



Milieuanalyse Cellu2PLA

Fijnzeefinstallatie op RWZI Beemster en
glucoseproductie uit zeefgoed



Committed to the Environment

Annex C.2a
Environmental analysis report

Milieuanalyse Cellu2PLA

Fijnzeefinstallatie op RWZI Beemster en glucoseproductie uit zeefgoed

Dit rapport is geschreven door:

Ingrid Odegard

Martijn Broeren

Delft, CE Delft, juli 2018

Publicatienummer: 18.2R00.076

Rioolwaterzuiveringsinstallatie / Innovatie / Technologie / Milieu / Effecten / Analyse

Oprachtgever: Hoogreemraadschap Hollands Noorderkwartier

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

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

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
	1.1 Leeswijzer	5
2	Methodologie	6
	2.1 Doel en afbakening	6
	2.2 Inventarisatie	9
3	Resultaten	14
	3.1 Klimaatimpact	14
	3.2 Endpoints	15
	3.3 Glucose	19
	3.4 Gevoeligheidsanalyses	19
4	Interpretatie	22
5	Literatuur	24
A	Resultaten in detail	25
	A.1 Midpoint	25
	A.2 Endpoint	25
B	ReCiPe-methode	26



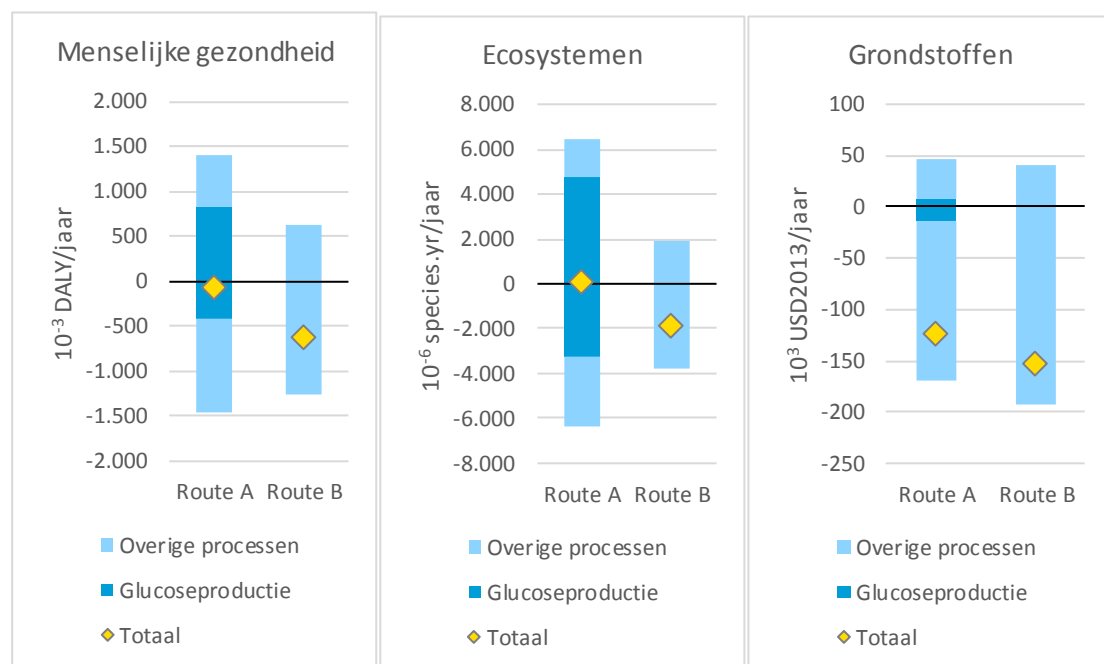
Samenvatting

In dit rapport wordt de milieuanalyse beschreven van twee verwerkingsroutes van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) met fijnzeef, inclusief de verwerking van het zeefgoed. In de routes wordt het zeefgoed op verschillende manieren ingezet:

- **Fijnzeefroute A:** Productie van glucose uit zeefgoed, waarbij de reststroom vergist wordt, en het digestaat uit vergisting uiteindelijk wordt verbrand;
 - **Fijnzeefroute B:** Directe vergisting van zeefgoed, gevolgd door verbranding van het digestaat.
- Deze twee routes worden vergeleken met een referentie: een RWZI zonder fijnzeefinstallatie.

De milieuanalyse is een verschilanalyse: er is enkel gekeken naar de verschillen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. De verschillen tussen Fijnzeefroute A en B zijn groot, zoals weergegeven in Figuur 1 voor de drie ReCiPe endpoints (voor toelichting methodologie zie Bijlage B). Een negatieve score betekent een voordeel, een positieve een nadeel. De netto-score (totaal) wordt weergegeven door het (gele) wiebertje.

Figuur 1 - Resultaten voor de twee fijnzeefroutes; het resultaat is op alle drie de endpoints voordeliger voor Route B.
Voor toelichting endpoints zie Bijlage B



Klimaat

Fijnzeefroute A heeft in het gemiddelde scenario een klimaatimpact die ca. 100 ton CO₂-eq. per jaar lager is dan de referentieverwerkingsroute. De onzekerheid van dit resultaat is groot, en varieert van -320 (een toename in de klimaatimpact) tot 500 ton CO₂-eq. per jaar (een nog grotere reductie).

Fijnzeefroute B heeft in het gemiddelde scenario ook een lagere klimaatimpact dan de referentie. Het verschil bedraagt ca. 730 ton CO₂-eq. per jaar. Voor beide fijnzeefroutes geldt dat de klimaatimpact op de **RWZI** (dus exclusief zeefgoedverwerking maar inclusief slibverbranding) 360 ton CO₂-eq. per jaar lager is ten opzichte van de referentie.

Onzekerheid gegevens glucoseproductie

Voorals wat betreft de gegevens voor de verwerking van het zeegoed in Fijnzeefroute A bestaat grote onzekerheid. In het algemeen scoort Fijnzeefroute B echter vrijwel altijd beter (ook als de best case van Route A wordt vergeleken met de worst case voor Route B). Enkel voor ecosystemen geldt dat de best case van Route A beter is dan Route B. Hoe waarschijnlijk het is dat dit in praktijk zo zou uitvallen is onzeker.



1 Inleiding

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) heeft in samenwerking met afvalverwerker Attero en kenniscentrum STOWA een project uitgevoerd waarin de productie van PLA uit cellulose uit rioolwater centraal stond (Cellu2PLA). CE Delft heeft een milieukundige analyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de milieu-impacts. In dit rapport wordt deze milieuanalyse beschreven, van de situatie op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) met en zonder fijnzeef, inclusief de verwerking van het zeefgoed.

In deze milieuanalyse worden twee verwerkingsroutes voor het zeefgoed vergeleken:

- **Fijnzeefroute A:** Productie van glucose uit zeefgoed, waarbij de reststroom vergist wordt, en het digestaat uit vergisting uiteindelijk wordt verbrand;
- **Fijnzeefroute B:** Directe vergisting van zeefgoed, gevolgd door verbranding van het digestaat.

De milieuanalyse richt zich primair op het *verschil* in milieuprestaties dat de fijnzeefroutes opleveren ten opzichte van de referentiesituatie. Hiervoor evalueren we de hele keten, van influent tot effluent, inclusief de verwerking van alle reststromen. De referentiesituatie is de situatie zoals deze was vóór de installatie van de fijnzeef. De fijnzeefroutes zijn beiden hypothetisch. De modellering is gebaseerd op een inschatting van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. Op dit moment is Fijnzeefroute A niet ver genoeg ontwikkeld voor succesvolle full scale-productie, Fijnzeefroute B wel. De milieuanalyse dient dus om in te schatten of glucoseproductie uit zeefgoed milieukundig aantrekkelijk *zou kunnen* zijn.

Het Cellu2PLA-project is maar deels succesvol gebleken. Er is een fijnzeefinstallatie op de RWZI Beemster geïnstalleerd. Deze installatie verwijdert een deel van de vervuiling en ontlast daarmee het benedenstroomse zuiveringsproces. Het levert een nieuwe reststroom, zeefgoed, die binnen de kaders van het Cellu2PLA-project werd verwerkt in een pilotinstallatie van Attero in Wijster. Hier werd het zeefgoed gehygiëniseerd en werd de cellulose omgezet in glucose. De opzet was om de glucose vervolgens om te laten zetten in melkzuur en vervolgens polymelkzuur. In praktijk bleek de glucose door de nog aanwezige bacteriën echter weer omgezet te worden. Er is in praktijk dus geen bruikbare glucosestroom geproduceerd.

Omdat deze milieuanalyse fictieve routes beschrijft, op verschillende ontwikkelingsniveaus, is het daarom belangrijk om naast de resultaten de interpretatie van de resultaten te lezen.

1.1 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 is de methodologie verder toegelicht, We gaan in op doel en afbakening en de inventarisatie (gebruikte data). In Hoofdstuk 3 zijn de resultaten beschreven. In Hoofdstuk 4 volgt een beknopte interpretatie van de resultaten.

2 Methodologie

2.1 Doel en afbakening

2.1.1 Doelstelling

Het doel van deze milieuanalyse is om de milieuprestaties van een RWZI (gebaseerd op RWZI Beemster) met een fijnzeef te vergelijken met die van een RWZI zonder fijnzeef (referentiesituatie). De analyse geeft inzicht in de milieukundige voordelen/nadelen van het installeren van een fijnzeef en toepassen van zeefgoed.

Er worden twee fijnzeefroutes onderscheiden, waarin het zeefgoed op verschillende manieren verwerkt wordt:

- **Fijnzeefroute A:** productie van glucose uit zeefgoed, waarbij de reststroom vergist wordt, en het digestaat uit vergisting uiteindelijk wordt verbrand;
- **Fijnzeefroute B:** directe vergisting van zeefgoed, gevolgd door verbranding van het digestaat.

Deze fijnzeefroutes en de referentie (situatie op de RWZI vóór plaatsing van de fijnzeef, verder gelijk systeem) vervullen dezelfde (primaire) functie; ze verwerken eenzelfde vuillast (influent) en leveren een gelijk effluent op. Er is voor deze referentie gekozen om sec het verschil te laten zien van toevoeging van een fijnzeef. In de praktijk wordt vaak een afweging gemaakt tussen een fijnzeef en een andere optie voor uitbreiding van de zuiveringscapaciteit. Voor die analyse is additionele data nodig die binnen de kaders van dit project niet beschikbaar is.

De routes zijn beiden hypothetisch voor RWZI Beemster; ze bestaan niet in de praktijk. De modellering wordt gebaseerd op de inschatting van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. Op dit moment is Fijnzeefroute A niet ver genoeg ontwikkeld om dit mogelijk te maken, Fijnzeefroute B wel. De milieuanalyse dient dus om in te schatten of glucoseproductie uit zeefgoed milieukundig aantrekkelijk *zou kunnen* zijn. De routes worden nader toegelicht in Paragraaf 2.1.2.

De milieuanalyse richt zich primair op het *verschil* in milieuprestaties dat de fijnzeefroutes opleveren ten opzichte van de referentiesituatie. Hiervoor evalueren we de hele keten, van influent tot effluent, inclusief de verwerking van alle reststromen. Alle relevante ingrepen die nodig zijn om de routes uit te voeren (bijv. elektriciteitsgebruik van installaties, transportstappen, emissies, gebruik hulpstoffen) zijn daarom in kaart gebracht (zie ook Paragraaf 2.2). Er wordt een uitgebreide set van milieu-indicatoren gebruikt. Naast bijvoorbeeld klimaatverandering wordt dus ook gekeken naar milieueffecten zoals verzuring, fijnstof of grondstofgebruik. Deze verschillende milieueffecten worden meegenomen in drie zogeheten *endpoint* indicatoren: schade aan menselijke gezondheid, schade aan ecosystemen, en uitputting van grondstoffen. Achtergrondinformatie over de gebruikte indicatoren is beschikbaar in Bijlage B.

De milieuanalyse is *attributioneel*: er wordt gekeken naar de ingrepen die horen bij het uitvoeren van de functie, en niet naar de invloed die het uitvoeren van de functie wellicht heeft op de wereld waarin het systeem past¹. Deze methode sluit aan bij de werkwijze uit het STOWA-rapport 2016-22 'Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater' (STOWA, 2016).

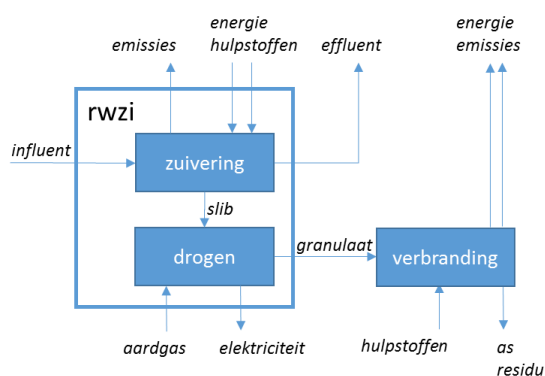
¹ Dit laatste past bij een *consequentiële* analyse, waarbij bijvoorbeeld gekeken wordt naar veranderingen in de slibverwerking als de hoeveelheid slib radicaal verandert. In een attributionele analyse wordt het omringende systeem als statisch verondersteld.

Omdat er bij veel van de gebruikte kwantitatieve gegevens onzekerheid bestaat, is waar mogelijk gewerkt met bandbreedtes (lage, gemiddelde en hoge waardes). De lage en hoge waardes zijn vertaald in een *worst case* en een *best case*; *wat beïnvloedt de milieuprestatie positief en wat negatief?* De milieuprestaties worden vervolgens ook als bandbreedtes weergegeven. Let erop dat het hier ook gaat om een verschilanalyse; de onzekerheid kan groot zijn, maar als deze voor alle routes gelijk is, is het verschil nul en wordt het niet in de resultaten weergegeven.

2.1.2 Overzicht onderzochte routes

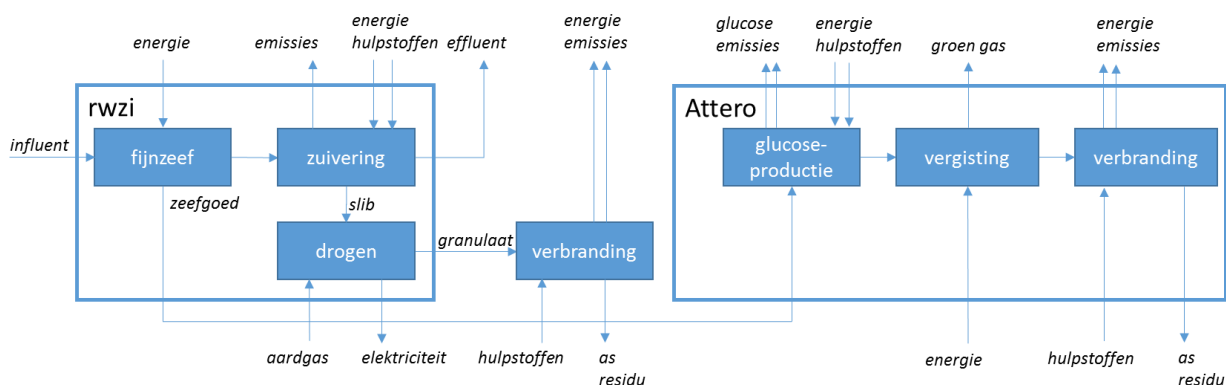
De referentieroute, zuivering zonder fijnzeef, is weergegeven in Figuur 2. In de referentieroute wordt het slib uit de waterzuivering gedroogd in een slibdrooginstallatie. Hier wordt warmte en elektriciteit opgewekt met aardgas. De warmte wordt gebruikt voor slibdroging, de elektriciteit wordt deels in het eigen proces gebruikt, en deels aan een nabijgelegen (andere) zuivering geleverd. Het hier geproduceerde granulaat (ca. 95% d.s.) wordt getransporteerd naar HVC, waar het verbrand wordt.

Figuur 2 - Referentieroute

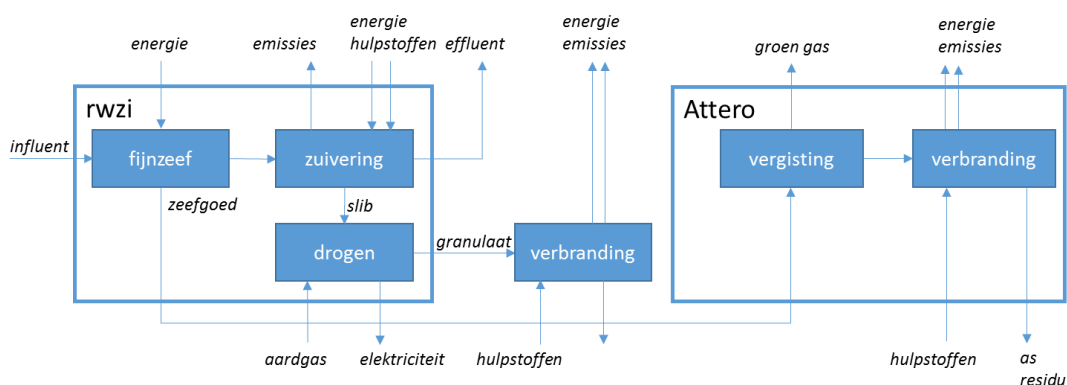


De fijnzeefroutes zijn weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4. De fijnzeef filtert het influent en verbruikt hierbij elektriciteit. Het influent wordt verder hetzelfde behandeld als in de referentieroute. Er wordt ca. 1.550 ton zeefgoed per jaar geproduceerd (bij 100.000 i.e. influent). Dit zeefgoed (ca. 36% d.s.) wordt in Fijnzeefroute A (Figuur 3) bij Attero deels omgezet in glucose. Hierbij wordt één reststroom geproduceerd (ca. 30% d.s.) die vervolgens vergist wordt. Het biogas uit de vergisting wordt opgewerkt (niet weergegeven) tot groengas dat ingezet kan worden als aardgasvervanging. Het digestaat wordt verbrand. In Fijnzeefroute B (Figuur 4) wordt de glucoseproductiestap overgeslagen en wordt het zeefgoed dus direct vergist.

Figuur 3 - Fijnzeefroute A: inzet zeefgoed voor glucoseproductie; fictieve full scale-installatie



Figuur 4 - Fijnzeefroute B: inzet zeefgoed voor vergisting



2.1.3 Functionele eenheid en afbakening

De functionele eenheid voor deze studie luidt: *het verwerken van influent in een RWZI met een capaciteit van 100.000 i.e. gedurende een jaar*. Alle benodigde ingrepen zijn gerelateerd aan deze eenheid. We bespreken de resultaten als milieu-impacts *per jaar*; deze weergave is gelijk aan 'per functionele eenheid' maar maakt de resultaten makkelijker te interpreteren.

De analyse richt zich op de in Paragraaf 2.2 geïnterpreteerde stromen/processen. De productie van kapitaalgoederen (fabrieken, installaties) is in principe niet meegenomen in de analyse. Deze hebben doorgaans een beperkte invloed op eindresultaten van de milieuanalyse. Een uitzondering is gemaakt voor de productie van de fijnzeef, omdat het hier gaat om een verschilanalyse van de situatie mét en zonder fijnzeef. Dit maakt het relevant te onderzoeken hoeveel de productie van de fijnzeef bijdraagt aan de verschillscore.

2.1.4 Multifunctionaliteit

Een aantal van de onderzochte processen is *multifunctioneel*: ze produceren meerdere nuttige producten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij slibdroging (produceert slibgranulaat en elektriciteit) en de glucoseproductie in Fijnzeefroute A (produceert glucose, maar ook een reststroom waaruit o.a. biogas gewonnen wordt). In deze gevallen moeten keuzes gemaakt worden over hoe de milieu-impacts verdeeld worden over de producten. We bespreken de gemaakte keuzes kort:

- Slibdroging: Aardgas wordt gebruikt voor slibdroging maar ook voor elektriciteitsproductie. We alloceren de aardgasconsumptie op energetische basis. De energie die gebruikt wordt voor het drogen van het slib en de interne elektriciteitsconsumptie van de slibdroginginstallatie bedraagt

- ca. 70% van het totaal, dus wordt ook 70% van het aardgasverbruik toegerekend aan de slibdroogfunctie. Doordat hier allocatie is toegepast is elektriciteit niet als output weergegeven bij de droogstap in de inventarisatie (Tabel 1 in Paragraaf 2.2.1).
- Glucoseproductie: Glucose is een bijproduct in Fijnzeefroute A; de focus ligt immers op het verwerken van het zeefgoed. We passen hier substitutie/systeemuitbreiding toe. Doordat dit proces glucose produceert, hoeft elders via een conventionele route minder glucose geproduceerd te worden. De milieu-impact van eenzelfde hoeveelheid conventionele glucoseproductie wordt daarom afgetrokken van de milieu-impacts van het onderzochte proces.
 - Verbranding slibgranulaat en verbranding digestaat: Bij deze verbrandingsprocessen wordt elektriciteit en warmte opgewekt die afgezet kan worden op de markt. Ook hier wordt substitutie/systeemuitbreiding toegepast. Als referentietechniek is gerekend met de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix en de dataset voor Europese warmtenetten op basis van aardgas.
 - Bij de verbranding van het granulaat uit het slibdrogingsproces resulteert bodemas, vliegas en rookgasreinigingsresidu. Deze kunnen worden ingezet in bijvoorbeeld beton, wegenbouw of mijnbouw. Er is aangenomen dat in zulke toepassingen zand vervangen wordt, en er wordt door middel van substitutie hieraan een milieuvoordeel toegekend. Transport naar locatie is in deze analyse toegevoegd.

2.1.5 Dataverzameling en modellering

Primaire inventarisatiegegevens voor de onderzochte routes zijn aangeleverd door HHNK en Attero. Dit betreft de hoeveelheden van de stromen weergegeven in Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 (uitgedrukt per functionele eenheid of andere referentiehoeveelheid) en andere materiaal- of proces-eigenschappen.

De informatie die HHNK en Attero aangeleverd hebben gaat uit van productie op industriële schaal. Hierbij is waar mogelijk een onderscheid gemaakt tussen gemiddelde (verwachte) waarden, en hoge en lage waarden om onzekerheden weer te geven.

De verzamelde data zijn gecontroleerd en waar nodig aangevuld² door CE Delft. Vervolgens zijn de processen gemodelleerd in SimaPro 8.5 (LCA-software). De informatie is verder aangevuld met achtergronddata uit de Ecoinvent LCA-database (Versie 3.4) en data van CE Delft, bijvoorbeeld om de productie en levering van hulpmiddelen en aardgas mee te nemen.

De milieueffectbeoordeling is vervolgens uitgevoerd met de ReCiPe 2016 Midpoint (H) en ReCiPe 2016 Endpoint (H).

2.2 Inventarisatie

Dit hoofdstuk geeft details over de modellering van de milieuanalyse. We bespreken eerst de RWZI-fase van de productieroutes (Paragraaf 2.2.1) en daarna de verdere verwerking van het zeefgoed (Paragraaf 2.2.2).

2.2.1 RWZI

Tabel 1 geeft een overzicht van de inventarisatie van de RWZI-processen (zie figuren in Paragraaf 2.1.2). De waarden in de tabel zijn uitgedrukt per functionele eenheid (100.000 i.e. influent per jaar). Daarnaast geven ze het *verschil* aan dat de fijnzeef maakt voor een specifieke stroom; een

² Zo is bijvoorbeeld voor transportprocessen uitgegaan van EURO 5-vrachtwagens en is de hoeveelheid biogas die geproduceerd wordt bij vergistingsprocessen geschat op basis van de input van organische droge stof. Alle gebruikte data worden weergegeven en onderbouwd in Paragraaf 2.2.

positieve waarde geeft dus aan dat een stroom groter is geworden door het plaatsen van de fijnzeef, en vice versa voor negatieve waardes. De uiterst rechtse kolom geeft een toelichting op de gebruikte achtergronddata en overige relevante opmerkingen.

Voor het RWZI-gedeelte van de analyse bestaat er geen verschil tussen de twee fijnzeefroutes (zie ook Figuur 3 en Figuur 4).

Voor dit deel van de analyse zijn een aantal aannames en algemene opmerkingen van belang:

- Mogelijke emissies van CH₄ en N₂O bij de waterzuivering zijn niet aangeleverd en dus niet meegenomen in de basisanalyse. Het plaatsen van de fijnzeef heeft de CZV-waarde van het water dat naar de zuivering gaat verlaagd, waardoor het waarschijnlijk is dat er ook minder CH₄-emissies plaatsvinden. Om de grootte van dit effect in te schatten worden deze emissies in een gevoeligheidsanalyse in Paragraaf 3.4.1 geschat.
- Uit de door HHNK aangeleverde informatie bleek dat de slibdroog- en granulaatverbrandingsprocessen niet veranderd zijn door het plaatsen van de fijnzeef (zelfde waarden per ton inputmateriaal). Het enige verschil zit in de verminderde hoeveelheid slib die aangeleverd wordt. De (negatieve) waarden in Tabel 1 komen dus voort uit deze verminderde hoeveelheid slib.
- Voor het granulaatverbrandingsproces is uitgegaan van informatie die via HHNK is verzameld bij HVC.

Tabel 1 - Inventarisatie RWZI. Alle waarden zijn uitgedrukt per jaar (in lijn met de functionele eenheid) en geven het verschil weer tussen de fijnzeefroutes en de referentieroute. Primaire bron: (HHNK, 2018)

Proces/stroom	Verschilwaarde (bandbreedte)	Eenheid per jaar	Opmerkingen/achtergrondgegevens
Fijnzeef			
<i>Input</i>			
Influent	0	m ³	Geen verschil in influent tussen routes.
Elektriciteit	230 (224-237)	MWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Staal	40	kg	Proxyproductie fijnzeef. Aannames: RVS, gewicht 1.200 kg (bijv. Salsnes SF6000 fijnzeef), levensduur 30 jaar. Procesdata: Ecoinvent.
Verwerking staal	40	kg	Proxy omzetting staal tot fijnzeef. Aanname: impact extrusion, hot, 1 stroke. Procesdata: Ecoinvent.
<i>Output</i>			
Zeefgoed	1.568 (1.499-1.636)	ton	Naar glucoseproductie/vergisting. 35,3% droge stof, 92,9% organische stof (van droge stof).
<i>Transport</i>			
Vrachtwagen	297.920 (284.810-310.840)	tonkm	Vervoer zeefgoed naar glucoseproductie/vergisting (Wijster) over ca. 190 km. Procesdata: (CE Delft, 2015).
Zuivering			
<i>Input</i>			
Elektriciteit	-420	MWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Aardgas	0	Nm ³	Procesdata: Ecoinvent.
FeCl ₃	0	ton	Procesdata: Ecoinvent.
PE	-1	ton	Verbruik afgenomen na plaatsing fijnzeef. Procesdata: Ecoinvent. De dosering is toegenomen van ~12 kg actief PE per kg ds naar ~15 kg PE per kg ds. Er is een netto-afname omdat de slibproductie vermindert.
NaClO	4	ton	Verbruik toegenomen na plaatsing fijnzeef. Procesdata: Ecoinvent.

Proces/stroom	Verschilwaarde (bandbreedte)	Eenheid per jaar	Opmerkingen/achtergrondgegevens
Output			
Effluent	0	m ³	Geen verschil in effluent tussen route.
Slib (21% d.s.)	-2.015	ton	Naar slibdroging.
Emissies			
CO ₂	0	ton	CO ₂ -emissie uit verbranding aardgas (CO ₂ -emissies uit waterzuivering zijn biogeen en daarom niet meegenomen). Procesdata: (RVO, 2017).
Drogen			
Input			
Slib	-2.015	ton	
Aardgas	-250.264	Nm ³	Aardgasverbruik per ton slib input blijft gelijk, maar er wordt minder slib aangeleverd.
Output			
Granulaat	-448	ton	Naar verbranding.
Emissies			
CO ₂	-448	ton	CO ₂ -emissie uit verbranding aardgas. Procesdata: (RVO, 2017).
Verbranding granulaat			
Input			
Granulaat	-448	ton	
Gebluste kalk	-3	ton	Procesdata: Ecoinvent.
Kool	-148	kg	Procesdata: Ecoinvent.
Natronloog	-622	kg	Procesdata: Ecoinvent.
Zand	-69	ton	Procesdata: Ecoinvent.
Zwavelzuur	-8	kg	Procesdata: Ecoinvent.
Output			
Elektriciteit	-474	MWh	Verbrandingswaarde 15 GJ/t granulaat.
Warmte	-760	GJ	
Assen	-107	ton	Bodemas, vliegas en rookgasreinigingsresidu. Aanname: vervangt zand in beton, mijnen of wegenbouw.
Transport			
Vrachtwagen	-17.980	tonkm	Vervoer granulaat naar verbranding (HVC) over ca. 40 km. Aanname: EURO 5- vrachtwagen, >20 t capaciteit. Procesdata: Ecoinvent.
Vrachtwagen	-51.622	tonkm	Afvoer bodemas, vliegas en rookgasreinigingsresidu. Aannames: EURO 5- vrachtwagen, >20 t capaciteit. 500 km transport benodigd. Procesdata: Ecoinvent.

2.2.2 Zeefgoedverwerking

Tabel 2 toont de inventarisatie voor de verwerking van het zeefgoed bij Attero (zie figuren in Paragraaf 2.1.2) wanneer deze op industriële schaal zou plaatsvinden. Let wel: dit proces is op dit moment niet voldoende ontwikkeld om op te schalen naar industriële schaal. Het gaat hierbij dus om een inschatting die kan helpen om de vraag te beantwoorden of glucoseproductie uit zeefgoed milieukundig aantrekkelijk zou kunnen zijn.

De waarden in de tabel zijn uitgedrukt per ton (n.s.) zeefgoed als input. Fijnzeefroutes A en B zijn beide weergegeven. Aangezien er in de referentieroute geen zeefgoed geproduceerd wordt, zijn alle weergegeven waarden *additioneel* ten opzichte van de referentie.

Voor dit deel van de analyse zijn een aantal aannames en algemene opmerkingen van belang:

- In sommige gevallen zijn alleen hoge en lage waarden aangeleverd (geen gemiddelde). Hierbij is een rekenkundig gemiddelde gebruikt voor de standaardcase. Dit is aangegeven in de tabel.
- Glucoseproductie (Fijnzeefroute A):
 - Aangezien er geen informatie over directe emissies uit dit proces bekend waren, is aangenomen dat deze niet plaatsvinden.
 - De input van biociden is niet meegenomen in de analyse wegens gebrek aan (milieu)data. Dit betreft een mogelijke input van ca. 1,2%wt. ten opzichte van het zeefgoed.
 - Voor de input van kalkmelk is aangenomen dat dit een oplossing is van CaO in water met een (maximale) concentratie van 1,85 g Ca(OH)₂/l en dat kalkmelk een dichtheid van 1 kg/l heeft.
- Vergisting:
 - De biogasproductie is hier bepaald op basis van een specifieke biogasopbrengst van 0.725 Nm³/ton organische droge stof. Deze is empirisch bepaald voor zeefgoed (Opure, 2017) en dus relevant voor Fijnzeefroute B, maar aangenomen is dat deze waarde ook geldig is voor de reststroom van glucoseproductie in Fijnzeefroute A. Hierbij is dus afgeweken van de aangeleverde gegevens, waarin geen onderscheid werd gemaakt tussen de biogasopbrengst per ton inputmateriaal in Fijnzeefroute A en Fijnzeefroute B.
 - In de standaardanalyse is ervan uitgegaan dat glucoseproductie, vergisting en digestaatverbranding op dezelfde locatie plaatsvinden (Wijster). In werkelijkheid bleek vergisting van de reststroom uit glucoseproductie alleen in Groningen uit te voeren. Deze situatie is meegenomen in een gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 3.4.2).
 - Er zijn geen hulpstoffen meegenomen voor de opwerking van biogas tot groengas.
- Digestaatverbranding: de verbrandingswaarde van het digestaat is niet precies bekend. Voor beide zeefgoedroutes is gerekend met een bandbreedte van 1,5 tot 5,0 MJ/kg, en een standaardwaarde van 4,0 MJ/kg.

Tabel 2 - Inventarisatie Attero voor Fijnzeefroutes A (glucoseproductie) en B (directe vergisting). Alle waarden zijn indicatief en uitgedrukt per ton (n.s.) zeefgoed input en geven productie op industriële schaal weer. Primaire bron: (Attero, 2018)

Stroom	Waarde (bandbreedte)		Eenheid	Opmerkingen
	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B		
Glucoseproductie				
<i>Input</i>				
Zeefgoed	1	N.v.t.	ton	
Elektriciteit	83 (64-166)	N.v.t.	kWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Hogedrukstoom uit AEC	4,7 (2,1-7,3)	N.v.t.	GJ	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: versimpelde modellering CE Delft.
Enzymen	12,2 (2,2-22,2)	N.v.t.	kg	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: modellering op basis van (Gilpin & Andrae, 2017).
Kalkmelk	0,05 (0,05-0,15)	N.v.t.	ton	Omgerekend naar benodigde CaO. Aanname: 1,85 g Ca(OH) ₂ /l kalkmelk. Procesdata: Ecoinvent.
Zwavelzuur	0,025 (0-0,05)	N.v.t.	ton	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: Ecoinvent.
Leidingwater	0,65 (0,65-0,9)	N.v.t.	ton	Procesdata: Ecoinvent.
<i>Output</i>				
Glucose	0,11	N.v.t.	ton	Vermijdt reguliere glucoseproductie (zie Paragraaf 2.1.4). Procesdata: Ecoinvent (waterbalans aangepast door CE Delft).

Stroom	Waarde (bandbreedte)		Eenheid	Opmerkingen
	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B		
Reststroom	0,77	N.v.t.	ton	Naar vergisting. 30% droge stof, 83% organische stof (van droge stof).
Vergisting				
<i>Input</i>				
Reststroom	0,77	N.v.t.	ton	Uit glucoseproductie.
Zeefgoed	nvt	1	ton	
Elektriciteit, vergisting	68	115	kWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Elektriciteit, opwerking biogas	33	57	kWh	Opwerking biogas (60% CH ₄) tot groengas (89% CH ₄). Expert judgment. Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
<i>Output</i>				
Groengas	68	153	Nm ³	Vermijdt productie en verbranding aardgas (zie Paragraaf 2.1.4). Waarde gecorrigeerd voor intern gebruikt biogas en voor opwerking. Procesdata: Ecoinvent, (RVO, 2017).
Digestaat	0,08 (0,07-0,09)	0,13 (0,12-0,16)	ton	Naar verbranding.
<i>Emissies</i>				
CH ₄	0,3	0,7	kg	Weglek CH ₄ . Aangenomen is dat 0,75% van de geproduceerde methaan weglegt (Ecoinvent).
Verbranding				
<i>Input</i>				
Digestaat	0,08 (0,07-0,09)	0,13 (0,12-0,16)	ton	
<i>Output</i>				
Elektriciteit	55 (21-93)	94 (35-157)	MJ	Vermijdt opwekking gemiddelde Nederlandse elektriciteit/warmte. De bandbreedte komt voort uit verbrandingswaardes van 1 tot 5 MJ/kg (bovenop de bandbreedte in hoeveelheid digestaat).
Warmte	14 (5-23)	24 (9-39)	MJ	Er is uitgegaan van het elektrische/thermische rendement van Attero's digestaatverbranding. Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
<i>Overig</i>				
Emissies en hulpstoffen			Proxy voor procesdata: Ecoinvent (Biowaste {CH} treatment of, municipal incineration with fly ash extraction).	

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de milieuanalyse weergegeven. We bekijken eerst de resultaten van de basisanalyse, waarin de focus ligt op de klimaatimpact (Paragraaf 3.1) en de endpointresultaten (Paragraaf 3.2). Daarnaast wordt de bijdrage van het glucoseproductieproces in Fijnzeefroute A kort eruit gelicht (Paragraaf 3.3). In een aantal gevoeligheidsanalyses wordt tot slot een aantal onzekerheden onderzocht (Paragraaf 3.3).

Voor dit hoofdstuk geldt dat alle waarden worden uitgedrukt als het verschil dat de fijnzeefroutes maken ten opzichte van de referentieroute en per jaar. In alle grafieken en tabellen in dit hoofdstuk zijn lagere waarden dus beter en geven negatieve waarden aan dat een milieu-impact lager is voor de fijnzeefroute dan voor de referentieroute. De gedetailleerde resultaten (voor alle milieueffecten) zijn te vinden in Bijlage A.

3.1 Klimaatimpact

De klimaatimpact van de twee fijnzeefroutes is weergegeven in Figuur 5. Fijnzeefroute A zorgt (in het gemiddelde geval) voor een afname in klimaatimpact van ca. 100 ton CO₂-equivalent (eq.) per jaar ten opzichte van de referentie. De klimaatimpact van Fijnzeefroute B ca. 730 ton CO₂-eq./jaar lager ligt dan die van de referentie.

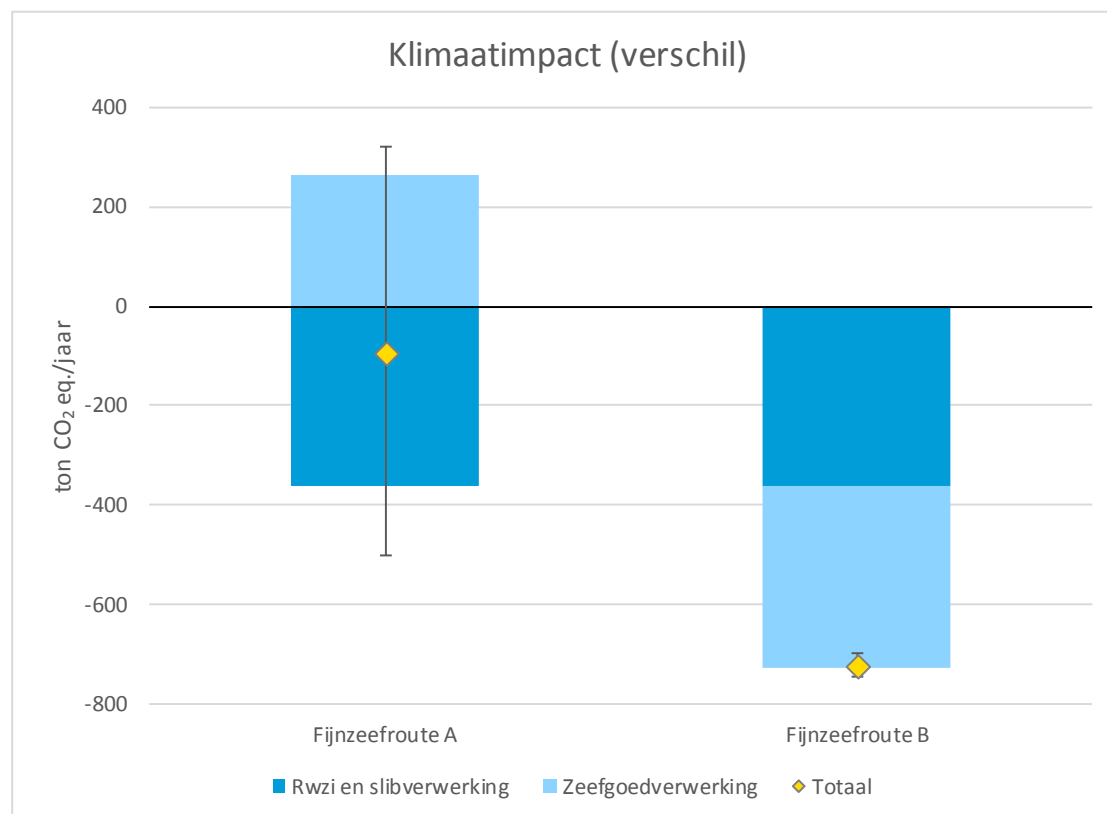
De opbouw van het totaalresultaat laat zien dat in beide gevallen de veranderingen bij de RWZI en slibverwerking een gunstig effect hebben op de klimaatimpact (ca. 360 ton CO₂-eq./jaar). De klimaatimpact van de zeefgoedverwerking verschilt echter sterk; Fijnzeefroute A levert netto een toename in klimaatimpact op terwijl Fijnzeefroute B een reductie bewerkstelligt.

De foutenbalken op het totaalresultaat geven de onzekerheid weer die bepaald is aan de hand van de hoge/lage waarden uit Tabel 1 en Tabel 2. De onzekerheid is met name groot voor Fijnzeefroute A; in het gunstigste geval is de totale klimaatimpact 500 ton CO₂-eq./jaar, terwijl deze in het ongunstigste geval op ca. 320 ton CO₂-eq./jaar uitkomt; een toename in de totale klimaatimpact ten opzichte van de referentie. De grotere onzekerheid in Fijnzeefroute A komt door de grote bandbreedtes die gebruikt zijn voor het glucoseproductieproces (Tabel 2). De onzekerheid in het gebruik van energie (elektriciteit, warmte) en hulpstoffen (vooral de gebruikte enzymen) hebben met name een grote invloed op dit resultaat.

Om deze onzekerheid in perspectief te plaatsen bekijken we kort de variatie in klimaatimpact die van jaar tot jaar optreedt op de RWZI. HHNK heeft bij de inventarisatie aangegeven dat het gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsverbruik van een installatie van 100.000 i.e. zonder fijnzeef kan variëren tussen ca. 3.400 en 3.600 MWh/jaar (in de basisanalyse is gerekend met ca. 3.500 MWh/jaar), terwijl het gasgebruik kan variëren tussen 12.000 en 27.000 m³ per jaar. Het verschil van 200 MWh hiertussen komt overeen met een klimaatimpact van ongeveer 82 ton CO₂-eq. (elektriciteit) en 27 ton CO₂-eq. (gas).

Verder kan opgemerkt worden dat de klimaatresultaten anders zullen uitvallen voor RWZI's die slib vergisten. Het vergisten van slib scoort qua klimaatimpact beter dan drogen en verbranden, waardoor het effect van het installeren van een fijnzeef kleiner wordt. Voor beide fijnzeefroutes wordt geschat³ dat hiermee het verschil met de referentie ca. 118 ton CO₂-eq./jaar kleiner wordt, in het nadeel van de fijnzeefroutes. Fijnzeefroute A komt daarmee op 21 ton CO₂-eq./jaar (het plaatsen van de fijnzeef zorgt voor een hogere klimaatimpact) en Fijnzeefroute B op -608 ton CO₂-eq./jaar.

Figuur 5 - Klimaatimpact van Fijnzeefroutes A en B ten opzichte van de referentieroute. De foutenbalken geven de invloed van de best case en worst case weer



3.2 Endpoints

In Tabel 3 worden de endpointresultaten getoond. Hierin zijn verschillende milieueffecten (*midpoints* zoals klimaatimpact, verzuring en grondstofuitputting) gecombineerd tot scores op drie indicatoren: menselijke gezondheid/human health, ecosystemen/ecosystems en grondstoffen/resources (*endpoints*). Ten opzichte van de resultaten in Paragraaf 3.1 worden hier dus meer milieueffecten meegenomen (niet alleen de klimaatimpact). Een beknopte beschrijving van de methodologie is opgenomen in Bijlage B.

³ Er is hierbij uitgegaan van gegevens over slibgisting die door HHNK zijn aangeleverd (5-6-2018), bijv. dat 35% van de organische droge stof afgebroken wordt en dat de CH₄-opbrengst 490 liter bedraagt per kg afgebroken organische droge stof. Voor overige informatie (bijv. energieverbruik vergisting, digestaatverbranding) is uitgegaan van het vergistingsproces zoals dit bij Attero plaatsvindt (zie ook Tabel 2).



Tabel 3 laat zien dat Fijnzeefroute A op menselijke gezondheid en grondstoffen beter scoort dan de referentieroute (negatieve waarden); op ecosystemen scoort Fijnzeefroute A slechter (positieve waarde). Ook hier is de onzekerheid groot; de bandbreedtes laten zien dat Fijnzeefroute A op ecosystemen beter scoort dan de referentieroute wanneer uitgegaan wordt van het best case scenario. Daarnaast is te zien dat Fijnzeefroute B op alle endpoints beter scoort dan Fijnzeefroute A in het gemiddelde geval. Ook als de worst case en best case bekeken worden scoort Fijnzeefroute B doorgaans beter dan Fijnzeefroute A; alleen bij ecosystemen komt het voor (in de best case van Fijnzeefroute A) dat Fijnzeefroute A beter scoort.

Een aantal milieueffecten hebben grote invloed op deze endpointresultaten. Met name de klimaat-impact (global warming) draagt bij aan de verschillen op menselijke gezondheid en ecosystemen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. Daarnaast zien we dat fossiele brandstoffen (fossil resources) de resultaten voor grondstoffen bepalen.

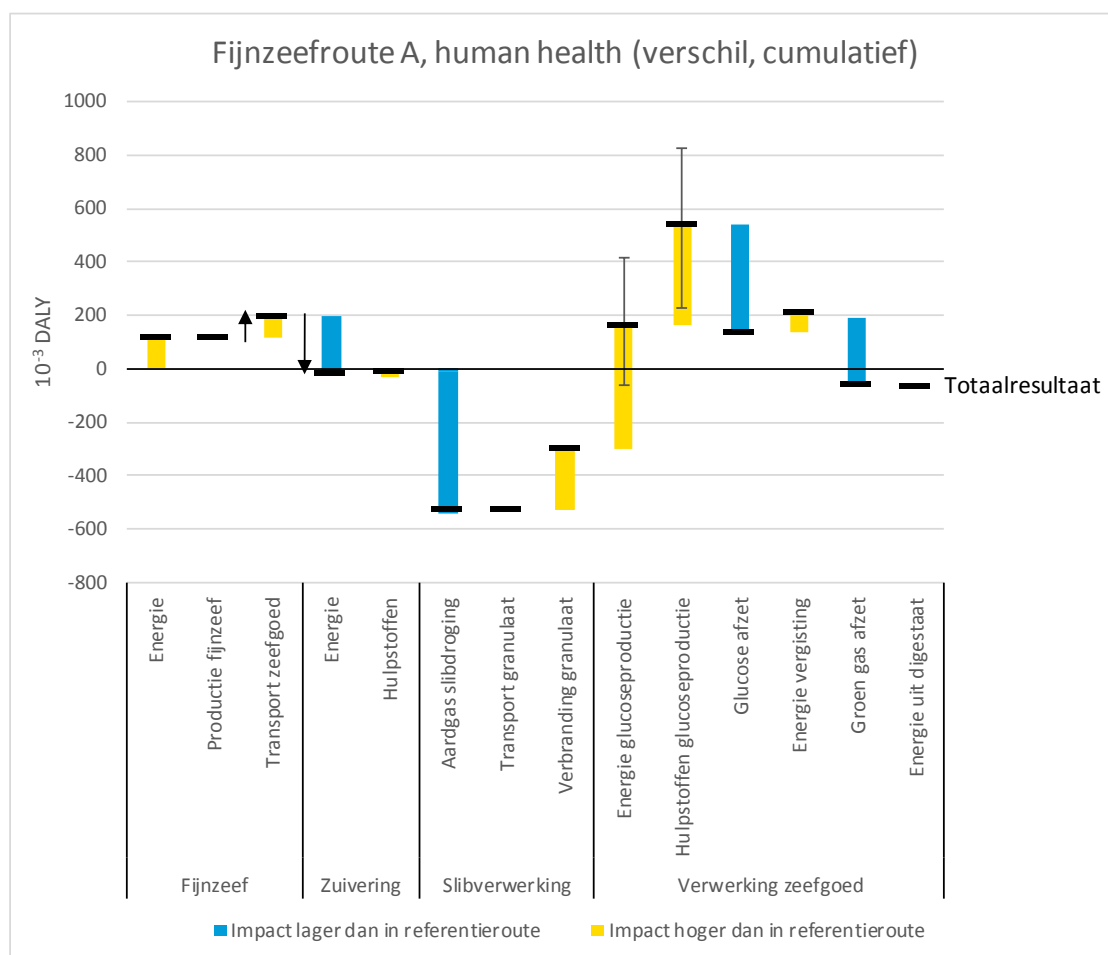
Tabel 3 - Endpointresultaten voor Fijnzeefroute A en B ten opzichte van de referentieroute. De waarden tussen haakjes geven de spreiding tussen de worst en best case weer. Per milieueffect wordt de bijdrage aan de totale endpoint weergegeven

	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B
Totaal human health, 10⁻³ DALY/jaar	● -62 (-627 tot 511)	● -631 (-651 tot -605)
Global warming, Human health	-90	-674
Stratospheric ozone depletion	-2	-1
Ionizing radiation	0	0
Ozone formation, Human health	0	0
Fine particulate matter formation	70	36
Human carcinogenic toxicity	3	5
Human non-carcinogenic toxicity	-33	1
Water consumption, Human health	-10	2
Totaal ecosystems, 10⁻⁶ species.yr/jaar	● 103 (-3.502 tot 3.578)	● -1.859 (-1.916 tot -1.778)
Global warming, Terrestrial ecosystems	-270	-2.035
Global warming, Freshwater ecosystems	0	0
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	-11	26
Terrestrial acidification	71	72
Freshwater eutrophication	-12	2
Marine eutrophication	-1	0
Terrestrial ecotoxicity	-1	0
Freshwater ecotoxicity	0	0
Marine ecotoxicity	0	0
Land use	390	62
Water consumption, Terrestrial ecosystem	-62	14
Water consumption, Aquatic ecosystems	0	0
Totaal resources, USD2013/jaar	● -123.740 (-131.027 tot -113.677)	● -152.319 (-155.970 tot -148.307)
Mineral resource scarcity	13	12
Fossil resource scarcity	-123.754	-152.332

Om beter te begrijpen hoe deze resultaten tot stand komen richten we ons nu op de opbouw van de endpointresultaten voor menselijke gezondheid. Hieronder is voor Fijnzeefroute A (Figuur 6) en Fijnzeefroute B (Figuur 7) per procesonderdeel weergegeven wat de impact op menselijke gezondheid is

ten opzichte van de referentieroute. De grafiek is cumulatief: iedere processtap begint bij het tussenresultaat van het voorgaande proces. De laatste stap komt dus op het eindresultaat van $-62 \cdot 10^{-3}$ DALY (Tabel 3) uit. Foutbalken worden gebruikt om per proces het verschil tussen de best case en worst case aan te geven.

Figuur 6 - Opbouw van resultaten voor menselijke gezondheid per processtap voor Fijnzeefroute A ten opzichte van de referentieroute. De foutbalken geven het verschil tussen de best case en worst case aan



In Figuur 6 en Figuur 7 is er geen verschil te zien in de processen die bij de fijnzeef, zuivering en slibverwerking horen; deze stappen zijn immers ook identiek in beide fijnzeefroutes (Paragraaf 2.1.2). Voor de RWZI is te zien dat de fijnzeef energie (elektriciteit) nodig heeft, maar dat de impact hiervan gecompenseerd wordt doordat het energieverbruik bij de zuivering omlaag gaat. Ook is minder aardgas nodig bij de slibverwerking omdat er minder slib aangeleverd wordt. De verminderde slibproductie zorgt ervoor dat minder aardgas nodig is voor slibdroging, wat een groot voordeel oplevert op deze indicator.

Bij de verwerking van het zeefgoed worden de verschillen tussen de routes duidelijk. De glucoseproductie uit Fijnzeefroute A (Figuur 6) vergt relatief veel energie en hulpmiddelen. De gezondheidsimpact van de energie en hulpstoffen is hoger dan het gezondheidsvoordeel van de productie (afzet) van glucose, dat voortkomt uit het feit dat elders minder glucose geproduceerd hoeft te worden (substitutie; Paragraaf 2.1.4).

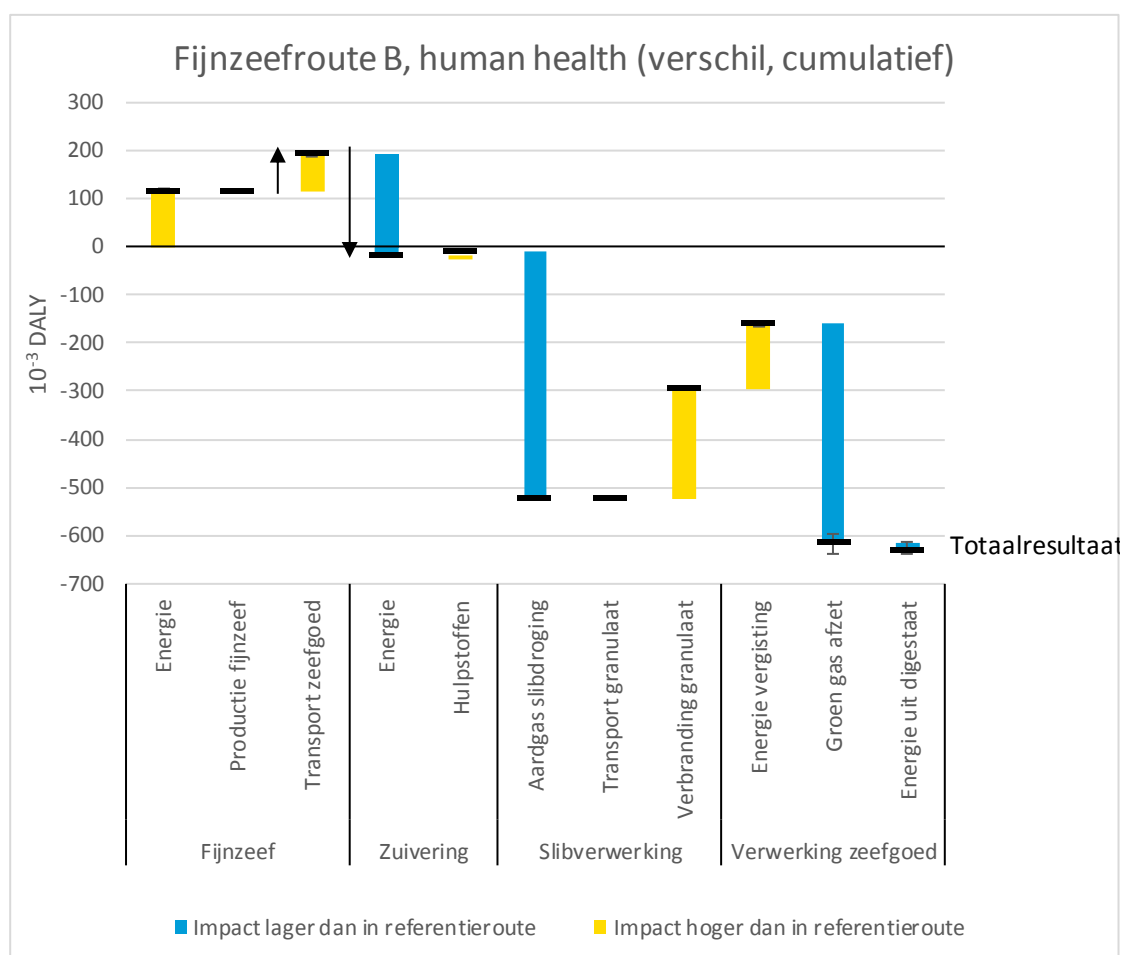
Overigens zijn de onzekerheden hier groot (zie foutenbalken); als uitgegaan wordt van lage waarden voor het energie- en hulpstoffengebruik van glucoseproductie dan levert de zeefgoedverwerking in Fijnzeefroute A netto wel een milieuvoordeel op.

Tot slot levert de afzet van groengas voor beide fijnzeefroutes een aanzienlijk milieuvoordeel op ten opzichte van de referentieroute. Omdat Fijnzeefroute B meer groengas produceert (en dus meer conventionele productie substitueert) levert dit ook een groter voordeel op (lagere impact op menselijke gezondheid).

Concluderend blijkt uit deze analyse dat Fijnzeefroute B beter scoort op menselijke gezondheid dan Fijnzeefroute A omdat er aanzienlijk meer groengas geproduceerd wordt, terwijl de glucoseproductie van Fijnzeefroute A netto geen milieuvoordeel oplevert door het energie- en hulpstoffengebruik.

De resultaten voor de andere twee endpoints, ecosystemen en grondstoffen, komen op een vergelijkbare manier tot stand en worden hier daarom niet verder besproken.

Figuur 7 - Opbouw van resultaten voor menselijke gezondheid per processtap voor Fijnzeefroute B ten opzichte van de referentieroute. De foutenbalken geven het verschil tussen de best case en worst case aan



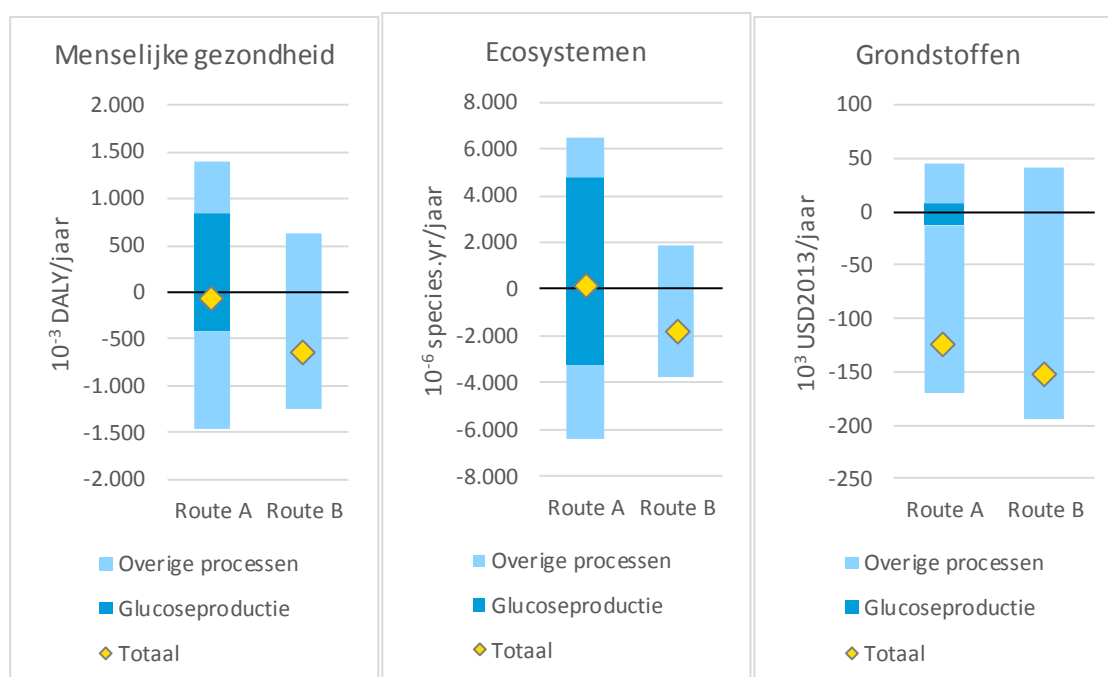
3.3 Glucose

In Figuur 8 worden de endpointresultaten van Fijnzeefroutes A en B in één figuur getoond (ten opzichte van de referentieroute). De opbouw wat betreft milieunadelen (hogere impact dan referentieroute) en milieuvordelen (lagere impact) wordt weergegeven, en voor Fijnzeefroute A tonen we het aandeel van het glucoseproductieproces in deze voor- en nadelen.

De figuur laat zien dat het glucoseproductieproces in Fijnzeefroute A een aanzienlijk deel van de milieunadelen voor de indicatoren voor menselijke gezondheid en ecosystemen veroorzaakt.

Daarnaast zien we dat voor deze zelfde indicatoren de milieuvordelen van glucoseproductie kleiner zijn dan de milieunadelen. Voor grondstoffen zijn de voor- en nadelen ongeveer gelijk.

Figuur 8 - Aandeel van glucoseproductie in de opbouw van de endpointresultaten voor Fijnzeefroutes A en B ten opzichte van de referentieroute



3.4 Gevoeligheidsanalyses

We onderzoeken hier twee aanvullende cases: het meenemen van methaanemissies op de RWZI (Paragraaf 3.4.1) en alternatieve transportafstanden bij de zeefgoedverwerking (Paragraaf 3.4.2).

3.4.1 Broeikasgasemissies op RWZI

Op de RWZI vinden mogelijk emissies plaats van de broeikasgassen CH₄ en N₂O. Hierover is geen informatie aangeleverd, dus deze zijn niet meegenomen in de basisanalyse (Paragraaf 3.1). Het plaatsen van de fijnzeef kan echter wel invloed hebben op deze emissies, dus worden ze hier nader onderzocht.

We bekijken hier de invloed van CH₄-emissies. De plaatsing van de fijnzeef heeft geen invloed gehad op de N-Kj waarden van het influent naar de zuivering, waardoor N₂O-emissies hoogstwaarschijnlijk niet verschillen tussen de onderzochte routes. De emissies van CH₄ kunnen echter wel verschillen

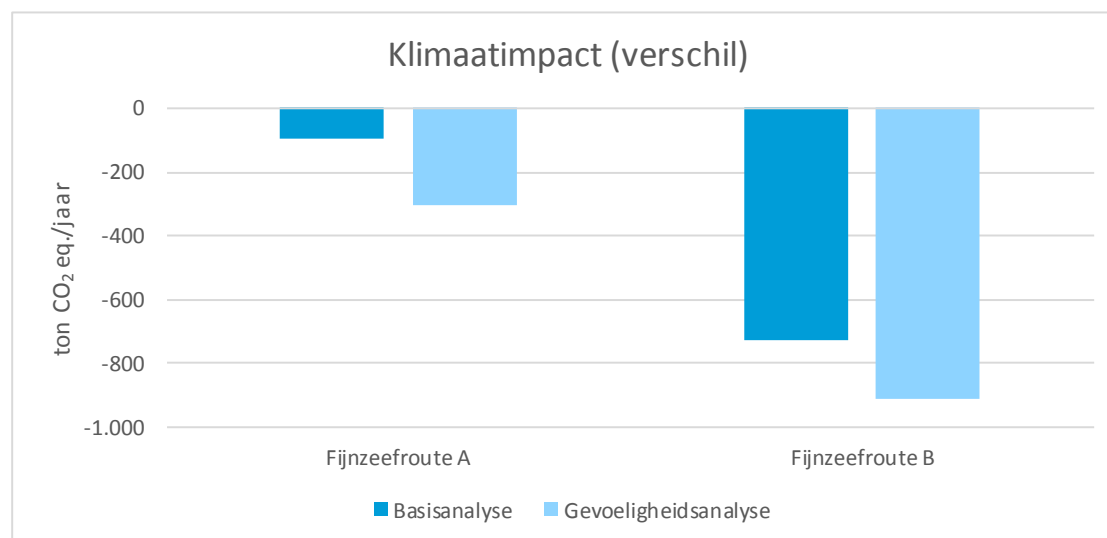
tussen de routes; het plaatsen van de fijnzeef heeft het CZV-gehalte⁴ van het influent verlaagd met ca. 18,9% (Neef, 2017). Naar verwachting zijn de CH₄-emissies proportioneel gedaald na het installeren van de fijnzeef.

We berekenen hier de CH₄-emissies in zowel de fijnzeefroutes als de referentieroute om de invloed van het CZV-verwijderingsrendement van de fijnzeef te bepalen. We gaan uit van een CH₄-emissiefactor van 0,00875 kg CH₄/(kg CZV_{aanvoer} – kg CZV_{slib}) op basis van (STOWA, 2014). De CZV-vracht voor de aanvoer/het influent is 557 kg CZV/uur (Neef, 2017). Hierbij is aangenomen dat de RWZI continu deze influent verwerkt (24 uur per dag, 365 dagen per jaar). De CZV-gehalte van de sliboutput is bepaald op basis van 1,42 kg CZV/kg organische droge stof in surplusslib (expert judgment) en de slibhoeveelheden uit de inventarisatie⁵.

Figuur 9 geeft de klimaatimpact van de fijnzeefroutes weer (ten opzichte van de referentieroute). Hier is uitgegaan van de gemiddelde waarden uit de inventarisatie. Ten opzichte van de basisanalyse zorgt het meenemen van de CH₄-emissies ervoor dat de fijnzeefroutes allebei beter scoren. De totale klimaatimpact gaat omhoog (we nemen immers meer broeikasgasemissies mee), maar ze stijgen sterker in de referentieroute dan in de fijnzeefroutes waardoor het verschil groter wordt.

Doordat het CZV-gehalte van de inputstroom kleiner is in de fijnzeefroutes, wordt het verschil met de referentieroute zo'n 200 ton CO₂-eq./jaar groter waardoor de fijnzeefroutes beter scoren. In dit geval levert ook Fijnzeefroute A een klimaatvoordeel op ten opzichte van de referentieroute (negatieve waarde in Figuur 9). Dit geeft aan dat de CH₄-emissies een belangrijke determinant zijn van de klimaatimpact van de fijnzeefroutes. Deze gevoeligheidsanalyse betreft een modellering om zicht te krijgen in de mogelijke invloed van deze emissies. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen zou dit in de praktijk nader onderzocht moeten worden.

Figuur 9 - Gevoeligheidsanalyse voor CH₄-emissies op RWZI - klimaatimpact van de fijnzeefroutes (verschil ten opzichte van de referentieroute)



⁴ Chemisch zuurstofverbruik.

⁵ Verder is aangenomen dat het droge stofgehalte en organische stofgehalte in slib gelijk zijn aan die van het zeefgoed, waarover wel informatie bekend is.

3.4.2 Transport zeefgoedverwerking

In de basisanalyse is ervan uitgegaan dat in Fijnzeefroute A het zeefgoed (geproduceerd op RWZI Beemster, Noord-Holland) per truck vervoerd wordt naar Wijster (Drenthe) voor glucoseproductie, vergisting en digestaatverbranding. Attero heeft echter aangegeven dat de vergister in Wijster niet geschikt is voor de reststroom van glucoseproductie, en dat deze naar Groningen vervoerd zou moeten worden. Aan de andere kant zou het gemakkelijker zijn als alle zeefgoedverwerkingsprocessen zouden plaatsvinden in de buurt van Beemster. De milieu-impacts van deze twee alternatieve systemen (vergisting in Groningen en zeefgoedverwerking in Noord-Holland) worden hier onderzocht.

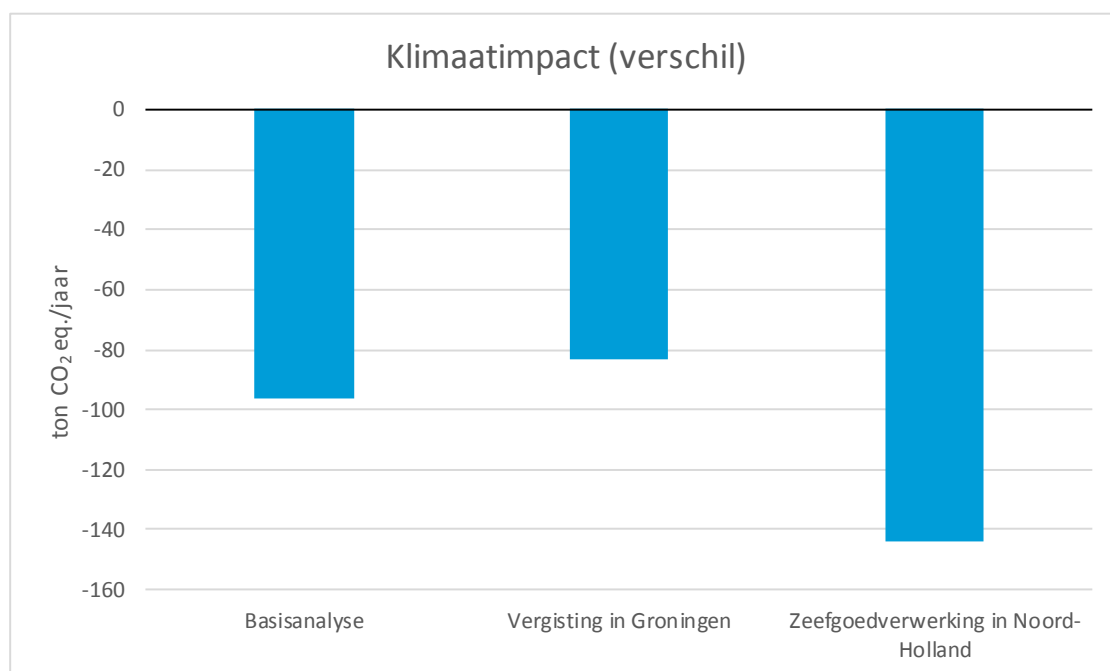
Tabel 4 geeft de aannames voor de twee alternatieven weer. Voor de Noord-Hollandcase is aangenomen dat het zeefgoed over 10 km vervoerd moet worden. Verder is de analyse gebaseerd op de gemiddelde waarden uit de inventarisatie.

Tabel 4 - Gevoeligheidsanalyse transport voor Fijnzeefroute A

Case	Basisanalyse Fijnzeefroute A (Paragraaf 3.1)	Vergisting in Groningen	Zeefgoedverwerking in Noord-Holland
Transport zeefgoed	190 km	190 km	10 km
Transport reststroom	0 km	58 km	0 km
Transport digestaat	0 km	58 km	0 km
Totaal transport	297.920 tonkm/jaar	375.432 tonkm/jaar	15.680 tonkm/jaar

Figuur 10 toont de resultaten van bovenstaande drie cases voor de klimaatimpact van Fijnzeefroute A ten opzichte van de referentieroute. Te zien is dat extra transport (vergisting in Groningen) ervoor zorgt dat het verschil met de referentieroute ca. 13% kleiner wordt. Als juist minder transport nodig is (zeefgoedverwerking in Noord-Holland) dan wordt het verschil ca. 50% groter.

Figuur 10 - Gevoeligheidsanalyse voor alternatieve transportafstanden - klimaatimpact van de fijnzeefroutes (verschil ten opzichte van de referentieroute)



4 Interpretatie

De voorgaande milieuanalyse is een verschilanalyse: er is enkel gekeken naar de verschillen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. Dit betekent dat onzekerheden in data die én in de referentie én in de fijnzeefroutes voorkomen, zoals bijvoorbeeld elektriciteitsgebruik op de zuivering, buiten beschouwing zijn gelaten. Het blijkt dat de verschillen tussen Fijnzeefroute A en B groot zijn.

Fijnzeefroute A heeft in het gemiddelde scenario een lagere klimaatimpact dan de referentie-verwerkingsroute van ca. 100 ton CO₂-eq. per jaar. De onzekerheid van dit resultaat is echter groot; de resultaten lopen uiteen van -320 ton CO₂-eq./jaar (een toename in klimaatimpact) tot 500 ton CO₂-eq./jaar. In de worst case is het dus mogelijk dat de route slechter scoort dan de referentie.

Op endpointniveau geldt dat Fijnzeefroute A een nadeel heeft ten opzichte van de referentie voor het effect op ecosystemen. Fijnzeefroute A scoort wel voordelig op de endpoints menselijke gezondheid en grondstoffen.

Fijnzeefroute B heeft in het gemiddelde scenario een voordeel ten opzichte van de referentie van 730 ton CO₂-eq. per jaar. Voor Fijnzeefroute B geldt dat op alle drie de endpoints een voordeel ten opzichte van de referentie wordt geboekt.

RWZI

Voor beide fijnzeefroutes geldt dat de klimaatimpact op de RWZI (dus exclusief zeefgoedverwerking) 360 ton CO₂-eq. per jaar lager is ten opzichte van de referentie.

Gevoeligheidsanalyse RWZI

Het is mogelijk dat er op de zuivering additionele voordelen worden geboekt, die door HHNK nog niet in beeld zijn gebracht. Specifiek gaat het daarbij om broeikasgasemissies. Aangezien afvalwater met een lager CZV-gehalte naar de zuivering gaat (na de fijnzeef), is het mogelijk dat CH₄-emissies op de zuivering afnemen. Dit heeft invloed op de klimaatimpact. Als bestaande proxy's worden gebruikt voor een eerste orde-grootte berekening, blijkt dat dit voor beide fijnzeefroutes zorgt voor een grotere reductie in klimaatimpact. Het is dus zeker de moeite waard om dit in de praktijk te verifiëren.

Onzekerheid gegevens glucoseproductie

Vooral wat betreft de gegevens voor de verwerking van het zeefgoed in Fijnzeefroute A bestaat grote onzekerheid. De variatie tussen de best case en de worst case wat betreft gebruik van elektriciteit, stoom en enzymen is groot. In het algemeen scoort Fijnzeefroute B echter vrijwel altijd beter (ook als de best case van Route A wordt vergeleken met de worst case voor Route B). Enkel voor ecosystemen geldt dat de best case van Route A beter is dan Route B. Hoe waarschijnlijk het is dat dit in praktijk zo zou uitvallen is onzeker.

Kosteneffectiviteit CO₂-reductie

In de gelijktijdig uitgevoerde economische analyse over het Cellu2PLA-project worden de jaarlijkse kosten van het plaatsen van de fijnzeef voor HHNK geschat op tussen 69.007 €/jaar (inclusief waardering capaciteitsuitbreiding) en 274.391 €/jaar (exclusief waardering capaciteitsuitbreiding) (CE Delft, 2018). Door de twee analyses te combineren kan de kosteneffectiviteit van CO₂-reductie berekend worden. Deze zijn weergegeven in Tabel 6.

De kosteneffectiviteit van Fijnzeefroute A ligt tussen de 700 en 2.800 €/ton CO₂-eq. Voor Fijnzeefroute B ligt de geschatte kosteneffectiviteit tussen de 95 en 380 €/ton CO₂-eq. Fijnzeefroute B scoort hier aanzienlijk beter vanwege de hogere reductie in klimaatimpact (zie bijv. Figuur 5). In (CE Delft, 2018) worden deze resultaten verder geduid.

Tabel 5 - Kosteneffectiviteit fijnzeef als CO₂-reductiemaatregel (€/ton CO₂-eq.)

Inclusief waardering capaciteitsuitbreiding?	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B
Nee	2.843	378
Ja	715	95

5 Literatuur

- Attero, 2018. *Persoonlijke communicatie*. sl:sn
- CE Delft, 2015. *STREAM personenvervoer 2014 - Studie naar TRansportemissies van Alle Modaliteiten Emissiekentallen 2011. Rapport 1.1*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018. *Economische analyse Cellu2PLA - Businesscases fijnzeefinstallatie op RWZI Beemster en kostprijsvergelijking glucose uit zeefgoed*, Delft: CE Delft.
- Gilpin, G. & Andrae, A., 2017. Comparative attributional life cycle assessment of European cellulase enzyme production for use in second-generation lignocellulosic bioethanol production. *International Journal of Life Cycle Assessment* 22, pp. 1034-1053.
- HHNK, 2018. *Persoonlijke communicatie*. sl:Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- Neef, R., 2017. *Cellu2PLA Monitoring RWZI Beemster*, sl: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en STOWA.
- Opure, 2017. *Analysebericht: Onderzoek vergistbaarheid Zeefgoed*, sl: sn
- RIVM, 2016. *ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*, Bilthoven: RIVM.
- RVO, 2017. *Nederlandse lijst Energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren*, sl: RVO.
- STOWA, 2014. *Luchtgerelateerde emissies vanuit rwzi's in het kader van de I-PRTR*, Amersfoort: STOWA.
- STOWA, 2016. *Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater*, Amersfoort: STOWA.



A Resultaten in detail

A.1 Midpoint

Tabel 6 geeft alle midpointresultaten weer. Hierin zijn dus naast de klimaatimpact (*global warming*) uit Paragraaf 3.1 ook andere milieueffecten meegenomen.

Tabel 6 - Midpointresultaten voor Fijnzeefroutes A en B ten opzichte van de referentieroute

Milieueffect	Eenheid	Fijnzeefroute A			Fijnzeefroute B		
		Best case	Gemiddelde	Worst case	Best case	Gemiddelde	Worst case
Global warming	kg CO ₂ -eq.	-503.003	● -96.528	320.626	-746.528	● -726.562	-699.991
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11-eq.	-3	● -3	-3	-2	● -2	-2
Ionizing radiation	kBq Co-60-eq.	-229	● 25	669	1.497	● 1.519	1.610
Ozone formation, Human health	kg NO _x -eq.	-149	● -74	35	219	● 218	215
Fine particulate matter formation	kg PM _{2,5} -eq.	-178	● 111	396	56	● 57	60
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x -eq.	-165	● -89	22	205	● 204	202
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	-669	● 337	1.360	333	● 338	355
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-21	● -18	-15	2	● 2	3
Marine eutrophication	kg N-eq.	-547	● -524	-501	1	● 1	1
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-198.025	● -76.728	40.185	39.097	● 39.506	41.049
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-501	● -440	-379	114	● 110	100
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-187	● -44	94	302	● 290	265
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	991	● 979	984	1.394	● 1.360	1.290
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	-159.802	● -145.226	-130.626	3.706	● 3.695	3.746
Land use	m ² a crop-eq.	-206.712	● 43.881	274.777	6.956	● 6.998	7.281
Mineral resource scarcity	kg Cu-eq.	-46	● 58	157	53	● 53	53
Fossil resource scarcity	kg oil-eq.	-348.763	● -308.917	-258.116	-415.833	● -405.314	-392.747
Water consumption	m ³	-5.711	● -4.578	-2.991	1.008	● 1.019	1.063

A.2 Endpoint

Tabel 7 geeft de endpointresultaten in detail weer. Hierin zijn de milieueffecten uit Paragraaf A.1 geaggregeerd tot drie indicatoren (Bijlage B).

Tabel 7 - Endpointresultaten voor Fijnzeefroutes A en B ten opzichte van de referentieroute

Milieueffect	Eenheid	Fijnzeefroute A			Fijnzeefroute B		
		Best case	Gemiddelde	Worst case	Best case	Gemiddelde	Worst case
Human health	DALY	-0,6265	● -0,0619	0,5108	-0,6506	● -0,6314	-0,6050
Ecosystems	species.yr	-0,0035	● 0,0001	0,0036	-0,0019	● -0,0019	-0,0018
Resources	USD2013	-131.027	● -123.740	-113.677	-155.970	● -152.319	-148.307

B ReCiPe-methode

Deze bijlage geeft een inleiding tot de ReCiPe-methodologie die gebruikt is in deze milieuanalyse

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

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

Endpoints: Effectgerichte milieueffecten zoals impacts op natuur, mensen en grondstoffen. In de ReCiPe-methodologie worden de 17 midpoints gecategoriseerd naar 3 endpoints, zie Tabel 8. Op endpointniveau zijn de milieueffecten genormaliseerd en omgerekend naar schades op het gebied van drie endpointcategorieën:

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

Tabel 8 - Milieueffectcategorieën, eenheden en weegfactoren volgens ReCiPe 2016

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

Bron: (RIVM, 2016).

