 toont de aannames die gemaakt zijn in deze gevoeligheidsanalyse. Het doel van de analyse is inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de resultaten voor potentiële veranderingen in verzamelstrategieën. In hoeverre is het effect significant en moet de impact verder onderzocht worden en/of opgenomen worden in communicatie over het onderwerp?

Tabel 19 - Gevoeligheidsanalyse parameters van extra luierinzameling

Parameter	Waarde	Argumentatie
Aandeel ingezamelde luiers na thuisgebruik	20%	Aanname
Gewicht plastic zak	10 g	Schatting
Gemiddeld gewicht gebruikte luiers per zak	500 g	Aanname
Extra benodigde plastic zakken	2 kg	200 extra zakken per ton gebruikte luiers (functionele eenheid)
Transport per auto	1,5 km 33 ritten	Retourafstand per reis naar verzamelpunt; ca. 3 kg luiers per rit. Aanname.

Tabel 20 toont de modelwijzigingen die voor de gevoeligheidsanalyse zijn gedaan. De extra plastic zakken zijn gemaakt van LDPE en kunnen worden verwerkt in de TDH-reactor. De zakken worden beschouwd als extra materiaal wat de TDH-route ingaat, bovenop de standaard input (1 ton gebruikte

luiers en incontinentiemateriaal in een bepaalde samenstelling, zie Paragraaf 3.1). Het stoom- en elektriciteitsgebruik neemt toe omdat er een grotere hoeveelheid materiaal verwerkt moet worden. Het gebruik per kg input wordt gelijk verondersteld. Na de initiële verwerking, wordt het additionele kunststof gefilterd (terugwinpercentrage 95%), getransporteerd, gegraneerd en verkocht. De andere stappen (e.g. de biogas opbrengst) blijven gelijk.

Tabel 20 - Modelwijzigingen voor gevoeligheidsanalyse - additionele luierinzameling

Element	Hoeveelheid per ton verwerkt luiermateriaal	Proces
Primaire LDPE-productie	2 kg	Polyethyleen, lage dichtheid, granulaat {GLO}.
Plastic zak-productie	2 kg	Extractie, plastic laag {RER}. Proxy voor folieblazen.
Transport naar verzamelpunt	49,5 km	Transport, personenvervoer (CE Delft, 2015).
Kunststofgranulaat	2 kg	Omvat transport, extractie, energy, baten systeemuitbreiding, etc. zoals beschreven in Paragraaf 3.3.3.
TDH-proces	2 kg	Energie input voor gebruik TDH-reactor, zoals beschreven in Paragraaf 3.3.2.

Opmerking: Alle processen in deze tabel zijn toevoegingen aan het model dat beschreven is in Paragraaf 3.3.

Resultaten

De extra stap in afvalverzameling resulteert in een CO₂-voetafdruk van 13,2 kg CO₂-eq./ton input. Het eindresultaat verandert hiermee van circa -104 naar circa -90,8 kg CO₂-eq./ton input. Dit geeft aan dat potentiële veranderingen in het inzamelingsproces een beperkte impact zullen hebben op de voetafdruk.

5.2 Optimalisatie van stoomgebruik

Het TDH-proces produceert 250 kg lagedruk (ongeveer 4 bar) reststoom in een flash tank per ton verwerkt luiermateriaal. Deze stoom wordt momenteel niet gebruikt, maar representeert circa 0,5 GJ latente warmte. Gegeven de nabijheid van processen die warmte nodig hebben of exporten (bijvoorbeeld de TDH-reactor zelf, de vergister, de RWZI, de WKK-installatie), kan het mogelijk zijn het TDH-proces verder te optimaliseren door de reststoom elders in te zetten. In deze gevoeligheidsanalyse onderzoeken we de situatie waarin de additionele 0,5 GJ-warmte (per functionele eenheid) de conventionele, met aardgas geproduceerde, warmte vervangt.

Resultaten

Zoals verwacht leidt de substitutie van warmte uit aardgas door restwarmte tot een verbeterde milieuprestatie van het TDH-proces. De milieuwinst is groot: de toepassing van restwarmte heeft een voetafdruk van -37 kg CO₂-eq./ton input, waardoor de totale CO₂-voetafdruk daalt van -104 naar -141 kg CO₂-eq./ton input.

5.3 Waarde van kunststofgranulaat

In de basisanalyse is aangenomen dat de kunststoffen die herwonnen zijn uit het inputmateriaal na granuleren virgin PE en PP vervangen. Voor het granulaat is een afnemer gevonden, en in de praktijk kent het geproduceerde granulaat diverse toepassingen, waaronder in de tuinbouw; bloempotten, plantentrays, plantenstokken en kunststof pallets. Omdat het materiaal bestaat uit een mix van PE en

PP, zou deze als minder waardevol kunnen worden beschouwd ten opzichte van pure polymeren. Echter, een mix met bepaalde eigenschappen (zoals hier) kan in bepaalde toepassingen juist gewenst zijn.

Om inzicht te geven in het effect van de waarde van het kunststof op het eindresultaat, verminderen we in de gevoeligheidsanalyse de milieuwinst die toegekend is aan de productie van kunststofgranulaat, gebaseerd op hun economische waarde.

We nemen aan dat de waarde van kunststofgranulaat 50% lager is dan pure kunststoffen, waardoor het milieuvoordeel van vervanging daalt met 50%. Dit kan als de minimale waarde worden beschouwd. Andere gemoduleerde processen (e.g. energiegebruik bij granulatie, transport) blijven ongewijzigd.

Resultaten

De kwaliteit van de geproduceerde kunststof in de TDH-route is een belangrijke parameter in de bepaling van de totale milieuprestatie van de methode. Wanneer we de teruggewonnen kunststoffen 50% lager waarderen dan pure kunststoffen, stijgt de CO₂-voetprint van -104 naar -3 kg CO₂-eq./ton input. Terwijl alle andere processtappen onveranderd blijven, daalt het milieuvoordeel van het vervangen van kunststoffen van -144 naar -43 kg CO₂-eq./ton input. Omdat alle ingrepen gekoppeld aan het transport en de verwerking van de plastics gelijk blijven, vermindert het milieuvoordeel met meer dan de helft.

Deze gevoeligheidsanalyse biedt twee inzichten:

- Het is cruciaal om hoge kwaliteit kunststoffen te genereren in het TDH-proces. Wanneer de te vervangen kunststoffen van een lagere kwaliteit zijn, neemt het milieuvoordeel van de TDH-route af.
- Zelfs wanneer gerekend wordt met een *minimale* te verwachten economische waarde van de geproduceerde kunststof, resulteert toepassing van de TDH-methode in een negatieve CO₂-voetafdruk (emissies worden vermeden). De TDH-route heeft een ruimschoots lagere milieupact dan de verbranding van luiermateriaal in een AEC.

5.4 AEC-rendement

Het elektrisch en thermisch rendement van AEC's spelen een rol bij de bepaling van de klimaatimpact van de huidige verwerkingsroute van luiermateriaal. In Nederland varieert het rendement van AEC's sterk. Totaalrendementen liggen tussen de 22 en 66% (RWS, 2014).

In de gevoeligheidsanalyse voegen we twee scenario's toe aan de basisanalyse van de AEC-route; een *worst case*- en een *best case*-scenario. Daarnaast gebruiken we dezelfde rendementen om veranderingen in de totale milieuprestatie van de TDH-route te evalueren. Tabel 21 toont de gehanteerde aannames.

Tabel 21 - Gegevens voor de gevoeligheidsanalyse AEC-efficiëntie

Categorie	Rendement (totaal) (%)	Elektrisch rendement (%)	Thermisch rendement (%)
Gemiddeld	36	16	19
Hoog (best case)	63	11	52
Laag (worst case)	22	16	6

Resultaten

Tabel 22 geeft een samenvatting van de resultaten. De CO₂-voetafdruk van het transport en het verbrandingsproces blijven gelijk, omdat deze niet beïnvloed worden door de efficiëntie van een AEC. De vermeden stoom en elektriciteitsproductie is hoger in het best case-scenario, waardoor de totale CO₂-voetafdruk 45 kg CO₂-eq./ton input lager is dan de gemiddelde AEC. In het worst case-scenario komt de CO₂-voetafdruk 31,6 kg CO₂-eq./ton input hoger uit. Deze resultaten zijn verwerkt in Figuur 4 in Hoofdstuk 4.

Tabel 22 - Resultaten gevoeligheidsanalyse AEC-efficiëntie

Categorie	Gemiddeld (kg CO ₂ -eq./ton input)	Hoge efficiëntie (kg CO ₂ -eq./ton input)	Lage efficiëntie (kg CO ₂ -eq./ton input)
Productie van elektriciteit en warmte	-159	-204	-128
Inzameling	27	27	27
Verbranding, proces + emissies	509	509	509
Netto voetafdruk	377	332	408

In het TDH-proces heeft het AEC-rendement impact op de verwerking van slib en reststoffen. Hierdoor is de CO₂-voetafdruk voor de TDH-route 3 kg CO₂-eq./ton input lager in het *best case*-scenario (een hoog AEC-rendement) en 3 kg CO₂-eq. hoger is in het *worst case*-scenario (laag AEC-rendement).



6 Interpretatie

In deze studie zijn twee verwerkingsmethoden voor luiermateriaal geanalyseerd:

1. Verbranding in een AEC met energierugwinning.
2. Verwerking in een TDH-reactor die gelinkt is aan een RWZI en een WKK-installatie.

De effecten van deze routes over de hele levenscyclus zijn bepaald voor:

- **CO₂-voetafdruk:** Het vervangen van de huidige conventionele methode door de TDH-methode levert in de huidige situatie een klimaatwinst van 480 kg CO₂-eq. per ton verwerkt luiermateriaal.
- **Overige milieuthema's:** Verwerking in een TDH-installatie is gunstiger voor 12 van de 17 midpoints.
- **Drie impactcategorieën:** Om de relevantie van de scores op de verschillende midpoints te duiden, zijn de effecten op endpointniveau bepaald. Dit zijn de impacts op menselijke gezondheid, ecosystemen en grondstoffen. Hieruit blijkt dat de TDH-methode gunstiger is voor alle drie de endpoints.

De beoordeling van midpoints en endpoints laat zien dat effecten op klimaatverandering de meeste invloed hebben op menselijke gezondheid en ecosystemen. Terwijl andere milieu-impactcategorieën op lokale schaal invloed kunnen hebben, kunnen beide verwerkingsroutes daarom vergeleken worden op basis van hun CO₂-voetafdruk.

Over het algemeen geldt dat de milieu-impact van luierverwerking via de TDH-route gunstiger is dan via de AEC-route. De TDH-methode resulteert in nuttige producten (kunststoffen en biogas). Hoewel verbranding in een AEC elektriciteit en warmte oplevert, zorgen de emissies van dit proces ervoor dat de balans netto omslaat naar een positieve waarde voor de CO₂-voetafdruk (netto emissies van CO₂-eq.).

De TDH-installatie moet nog steeds gebouwd worden op volledig operationele schaal. Gemodelleerde gegevens zijn geverifieerd en gecontroleerd op consistentie en er zijn conservatieve schattingen gedaan. Het is mogelijk dat verdere optimalisatie mogelijk is, vooral op het gebied van warmte-productie en -gebruik, onder andere op de RWZI. De gevoeligheidsanalyses laten zien dat er mogelijk variatie is in de milieu-impact, maar dat de TDH-methode desondanks zal leiden tot een negatieve waarde voor de CO₂-voetafdruk (CO₂-emissies worden vermeden).

Circulaire economie en inpassing TDH in bestaande systemen

De gepresenteerde resultaten laten zien dat de verwerking van luiermateriaal in een TDH-reactor milieubaten kan hebben. Vanuit een milieukundig perspectief wordt de terugwinning en recycling van kunststoffen en de vergisting van biogene materialen om biogas te produceren geprefereerd boven de verbranding van luiermateriaal met terugwinning van energie (de AEC-route). De voordelen van deze methode (TDH) zijn specifiek voor het gemodelleerde proces, waarin de TDH-installatie verbonden is met de AEC voor warmte (stoom) en de RWZI voor de vergisting van biogene materialen (met biogas-productie en -gebruik in een WKK). Deze combinaties hebben als voordeel dat services gedeeld kunnen worden. Hoewel alle ingrepen die horen bij de luierverwerkingsmethode zijn gemodelleerd, zal de milieukundige voetafdruk van verwerking van dergelijke materialen hoger zijn wanneer het een standalone-installatie zou zijn die gebruik maakt van fossiele energie. Voor warmte geldt, bijvoorbeeld, dat de warmte (stoom) van een AEC weliswaar een milieukundige voetafdruk heeft (die is opgenomen in de analyse), maar dat de voetafdruk van warmte uit aardgas veel groter zou zijn. Het is daarom belangrijk om te onthouden dat de onderzoeksresultaten enkel van toepassing zijn op de geanalyseerde situatie.

7 Referenties

ARN, 2017. *Persoonlijke communicatie*. s.l.:s.n.

CE Delft, 2014a. *Achtergrondgegevens stroometikettering 2013*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014b. *Milieukundige vergelijking van twee verwerkingsroutes voor luier- en incontinentieafval*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *STREAM personenvervoer 2014 - Studie naar TRansportemissies van Alle Modaliteiten Emissiekentallen 2011. Rapport 1.1*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2016b. *STREAM goederenvervoer 2016: Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017. *Carbon footprint slibcompostering en afzet in landbouw (vertrouwelijk)*, Delft: CE Delft.

Ecoinvent, 2., 2017. *Ecoinvent database version 3.3*. Zurich: Ecoinvent.

Elsinga, 2017. *Vertrouwelijke communicatie, Willem Elsinga*. Ermelo: s.n.

Rijkswaterstaat; NVRD, 2015. *Ketenproject luiers: ketenanalyse en inventarisatie van kansen en belemmeringen*, Den Haag: Rijkswaterstaat.

RIVM, 2016. *ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*, Bilthoven: RIVM.

RIVM, 2017. *ReCiPe 2016 v1.1*. Bilthoven: RIVM.

RVO.nl, 2016. *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren, versie januari 2016*. [Online]

Available at:

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/08/Nederlandse%20lijst%20van%20energiedragers%20en%20standaard%20CO2%20emissiefactoren%202016.pdf>

[Geopend November 2017].

RWS, 2014. *Persoonlijke communicatie Olaf van Hunnik, Gemiddelde rendementen van AEC's in Nederland*. s.l.:sl: sn.

STOWA, 2012. *Trends in slibontwatering*, Amersfoort: STOWA.

A ReCiPe-methode

Deze bijlage geeft een inleiding tot de ReCiPe-methodologie die gebruikt is bij de LCA in deze studie.

De ReCiPe-methodologie is ontwikkeld voor de Nederlandse overheid en wordt gebruikt voor veel LCA-studies in Nederland. De ReCiPe-methodiek wordt gebruikt om een lange lijst met primaire onderzoeksresultaten te vertalen naar indicatoren die makkelijker te interpreteren zijn. Met deze methodiek is het mogelijk om milieueffecten te presenteren op twee verschillende niveaus:

Midpoints: Probleemgerichte milieueffecten zoals klimaatverandering en verzuring. In de ReCiPe-methodologie zijn er zeventien midpoints. Het midpointniveau is een directe vertaling van de emissie/abstractie naar het milieueffect. Het geeft inzicht in de verschillende milieueffecten en wordt gekenmerkt door een hoge mate van transparantie. Veroorzaakte schades worden niet weergegeven op midpointniveau. Hiervoor is het beter om endpoints (niveau 2) te gebruiken.

Endpoints: Effectgerichte milieueffecten zoals impacts op natuur, mensen en grondstoffen. In de ReCiPe-methodologie worden de 17 midpoints gecategoriseerd naar 3 endpoints, zie Tabel 23. Op endpointniveau zijn de milieueffecten genormaliseerd en omgerekend naar schades op het gebied van drie endpointcategorieën:

1. Schade aan menselijke gezondheid.
2. Schade aan ecosystemen.
3. Schade aan de beschikbaarheid van grondstoffen.

Tabel 23 - Milieueffectcategorieën, eenheden en weegfactoren volgens ReCiPe 2016

Midpoints	Unit	Endpoints
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	Human Health (DALY)
Stratosferische ozonafbraak	kg CFC11-eq.	
Ioniseren straling	kBq Co-60-eq.	
Ozonvorming. Human health	kg NO _x -eq.	
Fijnstofvorming	kg PM _{2.5} -eq.	
Menselijke carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Menselijke niet-carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Watergebruik	m ³	Ecosystems (species.year)
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	
Ozonvorming. Terrestrische ecosystemen	kg NO _x -eq.	
Terrestrische verzuring	kg SO ₂ -eq.	
Eutrofiëring van zoet water	kg P-eq.	
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Mariene ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Landgebruik	m ² a crop eq.	
Watergebruik	m ³	
Schaarste van minerale hulpbronnen	kg Cu eq.	Resources (\$)
Schaarste van fossiele hulpbronnen	kg oil eq.	

Bron: (RIVM, 2016).



B Sorteeranalyse

In Tabel 24 zijn de resultaten van de sorteeranalyse samengevat. Meer dan 500 kg aan luiers en incontinentiemateriaal is in de analyse uitgesorteerd.

Tabel 24 - Resultaten sorteeranalyse

Materiaal	Luiers (%)	Incontinentiemateriaal (%)
Luiers	88,1	1,4
Incontinentiemateriaal	6,2	92,7
Papier	3,4	0,2
Kunststof folie	1,6	4,8
Latex handschoenen	-	0,5
Etenresten	0,4	-
Resterende fractie	0,3	0,4



C Review

Door SGS Search is een review op de LCA uitgevoerd. Relevante opmerkingen zijn verwerkt in het rapport.



MEMO

Aan : Geert Cuperus (RWS WVL)
Van : Harry van Ewijk (SGS Search)
Onze ref. : 26.17.00450
Datum : 9-2-2018 (eerste opmerkingen bij CE report / Elsinga)
Betreft : Review LCA-studies recycling luiers

SGS Search Consultancy

Heeswijk (hoofdkantoor)
Meerstraat 2, Postbus 83
5473 ZH Heeswijk (N.Br.)

Amsterdam
Petroleumhavenweg 8
1041 AC Amsterdam

Groningen
Stavangerweg 21-23
9723 JC Groningen

Spijkensisse
Malledijk 18
3208 LA Spijkensisse

Tel. +31 (0)88 214 66 00
consultancy@sgssearch.nl
www.sgssearch.nl

Achtergrond

Recycling van luiers is in opkomst. Er zijn enkele technieken ontwikkeld die op het punt van doorbreken staan. Gemeenten zijn zeer geïnteresseerd en willen graag luiers inzamelen. Toch is er nog twijfel, men vraagt regelmatig of recycling duurzamer is dan verbranden. Met dit project moet duidelijk worden of recycling al of niet beter is dan verbranden.

Aanpak

Door twee bedrijven zijn LCA-studies uitgevoerd naar de door hun ontwikkelde technieken. Dit betreft Fater en Elsinga. Fater heeft een operationele installatie in Italië, deze zal dienen als blauwdruk voor een installatie van AEB in Amsterdam. Elsinga heeft in samenwerking met ARN een eerste installatie ontwikkeld in Nijmegen. Van beide processen is een LCA-rapport beschikbaar.

Voor de onderhavige studie dient een review te worden uitgevoerd van de beide LCA's. Op basis van de review moet inzicht ontstaan hoe recycling van luiers scoort ten opzichte van verbranding. Volgens de genoemde bedrijven zou blijken dat recycling beter scoort, onder anderen op zaken zoals klimaatopwarming. Als hiervan inderdaad sprake is, dan moet tevens een beeld ontstaan hoe groot de "winst" is (range) en in welke omstandigheden daarvan sprake is. Wat dit laatste betreft moet uit de review blijken of een betere score vooral te wijten is aan specifieke lokale omstandigheden, danwel of (en in welke mate) de uitkomsten van de LCA's veralgemeniseerd kunnen worden.

De review moet daarnaast uiteraard ook ingaan op de juiste uitvoering van de LCA's en op uitgangspunten. Ten aanzien van de uitgangspunten is het gewenst inzicht te krijgen in de waarde van de uitgangspunten: zijn deze juist, is er sprake van variatie etc.

Op de Fater LCA is al eerder een eerste reactie beschreven (memo 15-12-2017). Dit memo bevat de eerste reactie op de Elsinga LCA (CE Delft).

Resultaten

Het (uiteindelijke) resultaat van de review is:

- Een beoordeling van de juiste uitvoering van de LCA's en bevestiging van de uitkomsten
- Een aanbeveling op welke wijze de bevindingen veralgemeniseerd kunnen worden voor recycling van luiers

LCA AFVALVERWERKING LUIERMATERIAAL, IN OPDRACHT VAN ELSINGA BELEIDSPLANNING EN INNOVATIE, ARN, MARN; CE DELFT, 18 DECEMBER 2017

Algemeen

Het LCA-rapport is goed opgebouwd volgens de gangbare normen en conventies. Definities, waaronder beschrijving van de functionele eenheid, zijn helder. Als er bij het lezen al vragen opkomen dan worden deze veelal direct daarna beantwoord. Aannamen en onzekerheden zijn goed beschreven en voor zover mogelijk ook uitgewerkt in gevoeligheidsanalyses.

Het resultaat valt of staat met de proces- en systeemdata van beide systemen. Voor de traditionele route, verbranden in een AVI met energierugwinning, zijn deze op basis van praktijkcijfers beschikbaar en is dat duidelijk. Voor het nieuwe proces, de TDH-route, moet *ex ante* worden teruggevallen op de pilots en expert judgement. Dat geeft meer onzekerheid, maar alles overziend is er vanuit LCA-methodisch oogpunt geen reden aan te nemen dat het gepresenteerde resultaat een te rooskleurig beeld geeft, al ontbeert de LCA-reviewer specifieke proceskennis.

De opmerkingen en vragen hieronder moeten in het licht gezien worden van de algemene indruk. Het zijn dus detailvragen, waarbij er vooraf niet de indruk is dat ze zullen leiden tot substantiële aanpassing en andere conclusies.

Opmerkingen en vragen

- Paragraaf 2.2
De “bepaalde samenstelling” uit de functionele eenheid wordt in deze paragraaf niet benoemd. Maar wel verderop, onder meer in paragraaf 2.3, 2^e regel op bladzijde 7 “gebruikt luiermateriaal”.
- Paragraaf 2.3
“Het andere product, de vloeibare en warme slurry die bestaat uit waterig organisch materiaal zonder kunststof, wordt naar een vergister in de nabijgelegen RWZI verpompt.” roept de vraag op of de scheiding van stromen zo goed werkt. Met andere woorden: welk deel blijft gemengd? Paragraaf 3.3.3 stelt dat 95% uiteindelijk wordt teruggewonnen. Geldt dat percentage hier al, of ligt het hier nog hoger?
- Paragraaf 2.4.1
Voor het eerst bij figuur 2, maar ook verderop in het rapport komt de vraag op hoe met emissies van biogene oorsprong (CO₂ en CH₄) is omgegaan. Het rapport noemt driemaal biogene inhoud/materialen (is dat alleen cellulose / fluff pulp?) en eenmaal biogene CO₂ maar gaat bijvoorbeeld niet in op de karakterisatie. Hoe is het meegenomen?
- Paragraaf 3.2
In tabel 3 (en ook tabellen 9 en 13) zou het opnemen van het exacte proces beter zijn, om zo te kunnen beoordelen of niet ook (onterecht) net- en transformatieverliezen zijn vermeden.
- Paragraaf 3.3.2
Onderaan bladzijde 13 is helder dat 55% van 105,7 kg 58,1 kg is, maar wat voegt “resulteert 1 GJ afval in een uitstoot van 7,6 kg CO₂” toe?
- Paragraaf 3.3.3, tabel 7
 - Als extrusie is bedoeld als aanname voor granuleren, dan dat vermelden.
 - De hoeveelheid op de laatste 2 regels klopt niet (28 kg in plaats van 0,28 kg).

- Paragraaf 4.1
“- granulaat is een substituuat voor een virgin fossiele bron.” Dat kan als je kolen vervangt, maar niet in geval van biomassa.
- Paragraaf 4.1.2
“Op basis van Figuur 5 kunnen de drie belangrijkste impacts” → “Op basis van Figuur 5 kunnen de drie belangrijkste bijdragen aan het versterkt broeikas-effect”
- Paragraaf 4.3
Het plotseling gebruik van de MKI om single-score te kunnen vergelijken lijkt raar. ReCiPe 2008 staat ook in de literatuurlijst en lijkt dan logischer. Het roept ook de vraag op hoe de vergelijking in 4.2 uitvalt op basis van MKI. Er mag nadrukkelijker worden vermeld dat CML-2 (in combinatie met MKI) iets anders is dan ReCiPe.
- Paragraaf 4.3.2, tabel 18
Een nadere beschouwing, bijvoorbeeld een opmerking over de >50% bijdrage aan de MKI door toxiciteit, ontbreekt.
(De “Noot” onder de tabel lijkt hier niet passend.)

Voorlopige conclusie

Er is geen reden voor twijfel over de conclusies in het rapport, waaronder:
“CO₂-voetafdruk: het vervangen van de huidige conventionele methode door de TDH-methode levert in de huidige situatie een klimaatwinst van 480 kg CO₂-eq. per ton verwerkt luiermateriaal.”

