

Huishoudelijke voedselresten in de afvalwaterketen

Huishoudelijke voedselresten in de afvalwaterketen

**Levenscyclusanalyse van de verwerking van
groente- en fruitafval en afvalwater**

Ten geleide

In Nederland spoelen we voedselresten en groente- en fruitafval niet door het riool.

Sinds de jaren negentig zamelen we voedselresten zo veel mogelijk gescheiden in bij het GFT-afval om de afvalstoffen na compostering of vergisting nuttig toe te kunnen passen.

Gescheiden inzameling van voedselresten lukt niet overal, bijvoorbeeld in hoogbouw en kleine woningen met weinig ruimte voor opslag van GFT-afval.

In dit onderzoek is nagegaan of inzameling van groente- en fruitafval via de riolering maatschappelijk voordeel oplevert.

In de uitgevoerde levenscyclusanalyse zijn de routes via vast afval en via afvalwater over het gehele traject van inzameling, transport en verwerking onderzocht. De gecombineerde, milieukundige voor- en nadelen zijn geëvalueerd. Het rapport wordt gedragen door de betrokkenen bij riolering, zuivering en de afvalverwerking.

Uit deze studie blijkt dat in algemene zin transport en verwerking van voedselresten en groente- en fruitafval via de afvalwaterketen geen maatschappelijk voordeel oplevert in vergelijking met de huidige GFT-route.

Direct transport naar en verwerking van groente- en fruitafval in een bestaande vergistingsinstallatie van een RWZI, kan – afhankelijk van lokale omstandigheden – wel voordeel opleveren.

Een eventueel vervolg zal daarom gelegen moeten zijn in lokale initiatieven, zodat de plaatselijke omstandigheden goed kunnen worden geanalyseerd en meegewogen.

Wij hopen dat de resultaten gebruikt zullen worden in strategie en beleid voor het omgaan met groente- en fruitafval en afvalwater, waarbij bestaande en toekomstige infrastructuur optimaal kan worden benut.

Hugo Gastkemper, Stichting RIONED

Joost Buntsma, STOWA

September 2015

Inhoud

Samenvatting 8

1 Inleiding 12

2 Afbakening 14

- 2.1 Doel en doelgroep 14
- 2.2 Functie en functionele eenheid 14
- 2.3 Systeemgrenzen 15
 - 2.3.1 Restafvalroute 16
 - 2.3.2 GFT-route 17
 - 2.3.3 Waterketen 18
 - 2.3.4 Nieuwe waterketen 18
- 2.5 Allocatie en cut-off-criteria 20
- 2.6 LCA-methode en milieueffectcategorieën 21
 - 2.6.1 Midpointniveau ofwel milieueffectniveau 21
 - 2.6.2 Endpointniveau ofwel schadeniveau 22
 - 2.6.3 Een enkele geaggregeerde indicator ofwel single score 22
- 2.7 Datakwaliteit 23
- 2.8 Hulpmiddelen 23

3 Inventarisatie 24

- 3.1 Afdanking: vrijkomen van de voedselresten bij de burger 24
 - 3.1.1 Restafvalroute - afdanking: inzameling via restafval 25
 - 3.1.2 GFT-route - afdanking: inzameling via GFT-afval 25
 - 3.1.3 Waterketen - afdanking: gebruik van voedselrestenvermaler en lozing op riool 25
 - 3.1.4 Nieuwe waterketen - afdanking: gebruik van voedselrestenvermaler en nieuwe waterketen 26
- 3.2 Verwerking van de voedselresten 26
 - 3.2.1 Restafvalroute - verwerking: AEC 26
 - 3.2.2 GFT-route - verwerking: vergisting en compostering 27
 - 3.2.3 Waterketen - verwerking: RWZI 31
 - 3.2.4 Nieuwe waterketen - verwerking 33
- 3.3 Toepassing eindproducten 34

4 Resultaten 37

- 4.1 Single score-resultaat 37
- 4.2 Midpointresultaten 39
 - 4.2.1 Klimaatverandering 39
 - 4.2.2 Analyse procesbijdrage per route - klimaatverandering 40
 - 4.2.3 Midpointresultaten alle milieuthema's 44
- 4.3 Resultaten op endpointniveau 45
- 4.4 Beschouwing resultaten 46

5 Gevoeligheidsanalyses 48

- 5.1 Restafvalroute: scheiden van ONF + vergisten 48
- 5.2 Restafvalroute: lagere stookwaarde 49
- 5.3 GFT-route worst case: beschikbaarheid van stikstof uit compost 49
- 5.4 GFT-route: hogere omzetting organisch materiaal 50
- 5.5 GFT-route: emissies volgens de VA CO2-tool 51
- 5.6 GFT-route, waterketen en nieuwe waterketen: Diffuse emissies 51
- 5.7 GFT-route en waterketen: emissies biofilter 52
- 5.8 Waterketen: invloed van overstort 53
- 5.9 Waterketen en nieuwe waterketen: levensduurvermaler 55
- 5.10 Waterketen en nieuwe waterketen: slibverwerking 55
- 5.11 Nieuwe waterketen: transport 56
- 5.12 Beschouwing resultaten gevoeligheidsanalyses 57

6 Interpretatie	59
7 Bibliografie	61
Bijlage A Samenstelling voedselresten	62
Bijlage B De voedselrestenvermaler	65
B.1 Productie	65
B.2 Recycling	66
Bijlage C Massabalansen compost- en digestaatproductie	67
C.1 Compost uit compostering van voedselresten via de GFT-route	67
C.2 Digestaat uit vergisting en compostering van voedselresten via de GFT-route	68
C.3 Vervangingswaarde	70
C.4 Toepassing van (vergistings)compost	70
Bijlage D AEC	72
D.1 AEC-emissies	72
D.2 AEC-rendement	72
Bijlage E Onzekerheidsanalyse	74
E.1 Waterketen: modellering penetratiegraad	74
Bijlage F Resultaten aanvullende methodes	75
F.1 Genormaliseerde scores	75
F.2 ILCD-methodiek – resultaten op midpoint	76
Bijlage G Verslaglegging voornemen pilot(s) Amsterdam en Apeldoorn	78
G.1 Amsterdam	78
G.2 Apeldoorn	80
Colofon	82

Samenvatting

In Nederland spoelen we voedselresten niet door het riool. Sinds de jaren negentig zamelen we voedselresten zo veel mogelijk gescheiden in. Hiermee zijn de afvalstoffen nuttig toe te passen, onder meer in de vorm van compost.

STOWA, Stichting RIONED en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) vragen zich af wat het voor het milieu zou betekenen als huishoudens voedselrestenvermalers zouden gebruiken. Mensen kunnen hun voedselresten dan via de gootsteen en de vermaler afvoeren naar het riool. Om die vraag te beantwoorden, zijn in deze LCA-studie (levenscyclusanalyse) de verschillende methoden om voedselresten van huishoudens te verwerken milieukundig vergeleken. De studie is onderdeel van een groter STOWA-project over de toepassing van voedselrestenvermalers.

Hoofdvraag

De hoofdvraag van de studie is: hoe verhoudt de verwerking van voedselresten in de waterketen zich milieukundig gezien tot verwerking via de huidige routes (restafval- en gft-route)?

Opzet LCA

Dit rapport geeft inzicht in de milieueffecten van verschillende methoden om voedselresten te verwerken in Nederland. Deze effecten zijn bekeken per kilogram voedselresten. Het gaat hier om een 'attributional' LCA. Dit betekent dat de studie geen rekening houdt met systeemveranderingen. Als huishoudens voedselrestenvermalers op grote schaal inzetten, kan de hoeveelheid of samenstelling van het aangeboden afval veranderen. Dit kan weer invloed hebben op de procesvoering bij de huidige verwerkers (via gft- of restafval). Om inzicht te krijgen in de verschillen in milieu-impact en de redenen daarvoor, zijn bij deze eerste studie geen systeemveranderingen meegenomen.

Routes

Naast inzicht in de milieueffecten geeft dit rapport aan welke verwerkmethode vanuit milieuoogpunt de voorkeur heeft. De studie beslaat vier routes: de restafvalroute, de gft-route, de waterketen en de nieuwe waterketen ('nieuwe sanitatie'). Per route is een best case en een worst case gedefinieerd, om een bandbreedte aan te geven. Omdat de nieuwe waterketen een toekomstvisie betreft, is daar uitgegaan van één case.

In de studie zijn de volgende verwerkmethoden milieukundig geëvalueerd:

Restafvalroute: de voedselresten gaan in de 'grijze bak' en worden met het overige restafval verbrand in een AEC (afvalenergiecentrale, ook wel bekend als afvalverbrandingsinstallatie, AVI) met een laag rendement (worst case) of met een hoog rendement (best case).

Gft-route: de voedselresten gaan in de 'groene bak' en worden met het overige gft-afval gecomposteerd (worst case) of eerst vergist en daarna gecomposteerd (best case).

Waterketen: de voedselresten komen via een voedselrestenvermaler in het riool. De verwerking vindt plaats op een rwzi zonder voorbezinktank (worst case) of met voorbezinktank en vergisting (best case).

Nieuwe waterketen: de voedselresten komen via een voedselrestenvermaler in het riool en worden samen met het geconcentreerde huishoudelijke toiletwater (ook wel zwartwater genoemd) vergist op een rwzi.

** De 'nieuwe waterketen' is een systeem dat toiletwater en het overige huishoudelijke afvalwater gescheiden afvoert naar de rwzi. Let op: deze analyse bevat geen complete vergelijking van de rwzi met/zonder voorbezinktank. Er is alleen gekeken naar het milieuvoordeel/-nadeel van de verwerking van voedselresten en niet naar de extra voordelen van de behandeling van geconcentreerd toiletwater.*

Box 1: Belangrijke kenmerken en randvoorwaarden

Voor de resultaten van deze studie gelden enkele randvoorwaarden:

- Deze studie kijkt alleen naar milieueffecten, niet naar andere voor- of nadelen (zoals comfort en prijs).
- De LCA kijkt naar effecten van de verwerking van voedselresten en de marginale veranderingen die dat veroorzaakt. Afvalbakken blijven in gebruik en zijn dus geen onderdeel van de studie. Voedselrestenvermalers zijn nu nog niet in gebruik en worden daarom wel meegenomen. Eindproducten (bijvoorbeeld compost) vervangen een bestaand product (bijvoorbeeld kunstmest). De emissies die niet optreden door toepassing van de eindproducten uit de voedselresten zijn wel opgenomen in de analyse. Grote systeemveranderingen die ontstaan als een ander systeem grote hoeveelheden voedselresten zou verwerken, blijven buiten beschouwing.
- Het effect van het verwerken van zwart water (geconcentreerd toiletwater) is niet meegenomen. Daarom geeft deze studie geen antwoord op de vraag hoe de nieuwe waterketen milieukundig scoort ten opzichte van de bestaande waterketen.
- De best en worst case geven de bandbreedte van opties binnen Nederland. Per locatie moet apart worden bekeken welke verwerkingsmethode de beste keuze is.

Resultaten

In figuur S.1 ziet u het resultaat uitgedrukt in de milieu-indicator ReCiPe-single score (een gewogen optelling van de resultaten op alle 18 milieuthema's, zoals klimaatverandering). Hieruit blijkt dat de best case in de waterketen (met voorbezinktank en vergisting) geen milieuvoordeel heeft ten opzichte van verwerking in de restafval- en de gft-route. Vergisting en compostering van voedselresten via de gft-route (best case) heeft de beste milieuscore. Compostering (worst case in de gft-route) en verbranding in een AEC (restafvalroute) scoren iets minder goed, maar zijn wel gunstiger dan de best case in de waterketen (zie nettoscores in figuur S.1, de onder- en bovengrens van de blauwe balken). De nieuwe waterketen scoort vergelijkbaar met verbranding in een AEC met een gemiddeld rendement.

De ReCiPe-analyse (single score) laat zien dat:

Restafvalroute

De restafvalroute heeft een milieuvoordeel. Productie van elektriciteit en warmte compenseert het milieunadeel (transport en emissies). Het verschil tussen de best en worst case ontstaat door het verschil in rendement van de AEC (elektrisch rendement + warmterendement).

Gft-route

De gft-route heeft een milieuvoordeel. Bij compostering (worst case) wordt alleen een grondstof (compost) geproduceerd. Het grote milieuvoordeel van deze grondstof compenseert elk milieunadeel (transportbewegingen en emissies) ruimschoots. Bij vergisting en compostering (best case) wordt behalve de grondstof ook energie geproduceerd. Deze energie zorgt voor een extra milieuvoordeel.

Waterketen

Bij de rwzi's zonder voorbezinktank en vergisting (worst case) hebben de milieunadelen de overhand. Deze nadelen ontstaan door de benodigde energie, zoals beluchtingsenergie, energie voor ontwatering van slib en energie voor transport van het afvalwater. Bij de rwzi's met voorbezinktank en vergisting (best case) wegen de milieuvoordelen even zwaar als de milieunadelen. De hoofdmoot van het milieuvoordeel is de biogasproductie (en daardoor energieproductie). De milieunadelen bestaan hoofdzakelijk uit de energie voor transport van het afvalwater en beluchtingsenergie.

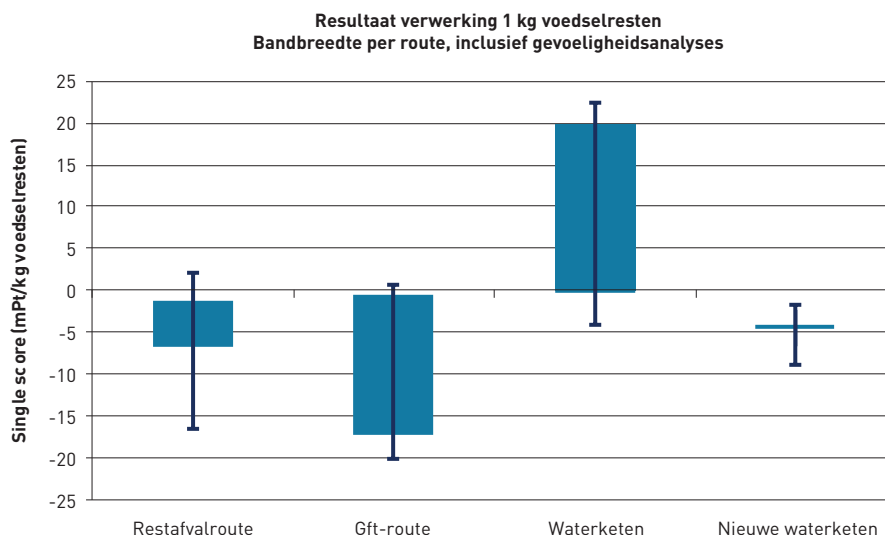
Nieuwe waterketen

De nieuwe waterketen heeft een milieuvoordeel. Deze verwerkingsmethode brengt de voedselresten direct in de gisting. Hierdoor komt het materiaal ten goede aan biogasproductie. Daarnaast neemt door inzet van energiezuinige processen de totale energievraag van het systeem af ten opzichte van het (huidige) systeem in de waterketen. Hierdoor scoort de nieuwe waterketen voor de verwerking van voedselresten op milieugebied beter dan de (huidige) waterketen.

N.B. De analyse beslaat slechts een beperkt onderdeel van de nieuwe waterketen. De voordelen van het geconcentreerde toiletwater (groter volume dan de voedselresten) zijn niet meegenomen. Er is alleen gekeken naar het milieueffect van voedselresten. Deze analyse spreekt zich daarmee niet uit over de complete milieuresultaten van de nieuwe waterketen (zie ook het kader).

De single score in figuur S.1 is gewogen samengesteld uit 18 milieueffecten op midpoint-niveau (milieuthema's). Voor de meeste resultaten op midpointniveau geldt dat de worst case in de waterketen de minst gunstige milieuscore heeft (bij 15 uit 18 midpoints) en dat de gft-route met vergisting en nacompostering de meest gunstige milieuscore heeft (13 uit 18).

Figuur S.1 Single score resultaat per case, per route, per kg voedselresten inclusief de bandbreedtes van de gevoeligheidsanalyses



Single score: negatief is een voordeel voor het milieu.

Compost biedt aanvullende voordelen die niet in de analyse zijn opgenomen, omdat LCA hiervoor geen geschikte methode is (zie ook bijlage C). Mogelijk wordt het milieuvoordeel van verwerking in de gft-route nu dus onderschat. Dit versterkt de conclusie dat het inzamelen van voedselresten via de 'groene bak' en daarna vergisting en compostering de meest gunstige optie is voor het milieu.

Gevoeligheidsanalyses

Figuur S.1 geeft ook de bandbreedtes van de resultaten weer, gegeven door de gevoeligheidsanalyses.

Restafvalroute

Scheiding en vergisting van de organische natte fractie (ONF) kunnen het milieuvoordeel van de best case vergroten. Natte voedselresten (lagere stookwaarde) kunnen voor de worst case het milieuvoordeel laten omslaan naar een nadeel.

Gft-route

Het milieuvoordeel van vergisting (best case) kan nog hoger uitpakken bij:

- een hogere biogasproductie;
- minder emissies;
- betere beschikbaarheid van het stikstof in het digestaat voor planten (bij toepassing in de landbouw).

Het milieuvoordeel van de worst case (compostering) wordt kleiner bij een hogere omzetting van organisch materiaal tijdens het composteren (minder compost) en bij diffuse emissies.

Waterketen

Het milieuvoordeel van de best case wordt groter:

- als de vermalder langer meegaat;
- bij betere slibverwerking;
- als het biofilter een groter deel van de emissies afvangt.

Het milieunadeel van de worst case wordt groter bij diffuse emissies.

Nieuwe waterketen

Het milieuvoordeel van de nieuwe waterketen wordt groter:

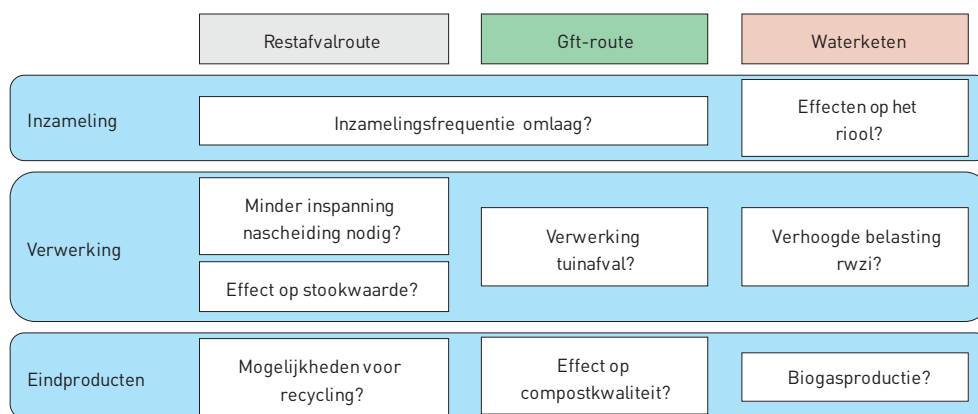
- als vervoer van het wijkstation naar de rwzi met een vrachtwagen plaatsvindt;
- bij betere slibverwerking;
- bij een langere levensduur van de vermaler.

Het milieuvoordeel wordt kleiner bij diffuse emissies.

Vervolgonderzoek

In deze studie is gekeken naar de systemen zoals ze zijn en is aangenomen dat het afvalwater- en het afvalstelsel niet veranderen. Bij grootschalige inzet van voedselrestenvermalers zijn systeemveranderingen te verwachten, die zowel positief als negatief kunnen uitpakken voor de verschillende routes. Zo zal in een situatie met vrijwel geen voedselresten in het restafval het stookgedrag van het resterende restafval veranderen. En bij een volledig voedselresten-vrije gft-route zijn inzameling en verwerking van tuinafval anders te organiseren.

Op verschillende plekken wordt nagedacht over de toepassing van voedselrestenvermalers. Parallel daaraan is het interessant om deze studie te laten opvolgen door een analyse die wel systeemveranderingen meeneemt. Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) kan behalve de impact op het milieu ook andere aspecten inzichtelijk maken, zoals kosten, overlast, hygiëne en comfort.



Figuur S.2 Indicatie aspecten analyse systeemveranderingen bij grootschalige toepassing voedselrestenvermalers

Omdat de nieuwe waterketen waarschijnlijk milieuvoordelen voor de verwerking van zwart water (geconcentreerd toiletwater) heeft, is het nuttig in een aanvullende analyse naar de complete waterketen te kijken. Dus naar de totale zwartwater- en gft-afvallast van een huishouden.

1 Inleiding

Het doel van deze LCA-studie is om inzicht te krijgen in de verschillen in milieu-impact tussen de huidige routes voor het verwerken van voedselresten van huishoudens en mogelijke toekomstige routes, met toepassing van voedselrestenvermalers. Deze studie is onderdeel van een groter project, waarin naar verschillende aspecten van voedselrestenvermalers gekeken wordt (zie Bijlage G).

Box 2: De voedselrestenvermaler

Een voedselrestenvermaler is een elektrisch apparaat, ingebouwd in de keukengootsteen. Het vermaalt voedselresten die (met water) door de gootsteen gespoeld worden. De voedselresten worden vervolgens geloosd op het riool en uiteindelijk verwerkt in een rioolwater-zuiveringsinstallatie. De gootsteen functioneert zoals normaal op het moment dat het apparaat niet aanstaat. De vermaler wordt aangezet met een knop, waarmee de gebruiker dus bepaalt hoe lang het nodig is het apparaat de voedselresten te laten vermalen.

Bron figuur: InSinkErator



Hoofdvraag

De hoofdvraag is of het milieukundig gezien aantrekkelijk kan zijn om voedsel-resten te verwerken op een RWZI (waar het terechtkomt na vermaling door een voedselrestenvermaler in de gootsteen en transport via de riolering), als we dit vergelijken met de andere routes in Nederland voor het verwerken van voedselresten: verbranden in een afvalenergiecentrale (AEC ofwel AVI), composteren of vergisten.

Box 3: Belangrijke kenmerken en randvoorwaarden van deze LCA-studie

Deze LCA studie gaat over de vraag of het toepassen van voedselrestenvermalers bij Nederlandse huishoudens goed is voor het milieu. Om deze vraag te beantwoorden is het verwerken van voedselresten via verschillende routes milieukundig vergeleken.

Voor de resultaten van deze studie geldt een aantal randvoorwaarden:

In deze studie is gekeken naar **milieueffecten**, niet naar andere voor- of nadelen.

- We kijken naar de **effecten van verwerking van voedselresten per kilogram**.
We kijken niet naar systeemveranderingen die nodig zijn bij verschuiving van veel grotere hoeveelheden voedselresten van de ene route naar de andere.
- Het effect van **het verwerken van zwart water (wc-water) is niet meegenomen**.
Daarom geeft deze studie geen antwoord op de vraag hoe de nieuwe waterketen (ook wel nieuwe sanitatie genoemd) milieukundig scoort ten opzichte van de bestaande waterketen.
- De **best case en de worst case geven de bandbreedte van opties binnen Nederland**.
Voor elke locatie op zich zal apart gekeken moeten worden naar de verwerkingsmethoden die aangeboden worden om de beste keuze te maken.

Routes

De in deze studie geanalyseerde routes zijn:

1. **Restafvalroute:** Na inzameling door de burger bij het restafval worden de voedselresten verbrand in een afvalenergiecentrale (AEC).
2. **GFT-route:** Na inzameling door burger bij het GFT-afval worden de voedselresten gecomposteerd of vergist en daarna gecomposteerd.
3. **Waterketen:** Via een voedselrestenvermaler (bij de burger) worden de voedselresten geloosd op het riool en na transport gezuiverd op een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).
4. **Nieuwe waterketen:** Via een voedselrestenvermaler (bij de burger) komen de voedselresten in de nieuwe waterketen (een systeem waarin zwart water en grijs water gescheiden ingezameld wordt) en worden vergisten.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 is de afbakening van de LCA beschreven en in Hoofdstuk 3 de volledige inventarisatie. In Hoofdstuk 4 behandelen we de resultaten. Gevoeligheidsanalyses op de resultaten zijn toegevoegd in Hoofdstuk 5.

In Hoofdstuk 6 is een korte interpretatie van de resultaten gegeven.

2 Afbakening

2.1 Doel en doelgroep

Doel

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van STOWA, Stichting Rioned en RVO. Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in de verschillen in milieu-impact tussen de huidige routes voor het verwerken van voedselresten en mogelijke toekomstige routes, met toepassing van voedselrestenvermalers.

Voedselresten worden op dit moment verwerkt in afvalenergiecentrales (AEC's) en in composteer- en vergistingsinstallaties (samen met tuinafval). Voedselresten worden nog niet via de voedselrestenvermaler op het riool geloosd. De hoofdvraag is of de routes met voedselrestenvermalers (waterketen en nieuwe waterketen) zich milieukundig kunnen meten met de GFT-route en/of de restafvalroute.

Er is in deze studie enkel een milieukundige vergelijking gemaakt. Kosten, beleid, voordelen van (her)gebruik van grondstoffen vanuit een niet-milieukundig perspectief en bijvoorbeeld gemak, zijn in deze studie niet beschouwd. Er is ook niet naar mogelijke systeemveranderingen gekeken, mochten alle voedselresten via één route verwerkt worden. Het doel van dit onderzoek is daarmee om inzicht te krijgen in de verschillen in milieu-impact bij verwerking via verschillende routes, niet om de milieu-impact te bepalen van de verwerking van alle voedselresten via één route.

Voedselresten worden gedefinieerd als het organisch afval dat vrijkomt in huishoudens in de keuken (tuinafval valt erbuiten). Dit onderzoek is deel van een groter proces waarin gekeken wordt naar methoden om de (afval)waterketen te verduurzamen (zie ook de Grondstoffenfabriek¹).

Doelgroep

De beoogde lezers van deze versie van dit rapport zijn belangstellenden en de betrokkenen bij de totstandkoming van deze LCA:

- opdrachtgevers STOWA, Stichting Rioned en RVO;
- Tauw als leverancier van een deel van de data;
- de leden van de klankbordgroep; vertegenwoordigers van spelers in de afval(water)keten.

2.2 Functie en functionele eenheid

Er wordt in deze LCA-studie gekeken naar de volgende functie: verwerking van voedselresten die vrijkomen bij de burger. De functionele eenheid is gegeven in Box 4.

Box 4: Functionele eenheid

Verwerking van 1 kg voedselresten (met een gedefinieerde samenstelling, zie Bijlage A) die vrijkomt bij de burger.

De bijbehorende referentiestromen zijn:

- **Restafvalroute:** 1 kg voedselresten ingezameld via het restafval en verbrand in een AEC (Afvalenergiecentrale, ook wel afvalverbrandings-installatie ofwel AVI).
- **GFT-route:** 1 kg voedselresten ingezameld via het GFT-afval en gecomposteerd of vergist in een composterings- of vergistingsinstallatie (met nacompostering).
- **Waterketen:** 1 kg voedselresten (samen met 16,8 liter water) vermalen in een voedselrestenvermaler, getransporteerd door het riool en verwerkt in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).
- **Nieuwe waterketen:** 1 kg voedselresten (samen met 5,6 liter water) vermalen in een voedselrestenvermaler, afgevoerd via de nieuwe waterketen² en vergist in een vergistingsinstallatie.

¹ <http://www.grondstoffabriek.com/>

² De nieuwe waterketen omvat diverse inzamelings-, transport- en behandelingsmogelijkheden. In dit geval wordt uitgegaan van de toepassing van vacuümtoiletten waarmee toiletwater (zwart water) geconcentreerd wordt ingezameld in combinatie met voedselresten. Het overige water van badkamer, wasbak en (af)wasmachine, ook wel grijs water genoemd, wordt gescheiden van het toiletwater en de vermalen voedselresten ingezameld en behandeld.

In alle routes wordt een worst case en een best case gepresenteerd. Hier is voor gekozen omdat er per inzamelingsroute verschillen in de verwerking zijn. Door een worst case en een best case te presenteren wordt inzicht gegeven in de bandbreedte per route. Er wordt zoveel mogelijk gekeken naar de specifieke situatie in Nederland en zoveel mogelijk gebruik gemaakt van specifiek Nederlandse data. De vierde route betreft een toekomstbeeld dat nog verder weg ligt, maar waarover wel data beschikbaar zijn uit Nederlandse proefprojecten. Omdat deze route een toekomstbeeld schetst wordt één case gepresenteerd. De technologie voor deze route is al beschikbaar.

In de LCA wordt gekeken naar de effecten van verwerking van voedselresten per kilogram. Systeemveranderingen worden daarbij buiten beschouwing gelaten. Systeemveranderingen zijn veranderingen in de systemen zoals ze nu opgezet zijn, bijvoorbeeld hoeveel vrachtwagens er rijden om afval op te halen of hoe lang er gecomposteerd wordt. Als de voedselresten bijvoorbeeld helemaal niet meer bij het restafval ingezameld worden, zou het kunnen zijn dat er minder vrachtwagens hoeven te rijden voor het ophalen van het restafval, maar meer voor het ophalen van het GFT-afval. Bij een kleine penetratie van voedsel-restenvermalers op de Nederlandse markt hoeven water- en afvalketen niet aangepast te worden. Noodzakelijke systeemaanpassingen bij een grote penetratie van voedselrestenvermalers op de Nederlandse markt vallen dus buiten de huidige LCA-studie. Volgens LCA methodologie dient er rekening gehouden te worden met systeemveranderingen als de verschuiving betrekking heeft op meer dan 5% van het totaal. Dit is gebaseerd op een levensduur van 20 jaar voor installaties; per jaar moet dan 5% worden vervangen. Dit betekent op nationaal niveau dat de resultaten van de LCA geldig zijn totdat 840.000 mensen een voedselrestenvermaler gebruiken.

2.3 Systeemgrenzen

In deze LCA wordt gekeken naar een afvalstroom: voedselresten. Er wordt niet gekeken naar de milieu-impact van de voedselresten zelf, maar enkel naar de impact van de verwerking vanaf het moment dat de burger zich van de voedselresten ontdoet. Op hoofdlijnen zijn de volgende ketenfasen inbegrepen:

- afdanking door de burger;
- verwerking van de voedselresten en daarbij vrijkomende afval- en reststromen;
- benodigd transport voor afvalstromen en hulpstoffen.

In de fase 'afdanking door de burger' is bij de routes waar een voedselresten-vermaler gebruikt wordt, de impact van de productie van die vermaler (alsook het energiegebruik en watergebruik bij gebruik van de vermaler) meegenomen. Hier is voor gekozen omdat in de huidige situatie nog geen voedselrestenvermalers gebruikt worden en productie hiervan dus 'extra' is voor deze systemen.

Niet inbegrepen in de analyse zijn eventuele verontreinigingen (bijvoorbeeld papier en plastic in de GFT-route) van de voedselresten. Dit omdat deze verontreinigingen verschillen per route, moeilijk toe te schrijven zijn aan één fractie van de totale afvalstroom (de voedselresten in het restafval) en maar een klein deel van het totaal uitmaken. Ook niet inbegrepen is het gebruik van afvalzakken en afvalbakken door de burger bij het verzamelen van afval (via de restafvalroute en de GFT-route). Systeemveranderingen blijven hier buiten beschouwing, en de aanname is dus dat burgers hun restafval en tuinafval op dezelfde manier blijven inzamelen en dus bakken nodig blijven hebben voor hun andere afval. Bij het afdanken van voedselresten bij het GFT-afval zullen veel burgers geen zak gebruiken. Bij het inzamelen van restafval is de bijdrage van de zak erg beperkt: in een zak van 40 à 50 gram kan zo'n 15 kilo. Bovendien is het gebruik van vuilniszakken mogelijk minder afhankelijk van de hoeveelheid afval dan van het ophaalmoment in de gemeenten zonder GFT-scheiding: de zak gaat onafhankelijk van hoe vol deze is één maal per week aan de straat. De zak is hier daarom buiten beschouwing gelaten.

Voor alle routes is uitgegaan van dezelfde samenstelling (zie Bijlage A). In de GFT-route is geen rekening gehouden met indroging. Hierbij verdampt water uit de voedselresten tijdens het verblijf in de GFT-bak. We gaan ervan uit dat dit geen invloed heeft op de droge stof. Dit betekent dat toevoeging van extra water, wat mogelijk nodig is om compostering en vergisting goed te laten verlopen, niet is opgenomen in de analyse. Dit zal geen wezenlijk effect hebben op de resultaten.

Voor elke route is de worst case en de best case gemodelleerd, op basis van de huidige technologie. De worst case en best case zijn door CE Delft in samenwerking met Tauw gedefinieerd. Wat de worst case en de best case zijn kan afhangen van meerdere variabelen. Om de resultaten inzichtelijk te houden is er voor elke route één variabele die de bandbreedte bepaalt tussen de worst case en de best case. Daarnaast zijn er een aantal gevoeligheidsanalyses gedaan, om inzicht te geven in de invloed van die variabelen. Dit is in volgende paragrafen verder uitgewerkt.

Procesbomen

In Figuur 2.1 tot en met Figuur 2.4 zijn de procesbomen weergegeven voor de verschillende routes. Emissies vinden plaats bij transport, opslag, verbranding, compostering, vergisting en toepassing van de bij- en restproducten.

In sommige gevallen kunnen bij- en restproducten van de verwerking nuttig worden afgezet; elektriciteit en warmte bij verbranding in een AEC, biogas bij vergisting (in een installatie al dan niet gekoppeld aan een RWZI), en compost bij compostering en vergisting. Vermeden emissies gerelateerd aan het nuttig toepassen van de bij- en reststromen worden ook meegenomen in deze LCA.

In de figuren worden de volgende afkortingen gehanteerd:

- H: input van hulpstoffen;
- E: input van energie;
- T: transport.

Na het bespreken van de eerste resultaten zal definitief vastgesteld worden welke gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden.

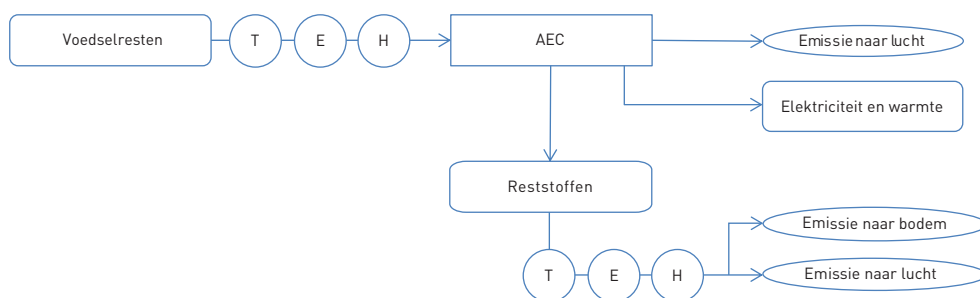
2.3.1 Restafvalroute

In de restafvalroute worden de voedselresten door de burger samen met het restafval verzameld. De voedselresten worden naar de afvalenergiecentrale (AEC) vervoerd. Daar worden de voedselresten verbrand en vinden emissies naar lucht plaats en wordt warmte en elektriciteit gegenereerd. De emissies en de verwerking van reststoffen is gemodelleerd conform het 'Milieueffect-rapport Landelijk afvalbeheer-plan'(MER-LAP) van het Afvaloverleg Orgaan (AOO, 2002a). Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.1 Procesboom restafvalroute 2.1. CE Delft heeft een model gemaakt dat de emissies naar lucht en bodem, die voortkomen uit de verbranding en de verwerking van de AEC-restproducten, beschrijft, afhankelijk van de chemische samenstelling van het verbrande materiaal. In het MER-LAP wordt de relatie gegeven tussen de chemische samenstelling van de input in de AEC en het benodigd gebruik van hulp-middelen in de AEC, het ontstaan van emissies en het ontstaan van afvalstromen (slakken, vliegias en rookgasreinigingsresidu), voor een gemiddelde Nederlandse AEC.

Ook berekent het model de opgewekte warmte en elektriciteit. Dit gebeurt op basis van de stookwaarde en het thermisch en elektrisch rendement.

Hierbij is een correctie op het rendement gemaakt door rekening te houden met de extra warmte die verloren gaat omdat de voedselresten relatief nat zijn. De soortelijke warmte van water is relatief hoog, waardoor rookgassen van voedselresten relatief natter zijn. Uit relatief natte rookgassen is minder warmte terug te winnen. Dit is niet verwerkt in de LHV; de temperatuur van de rookgassen is 180 graden, in de LHV wordt rekening gehouden met opwarming tot 100 graden. Dit verschil en de relatieve vochtigheid is verwerkt in een correctiefactor (zie ook Bijlage D).

Figuur 2.1 Procesboom restafvalroute



H/E/T: Hulpstoffen, Energie en Transport.

Variabele (voor worst case/best case)

De variabele voor het bepalen van de worst case en best case is het rendement van de AEC. Resultaten worden gepresenteerd voor het gemiddelde van de drie met het hoogste rendement (warmte en elektriciteit samen) en het laagste rendement (warmte en elektriciteit samen) (zie ook Bijlage D).

Gevoeligheidsanalyse

Het is mogelijk om, voordat het afval in de AEC terechtkomt, de organische natte fractie (ONF) af te scheiden van de restafvalfractie. Deze wordt vergist in plaats van verbrand, waarbij biogas wordt geproduceerd. Het digestaat wordt vervolgens verbrand in de AEC. Door het produceren van biogas wordt hiermee een voordeel behaald. Deze route zal als gevoeligheidsanalyse gemodelleerd worden.

Een tweede gevoeligheidsanalyse betreft de stookwaarde van de voedselresten, deze is mogelijk lager dan aangenomen in de basisroute.

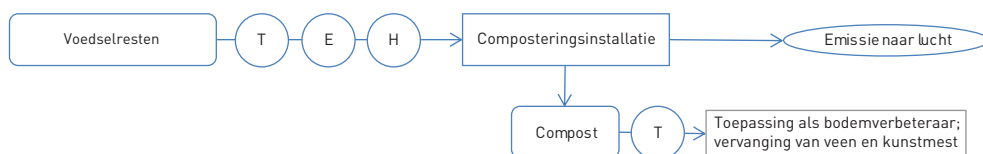
De gevoeligheidsanalyses zijn uitgebreider toegelicht in Hoofdstuk 5.

2.3.2 GFT-route

In de GFT-route zamelen burgers hun voedselresten in bij het GFT-afval.

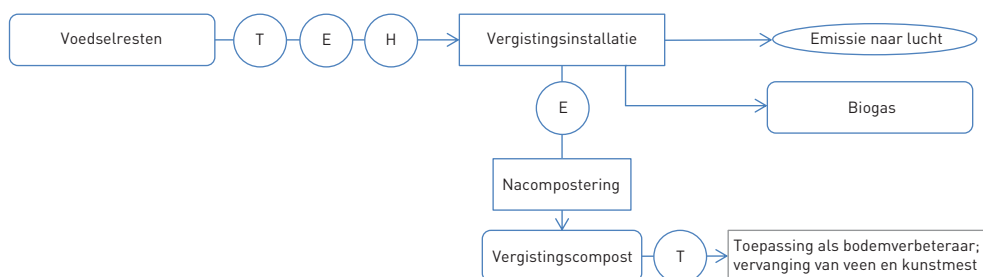
In Nederland wordt apart ingezameld GFT-afval gecomposteerd of vergist (in combinatie met nacompostering, zodat de reststroom afgezet kan worden als compost). Voordat er compostering en vergisting plaatsvindt, wordt de aangevoerde stroom meestal verkleind en/of afgezeefd. De fijnere fractie dient dan als input voor de vergisting; de grovere fractie wordt toegepast als (structuur)materiaal voor het composteringsproces. Gemiddeld is Nederland in de hoeveelheid GFT-afval die gecomposteerd/vergist wordt dus lager dan de totale hoeveelheid GFT-afval die aangevoerd wordt bij de composterings- en vergistingsinstallaties. We nemen aan dat 100% van de voedselresten doorgaat naar de compostering of vergisting.

Bij compostering vinden emissies naar lucht en water plaats en wordt compost gevormd. Door het gebruiken van deze compost wordt het gebruik van andere bodemverbeteraars (veen, dierlijke mest, kunstmest, plantsoenen) vermeden. Bij vergisting vinden ook emissies naar lucht en water plaats en wordt biogas gevormd. Na nacompostering kan het vergistingscompost, net als bij compostering, gebruik van andere bodemverbeteraars vermijden. Het biogas wordt ingezet als vervanger van aardgas. De emissies die dit voorkomt, worden meegenomen in de analyse.



Figuur 2.2 Procesboom GFT-route worst case (compostering)

H/E/T: Hulpstoffen, Energie en Transport.



Figuur 2.3 Procesboom GFT-route best case (vergisting met nacompostering)

H/E/T: Hulpstoffen, Energie en Transport.

Variabele (voor worst case/best case)

De variabele voor het bepalen van verschillen in de verwerkingsroute waarbij de burger de voedselresten afdankt bij het GFT-afval, is de verwerkings-methode; compostering of vergisting met nacompostering.

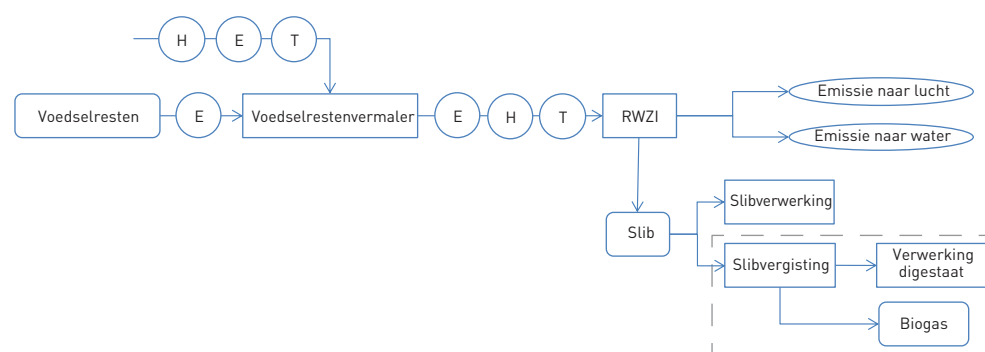
Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyses hebben betrekking op de beschikbaarheid (voor planten) van stikstof in de compost, de biogasproductie bij vergisting en de emissies die ontstaan bij compostering en vergisting.

2.3.3 Waterketen

In deze route worden de voedselresten door de burger vermalen in een voedselrestenvermaler in de keuken (gootsteen). De voedselresten worden vervolgens via het riool naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) geleid. Op dit moment is het in Nederland nog verboden om een voedselresten-vermaler te gebruiken. Voedselresten worden dan ook in principe niet verwerkt op de RWZI's. Om toch inzicht te krijgen in de ingrepen die bij de RWZI nodig zijn voor de verwerking van een kg voedselresten, heeft Tauw dit modelmatig benaderd (Tauw, 2014a).

Figuur 2.4 Procesboom waterketen



H/E/T: Hulpstoffen, Energie en Transport.

Variabele (voor worst case/best case)

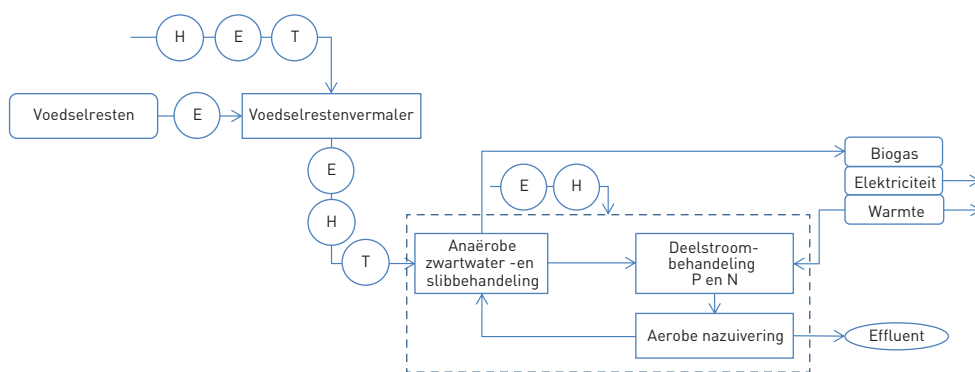
De variabele in deze route is het type RWZI. Voor de worst case wordt gekeken naar een RWZI zonder voorbezinking en zonder vergisting, voor de best case wordt gekeken naar een RWZI met voorbezinking en met vergisting (zie grijs kader in de procesboom). Bij vergisting van het slib vindt productie van biogas plaats. Het biogas wordt op locatie ingezet in een WKK. De emissies die dit voorkomt worden meegenomen in de analyse.

Gevoeligheidsanalyse

In de gevoeligheidsanalyses voor deze route wordt onder andere gekeken naar het effect van overstort (lozen van rioolwater op het oppervlaktewater bij overbelasting van het riool door bijvoorbeeld hevige regenval). Ook wordt gekeken naar verschillende vormen van slibverwerking.

2.3.4 Nieuwe waterketen

In deze route worden de voedselresten door de burger vermalen in een voedselrestenvermaler in de keuken (gootsteen). Daarna worden de voedselresten via een vacuümriool naar een vacuümstation in de wijk vervoerd, samen met het zwarte water van huishoudens (toiletwater). Hierna wordt het zwarte water (inclusief voedselresten) naar de RWZI gepompt. Op de RWZI is het proces opgedeeld in drie delen: de anaërobe zwart water- en slibbehandeling, de deelstroombehandeling fosfaat en stikstof en de aerobe nazuivering. Deze drie delen hebben allen verscheidene substappen. Voor meer specifieke informatie verwijzen we naar de notitie 'Uitgangspunten ten behoeve van uitvoering LCA voedselresten in afvalwaterketen' (Tauw, 2014a).



**Figuur 2.5 Procesboom
nieuwe waterketen**

H/E/T: Hulpstoffen, Energie en Transport.

Geen worst case

Voor deze route is geen worst case en best case gedefinieerd omdat deze route een toekomst-scenario betreft. Hierbij zijn de 'best beschikbare technieken' meegenomen, waarmee de resultaten van deze route dus een best case presenteren. Deze technieken zijn al beschikbaar, waarmee de route dus wel goed vergelijkbaar is met de andere routes.

Gevoeligheidsanalyse

Net als voor de waterketen zal voor de nieuwe waterketen gekeken worden naar diffuse emissies, de levensduur van de vermaler en de slibverwerking. Specifiek voor de nieuwe waterketen zal ook gekeken worden naar de bijdrage van het vervoer van het wijkstation (vacuümstation) naar de RWZI; dit kan met normale riolering of met vrachtauto's.

Gevoeligheidsanalyses

Er is voor gekozen om de vergelijking van de vier routes zo inzichtelijk mogelijk te maken door het presenteren van een worst case en een best case op basis van één variabele. Om vervolgens ook inzicht te geven in het effect van andere parameters zullen verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd worden. Deze zijn voor de verschillende routes samengevat in Tabel 2.1.

Routes	Gevoeligheidsanalyse
Restafvalroute	Scheiden + vergisten van ONF Stookwaarde
GFT-route	Beschikbaarheid van stikstof uit compost Hogere omzetting organisch materiaal Emissies volgens de VA CO2-tool Diffuse emissies (1% van C in ds) (Afvangrendement biofilter)
Waterketen	Levensduur vermaler Invloed van overstort Diffuse emissies (1% van C en van N in ds) Afvangrendement biofilter Slibverwerking (fosfaatterugwinning)
Nieuwe waterketen	Diffuse emissies (1% van C en van N in ds) Levensduur vermaler Slibverwerking (fosfaatterugwinning) Vervoer van wijkstation naar RWZI

**Tabel 2.1 Gevoeligheids-
analyses voor de
verschillende routes**

De gevoeligheidsanalyses zijn uitgewerkt in Hoofdstuk 5.

2.5 Allocatie en cut-off-criteria

Box 5: Allocatie en cut-off

Allocatie en cut-off zijn concepten in LCA die helpen met het definiëren van de grenzen van het systeem waarnaar gekeken wordt.

Allocatie

Als een proces meerdere eindproducten heeft, moet de bedrijfsvoering deels naar product A en deels naar product B toegerekend worden. Dit heet allocatie. Een voorbeeld is veeteelt waar melk én vlees geproduceerd worden.

Cut-off-criteria

In een LCA worden sommige zaken buiten beschouwing gelaten omdat bijvoorbeeld de invloed op het resultaat beperkt is.

Allocatie is beperkt een issue in deze studie. Wat voorkomt is dat verschillende stromen in dezelfde installatie verwerkt worden (bijvoorbeeld bij het vergisten van GFT-afval) en dat de bedrijfsvoering dus toegerekend moet worden aan de verschillende inputstromen (GF-afval en T-afval).

Omdat voedselresten niet apart verwerkt worden, moeten in alle routes beslissingen genomen worden over de toerekening van de milieu-impact van de verwerking naar de voedselresten en naar de rest van het verwerkte afval. Waar mogelijk houden we hier rekening met de fysieke input en de samenstelling van de voedselresten, bijvoorbeeld bij de emissies bij verbranding in de AEC of bij de productie van biogas. Als toerekening op basis van de samenstelling van de voedselresten niet mogelijk is, dan alloceren we naar massa. Omdat de functie van veel verwerkingsprocessen het verwerken van tonnen afval is (input), hebben we vervolgens de bedrijfsvoering op basis van massa toegerekend aan de voedselresten (natte stof). Dit geldt bijvoorbeeld voor het energiegebruik bij compostering en vergisting.

Op dit moment is aansluiting van voedselrestenvermalers op het centrale rioleringsstelsel verboden in Nederland, en worden voedselresten dus vrijwel niet verwerkt op de RWZI's. Om toch een inschatting te kunnen maken van de impact van één kilo voedselresten, verwerkt op een RWZI, heeft Tauw met een van haar modellen doorgerekend wat de ingrepen zijn op RWZI's met 100.000 i.e. en dat vergeleken met de ingrepen die nodig zouden zijn als die 100.000 i.e. ook al hun voedselresten op het riool zouden lozen. Het verschil is teruggerekend naar één kilo voedselresten. Dit is op dit moment de best mogelijke benadering voor het in kaart brengen van de impact van de verwerking van één kilo voedselresten op een RWZI.

Wij hebben daarnaast steeds gekozen voor systeemuitbreiding, waarbij we kijken naar het gehele verwerkingsproces. Dit speelt bij het milieukundig waarderen van de producten aan het einde van de routes (bijvoorbeeld compost uit compostering).

De voedselresten worden samen met andere afvalstromen ingezameld (bij het restafval, het GFT-afval of via de riolering). In praktijk is het dus onoverkomelijk dat er verontreiniging plaatsvindt (met bijvoorbeeld stukjes plastic). Er is voor gekozen deze verontreiniging niet mee te nemen in deze LCA omdat de verontreiniging moeilijk te alloceren is naar de voedselresten, omdat de verontreiniging per route zal verschillen en omdat deze de resultaten niet significant zullen beïnvloeden. De impact van verontreinigingen is niet groot, in de massabalans in de GFT-route bestaat het GFT-afval voor maximaal 5% (acceptatiegrens) uit verontreinigingen (AOO, 2002b) en (Tauw, 2013). In praktijk ligt dit percentage lager, zo'n 3% inclusief metalen die nog uit het afval gehaald worden (Tauw, 2013). In de restafvalroute is de voedsel-restenstroom per definitie verontreinigd omdat afval gemixt wordt, en worden de verontreinigingen verbrand. De verwachting is dat er weinig verontreinigingen zijn bij het vermalen van voedselresten in de vermaler, omdat mensen geen risico willen lopen de vermaler te beschadigen.

De emissie van koolstofdioxide (door bijvoorbeeld verbranding van de voedsel-resten) is in geen van de routes opgenomen, omdat dit kortcyclische CO₂ betreft (zie Box 6); de CO₂ is kortgeleden uit de lucht opgenomen bij de teelt van het voedsel.

Box 6: Kortcyclisch CO₂

CO₂ wordt opgenomen door planten tijdens de groei. Bij verwerking van voedselresten komt een deel van de koolstof weer vrij als CO₂. Dit is kortcyclisch CO₂; de cyclus van opname uit de atmosfeer en afgifte aan de atmosfeer is kort, in tegenstelling tot bijvoorbeeld CO₂ wat vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen. In deze LCA is de emissie van CO₂ niet meegenomen omdat dit kortcyclische CO₂ betreft; de CO₂ is kortgeleden opgenomen tijdens teelt van het voedsel.

Eindverwerking van reststromen is als volgt opgenomen. Met betrekking tot effluentkwaliteit³ is de emissie van stikstof en fosfaat in de waterketen meegenomen. Dit heeft netto een heel beperkt (milieugunstig) effect (emissie van stikstof neemt iets toe, emissie van fosfaat neemt iets af). Andere emissies zijn niet meegenomen omdat deze niet gekarakteriseerd zijn (BZV) of niet bekend zijn (zware metalen). We gaan ervan uit dat de Nederlandse richtlijnen streng genoeg zijn dat het effect hiervan op de resultaten niet significant is. Hetzelfde geldt voor compost. Nederlandse eisen aan compost-kwaliteit zijn hoog. Voedselrestencompost wordt op dit moment niet apart geproduceerd en zal altijd gemixt zijn met compost uit andere bronnen.

Een inschatting van de emissies van zware metalen uit voedselresten naar de bodem vallen grotendeels binnen de richtlijnen (zie ook Bijlage C), en zullen in praktijk (in de mix) binnen deze richtlijnen vallen. Uit eerdere studies bleek dat het effect van die emissie wél opnemen voor onbetrouwbare resultaten zorgt: de impact van de emissie naar de bodem bleek onverklaarbaar hoog. Daarom is er twijfel over de kwaliteit van de gerelateerde karakterisatiefactoren (IVAM, 2008).

De stroom die we bekijken is voedselresten, waarvan het onwaarschijnlijk is dat er hoge concentraties zware metalen in voorkomen. Daarom worden eventuele emissies naar de bodem voor de GFT-route niet opgenomen.

Dit rapport is niet bedoeld om een vergelijking te geven tussen verwerking van afval in een AEC of via compostering. Compost biedt voordelen die nu niet in de analyse zijn opgenomen omdat LCA hiervoor geen geschikte methode is. Een voorbeeld zijn indirecte effecten van veenwinning. Vermeden gebruik van veen is opgenomen in de analyse, maar veenwinning gaat gepaard met landschapsaantasting, wat niet is meegenomen in de analyse. Ook is het risico op extra klimaatemissies door ontwatering in de veengebieden nu niet meegenomen. Daarnaast biedt compost voordelen voor de bodem die in LCA niet op te nemen zijn.

2.6 LCA-methode en milieueffectcategorieën

De LCA-analyse wordt uitgevoerd met de analysemethode ReCiPe-midpoint (H)/Europe ReCiPe H/A (Goedkoop, et al., 2013). De ReCiPe-methode is een analysemethode voor levenscyclusanalyse. Wanneer in het LCA-onderzoek de inventarisatie compleet is en de modellering is voltooid, wordt de milieu-impact berekend. In eerste instantie is dit een lange lijst met emissies en ruwe grondstoffen en hulpbronnen. Deze lijst heeft echter interpretatie en hiertoe zijn analysemethoden beschikbaar. Een van de beschikbare methoden is de ReCiPe-methode, die in deze studie is gebruikt. Het is een veelgebruikte methode en de opvolger van de vroegere EcoIndicator99- en CML2-methoden. De ReCiPe-LCA-methode is ontwikkeld in opdracht van de Nederlandse overheid en wordt ook in veel LCA-studies voor de Nederlandse overheid gebruikt. De ReCiPe-methode zet de lange lijst met primaire resultaten om in beter te interpreteren indicatoren. De methode biedt drie niveaus van impactanalyse, zie ook de rode blokken in Figuur 2.6. Dit wordt in de volgende paragrafen kort toegelicht.

2.6.1 Midpointniveau ofwel milieueffectniveau

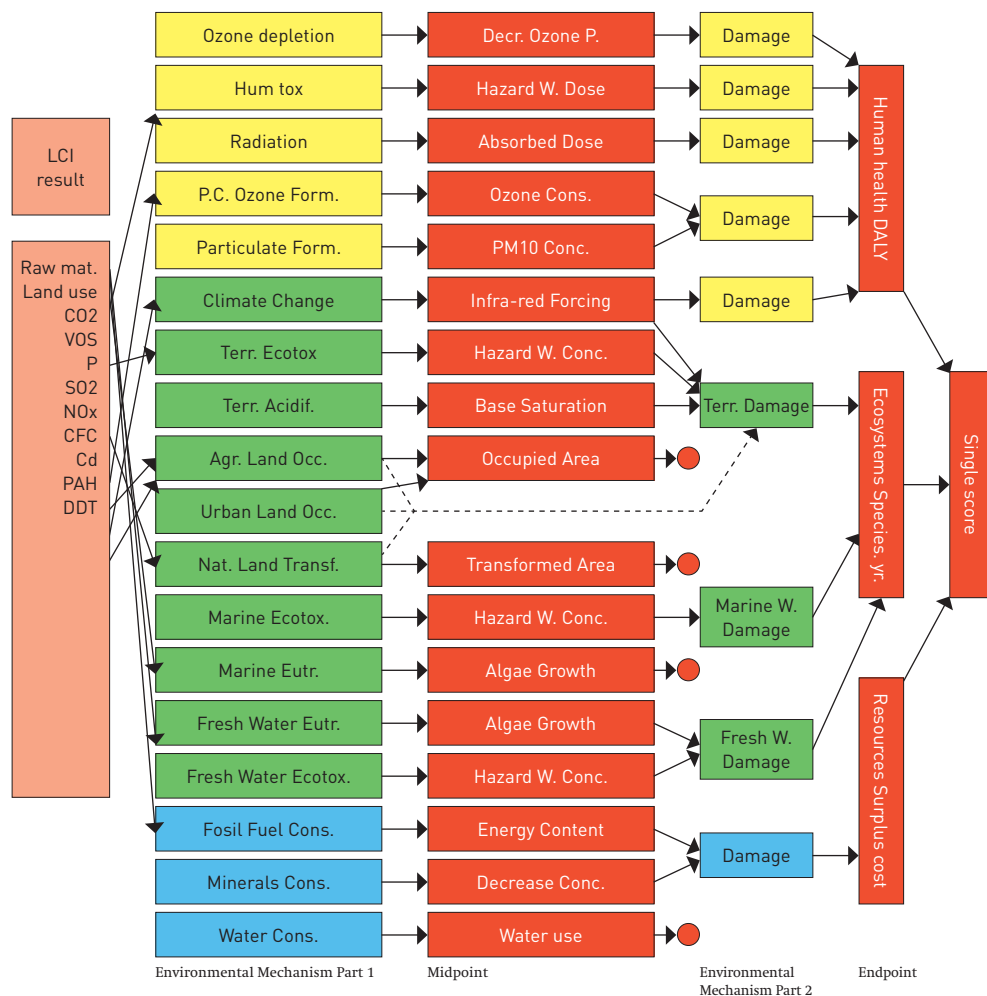
Dit niveau is een directe vertaalslag van stof/emissie naar milieueffect.

Het midpointniveau geeft inzicht in de afzonderlijke milieueffecten en kenmerkt zich door een hoog niveau van transparantie. Het gevolg van deze score, de daadwerkelijke milieuschade, is er echter niet aan af te zien. Hiervoor zijn de drie endpoints (niveau 2) geschikter.

³ Effluent is gezuiverd afvalwater, dus het water wat door de RWZI geloosd wordt.

In deze studie worden voor elke verwerkingsroute de resultaten getoond voor de 18 milieueffectcategorieën (midpointniveau). De resultaten op midpoint-niveau van de diverse verwerkroutes worden vergeleken, door per route aan te geven op welk impactcategorieën het beste gescoord wordt.

Figuur 2.6 Relatie tussen milieuingrepen (emissie van CO₂), milieueffect en milieuschade binnen ReCiPe



Bron: (Goedkoop, et al., 2013).

2.6.2 Endpointniveau ofwel schadeniveau

Op dit niveau worden de milieueffecten genormaliseerd en omgerekend naar schade. Zo heeft bijvoorbeeld een score voor ecotoxiciteit gevolgen voor hoeveelheid dier- en plantensoorten (afname daarvan). Het effect van de milieueffecten op de schadecategorieën worden vervolgens opgeteld.

Er worden drie schadecategorieën onderscheiden:

1. Schade aan menselijke gezondheid (uitgedrukt in DALY's: disability adjusted lifeyears).
2. Schade aan ecosystemen (uitgedrukt in verlies van soorten per jaar).
3. Schade aan grondstofbeschikbaarheid (monetair uitgedrukt (\$)).

2.6.3 Een enkele geaggregeerde indicator ofwel single score

Elke schadecategorie wordt genormaliseerd en krijgt een waarderingsfactor; zo wordt een gewogen eindscore verkregen.

In deze studie worden als toevoeging op de resultaten op midpointniveau, de resultaten op endpointniveau vergeleken en wordt de gewogen milieuscore 'single score' berekend met de analysemethode ReCiPe-endpoint (H)/Europe ReCiPe H/A. Deze toevoeging is in het kader van het doel van deze studie relevant, omdat het een vergelijking waarin schade is inbegrepen betreft.

Dit maakt een vergelijking tussen de verschillende routes inzichtelijker.

In Tabel 2.2 wordt de koppeling getoond tussen de milieueffectcategorieën, de schadecategorieën 'menselijke gezondheid' (in DALY), 'ecosystemen' (in species.year) en 'uitputting van grondstoffen' (in \$), en de weegfactoren voor de milieuscore 'single score' (Goedkoop, et al., 2013).

Effectcategorie	Eenheid midpoint	Eenheid endpoint	Weging single score
Klimaatverandering, humane gezondheid	kg CO ₂ eq.	DALY	40%
Ioniserende straling	kBq U235 eq.	DALY	
Aantasting ozonlaag	kg CFC-11 eq.	DALY	
Verzuring	kg SO ₂ eq.	DALY	
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq.	DALY	
Fotochemische oxidantvorming	kg NMVOC	DALY	
Fijnstofvorming	kg PM10 eq.	DALY	
Vermesting	kg P eq.	species.year	40%
Klimaatverandering, ecosystemen	kg CO ₂ eq.	species.year	
Exotoxiciteit, terrestrisch	kg 1,4-DB eq.	species.year	
Ecotoxiciteit, zoet water	kg 1,4-DB eq.	species.year	
Ecotoxiciteit, zout water	kg 1,4-DB eq.	species.year	
Landgebruik, agrarisch	m ² a	species.year	
Landgebruik, stedelijk	m ² a	species.year	
Landgebruiksverandering	m ²	species.year	20%
Verdroging	m ³	species.year	
Uitputting abiotische grondstoffen	kg Fe eq en kg oil eq.	\$	

Tabel 2.2 Milieueffectcategorieën, eenheden en weging

Bron: (Goedkoop, et al., 2013).

2.7 Datakwaliteit

De data die in deze LCA gebruikt zijn in de modellering zijn op verschillende manieren verzameld. Er is naar bestaande literatuur gekeken en er is gebruik gemaakt van modellen. Alle uitgangspunten en data zijn bekeken door de klankbordgroep. Specifieke aannames zijn geverifieerd bij experts. Met een uitgebreide set aan gevoeligheidsanalyses wordt inzicht gegeven in de band-breedte van de resultaten.

Waar mogelijk zijn de data toegespitst op voedselresten. In veel gevallen was dit goed mogelijk. Voor een deel van de data geldt dat data geldend voor GFT-afval is gebruikt. In deze gevallen is dit aangegeven in de inventarisatie. Als dit een significante invloed op het resultaat had is dit verwerkt in gevoeligheidsanalyses.

Data zijn gebaseerd op Nederlandse bronnen en daarmee representatief voor de situatie in Nederland. Er is zoveel mogelijk uitgegaan van zo recent mogelijke data en van de huidige stand van zaken met betrekking tot technologie. Voor de nieuwe waterketen geldt dat hoewel dit een toekomstbeeld betreft, de technologie al beschikbaar en bewezen is.

2.8 Hulpmiddelen

Bij de uitvoer van deze studie is gebruikt gemaakt van:

- LCA-softwareprogramma SimaPro, versie 8.0.
- Ecoinvent database 2.2 (Ecoinvent, 2007).
- Modellering van de waterketen en de nieuwe waterketen door Tauw (Tauw, 2014a).

3 Inventarisatie

In dit hoofdstuk worden de geïnventariseerde data en aannames gedetailleerd beschreven per ketenstap en per route voor verwerking van de voedselresten.

We onderscheiden vier routes:

- a Restafvalroute.
- b GFT-route.
- c Waterketen.
- d Nieuwe waterketen.

We onderscheiden de volgende ketenstappen:

- 1 Afdanking: de voedselresten komen vrij bij de burger en worden naar een verwerkingsinstallatie vervoerd:
 - a Restafvalroute: bij het restafval.
 - b GFT-route: bij het GFT-afval.
 - c Waterketen: via de voedselrestenvermaler naar het riool en vervolgens de RWZI.
 - d Nieuwe waterketen: via de voedselrestenvermaler en gezamenlijk met het 'zwart water' naar de vergister.
- 2 Verwerking: de voedselresten worden verwerkt:
 - a Restafvalroute: verbrand in een AEC (afvalenergiecentrale).
 - b GFT-route: vergist en gecomposteerd.
 - c Waterketen: gezuiverd op de RWZI.
 - d Nieuwe waterketen: vergist met het 'zwart water'.
- 3 Toepassing van bijproducten en/of afdanking van finale afvalstroom:
 - a Restafvalroute:
 - i Eindproducten: elektriciteit en warmte.
 - ii Reststroom: AEC-reststromen.
 - b GFT-route:
 - i Eindproducten: compost en eventueel biogas.
 - ii Reststroom: afvalwater.
 - c Waterketen:
 - i Eindproducten: eventueel biogas.
 - ii Reststroom: RWZI-slib en effluent.
 - d Nieuwe waterketen:
 - i Eindproducten: biogas en struviet.
 - ii Reststroom: slib en effluent.

3.1 Afdanking: vrijkomen van de voedselresten bij de burger

In Tabel 3.1 is samengevat hoe de burger de voedselresten afdankt en hoe de voedselresten vervolgens getransporteerd worden naar de verwerkingsinstallaties. In de afdankfase is er nog geen onderscheid tussen de best case en de worst case.

Tabel 3.1 Ingrepen gekoppeld aan de afdanking van de voedselresten bij de burger

	Restafvalroute	GFT-route	Waterketen	Nieuwe waterketen
Hoe verzamelt de burger?	Bij het restafval	Bij het GFT-afval	Voedselresten-vermaler	Voedselresten-vermaler
Transport naar de verwerkingsinstallatie	Vrachtauto	Vrachtauto	Riool (pompen)	Nieuwe waterketen (apart rioolstelsel, vacuümpompen + persleiding of vrachtauto)

3.1.1 Restafvalroute - afdanking: inzameling via restafval

Voor het transport van de voedselresten naar de AEC wordt aangesloten bij het MER-LAP (AOO, 2002a). Uit de actualisatie van het MER-LAP in 2013 (Tauw, 2013)⁴ blijkt dat deze data nog steeds actueel zijn. In Nederland zijn 13 AEC's (RWS, 2013).

Onderwerp	Data
Transport [‡]	40 km ^a
	Proces: Truck > 20 tonne, average bulk and cargo, Well-to-wheel ^b

a Bron: (AOO, 2002b): MER-LAP (bij 11-15 installaties 40 km transportafstand).

b Bron: (CE Delft, 2011).

Tabel 3.2 Inventarisatie voor afdankfase van de restafvalroute, per kg voedselresten

3.1.2 GFT-route - afdanking: inzameling via GFT-afval

Voor het transport van de voedselresten naar de composteringsinstallatie of de vergistingsinstallatie wordt aangesloten bij het MER-LAP (AOO, 2002b).

Uit de actualisatie van het MER-LAP (Tauw, 2013) blijkt dat deze data nog steeds actueel zijn. In Nederland zijn 24 vergistings- en composteringsinstallaties (RWS, 2013). Er is aangenomen dat er geen diffuse emissies plaatsvinden bij inzameling en transport; dit vindt over het algemeen plaats in aerobe omstandigheden. In een gevoeligheidsanalyse is rekening gehouden met eventuele diffuse emissie van methaan in de afdankingsfase.

Onderwerp	Data
Transport [‡]	35 km ^a
	Proces: Truck > 20 tonne, average bulk and cargo, Well-to-wheel ^b

a Bron: (AOO, 2002b): MER-LAP (bij > 15 installaties 35 km transportafstand).

b Bron: (CE Delft, 2011).

Tabel 3.3 Inventarisatie voor afdankfase van de GFT-route, per kg voedselresten

3.1.3 Waterketen - afdanking: gebruik van voedselrestenvermaler en lozing op riool

Voor de samenstelling en het productieproces van de voedselrestenvermaler is uitgegaan van data zoals gebruikt in een LCA voor InSinkerator (PE America's, 2011). Er is gebruik gemaakt van proceskaarten van Ecoinvent versie 2.2 (Ecoinvent, 2007) en van data van de World Steel Association voor de productie van staal (World Steel Association, 2014). Voor een uitgebreide inventarisatie van de productie van de vermaler, zie Bijlage B. In Tabel 3.4 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de afdankfase van de waterketen.

Onderwerp	Data
Productie vermaler	Zie Bijlage B
Recycling vermaler	Zie Bijlage B
Vermaler	0,00154 stuk (o.b.v. levensduur van 10 jaara en 65 kg voedselresten per persoon per jaarb)
Energiegebruik vermaler	0,022 kWh ^c Proces: Electricity, low voltage, at grid/NLc
Watergebruik vermaler	16,8 liter Proces: Tap water, at user/RERC
Transport naar RWZI	0,00639 kWh ^c Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NLS\$

a Bron: (PE Americas, 2011).

b Bron: (Tauw, 2014a).

c Bron: (Ecoinvent, 2007).

Tabel 3.4 Inventarisatie voor afdankfase van de waterketen, per kg voedselresten

⁴ Deze studie is nog niet openbaar.

3.1.4 Nieuwe waterketen - afdanking: gebruik van voedselrestenvermaler en nieuwe waterketen

Voor de nieuwe waterketen wijken de data alleen af voor het watergebruik van de vermaler en de transportenergie (door het gebruik van het vacuümriool). In Tabel 3.5 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de afdankfase van de nieuwe waterketen.

Tabel 3.5 Inventarisatie voor afdankfase van de nieuwe waterketen, per kg voedselresten

Onderwerp	Data
Productie vermaler	Hetzelfde als voor de waterketen: zie Bijlage B
Recycling vermaler	Hetzelfde als voor de waterketen: Zie Bijlage B
Vermaler	Hetzelfde als voor de waterketen: 0,00154 stuk (o.b.v. levensduur van 10 jaar ^a en 65 kg voedselresten per persoon per jaar ^b)
Energiegebruik vermaler	0,022 kWhe ^b Proces: Electricity, low voltage, at grid/NL ^c
Watergebruik vermaler	5,62 liter (1 liter per persoon per dag ^b) Proces: Tap water, at user/RER ^c
Transport naar RWZI (vacuümriolering naar wijkstation en van wijkstation naar RWZI met normale riolering)	0,04 kWh ^f Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NLS ^g

a Bron: (PE Americas, 2011).

b Bron: (Tauw, 2014a).

c Bron: (Ecoinvent, 2007).

3.2 Verwerking van de voedselresten

In Tabel 3.6 is weergegeven wat de verschillen zijn tussen de best case en de worst case in de verwerking voor de vier routes. In Paragrafen 3.2.1 t/m 3.2.4 is de inventarisatie voor de verschillende routes en cases verder uitgewerkt.

Tabel 3.6 Ingrepen gekoppeld aan de verwerking van voedselresten via de verschillende routes

	Restafvalroute	GFT-route	Waterketen	Nieuwe waterketen
Best case	Hoog rendement verbranding	Vergisting	RWZI met voorbe-zinking én vergisting	Apart rioolstelsel voor zwart water, aparte vergisting en productie biogas en struviet (wat ingezet wordt als kunst-mest)
Worst case	Laag rendement verbranding	Compostering	RWZI zonder voorbezinking en geen vergisting	–

a Het elektrisch rendement en het warmterendement is hier opgeteld, zie ook Bijlage D.

3.2.1 Restafvalroute – verwerking: AEC

Zoals beschreven in Hoofdstuk 2, gebruiken we voor het doorrekenen van de emissies die vrijkomen bij verbranding van voedselresten in een AEC en bij toepassing van de reststromen een model, gebaseerd op het MER-LAP. In het MER-LAP wordt aangegeven welk deel van welke stof in de slakken, het rookgasreinigingsresidu en de vliegase reststroom terechtkomt, en welke bedrijfsmiddelen nodig zijn. De emissies zijn dus gerelateerd aan de input. Ook de bedrijfsvoering van de AEC (zie Tabel 3.7) is in het model gebaseerd op de samenstelling van de input (voor de samenstelling van voedselresten, zie Bijlage A). Er is voor de modellering van emissies geen verschil gemaakt tussen de worst case en de best case.

Voor het berekenen van de worst case en de best case is gebruik gemaakt van data voor Nederlandse AEC's: het gemiddelde van de drie met het hoogste rendement (best case) en de drie met het laagste rendement (worst case), zie Tabel 3.7. Dit zijn tevens de best case en de worst case als het gaat om milieu-impact (zie ook Bijlage D). Er is een correctie op het rendement gemaakt omdat deze stroom relatief nat is. Dit is toegelicht in Bijlage D.2. In Tabel 3.7 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkingsfase van de restafvalroute.

Onderwerp	Data
Rendement (netto)	<i>Best case^a</i> Elektrisch rendement: 11,2% Thermisch rendement: 51,9% <i>Worst case^a</i> Elektrisch rendement: 15,8% Thermisch rendement: 6,5%
Correctie op rendement	Voor <i>best case</i> en <i>worst case</i> : Verlies van 185,7 kJ (zie Bijlage D)
AEC bedrijfsvoering	Hulpstoffen, transportafstanden, emissies naar lucht, slakken, vliegas en rookgasreinigingsresidu (RGRR), verwerking slakken, vliegas en RGRR ^b Zie Bijlage D

Tabel 3.7 Inventarisatie voor verwerkingsfase van de restafvalroute, best case, per kg voedselresten

a Bron: (RWS, 2014).

b Bron: (AOO, 2002a): MER-LAP (zie ook Bijlage C).

3.2.2 GFT-route – verwerking: vergisting en compostering

Voor het modelleren van de GFT-route is gebruik gemaakt van het MER-LAP als basis, en 2de studies ‘Milieuanalyse vergisting van GFT-afval’ (IVAM, 2008) en ‘LCA’s in afvalbeleid’ (Tauw, 2013). Beiden hebben gekeken hoe het MER-LAP aangepast zou moeten worden naar huidige bedrijfsvoering van installaties. Ook is informatie aangeleverd door (Attero, 2014a) over de meest up-to-date bedrijfsvoering van composteer- en vergistingsinstallaties.

Bij compostering en vergisting vinden emissies van methaan, lachgas, ammoniak en additioneel voor vergisting ook emissies van stikstofoxides en zwaveloxide plaats. Voor deze emissies is uitgegaan van de richtlijn van het protocol ‘Grootschalige vergisting’ (Ministerie van I&M, 2013), welke gebruikt wordt voor de rapportage van broeikasgassen in het ‘National Inventory Report’ voor Nederland. Tauw, in haar actualisatie van het MER-LAP (Tauw, 2013), sluit hierbij aan. In een gevoeligheidsanalyse is gekeken naar de impact als de emissies zijn conform aangenomen in de ‘CO₂-tool GFT-verwerking 1.2’ (Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013).

GFT-route best case: vergisting en nacompostering

In de studie ‘Milieuanalyse vergisting van GFT-afval’ (IVAM) geeft vergisten met een continu proces milieukundig het beste resultaat. Dit proces is daarom als uitgangspunt gekozen voor de *best case* voor de GFT-route.

Bij het vergisten van de voedselresten wordt biogas geproduceerd. Een deel van de emissie wordt afgevangen door een biofilter (biobedsnippers in Tabel 3.9). Het biogas wordt opgewerkt naar groen gas en dient dan als vervanger van aardgas. Voor de opwerking zijn energie en amines nodig. Bij de vergisting vindt emissie van methaan, lachgas, stikstofoxides, ammoniak en zwaveloxide plaats. Voor deze emissies is uitgegaan van de richtlijn van het protocol ‘Grootschalige vergisting’ (Ministerie van I&M, 2013), welke gebruikt wordt voor de rapportage van broeikasgassen in het ‘National Inventory Report’ voor Nederland. Tauw, in haar actualisatie van het MER-LAP (Tauw, 2013), sluit hierbij aan. Gegevens zijn niet beschikbaar per ton voedselresten. De emissiefactoren per ton GFT-afval zijn daarom overgenomen.

Biogasopbrengst

Er zijn verschillende manieren een inschatting te maken van de biogasopbrengst bij vergisten van voedselresten, dit is weergegeven in Tabel 3.8 en daarna verder toegelicht.

Tabel 3.8 Verschillende inschattingen van de biogasopbrengst per ton voedselresten

Bron		Opbrengst per ton (m ³)
MER-LAP (GFT-afval)	(AOO, 2002b); (Tauw, 2013)	75
RWZI-model (waterketen)	(Tauw, 2014a)	116
WRAP	(WRAP, 2010)	117
Attero	(pers. com., 2014)	132
RWZI-model (nieuwe waterketen)	(Tauw, 2014a)	132

In de actualisatie van het MER-LAP (Tauw, 2013) wordt aangegeven dat uitgegaan kan worden van 200-250 m³ biogas per ton organische stof (OS).

In voedselresten vormt het organischestofgehalte 95% van het drogestofgehalte (zie Bijlage A). Met een methaangehalte van 60%, wordt dan 67-83 m³ biogas per ton voedselresten geproduceerd. Gemiddeld is dit 75 m³ per ton voedselresten. Dit komt overeen met de gemiddelde biogasproductie per ton GFT-afval, terwijl de verwachting is dat de biogasproductie per ton voedsel-resten hoger ligt. Voedselresten vergisten beter dan ander GFT-afval, maar vormen maar een relatief klein deel van het GFT-afval. Deze verwachting wordt bevestigd door de resultaten uit de modellering van de rioolwater-zuiveringsinstallatie (RWZI); daar ligt de biogasproductie op 116 m³ per ton voedselresten.

Uit analyses van de samenstelling van voedselresten in Groot-Brittannië (WRAP, 2010), blijkt dat een theoretische opbrengst van (gewogen) gemiddeld zo'n 100 m³ methaan per ton voedselresten mogelijk is. De samenstelling van de voedselresten, het gewogen gemiddelde drogestofgehalte en het koolstof-gehalte, komen ongeveer overeen met onze aannames, respectievelijk 20% van natte stof en 50% van droge stof. Bij een methaangehalte van 60% en een vergistingsrendement van 70% is dat een biogasopbrengst van 117 m³, ongeveer dezelfde opbrengst als bij de RWZI. Dit lijkt daarom een goede indicatie van de biogasopbrengst in de GFT-route best case. Een inschatting door Attero (Attero, 2014b) op basis van een afbraakpercentage van organische stof, geeft een opbrengst van 132 m³ per ton voedselresten (zie ook Paragraaf 5.4).

Deze waarde wordt gebruikt in de gevoeligheidsanalyse. Directe vergisting van zwart water geeft een hogere opbrengst (gelijk aan de hogere inschatting van Attero), dit is meegenomen in de doorrekening van de nieuwe waterketen (zie ook Tabel 3.8).

Digestaatopbrengst

De berekening van de digestaatopbrengst is gebaseerd op de samenstelling van de voedselresten, het verlies aan organische stof door emissies en door de productie van biogas en het (aanbevolen) drogestofgehalte van GFT-compost. Het is aangenomen dat de asrest integraal terechtkomt in het digestaat.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de berekeningsmethodiek van de digestaatopbrengst, zie Bijlage C.

In Tabel 3.9 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkingsfase van de GFT-route best case (vergisting met nacompostering).

Onderwerp	Data
Energiegebruik (netto)	Vergisting: 0,0214 kWhe/kg voedselresten ^a Nacompostering: 0,015 kWhe/kg voedselresten ^b
	Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^g
	Vergisting: 0,140 MJ per kg voedselresten Proces: Heat, natural gas, at industrial furnace low-NO _x /RER ^g
Hulpstoffen vergistingsinstallatie	Biobedsnippers: 8,5 g/kg voedselresten ^d 50% schors, 50% hout
	Proces schors: Bark chips, softwood, u=140%, at plant/RER ^g
	Proces hout: Wood chips, softwood, u=140%, at forest/RER ^g
Ruimtebeslag installatie	0,81*10 ⁻³ m ² j per kg voedselresten ^c
	Proces: Occupation, industrial area ^g
Energie voor opwerken van biogas tot groen gas	0,13 kWhe per m ³ biogas
	Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^g
Hulpstoffen voor opwerken van biogas	0,06 g amines per m ³ biogase
	Proces: Monoethanolamine, at plant/RER ^g
Emissies ^f	CH ₄ = 1.100 mg/kg voedselresten
	N ₂ O = 46 mg/kg voedselresten
	NO _x = 180 mg/kg voedselresten
	NH ₃ = 2,3 mg/kg voedselresten
	SO ₂ = 10,7 mg/kg voedselresten
Afvalwater	0,186*10 ⁻³ m ³ per kg voedselrestend
	Proces: Treatment, sewage grass refinery, to wastewater treatment, class 3/CH ^g
Vergistingscompostopbrengst	122 g per kg voedselresten (zie Bijlage C)
Netto biogasopbrengst (gecorrigeerd voor warmtevraag vergister)	0,117 m ³ biogas per kg voedselresten, methaangehalte van 60%
	Vermeden proces: Natural gas, burned in gas turbine/NL ^g

Tabel 3.9 Inventarisatie voor de GFT-route, best case (vergisting, continu proces, met nacompostering), per kg voedselresten

- a Bron: (Tauw, 2013). Energiegebruik: Waarde geldt per ton GFT. Aanname is dat het energiegebruik per ton voedselresten gelijk is aan het energiegebruik per ton GFT. 'In praktijk' is het energiegebruik voor de voedselresten in het GFT-afval lager; voedselresten vragen weinig energie van de shredder. Het is onduidelijk hoeveel, maar het gegeven energiegebruik is waarschijnlijk een overschatting.
- b Bron: (IVAM, 2008). Nacompostering is 15 kWh per ton GFT-afval. Het totale energiegebruik komt goed overeen met het werkelijke energiegebruik van vergistingsinstallaties (Attero, 2014a), persoonlijke communicatie, 2014).
- c Ruimtebeslag installatie: $0.78 + 0.03 \text{ m}^2\text{j}$. Gebaseerd op het MER-LAP (AOO, 2002b), het additionele ruimtebeslag voor vergisting is $0,03 \text{ m}^2\text{j}$ in plaats van $0,15 \text{ m}^2\text{j}$ (Tauw, 2013).
- d Bron: (AOO, 2002b). Waarden gelden per ton GFT, aanname is dat dezelfde waarden van toepassing zijn voor een ton voedselresten.
- e Er wordt veel gebruik gemaakt van methyl diethanolamine, deze stof is echter niet opgenomen in Ecoinvent (Ecoinvent, 2007).
- f Bron: (Ministerie van I&M, 2013). Protocol voor het bepalen van emissies bij compostering en vergisting. Deze emissies zijn gebaseerd op de compostering van GFT-afval. Deze waarden zijn gebaseerd op gemiddelden van afval in verschillende landen. In Nederland ligt het as-gehalte van GFT-afval hoger en het organische stof gehalte lager dan in omliggende landen. Daarom is te verwachten dat de emissies per ton GFT-afval lager liggen. In de nieuwe 'CO2-tool GFT' van de VA wordt daarom een lagere methaanemissie en lachgasemissie aangehouden: resp. 500 gram CH₄ en 20 gram N₂O (Attero, 2014a). Over de emissiefactoren voor verwerken van GFT-afval is nog discussie. Over de emissiefactoren voor de verwerking van voedselresten is dus nog meer onduidelijkheid. Verwacht kan worden dat de emissies bij compostering van voedselresten per ton verwerkte input hoger liggen dan de emissie bij de compostering van GFT (voedselresten zijn natter), daarom houden wij de waarden aan zoals gegeven in de richtlijnen van het Ministerie van I&M. Anderzijds zijn de gehalten aan C en N per ton materiaal lager, waardoor de emissies lager kunnen liggen. In een gevoeligheidsanalyse zijn de waarden uit de CO₂-tool GFT-verwerking (Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013) opgenomen.
- g Bron: (Ecoinvent, 2007).

GFT-route worst case: compostering

Bij compostering vindt emissie van methaan, lachgas, stikstofoxides, ammoniak en zwaveloxide plaats. Voor deze emissies is uitgegaan van de richtlijn van het protocol 'Grootschalige vergisting' (Ministerie van I&M, 2013), welke gebruikt wordt voor de rapportage van broeikasgassen in het 'National Inventory Report' voor Nederland. Tauw, in haar actualisatie van het MER-LAP (Tauw, 2013), sluit hierbij aan.

Compostopbrengst

De berekening van de compostopbrengst is, net als de massabalans voor vergisting, gebaseerd op de samenstelling van de voedselresten, het verlies aan organische stof door emissies en het (aanbevolen) drogestofgehalte van GFT-compost. Er is aangenomen dat de omzetting van koolstof naar CO₂ gelijk is aan de omzetting bij vergisting van koolstof naar CH₄ en CO₂ (in overleg met (Attero, 2014a)). Er is aangenomen dat de asrest integraal terechtkomt in de voedselrestencompost. Voor een uitgebreidere beschrijving van de berekeningsmethodiek van de compost, zie Bijlage C.

In Tabel 3.10 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkingsfase van de GFT-route worst case (compostering).

Tabel 3.10 Inventarisatie voor GFT-route worst case (compostering), per kg voedselresten

Onderwerp	Data
Energieverbruik	0,032 kWh/kg voedselresten ^a Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^c
Hulpstoffen composteringsinstallatie	Biobedsnippers: 8,5 g/kg voedselresten ^a 50% schors, 50% hout Proces schors: Bark chips, softwood, u=140%, at plant/RER ^c Proces hout: Wood chips, softwood, u=140%, at forest/RER ^c
Installatie	Ruimte installatie: 0,78*10 ⁻³ m ² j per kg voedselresten ^a Proces: Occupation, industrial area ^c
Emissies ^b	CH ₄ = 750 mg/kg voedselresten N ₂ O = 96 mg/kg voedselresten NH ₃ = 200 mg/kg voedselresten
Afvalwater	0,114*10 ⁻³ m ³ per kg voedselresten ^a Proces: Treatment, sewage grass refinery, to wastewater treatment, class 3/CH ^c
Compost – opbrengst	140 g per kg voedselresten (zie bijlage C)

^a Bronnen: (AOO, 2002b) en (Tauw, 2013), beiden bronnen geven dezelfde waarden. Data geldt per ton GFT-afval, aangenomen is dat deze waarden ook gelden per ton voedselresten. Dit is voor energiegebruik waarschijnlijk een overschatting omdat voedselresten weinig energie van de shredder vragen.

^b Zie f bij Tabel 11, bij compostering geldt volgende de CO2-tool GFT een emissie van 161 g CH₄ per ton GFT-afval en 72 g N₂O per ton GFT-afval.

^c Bron: (Ecoinvent, 2007).

3.2.3 Waterketen - verwerking: RWZI

In de waterketen komen de voedselresten via de voedselrestenvermaler terecht in het riool, waardoor het getransporteerd wordt naar de rioolwater-zuiveringsinstallatie (RWZI). Omdat voedselresten op dit moment niet verwerkt worden op RWZI's, is het niet mogelijk om zoals bij de andere routes, een deel van de huidige bedrijfsmiddelen van de verwerking toe te rekenen aan een deel van de input.

Daarom is voor het berekenen van de benodigde bedrijfsmiddelen op de RWZI voor het verwerken van de voedselresten gebruik gemaakt van een modellering door (Tauw, 2014a).

Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde RWZI voor 100.000 inwonerequivalent (ruim 86.000 personen⁵). In de modellering is gekeken naar de huidige bedrijfsvoering en de benodigde toevoegingen mochten deze 86.000 personen al hun voedselresten op het riool lozen.

In de modellering is ervan uitgegaan dat met betrekking tot stikstoftotaal de effluentkwaliteit gelijk blijft. Dit geeft naar ons idee de beste benadering van de ingrepen die nodig zijn per kg voedselresten op een RWZI.

Het is onduidelijk of en hoeveel diffuse emissie er plaatsvindt in de riolering. Er worden op dit moment testen gedaan met 'kelderballonnen', om emissie van gassen bij gemalen af te vangen. Zulke emissies verhogen de milieu-belasting op twee manieren; de emissies zelf hebben een impact en er kan minder biogas gevormd worden. In een gevoeligheidsanalyse is aangegeven wat het effect op de resultaten zou zijn mocht er 1% van de C en N in de droge stof omgezet worden naar CH₄ en N₂O. Het effect op de biogasproductie is hierin niet meegenomen, omdat aangenomen kan worden dat 1% minder C een minimaal effect zal hebben op de biogasproductie.

Slibverwerking

Een van de slibverwerkingsroutes in Nederland is mono-verbranden. Voor de modellering van de verwerking van slib via mono-verbranden is een eerdere studie van CE Delft gebruikt (CE Delft, 2013). In die studie, uitgevoerd voor SNB (Slibverwerking Noord-Brabant), is het slibverwerkingsproces van SNB gemodelleerd. In dit proces wordt het ontwaterde slib op hoge temperatuur verbrand, rookgassen worden gezuiverd en reststoffen (bijvoorbeeld vliegashoudend CO₂), worden zoveel mogelijk nuttig toegepast. CO₂ wordt bijvoorbeeld elders gebruikt en vermijdt productie van zuivere CO₂, fosfaat wordt voor een (klein) deel nuttig ingezet als vervanging van fosfaaterts en een deel van het vliegashoudend wordt ingezet als vervanging van kalksteen (vulstof). Deze slibverwerkingsroute is gekozen als basisroute voor de slibverwerking. Andere opties voor slibverwerking zijn opgenomen in de gevoeligheidsanalyse.

Waterketen best case: RWZI met voorbezinktank en vergisting

In de waterketen best case heeft de RWZI een voorbezinktank en vindt vergisting met productie van biogas plaats. Al het geproduceerde biogas wordt gebruikt in een WKK op locatie. In Tabel 3.11 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkingsfase van de waterketen best case.

5 Verschil tussen het aantal personen (86.000) en het aantal inwonerequivalenten (100.000) is industrie. Een inwonerequivalent is een bepaalde vervuilingsgraad van het aangevoerde water.

Tabel 3.11 Inventarisatie voor de waterketen best case, per kg voedselresten (op basis van modellering (Tauw, 2014a))

Onderwerp	Data
Energiegebruik	Beluchting: 0,061 kWhe Ontwatering: 0,009 kWhe Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL S ^a
Vermeden energiegebruik	0,247 kWhe door inzet van biogas in WKK (biogasopbrengst: 0,116 m ³ à 65% CH ₄) Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^a
Emissies naar lucht ^b	0,00230 kg CH ₄ 5,49 *10 ⁻⁶ kg N ₂ O
Hulpstoffen	4,35 g FeCl ₃ Proces: Iron (III) chloride, 40% in H ₂ O, at plant/CH ^a 9,75 *10 ⁻⁴ kg polyelectroliet ^c Proces: Chemicals inorganic, at plant/GLO ^a
Effluent	N-totaal: 1,7*10 ⁻⁴ kg Emissie naar water: Nitrogen ^a P-totaal: -6,53*10 ⁻⁴ kg Emissie naar water: Phosphorus ^a
Slibproductie (uitgest + secundair)	0,071 kg ds Proces: Slibverwerking, mono-verbranding, per ton slibkoek (23% ds) ^d
Ruimtegebruik	3,36*10 ⁻⁵ m ² jaar ^e

a Bron: (Ecoinvent, 2007).

b Bron: (Tauw, 2014a).

c Polyelectroliet is niet opgenomen in de Ecoinvent-database. Als proxy is gebruik gemaakt van de proceskaart die ook gebruikt wordt in de standaard RWZI-proceskaart in Ecoinvent: 'Chemicals inorganic, at plant'. Bij de RWZI is de doseerhoeveelheid in mol Fe/mol P gelijk gehouden. Doordat er netto iets meer P in het influent komt, is er ook een netto toename van de chemicaliëndosering. In het effluent is er ten aanzien van fosfor wel een verbetering. De chemicaliëndosering kan eventueel verlaagd worden waardoor de effluentkwaliteit gelijk blijft. Vooralsnog is met een verminderde chemicaliëndosering geen rekening gehouden.

d Bron: (CE Delft, 2013).

*e Bron: (AOO, 2002c) (MER-LAP): 1,7*10⁻³ m²jaar per m³ afvalwater. Uitgaande dat 16,8 liter wordt weggespoeld per kilo voedselresten, zitten er in één kuub water inclusief voedselresten, ongeveer 56 kilo voedselresten.*

Waterketen worst case: RWZI zonder voorbezinktank en zonder vergisting

In de waterketen worst case heeft de RWZI geen voorbezinktank en vindt geen vergisting plaats. Voor de eindverwerking van het slib wordt uitgegaan van mono-verbranding (CE Delft, 2013).

In Tabel 3.12 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkings-fase van de waterketen worst case.

Onderwerp	Data
Energiegebruik	Beluchting: 0,138 kWhe Ontwatering: 0,021 kWhe Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^a
Emissies naar lucht	0,00189 kg CH ₄ 5,49*10 ⁻⁶ kg N ₂ O
Hulpstoffen	1,57 g FeCl ₃ Proces: Proces: Iron (III) chloride, 40% in H ₂ O, at plant/CH ^a 2,32 *10 ⁻³ kg polyelectrolyet ^b Proces: Chemicals inorganic, at plant/GLO ^a
Effluent	N-totaal: 9,82*10 ⁻⁵ kg Emissie naar water: Nitrogen ^a P-totaal: -9,25*10 ⁻⁴ kg Emissie naar water: Phosphorus ^a
Slibproductie (secundair slib)	0,170 kg ds Proces: Slibverwerking, mono-verbranding, per ton slibkoek (23% ds) ^c
Ruimtegebruik	3,36*10 ⁻⁵ m ² jaar ^d

Tabel 3.12 Inventarisatie voor waterketen worst case, per kg voedselresten

Bron: Tauw, 2014; Tauw heeft de data gemodelleerd.

^a Bron: (Ecoinvent, 2007).

^b Zie c bij Tabel 13.

^c Bron: (CE Delft, 2013).

^d Zie e bij Tabel 13.

3.2.4 Nieuwe waterketen - verwerking

De nieuwe waterketen is door Tauw op eenzelfde manier gemodelleerd als de waterketen. Deze modellering heeft de inventarisatiedata voor de LCA opgeleverd. In Tabel 3.13 is de inventarisatie per kilogram voedselresten gegeven voor de verwerkingsfase van de nieuwe waterketen.

De nieuwe waterketen betreft een toekomstbeeld. Hierin is wel rekening gehouden met implementatiemogelijkheden op korte termijn: de technologie in de modellering is al bewezen en beschikbaar.

Tabel 3.13 Inventarisatie voor de nieuwe waterketen, per kg voedselresten (op basis van modellering (Tauw, 2014a))

Onderwerp	Data
Energiegebruik	Anammox-reactor: 0,007 kWhe Struvietreactor: 0,06 Whe Beluchting actief-slibtank: 0,00028 kWhe Ontwatering: 0,0044 kWhe Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL S ^a
Vermeden energiegebruik	0,281 kWhe door inzet van biogas in WKK (biogasopbrengst: 0,132 m ³ à 65% CH ₄) Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^a
Emissies naar lucht ^b	0,00230 kg CH ₄ 3,5 * 10 ⁻⁶ kg N ₂ O
Hulpstoffen	0,5 g polyelectroliet ^c Proces: Chemicals inorganic, at plant/GLO ^a 1,4 g magnesiumchloride Proces: Magnesiumchloride ^a
Effluent	N-totaal: 0,007 g Emissie naar water: Nitrogen ^a P-totaal: 0 kg
Slibproductie (uitgegist + secundair)	0,07 kg ds Proces: Slibverwerking, mono-verbranding, per ton slibkoek (23% ds) ^d
Ruimtegebruik	1,12*10 ⁻⁵ m ² jaar ^e

a Bron: (Ecoinvent, 2007).

b Bron: (Tauw, 2014a).

c Polyelectroliet is niet opgenomen in de Ecoinvent database. Als proxy is gebruik gemaakt van de proceskaart die ook gebruikt wordt in de standaard RWZI-proceskaart in Ecoinvent: 'Chemicals inorganic, at plant'.

d Bron: (CE Delft, 2013).

*e Bron: (AOO, 2002c) (MER-LAP): 1,7*10⁻³ m²jaar per m³ afvalwater. Uitgaande dat er 5,6 liter wordt weggespoeld per kilo voedselresten, zitten er in één kuub water inclusief voedselresten, ongeveer 152 kilo voedselresten. Per kg betekent dit 0,0066 m³.*

3.3 Toepassing eindproducten

In Tabel 3.14 is per route aangegeven welke eindproducten ontstaan.

Door toepassing van deze eindproducten kan gebruik van andere producten vermeden worden. In Tabel 3.14 is aangegeven welke processen gebruikt zijn voor het modelleren van deze vermeden producten.

Bij verbranding van afvalstromen in een AEC en bij de verbranding van slib worden ook reststoffen geproduceerd die nuttig toegepast worden en bijvoorbeeld gebruik van zand en kalksteen vermijden. Dit is in de modellering opgenomen in de verwerkfase, omdat het produceren van deze eindproducten onvermijdbaar is en geen doel op zich is.

Compost biedt voordelen die nu niet in de analyse zijn opgenomen omdat LCA hiervoor geen geschikte methode is (zie ook Bijlage C). Het is dus mogelijk dat het milieuvoordeel van verwerking in de GFT-route nu onderschat wordt.

Route	Eindproduct	Vermeden proces
Restafval-route	Elektriciteit	Proces: Electricity mix/NL S ^a
	Warmte	Proces: Heat, natural gas, at industrial furnace low-NO _x > 100 kW/RER ^a
GFT-route	Compost en vergistingscompost	Veen en kunstmest (zie Bijlage C voor samenstelling) ^b :
		Veen Proces: Peat, at mine/NORDEL ^a
		KAS Proces: Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER ^a
		TSP Proces: Triple superphosphate, as P ₂₀₅ , at regional storehouse/RER ^a
		Kali 60 Proces: Potassium sulphate, as K ₂₀ , at regional storehouse/RER ^a
		Kieseriet Proces: Magnesium sulphate, at plant/RER ^a
		Dolokal Proces: Lime, from carbonation, at regional storehouse/CH ^a en Magnesium oxide, at plant/RER ^a
	Biogas	Aardgas Proces: Natural gas, burned in gas turbine/NL ^a
Waterketen	Biogas, omgezet in WKK naar elektriciteit	Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^a
Nieuwe waterketen	Biogas, omgezet in WKK naar elektriciteit	Proces: Electricity, medium voltage, at grid/NL ^a
	Struviet (N & P)	N, P, Mg kunstmest ^b Proces: Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER ^a Proces: Triple superphosphate, as P ₂₀₅ , at regional storehouse/RER ^a Proces: Magnesium sulphate, at plant/RER ^a

Tabel 3.14 Bijproducten bij verwerking van voedselresten en vermeden producten (uitgebreide analyse van hoeveelheden is gegeven in Bijlage C)

a Bron: (Ecoinvent, 2007).

b Er is gecorrigeerd voor verschillen in de concentratie van de werkzame component tussen de Ecoinventprocessen en de producten zoals aangegeven in het MER-LAP. Ook is rekening gehouden met de huidige toepassing van compost en of het in verschillende toepassingen veen vervangt of niet.

In Tabel 3.15 is de opbrengst aan warmte, elektriciteit en gas gegeven voor de verschillende routes. Let op dat deze waarden niet één op één te vergelijken zijn. Bij de GFT-route best case (vergisting) lijkt de opbrengst relatief hoog, maar het rendement van verbranding ligt ergens tussen de 30 en 40%. In twee routes wordt geen energiedrager geproduceerd: bij de GFT-route worst case en bij de waterketen worst case.

Voor de routes waar een kunstmestvervanger wordt geproduceerd is aangegeven hoeveel gram werkzame nutriënt (N, P, K, Mg) er per kilo voedselresten geproduceerd wordt. Voor compost is voor op basis van (Grontmij en IVAM, 2004) de werkzaamheid van stikstof (N) en fosfor (P) 60% aangenomen en voor kalium (K) 100%. Voor struviet is de werkzaamheid van de nutriënten gelijk gesteld aan kunstmest (NMI, 2011).

Tabel 3.15 Energieopbrengst (MJprimair) en compostopbrengst (g) in de verschillende routes, per kg verwerkte voedselresten

Route	Uitgespaarde energie (MJprimair)	Compost of struviet (gram) en gram werkzame nutriënt (gram)	
Restafvalroute <i>worst case</i>	Elektriciteit ⁶ : 0,782; Warmte ⁷ : 0,137	–	
Restafvalroute <i>best case</i>	Elektriciteit: 1,076; Warmte: 0,554	–	
GFT-route <i>worst case</i>	–	Compost: 140 g	N: 2,36 P: 0,36 K: 2,42 Mg: 0,2
GFT-route <i>best case</i>	Biogas: 3,023	Compost: 122 g	N: 3,49 P: 0,36 K: 2,42 Mg: 0,2
Waterketen <i>worst case</i>	–	–	
Waterketen <i>best case</i>	Biogas: 2,996	–	
Nieuwe waterketen	Biogas: 3,409	Struviet: 1,9 g MAP ⁸	N: 0,0756 P: 0,0167 Mg: 0,186

6 Op basis van 'Electricity mix, NL' van (Ecoinvent, 2007): rendement van 38,1%.

7 Op basis van 'Heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100 kW/RER' van (Ecoinvent, 2007): rendement van 90,1%.

8 Er wordt 0,126 g N en 0,279 g P geproduceerd. De weergegeven waarden zijn lager in verband met de werkzaamheid.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van de LCA-studie. Allereerst worden de resultaten in ReCiPe-single score gepresenteerd. Dat geeft een gewogen score; één waarde per case. Vervolgens worden ook de resultaten op midpointniveau (humane effecten, effecten op ecosystemen en voorraden en op endpointniveau gepresenteerd. We bespreken vier routes, waarvan we voor de eerste drie een bandbreedte hebben gedefinieerd met een *worst case* en een *best case*:

- Restafvalroute: AEC in combinatie met laag of hoog rendement.
- GFT-route: compostering of vergisting.
- Waterketen: zonder voorbezinktank en vergisting en met voorbezinktank en vergisting.
- Nieuwe waterketen.

In Hoofdstuk 5 bespreken we elf gevoeligheidsanalyses.

4.1 Single score-resultaat

In Figuur 4.1 is het resultaat weergegeven in single score. Dit betekent dat de resultaten op alle milieuthema's gewogen zijn en samengevoegd. Op deze manier is makkelijk in één oogopslag te zien hoe de routes zich tot elkaar verhouden. De resultaten zijn zo weergegeven dat ook te zien is wat de bijdrage is van de verschillende ketenfasen op het eindresultaat. Een negatieve score geeft een milieuvoordeel aan.

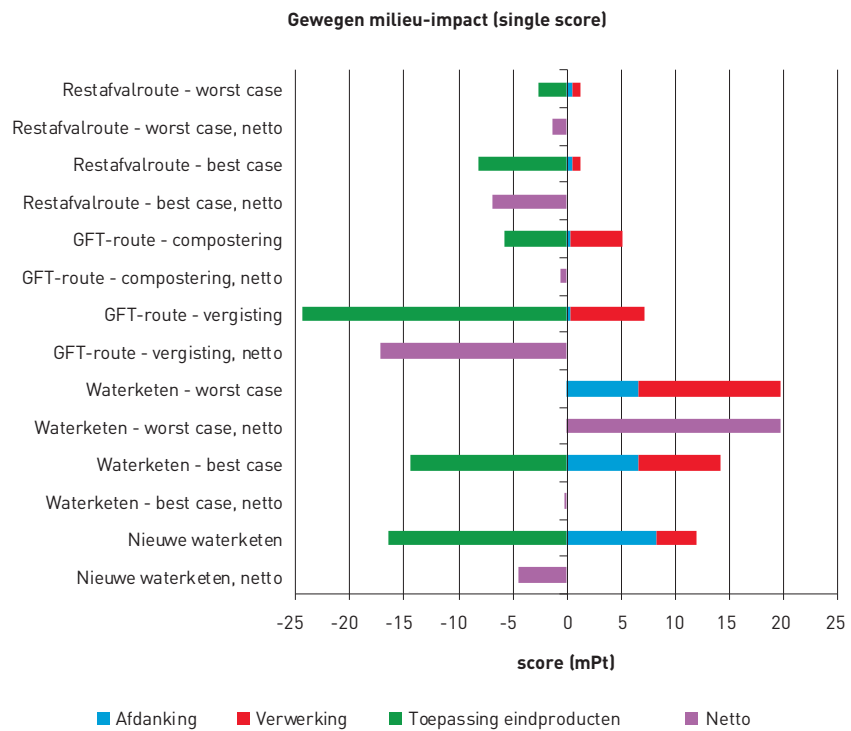
De ReCiPe-single score is een gewogen score van drie endpoints: 40% humaan, 40% ecosystemen en 20% voorraden. De drie endpoints zijn een gewogen score van verschillende midpoints (bijvoorbeeld klimaatverandering en humane toxiciteit). Dit is toegelicht in Paragraaf 2.6. Als de endpoints anders gewogen worden dan kan dit andere resultaten geven. Daarom worden in dit rapport de endpoints ook apart gepresenteerd.

Zoals te zien in Figuur 4.1 levert verwerking in de restafvalroute, de GFT-route, de waterketen en de nieuwe waterketen een milieuvoordeel. Het voordeel van de waterketen *best case* is insignificant; 0,2 mPt (millipoints, de eenheid waarin de single score gegeven wordt). De waterketen *worst case* levert een relatief groot milieunadeel.

Er is duidelijk te zien dat de impact van verwerking zorgt voor grote verschillen tussen de routes. Bij de restafvalroute is weinig input nodig (geen energie, wat hulpstoffen), en vindt geen emissie van methaan en lachgas plaats. Dit is bij de GFT-route, de waterketen en de nieuwe waterketen wel het geval. Verder is er in die routes energie nodig is voor onder andere de compostering (GFT-route), beluchting en ontwatering (waterketen en nieuwe waterketen) en voor de reactoren (nieuwe waterketen).

Het milieuvoordeel van de nieuwe waterketen is ongeveer gelijk aan het voordeel van het verbranden van de voedselresten in een gemiddelde Nederlandse AEC.

**Figuur 4.1 Single score resultaat
alle routes (gewogen milieu-
impact) – per kg voedselresten**

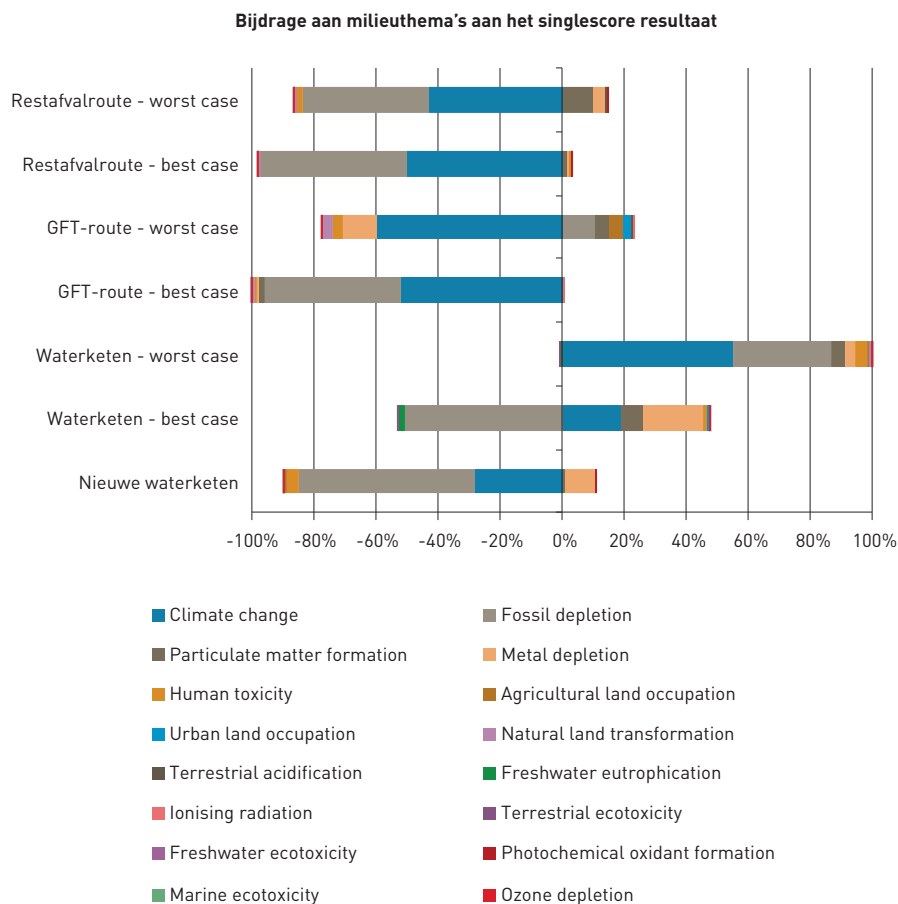


mPt = milliPoints.

Bijdrage van verschillende milieuthema's aan de resultaten

Zoals gezegd zijn in Figuur 4.1 alle milieuthema's gewogen. In Figuur 4.2 is de procentuele bijdrage van de milieuthema's aan de single score per route weergegeven. De resultaten van de routes zijn allen per route op 100% gesteld om per route goed te kunnen zien hoeveel een thema aan de score voor die route bijdraagt. Let op: de staven zijn enkel te vergelijken met betrekking tot welke impacts relatief veel bijdragen aan de totale impact binnen een route. De grootte van de balkjes zijn onderling (tussen routes) niet te vergelijken, omdat de totale impact per route sterk verschilt.

Figuur 4.2 geeft duidelijk weer dat het thema klimaatverandering in de meeste routes de grootste bijdrage aan de score levert. Het thema uitputting van fossiele grondstoffen (fossil depletion) hangt daarmee samen; productie van biogas vermijdt winning van gas, productie van elektriciteit vermijdt productie van elektriciteit uit fossiele bronnen. De energie/klimaatbalans telt daarmee het zwaarst in deze analyse. Daarom bekijken we de resultaten op de midpoint klimaatverandering in meer detail.



Figuur 4.2 Bijdrage van de verschillende milieuthema's aan de single score per route – per kg voedselresten

NB: Dit geeft de procentuele bijdrage per route, de resultaten verschillen per route en zijn niet te vergelijken. De thema's zijn weergegeven op volgorde van grootte van bijdrage in de restafvalroute worst case (in de figuur en de legenda).

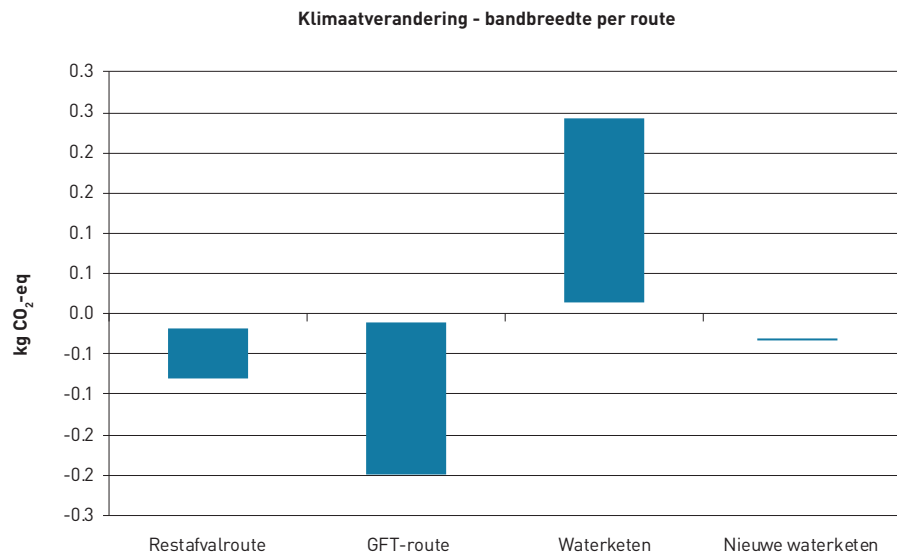
4.2 Midpointresultaten

4.2.1 Klimaatverandering

Omdat klimaatverandering voor alle routes een relatief belangrijk milieuthema is, kijken we hier meer gedetailleerd naar de midpointresultaten voor klimaatverandering. Fossil depletion neemt in alle routes ook een groot aandeel van het single score resultaat in. Dit thema hangt sterk samen met klimaatverandering; het is beiden gekoppeld aan het gebruik van energie of de productie van energiedragers (zoals biogas). Voor dit thema zijn de resultaten voor de vier routes weergegeven in Figuur 4.3. Zoals te zien is de bandbreedte voor de restafvalroute relatief smal. Bij de GFT-routes en bij de waterketen is deze relatief groot. In die routes maakt het dus meer uit hoe de verwerking plaatsvindt. Het klimaatvoordeel van de GFT-route *worst case* komt hier ongeveer overeen met het voordeel van verbranden in een AEC met laag rendement (restafvalroute *worst case*). Vergisting scoort duidelijk gunstiger dan verwerking via de restafvalroute.

De variatie in de waterketen is groot omdat er in de best case wél productie van biogas is en in de worst case niet. In de worst case kan het klimaatnadeel dus niet gecompenseerd worden. Bij de nieuwe waterketen is er sprake van een klein klimaatvoordeel. Omdat er bij die route geen best case en worst case gedefinieerd is, is de waarde weergegeven als lijn in Figuur 4.3.

Figuur 4.3 Midpointresultaat
klimaatverandering, bandbreedte
per inzamelingsoptie (restafval/
GFT/ voedselvermaler via de
waterketen en nieuwe waterketen)
- per kg voedselresten



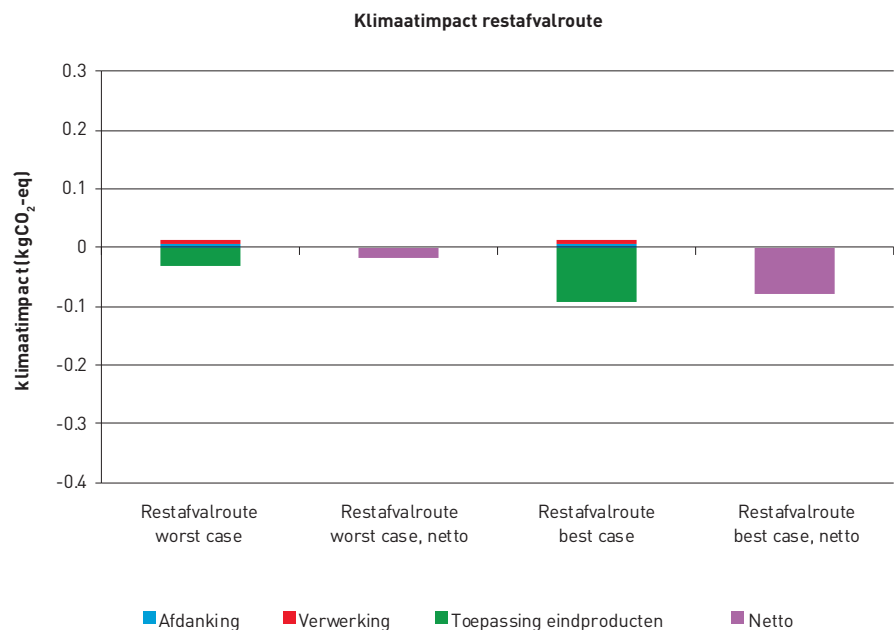
4.2.2 Analyse procesbijdrage per route - klimaatverandering

In Figuur 4.4 tot en met Figuur 4.8 is per route de bijdrage aan de klimaat-impact van de drie fases weergegeven:

- 1 Afdankfase (voor composteren het transport naar de installatie).
- 2 Verwerkfase (het composteren).
- 3 Toepassing van de eindproducten (compost).

Voor de vier routes is de verticale as gelijk gesteld, zodat de figuren makkelijk te vergelijken zijn.

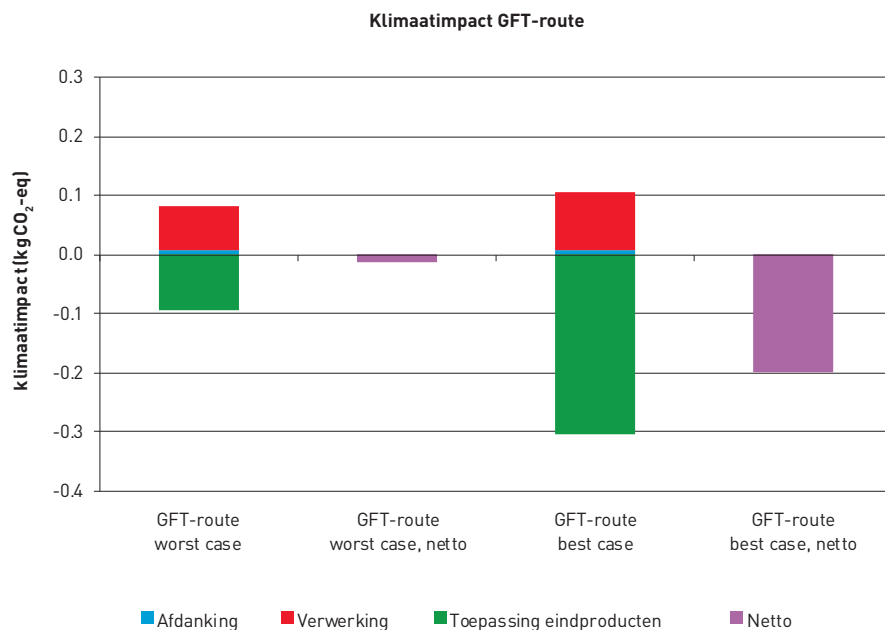
Figuur 4.4 Bijdrage aan
de klimaatimpact van de
afdankfase (blauw),
de verwerkfase (rood)
en de toepassing van
de eindproducten (groen)
van de restafvalroutes -
per kg voedselresten



Zoals te zien in Figuur 4.4 heeft de verwerking van de voedselresten in een AEC (restafvalroute) een milieuvoordeel. Dit komt onder andere omdat de asrest in voedselresten laag is en er dus weinig overblijft na verbranding (wat nog verder verwerkt moet worden). In de toepassing van de eindproducten van de AEC is de daadwerkelijke afzet van warmte en elektriciteit in het rendement opgenomen⁹.

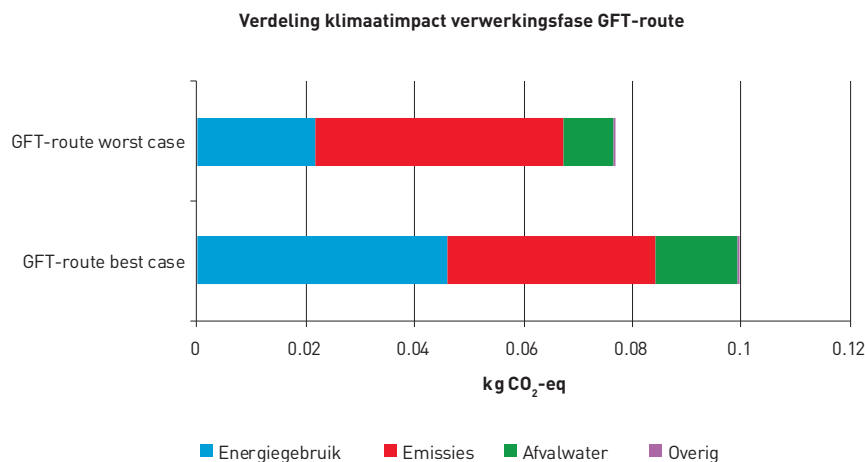
⁹ Hierbij moet opgemerkt worden dat hier gekeken is naar de verwerking van 1 kg in het huidige systeem; er worden al voedselresten verwerkt in de AEC's. De voedselresten worden gemengd met ander afval, waardoor de gemiddelde stookwaarde hoog genoeg is om verbranding goed te laten plaatsvinden en energie terug te winnen. Als enkel voedselresten verbrand zouden worden in een AEC zou er geen energie teruggewonnen kunnen worden omdat de stookwaarde te laag is. Dit is in het huidige systeem niet aan de orde. In deze analyse kijken we naar een kleine verandering van de hoeveelheid voedselresten die verwerkt wordt in de Nederlandse AEC's. Bij een grote verandering is een uitgebreidere analyse nodig.

In Figuur 4.5 is de klimaatimpact van de twee GFT-routes weergegeven: composteren en vergisten. Hier valt op dat klimaatvoordeel van vergisting een stuk hoger is dan van compostering¹⁰. Het verschil in compostopbrengst tussen de beide routes is niet zo hoog; 122 g per kg voedselresten bij vergisting en 140 g per kg voedselresten bij compostering. Bovendien is rekening gehouden met de nutriënteninhoud; die is bij vergistingscompost hoger (N, P en K komen op de emissies na allen terecht in de compost). Het grotere klimaatvoordeel van vergisting is dus te verklaren door de productie van biogas bij vergisting.



Figuur 4.5 Bijdrage aan de klimaatimpact van de afdankfase (blauw), de verwerkfase (rood) en de toepassing van de eindproducten (groen) van de GFT-routes – per kg voedselresten

In Figuur 4.6 is de bijdrage van verschillende delen van de verwerkingsfase weergegeven voor de GFT-route. Emissies hebben een aandeel van zo'n 40 en 60% van de klimaatimpact bij respectievelijk de *best case* en de *worst case*.

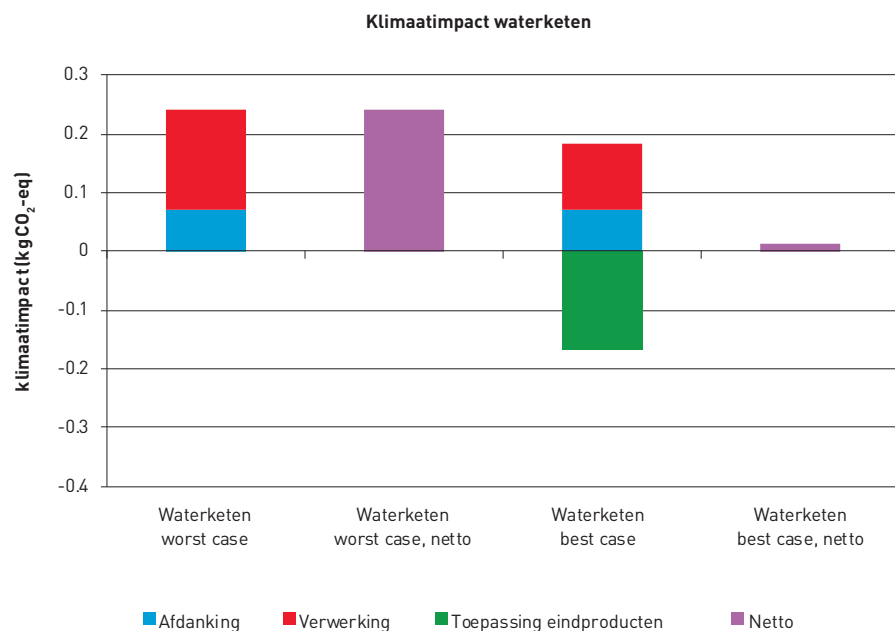


Figuur 4.6 Verdeling van de klimaatimpact voor de verwerkingsfase (zie rode/positieve balk in Figuur 4.5) via de GFT-route – per kg voedselresten

In Figuur 4.7 is de klimaatimpact van de waterketen weergegeven. Zoals te zien heeft de *best case* (met voorbezinking en vergisting) een heel klein klimaatnadeel, maar is het verschil met de *worst case* (geen voorbezinking of vergisting) groot: dat klimaatnadeel is zo'n 25 keer zo groot. De grote verschillen tussen de routes die het verschil tussen het resultaat verklaren zijn de productie van biogas in de *best case*, dat er minder belucht hoeft te worden ná voorbezinking en dat er uiteindelijk minder slib naar de eindverwerker hoeft bij vergisting.

¹⁰ In een eerdere milieu-analyse van IVAM (2008) over compostering en vergisten lagen deze waarden dicht bij elkaar en was het klimaatvoordeel van compostering hoger en van vergisting lager. Omdat voedselresten relatief makkelijk afbreken (beter dan het houtachtige deel in GFT), is de biogasopbrengst hoger dan bij vergisting van GFT, maar de compost-opbrengst juist lager. Dit verklaart het relatief grote verschil.

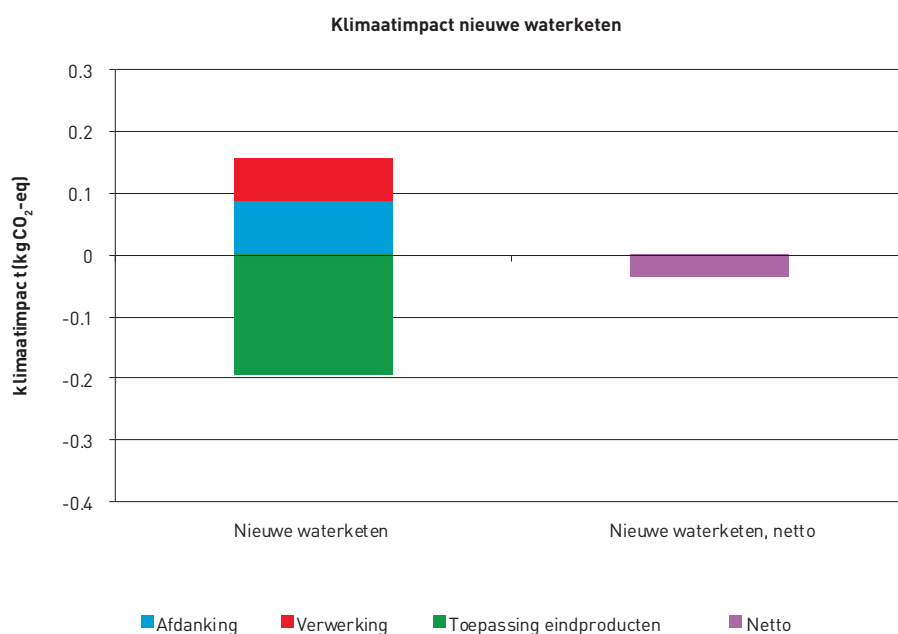
Figuur 4.7 Bijdrage aan de klimaatimpact van de afdankfase (blauw), de verwerkfase (rood) en de toepassing van de eindproducten (groen) van de waterketen – per kg voedselresten



In de restafvalroute en de GFT-route is de bijdrage van de afdankfase relatief klein. Zoals te zien in Figuur 4.7 is de bijdrage van deze fase in de waterketen relatief hoog. Voor de waterketen is hierbij de milieu-impact van de voedselrestenvermaler en van het vermalen meegerekend. Ook de verwerking heeft een substantieel hogere impact dan de verwerking in de andere routes. Beide fasen (afdanking en verwerking) worden hieronder verder toegelicht voor de waterketen.

In Figuur 4.8 is de klimaatimpact van de nieuwe waterketen weergegeven. Deze route heeft een klein klimaatvoordeel; de biogas- en struvietproductie compenseren het energiegebruik in de verwerkfase net.

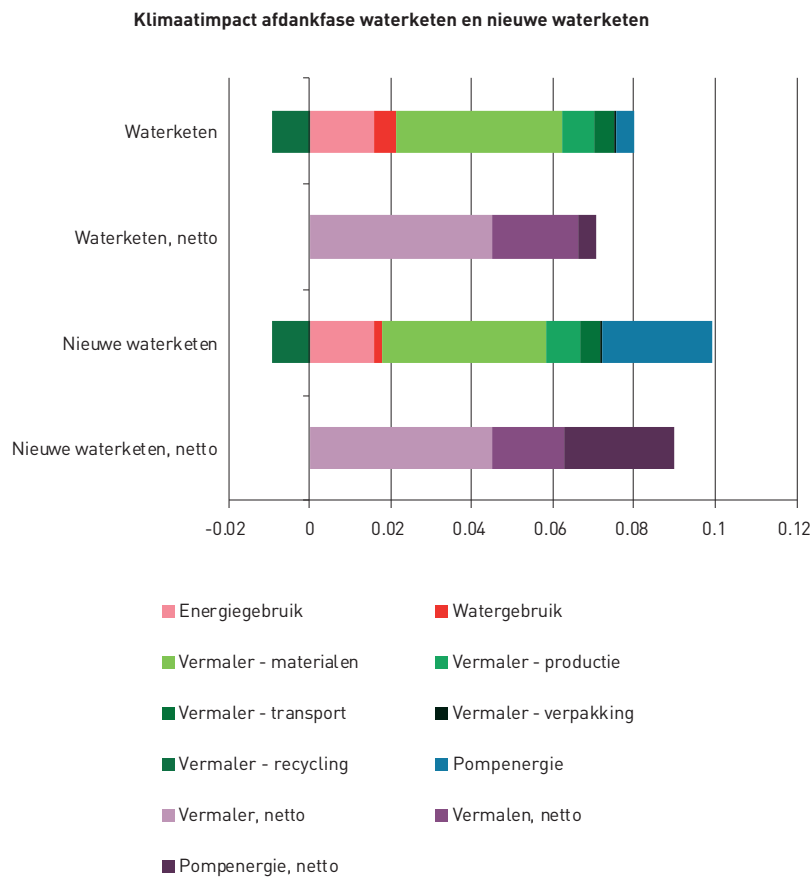
Figuur 4.8 Bijdrage aan de klimaatimpact van de afdankfase (blauw), de verwerkfase (rood) en de toepassing van de eindproducten (groen) van de nieuwe waterketen – per kg voedselresten



De waterketen en de nieuwe waterketen: afdankfase

In Figuur 4.9 is weergegeven hoe de klimaatimpact van de afdankfase (o.a. vermaler en vermaleren) in de waterketen is opgebouwd. Zoals te zien is de impact van het materiaalgebruik relatief hoog (hiervan wordt wel een deel gecompenseerd door recycling). Zoals te zien draagt ook het energiegebruik bij het vermaleren significant bij aan de impact van de afdankfase.

De verschillen tussen de waterketen en de nieuwe waterketen zijn het watergebruik van de vermaler en de pompenergie. Zoals te zien in Figuur 4.9 is de laatste een stuk hoger voor de nieuwe waterketen: meer dan zes keer zo hoog. Dit komt omdat het vacuümpomp-systeem relatief veel energie kost.



Figuur 4.9 Verdeling van de klimaatimpact (kg CO₂-eq.) van de afdankfase van de waterketen (transport + vermaler + vermaleren) en de nieuwe waterketen – per kg voedselresten

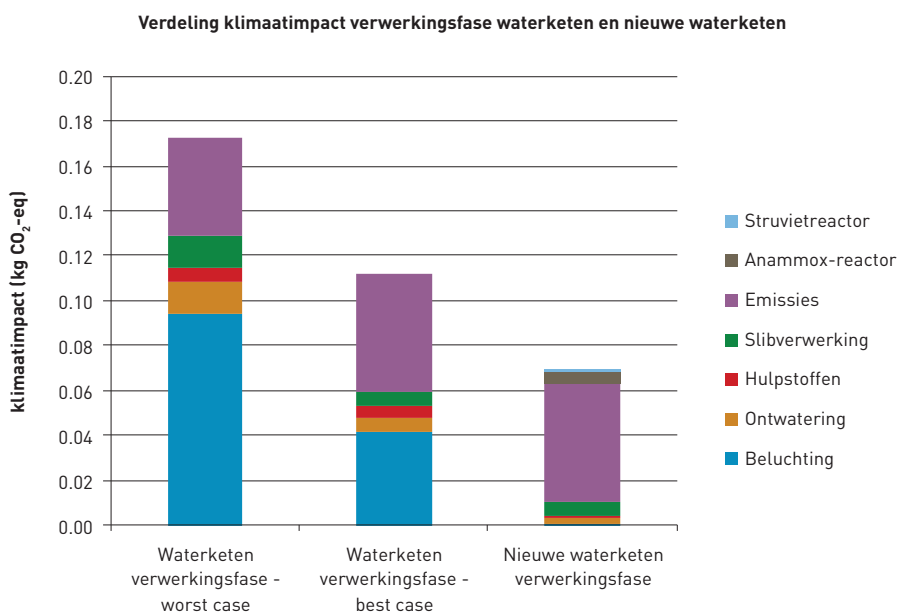
Waterketen en nieuwe waterketen: verwerkingsfase

In Figuur 4.10 is weergegeven hoe de klimaatimpact van de verwerking in de waterketen en de nieuwe waterketen is opgebouwd. De klimaatimpact van de verwerking is in de waterketen worst case iets meer dan 60% hoger dan in de waterketen best case. Het verschil zit voornamelijk in de extra beluchting die nodig is bij een installatie zonder voorbezinktank en de grotere hoeveelheid slib die afgezet wordt bij de eindverwerker.

Bij installaties met een voorbezinktank is minder beluchting nodig omdat door de voorbezinking een deel van de verontreinigingen al verwijderd wordt. Omdat er bij de installatie met slibvergisting vergisting plaatsvindt, wordt minder slib afgezet bij de slibverwerker (voor mono-verbranding, met zoveel mogelijk nuttige toepassing van reststromen).

Emissies hebben een aandeel van zo'n 25 en 50% in respectievelijk de waterketen worst case en de waterketen best case. Dit aandeel is vergelijkbaar met het aandeel van emissies bij de GFT-route (zie Figuur 4.6). Bij de nieuwe waterketen is dit aandeel hoger, zo'n 80%. De emissies zijn hier gelijk verondersteld aan de emissies van de waterketen best case, maar de totale klimaatimpact van de verwerkingsfase van de nieuwe waterketen is een stuk lager, waardoor het aandeel hoger uitpakt. Diffuse emissies zijn voor deze routes opgenomen in een gevoeligheidsanalyse.

Figuur 18 Verdeling van de klimaatimpact (kg CO₂-eq.) voor de verwerkingsfase van de waterketen (bedrijfsvoering op de RWZI, exclusief productie van biogas) – per kg voedselresten



4.2.3 Midpointresultaten alle milieuthema's

In Tabel 4.1 is weergegeven hoe de impact van de verschillende routes zich tot elkaar verhouden per impactcategorie. Dit is weergegeven in percentages.

De route met de hoogste score is op 100% gesteld. De scores van de andere routes zijn bepaald relatief ten opzichte van de route met de hoogste score.

Zoals te zien in Tabel 4.1 scoort de waterketen worst case op de meeste impact categorieën het minst gunstig. Uitzonderingen hierop zijn de impact categorieën 'freshwater eutrophication' en de 'terrestrial ecotoxicity' thema's. Voor 'freshwater eutrophication' geldt dat alle routes op deze thema's een milieuvoordeel hebben en dat dit voordeel voor alle routes heel laag is. Dit maakt de relatieve verschillen groot. Voor 'terrestrial ecotoxicity' geldt dat het voordeel of nadeel voor alle routes relatief klein is en de waarden dicht bij elkaar liggen, hier geldt dus ook dat dit de relatieve verschillen groot maakt.

	Restafvalroute <i>worst case</i>	Restafvalroute <i>best case</i>	GFT-route <i>worst case</i>	GFT-route <i>best case</i>	Waterketen <i>worst case</i>	Waterketen <i>best case</i>	Nieuwe waterketen
Climate change	-7	-33	-5	-82	100	6	-15
Ozone depletion	-2	-113	-12	-300	100	31	-35
Terrestrial acidification	14	6	57	-51	100	28	5
Freshwater eutrophication ^a	-431	-221	100	-55	-39.956	-31.389	-1.512
Marine eutrophication	2	2	7	-5	78	100	0
Human toxicity	-4	0	-3	-10	100	3	-27
Photochemical oxidant formation	23	11	-18	-21	100	23	7
Particulate matter formation	20	13	4	-37	100	25	2
Terrestrial ecotoxicity	100	77	-275	-417	-1338	-463	-705
Freshwater ecotoxicity	-5	-2	-2	-7	100	14	-13
Marine ecotoxicity	-5	-3	-4	-13	100	11	-16
Ionising radiation	-7	-5	8	1	100	-12	-48
Agricultural land occupation	-8	-1	49	40	100	10	-22
Urban land occupation	11	14	54	53	100	26	-12
Natural land transformation	-12	-49	-4	-116	100	-26	-51
Water depletion	4,7	1,2	-2	-11	100	77	54
Metal depletion	12	9	-16	-25	100	96	84
Fossil depletion	-12	-53	2	-119	100	-26	-50

Tabel 4.1 Resultaten op midpoint per case per route, impact uitgedrukt in percentage ten opzichte van de hoogste score. Deze waarden zijn hetzelfde als wordt genormaliseerd en de resultaten procentueel relatief ten opzichte van elkaar worden uitgedrukt – per kg voedselresten

a Alle routes hebben een milieuvoordeel op het thema 'freshwater eutrophication'.

4.3 Resultaten op endpointniveau

In Tabel 4.2 zijn de endpointresultaten weergegeven per case, in percentages relatief ten opzicht van de case met de ongunstigste score. De resultaten gegeven in Tabel 4.2 zijn gewogen om tot scores voor drie schadecategorieën te komen. Ook een gewogen optelling is toegevoegd; de totaalscore per case, de single score (in 'points'). Om tot een score op endpointniveau te komen worden de impacts op midpointniveau omgerekend naar schade. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen schade voor menselijke gezondheid, schade aan ecosystemen en uitputting van grondstoffen (Goedkoop, et al., 2013). Voor meer informatie over de methodiek, zie Paragraaf 2.6.

Op endpointniveau zijn de resultaten eenduidig: de GFT-route *best case* scoort het meest gunstig, de *worst case* in de waterketen scoort het minst gunstig.

Tabel 4.2 Resultaten op endpoint en single score per case, relatief ten opzichte van de case met de ongunstigste score – per kg voedselresten

	Restafvalroute <i>worst case</i>	Restafvalroute <i>best case</i>	GFT-route <i>worst case</i>	GFT-route <i>best case</i>	Waterketen <i>worst case</i>	Waterketen <i>best case</i>	Nieuwe waterketen
Human Health (DALY)	-4%	-25%	-4%	-70%	100%	8%	-13%
Ecosystems (species.year)	-7%	-33%	-4%	-81%	100%	4%	-15%
Resources (\$)	-10%	-48%	0%	-111%	100%	-15%	-37%
Single score (mPt)	-7%	-35%	-2%	-87%	100%	-1%	-22%

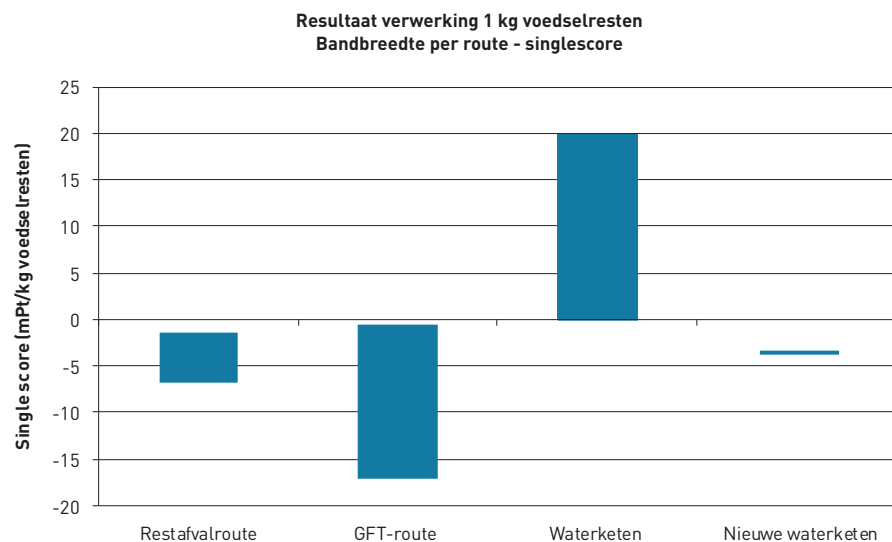
4.4 Beschouwing resultaten

De resultaten laten zien dat er grote verschillen tussen routes bestaan, maar ook binnen routes. Verwerking in de GFT-route kan het grootste milieu-voordeel hebben; vergisting heeft een voordeel wat zo'n 3 tot 4 keer hoger ligt dan de scores van restafvalroute best case en de nieuwe waterketen. Dit komt door de energie opbrengst uit vergisting (biogas) en de productie van compost.

Ook de restafvalroute heeft een milieuvoordeel. De bandbreedte van het milieuvoordeel van deze route is een stuk kleiner dan bij de GFT-route (verschil van 5,5 mPt). Het verschil tussen de *best case* en de *worst case* in de restafvalroute wordt veroorzaakt door het verschil in energierendement (elektriciteit + warmte) van de AEC's.

Verwerking in de waterketen laat een divers beeld zien. De bandbreedte (verschil tussen de *best case* en de *worst case*) is, net als bij de GFT-route, relatief groot (verschil van 20 mPt). De waterketen *worst case* heeft echter een relatief groot milieunadeel: 19,8 mPt. Het milieu-voordeel van de waterketen *best case* is dus relatief klein. De resultaten en bandbreedtes zijn weergegeven in Figuur 4.11.

Figuur 4.11 Bandbreedte resultaten van de vier routes (mPt per kg voedselresten)



De ReCiPe-single score analyse laat zien dat de waterketen best case (met voedselrestenvermaler), waarbij op de RWZI voorbezinking en vergisting plaatsvindt, geen milieuvoordeel heeft ten opzichte van de bestaande restafvalroutes en GFT-routes. Vergisting van voedselresten via de GFT-route heeft het grootste milieuvoordeel in dit onderzoek. De restafvalroute scoort minder gunstig dan de GFT-route best case maar wel gunstiger dan de waterketen. De GFT-route *worst case* en de waterketen *best case* scoren ongeveer gelijk (GFT-route is iets voordeliger). Verwerken van voedselresten via de nieuwe waterketen scoort gunstiger dan verwerking via het bestaande riool in bestaande RWZI-installaties. De nieuwe waterketen scoort vergelijkbaar met composteren of verbranden in een AEC met een gemiddeld tot hoog rendement.

Bij de nieuwe waterketen worden zowel voedselresten als het zwart water op een andere manier verwerkt. In deze analyse is alleen voor een beperkt onderdeel van de nieuwe waterketen een analyse gedaan. Voor zwart water, wat een groter volume dan voedselresten betreft, is er geen vergelijking gemaakt. Deze analyse spreekt zich daarmee niet uit over de complete milieuresultaten van de nieuwe waterketen.

5 Gevoeligheidsanalyses

In dit hoofdstuk worden de verschillende gevoeligheidsanalyses besproken. In Tabel 5.1 is per route weergegeven waar een gevoeligheidsanalyse op is uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in de ReCiPe-single score (= alle milieueffecten zijn geaggregeerd tot één waarde), per ketenfase (afdanking, verwerking, toepassing eindproducten).

Tabel 5.1 Gevoeligheidsanalyses per route

	Gevoeligheidsanalyse
Restafvalroute	Scheiden van ONF + vergisten Stookwaarde
GFT-route	Beschikbaarheid van stikstof uit compost Hogere omzetting organisch materiaal Emissies volgens de VA CO ₂ -tool Diffuse emissies (1% can C in ds) Emissies biofilter
Waterketen	Invloed van overstort Levensduur vermaler Diffuse emissies (1% van C en van N in ds) Emissies biofilter Slibverwerking (fosfaatruwgewinning)
Nieuwe waterketen	Diffuse emissies (1% van C en van N in ds) Levensduur vermaler Slibverwerking (fosfaatruwgewinning) Transport van vacuümstation naar RWZI

5.1 Restafvalroute: scheiden van ONF + vergisten

Bij enkele AEC's (3 van de 11) wordt de organische natte fractie (ONF) gescheiden van het restafval en vergist. Hierbij wordt biogas geproduceerd. Het digestaat wordt verbrand in de AEC. De ONF-fractie bestaat niet enkel uit voedselresten, maar is deels vervuild met klein restafval. Ook stukjes papier komen bijvoorbeeld mee met de fractie. Data vanuit de afval-industrie is daarom voor dit onderzoek niet bruikbaar; de vervuiling met o.a. papier zorgt voor een hogere biogasopbrengst dan is te verwachten uit de voedselresten. Daarom is hier gekozen om modelelementen van andere routes te gebruiken voor het maken van een benadering van het scheiden en het verwerken van ONF uit restafval. Dit is samengevat in Tabel 5.2.

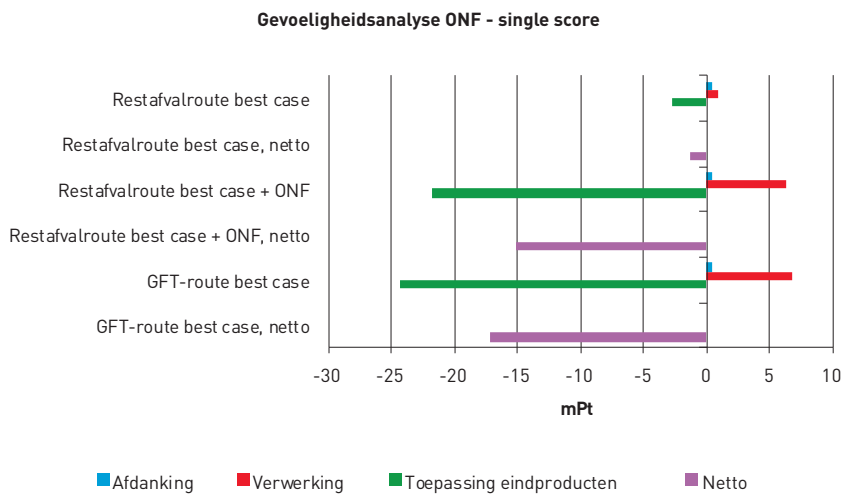
Tabel 5.2 Model voor scheiden van ONF bij een AEC

	Route + eventuele aanpassing
Afdanking	Via het restafval
Verwerking	Scheiden van ONF van restafval ¹¹ Vergisting met hoge biogasproductie; het is niet nodig dat het digestaat compostkwaliteit heeft, er kan volledig vergist worden Verbranding van het digestaat ¹² ; het model is aangepast voor de samenstelling en stookwaarde van het digestaat
Toepassing	Het biogas vervangt aardgas

In Figuur 5.1 zijn de resultaten in single score weergegeven voor de restafvalroute best case, voor scheiding van ONF uit het restafval (inclusief vergisting en verbranding van het ONF-digestaat) en voor de GFT-route (vergisting). De ONF-route heeft een duidelijk voordeel ten opzichte van de restafvalroute best case. Vergisting heeft echter een nog duidelijker milieuvoordeel; het verschil is de mogelijkheid om het digestaat nuttiger af te zetten.

¹¹ Aanname voor energiebehoefte: Gelijk aan energiebehoefte vergisting (GFT-route best case). Qua ordegrrootte: Vagron (thans Attero Groningen) schat het elektriciteitsgebruik in op 0,1554 kWh/kg ONF. Vagron gebruikt 1/3 van de energieproductie zelf, produceert 14,3 miljoen kWh per jaar en verwerkt 92 kton ONF <http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Voorbeeldproject%20Bio-Energie%20-%20Vagron%20-%20ONF%20Vergisting.pdf>. Het elektriciteitsgebruik voor vergisting (en dus hier voor scheiden en verwerken van ONF is op 21,4 miljoen kWh gesteld.

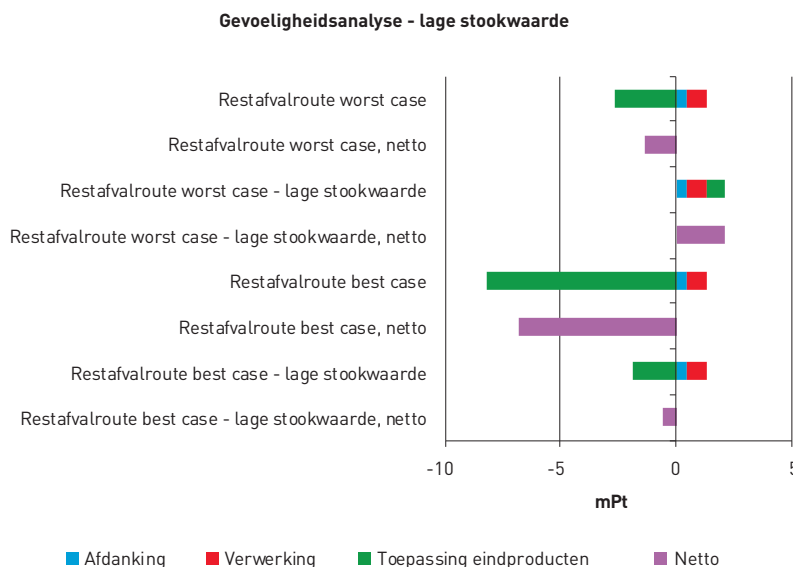
¹² Aanname voor de stookwaarde en samenstelling van het digestaat na vergisting: gelijk aan samenstelling van de voedselresten (Attero, 2014a). Aanname voor opbrengst aan digestaat: zie gevoeligheidsanalyse in Paragraaf 5.4: hogere biogasproductie.



Figuur 5.1 Gevoeligheidsanalyse: scheiden van ONF bij AEC – single score per kg voedselresten

5.2 Restafvalroute: lagere stookwaarde

In de basiscase is uitgegaan van een onderwaarde verbrandingswaarde (lower heating value of LHV) van 2,3 MJ/kg voedselresten. Het is goed mogelijk dat deze waarde lager is voor voedselresten (Tauw, 2014b), hfst. 8). In deze gevoeligheidsanalyse is gerekend met een LHV die half zo groot is als in de basisroute: Een LHV van 1,15 MJ/kg voedselresten. Er is gekeken wat het effect daarvan op de resultaten is. Hierbij is de correctie op het rendement gelijk gehouden aan de basiscase (zie Bijlage D.2). Omdat deze correctie een vaste waarde betreft, heeft dit een significant effect op de resultaten in deze gevoeligheidsanalyse. Bij een lagere stookwaarde zakt zoals te verwachten de opbrengst uit de AEC en daarmee het netto milieuvoordeel, bij de AEC met een laag rendement slaat dit om naar een milieunadeel (zie Figuur 5.2). De nattere delen van de voedselresten kunnen dus beter niet via het restafval verwerkt worden.



Figuur 5.2 Gevoeligheidsanalyse: lage stookwaarde (1,15 MJ/kg) – single score per kg voedselresten

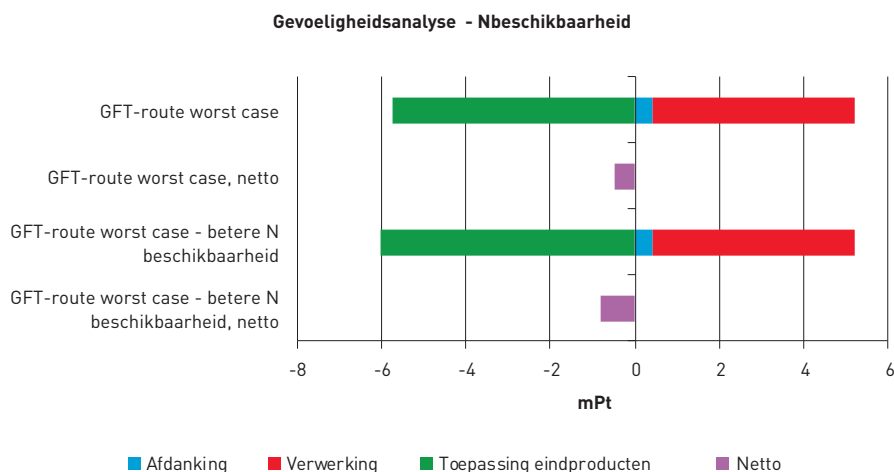
5.3 GFT-route worst case: beschikbaarheid van stikstof uit compost

Volgens onderzoek van IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung) in opdracht van Umweltbundesamt in Duitsland (Umweltbundesamt, 2012) is de mogelijke werkingsgraad (hoeveel van het nutriënt opgenomen kan worden door de plant) van de stikstof in compost hoger dan de 60% die is aangenomen in de basisroute. Deze 60% is al een hogere inschatting dan oorspronkelijk aangenomen in het MER-LAP (zie ook Bijlage C), waarin de werkingsgraad gelijk werd gesteld aan die van mest (10%). Het IFEU schat voor Duitsland de werking van N in compost in op 74,8%, gebaseerd op de verhouding van land waarbij aanvulling van organische stof wel nodig is en waar dat niet nodig is.

In Duitsland is dat op 80% van het land niet nodig. Op zulk land wordt ook geen extra stikstof vastgelegd (wat daarmee niet meer beschikbaar is voor de plant), en is de stikstof dus beschikbaar voor de plantgroei.

Om het verschil duidelijker weer te geven is enkel de GFT-route worst case (compostering) weergegeven; het verschil tussen compostering en vergisting is stukken groter dan het verschil wat veroorzaakt wordt door het verschil in werkzaamheid van de stikstof. Een hogere beschikbaarheid van N levert een voordeel van zo'n 60% per kg voedselresten.

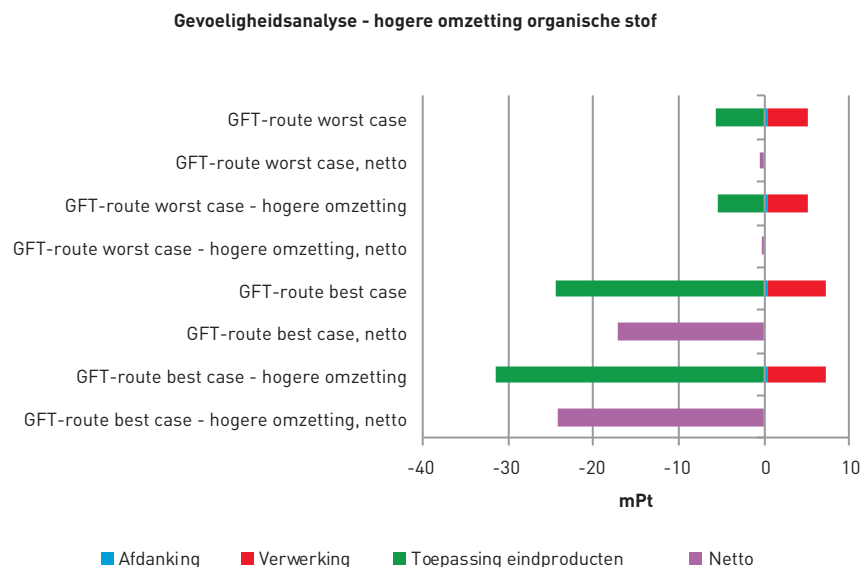
Figuur 5.3 Gevoeligheidsanalyse: N beschikbaarheid – single score per kg voedselresten



5.4 GFT-route: hogere omzetting organisch materiaal

Het is mogelijk dat de omzetting van organische stof hoger is dan is ingeschat in de basisroute. Een neveneffect van een hogere omzetting van organische stof is een hogere biogasproductie bij vergisting en een lagere compost- en digestaatproductie. In Figuur 5.4 is weergegeven hoe een hogere biogas-productie doorwerkt op het resultaat. Hierbij is gerekend met een biogas-opbrengst van 132 m³/ton voedselresten¹³. De omzetting van organische stof (C,H,O,N,S) is dan bij compostering en vergisting respectievelijk 73 en 78%.

Figuur 5.4 Gevoeligheidsanalyse: hogere omzetting van organische stof – single score per kg voedselresten



Bij vergisting (best case) is er een milieuvoordeel; het voordeel van de hogere biogasproductie is groter dan het nadeel van de lagere digestaatproductie. Bij compostering is er een klein nadeel; de compostproductie zakt met ongeveer 12%, het milieuvoordeel van de toepassing met zo'n 7%. Omdat de hoeveelheid nutriënten (N, P, K) die uiteindelijk in de compost terechtkomen niet verandert, is deze relatie niet lineair.

Het is mogelijk dat de omzetting van organische stof nog hoger is (Attero, 2014b), tot wel 85%. In dat geval zal de digestaat- en compostproductie nog een stuk lager zijn, evenals in dat geval voor compostering het milieuvoordeel. Bij vergisting zal het voordeel van extra biogasproductie opwegen tegen het nadeel van minder digestaatproductie.

¹³ Op basis van 266 kg CZV/ton voedselresten (in lijn met inschatting van (Tauw, 2014c) van 270 kg/ton, een afbraakgehalte van 85% van de organische stof en een methaanopbrengst van 0,35 m³/kg CZV, levert dit 132 m³ biogas (CH₄gehalte van 60%) per ton voedselresten (Attero, 2014b).

5.5 GFT-route: emissies volgens de VA CO₂-tool

In de CO₂-tool GFT-verwerking 1.2 (Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013) wordt gerekend met lagere emissiefactoren voor CO₂ en CH₄ bij compostering (worst case) en vergisting (*best case*). In Tabel 5.3 zijn de emissiefactoren zoals aangehouden in de basisroute en zoals aangehouden in de gevoeligheidsanalyse gegeven.

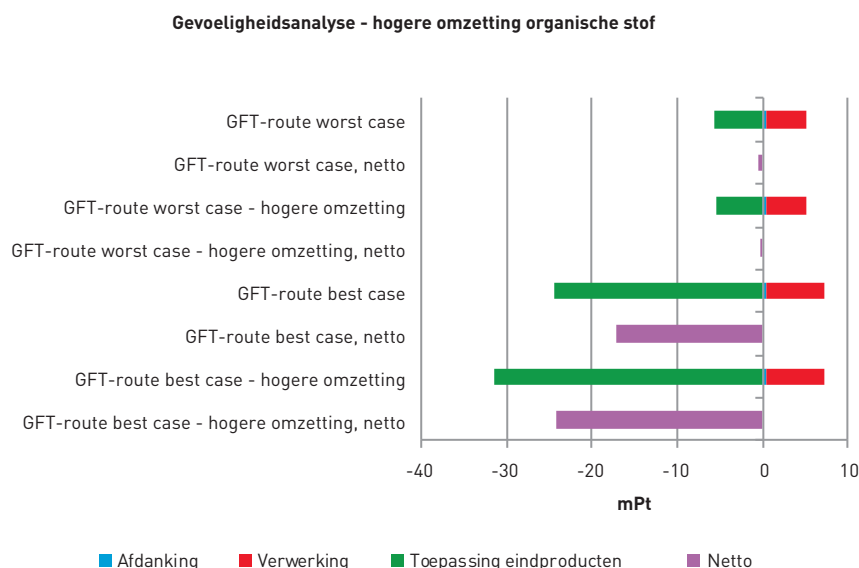
		Compostering	Vergisting
Basis	CH ₄	750	1.100
CO ₂ -tool	CH ₄	161	500
Basis	N ₂ O	96	46
CO ₂ -tool	N ₂ O	72	20

Tabel 5.3 Emissiefactoren (g/ton voedselresten)

Basis: Emissies volgens (Ministerie van I&M, 2013).

CO₂-tool: Emissies volgens CO₂-tool GFT-verwerking 1.2 (Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013).

In Figuur 5.4 is weergegeven wat het effect is van deze lagere emissies.



Figuur 5.4 Gevoeligheidsanalyse: emissies volgens de CO₂-tool – per kg voedselresten

Het voordeel van lagere emissies in de verwerkingsstap is voor compostering en vergisting respectievelijk 19 en 14%. Er is ook een licht voordeel bij toepassing van de eindproducten door een kleine toename in de compost- en digestaatproductie.

5.6 GFT-route, waterketen en nieuwe waterketen: Diffuse emissies

Het is onbekend of en in welke mate er emissie van CH₄ en N₂O plaatsvindt in/uit het riool. In Tabel 5.4 is een samenvatting gegeven van inschattingen van emissiefactoren. Deze emissiefactoren hebben betrekking op de emissies op de RWZI. De emissiefactoren uit de studie van Daelman (Daelman, et al., 2013) zijn gemeten bij de Kralingseveer RWZI in Nederland. De emissiefactoren zijn omgerekend naar een percentage van het in de voedselresten aanwezig koolstof en stikstof.

	I&M, 2013	STOWA, 2010	Daelman, 2013	Gevoeligheidsanalyse
CH ₄ ¹⁴	1,7%	1,7%	1,1%	2,7%
N ₂ O ¹⁵	0,064%	0,032%	2,8%	1,6%

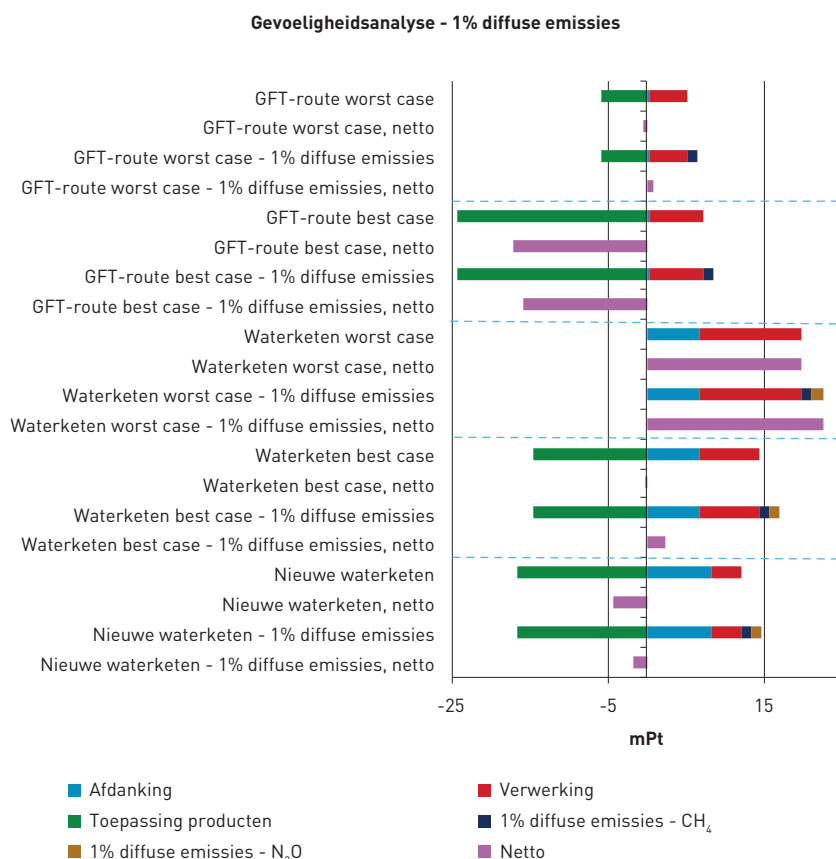
Tabel 5.4 Vergelijking emissiefactoren voor RWZI, waarde uitgedrukt in % van aanwezige C en N in voedselresten

14 I&M, 2013: 0,007 kg CH₄/kg CZV influent voor RWZI zonder gisting 0,0085 kg CH₄/kg CZV influent voor RWZI met gisting. STOWA, 2010 houdt dezelfde emissiefactoren voor CH₄ aan als I&M, 2013. Daelman, 2013: 0,011 kg CH₄/kg CZV influent.

15 I&M, 2013: 0,001 kg N₂O/kg N-kj influent (N-totaal en N-Kj mogen hier gelijk worden verondersteld). STOWA, 2010: laagbelaste RWZI's hebben lagere N₂O-emissies: 0,0005 kg N₂O/kg N-Kj influent. Daelman, 2013: 0,028 kg N₂O/kg N-influent (Daelman, et al., 2013).

In deze studie is de emissiefactor van I&M voor methaan en de emissiefactor van STOWA voor lachgas als uitgangspunt genomen. Omdat er onzekerheid is over de emissies door omzetting van organische stof in de riolering hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Om een indicatie te geven van het effect op de resultaten is gekeken wat het effect zou zijn als 1% van de koolstof en 1% van de stikstof (additioneel) wordt omgezet in CH₄ en N₂O. Voor de GFT-routes is ook gekeken naar diffuse emissie van methaan. Hierbij is uitgegaan van een emissie van 1% van de koolstof als methaan.

Figuur 5.6 Gevoeligheidsanalyse 1% diffuse emissies – emissie van CH₄ en N₂O



1% diffuse emissies van CH₄ en N₂O leidt tot ongeveer 2,7 mPt extra milieueffecten. Voor de waterketen *worst case* leidt dit al een verhoging van meer dan 10% van het resultaat in single score. Bij de waterketen *best case* is er sprake van een kanteling van een milieuvoordeel naar een milieunadeel. Bij de nieuwe waterketen is er inclusief 1% diffuse emissies nog steeds sprake van een klein milieuvoordeel.

Bij de GFT-route *worst case* laat 1% diffuse emissie van koolstof het kleine milieuvoordeel omslaan in een klein milieunadeel. Bij de GFT-route *best case* wordt het voordeel met ongeveer 8% gekort.

Deze gevoeligheidsanalyse geeft aan dat het de moeite waard is om verder onderzoek te verrichten naar diffuse emissies in de riolering.

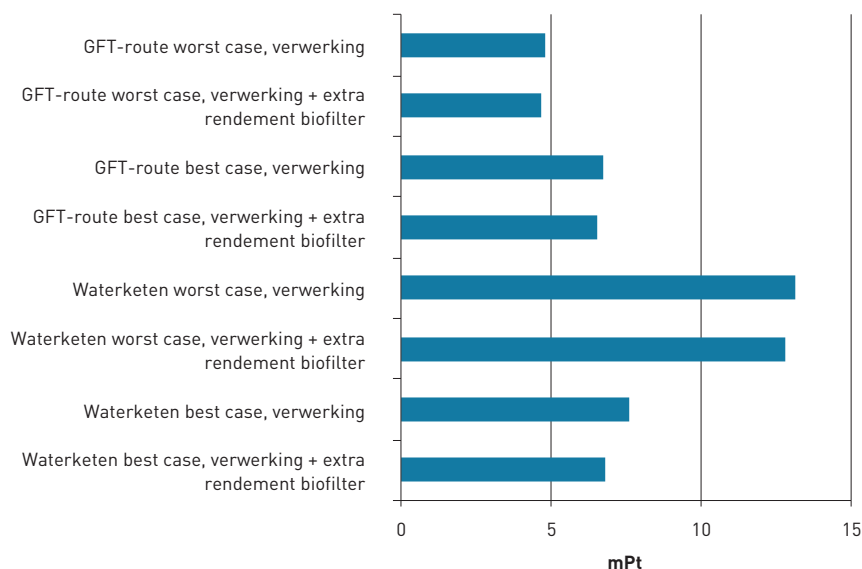
5.7 GFT-route en waterketen: emissies biofilter

In de basisroutes wordt ervan uitgegaan dat methaan het biofilter ongehinderd passeert. Het is echter mogelijk dat het biofilter het methaan wel deels afvangt. Volgens Attero is dit mogelijk tot 20% van de emissie in de ruimte met een biofilter (Attero, 2014a).

Op de RWZI is niet overal waar emissies plaatsvinden een biofilter aanwezig (70% van de emissies vinden plaats op locaties met een biofilter). Voor de RWZI is de maximale afvang dus geen 20% van de huidige emissies, hier is rekening meer gehouden in de berekening. De netto afvang op de RWZI is 14%. Bij de GFT-routes is sprake van één ruimte waar zich een biofilter bevindt, daar is dus afvang tot 20% van de emissie mogelijk.

Zoals in Figuur 5.7 is te zien, levert afvang van methaan door het biofilter een licht milieuvoordeel.

Gevoeligheidsanalyse verwerkingsfase - extra rendement CH₄ biofilter

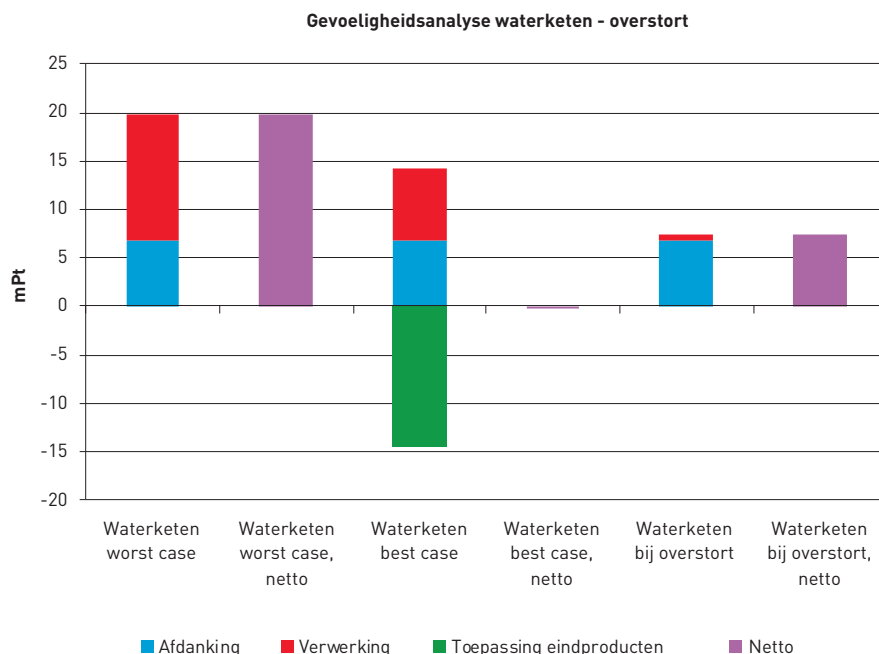


Figuur 5.7 Gevoeligheidsanalyse verwerkingsfase: afvang van 20% van CH₄ door biofilter – single score per kg voedselresten

5.8 Waterketen: invloed van overstort

Bij hevige regenval is het mogelijk dat overstort plaatsvindt omdat de riolering de grote hoeveelheid water dan niet aankan (enkel bij systemen waar het regenwater niet gescheiden is van het rioolwater uit huishoudens).

Als voedselresten via de gootsteen in het riool terechtkomen is het dus denkbaar dat op zulke momenten deze vervolgens via de overstort op het oppervlaktewater geloosd worden. Hierbij is ervan uitgegaan dat de stoffen die zich in de voedselresten bevinden, zoals gegeven in Bijlage A, volledig op oppervlaktewater geloosd worden (dus inclusief zware metalen). Het effect daarvan, gegeven ten opzichte van de impact van de basis waterketen, is weergegeven in Figuur 5.8.

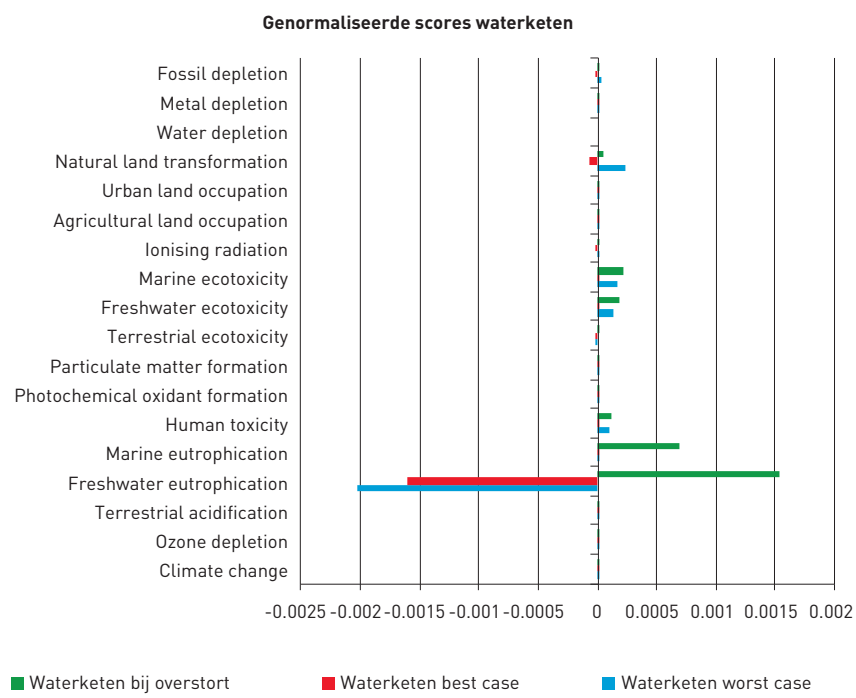


Figuur 5.8 Gevoeligheidsanalyse overstort – single score

Het totale milieueffect van overstort van voedselresten bij overstort (meest rechter balk) lijkt mee te vallen. In single score (alle milieuthema's gewogen) scoort deze optie tussen de waterketen best case en de waterketen worst case in.

Uit Figuur 5.8 zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het weinig zin heeft water met voedselresten te laten zuiveren in een RWZI als deze geen voorbezinktank en vergister heeft. Er zijn echter een aantal milieuthema's waarop de optie 'overstort' veel slechter scoort. Als we kijken naar de genormaliseerde scores (de resultaten vergeleken met de totale impact per thema in Europa) zijn er een aantal thema's (vermesting en (eco)toxiciteit) waarop overstort ten opzichte van de waterketen relatief hoog scoort. Dit is weergegeven in Figuur 5.9.

Figuur 5.9 Genormaliseerde scores van de waterketen.



In Tabel 5.5 is procentueel weergegeven hoe de resultaten van de verschillende routes zich tot elkaar verhouden. Zoals te zien scoren de routes mét RWZI veel beter op de, vanuit normalisatie perspectief gezien, belangrijke thema's. Ook op de toxiciteitsthema's scoort de waterketen zonder overstort significant beter.

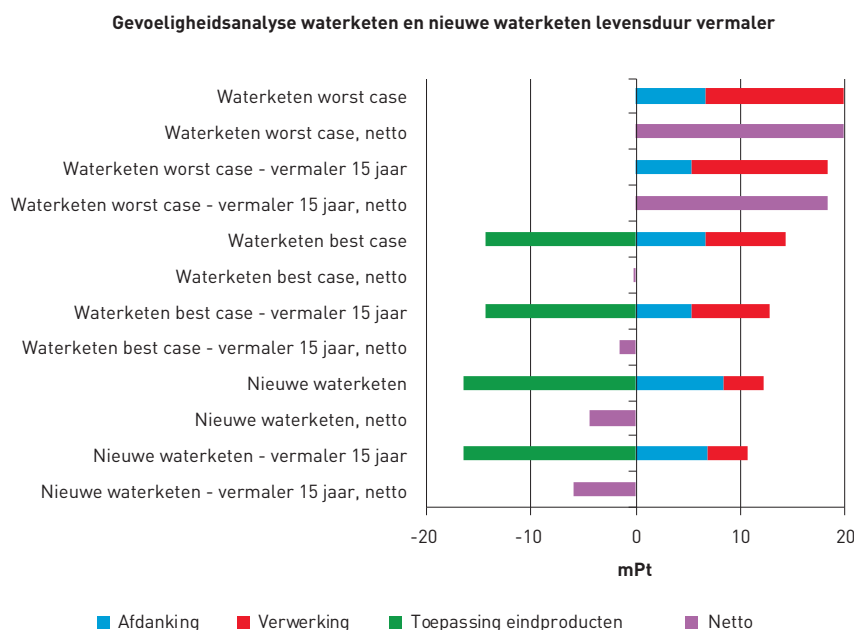
Tabel 5.5 Genormaliseerde resultaten uitgedrukt als percentage van de hoogst scorende route

	Waterketen worst case	Waterketen best case	Waterketen bij overstort
Climate change	100%	6%	29%
Ozone depletion	100%	31%	26%
Terrestrial acidification	100%	28%	48%
Freshwater eutrophication	-133%	-105%	100%
Marine eutrophication	2%	2%	100%
Human toxicity	83%	4%	100%
Photochemical oxidant formation	100%	23%	40%
Particulate matter formation	100%	25%	48%
Terrestrial ecotoxicity	-344%	-119%	100%
Freshwater ecotoxicity	75%	10%	100%
Marine ecotoxicity	80%	9%	100%
Ionising radiation	100%	-12%	36%
Agricultural land occupation	100%	10%	57%
Urban land occupation	100%	28%	66%
Natural land transformation	100%	-26%	25%
Metal depletion	100%	96%	99%
Fossil depletion	100%	-26%	31%

Uit de gewogen single score kan dus niet zomaar de conclusie getrokken worden dat overstort een beter optie is dan verwerking van de voedselresten op de RWZI. Milieuthema's zoals vermisting en toxiciteit kunnen lokaal een belangrijke rol spelen, en het is goed mogelijk dat bij overstort overschrijding van ecologische grenswaarden voor oppervlakte-water plaatsvindt.

5.9 Waterketen en nieuwe waterketen: levensduurvermaler

Volgens een grote producent van voedselrestenvermalers, InSinkerator, komt het veel voor dat de voedselrestenvermaler vijftien jaar meegaat (in plaats van de tien jaar zoals aangenomen in de basisroute). Het effect van een verlengde levensduur is weergegeven in Figuur 5.10. Een vijf jaar langere levensduur van de vermaler scheelt ongeveer 1,5 mPt op de totaalscore en heeft daarmee een beperkt effect in de analyse. In de basisberekening is al opgenomen dat de vermaler gerecycled wordt (zie ook Bijlage B).



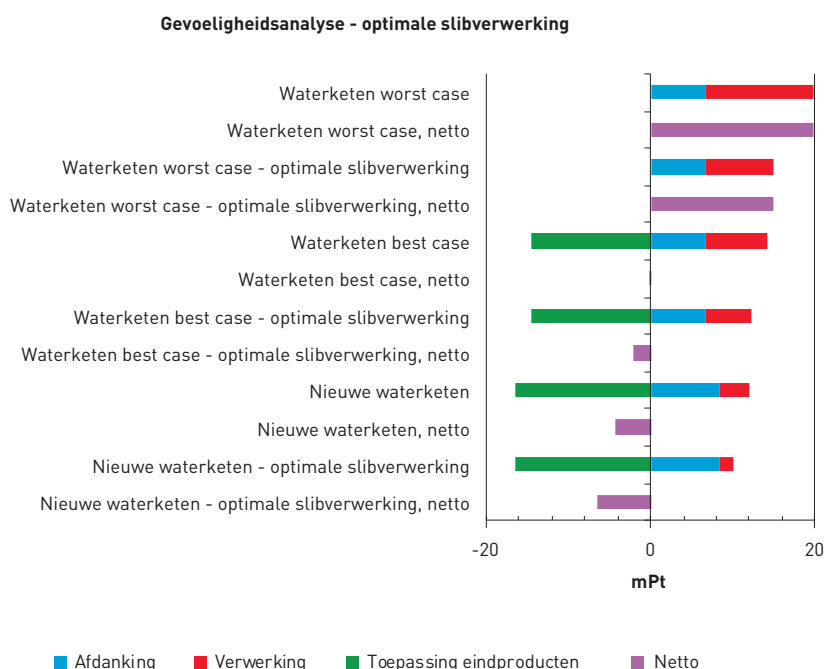
Figuur 5.10 Gevoeligheidsanalyse levensduur vermaler

5.10 Waterketen en nieuwe waterketen: slibverwerking

Er zijn mogelijkheden om slib beter te verwerken: met nuttiger toepassing van eindproducten. CE Delft heeft eerder in opdracht van SNB doorgerekend wat het effect zou zijn als alle voorgenomen optimalisatiemaatregelen bij SNB doorgevoerd zouden worden (CE Delft, 2013). Dit houdt onder andere in dat de volgende zaken toegepast worden:

- hogedrukketels met elektriciteitsopwekking;
- De-ammonificatie installatie (DEMON);
- toepassing van 100% van het fosfaat in de vliegias;
- CO₂-levering aan ander bedrijf.

In Figuur 5.11 is weergegeven wat het effect is van optimale slibverwerking (waarin alle verbeteropties bij SNB doorgevoerd worden).



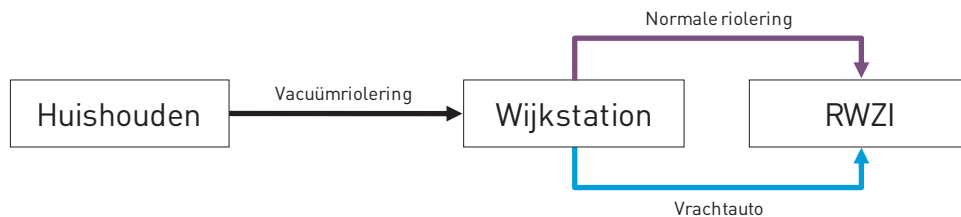
Figuur 5.11 Gevoeligheidsanalyse: optimale slibverwerking – single score per kg voedselresten

Zoals te zien in de figuur levert een optimale slibverwerking in de waterketen best case een milieuvoordeel. Dit voordeel is in de waterketen worst case een stuk groter. In de waterketen best case is het voordeel voor de verwerkings-fase zo'n 25%, in de waterketen worst case is dit bijna 40%. Dit verschil is te verklaren door het grote verschil in slibopbrengst tussen de routes: de slib-opbrengst in de waterketen best case (0,3 kg slib/kg voedsel-resten) is minder dan de helft van de opbrengst in de worst case (0,74 kg slib/kg voedsel-resten). In de nieuwe waterketen levert optimale slibverwerking een significant voordeel voor de verwerkingsfase: het levert een reductie van meer dan 50% van de impact van de verwerkingsfase.

5.11 Nieuwe waterketen: transport

In de nieuwe waterketen wordt geconcentreerd zwart water door vacuüm-pompen naar een wijkstation gepompt, en vervolgens verder gepompt naar de RWZI. Er is nog weinig ervaring met het verpompen van geconcentreerde stromen door de normale riolering. Er is daarom ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de voedselresten van het wijkstation naar de RWZI vervoerd worden door een vrachtauto (zie Figuur 5.12).

Figuur 5.12 Opzet transport van huishouden naar RWZI



De benodigde energie voor het vacuümsysteem is nu alleen uit pilotprojecten te herleiden. Het lijkt moeilijk om aan te geven hoeveel energie nodig is voor een bepaalde afstand (bijvoorbeeld 1 km). Omdat het transport via het vacuümsysteem relatief kort is gaan we ervan uit dat het vervoer van het wijkstation naar de RWZI even lang is als de riolering van huishouden naar RWZI. In Tabel 5.6 is weergegeven welke gegevens gebruikt zijn voor de gevoeligheidsanalyse.

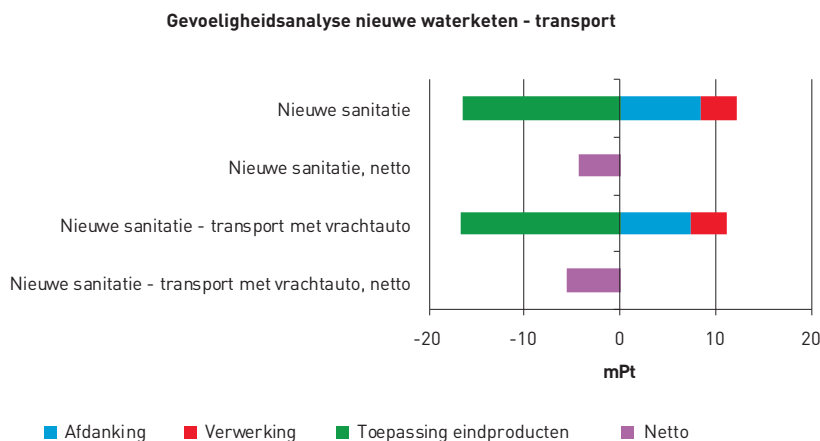
Tabel 5.6 Transport van huishouden naar RWZI per kg voedselresten

	Waterketen	Nieuwe waterketen	Nieuwe waterketen – gevoeligheidsanalyse
Pomp	0,022 kWhe (normale riolering, 12 km)	0,04 kWhe (vacuümsysteem + normale riolering, 12 km)	0,018 kWhe (vacuümsysteem = 0,04-0,022)
Vrachtauto	–	–	17,6 kg km (1 kg voedsel-resten en 5,6 liter water over 12 km)

Een inschatting van de energie die nodig is voor het vacuümsysteem is gemaakt door te kijken naar het verschil in energiegebruik in de waterketen (geen vacuümpompen) en de nieuwe waterketen (wel vacuümpompen).

In Figuur 5.13 is het resultaat te zien als bij de nieuwe waterketen het transport van het wijkstation naar de RWZI door vrachtauto's gebeurt. Het transport via vrachtauto's is milieukundig gunstiger dan transport via het riool. Hieruit blijkt dat het relatief veel energie kost om afvalwater te verplaatsen via het riool.

Het effect van veranderingen in transport op het totaalplaatje is echter klein; de nieuwe waterketen is met deze aanpassing nog steeds vergelijkbaar met de restafvalroute.



Figuur 5.13 Gevoeligheidsanalyse nieuwe waterketen: transport van wijkstation naar RWZI

5.12 Beschouwing resultaten gevoeligheidsanalyses

De meeste gevoeligheidsanalyses geven slechts een beperkte verschuiving in de totaalresultaten. De volgende resultaten vallen op:

- Vergisting is voor de extra natte voedselresten de beste optie. Voor voedselresten met een relatief lagere stookwaarde is de AEC minder geschikt; dit levert een (netto) milieunadeel.
- AEC installaties die ONF (organische natte fractie) apart afscheiden en vergisten kunnen een duidelijk voordeel halen ten opzichte van de normale AEC en ook ten opzichte van de nieuwe waterketen. Ze halen echter niet het voordeel van vergisting via de GFT-route omdat het digestaat niet in de landbouw afgezet kan/mag worden.
- Overstort (relevant voor de waterketen) kan tijdelijk en lokaal een grote vermisting van oppervlaktewater geven. In de huidige modellering valt dit resultaat weg ten opzichte van de andere resultaten die een minder lokaal karakter hebben. Overstort zou echter lokaal tot problemen kunnen leiden, omdat grenswaarden overschreden worden.
- Een optimale slibverwerkingsmethode kan voor RWZI's zonder voorbezink-tank en zonder vergisting een significant voordeel bieden; het kan het single score totaalresultaat met 25% verlagen. Echter, het voordeel van voorbezinken en vergisten is veel groter. Voor RWZI's met voorbezinking en vergisting is het voordeel wat te behalen is met optimale slibverwerking beperkt, omdat de slibopbrengst beperkt is door de productie van biogas.

De gevoeligheidsanalyses verleggen de bandbreedte van de routes; het verschil in resultaat tussen de worst case en de best case. In Figuur 33 is de band-breedte per route van de worst case en de best case weergegeven, plus de bandbreedte van de routes, inclusief de gevoeligheidsanalyse.

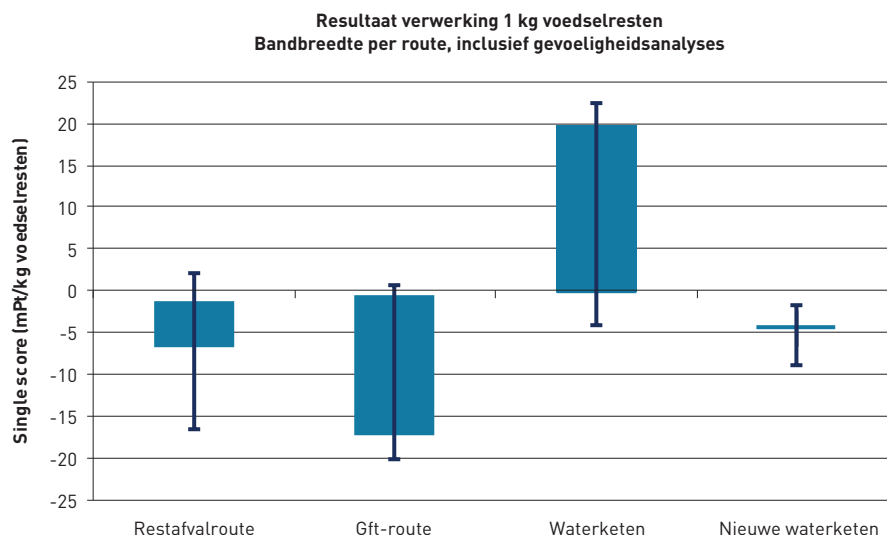
Hiervoor hebben we de gevoeligheidsanalyses met een milieunadeel verwerkt in de *worst cases* en de gevoeligheidsanalyses met een milieuvoordeel verwerkt in de *best cases*.

Tabel 27 Bandbreedte resultaten inclusief gevoeligheidsanalyses: combinatie van gevoeligheidsanalyses

Restafvalroute	<i>Best case:</i> hoog rendement + scheiding en vergisting van ONF <i>Worst case:</i> laag rendement + lagere stookwaarde van voedselresten
GFT-route	<i>Best case:</i> vergisting + hogere biogasproductie + emissies volgens CO ₂ -tool + extra rendement biofilter + hogere N-beschikbaarheid <i>Worst case:</i> compostering + hogere omzetting van organisch materiaal + diffuse emissies
Waterketen	<i>Best case:</i> RWZI met voorbezinktank en vergisting + hoger rendement biofilter + langere levensduur vermaler + betere slibverwerking <i>Worst case:</i> RWZI zonder voorbezinktank en vergisting + diffuse emissies
Nieuwe waterketen	<i>Best case:</i> nieuwe waterketen + vervoer van wijkstation met vrachtauto, langere levensduur vermaler + optimale slibverwerking <i>Worst case:</i> nieuwe waterketen + diffuse emissies

Zoals in Figuur 5.14 te zien hebben combinaties van gevoeligheidsanalyses invloed op het beeld; de bandbreedte wordt voor de restafvalroute, de GFT-route, de waterketen en de nieuwe waterketen verbreed.

Figuur 5.14 Bandbreedte per route inclusief gevoeligheidsanalyses



N.B. Systeemveranderingen zijn niet in de analyse opgenomen. Het resultaat voor de nieuwe waterketen geldt alleen voor voedselresten, niet voor zwart water.

Bij de restafvalroute valt er veel te winnen, maar ook veel te verliezen. Het milieuvoordeel kan sterk vergroot worden door bij een AEC met hoog rendement scheiding en vergisting van ONF toe te passen. Aan de andere kant kan het milieuvoordeel omslaan in een nadeel als er sprake is van verwerking van natte voedselresten in een AEC met laag rendement. Voor de GFT-route geldt dat het milieuvoordeel van de worst case klein is en kan omslaan naar een klein nadeel. Ook kan het milieuvoordeel nog iets hoger uitpakken, als sprake is van vergisting met een hogere biogasproductie, lagere emissies, extra rendement van het biofilter en hogere beschikbaarheid van stikstof in het digestaat (bij toepassing in bijvoorbeeld landbouw).

Voor de waterketen geldt dat de best case nog iets verbeterd kan worden door een hoger rendement van het biofilter, een langere levensduur van de vermaler en een betere slibverwerking. Verwerking via de RWZI kan ook een groter milieunadeel hebben als er in de worst case sprake is van diffuse emissies.

Voor de nieuwe waterketen geldt dat een langere levensduur van de vermaler en een betere slibverwerking het milieuvoordeel kan vergroten. Als er echter sprake zou zijn van diffuse emissies kan het milieuvoordeel significant verkleind worden.

6 Interpretatie

De resultaten laten zien dat er grote verschillen tussen routes bestaan, maar ook binnen routes. De hoofdvraag van dit onderzoek is:

Kan het milieukundig gezien aantrekkelijk zijn om voedselresten te verwerken op een RWZI als we dit vergelijken met de andere routes in Nederland voor het verwerken van voedselresten: verbranden in een afvalenergiecentrale (AEC of AVI), composteren of vergisten.

Box 7: Belangrijk kenmerken en randvoorwaarden van deze LCA-studie

Deze LCA-studie gaat over de vraag of het toepassen van voedselrestenvermalers bij Nederlandse huishoudens goed is voor het milieu. Om deze vraag te beantwoorden is het **verwerken van voedselresten via verschillende routes milieukundig vergeleken**.

Voor de resultaten van deze studie geldt een aantal randvoorwaarden:

- In deze studie is gekeken naar **milieueffecten**, niet naar andere voor- of nadelen.
- We kijken naar **de effecten van verwerking van voedselresten per kilogram**. Er is niet gekeken naar systeemveranderingen die nodig zijn bij verschuiving van veel grotere hoeveelheden voedselresten.
- Het effect van **het verwerken van zwart water (wc-water) is niet meegenomen**. Daarom geeft deze studie geen antwoord op de vraag hoe de nieuwe waterketen (ook wel nieuwe sanitatie genoemd) milieukundig scoort ten opzichte van de bestaande waterketen.
- **De best case en de worst case geven de bandbreedte van opties binnen Nederland**. Voor elke locatie op zich zal apart gekeken moeten worden naar de verwerkingsmethoden die aangeboden worden om de beste keuze te maken.

Routes – naamgeving is gebaseerd op methode van afdanking door de burger:

- **Restafvalroute:** de voedselresten worden verwerkt in een AEC (afvalenergiecentrale, ofwel AVI).
- **GFT-route:** de voedselresten worden gecomposteerd of vergist en daarna gecomposteerd.
- **Waterketen:** de voedselresten worden via een voedselrestenvermaler in de gootsteen op het riool geloosd en verwerkt op een RWZI.
- **Nieuwe waterketen:** de voedselresten worden via een voedselrestenvermaler in de gootsteen geloosd bij het huishoudelijke zwart water en vervolgens vergist.

De ReCiPe-single score-analyse laat zien dat de waterketen *best case* (met voedselrestenvermaler), waarbij op de RWZI voorbezinking en vergisting plaatsvindt, geen milieuvoordeel heeft ten opzichte van de bestaande restafvalroute en GFT-route. Vergisting van voedselresten via de GFT-route heeft het grootste milieuvoordeel in dit onderzoek. Composteren van voedselresten of verbranden in een AEC scoren minder gunstig maar wel gunstiger dan de waterketen *best case*-route. Verwerken via de nieuwe waterketen van voedselresten scoort gunstiger dan verwerking via het bestaande riool in bestaande RWZI-installaties. Deze optie scoort vergelijkbaar met verbranden in een AEC met een gemiddeld rendement. In deze analyse is alleen voor een beperkt onderdeel van de nieuwe waterketen een analyse gedaan. Voor zwart water, wat een groter volume dan voedselresten betreft, is er geen vergelijking gemaakt. Deze analyse spreekt zich daarmee niet uit over de complete milieuresultaten van de nieuwe waterketen.

In deze analyse is alleen gekeken naar milieuaspecten. Andere aspecten kunnen meewegen in de beslissing voedselrestenvermalers toe te staan.

De meeste gevoeligheidsanalyses geven slechts een beperkte verschuiving in de totaalresultaten. Conclusies uit de gevoeligheidsanalyses zijn:

- Vergisting is voor de extra natte voedselresten de beste optie. Voor voedselresten met een relatief lagere stookwaarde is de AEC minder geschikt; dit levert een (netto) milieunadeel.
- AEC-installaties die ONF (organische natte fractie) apart afscheiden en vergisten kunnen een duidelijk voordeel halen ten opzichte van de normale AEC en ook ten opzichte van compostering. Ze halen niet het voordeel van vergisting via de GFT-route omdat het digestaat niet in de landbouw afgezet kan/mag worden.

- Overstort (relevant voor de waterketen) kan tijdelijk en lokaal een grote vermessing van oppervlaktewater geven. In de huidige modellering valt dit resultaat weg ten opzichte van de andere resultaten die een minder lokaal karakter hebben. Dit zou echter lokaal tot overschrijding van grens-waarden kunnen leiden.
- De slibverwerkingsmethode kan voor RWZI's zonder voorbezinktank en zonder vergisting een significant voordeel bieden; het kan het single score totaalresultaat met 25% verlagen. Echter, het voordeel van voorbezinken en vergisten is veel groter. Voor RWZI's met voorbezinking en vergisting is het voordeel wat te behalen is met optimale slibverwerking beperkt, omdat de uiteindelijke slibproductie uit voedselresten beperkt is door de productie van biogas.

Compost biedt voordelen die nu niet in de analyse zijn opgenomen omdat LCA hiervoor geen geschikte methode is. Het is dus mogelijk dat het milieuvoordeel van verwerking in de GFT-route nu onderschat wordt. Dit versterkt de conclusie dat het inzamelen van voedselresten via de GFT-bak en vergisten het meest gunstig is voor het milieu.

Suggesties voor vervolg

Deze studie geeft geen inzicht in de verschillen in milieu-impact tussen de complete waterketen (inclusief zwart water) en de nieuwe waterketen. Omdat de nieuwe waterketen waarschijnlijk milieuvoordelen heeft met betrekking tot de verwerking van zwart water is het nuttig om in een aanvullende analyse te kijken naar de complete waterketen. Hierbij zou dan gekeken worden naar de totale zwart water- en GFT-afvallast van een huishouden.

Milieu is één aspect waar beleid aan getoetst kan worden. Er spelen echter ook andere aspecten, zoals kosten, overlast, hygiëne, comfort. In een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) kunnen deze aspecten inzichtelijk gemaakt worden, evenals milieu.

We kijken in deze studie naar de systemen zoals ze zijn en nemen aan dat het afval- en watersysteem niet verandert. Dit betekent dat de resultaten geldig zijn bij een beperkt aantal burgers dat hun voedselresten via een voedselrestenvermaler afdankt. Bij grotere aantallen voedselrestenvermalers zijn systeemveranderingen te verwachten die zowel positief als negatief kunnen uitpakken voor de verschillende routes. Zo zou het mogelijk kunnen zijn dat in een situatie met vrijwel geen voedselresten in het restafval, nascheiding van papier en textiel mogelijk is. Aan de andere kant zou verwerking van voedselresten via de waterketen ervoor kunnen zorgen dat tuinafval minder apart wordt ingezameld. Op verschillende plekken wordt nagedacht over de nieuwe waterketen, in combinatie met voedselrestenvermalers. Parallel aan zulke pilots is het interessant deze eerste analyse op te laten volgen door een analyse waarin wel systeemveranderingen worden opgenomen.

7 Bibliografie

- AOO, 2000. *Waarde en methodiekbepaling milieurendement GFT-compost*, Utrecht: Afval Overlegoorgaan (AOO).
- AOO, 2002a. *Milieu-effectrapport Landelijk Afvalbeheersplan, Achtergronddocument A1: balansen, reststoffen en uitloging*, Utrecht: Afval Overlegoorgaan (AOO).
- AOO, 2002b. *Milieu-effectrapport Landelijk Afvalbeheersplan, Achtergronddocument 14: GFT-afval*, Utrecht: Afval Overlegoorgaan (AOO).
- AOO, 2002c. *Milieu-effectrapport Landelijk Afvalbeheersplan; Achtergronddocument A2: LCA; methodiek en uitwerking in het LAP*, Utrecht: Afval Overlegoorgaan (AOO).
- Attero, 2014a. *Robert Jan Saft, Persoonlijke communicatie*. sl:sn
- Attero, 2014b. *Adrie veeken, Persoonlijke communicatie*. sl:sn
- BVOR en IVAM, 2013. *CO₂-tool opwerking en benutting van groenafval + handleiding en achtergronddocument*, Wageningen ; Amsterdam: BVOR ; IVAM.
- CE Delft, 2011. *Stream International Freight 2011*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2013. *Milieuscore monoverbranding van zuiveringsslib; Detailanalyse SNB-monoverbranding, effect fosfaathergebruik*, Delft: CE Delft.
- Certificeringscommissie Keurcompost, 2014. *Beoordelingsrichtlijn keurcompost, versie 3.0*, Wageningen: Certificeringscommissie keurcompost.
- Daelman, M. R. et al., 2013. Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment – results from a long-term study. *Water Science Technology*, 67(10), pp. 2350-2355.
- EC, 2012. *Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and supporting information*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Ecoinvent, 2007. *Ecoinvent Database, Version 2.2*, Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Goedkoop, M. et al., 2013. *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition (version 1.08)*, Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting en Milieubeheer (VROM), Ruimte en Milieu.
- Grontmij en IVAM, 2004. *Herziening levenscyclusanalyse voor GFT-afval, Herberekening LCA bij het MER-LAP*, De Bilt: Grontmij.
- IVAM, 2008. *Milieuanalyse vergisten GFT-afval*, Amsterdam: IVAM.
- Ministerie van I&M, 2013. *Protocol 12-036 Grootchalige compostering*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu I&M.
- NMI, 2011. *Mogelijkheden van fosfaathergebruik door de inzet van biomassa-assen als meststof*, Wageningen : Nutriënten Management Instituut (NMI BV).
- PE Americas, 2011. *Final Report, life Cycle Assessment of Systems for the Management and Disposal of Food Waste*, Boston: sn
- RWS, 2013. *Afvalverwerking in Nederland: gegevens 2012*, sl: Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat (RWS).
- RWS, 2014. *Persoonlijke communicatie Olaf van Hunnik, Gemiddelde rendementen van AEC's in Nederland*. sl:sn
- Tauw, 2013. *LCA's in afvalbeleid, actualisatie van uitgangspunten*, Deventer: nog niet gepubliceerd.
- Tauw, 2014a. *Uitgangspunten ten behoeve van uitvoering LCA voedselresten in afvalwaterketen*. Rapportnummer 2015-W-02: sn
- Tauw, 2014b. *Voedselresten in de afvalwaterketen - Inventarisatierapport*, Deventer, Rapportnummer 2015-W-01: sn
- Tauw, 2014c. *Modellerings RWZI, Persoonlijke communicatie Ronnie Berg en Paul Telkamp*. sl:sn
- Umweltbundesamt, 2012. *Optimierung der Verwertung organischer Abfälle*, Aachen: Umweltbundesamt, ahu AG Wasser – Boden – Geomatik.
- Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013. *CO₂-tool GFT-verwerking 1.2*, 's-Hertogenbosch; Amsterdam: Vereniging Afvalbedrijven ; IVAM.
- Vereniging afvalbedrijven, 2013. *Groene groei met GFT als grondstof*. [Online] Available at: http://www.verenigingafvalbedrijven.nl/fileadmin/user_upload/Documenten/PDF2013/VA_Groene_groei_met_gft_als_grondstof_juni_2013.pdf [Geopend 2014].
- World Steel Association, 2011. *Life Cycle Assessment Methodology Report*, Brussels: World Steel Association.
- World Steel Association, 2014. *LCI data for steel products : Geleverd door: Ms. Clare Broadbent*. Brussels: World Steel Association.

Bijlage A Samenstelling voedselresten

In Tabel B.A.1 is de samenstelling van voedselresten gegeven, waar in de LCA mee gerekend is (zie ook (Tauw, 2014c)). De samenstelling van voedselresten is voor een aantal stoffen onbekend. Daarom is een deel van de samenstelling gebaseerd op de samenstelling van GFT-afval. Dit is hieronder toegelicht.

Stookwaarde

De stookwaarde (LHV) is gebaseerd op het gemiddelde van berekende LHV's. De berekeningen van deze LHV's zijn gebaseerd op de samenstelling (C, H, O, N, S) (Tauw, 2014c)). Er is hierbij gekeken naar vier verschillende bronnen, onder andere het MER-LAP (AOO, 2002b) en (PE Americas, 2011).

Drogestofgehalte

Het drogestofgehalte van voedselresten is 20%. De samenstelling van de droge stof is gebaseerd op het gemiddelde van de samenstelling van voedselresten zoals gegeven in verschillende bronnen (Tauw, 2014c).

Asrest

De asrest in voedselresten is relatief laag, 5% (gewicht). De asrest is de optelsom van K, Na, Ca, Cl en P, en de zware metalen en (micro)nutriënten.

K, Na, Ca, Cl

Hiervoor is uitgegaan van de samenstelling voor GFT-afval, zoals gegeven in het MER-LAP, in % van de droge stof. Vanwege het kleine aandeel en de kleine impact is dit niet verder gedetailleerd.

P

Voor fosfor is aangesloten bij de samenstelling van voedselresten zoals aangenomen in de berekeningen van Tauw met betrekking tot verwerking van voedselresten in een RWZI. Die aanname is gebaseerd op drie verschillende bronnen (Tauw, 2014c).

Zware metalen en micronutriënten

De zware metalen en micronutriënten vormen de rest van de asrest, na aftrek van K, Na, Ca, Cl en P. Een volledige lijst voor voedselresten is niet bekend, daarom is uitgegaan van de verhouding waarmee de zware metalen en micro-nutriënten ten opzichte van het totaal aan zware metalen en micronutriënten voorkomen in GFT-afval volgens het MER-LAP (AOO, 200b). Deze verhouding is aangehouden om het aandeel voor elk van de zware metalen in te schatten.

Na aftrek van het gewicht van K, Na, Ca, Cl en P is de rest van de asrest volgens die verhouding verdeeld over de zware metalen en micronutriënten.

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Stookwaarde - LHV	MJ/kg	2,3
Drogestofgehalte (ds)	%	20
Asrest	% van ds	5
C	% van ds	50
H (zonder H uit H ₂ O)	% van ds	6,7
O (zonder O uit H ₂ O)	% van ds	34,8
N	% van ds	3,1
S	% van ds	0,4
K	% van ds	1,2
Na	% van ds	0,3
Ca	% van ds	1,6
Cl	% van ds	0,2
Al	mg/kg ns	1376,66
As	mg/kg ns	0,47
Ba	mg/kg ns	25,11
Cd	mg/kg ns	0,06
Cr	mg/kg ns	6,66
Cu	mg/kg ns	4,54
Fe	mg/kg ns	741,28
Hg	mg/kg ns	0,02
Mg	mg/kg ns	317,69
Mn	mg/kg ns	25,72
Mo	mg/kg ns	0,67
Ni	mg/kg ns	1,15
P	mg/kg ns	600,00
Pb	mg/kg ns	14,67
Sb	mg/kg ns	0,32
Se	mg/kg ns	0,08
Si	mg/kg ns	0,00
Sn	mg/kg ns	0,38
Te	mg/kg ns	0,14
Ti	mg/kg ns	99,85
V	mg/kg ns	1,57
Zn	mg/kg ns	22,69

ds = droge stof, ns = natte stof.

Tabel B.A.1 Samenstelling
voedselresten

In Tabel B.A.2 is de samenstelling van de voedselresten gegeven, waarmee de bedrijfsvoering op de RWZI's is doorgerekend. Voor fosfor (P) is de waarde uit onderstaande tabel overgenomen voor de samenstelling waarmee de rest-afvalroute en de GFT-route is doorgerekend. Het aandeel stikstof ligt in dezelfde orde-grootte: 3,5% van het drogestofgehalte voor de samenstelling in de waterketen en 3,1% van het drogestofgehalte in de vastafvalketen.

**Tabel B.A.2 Samenstelling
voedselresten in de
waterketen**

Onderwerp	Waarde (kg per persoon per jaar)	Waarde (kg per kg voedselresten)
CZV	17,55	0,27
BZV	12,35	0,19
Zwevende stof	12,35	0,19
N-totaal	0,46	0,0071
P-totaal	0,04	0,0006

Bijlage B De voedselrestenvermaler

B.1 Productie

Voor de modellering van de voedselrestenvermaler is gebruik gemaakt van een LCA-studie door PE Americas (PE Americas, 2011), in opdracht van onder andere InSinkerator (producent van voedselrestenvermalers). Voor de modellering zijn de standaard proceskaarten van Ecoinvent versie 2.2 gebruikt (Ecoinvent, 2007), behalve voor staal; PE Americas gebruikt hiervoor de proceskaarten van de World Steel Association, deze gebruiken wij ook (World Steel Association, 2014).

Er is aangenomen dat productie plaatsvindt in America. Transport van Amerika naar Nederland is toegevoegd, er is gebruik gemaakt van 'Amerikaanse stroom' en een deel van het afval wat vrijkomt in Amerika wordt gestort.

Product	Waarde en proces
Voedselrestenvermaler	
ABS	0,39 kg Proces: Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER S
Aluminium	0,26 kg + 0,12 kg Proces: Aluminium, primary, at plant/RER S
Aluminium scrap	0,11 kg Proces: Aluminium scrap, old, at plant/RER S
Koper	0,05 kg Proces: Copper, primary, at refinery/RER S
Roestvrij staal	0,39 kg Proces: Chromium steel 18/8, at plant/RER S
Staal (cold rolled coil)	0,59 kg Proces: Steel, cold rolled coil, cradle to gate (no end of life) GLO ^a
Staal (hot rolled coil)	0,99 kg Proces: Steel, hot rolled coil, cradle to gate (no end of life) ^a
Staal (organic coated steel)	0,28 kg Proces: Steel, organic coated, cradle to gate (no end of life) GLO ^a
Staal (part)	4,28 kg Proces: Steel, cold rolled coil, cradle to gate (no end of life) GLO ^a
Staal (rebar)	0,26 kg Proces: Steel, cold rolled coil, cradle to gate (no end of life) GLO ^a
Staal (wire rod)	0,96 kg Proces: Steel, organic coated, cradle to gate (no end of life) GLO ^a
Verpakking	
Karton	0,21 kg Proces: Packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER S
EPS	0,040 kg Proces: Polystyrene, expandable, at plant/RER S
PE HD granulate	0,0028 kg Proces: Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER S
PE film	0,0036 kg Proces: Packaging film, LDPE, at plant/RER

Tabel B.B.1 Inventarisatie productie voedselrestenvermaler (samenstelling op basis van (PE Americas, 2011), per stuk. Proceskaarten van Ecoinvent, versie 2.2 (Ecoinvent, 2007), tenzij anders aangegeven

Product	Waarde en proces
Procesenergie	
Elektriciteit	20,6 MJ ^c
	Proces: Electricity, medium voltage, at grid/US
Warmte	10,2 MJ
	Proces: Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER
Procesemissies (naar lucht)	
Methyl ethyl ketone	4,1E-07 kg
Carbon monoxide	2,0E-02 kg
dust (unspecified)	1,0E-03 kg
Lead II	1,2E-06 kg
Methanol	5,5E-07 kg
Nickel II	9,2E-08 kg
Nitrogen oxides	5,3E-04 kg
Sulfur dioxide	1,2E-04 kg
VOC, volatile organic compounds	5,2E-03 kg
Xylene	6,9E-05 kg
Afvalverwerking in VS	
Afval voor recycling	0,12 kg
	Proces: Recycling steel and iron/RER
Reststroom	2,28 kg
	Proces: Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH
Transport	
Aanvoer materialen in VS	2,6 tkm
	Proces: Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER
Binnen VS naar haven	9,77 tkm
	Proces: Truck >20 tonne, Average, average bulk and general cargo, Well-to-Wheel ^b
Van VS naar Rotterdam	39,1 tkm
	Proces: General Cargo, 0-5 dwkt, average bulk and general cargo, Well-to-Wheel ^b

a Bron: (World Steel Association, 2014).

b Bron: (CE Delft, 2011).

c In het rapport van PE Americas wordt een elektriciteitsgebruik van 20,6 kWh genoemd. Dit gaf een onevenredig hoge impact voor de productiefase. Na een check bij PE Americas blijkt dat het gaat om 20,6 MJ.

B.2 Recycling

In de modellering van PE Americas wordt de voedselrestenvermaler aan het eind van zijn levensduur gestort. Voor Nederland is dit geen realistisch scenario. Elektrische apparaten worden apart ingezameld. Het recycling-percentage is dan nog onzeker. Als producten in Nederland ingezameld worden bij het restafval, wordt bij een AEC 78% van het staal verzameld voor recycling¹⁶. Voor het modelleren van de recycling van de stalen componenten in de voedselrestenvermaler is uitgegaan van dit percentage. Er is gebruik gemaakt van de methode van de World Steel Association (World Steel Association, 2011), wat betekent dat er gekeken is naar het voordeel van recycling na afdanking van het product waarbij rekening is gehouden met het aandeel schroot in de materialen aan de input kant.

16 Bron: Ecoinvent proceskaart 'Curb side collection/NL (Ecoinvent, 2007) – in 2010 voor het laatst geüpdatet.

Bijlage C Massabalansen compost- en digestaatproductie

C.1 Compost uit compostering van voedselresten via de GFT-route

Er zijn gegevens over de productie van compost uit GFT-afval, compostering van enkel voedselresten gebeurt echter niet. Daarom moet een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid compost die wordt geproduceerd uit één kilo voedselresten.

Voor de berekening van de hoeveelheid compost is aangenomen dat C, H, O en N verdwijnen via emissies van CH_4 , CO_2 , NH_3 , N_2O en H_2S (al of niet (gedeeltelijk) opgenomen in het biofilter):

- C deel wordt omgezet in methaan: aangenomen wordt 750 g per ton voedselresten (Ministerie van I&M, 2013). Dit is op basis van compostering van GFT. In de 'CO₂-tool GFT' wordt een lagere methaanemissie aangehouden: 161 gram (Attero, 2014a). Hierin is gecorrigeerd voor het aandeel GFT-vergisters. Verwacht kan worden dat de emissies bij compostering van voedselresten per ton verwerkte input hoger liggen dan de emissie bij de compostering van GFT, daarom houden wij de waarden aan zoals gegeven in de richtlijnen van het Ministerie van I&M.
- C wordt verder omgezet in CO₂. Dit is kortcyclisch, dus wordt niet meegenomen in de LCA, maar wel in de massabalans. Er is aangenomen dat er bij compostering evenveel CO₂ vrijkomt als bij vergisting (komt terecht in het biogas). Verder is aangenomen dat het koolstof dat bij vergisting omgezet wordt in CH₄, bij compostering omgezet wordt in CO₂.
- N wordt omgezet in NH₃ en N₂O, respectievelijk 2000 g en 960 g per ton GFT-afval (AOO, 2002b). Dit zijn de emissies vóór het biofilter. De werkelijke emissie, ná het biofilter, liggen een factor 10 lager (AOO, 2002b), (Ministerie van I&M, 2013).
- Voor H is aangenomen dat dit omgezet wordt in CH₄, NH₃ en H₂S.
- Voor O is aangenomen dat dit wordt omgezet in CO₂ en N₂O.
- Voor S is aangenomen dat het wordt omgezet in H₂S.

De asrest wordt gevormd door K, Na, Ca, Cl, de zware metalen en P. Deze stoffen zijn niet vluchtig en er wordt dus aangenomen dat deze componenten volledig in de asrest terechtkomt.

Bovengenoemde elementen samen vormen het drogestofgehalte van de compost. Het minimale drogestofgehalte van compost is 50%¹⁷, dit percentage is aangehouden in de massabalans.

Tabel B.C.1 geeft de massabalans. Gegeven bovenstaande aannames, komen we uit op een compostproductie van 140 kg per ton voedselresten. Ter vergelijking, AOO (AAO, 2002) rapporteert een productie van 352 kg compost per ton GFT-afval in het MER-LAP en Tauw rapporteert in de actualisatie van het MER-LAP een productie van 425 kg per ton GFT-afval (Tauw, 2013). Compostproductie uit voedselresten wordt in deze analyse dus significant lager ingeschat dan de productie uit GFT. Dit is te verklaren door het feit dat voedselresten relatief makkelijk omzetten.

17 <http://www.vlaco.be/professionele-verwerking/eindproducten/gemiddelde-samenstelling>.

**Tabel B.C.1 Massabalans
composteren**

Element/stof	Voedselresten (kg/ton)	Voedselrestencompost (kg/ton voedselresten)
C	100	40
H	13	13
O	70	3
N	6	4
S	1	1
Asrest	10	10
Water	800	170
Totaal	1.000	140

In Tabel B.C.2 is de samenstelling van het voedselrestencompost vergeleken met de eisen die gesteld worden aan aanwezigheid van zware metalen in Keurcompost. In praktijk zal er geen voedselrestencompost geproduceerd worden, dit zal altijd gemengd zijn (het is deel van compost uit GFT). De waarden in de tabel zijn daarom vooral weergegeven om aan te geven dat de samenstelling in de goede orde grootte ligt. Zoals te zien, voldoet liggen de waarden in de voedselrestencompost, zoals deze zijn berekend, in de goede orde grootte. Deze getallen zijn relatief hoog omdat een groot deel van de organische stof vergist is en het eindproduct dus een relatief groot aandeel van deze stoffen bevat. In praktijk zal dit altijd gemengd zijn met compost uit andere stromen. In Nederland zijn strenge eisen voor compost. Net als in het MER-LAP (AOO, 2002b) en de milieuanalyse van vergisten van IVAM (IVAM, 2008) is in deze LCA geen milieueffect gerekend voor de zware metalen in compost.

**Tabel B.C.2 Indicatie
samenstelling voedsel-
restencompost en
Keurcomposteisen**

	Eis Keurcompost Klasse A/B/C (mg/kg ds) ^a	Voedselrestencompost (mg/kg ds)
Cadmium	≤ 1	≈ 0,84
Chroom	≤ 50	≈ 95
Koper	≤ 90	≈ 65
Kwik	≤ 0,3	≈ 0,22
Nikkel	≤ 20	≈ 16,41
Lood	≤ 100	≈ 209
Zink	≤ 290	≈ 324
Arseen	≤ 15	≈ 6,7

Bron: (Certificeringscommissie Keurcompost, 2014)

Note: Deze vergelijking betreft een indicatie. In de praktijk wordt er geen compost gemaakt van enkel voedselresten.

Compost heeft ook andere voordelen, deze zijn in deze analyse niet opgenomen omdat LCA hiervoor geen geschikte methode is. Dit rapport is niet bedoeld om een vergelijking te geven tussen verwerking van afval in een AEC of via compostering. Een voorbeeld zijn indirecte effecten van veenwinning. Vermeden gebruik van veen is opgenomen in de analyse, maar veenwinning gaat gepaard met landschapsaantasting, wat niet is meegenomen in de analyse. Ook is het risico op extra klimaatemissies door ontwatering in de veengebieden nu niet meegenomen. Daarnaast biedt compost voordelen voor de bodem die in LCA niet op te nemen zijn. Zo heeft compost bijvoorbeeld een neutraliserende waarde, is de aanvoer van organische stof relatief groot en bevat het ziekteverwekkende eigenschappen (AOO, 2000).

C.2 Digestaat uit vergisting en compostering van voedselresten via de GFT-route

Net als voor compostering zijn er voor vergisting vooral gegevens bekend over vergisting van GFT-afval. Voor het maken van een massabalans voor vergisting hebben we eenzelfde aanpak gekozen als voor compostering. Het grote verschil tussen compostering en vergisting is de productie van biogas.

Voor de berekening van de hoeveelheid digestaat is aangenomen dat C, H, O en N verdwijnen via emissies van CH₄, CO₂, NH₃, N₂O en H₂S (al of niet (gedeeltelijk) opgenomen in het bio-filter):

- C deel wordt omgezet in methaan, deels opgevangen in biogas en deels geëmitteerd. De emissie is vastgesteld op 750 g per ton GFT-afval (Ministerie van I&M, 2013). Dit is op basis van compostering van GFT. In de 'CO₂-tool GFT-verwerking 1.2' wordt een lagere methaan emissie aangehouden: 500 gram (Vereniging Afvalbedrijven en IVAM, 2013). Verwacht kan worden dat de emissies bij vergisting en nacompostering van voedselresten per ton verwerkte input hoger liggen dan de emissie bij de vergisting van GFT, daarom houden wij de waarden aan zoals gegeven in de richtlijnen van het Ministerie van I&M. De productie van methaan in biogas is berekend op basis een biogas-productie van 117 m³ per ton voedselresten (zie Paragraaf 3.2.2).
- C wordt verder omgezet in CO₂. Dit is kortcyclisch, dus wordt niet meegenomen in de LCA, maar wel in de massabalans. Er is aangenomen dat het geproduceerde biogas voor 40% uit CO₂ bestaat.
- N wordt omgezet in NH₃, NO_x en N₂O, respectievelijk (Ministerie van I&M, 2013) 23, 180 g en 46 g per ton GFT-afval.
- Voor H is aangenomen dat dit omgezet wordt in CH₄, NH₃ en H₂S.
- Voor O is aangenomen dat dit wordt omgezet in CO₂ en N₂O.
- Voor S is aangenomen dat het wordt omgezet in SO₂ en H₂S.

De asrest wordt gevormd door K, Na, Ca, Cl, de zware metalen en P. Voor K, Na, Ca en Cl is aangenomen dat dit volledig in het digestaat terechtkomt. Dit geldt ook voor de zware metalen en P.

Bovengenoemde elementen samen vormen het drogestofgehalte van het digestaat. Het minimale drogestofgehalte van compost is 50%¹⁸, dit percentage is aangehouden in de massabalans.

Element/stof	Voedselresten (kg/ton)	Digestaat (kg/ton voedselresten)
C	100	40
H	13	2
O	70	3
N	6	6
S	1	1
Asrest	10	10
Water	800	61
Totaal	1.000	122

Tabel B.C.3 Massabalans vergisten

In Tabel B.C.4 is de samenstelling van het voedselrestenvergistingscompost vergeleken met de eisen die gesteld worden aan aanwezigheid van zware metalen in Keurcompost. De waarden zijn vooral weergegeven om aan te geven dat de samenstelling in de goede orde grootte valt. Zoals te zien, voldoet het voedselrestencompost niet aan de eisen voor chroom, lood en zink. Deze getallen zijn relatief hoog omdat een groot deel van de organische stof vergist is en het eindproduct dus een relatief groot aandeel van deze stoffen bevat. In praktijk zal dit altijd gemengd zijn met compost uit andere stromen. In Nederland zijn strenge eisen voor compost. Net als in het MER-LAP (AOO, 2002b) en de milieuanalyse van vergisten van IVAM (IVAM, 2008) is in deze LCA geen milieueffect gerekend voor de zware metalen in compost.

18 <http://www.vlaco.be/professionele-verwerking/eindproducten/gemiddelde-samenstelling>.

Tabel B.C.4 Indicatie samenstelling voedselresten-vergistingscompost en Keurcomposteisen; in praktijk zal dit altijd gemengd zijn met compost uit ander GFT-afval

	Eis Keurcompost Klasse A/B/C (mg/kg ds) ^a	Digestaat (mg/kg ds)
Cadmium	≤ 1	≈ 0,97
Chroom	≤ 50	≈ 109
Koper	≤ 90	≈ 75
Kwik	≤ 0,3	≈ 0,25
Nikkel	≤ 20	≈ 18,9
Lood	≤ 100	≈ 241
Zink	≤ 290	≈ 373
Arseen	≤ 15	≈ 7,7

Bron: (Certificeringscommissie Keurcompost, 2014).

Note: Deze vergelijking betreft een indicatie. In de praktijk wordt er geen compost gemaakt van enkel voedselresten.

Compost heeft ook andere voordelen, deze zijn in deze analyse niet opgenomen. Zo heeft compost bijvoorbeeld een neutraliserende waarde, is de aanvoer van organische stof relatief groot en bevat het ziekteverwekkende eigenschappen (AOO, 2000).

C.3 Vervangingswaarde

In Tabel B.C.5 is de vervangingswaarde weergegeven zoals meegenomen in de LCA. Bij het berekenen van de vervangingswaarde is uitgegaan van dezelfde productie die in het MER-LAP voor compost en vergistingscompost worden 'vermeden': veen verschillende typen kunstmest. Compost heeft ook andere voordelen, deze zijn in deze analyse niet opgenomen (zie ook Bijlage C.2 en C.3).

Tabel B.C.5 Vervangingswaarde van de compost uit compostering en compost uit vergisting. Waarden zijn additioneel.

Input	Vervangingswaarde compost (kg/ton)	Vervangingswaarde vergistingscompost (kg/ton)
Veen	610	610
KAS	63,6 [‡]	108 [‡]
TSP	4,02	14,1
Kali 60	39,7	45,6
Kieseriet	1	1
Dolokal	27,17	22,17

Voor bijbehorende Ecoinventprocessen, zie Tabel 3.14 in Hoofdstuk 3.3. Waarden wijken af van de waarden in het MER-LAP wegens omrekening naar werkzame stof.

‡ Deze waarde is significant hoger dan de waarde in het MER-LAP. Ten eerste is de werkzaamheid van N verhoogd van 10 naar 60%, ten tweede is het aandeel N in de voedselresten hoger dan in GFT-compost.

Er zijn een aantal aanpassingen gemaakt ten opzichte van het MER-LAP:

- De werkzaamheid van stikstof in (vergistings)compost is op 60% gesteld in plaats van op 10% zoals aangenomen in het MER-LAP (Grontmij en IVAM, 2004).
- De hoeveelheid vermeden kunstmest is berekend met behulp van de hoeveelheid N, P en K in de (vergistings)compost en de werkzaamheid.
- Dit betekent ook een verhoging van de te vermijden P- en K-kunstmest.
- De vervangingswaarde van veen is herberekend met behulp van huidige toepassingen van compost (Vereniging afvalbedrijven, 2013) en of er in die toepassingen sprake is van veenvervanging (BVOR en IVAM, 2013).

C.4 Toepassing van (vergistings)compost

Compost vermijdt gebruik van veen en kunstmest. In de modellering zijn de volgende zaken opgenomen, volgens het MER-LAP (AOO, 2002b):

- Transport van veen gebeurt over een afstand van 1.000 km.
- Opbrengen van compost, veen en kunstmest kost in alle gevallen 60 MJ per ton. Omdat één ton compost niet dezelfde vervangingswaarde heeft als één ton veen of één ton kunstmest, wordt dit meegerekend.

- Transport van kunstmest gebeurt over een afstand van 75 km.
- Bij het opbrengen van compost komt maar de helft van de N_2O -emissie als bij het opbrengen van kunstmest vrij. De emissie is gebaseerd op het aandeel N in de (vergistings)compost.

Op twee punten zijn aanpassingen gemaakt:

1. 10% van de koolstof uit compost wordt op termijn vastgelegd in de bodem (Grontmij en IVAM, 2004).
2. Opbrengen van veen veroorzaakt emissie van langcyclische CO_2 (fossiele CO_2) omdat organische stof in de bodem afgebroken wordt. In het MER-LAP wordt verondersteld dat alle organische stof afgebroken wordt. Dit gaat dan om 550 kg CO_2 per ton veen. Wij gaan uit van 90%, volgens (BVOR en IVAM, 2013).

Bijlage D AEC

D.1 AEC-emissies

De emissies en de verwerking van reststoffen is gemodelleerd conform het 'Milieueffect-rapport Landelijk afvalbeheersplan' (MER-LAP) van het Afvaloverleg Orgaan (AOO, 2002a). Het MER-LAP beschrijft de emissies naar lucht en bodem, die voortkomen uit de verbranding en de verwerking van de AEC-restproducten, afhankelijk van de chemische samenstelling van het verbrande materiaal. CE Delft heeft dit vertaald naar een proceskaart in Simapro. In het MER-LAP wordt de relatie gegeven tussen de chemische samenstelling van de input in de AEC en het benodigde gebruik van hulpmiddelen in de AEC, het ontstaan van emissies en het ontstaan van afvalstromen (slakken, vliegashoudend stof en rookgasreinigingsresidu), voor een gemiddelde Nederlandse AEC.

D.2 AEC-rendement

Voor AEC's zijn gemiddelde rendementen bekend bij Rijkswaterstaat.

In Tabel B.D.1 is samengevat wat het netto rendement van de Nederlandse AEC's is, onderverdeeld in het elektrisch rendement en het warmterendement.

Het gegeven warmterendement is heeft betrekking op de daadwerkelijk afgezette warmte. De categorieën geven gemiddelden, een paar voorbeelden:

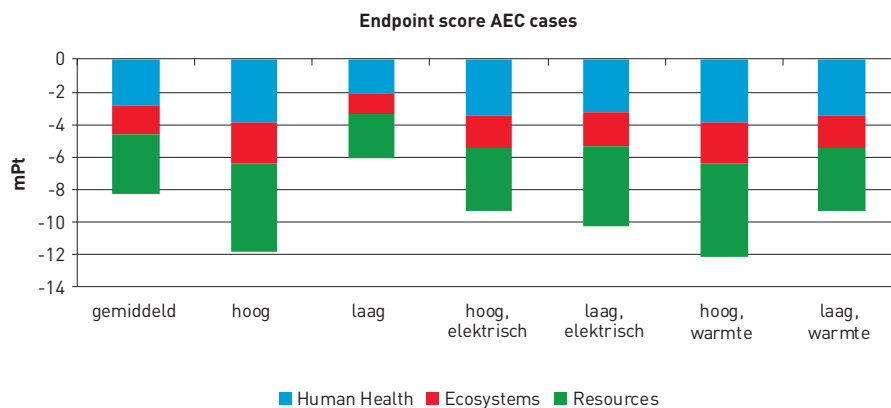
- 'Gemiddeld' geeft het gemiddelde rendement van alle AEC's in Nederland.
- 'Hoog' geeft het gemiddelde van de drie AEC's in Nederland die het hoogste totale rendement (som van elektrisch en warmte) hebben, dit is bepaald op basis van de R1-waarde¹⁹.
- 'Hoog, elektrisch' geeft het gemiddelde van de drie AEC's met het hoogste elektrisch rendement (ook bepaald op basis van de R1-waarde).

Tabel B.D.1 Rendementen (netto) Nederlandse AEC's (RWS, 2014) – productiedata, betreft daadwerkelijk geleverd rendement

Categorie	Rendement, netto (%)		
	Rendement, gemiddeld	Rendement, elektrisch	Rendement, warmte
Gemiddeld	36	16	19
Hoog	63	11	52
Laag	22	16	6
Hoog, elektrisch	28	26	2
Laag, elektrisch	63	4	59
Hoog, warmte	72	5	68
Laag, warmte	28	26	2

Productie van elektriciteit en warmte via een andere route hebben niet dezelfde milieu-impact. Daarom hebben we gekeken of de categorieën, 'hoog' en 'laag' in Tabel B.D.1 ook milieukundig de worst case en de best case representeren. In Figuur B.D.1 zijn de scores op endpointniveau (zie ook Paragraaf 2.6) weergegeven, hierin zijn de effecten op de verschillende milieuthema's gewogen opgeteld. De categorieën refereren aan de categorieën in Tabel B.D.1, de scores is uitgedrukt in millipoints (mPt). Zoals te zien scoort te categorie 'hoog' ongeveer gelijk als de categorie 'hoog, warmte'. We hebben er daarom voor gekozen de rendementen in de categorie 'hoog' aan te houden voor de *best case* en de rendementen in de categorie 'laag' voor de *worst case*.

¹⁹ R1-waarde: AVI's krijgen de R1-status als zij voldoende rendement halen uit het verwerken van stedelijk afval, de installatie is dan een 'installatie voor nuttige toepassing'. Alle Nederlandse AVI's hebben deze status. Om deze status te krijgen moet een bepaald rendement behaald worden. Hierin worden elektrisch rendement en warmte rendement anders verrekend.



Figuur B.D.1 Vergelijking van de endpointscores van de zeven AEC-cases

In deze vergelijking is onderstaande correctie op het rendement nog niet verrekend.

Correctie op rendement

De input van de AEC vraagt in meer of mindere mate energie voor verbranding. Voedselresten zijn relatief nat en vragen relatief veel energie om al het water te verdampen. Dit is deels verrekend in de LHV; hierin is de energie die nodig is om te verwarmen tot 100 graden verrekend. De rookgassen verlaten de ketel echter bij een temperatuur van 180 graden. Omdat de rookgassen van verbranden van voedselresten relatief nat zijn, is hier niet volgens het gemiddelde van de AEC warmte uit terug te winnen.

Daarom is een correctie gemaakt op het rendement door rekening te houden met de extra warmte die verloren gaat omdat de voedselresten relatief nat zijn, volgens onderstaande formule:

$$(T_{uit} - T_{100^{\circ}\text{C}}) \cdot (\text{vochtigheid}_{\text{voedselresten}} - \text{vochtigheid}_{\text{restafval}}) \cdot c$$

$$T_{uit} = 180^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Vochtigheid}_{\text{voedselresten}} = 0,8 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Vochtigheid}_{\text{restafval}} = 0,25 \text{ kg/kg (41\% GFT met 60\% water in restafval, (Tauw, 2014b))}$$

$$c = \text{soortelijke warmte water (4,19 KJ/(kg*K))}$$

Hieruit blijkt dat er per kg voedselresten 185,7 kJ per kg voedselresten extra verloren gaat. Dit is opgenomen in de analyse.

Bijlage E Onzekerheidsanalyse

E.1 Waterketen: modellering penetratiegraad

In de modellering van de waterketen is gewerkt met een penetratiegraad van 100%, waarbij de marginale veranderingen toegerekend zijn aan de voedselresten (per kilogram). In een gevoeligheidsanalyse heeft Tauw haar modellering ook doorgerekend voor penetratiegraden van 1%, 5%, 10% en 50% (Tauw, 2014a). Uit deze modellering blijkt dat er verschillen zijn in benodigde grondstoffen en in emissies per kg voedselresten, bij verschillende penetratiegraden. Dit betekent dat er een onzekerheid zit in de aangeleverde data voor de waterketen. In deze onzekerheidsanalyse kijken we wat het effect is van verschillende aannames in de achtergrondmodellering op het resultaat van de LCA.

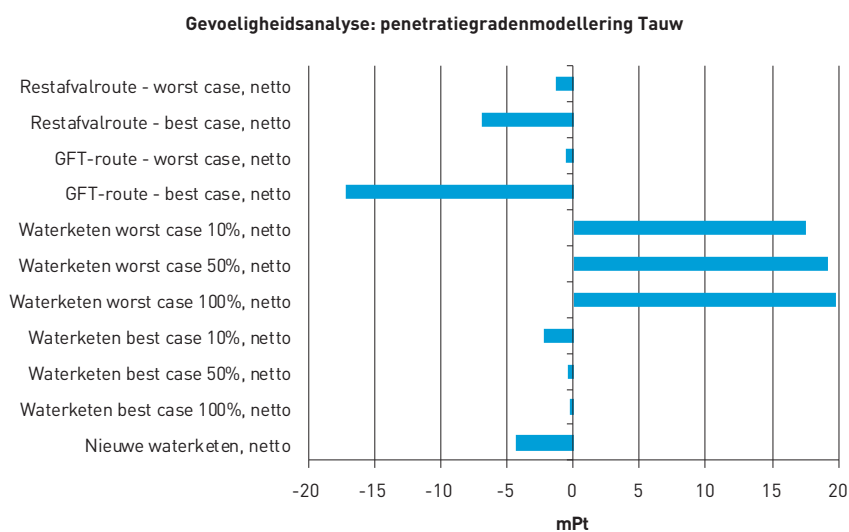
Effecten van verschillende penetratiegraden

In de modellering van de waterketen *worst case* neemt de slibproductie af bij lagere penetratiegraden en daarmee de energie die nodig is voor ontwatering. Bij lagere penetratiegraden is het milieunadeel daarom kleiner in de waterketen *worst case*. In de modellering van de waterketen *best case* neemt de benodigde beluchtingsenergie af bij lagere penetratiegraden omdat het slibgehalte lager is. Dit betekent dat in de waterketen *worst case* het milieuvoordeel bij lagere penetratiegraden iets groter is.

Resultaat

In Figuur B.E.1 is het resultaat van de aangepaste modellering weergegeven. Zoals te zien heeft een aangepaste modellering invloed op het resultaat, maar verandert het de conclusies niet; de waterketen *worst case* heeft nog steeds een groot milieunadeel, en de waterketen *best case* een relatief klein milieuvoordeel.

Figuur B.E.1
Gevoeligheidsanalyse
penetratiegraden



Bijlage F Resultaten aanvullende methodes

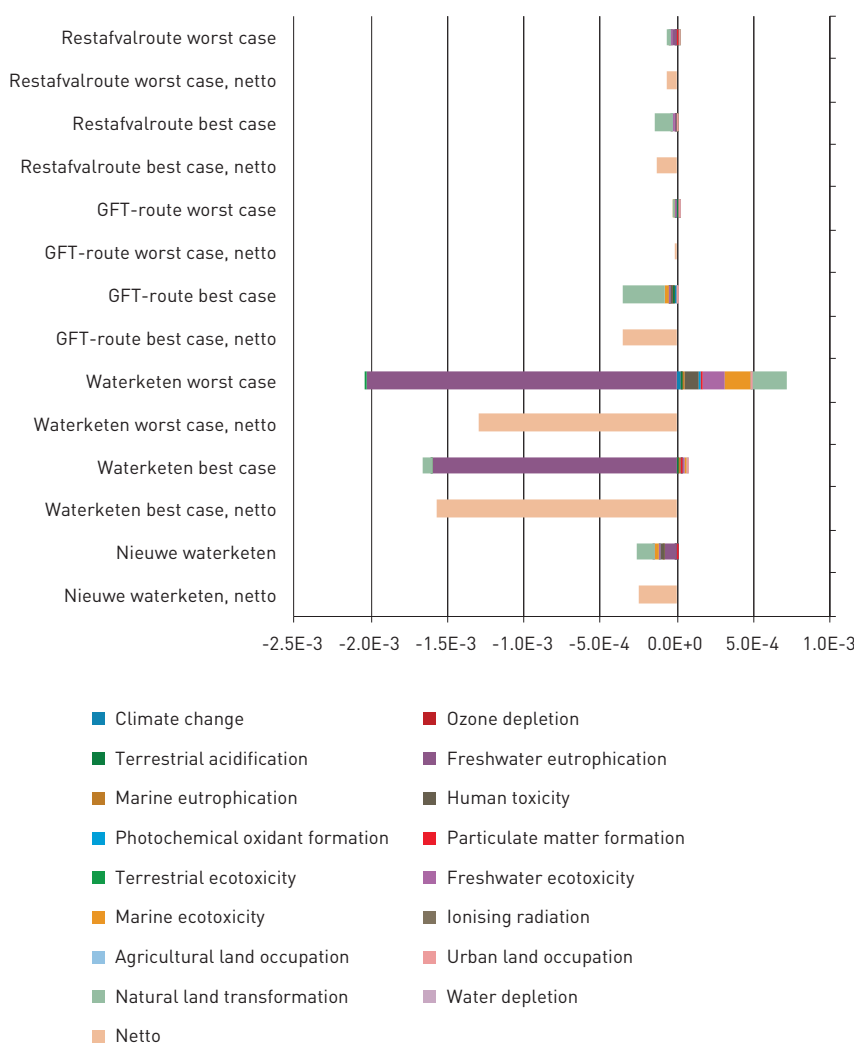
F.1 Genormaliseerde scores

Een andere manier om LCA-resultaten weer te geven, zijn genormaliseerde resultaten. Hierbij is gekeken hoe het resultaat per milieuthema zich verhoudt tot de gemiddelde score van een Europeaan op dat thema.

In Figuur B.F.1 zijn de genormaliseerde scores opgeteld weergegeven.

Hierbij zijn de resultaten weergegeven alsof de impact per thema voor alle thema's even groot is. Dit geeft meteen aan waarom dit een vertekent beeld kan geven: als totale impact in Europa afneemt, maar de impact van een proces/product blijft hetzelfde, neemt de genormaliseerde score toe.

Genormaliseerde scores: de impact van alle milieuthema's is even belangrijk - per kg voedselresten



Figuur B.F.1 Genormaliseerde scores: de impact van alle milieuthema's is even belangrijk - per kg voedselresten

In Figuur B.F.1 is te zien dat de waterketens beiden een groot voordeel hebben met betrekking tot vermindering van zoetwater (freshwater eutrophication). Reden hiervoor is dat uit de modellering van de RWZI blijkt dat er een verbetering in het effluent (minder fosfor) optreedt als ook voedselresten worden toegevoegd. Met betrekking tot dit milieuthema zijn er echter ook risico's: in het geval van overstort slaat het voordeel op dit thema om in een nadeel (zie ook Paragraaf 5.7). Ter vergelijking: het thema zoetwater vermindering bepaalt 2% van het single score resultaat voor de waterketen *best case* in single score (zie meest linkse balkje in Figuur 4.2).

F.2 ILCD-methodiek – resultaten op midpoint

De ILCD 2011-methodiek is in 2012 door de EC (EC, 2012) uitgebracht. Deze methodiek wordt gebruikt voor het bepalen van een Product Environmental Footprint (PEF) en een Organisational Environmental Footprint (OEF). In deze methodiek worden 16 midpoints onderscheiden.

Voor een aantal categorieën wordt dezelfde methodiek gebruikt als in ReCiPe. Voor een aantal wordt een andere methodiek gebruikt. Ook hebben beide methoden midpoints die in de andere methode niet opgenomen is. Dit alles is samengevat in Tabel B.F.1. De gedrukte thema's geven aan dat deze wel of anders opgenomen zijn in de ILCD-methodiek.

Tabel B.F.1 Overeenkomsten en verschillen in gebruikte midpointmethodieken tussen de ILCD 2011-methode en ReCiPe

	ReCiPe	ILCD 2011
Climate change	kg CO ₂ -eq.	idem
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	idem
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	-
Acidification	-	molc H ⁺ eq.
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	Idem
Marine eutrophication	kg N-eq.	Idem
Terrestrial eutrophication	-	Molc N-eq.
Human toxicity	kg 1,4 DB-eq.	-
Human toxicity, cancer effects	-	CTUh
Human toxicity, non-cancer effects	-	CTUh
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	Idem
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	CTUe
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	-
Ionizing radiation HH	kBq U235-eq.	kBq U235-eq.
Ionizing radiation E		CTUe
Agricultural land occupation	m ² a	kg C deficit
Urban land occupation	m ² a	kg C deficit
Natural land transformation	m ²	kg C deficit
Water depletion	m ³	m ³ water-eq.
Metal depletion	kg Fe-eq.	kg Sb-eq.
Fossil depletion	kg oil-eq.	kg Sb-eq.
Particulate matter	-	kg PM _{2.5} -eq.

Om een aanvulling te geven op de resultaten die we berekend hebben met de ReCiPe-methodiek, kijken we naar de midpoints uit de ILCD-methodiek die een aanvulling zijn op de ReCiPe-methodiek.

De resultaten voor de midpoints waarbij de ILCD afwijkt van de ReCiPe-methodiek zijn weergegeven in Tabel B.F.2. Op alle midpoints is de score voor de waterketen worst case het hoogst (grootste milieunadeel). Op alle midpoints op één na is de score van vergisting het laagste (overal een milieuvoordeel, te zien aan de negatieve scores). Op 'ionizing radiation, human health' en 'ionizing radiation, ecosystems' zijn de score voor de nieuwe waterketen het laagste. Als de midpoints genormaliseerd worden, vallen deze midpoints weg tegen de anderen; de verschillen tussen de routes op deze midpoints zijn niet relevant.

	Restafvalroute- worst case	Restafvalroute best case	GFT-route worst case	GFT-route best case	Waterketen worst case	Waterketen best case	Nieuwe waterketen
Human toxicity, cancer effects	10%	9%	-6%	-17%	100%	34%	12%
Human toxicity, non-cancer effects	8%	10%	-13%	-23%	100%	24%	-10%
Particulate matter	-1%	0%	-5%	-41%	100%	-4%	-29%
Ionizing radiation HH	-7%	-5%	8%	1%	100%	-12%	-47%
Ionizing radiation E (interim)	-6%	-5%	8%	-3%	100%	-14%	-53%
Acidification	14%	6%	52%	-50%	100%	28%	9%
Terrestrial eutrophication	26%	19%	100%	-26%	100%	17%	0%
Freshwater ecotoxicity	1%	3%	-12%	-20%	100%	21%	-8%
Land use	-5%	-38%	-4%	-106%	100%	-9%	-40%
Water resource depletion	-2%	0%	-2%	-2%	100%	80%	16%
Mineral, fossil & ren resource depletion	10%	9%	-20%	-24%	100%	80%	57%

Tabel B.F.2 Midpoint resultaten
ILCD-methodiek

Bijlage G Verslaglegging voornemen pilot(s) Amsterdam en Apeldoorn

Amsterdam en Apeldoorn zijn voornemens een pilot te realiseren met voedselrestenvermalers. Bij de pilot in Amsterdam ligt het initiatief bij Waternet en bij Apeldoorn bij het waterschap Vallei en Veluwe in combinatie met gemeente Apeldoorn.

De insteek van de pilots is verschillend. Waar Amsterdam zich voornamelijk richt op toepassing van voedselrestenvermalers op de normale riolering is Apeldoorn juist geïnteresseerd in toepassing van voedselrestenvermalers in combinatie met een vacuümtoiletsysteem (nieuwe sanitatie). Navolgend volgt een nadere toelichting van de voorgenomen pilots voor Amsterdam en Apeldoorn.

G.1 Amsterdam

Waternet heeft drie sporen voor toepassing van voedselrestenvermalers op het oog, waarvan 2 op korte termijn spelen en 1 op langere termijn, namelijk:

- Gaasperdam
- Spinoza II (studentenhuisvesting)
- Buiksloterham

Noot: Geen van de voorgenomen pilots is nog definitief. Momenteel vinden nog zowel intern als extern gesprekken plaats voor draagvlak en financiën.

Gaasperdam:

Gaasperdam (buitenwijk van Amsterdam) wordt de komende jaren vernieuwd. Waternet wil hier graag als pilot circa 200 woningen voorzien van voedselrestenvermalers. Gaasperdam is onderdeel van het stadsdeel Zuid-Oost. De partijen die in ieder geval bij de pilot worden beoogd zijn:

- Gemeente Amsterdam, stadsdeel Zuid-Oost
- Afvalverwerker AEB
- Waternet

Spinoza II:

Spinoza II betreft studentenhuisvesting in Amsterdam Zuid-Oost. Het gaat om huisvesting in gestandaardiseerde containers die door Plegt-Vos zijn ontwikkeld in opdracht van DUWO. Er zullen meerdere blokken worden gebouwd (totaal circa 550 woningen). Waternet zou graag 2 blokken (200 woningen) willen voorzien van voedselrestenvermalers. In maart 2015 start men al met de plaatsing van de studentenblokken. Er is door Waternet al contact geweest met DUWO. Zij staan open voor plaatsing van voedselrestenvermalers in de studentenblokken. Het zou het mooiste zijn als deze gelijk al tijdens het bouwen van de studentwoningen (studentenwoningen worden vanaf fabriek geleverd) gelijk zouden kunnen worden geïnstalleerd. Eventueel is installatie na plaatsing op locatie ook mogelijk. Nadeel van deze pilotlocatie is mogelijk de representativiteit voor de rest van Nederland aangezien het een specifieke doelgroep (studenten) betreft. Voordeel is wel dat Spinoza I inmiddels al is gerealiseerd (700 woningen) en dat dit de mogelijkheid biedt om bij metingen in het riool het afvalwater van Spinoza I als referentie kan dienen.

Buiksloterham

Dit betreft een ontwikkeling op de langere termijn. Dit terrein wil men de komende 15 – 20 jaar ontwikkelen. De gedachte is om Buiksloterham in te richten als Living lab voor circulaire gebiedstransformatie. Voor deze locatie heeft Waternet de gedachte om mogelijk nieuwe sanitatie toe te passen door de koppeling van voedselrestenvermalers aan een vacuümtoiletsysteem.

G.2 Apeldoorn

In Apeldoorn hebben de gemeente en het waterschap de wens om een grote pilot van circa 400 woningen te realiseren waarbij de woningen worden uitgerust met vacuümtoiletten en voedselrestenvermalers (nieuwe sanitatie). Hierbij ligt de focus op nieuwbouwplannen of herstructureringen. De bouw van woningen in Apeldoorn gaat – net zoals in de rest van Nederland – momenteel mondjesmaat. Grote projecten van honderden woningen staan op korte termijn niet op de planning.

Om wel voorbereid te zijn op een toename in de woningbouw en daarmee de mogelijkheid om vacuümtoiletten en voedselrestenvermalers te installeren, wordt momenteel een demonstratie-opstelling voorbereid in het wijkcentrum van de wijk Kerschoten. Hierbij zijn het waterschap, de gemeente en woningcorporatie de Woonmensen betrokken. In het wijkcentrum zullen 3 gewone toiletten worden vervangen door vacuümtoiletten en zal een keukentje worden voorzien van een voedselrestenvermaler. Door deze demo-opstelling kunnen burgers, projectontwikkelaars, andere woningcorporaties en overig geïnteresseerden in de praktijk kennis maken met vacuümtoiletten en voedselrestenvermalers. Op deze manier hopen het waterschap en de gemeente ‘snel te kunnen schakelen’ zodra de bouw weer aantrekt. De verwachting is dat in het tweede kwartaal van 2015 de demo-opstelling gerealiseerd zal zijn.

Mogelijkheden die mogelijk al wel op korte termijn gaan lopen zijn:

- een appartementencomplex van ca. 75 woningen in de wijk Kerschoten. Dit appartementencomplex staat direct naast het wijkcentrum gepland waar nu ook de demo-opstelling wordt voorbereid.
- Bouw van starterswoningen (laagbouw) in de nieuwbouwwijk Zuidbroek

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2015 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen zonder toestemming worden overgenomen mits met bronvermelding.

De auteurs en de uitgever aanvaarden echter geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

auteurs

Ingrid Odegard (CE Delft), Geert Bergsma (CE Delft), Ronnie Berg (Tauw, Paul Telkamp (Tauw)

projectleider uitvoering:

Paul Telkamp (Tauw)

projectgroepleden:

Arné Boswinkel (RVO), Hugo Gastkemper (Stichting RIONED), Ton Beenen (Stichting RIONED), Bert Palsma (STOWA), Diederik Anema (Gemeente Apeldoorn), Auke Doornbosch (Gemeente Hengelo), Douwe Jan Tilkema (Waterschap Vallei en Veluwe), Frank Groot (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Jeroen Buitenweg (Waterschap Vechtstromen), Marcel Zandvoort (Waternet), Rob Ververs (Waternet), Bas Assink (Twente Milieu), Robert Jan Saft (Vereniging van Afvalbedrijven / Attero), Wiebe Bosma (Vereniging van Afvalbedrijven / HVC), Maarten Goorhuis (NVRD), Olaf van Hunnik (Rijkswaterstaat), Arjen Brinkmann (BVOR), Ingrid Odegard (CE Delft), Geert Bergsma (CE Delft), Ronnie Berg (Tauw), Paul Telkamp (Tauw)

foto omslag

Wim van Hof, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

vormgeving

Jelle de Gruyter, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern b.v., Bennekom

rapportnummer

2015-07

isbn/ean

97 890 57736 82 7

stowa
Stichting
RIONED

ISBN/EAN 97 890 57736 82 7

