



mLCA MID MIX

Multilevenscyclusanalyse van MID MIX-
proces en vier nabewerkingsroutes



mLCA MID MIX

Multilevenscyclusanalyse van MID MIX-proces en vier nabewerkingsroutes

Dit rapport is geschreven door:
Isabel Nieuwenhuijse, Meis Uijttewaal, Marijn Bijleveld

Delft, CE Delft, april 2022

Publicatienummer: 22.210286.061

Slib / Slibverwerkingsbedrijven / Procestechologie / LCA / Producten / Milieu / Effecten
VT: Nabewerken / Gevoeligheidsanalyses

Opdrachtgever: GMB BioEnergie BV

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Isabel Nieuwenhuijse (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 44 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
	Lijst met definities	6
1	Introductie	7
2	Methode	9
	2.1 Doelstelling	9
	2.2 Afbakening	9
	2.3 Dataverzameling, -kwaliteit en onzekerheden	12
	2.4 Beoordeling resultaten volgens LAP3	12
	2.5 Gevoeligheidsanalyses	14
3	Levenscyclusinventarisatie	15
	3.1 Massabalans en uitgangspunten	15
	3.2 Gebruikte gegevens	17
4	Resultaten	20
	4.1 Resultaten op midpointniveau (milieu-indicatoren)	20
	4.2 Resultaten op endpoint-niveau (schade)	22
	4.3 Resultaten op Single Score-niveau (gewogen milieuscore)	22
	4.4 Contributieanalyse	23
	4.5 Gevoeligheidsanalyse	25
5	Conclusies en aanbevelingen	32
	5.1 Conclusies	32
	5.2 Aanbevelingen	33
6	Literatuur	34
A	Alle resultaten in tabelvorm	35
B	Proceskaarten in modellering	37

Samenvatting

GMB BioEnergie (GMB) is in gesprek met VSGM over het slibeindverwerkingsproces MID MIX. Uit een analyse van Stibbe, gemaakt in de scopingsfase van dit project, is gebleken dat op basis van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3, (RWS, 2021)) de uitvoering van een mLCA wenselijk is om te beoordelen of een omgevingsvergunning milieu kan worden verleend voor het MID MIX-proces. Het gaat hier om een verwerking die nog niet gangbaar is in Nederland, en die niet is genoemd als toegestane verwerkingstechniek in de minimumstandaard uit Sectorplan 16. Het was daarom wenselijk om de milieueffecten inzichtelijk te maken voor toetsing aan de minimumstandaard.

CE Delft heeft deze mLCA uitgevoerd voor het MID MIX-proces en de producten uit vier potentiële nabewerkingsroutes. We vergelijken deze MID MIX-routes met de minimumstandaard voor het verwerken van slibkoek in Nederland uit Sectorplan 16 van het LAP3: slibverbranding waarbij elektriciteit wordt opgewekt. Dit is een samenvatting van de belangrijkste uitgangspunten, resultaten en conclusies van de mLCA.

Disclaimer: we kijken alleen naar stoffen waarvan de milieu-impact door emissie naar lucht, water en grond is opgenomen in LCA-methodiek. Bijvoorbeeld microplastics, PFAS en andere zeer zorgwekkende stoffen worden daarom niet meegenomen. De effecten van MID MIX-routes daarop moeten apart worden geanalyseerd voor vergunningverlening.

Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten die we in dit rapport laten zien is dat toepassing van de verschillende producten gecertificeerd wordt. De certificering van de producten loopt op het moment van schrijven van dit rapport.

Het MID MIX-proces en de geanalyseerde nabewerkingsroutes

Met het MID MIX-proces wordt zuiveringsslib verwerkt. Het product dat hieruit vrijkomt noemen we 'primaair Neutral'. Primaair Neutral is niet direct toepasbaar als product. We analyseren in dit project vier nabewerkingsroutes van primaair Neutral en de toepassing van de producten die daarmee worden geproduceerd:

1. Dehydrateren van primaair Neutral. Hierbij wordt primaair Neutral verhit tot 600°C. Het product is CaO (67m% zuiver).
2. Calcineren van primaair Neutral. Hierbij wordt primaair Neutral verhit tot 1.200°C. Het product is CaO (79m% zuiver).
3. Carbonateren van primaair Neutral. Hierbij wordt primaair Neutral in reactie gebracht met CO₂. Het product is CaCO₃ (87m% zuiver¹).
4. Thermische nabewerking van primaair Neutral. Hierbij wordt primaair Neutral verhit tot 300°C, met als belangrijkste doel de minerale olie die uit het slibkoek in primaair Neutral terecht is gekomen te verwijderen. Het product is Neutral.

¹ Het gaat hier om de samenstelling op basis van de massabalans. Andere meetmethodes (zoals mineralogisch) kunnen een andere samenstelling detecteren, onder andere in verband met inkapselen van sommige onderdelen.



Uitgangspunten van de mLCA

De mLCA volgt de ISO 14040/14044-standaarden en de richtlijnen uit het LAP3. De systeemgrenzen lopen van het vrijkomen van het slibkoek tot de verwerking van verkregen nuttige producten (recycling) of tot finale afvalverwerking (verbranding).

De functionele eenheid om de klimaatimpact van de processen te bepalen is 'de verwerking van een ton slibkoek'.

Slibkoek heeft verschillende samenstellingen. We zijn in de mLCA uitgegaan van de gemiddelde slibkoeksamenstelling die bij GMB verwerkt wordt:

- Droge stofgehalte: 23m%
- Waarvan organische stof: ~69m%

De mLCA bepaalt de milieu-impact van de vier nabewerkingsroutes op de milieueffect-categorieën zoals gedefinieerd in de LCA-berekeningsmethodiek ReCiPe. Het gebruik van ReCiPe (versie 2016) wordt voorgeschreven door LAP3 (RWS, 2021). Tot slot wordt de beoordeling van de resultaten van de mLCA gedaan volgens het LAP3. De mLCA bepaalt de milieu-impact van de vier nabewerkingsroutes op de milieueffectcategorieën zoals gedefinieerd in de LCA-berekeningsmethodiek ReCiPe. Het gebruik van ReCiPe (versie 2016) wordt voorgeschreven door LAP3 (RWS, 2021). Tot slot wordt de beoordeling van de resultaten van de mLCA gedaan volgens het LAP3.

De mLCA bepaalt de milieu-impact van de vier nabewerkingsroutes op de milieueffect-categorieën zoals gedefinieerd in de LCA-berekeningsmethodiek ReCiPe. Het gebruik van ReCiPe (versie 2016) wordt voorgeschreven door LAP3 (Rijkswaterstaat, 2021). Tot slot wordt de beoordeling van de resultaten van de mLCA gedaan volgens het LAP3.

Conclusie MID MIX + Dehydrateren

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + dehydrateren een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van CaO in MID MIX-proces en het energieverbruik van dehydrateren. Dit wordt niet voldoende gecompenseerd door productie van CaO.

Conclusie MID MIX + Calcineren

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + calcineren een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van CaO in MID MIX-proces en het energieverbruik van calcineren.

Conclusie MID MIX + Carbonateren

Op basis van de resultaten op midpointniveau (alle milieueffectcategorieën) kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren een lagere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig hoogwaardiger dan slibverbranding. Met name het gebruik van CaO in MID MIX zorgt voor milieu-impact, maar deze wordt deels opgeheven door de opname van CO₂ in CaCO₃ en het vermijden van hoogoven cement.



Conclusie MIDMIX + thermische nabewerking

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + thermische nabewerking een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van CaO in MID MIX-proces en doordat het product uit deze route zand vervangt, wat een lage milieu-impact heeft.

Conclusie gevoeligheidsanalyses

Eén van de conclusies hierboven verandert door een van de meegenomen gevoeligheidsanalyses van de resultaten. Wanneer het volledige elektriciteitsgebruik van de route MID MIX + dehydrateren wordt ingevuld met zelf geproduceerde hernieuwbare elektriciteit, dan wordt deze route gelijkwaardig aan slibverbranding. Dit is een reële potentiële situatie: MID MIX kan worden geïnstalleerd met zonnepanelen en een kleine windmolen om elektriciteit op te wekken.

De andere conclusies blijven hetzelfde als in de basisanalyse. Het enige wat nog belangrijk is om te noemen voor MID MIX + carbonateren is dat de conclusie dat deze MID MIX-route milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding in de basisanalyse al kan worden genomen op midpointniveau. Bij twee gevoeligheidsanalyses kan die conclusie alleen nog genomen kan worden op basis van de Single Score, niet mee op basis van midpoints. Dit is het geval wanneer:

- pure CO₂ wordt toegepast in plaats van CO₂ direct uit rookgas;
- de locatie waarop carbonateren op een andere locatie plaatsvindt dan het MID MIX-proces zelf.

Algemene conclusie

De route MID MIX + carbonateren is milieukundig hoogwaardiger dan slibverbranding. De andere routes zijn milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. Wanneer het volledige elektriciteitsgebruik van de route MID MIX + dehydrateren wordt ingevuld met zelf geproduceerde hernieuwbare elektriciteit, dan wordt deze route gelijkwaardig aan slibverbranding.



Lijst met definities

Wat?	Definitie
MID MIX-proces	Proces waarin slibkoek reageert met CaO en primair Neutral wordt geproduceerd.
Primair Neutral	Product uit MID MIX-proces. Bestaat in onze analyse uit Ca(OH) ₂ , CaCO ₃ , anorganische stof en minerale olie uit slibkoek en water.
Dehydrateren	Het verhitten van Primair Neutral bij 600 °C. Product is CaO (67m% zuiver).
Calcineren	Het verhitten van Primair Neutral bij 1.200 °C. Product is CaO (79m% zuiver).
Carbonateren	Het laten reageren van Primair Neutral met CO ₂ uit rookgas. Product is CaCO ₃ (87m% zuiver ²).
Thermische nabewerking	Het verhitten van Primair Neutral bij 300 °C. Product is Neutral (met minder water en minerale olie).
mLCA	Multi-levenscyclusanalyse: een LCA waarin meerdere levenscycli worden meegenomen

² Het gaat hier om de samenstelling op basis van de massabalans. Andere meetmethodes (zoals mineralogisch) kunnen een andere samenstelling detecteren onder andere in verband met inkapselen van sommige onderdelen.

1 Introductie

GMB BioEnergie (GMB) is in gesprek met VSGM over het slibeindverwerkingsproces MID MIX. Voor vergunningverlening is een multicyclus-levenscyclusanalyse (mLCA) nodig, dat aantoonst dat het MID MIX-proces voldoet aan de eisen van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3, (RWS, 2021)). Als de mLCA aantoonst dat het proces voldoet aan de (door bevoegd gezag/GMB gestelde) eisen dan kan de mLCA gebruikt worden als onderbouwing in de vergunningverlening.

Het LAP3 rangschikt afvalverwerkingsprocessen op basis van de Ladder van Lansink. Wanneer voor een nieuw afvalverwerkingsproces onvoldoende duidelijk is of deze beter scoort op de Ladder dan de voorgeschreven minimumstandaard voor de afvalstroom, is het nodig om een mLCA uit te voeren. Deze kan dan aantonen dat het nieuwe verwerkingsproces beter scoort.

Uit een analyse van Stibbe, gemaakt in de scopingsfase van dit project, is gebleken dat de uitvoering van een mLCA wenselijk is om te beoordelen of een omgevingsvergunning milieu kan worden verleend voor het MID MIX-proces. Het gaat hier om een verwerking die nog niet gangbaar is in Nederland, en die niet is genoemd als toegestane verwerkingstechniek in de minimumstandaard uit Sectorplan 16. Het is daarom wenselijk om de milieueffecten inzichtelijk te maken voor toetsing aan de minimumstandaard. Een mLCA kijkt - anders dan een LCA - naar meerdere levenscycli van een functionele eenheid.

Met het MID MIX-proces wordt zuiverings-slib verwerkt. Het product dat hieruit vrijkomt MID MIX noemen we 'primair Neutral'. Primair Neutral is niet direct toepasbaar als product. We analyseren in dit project vier nabewerkingsroutes van primair Neutral en de toepassing van de producten die daarmee worden geproduceerd:

1. Dehydrateren van primair Neutral. Hierbij wordt primair Neutral verhit tot 600°C. Het product is CaO (67m% zuiver).
2. Calcineren van primair Neutral. Hierbij wordt primair Neutral verhit tot 1.200°C. Het product is CaO (79m% zuiver).
3. Carbonateren van primair Neutral. Hierbij wordt primair Neutral in reactie gebracht met CO₂. Het product is CaCO₃ (87m% zuiver³).
4. Thermische nabewerking van primair Neutral. Hierbij wordt primair Neutral verhit tot 300°C, met als belangrijkste doel de minerale olie die uit het slibkoek in primair Neutral terecht is gekomen te verwijderen. Het product is Neutral.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de mLCA van het MID MIX-proces en de drie nabewerkingsroutes van het product primair Neutral. Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten die we in dit rapport laten zien is dat toepassing van de verschillende producten gecertificeerd wordt. De certificering van de producten loopt op het moment van schrijven van dit rapport.

Het is belangrijk op te merken dat er momenteel nog meer toepassingen van Neutral en nabewerkingsroutes voor Primair Neutral worden onderzocht.

³ Het gaat hier om de samenstelling op basis van de massabalans. Andere meetmethodes (zoals mineralogisch) kunnen een andere samenstelling detecteren onder andere in verband met inkapselen van sommige onderdelen.

De opbouw van dit rapport is als volgt:

- Hoofdstuk 2: hierin beschrijven we de **methode** die we hebben gevolgd;
- Hoofdstuk 3: hierin geven we de **levenscyclusinventarisatie**, waarbij we de uitgangspunten en gegevens beschrijven;
- Hoofdstuk 4: hierin beschrijven we de **resultaten** van de mLCA en de gevoeligheidsanalyses;
- Hoofdstuk 5: hierin geven we de **conclusies** en **aanbevelingen** naar aanleiding van ons onderzoek.



2 Methode

2.1 Doelstelling

GMB verwerkt drie soorten afvalstromen: slib en ontwaterd digestaat zijn daar twee van. De eigenschappen van deze twee stromen zijn zo vergelijkbaar met elkaar dat ze als gelijk kunnen worden gezien. De mLCA gaat over deze twee afvalstromen, die we in dit document verder 'slibkoek' noemen.

Het doel van deze studie is om drie nabewerkingsroutes van het MID MIX-proces milieukundig te vergelijken met een referentieproces (verbranden van slibkoek met energieretourwinning⁴). Dit gaan we doen door een mLCA uit te voeren van beide processen. Het resultaat van de mLCA kan, mocht dit nodig zijn, worden gebruikt in een vergunnings-traject voor het MID MIX-proces.

2.2 Afbakening

2.2.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid om de klimaatimpact van de processen te bepalen is 'de verwerking van een ton slibkoek'.

Slibkoek is een 'grondstof' met een wisselende samenstelling. Wij zijn zoveel mogelijk uitgegaan van gegevens gebaseerd op testinstallaties van MID MIX waarin een slibkoek met de volgende samenstelling is verwerkt:

- Droge stofgehalte: 23m%
 - Waarvan organische stof: ~69m%

Dit is de gemiddelde slibkoeksamenstelling die bij GMB verwerkt wordt.

2.2.2 Systeemgrenzen

De mLCA volgt de ISO 14040/14044-standaarden. De systeemgrenzen lopen van het vrijkomen van het slibkoek tot de verwerking van verkregen nuttige producten (recycling) of tot finale afvalverwerking (verbranding).

De systeemgrenzen van alle processen omvatten de volgende onderdelen:

- winning, transport en productie van voor de processen benodigde grond- en hulpstoffen;
- energiegebruik van het proces;
- verwerking van afvalstromen;
- transport van producten naar de plaats van toepassing; en
- de vermeden producten.

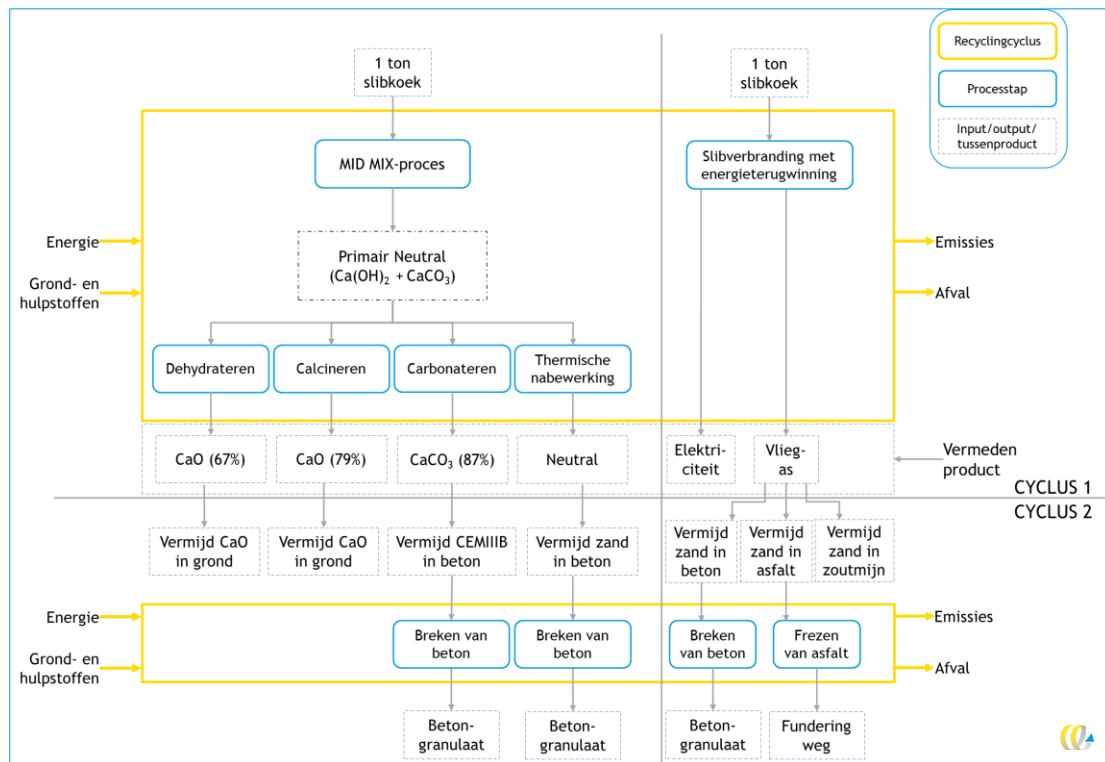
De 'm' in mLCA staat voor 'multicyclus'. Dit betekent dat we niet naar één levenscyclus kijken, maar naar meerdere. Dit doen we door te bepalen waar de producten van de verschillende processen in worden toegepast en hoe deze toepassingen vervolgens weer worden verwerkt. We kijken daarbij alleen naar de impact van het deel Neutral/CaCO₃ uit Primair Neutral in deze toepassingen. Bijvoorbeeld: Gecarbonateerd Neutral kan worden toegepast als cementvervanger in beton. We kijken daarna alleen naar het gedeelte (massa)

⁴ Dit is het meest voorkomende eindverwerkingsproces van slib in Nederland.

gecarbonateerd Neutral om de impact van het breken van beton en het toepassen van betongranulaat te bepalen.

Pas als er sprake is van storten of de productie van energie na verbranding stopt de mLCA⁵. Figuur 1 geeft de cycli van de drie geanalyseerde nabewerkingsroutes van MID MIX en van het referentieproces weer.

Figuur 1 - Systeemgrenzen MID MIX- en referentieproces en mLCA-stappen⁶



In Figuur 1 is te zien dat de volgende producten als het einde van de totale levensduur worden beschouwd:

- MID MIX + dehydrateren: de toepassing van CaO in grondstabilisatie.
- MID MIX + calcineren: de toepassing van CaO in grondstabilisatie.
- MID MIX + carbonateren: de CaCO₃ wordt toegepast in beton en vermijdt daarmee CEMIII. Na het einde van de levensduur van beton wordt het gebroken en betongranulaat geproduceerd. Dit vermijdt grind als fundering voor onder een weg geproduceerd.
- MID MIX + thermische nabewerking: de Neutral wordt toegepast in beton en vermijdt daarmee zand. Na het einde van de levensduur van beton wordt het gebroken en verwerkt tot betongranulaat. Dit vermijdt grind als fundering voor onder een weg geproduceerd.

⁵ In het LAP3 wordt een voorbeeld gegeven een mLCA van drie cycli. Wij analyseren slechts cycli omdat de toepassing van betongranulaat of gefreesd asfalt als wegfundering milieukundig gezien het einde van de levensduur van de verwerkte slib is (vergelijkbaar met stort).

⁶ De samenstelling (%) die in de figuur voor de producten uit de verschillende routes is aangegeven, is op basis van de massabalans. Andere meetmethodes (zoals mineralogisch) kunnen een andere samenstelling detecteren onder andere in verband met inkapselen van sommige onderdelen.

- Slibkoekverbranding: productie van elektriciteit is het einde van de levensduur van slibkoek.
- Slibverbranding: de vliegashouding die vrijkomt uit slibverbranding wordt op verschillende manieren toegepast:
 - In een zoutmijn, hier vervangt het zand.
 - In beton. Na het einde van de levensduur van beton wordt het gebroken en betongranulaat geproduceerd. Dit vermijdt grind als fundering voor onder een weg geproduceerd. .
 - In asfalt. Na het einde van de levensduur van asfalt wordt het gefreesd en fundering voor onder een weg geproduceerd.

Bij hierboven opgesomde laatste levenscyclusfasen - met uitzondering van slibkoekverbranding) wordt het product ergens gedeponerd voor onbepaalde tijd. Daarom is dat de laatste cyclus die we meenemen in de mLCA.

2.2.3 Technologische, geografische en tijdsafbakening

De geografische afbakening voor alle processen is Nederland. We gebruiken zo recent mogelijke gegevens, die 'nu' representeren.

2.2.4 Milieueffectcategorieën

Het LAP3 schrijft het gebruik van de LCA-berekeningsmethodiek ReCiPe 2016 voor (RWS, 2021). De mLCA gaat over de milieueffectcategorieën zoals gedefinieerd in de LCA-berekeningsmethodiek ReCiPe. Het gaat om de volgende milieueffectcategorieën:

- fijnstofvorming;
- smogvorming (humane gezondheid, ecosysteem);
- ioniserende straling;
- ozonlaagaantasting;
- humane toxiciteit (kankerverwekkend, overig);
- klimaatverandering;
- watergebruik;
- ecotoxiciteit (zoetwater, bodem, zoutwater);
- vermesting zoetwater;
- verzuring bodem;
- landgebruik;
- uitputting mineralen/metalen;
- uitputting fossiel.

De modellering van de mLCA wordt gedaan in SimaPro LCA-software. We gebruiken de Ecoinvent-database (v3.8) als bron voor milieu-impacts van de in- en output. Hiermee worden ook upstream ketenstappen meegenomen in de milieu-impact van de processen (winning van grondstoffen e.d.).

Biogene/kortcyclische CO₂-emissies nemen we, zoals het LAP3 voorschrijft, niet mee in het bepalen van de milieu-impacts (RWS, 2021). In Tekstkader 1 staat dit verder uitgelegd.

Tekstkader 1

Biogeen CO₂ is CO₂ dat uit de lucht is opgenomen door biomassa, waardoor de koolstof is vastgelegd in deze biomassa. Als deze biomassa vergaet of wordt verbrand, komt de koolstof weer vrij als CO₂ in de lucht. Bij LCA-studies wordt biogeen CO₂ gewoonlijk niet meegenomen bij het berekenen van klimaatimpact. De opslag van biogeen koolstof in biomassa is namelijk over het algemeen tijdelijk (kortcyclisch) en komt binnen 100 jaar weer vrij in de lucht doordat de biomassa vergaet of wordt verbrand. Omdat de huidige rekenmethodes voor klimaatimpact (zoals IPCC GWP en ReCiPe2016) uitgaan van een periode van 100 jaar, betekent dit dat de opgenomen CO₂ binnen de periode waarin gerekend wordt weer vrijkomt. De redenatie is daarom dat er netto geen CO₂ wordt opgenomen of uitgestoten, tenzij kan worden bewezen dat de koolstof langer dan 100 jaar opgeslagen blijft (langcyclisch). We gaan er bij de toepassing van Neutral in beton van uit dat dit langer dan 100 jaar opgeslagen blijft.

Daarnaast zal de Cumulative Energy Demand van ieder proces als resultaat worden gegeven. Voor interpretatie van de resultaten sluiten we aan bij de methodiek beschreven in LAP3. Meer hierover schrijven we in Hoofdstuk 4.

Disclaimer: we kijken alleen naar stoffen waarvan de milieu-impact door emissie naar lucht, water en grond is opgenomen in LCA-methodiek. Bijvoorbeeld microplastics, PFAS en andere zeer zorgwekkende stoffen worden daarom niet meegenomen. Effecten MID MIX-routes daarop moeten apart worden geanalyseerd voor vergunningsverlening.

2.3 Dataverzameling, -kwaliteit en onzekerheden

In het buitenland zijn enkele MIX MIX-installaties ten behoeve van verwerking van afvalstromen operationeel. Het MID MIX-proces is in Nederland nog niet op grote schaal toegepast. Er is op één locatie in Nederland (Wilp) een testinstallatie in gebruik (geweest). Daar zijn o.a. een openbaar rapport van STOWA, (2019) en verschillende niet-openbare documenten met gegevens van het proces uit voortgekomen. We hebben in dit rapport gebruikt gemaakt van gegevens aangeleverd door VSGM, Carmeuse en SGS op basis van de testinstallatie. Wij hebben die gegevens voor zover mogelijk gecontroleerd of nagerekend. Meer hierover is te vinden in Paragraaf 3.1. In Hoofdstuk 5 beschrijven we welke onzekere of onbekende gegevens nog moeten worden onderzocht om de mLCA te verbeteren.

Voor het referentieproces - slibverbranding met energierecuperatie - gaan we uit van interne gegevens van CE Delft van Slibverbranding Noord-Brabant (SNB). Wij hebben een LCA van dit proces uitgevoerd en beschikken daardoor over een LCA-model van dit proces. We hebben de uitgangspunten van dit proces aangepast om het representatief voor Nederland te maken. Meer hierover is te vinden in Paragraaf 3.1.

2.4 Beoordeling resultaten volgens LAP3

Het doel van de mLCA is om de drie nabewerkingsroutes van het MID MIX-proces milieukundig te vergelijken met een referentieproces. Het LAP3 schrijft voor hoe uit de resultaten van de mLCA bepaald kan worden of een nieuwe verwerkingstechnologie (in dit geval het MID MIX-proces in combinatie met de nabewerkingsroutes) milieukundig gelijkwaardig is aan, of beter scoort dan de minimumstandaard (in dit geval slibverbranding).

Het LAP3 schrijft voor dat de beoordeling in drie stappen moet gebeuren (RWS, 2021):

1. Midpoint-niveau

Een technologie is milieukundig gezien beter als deze op alle midpoint-categorieën (de in Paragraaf 2.2.4 genoemde milieueffectcategorieën) een lagere waarde heeft (een lagere waarde betekent een lagere milieu-impact en is dus beter).

Als dit niet het geval is, dient te worden gekeken naar de volgende acht specifieke midpoint-categorieën:

- humane toxiciteit (kankerverwekkend, overig);
- ecotoxiciteit (zoetwater, bodem, zoutwater);
- uitputting mineralen/metalen;
- uitputting fossiel;
- klimaatverandering.

Een technologie is in dit geval hoogwaardiger als het op al deze acht midpoint-categorieën een lagere waarde heeft.

2. Endpoint-niveau

Als de midpoint-categorieën geen duidelijkheid geven over de ranking van de verwerkingstechnologieën moet gekeken worden naar de resultaten op endpoint-niveau. Op endpoint-niveau worden alle midpoint-categorieën genormaliseerd. Deze hebben allemaal een bepaald effect op drie schadecategorieën waarover ze worden verdeeld. Dit zijn de zogenaamde endpoint-indicatoren. De drie endpoint-indicatoren zijn:

1. Schade aan menselijke gezondheid.
2. Schade aan ecosystemen.
3. Uitputting van grondstoffen.

Een verwerkingstechnologie is hoogwaardiger als het op alle drie de endpoint-indicatoren een lagere waarde heeft. Er mogen alleen conclusies verbonden worden aan de resultaten op endpoint-niveau als de gevonden verschillen substantieel en significant zijn. Daarnaast mogen de verschillen niet ingrijpend worden beïnvloed door onzekerheden in de uitgangspunten.

3. Single Score

Als zowel op basis van de resultaten op midpointniveau en de resultaten op endpoint-niveau geen conclusie kan worden getrokken over welke verwerkingsoptie hoogwaardiger is, kan gekeken worden naar de gewogen Single Score. In de Single Score worden de resultaten op endpoint-niveau op basis van een bepaalde weging met elkaar gecombineerd. Die weging is subjectief en er bestaan dan ook verschillende weegsets die een verschillende Single Score geven. De resultaten moeten worden berekend voor de volgende vier weegsets:

1. Hierarchist (H/A).
2. Hierarchist (H/H).
3. Individualist (I/I).
4. Egalitarian (E/E).

Er kan alleen geconcludeerd worden dat de ene technologie hoogwaardiger is dan de andere als de Single Score resultaten duidelijk verschillen en als alle weegsets hetzelfde beeld geven.

Wanneer ook de Single Score geen eenduidig resultaat geeft dan is de conclusie dat de milieu-impact van de nieuwe verwerkingstechnologie niet duidelijk verschilt van de milieu-



impact van de minimumstandaard. Er kan dan niet geconcludeerd worden dat de ene technologie hoogwaardiger is dan de andere.

2.5 Gevoeligheidsanalyses

Voor de onderdelen uit de inventarisatie die de hoogste bijdrage aan de milieu-impact van de processen hebben en/of de grootste onzekerheid met zich meebrengen, hebben we gevoeligheidsanalyses op de resultaten uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn beschreven in Paragraaf 4.5.



3 Levenscyclusinventarisatie

3.1 Massabalans en uitgangspunten

MID MIX

Figuur 2 geeft de uitgangspunten en de massabalans van het MID MIX-proces en de vier meegenomen toepassingsroutes weer.

De vier routes leveren het volgende product⁷ op:

1. Dehydrateren: een CaO-product met een zuiverheid van 67m% CaO. Dit product noemen we hierna 'CaO na dehydrateren'.
2. Calcineren: een CaO-product met een zuiverheid van 79m% CaO. Dit product noemen we hierna 'CaO na calcineren'.
3. Carbonateren: een CaCO₃-product met een zuiverheid van 87m% CaCO₃. Dit product noemen we hierna 'CaCO₃ na carbonateren'.
4. Thermische nabewerking: Neutral. Dit product noemen we hierna 'Neutral na thermische nabewerking'.

De gebruikte gegevens zijn gebaseerd op verschillende testinstallaties van MID MIX⁸. Om de massabalans te controleren, hebben wij de hoeveelheid calcium (Ca) gevolgd die de processtappen in en uit gaat. Er gaat (in de vorm van CaO) 214 kg Ca het proces in. De CaO na dehydrateren, Neutral na thermische nabewerking en CaCO₃ na carbonateren bevatten ook allemaal 214 kg Ca. Alleen bij CaO na calcineren verdwijnt een deel van het calcium in het eindproduct (17 kg Ca). Dit is gebaseerd op gegevens van Carmeuse. Vermoedelijk verdwijnt een deel in de vorm van vast afval.

Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten die we in dit rapport laten zien is dat toepassing van de verschillende producten gecertificeerd wordt. De certificering van de producten loopt op het moment van schrijven van dit rapport. Dit betekent dat de resultaten alleen geldig zijn als:

- het gebruik van CaO na dehydrateren of calcineren als grondstabilisator wordt gecertificeerd/toegestaan.
- het gebruik van CaCO₃ na carbonateren van primair Neutral wordt erkend onder BRL1804.
- het gebruik van Neutral na thermische nabewerking als zand vervangende vulstof in beton wordt gecertificeerd.

We zijn ervan uitgegaan dat de nabewerking van primair Neutral op de volgende locaties plaatsvindt:

- Dehydrateren: op dezelfde locatie als het MID MIX-proces.
- Calcineren: bij Carmeuse in België, transportafstand is 320 km.
- Thermische nabewerking: op dezelfde locatie als het MID MIX-proces.

⁷ Het gaat bij de aangegeven zuiverheden om de samenstelling op basis van de massabalans. Andere meetmethodes (zoals mineralogisch) kunnen een andere samenstelling detecteren onder andere in verband met inkapselen van sommige onderdelen.

⁸ Slib is een 'grondstof' met een wisselende samenstelling. Daarom zullen de hoeveelheden in de praktijk wat kunnen afwijken van waar wij van uit zijn gegaan. De gegevens die zijn gebruikt zijn gebaseerd op testen waarin het slib een vergelijkbare samenstelling had als die GMB verwerkt.

3.2 Gebruikte gegevens

In deze paragraaf presenteren we de gegevens die we voor de verschillende processtappen hebben gebruikt in de mLCA-modellering.

Tabel 1 - Samenstelling van de slibkoek

	Eenheid	GMB gemiddelde organische stof
Organische stof gehalte	m% van d.s.	69
Anorganische stof gehalte	m% van d.s.	31
Droge stof gehalte	m%	23

Tabel 2 - Data m.b.t. verwerking van 1 ton slibkoek met het MID MIX-proces

	Eenheid	Hoeveelheid
Inputs		
Slibkoek	kg	1.000
CaO	kg	300
H ₂ SO ₄	kg	5
Elektriciteit	kWh	30
Outputs		
Primair Neutral	kg	688
— Waarvan CaCO ₃	kg	59
— Waarvan Ca(OH) ₂	kg	352
— Waarvan anorganische stof	kg	71
— Waarvan organische stof	kg	148
— Waarvan vocht	kg	55
— Waarin opgeslagen CO ₂	kg	26
— Waarvan minerale olie	kg	1,77
— Droge stof gehalte	%	92
(NH ₄) ₂ SO ₄	kg	11
Emissies		
Fossiele broeikasgassen naar lucht	kg CO ₂ -eq.	0,20
NH ₃ naar lucht	kg	0,0058
NO _x naar lucht	kg	0,00042

Tabel 3 - Data m.b.t. de verwerking van 1 ton Primair Neutral door middel van dehydrateren

	Eenheid	Hoeveelheid
Inputs		
Primair Neutral	kg	1.000
Elektriciteit	kWh	310
Outputs		
Totaal product	kg	578
— Waarvan CaO	kg	388
— Waarvan CaCO ₃	kg	86
— Waarvan anorganische stof	kg	104
Emissies		
Broeikasgas naar lucht	kg CO ₂ -eq.	4

Tabel 4 - Data m.b.t. de verwerking van 1 ton Primair Neutral door middel van calcineren

	Eenheid	Hoeveelheid
Inputs		
Primair Neutral	kg	1.000
Aardgas	MJ	2045
Transport naar calcineerlocatie	km	320
Outputs		
Totaal product	kg	507
— Waarvan CaO	kg	399
Emissies		
Broeikasgas naar lucht	kg CO ₂ -eq.	40,3

Tabel 5 - Data m.b.t. de verwerking van 1 ton Primair Neutral door middel van carbonateren

	Eenheid	Hoeveelheid
Inputs		
Primair Neutral	kg	1.000
Elektriciteit	kWh	2
CO ₂	kg	304
Transport naar carbonateer locatie	km	0
Outputs		
Totaal product	kg	891
— Waarvan CaCO ₃	kg	779
— Waarvan anorganische stof	kg	104
Emissies		
Broeikasgas naar lucht	kg CO ₂ -eq.	4

Tabel 6 - Data m.b.t. de verwerking van 1 ton Primair Neutral door middel van thermische nabewerking

	Eenheid	Hoeveelheid
Inputs		
Primair Neutral	kg	1.000
Elektriciteit	kWh	112
Outputs		
Totaal product	kg	716
— Waarvan CaCO ₃	kg	86
— Waarvan Ca(OH) ₂	kg	512
— Waarvan anorganische stof	kg	104
— Droge stof gehalte	%	98
Emissies		
Broeikasgas naar lucht	kg CO ₂ -eq.	4

In Tabel 7 is de uitloging door toepassing van gecarbonateerd Neutral in beton weer-gegeven. Deze gegevens zijn gebaseerd op een kolomproef uitgevoerd door SGS met 1 kg beton met daarin een mengsel van 25% gecarbonateerd Neutral en 75% cement. De door SGS gerapporteerde uitloging wordt veroorzaakt door zowel het beton als het gecarbonateerde Neutral. In deze mLCA willen we alleen de uitloging veroorzaakt door het gecarbonateerde Neutral meenemen. We gebruiken daarom het verschil in uitloging tussen 1 kg beton met 100% CEM IIIB en 1 kg beton met 25% gecarbonateerd Neutral en 75% CEMIIIB.

Voor chloride en sulfaat heeft beton met CEM III B een hogere uitloging dan beton met gecarbonateerd Neutral. Hierdoor wordt bij toepassing van beton met gecarbonateerd Neutral uitloging vermeden.

Tabel 7 - Uitloging door toepassing gecarbonateerd Neutral in beton

Stof	Hoeveelheid (mg/25 gram d.s.)
Barium	11
Cobalt	0,045
Koper	0,85
Molybdeen	0,025
Nikkel	0,44
Chloride	-44
Sulfaat	-30

Het model voor slibverbranding is gebaseerd op vertrouwelijke gegevens van SNB. De data gebruikt in dit model is daarom niet in dit rapport opgenomen.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de resultaten die van belang zijn om een conclusie te kunnen trekken over de hoogwaardigheid van slibverwerking met het MID MIX-proces. Zoals uiteengezet in Paragraaf 2.4 analyseren we eerst de resultaten op midpointniveau (Paragraaf 4.1), vervolgens kijken we naar de resultaten op endpoint-niveau (Paragraaf 4.2) en tot slot kijken we naar de resultaten op Single Score niveau (Paragraaf 4.3). Om de resultaten te duiden en aan te kunnen geven welke processen of materialen vooral bijdragen aan de milieu-impact doen we vervolgens een contributieanalyse (Paragraaf 4.4). De invloed van aannames en onzekerheden op de conclusies analyseren we in de gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 4.5).

Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten die we in dit rapport laten zien is dat toepassing van de verschillende producten gecertificeerd wordt. De certificering van de producten loopt op het moment van schrijven van dit rapport.

4.1 Resultaten op midpointniveau (milieu-indicatoren)

Figuur 4 geeft de resultaten weer op midpointniveau: relatief ten opzichte van de impact van slibverbranding. De impact op de verschillende midpoint-categorieën wordt in verschillende eenheden uitgedrukt. Daarom hebben we de resultaten voor elke midpoint-categorie relatief ten opzichte van het resultaat van slibverbranding weergegeven, waarbij de impact van slibverbranding de waarde 1 heeft⁹ (grijs in de figuur).

Figuur 4 wordt als volgt gelezen:

- een balk naar rechts geeft een waarde hoger dan nul weer, dit betekent dat de verwerkingsoptie een milieu-impact heeft;
- een balk naar links geeft een waarde lager dan nul weer, dit betekent dat er netto een vermeden milieu-impact plaatsvindt.

Volgens de eerste beoordelingsstap beschreven in het LAP3 is een verwerkingstechnologie milieukundig hoogwaardiger dan de minimumstandaard als hij op **alle** midpoint-categorieën beter scoort (zie ook Paragraaf 2.4). In Figuur 4 is te zien dat alleen MID MIX + carbonateren op alle midpoint-categorieën een lagere waarde heeft dan slibverbranding. Daarom kunnen we voor deze route op basis van alle midpoint-categorieën concluderen dat slibverwerking met de MID MIX-technologie milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding.

De andere drie routes (dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking) moeten we verder analyseren. De eerste beoordelingsstap uit LAP3 schrijft voor dat er vervolgens naar het resultaat van **acht specifieke** midpoint-categorieën (zie Paragraaf 2.4) gekeken moet worden. Deze zijn met een parse pijl weergegeven in Figuur 4. De resultaten op deze midpoint-categorieën zijn als volgt:

- op de midpoint-categorieën voor ecotoxiciteit, humane kankerverwekkende toxiciteit en minerale uitputting scoren **alle** drie de resterende MID MIX-routes beter dan slibverbranding;
- op de midpoint-categorie voor humane overige toxiciteit scoren calcineren en thermische nabewerking beter dan slibverbranding, maar dehydrateren niet;

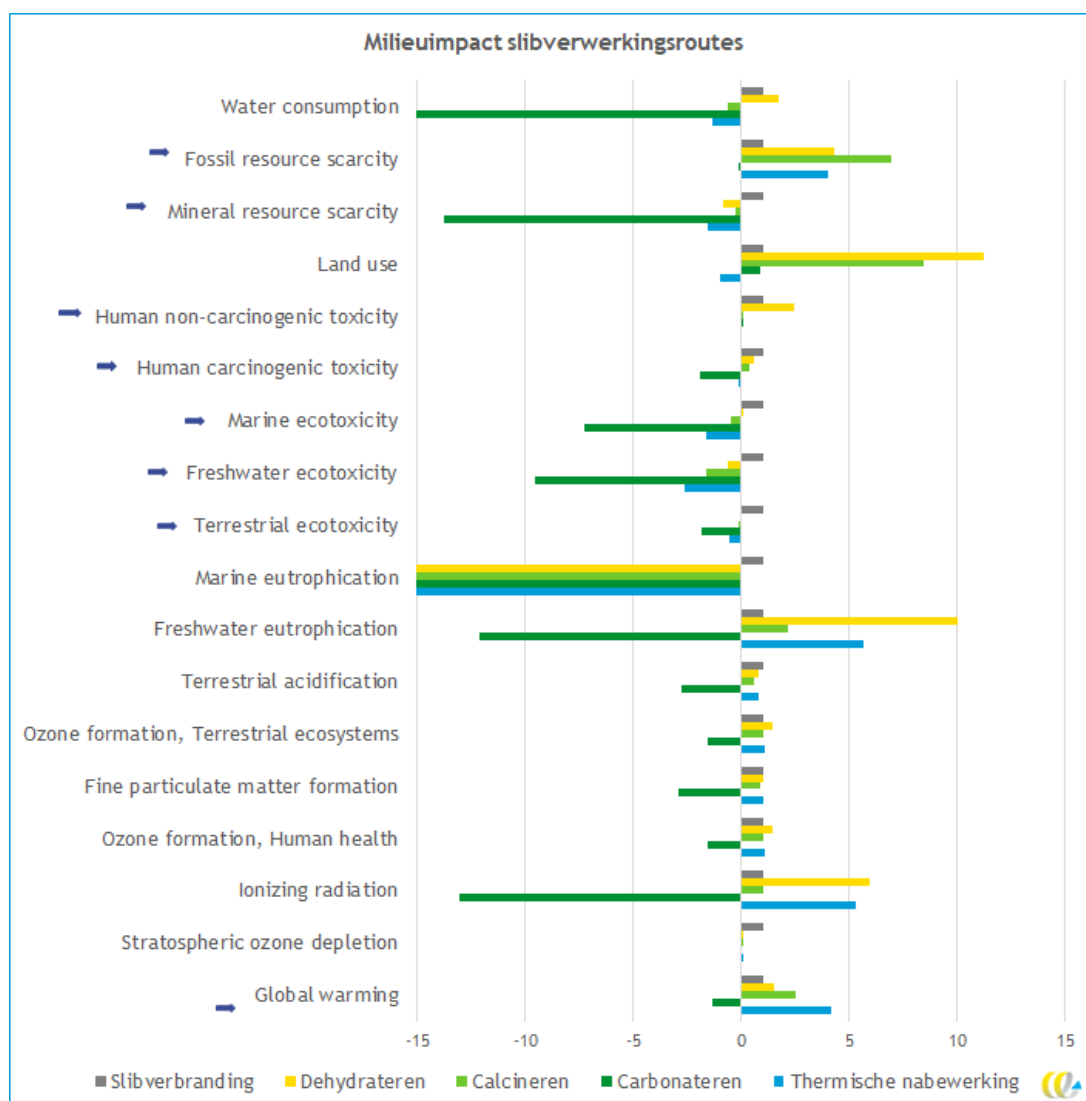
⁹ De absolute milieu-impacts in de verschillende midpoint-categorieën zijn weergegeven in Tabel 3 in Bijlage A.

- op de midpoint-categorie voor klimaatimpact en uitputting van fossiele bronnen ('fossil resource scarcity') scoort **geen** van de drie resterende routes beter dan slibverbranding.

De conclusie uit deze analyse is daarom dat de drie resterende MID MIX-verwerkingsroutes niet op alle acht genoemde midpoint-categorieën beter scoren dan de minimumstandaard.

Op basis van de eerste beoordelingsstap uit het LAP3 kan daarom alleen voor MID MIX + carbonateren een conclusie worden getrokken over de milieukundige ranking van de MID MIX-verwerkingsroutes en de minimumstandaard. In Paragraaf 4.2 analyseren we de resultaten voor MID MIX + dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking op endpoint-niveau.

Figuur 4 - Milieu-impact van drie slibverwerkingsroutes met het MID MIX-proces en van de referentie (slibverbranding) op de midpoint-categorieën uit ReCiPe 2016

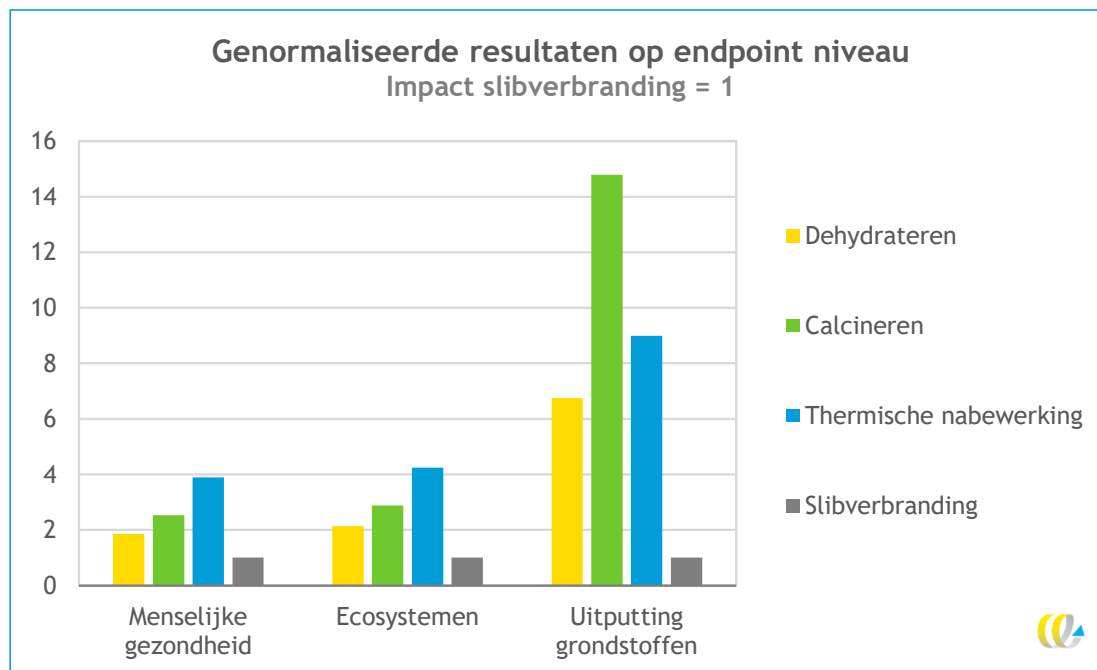


Omwille van de leesbaarheid van de grafiek loopt de x-as maar tot -15. Water consumption voor carbonateren loopt door tot -16. Marine eutrophication loopt door tot -36 (dehydrateren), -42 (calcineren), -54 (carbonateren) en -43 (thermische nabewerking).

4.2 Resultaten op endpoint-niveau (schade)

Figuur 5 geeft de resultaten van de mLCA weer op endpoint-niveau (schade aan menselijke gezondheid, schade aan ecosystemen en uitputting van grondstoffen). Om eenvoudig te kunnen zien hoe de MID MIX-technologieën scoren ten opzichte van slibverbranding zijn de resultaten relatief ten opzichte van de impact van slibverbranding weergegeven, waarbij slibverbranding de waarde 1 heeft gekregen. De totale impacts op endpoint-niveau zijn terug te vinden in Tabel 10 in Bijlage A.

Figuur 5 - Milieu-impact van de drie MID MIX verwerkingsopties en slibverbranding op endpoint-niveau



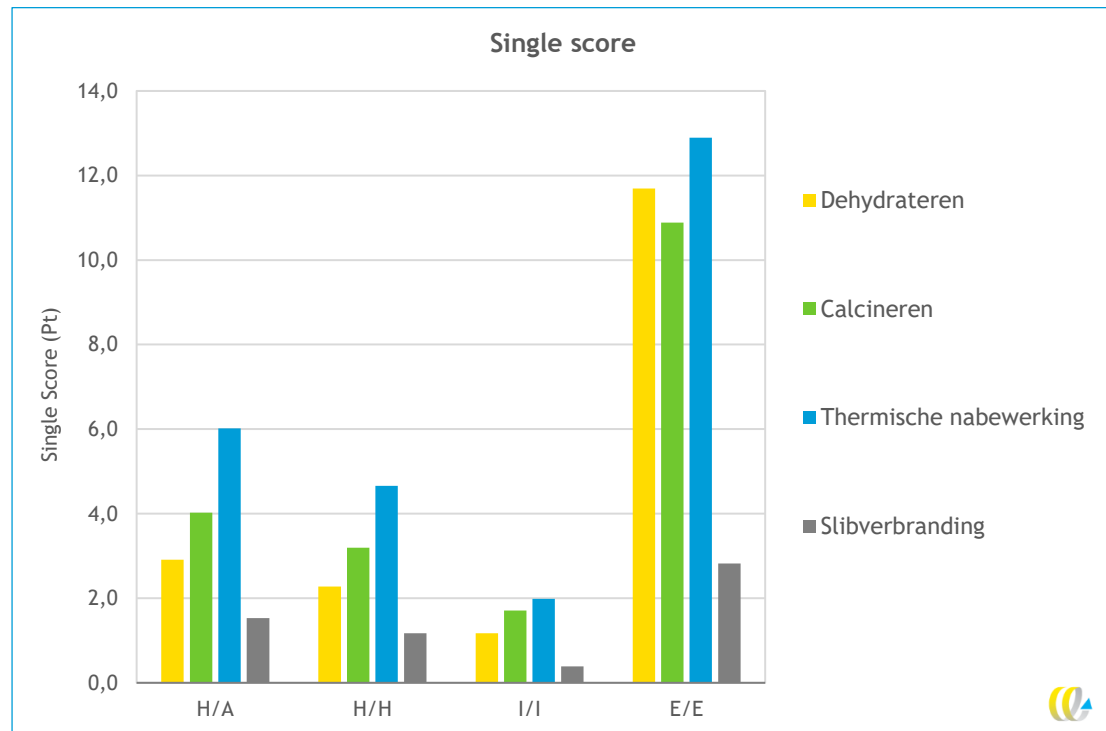
In Figuur 5 is te zien dat de nabewerkingsroutes dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking op alle drie de endpoint-indicatoren een hogere waarde hebben dan slibverbranding. Deze routes hebben dus een hogere impact dan slibverbranding. De verschillen zijn bij alle drie de nabewerkingsroutes op alle drie de endpoints zo groot dat we op basis van deze resultaten kunnen concluderen dat slibverbranding milieukundig gezien hoogwaardiger is dan dehydrateren, calcineren of thermische nabewerking.

Daarom analyseren we in Paragraaf 4.3 de resultaten voor MID MIX + dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking op Single Score-niveau.

4.3 Resultaten op Single Score-niveau (gewogen milieuscore)

Figuur 6 geeft de resultaten van de mLCA weer op Single Score-niveau. In de Single Score worden de drie endpoint-categorieën gewogen meegenomen. De geweging die aan de verschillende endpoint-categorieën wordt gegeven is subjectief en heeft invloed op de Single Score. De resultaten zijn daarom conform het LAP3 weergegeven voor vier verschillende weegsets (H/A, H/H, I/I en E/E).

Figuur 6 - Resultaten op Single Score-niveau voor verschillende weegsets



In Figuur 6 is te zien dat de Single Score van dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking voor alle weegsets hoger is dan de Single Score van slibverbranding. Dit is een logisch gevolg van de resultaten op endpoint-niveau weergegeven in Figuur 5. Als de waarde op alle endpoint-indicatoren hoger is, zal de Single Score ook hoger zijn, ongeacht de weegset die gekozen wordt.

4.4 Contributieanalyse

De resultaten op midpoint-, endpoint-, en Single Score-niveau hierboven zijn weergegeven in totalen. Het is echter ook interessant om te analyseren welke processen verantwoordelijk zijn voor de milieu-impacts. Figuur 7 geeft de opbouw van de klimaatimpact van de verschillende slibverwerkingsroutes weer.

Er zijn verschillende processen die bijdragen aan de totale klimaatimpact (weergegeven met de zwarte ruit in de figuur):

- Een deel daarvan zorgt voor uitstoot van broeikasgassen en hebben daardoor een impact op het klimaat:
 - het MID MIX-proces (in donkerblauw);
 - het nabewerkingsproces (dehydrateren, calcineren, carbonateren of thermische nabewerking; in lichtblauw);
 - de end-of-life verwerking aan het eind van de tweede levenscyclus (donkergroen, maar niet zichtbaar in deze figuur).
- Een ander deel zorgt ervoor dat uitstoot van broeikasgassen vermeden wordt. Ze hebben daardoor een negatieve waarde en zorgen er daarmee voor dat de totale klimaatimpact lager wordt:

- het vermeden product na de eerste levenscyclus (geel) en na de tweede levenscyclus (turquoise, heeft een lage impact en is niet zichtbaar in de figuur);
- de opname van CO₂ (felgroen).

De klimaatimpact van het MID MIX-proces is voor alle vier de MID MIX-routes hetzelfde. De klimaatimpact van dit proces wordt voor 96% veroorzaakt door de klimaatimpact van de CaO die wordt toegevoegd aan het proces.

De klimaatimpact van de nabewerkingsprocessen wordt veroorzaakt door de energie die daarbij gebruikt wordt. Bij calcineren wordt aardgas gebruikt als energiebron, terwijl bij de andere nabewerkingsprocessen elektriciteit gebruikt wordt. Hierdoor is de klimaatimpact van het nabewerkingsproces bij calcineren hoger dan bij de andere processen.

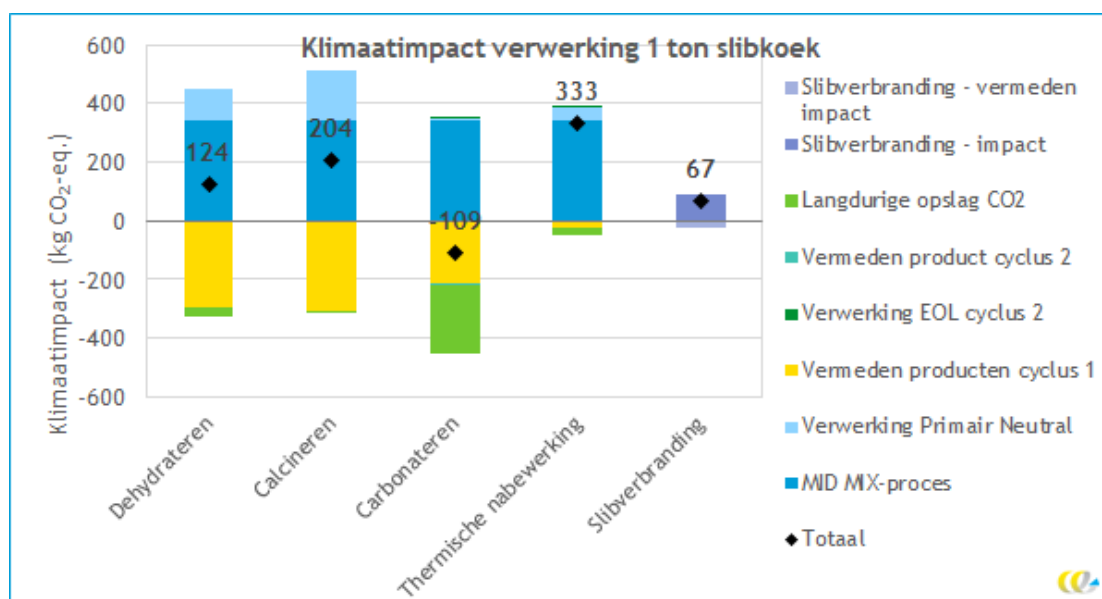
In deze analyse zijn we ervan uitgegaan dat voor het MID MIX-proces en de nabewerkingsroutes de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix gebruikt wordt. In de gevoeligheidsanalyse in Paragraaf 4.5.6 analyseren we de verschillende routes bij het gebruik van hernieuwbare elektriciteit.

Bij dehydrateren en calcineren wordt een product gevormd dat voor een groot deel uit CaO bestaat. De CaO in dit product vervangt primair CaO. Primair CaO heeft een hoge klimaatimpact, waardoor met het vervangen van primair CaO veel klimaatimpact vermeden kan worden. Het product van carbonateren vervangt hoogovencement. Ook hoogovencement heeft een vrij hoge klimaatimpact, vandaar de hoge vermeden klimaatimpact door het vermijden van cement bij carbonateren. Bij thermisch nabewerking wordt Neutral geproduceerd, dat zand in beton vervangt. De klimaatimpact van zand is laag, waardoor de vermeden klimaatimpact door zandvervanging ook beperkt is.

Bij de productie van CaCO₃ in het MID MIX-proces en bij carbonateren wordt CO₂ opgeslagen. De producten van dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking bevatten een klein deel CaCO₃, waardoor er maar een kleine hoeveelheid CO₂ in opgeslagen is. Het product van carbonateren bestaat voor 87% uit CaCO₃, hier zit dus veel CO₂ in opgeslagen.

Ook de totale klimaatimpact van slibverbranding bestaat voor een deel uit klimaatimpact door het proces en de gebruikte hulpstoffen en voor een deel uit vermeden klimaatimpact door het toepassen van producten uit de slibverbranding. De klimaatimpact wordt vooral veroorzaakt door directe emissies van lachgas en fossiel CO₂ (57%) en het gebruik van energie (31%). De vermeden klimaatimpact is het gevolg van de opwek van elektriciteit waarmee de gemiddelde (voor het grootste deel fossiele) Nederlandse elektriciteitsproductie vermeden wordt.

Figuur 7 - Klimaatimpact van de drie MID MIX-slibverwerkingsroutes en slibverbranding, in kg CO₂-eq. per ton slibkoek



De resultaten op Single Score-niveau laten een vergelijkbaar beeld zien als de klimaat-impact. Dit komt doordat de klimaatimpact zwaar wordt meegewogen bij het bepalen van de Single Score.

4.5 Gevoeligheidsanalyse

Er is altijd wat onzekerheid in de uitgangspunten die in een mLCA worden meegenomen. Uit de resultaten blijkt dat de grootste milieu-impact van de verschillende routes wordt veroorzaakt door een paar specifieke onderdelen. Hier kijken we in gevoeligheidsanalyses wat het effect van andere uitgangspunten voor deze onderdelen betekent voor de resultaten.

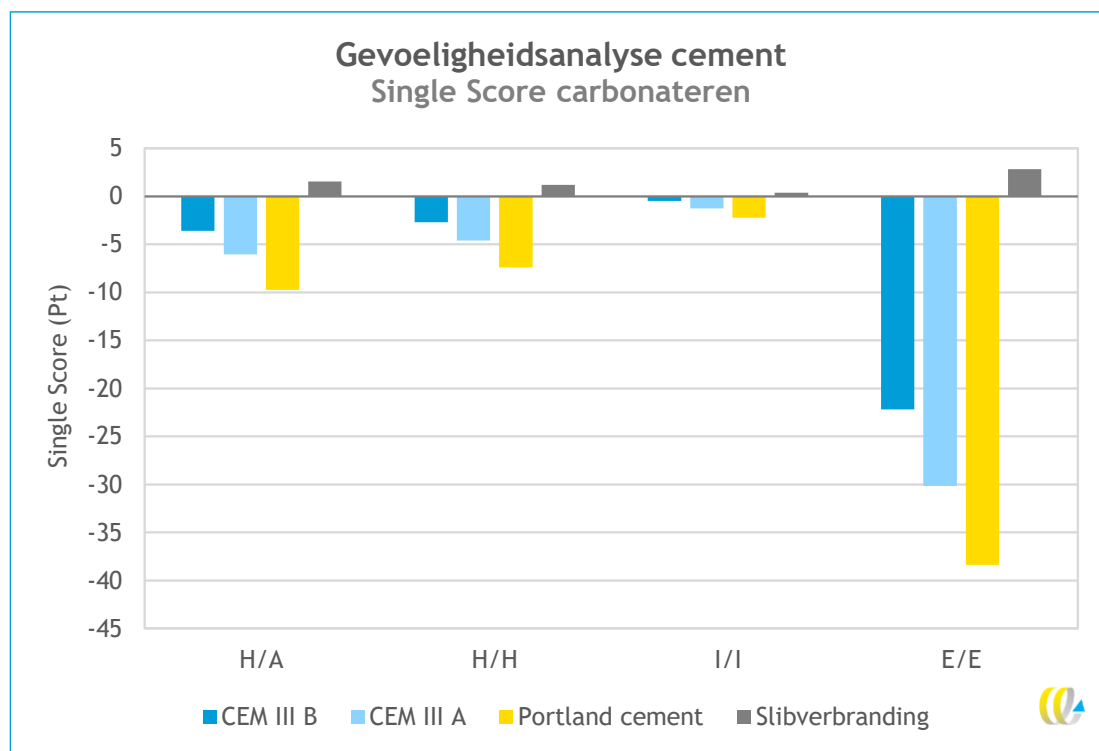
4.5.1 Carbonateren: vermeden product Portland cement, hoogovencement CEMIIIA of hoogovencement CEMIIIB

Bij de nabewerkingsroute carbonateren vervangt het verkregen product hoogovencement. We zijn in de basisanalyse uitgegaan van CEM IIIB. Er worden meer soorten cement vaak gebruikt in Nederlands beton, en deze cementen hebben verschillende milieu-impacts. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we wat de milieu-impact van deze route is als het CaCO₃ na carbonateren Portlandcement (CEM I) of een ander type hoogovencement (CEM IIIA) vervangt.

Op midpointniveau scoort carbonateren bij het vervangen van CEM IIIA of Portlandcement niet meer op alle categorieën beter dan slibverbranding. De impact op de categorie landgebruik is - wanneer CEM IIIA of Portlandcement vermeden worden - bij carbonateren hoger dan bij slibverbranding. Landgebruik is echter niet een van de acht specifieke midpoint-categorieën waar voor de beoordeling volgens het LAP3 vervolgens naar gekeken moet worden, dus ook bij het vervangen van CEM IIIA of Portland cement kan nog steeds op

basis van de resultaten op midpointniveau geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding.

Figuur 8 - Single Score van carbonateren bij verschillende vermeden soorten cement in vergelijking met Single Score slibverbranding



Figuur 8 geeft de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weer in Single Score. De donkerblauwe balk geeft de Single Score weer van het vermijden van CEM IIIB. De lichtblauwe balk en de gele balk geven de Single Score weer als het product van het carbonateren CEM IIIA of Portlandcement vervangt. Te zien is dat de Single Score bij het vermijden van CEM IIIA of Portlandcement nog lager ligt dan bij het vermijden van CEM IIIB. De conclusie van de mLCA verandert dus niet: als CEM IIIA of Portlandcement vermeden wordt in plaats van CEM IIIB, heeft de route MID MIX + carbonateren nog steeds een lagere milieu-impact dan slibverbranding.

4.5.2 Alle routes: Hoeveelheid calciumoxide als grondstof voor MID MIX

Het gebruik van CaO als grondstof voor MID MIX is een van de onderdelen die zorgt voor de hoogste milieu-impact bij MID MIX-routes. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we wat het effect op de resultaten is als er 10% meer CaO als grondstof in het MID MIX-proces wordt gebruikt. Er wordt dan 330 kg CaO per ton slibkoek toegevoegd in plaats van 300 kg. Het effect hiervan is dat er ook meer Primair Neutral geproduceerd zal worden en dus ook meer eindproduct na de nabewerking.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de milieu-impact van de nabewerkingsroutes dehydrateren, calcineren en thermische nabewerking hoger wordt als er meer CaO wordt toegevoegd (respectievelijk 7%, 6% en 10% op de Single Score bij weegset H/A). Daarmee

hebben deze routes nog steeds een hogere milieu-impact dan slibverbranding, en verandert de conclusie van de mLCA voor die routes dus niet.

De milieu-impact van carbonateren wordt juist 7% lager als er meer CaO wordt toegevoegd. Dit betekent dat deze route milieukundig nog steeds beter scoort als slibverbranding. Ook bij deze nabewerkingsroute heeft een overdosering van CaO dus geen effect op de conclusie van de mLCA.

4.5.3 Locatie nabewerkingsroute

In de basisanalyse zijn we ervan uitgegaan dat de nabewerkingsprocessen op bepaalde locaties plaatsvinden (zie Paragraaf 3.1). De nabewerkingsprocessen kunnen echter ook op een andere locatie plaatsvinden. Dit heeft effect op de transportafstand en op het elektriciteitsverbruik van het nabewerkingsproces. Als de nabewerking direct na het MID MIX-proces plaatsvindt is het Primair Neutral nog warm, waardoor er minder elektriciteit nodig is voor de nabewerking. Als het Primair Neutral eerst naar een andere locatie vervoert moet worden, koelt deze af waardoor meer elektriciteit nodig is voor de nabewerking.

In deze gevoeligheidsanalyse kijken we naar het effect van de locatie van de nabewerking op de conclusies. In Tabel 8 staan de gegevens die we gebruikt hebben in deze gevoeligheidsanalyse.

Tabel 8 - Aannames voor de locatie van het nabewerkingsproces, met tussen haakjes de transportafstand naar de nabewerkingslocatie, en het elektriciteitsverbruik van de nabewerkingsprocessen

Proces	Locatie basisanalyse	Locatie gevoeligheidsanalyse	Elektriciteitsverbruik gevoeligheidsanalyse
Dehydrateren	Bij MID MIX-proces (0 km)	Andere locatie (150 km)	350 kWh
Carbonateren	Bij MID MIX-proces (0 km)	Andere locatie (320 km)	2 kWh
Thermische nabewerking	Bij MID MIX-proces (0 km)	Andere locatie (150 km)	129 kWh

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de Single Scores (weegset H/A) van dehydrateren en thermische nabewerking bij nabewerking op een andere locatie hoger worden (met respectievelijk 33 en 13%). Dit verandert dus niets aan de conclusie dat slibverbranding hoogwaardiger is dan dehydrateren en thermische nabewerking.

Als carbonateren op een externe locatie plaatsvindt is kan niet meer uit de resultaten op midpointniveau geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren hoogwaardiger is dan slibverbranding. Deze route scoort dan slechter op de midpoint-categorieën niet-carcinogene toxiciteit, landgebruik en uitputting van fossiele grondstoffen.

De Single Score bij carbonateren op een externe locatie is -2,3 Pt. Dit is lager dan de Single Score van slibverbranding. Er kan dus nog wel op basis van de Single Score geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding.

4.5.4 Bron CO₂ carbonateren

Bij het carbonateren wordt CO₂ langs de Primaire Neutral geleid om CaCO₃ te produceren. Carmeuse gebruikt hiervoor CO₂ in rookgassen. De CO₂ hoeft daarvoor niet uit de rookgassen gehaald te worden. We hebben in de analyse aangenomen dat de milieu-impact van deze CO₂ daarom nul is.

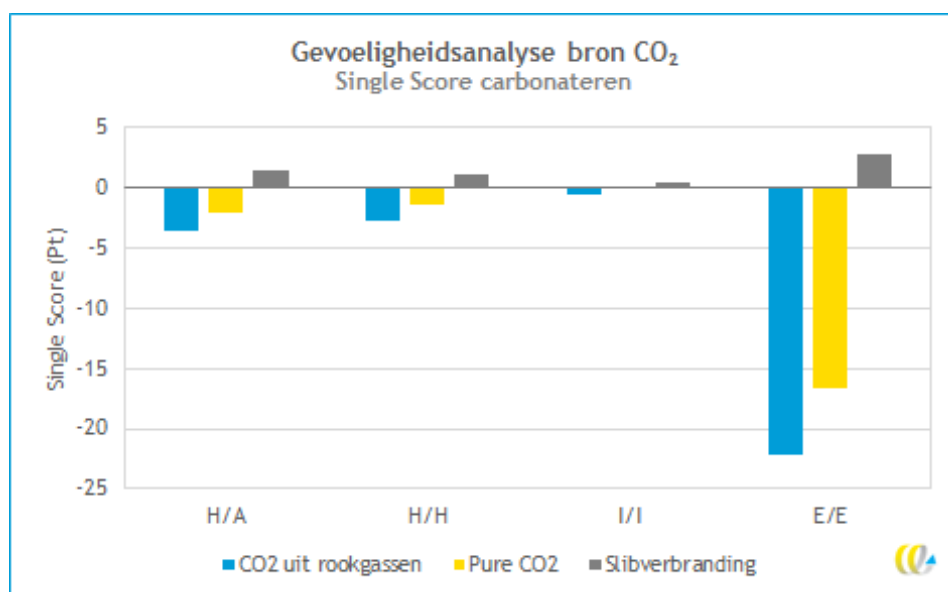
Mogelijk is het niet op elke locatie waar Primair Neutral gecarbonateerd zal worden mogelijk om rookgassen direct langs het Primair Neutral te leiden, of is het toch nodig dat er zuiverder CO₂ wordt gebruikt. Een andere optie is dan het gebruik van uit rookgas afgevangen CO₂. Voor de productie van deze pure CO₂ zijn energie en hulpstoffen nodig, waardoor pure CO₂ wel een milieu-impact heeft. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we of het gebruik van pure CO₂ van invloed is op de conclusie dat de route MID MIX + carbonateren beter is dan slibverbranding.

De impact van de van de pure CO₂ wordt voornamelijk bepaald door warmte- en elektriciteitsgebruik. We hebben de hoeveelheid warmte en elektriciteit die nodig is voor 1 ton pure CO₂ gebaseerd op 'Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en -gebruik in de glastuinbouw'. We gaan uit van de variant 3 die daarin in Tabel 4-1 wordt genoemd: nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande AVI; gasvormig transport (PBL, 2020).

Bij het gebruik van pure CO₂ kan uit de resultaten op midpointniveau niet meer geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding. Deze route scoort dan slechter op de midpoint-categorieën niet-carcinogene toxiciteit, landgebruik en uitputting van fossiele grondstoffen.

Figuur 9 geeft de resultaten voor deze gevoeligheidsanalyse weer in Single Score. De blauwe balk geeft de Single Score van carbonateren met CO₂ uit rookgassen weer. De gele balk geeft de Single Score van carbonateren met pure CO₂ weer. Te zien is dat het gebruik van pure CO₂ voor alle weegsets voor een hogere milieu-impact zorgt. Echter blijft de milieu-impact bij het gebruik van pure CO₂ voor alle weegsets lager dan de milieu-impact van slibverbranding. Er kan op basis van de Single Score dus nog wel geconcludeerd worden dat ook bij gebruik van pure CO₂ de route MID MIX + carbonateren hoogwaardiger is dan slibverbranding.

Figuur 9 - Single Score van carbonateren met CO₂ uit rookgassen en pure CO₂ in vergelijking met Single Score slibverbranding



4.5.5 Opname CO₂ door Neutral in beton

Bij de thermische nabewerking van Primair Neutral wordt Neutral geproduceerd. Neutral bestaat voor het grootste deel uit calciumhydroxide (Ca(OH)₂, zie ook Figuur 2). De Neutral wordt toegepast in beton, waar de calciumhydroxide kan reageren met CO₂ uit de lucht, hierbij ontstaat calciumcarbonaat. Op deze manier wordt dus CO₂ vastgelegd in het beton. In de oorspronkelijke analyse is opname van CO₂ door Neutral na thermische nabewerking niet meegenomen. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we of het meenemen van CO₂-opname door Neutral de conclusie over de route MID MIX + thermische nabewerking beïnvloedt.

Per ton slibkoek wordt 493 kg Neutral met 352 kg Ca(OH)₂ geproduceerd. Als al dit Ca(OH)₂ reageert met CO₂, wordt 210 kg CO₂ vastgelegd. Dit is een theoretisch maximum, in werkelijkheid zal alleen het Ca(OH)₂ dat zich aan de oppervlaktes van het beton bevindt, reageren met CO₂. Hoeveel dit exact is, hangt af van de vorm van het beton. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we naar twee scenario's: 10% van de Ca(OH)₂ reageert en 50% van de Ca(OH)₂ reageert.

Als 10% van de Ca(OH)₂ reageert, wordt 21 kg CO₂ vastgelegd. In dat geval komt de Single Score uit op 5,7 Pt. Als 50% van de Ca(OH)₂ reageert, wordt 105 kg CO₂ vastgelegd. De Single Score van de thermische nabewerkingsroute komt dan uit op 4,3 Pt. Beide waarden zijn hoger dan de Single Score van slibverbranding (2,1 Pt).

Het meenemen van de opname van CO₂ door Ca(OH)₂ in Neutral toegepast in beton heeft dus geen invloed op de conclusie dat de thermische nabewerkingsroute laagwaardiger is dan slibverbranding.

4.5.6 Hernieuwbare energie

Het is mogelijk om de MID MIX-installatie met zonnepanelen te plaatsen. Dan kan de benodigde elektriciteit voor het proces volledig hernieuwbaar worden opgewekt. In deze gevoeligheidsanalyse laten we de impact van de verschillende routes zien wanneer er

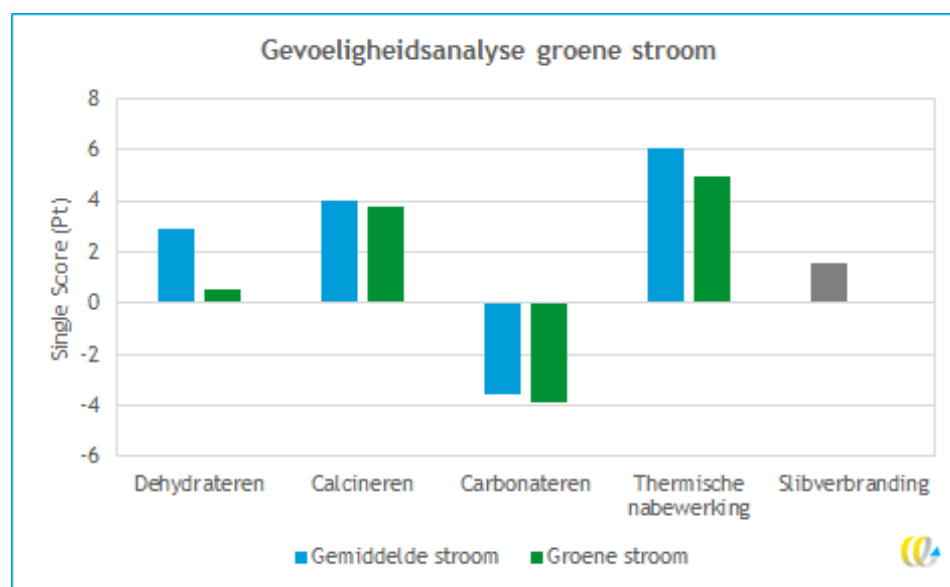
hernieuwbare elektriciteit voor wordt gebruikt. Het gaat dan om alle elektriciteit die nodig is voor het MID MIX-proces en de nabewerkingsroutes.

Figuur 10 geeft het resultaat van de gevoeligheidsanalyse weer. In blauw zijn de resultaten uit de basisanalyse (met het gebruik van de gemiddelde elektriciteitsmix) nog een keer weergegeven. De groene balken geven de Single Score (weegset H/A, dit is de voorkeursset van het LAP3) bij het gebruik van groene elektriciteit weer.

Het gebruik van groene stroom heeft het grootste effect op de milieu-impact van dehydrateren, doordat voor dehydrateren relatief veel elektriciteit wordt gebruikt. Bij het gebruik van groene stroom heeft de route MID MIX + dehydrateren een lagere Single Score dan slibverbranding. Dit is echter niet voor alle weegsets zo. Voor de weegset I/I heeft dehydrateren een hogere Single Score dan slibverbranding. We kunnen dus alleen concluderen dat bij het gebruik van groene stroom de route MID MIX + dehydrateren gelijkwaardig is aan slibverbranding.

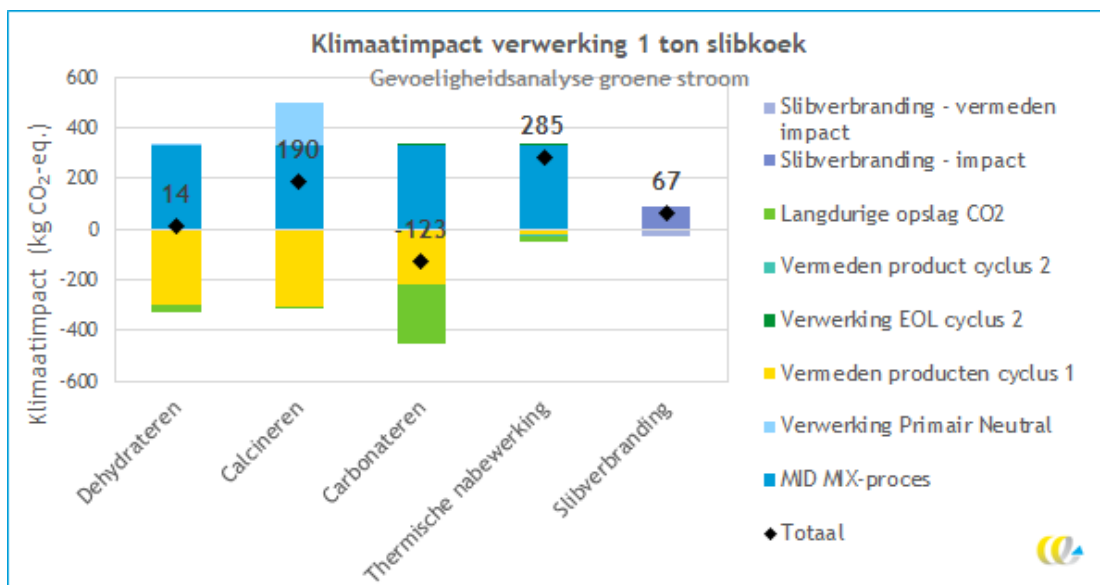
Voor de andere nabewerkingsroutes heeft het gebruik van groene stroom geen invloed op de conclusies van de basisanalyse van de mLCA.

Figuur 10 - Single Score van de verschillende routes bij het gebruik van de gemiddelde elektriciteitsmix en bij het gebruik van groene elektriciteit



Aangezien het gebruik van hernieuwbare elektriciteit veel invloed heeft op de milieu-effectcategorie 'klimaatimpact', geven we in Figuur 11 de klimaatimpact van de verschillende routes weer bij het gebruik van hernieuwbare elektriciteit. Te zien is dat vooral de klimaatimpact van de nabewerkingsprocessen dehydrateren en thermische nabewerking veel lager is (in lichtblauw) dan bij het gebruik van de gemiddelde elektriciteitsmix. Hierdoor komt de klimaatimpact van de route MID MIX + dehydrateren bij het gebruik van hernieuwbare elektriciteit lager uit dan de klimaatimpact van slibverbranding.

Figuur 11 - Klimaatimpact van de verschillende routes bij het gebruik van groene elektriciteit



5 Conclusies en aanbevelingen

We beschrijven in dit hoofdstuk welke conclusies we uit de mLCA kunnen trekken voor iedere nabewerkingsroute. Ook geven we enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten die we in dit rapport laten zien is dat toepassing van de verschillende producten gecertificeerd wordt. De certificering van de producten loopt op het moment van schrijven van dit rapport¹⁰.

Disclaimer: we kijken alleen naar stoffen waarvan de milieu-impact door emissie naar lucht, water en grond is opgenomen in LCA-methodiek. Bijvoorbeeld microplastics, PFAS en andere zeer zorgwekkende stoffen worden daarom niet meegenomen. Effecten MID MIX-routes daarop moeten apart worden geanalyseerd voor vergunningsverlening.

5.1 Conclusies

Conclusie MID MIX + Dehydrateren

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + dehydrateren een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van CaO in MID MIX-proces en het energieverbruik van dehydrateren. Dit wordt niet voldoende gecompenseerd door productie van CaO.

Conclusie MID MIX + Calcineren

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + calcineren een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van CaO in MID MIX-proces en het energieverbruik van calcineren.

Conclusie MID MIX + Carbonateren

Op basis van de resultaten op midpoint-niveau (alle milieueffectcategorieën) kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + carbonateren een lagere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig hoogwaardiger dan slibverbranding. Met name het gebruik van CaO in MID MIX zorgt voor milieu-impact, maar deze wordt deels opgeheven door de opname van CO₂ in CaCO₃ en het vermijden van hoogovenement.

Conclusie MIDMIX + Thermische nabewerking

Op basis van de resultaten op zowel midpoint-niveau, endpoint-niveau en de Single Score kan geconcludeerd worden dat de route MID MIX + thermische nabewerking een hogere milieu-impact heeft dan slibverbranding. Daarmee is de route milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. De milieu-impact wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van

¹⁰ Voor MID MIX + carbonateren: certificeringsproces is opgestart/gaande en wordt uitgevoerd door SGS Intron.



CaO in MID MIX-proces en doordat het product uit deze route zand vervangt, wat een lage milieu-impact heeft.

Conclusie gevoeligheidsanalyses

Eén van de conclusies hierboven verandert door een van de bekeken gevoeligheidsanalyses. Dat is dat wanneer het volledige elektriciteitsgebruik van de route MID MIX + dehydrateren wordt ingevuld met zelf geproduceerde hernieuwbare elektriciteit¹¹, dan wordt deze route gelijkwaardig aan slibverbranding. De andere conclusies blijven hetzelfde als in de basis-analyse.

De andere conclusies blijven hetzelfde als in de basisanalyse. Het enige wat nog belangrijk is om te noemen voor MID MIX + carbonateren is dat de conclusie dat deze MID MIX-route milieukundig hoogwaardiger is dan slibverbranding in de basisanalyse al kan worden genomen op midpointniveau. Bij twee gevoeligheidsanalyses kan die conclusie alleen nog genomen kan worden op basis van de Single Score, niet mee op basis van midpoints. Dit is het geval wanneer:

- pure CO₂ wordt toegepast in plaats van CO₂ direct uit rookgas;
- de locatie waarop carbonateren op een andere locatie plaatsvindt dan het MID MIX-proces zelf.

Algemene conclusie

De route MID MIX + carbonateren is milieukundig hoogwaardiger dan slibverbranding. De andere routes zijn milieukundig laagwaardiger dan slibverbranding. Wanneer het volledige elektriciteitsgebruik van de route MID MIX + dehydrateren wordt ingevuld met zelf geproduceerde hernieuwbare elektriciteit⁴, dan wordt deze route gelijkwaardig aan slibverbranding.

5.2 Aanbevelingen

Ten eerste moet voor de route MID MIX + carbonateren de certificering van het CaCO₃ uit carbonateren worden gecertificeerd als cementvervanger. Dan zijn de resultaten van de mLCA geldig. Dit geldt ook voor de andere routes die we hebben geanalyseerd, maar omdat de conclusie op basis van de mLCA hiervoor ongunstig is, is dit niet relevant voor deze routes.

Het is belangrijk op te merken dat er momenteel nog meer toepassingen en nabewerkingsroutes voor Primair Neutral worden onderzocht. We raden aan om, wanneer technische nieuwe routes en de toepassingen voldoende zijn getest en technisch zijn goedgekeurd, de mLCA uit te breiden.

Ten slotte zou het goed zijn te onderzoeken wat er met de koolstof uit het slibkoek gebeurt in de nabewerking. Dat maakt de massabalans beter te volgen (die is nu gebaseerd op calcium). We zijn er nu van uitgegaan dat - met uitzondering voor de koolstof die in CaCO₃ in primair Neutral terechtkomt - alle koolstof uit slib vrijkomt in de nabewerkingsstappen. Als dit niet het geval is, wordt die koolstof opgeslagen in het product wat tot een gunstiger uitkomst van de mLCA kan leiden.

¹¹ Dit geldt dus niet voor ingekochte hernieuwbare elektriciteit.



6 Literatuur

CE Delft, 2017. *STREAM Goederenvervoer 2016 : Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, CE Delft

PBL, 2020. *Conceptadvies SDE++ 2021 CO2-afvang en -gebruik in de glastuinbouw*, Planbureau voor de leefomgeving

RWS, 2021. *LAP 3 - Bijlage F.9: Uitvoeren van LCA's i.r.t. het LAP*, Rijkswaterstaat (RWS). https://lap3.nl/publish/pages/121785/lap3_f09_lcas_02-03-2021.pdf

STOWA, 2019. *Slibverwerking met ongebluste kalk middels het MID MIX-proces*, STOWA

A Alle resultaten in tabelvorm

Tabel 9 - Resultaten van de mLCA op de verschillende impact categorieën uit de ReCiPe 2016 methode, per ton slibkoek

Milieu-impact categorieën	Eenheid	MID MIX + dehydrateren	MID MIX + calcineren	MID MIX + carbonateren	MID MIX + thermische nabewerking	Slibverbranding
Global warming	kg CO ₂ -eq.	1,24E+02	2,04E+02	-1,84E+01	3,33E+02	8,05E+01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq.	5,21E-05	3,35E-05	1,21E-05	3,80E-05	1,63E-03
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq.	5,77E+00	9,80E-01	-9,99E+00	5,16E+00	9,74E-01
Ozone formation, Human health	kg NO _x -eq.	1,91E-01	1,32E-01	-8,51E-02	1,42E-01	1,33E-01
Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} -eq.	4,89E-02	4,18E-02	-8,82E-02	4,82E-02	4,71E-02
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x -eq.	1,94E-01	1,36E-01	-8,30E-02	1,46E-01	1,35E-01
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	1,12E-01	8,14E-02	-2,60E-01	1,17E-01	1,44E-01
Freshwater eutrophication	kg P eq.	3,25E-02	7,01E-03	-2,45E-02	1,85E-02	3,25E-03
Marine eutrophication	kg N eq.	-1,04E-02	-1,22E-02	-1,45E-02	-1,23E-02	2,88E-04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-1,66E+01	-4,44E+01	-6,02E+02	-1,89E+02	3,69E+02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-3,57E-01	-9,39E-01	-4,87E+00	-1,50E+00	5,73E-01
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9,32E-02	-4,58E-01	-5,93E+00	-1,57E+00	9,57E-01
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,98E+00	1,24E+00	-3,70E+00	-3,97E-01	3,30E+00
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,70E+01	4,23E-01	-6,99E+01	-7,25E-01	1,50E+01
Land use	m ² a crop eq.	8,22E+00	6,17E+00	4,62E+00	-6,93E-01	7,31E-01
Mineral resource scarcity	kg Cu eq.	-6,80E-02	-1,95E-02	-1,06E+00	-1,33E-01	8,56E-02
Fossil resource scarcity	kg oil eq.	4,07E+01	6,56E+01	2,85E+01	3,82E+01	9,47E+00
Water consumption	m ³	1,22E-01	-4,35E-02	-9,20E-01	-9,56E-02	7,17E-02

Tabel 10 - Resultaten van de mLCA op endpoint-niveau, per ton slibkoek

Endpoint-indicatoren	Eenheid	MID MIX + dehydrateren	MID MIX + carbonateren	MID MIX + thermische nabewerking	Slibverbranding
Human health	DALY	1,62E-04	2,20E-04	-1,01E-04	3,38E-04
Ecosystems	species. yr	4,92E-07	6,62E-07	-1,10E-07	9,77E-07
Ecotoxicity	USD2013	1,13E+01	2,47E+01	1,41E+01	1,50E+01

Tabel 11 - Resultaten van de mLCA in Single Score voor verschillende weegsets, in Pt per ton slibkoek

Single score weegset	Eenheid	MID MIX + dehydrateren	MID MIX + calcineren	MID MIX + carbonateren	MID MIX + thermische nabewerking	Slibverbranding
Average H/A	Pt	2,9	4,0	-1,6	6,0	1,5
Individualist (I/I)	Pt	2,3	3,2	-1,1	4,7	1,2
Hierarchist (H/H)	Pt	1,2	1,7	-0,4	2,0	0,4
Egalitarian (E/E)	Pt	11,7	10,9	-14,6	12,9	2,8

Tabel 12 - Cumulative Energy Demand (CED) van de slibverwerkingsroutes, in MJ per ton slibkoek

Indicator	Eenheid	MID MIX + dehydrateren	MID MIX + calcineren	MID MIX + carbonateren	MID MIX + thermische nabewerking	Slibverbranding
CED	MJ	2.274	3.113	1.238	2.096	261

Tabel 13 - Stortindicator, de hoeveelheid gestort materiaal aan het eind van de levensduur, in kg per ton slibkoek

Indicator	Eenheid	MID MIX + dehydrateren	MID MIX + calcineren	MID MIX + carbonateren	MID MIX + thermische nabewerking	Slibverbranding
Stort	kg	397	349	613	493	90

B Proceskaarten in modellering

Tabel 14 - Modellering van inputs en outputs van de MID MIX-routes

Input/output	Proceskaart/modellering
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammonium sulfate {RER} ammonium sulfate production
CaO	Quicklime, milled, packed {RER} market for quicklime, milled, packed
H ₂ SO ₄	Sulfuric acid {RER} market for sulfuric acid
CO ₂ (uit rookgassen)	Geen impact
Transport	Vrachtwagen, zonder aanhanger 10-20 tonne, Diesel, vol heen/leeg terug of halve belading (belading aan te passen) - WTW EURO 6 (CE Delft, 2017)
Inert afval	Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill
Breken van 1 ton beton	1,29 kWh - Elektriciteit NL - Gemiddeld 2018 8,62 MJ diesel - Diesel, burned in building machine {GLO} market for

Tabel 15 - Modellering van de energiebronnen van de MID MIX-routes

Energiebron	Proceskaart/modellering
Elektriciteit gemiddelde mix	Elektriciteit NL - Gemiddeld 2018 (CE Delft, 2017)
Elektriciteit groene mix (gevoeligheidsanalyse)	Elektriciteit NL - Gemiddeld 2018 GROEN (wind & solar)
Aardgas	Productie van 1 MJ aardgas: 0,0316 Nm ³ Natural gas, high pressure {NL} market for Cut-off, U Verbranding van 1 MJ aardgas: emissie van 0,0564 kg CO ₂ -eq.

Tabel 16 - Modellering van de vermeden producten van de MID MIX-routes

Vermeden product	Proceskaart/modellering
Cement (CEM IIIB)	Cement, blast furnace slag 66-80% {Europe without Switzerland} market for cement, blast furnace slag 66-80%
Cement (CEM IIIA) (gevoeligheidsanalyse)	Cement, blast furnace slag 36-65% {Europe without Switzerland} market for cement, blast furnace slag 36-65%
Cement (Portland) (gevoeligheidsanalyse)	Cement, Portland {Europe without Switzerland} market for
CaO	Quicklime, milled, loose {CH} production
Zand	Silica sand {GLO} market for
Grind	Gravel, crushed {CH} market for gravel, crushed