



Milieu impact van de verwerkingsmethoden effluent alkalische hydrolyse

22 september 2023

Kenmerk R001-1290653KXV-V01-pws-NL

Verantwoording

Titel Milieu impact van de verwerkingsmethoden effluent alkalische hydrolyse
Opdrachtgever Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectleider Mike van Boldrik
Auteur(s) Kevin de Vries, Julia Opdam
Tweede lezer Peter van der Pijl

Begeleidingscommissie Çağla Kirit-Yıldız, Ministerie van IenW
Jochem van Westerop, Rijkswaterstaat
Steven Meihuizen, Ministerie van BZK
David Vroon, Rijkswaterstaat
Barla Fetz, NVWA
Mark Montforts, RIVM

Kenmerk R001-1290653KVX-V01-pws-NL
Aantal pagina's 67 (exclusief bijlagen)
Datum 22 september 2023
Handtekening Ontbreekt in verband met digitale verwerking.
Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is onderzoek gedaan naar de verwerking van effluent uit alkalische hydrolyse van het menselijk lichaam. De Gezondheidsraad heeft een positief advies gegeven om alkalische hydrolyse toe te laten als nieuwe methode van lijkbezorging. Tijdens alkalische hydrolyse wordt het lichaam opgelost in een alkalische vloeistof, waarna alleen botten, eventuele medische hulpmiddelen en een restvloeistof overblijven. Deze restvloeistof, het effluent, is organisch vervuild en moet worden verwerkt of gezuiverd. Ook deze verwerkingsstap moet voldoen aan de richtlijn van de Gezondheidsraad voor nieuwe methoden van lijkbezorging.

Het onderzoek naar de verwerking van het effluent bestond uit drie onderdelen. Allereerst werd er een literatuurstudie uitgevoerd om de verschillende verwerkingsmethoden in kaart te brengen. Vervolgens werd het effluent chemisch geanalyseerd en ten slotte is een levenscyclusanalyse uitgevoerd om de impact op het milieu te bepalen.

In totaal zijn tien verwerkingsmethoden of 'routes' geanalyseerd, variërend van directe lozing op oppervlaktewater of bodem tot zuivering van het effluent via een rioolwaterzuiveringsinstallatie of een anaerobe zuivering. Andere methoden waren het gebruik van carbonisatie of wet air oxidation om de organische fractie te verwijderen, het gebruik van een keramisch ultrafiltratie of elektrolyse met bipolaire membranen om zouten en alkali (loog) te scheiden van de organische fractie, en het gebruik van het effluent als meststof, via co-vergisting of direct gebruik.

Uit het literatuuronderzoek bleek dat zorgplichten voor bodem en wetgeving rondom water directe lozing uitsluiten vanwege de te verwachten negatieve gevolgen voor het milieu. Voor de overige acht methoden is geen bezwaar gevonden met betrekking tot de veiligheid en waardigheid van elke route, zolang er een deugdelijk proces of product wordt ontworpen. Wel is verdere toetsing aan de meststoffenwet vereist wanneer ervoor wordt gekozen om het effluent (in)direct als meststof te gebruiken. Uit een kwalitatieve beoordeling kwamen zuivering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie en anaerobe zuivering gebruik als meststof als meest positieve opties naar voren.

De uitkomsten van het literatuuronderzoek zijn gebruikt als input voor de levenscyclusanalyse. Hieruit bleek dat er onvoldoende gegevens beschikbaar waren voor bepaalde routes, zoals carbonisatie, wet air oxidation en het gebruik van membranen. Voor carbonisatie en wet air oxidation is alleen een kwalitatieve analyse uitgevoerd. Voor de overige vier routes is de LCA software SimaPro gebruikt om de impact op het milieu te bepalen. Uit deze analyse kon geconcludeerd worden dat deze routes weliswaar een milieu impact veroorzaken, maar dat deze impact niet groot genoeg is om een van de routes bij voorbaat uit te sluiten. De inzet als kunstmestvervanger scoort hierbij het beste. Echter deze route kan niet zonder aanpassing van de meststoffenwet worden toegelaten.

De beste route voor de zuivering van het effluent zal afhangen van het type proces gebruikt in de hydrolysator. Als er bijvoorbeeld organische chemicaliën worden gebruikt tijdens het hydrolysatieproces, zal dit de rioolwaterzuiveringsinstallatie meer belasten, maar ook meer biogas produceren bij vergisting. Bovendien is er voor enkele routes, zoals het gebruik van membranen, carbonisatie, wet air oxidation en EDBM, meer onderzoek nodig om te bepalen hoe succesvol de route is in het zuiveren of hergebruiken van het effluent.

Het wordt geadviseerd om meerdere verwerkingsmethoden mogelijk te maken, om zo de ontwikkeling en toepassing van deze verwerkingsmethoden en mogelijk andere, nieuwe, duurzame technieken in de toekomst te bevorderen.

Summary

On behalf of the Ministry of Infrastructure and Water Management, TAUW has analysed various processing options for effluent produced by alkalic hydrolysis of human remains. The Dutch Gezondheidsraad has issued a positive advice to allow alkalic hydrolysis as a new option for funeral services. During alkalic hydrolysis, the body of the deceased is dissolved in an alkalic fluid. This leaves only bones, potentially medical aid instruments and a residual liquid. This residual liquid, the effluent, contains organic pollutants and requires some form of treatment. This treatment should follow the guidelines of the Gezondheidsraad for funeral services.

The study on the processing of the effluent consisted of three parts. Firstly, a literature study was conducted to map out the different processing methods. Secondly, the effluent was chemically analyzed, and finally, a life cycle assessment was carried out to determine the environmental impact.

In total, ten processing methods or 'routes' were analyzed, ranging from direct discharge to surface water or soil to purification of the effluent through a wastewater treatment plant or an anaerobic purification. Other methods included the use of carbonization or wet air oxidation to remove the organic fraction, the use of a ceramic or bipolar membrane to separate salts and alkali from the organic fraction, and the use of the effluent as fertilizer, after co-digestion or directly.

The literature study revealed that duty of care for soil and legislation regarding direct discharge of water exclude certain methods due to the expected negative environmental impacts. No objections were found for the remaining eight methods concerning the safety and dignity of each route, as long as a proper process or product is designed. However, further testing according to the "Meststoffenwet" is required when choosing to use the effluent (in)directly as fertilizer. A qualitative assessment identified purification in a wastewater treatment plant, anaerobic purification, use as fertilizer and (co-)digestion as the most positive options.

The results of the literature study were used as input for the life cycle analysis. Certain routes, such as carbonization, wet air oxidation and the use of membranes have not yet been developed enough to warrant a life cycle analysis. For carbonization and wet air oxidation, only a qualitative analysis was performed. The LCA software SimaPro was used for the remaining four routes to determine the environmental impact per category. This analysis concluded that while these four methods all cause environmental impact, this impact is not severe enough to exclude one of the routes from further development. The application of effluent as artificial fertilizer (replacement) results in the lowest environmental impact. This last route is only applicable after modifying the "Meststoffenwet".

The best route for the purification of the effluent will depend on the supplier of the hydrolyzer. If for example organic chemicals are used during the hydrolysis process, this will take up more capacity of a wastewater treatment plant, but also produce more biogas during digestion. Additionally, more research is needed to determine how successful the route is in purifying or reusing the effluent for some routes, such as the use of membranes, carbonization, and wet air oxidation.

It is recommended to open the legislation for more purification methods in order to promote the development and application of these processing methods and to have the possibility of other new techniques in the future.

Inhoud

Samenvatting.....	3
Summary	5
1 Inleiding	9
1.1 Leeswijzer	10
2 Achtergronden	11
2.1 Beoordelingskader	11
2.2 Regelgeving en zorgplichten verwerking effluent.....	12
3 Literatuurstudie.....	13
3.1 Procesbeschrijving alkalische hydrolyse.....	13
3.2 Verschillen tussen leveranciers.....	13
3.3 Effluent samenstelling	14
3.4 Effluent volume en vuillast	16
3.5 Verwerkingsmethoden	17
3.5.1 Lozing op het oppervlaktewater	17
3.5.2 Lozing op de bodem	18
3.5.3 Aerobe zuivering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie.....	19
3.5.4 Anaerobe zuivering via bedrijfsafvalwaterzuivering	21
3.5.5 Gebruikt als meststof	22
3.5.6 (Co-)Vergisting.....	24
3.5.7 Ultrafiltratie met keramisch membraan	25
3.5.8 Carbonisatie.....	26
3.5.9 Wet air oxidation	27
3.5.10 Elektrodialyse met bipolaire membranen	28
3.6 Conclusie	29
4 Chemische analyse van effluent.....	31
5 LCA studie naar effluent alkalische hydrolyse.....	33
5.1 Inleiding.....	33
5.2 LCA doelstelling en afbakening.....	34
5.2.1 Doel.....	34
5.2.2 Gedeclareerde eenheid	34

5.2.3	Systeemgrenzen	34
5.2.4	Verantwoording	35
5.3	Levenscyclus inventarisatie analyse (LCIA)	35
5.3.1	Dataverzameling en -kwaliteit	35
5.3.2	Data inventarisatie	35
5.4	Resultaten levenscyclusanalyse (LCA) en interpretatie	47
5.4.1	Rekenmethode	47
5.4.2	Resultaten	47
5.5	Kwalitatieve analyse van 'Carbonisatie' en 'Wet air oxidation'	59
5.6	Conclusie en discussie LCA	60
6	Conclusie en aanbevelingen	61
7	Afkortingen en Begrippenlijst	64
8	Verwijzingen	65
Bijlage 1	Bijlagen bij LCA	
Bijlage 1a	LCA methodologie	
Bijlage 1b	Custom processen	
Bijlage 1c	Wegingsfactoren ReCiPe	
Bijlage 2	Analysecertificaten Pacelabs	
Bijlage 3	Literatuuronderzoek alkalische hydrolyse	

1 Inleiding

Na een positieve beoordeling voor alkalische hydrolyse door de gezondheidsraad [1], op basis van het beoordelingskader voor nieuwe vormen van lijkbezorging, is het kabinet van plan om alkalische hydrolyse te legaliseren. Alkalische hydrolyse als methode van lijkbezorging zou een vierde keuze bieden naast begraven, cremieren en doneren van het lichaam aan de wetenschap. Tijdens alkalische hydrolyse wordt het lichaam opgelost in een alkalische vloeistof waardoor het lichaam tot aan de botten oplost. Na alkalische hydrolyse blijven de botten, eventueel protheses en een alkalische restvloeistof over. Alkalische hydrolyse, ook bekend als resomatie of bio-crematie, wordt in het buitenland vaak beschouwd als een milieuvriendelijkere optie dan traditionele methoden zoals begraven en cremieren. Hoewel er nog steeds beperkte kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn, zijn er enkele potentiële milieuvoordelen van alkalische hydrolyse.

1. Lagere koolstofdioxide-uitstoot
2. Minder energieverbruik
3. Geen uitstoot van emissies naar lucht zoals fijnstof
4. Waterbesparing
5. Geen grondgebruik

Hoewel deze milieuvoordelen veelbelovend lijken is het belangrijk op te merken dat de kwantitatieve gegevens en vergelijkende analyses tussen alkalische hydrolyse en andere methoden nog beperkt zijn, vooral omdat alkalische hydrolyse een relatief nieuwe methode is. Eén van de belangrijkste lacunes is het gebrek in inzicht hoe de restvloeistof, ook wel effluent genoemd, kan worden verwerkt. Dit onderzoek, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, analyseert verschillende methoden om het effluent te verwerken en de daarbij behorende milieubelasting.

De verwerkingsmethoden van het effluent hebben impact op de duurzaamheid van de methode van lijkbezorging. Derhalve moet dan de effluentverwerking voldoen aan het beoordelingskader voor nieuwe vormen van lijkbezorging. Samengevat houdt dit in dat:

- Alkalische hydrolyse inclusief effluentverwerking duurzamer moet zijn dan begraven en cremieren
- Het proces waardig is met een gegarandeerde afbraak van het lichaam
- Het proces veilig is en mens en milieu niet schaadt

Elk van de verwerkingsmethoden is getoetst op basis van deze criteria. Eerst is er een literatuuronderzoek uitgevoerd om de (technische) haalbaarheid te bepalen en algemene informatie te verzamelen. Daarnaast is het effluent geanalyseerd op chemische eigenschappen om de mate van vervuiling te kwantificeren. Deze informatie is vervolgens gebruikt als input voor een levenscyclusanalyse. De levenscyclusanalyse maakt het mogelijk om de impact op het milieu van verschillende methoden met elkaar te vergelijken. Op basis hiervan is de meest duurzame verwerkingsmethode vastgesteld.

1.1 Leeswijzer

Het rapport bestaat uit drie onderdelen: ten eerste de achtergronden en het kader van het hier gerapporteerde onderzoek (hoofdstuk 2), en een samenvatting van het uitgevoerde literatuuronderzoek (hoofdstuk 3). Vervolgens een chemische analyse van het effluent (hoofdstuk 4) en tot slot de levenscyclusanalyse (hoofdstuk 5). Individuele rapporten en analysecertificaten zijn te vinden in de bijlage van dit rapport.

Alkalische hydrolyse staat ook bekend als resomatie, aquamatie en watercrematie. Deze namen verwijzen vaak naar specifieke bedrijfsnamen en worden gebruikt als termen om de techniek te promoten. Om neutraliteit te behouden, is ervoor gekozen om te verwijzen naar de chemische naam 'alkalische hydrolyse' wanneer naar het proces wordt verwezen. Het apparaat waarin alkalische hydrolyse plaatsvindt, wordt een hydrolysator genoemd. Het gebouw waar de hydrolysator zich bevindt wordt het hydrolysatorium genoemd.

Als het woord alkali gebruikt wordt, is dat het loog of de base dat voor het hydrolyseren gebruikt wordt.

2 Achtergronden

Tijdens alkalische hydrolyse wordt het lichaam geplaatst in een hydrolysator, een reactor vergelijkbaar met een snelkookpan. Vervolgens wordt de hydrolysator gevuld met water en een kaliumhydroxide-oplossing. Daarna wordt de temperatuur in de hydrolysator gedurende enkele uren verhoogd. Binnen deze periode worden de weefsels van het lichaam afgebroken tot wateroplosbare stoffen, terwijl de botten achterblijven. Na afloop worden zowel de reactor als de botten schoongespoeld. De botten worden vermalen tot een poeder en kunnen, net als crematie-as, in een urn aan de nabestaande worden meegegeven. Eventuele protheses worden hiervan gescheiden.

Na een cyclus van alkalische hydrolyse ontstaat ongeveer 2000 liter restvloeistof. Deze waterige vloeistof bevat hoofdzakelijk organische resten en zouten afkomstig uit het menselijk lichaam, evenals alkalische residuen. Het effluent moet worden geneutraliseerd en mogelijk gezuiverd alvorens te mogen lozen of worden opgewerkt. Er zijn verschillende verwerkingsmethoden beschikbaar voor het verwerken van het effluent, variërend van directe lozing in het milieu tot verwerking tot een nuttig product. De in dit rapport behandelde methoden zijn:

1. Directe lozing van het effluent op oppervlaktewater
2. Directe lozing van het effluent op de bodem
3. Zuivering van het effluent met aerobe zuivering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie
4. Afvoeren per vrachtwagen en behandeling van het effluent in een anaerobe zuivering
5. Gebruik van het effluent als meststof voor gewassen
6. (Co-)vergisting van het effluent voor energieopwekking
7. Filtratie van het effluent met een keramische ultrafiltratie
8. Carbonisatie van het effluent, gevolgd door filtratie
9. Oxidatie van het effluent via 'wet air oxidation'
10. Terugwinning van zuur en base met Elektrodialyse met bipolaire membranen

2.1 Beoordelingskader

Elke verwerkingsmethode moet voldoen aan het beoordelingskader van de Gezondheidsraad voordat deze aanbevolen wordt. Het beoordelingskader is weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beoordelingskader voor nieuwe vormen van lijkbezorging [1]

Waarde	Voorwaarde
Veiligheid	<p>1. Gegarandeerde technische veiligheid De installaties mogen geen risico opleveren voor operateurs en anderen in de buurt.</p>
	<p>2. Geen verspreiding van risicovolle agentia Tijdens het proces mag geen risicovolle agentia verspreid worden in concentraties die schadelijk zijn voor mens en natuur.</p>
Waardigheid	<p>3. Gegarandeerde afbraak van het lichaam Het proces moet het lichaam afbreken tot ten minste het skelet.</p>
	<p>4. Geen ongewilde vermenging van lichaam en de overblijfselen Tijdens de lijkbezorging moeten de lichamen en de overblijfselen daarvan gescheiden blijven om herleidbaarheid in stand te houden.</p>
	<p>5. Geen publieke waarneembaarheid De lichaamsafbraak mag niet zichtbaar en waarneembaar zijn voor de omgeving. Dit houdt ook in dat hinder door geur niet toegestaan is.</p>
	<p>6. Integriteit van het lichaam en de overblijfselen De lichamen en de overblijfselen moeten beschermd worden tegen ontvreemding en ander oneigenlijk gebruik.</p>
Duurzaamheid	<p>7. Minder gebruik op eindige stoffen Uitvoeren en inrichten van het proces moet minder eindige stoffen gebruiken dan begraven en cremen.</p>
	<p>8. Minder schadelijke emissies Tijdens uitvoering van het proces moet de uitstoot van schadelijke emissies lager zijn dan bij begraven of cremen</p>
	<p>9. Minder beslag op beschikbare ruimte De methode van lijkbezorging moet minder ruimte in beslag nemen dan begraven.</p>

2.2 Regelgeving en zorgplichten verwerking effluent

In de basis is een hydrolysatorium vergunningplichtig. Dit gezien de processen die onder verhoogde druk en een verhoogde temperatuur met agressieve chemicaliën plaatsvinden. De tien verwerkingsmethoden dienen, naast het beoordelingskader, ook te voldoen aan de Nederlandse regelgeving. Deze methoden hebben namelijk invloed op de kwaliteit van de bodem en/of het water. Om schade aan de omgeving te voorkomen, zijn er zorgplichten waaraan de lozer, in dit geval het hydrolysatorium, moet voldoen.

Een zorgplicht is van toepassing bij lozingen op oppervlaktewater en bodem. Bij een lozing moet voorkomen worden dat schade wordt toegebracht aan de kwaliteit van bodem en water, en de vorming van afvalwater moet worden vermeden [2]. Zelfs als er geen directe lozing op bodem of water plaatsvindt, gelden er plichten. Bij lozing op het riool is een lozingsvergunning noodzakelijk, omdat de werking van de rioolwaterzuiveringsinstallatie en het vuilwaterriool niet negatief beïnvloed mogen worden. Deze zorgplicht wordt verder behandeld in hoofdstuk 3.4.3.

3 Literatuurstudie

In dit hoofdstuk worden de conclusies uit de literatuurstudie samengevat. Eerst wordt het alkalische hydrolyse-proces beschreven om begrip te krijgen over de vervuilingen in het hydrolysatorium effluent. Daarna wordt elke verwerkingsmethode getoetst op veiligheid, waardigheid en duurzaamheid, zoals in het beoordelingskader (tabel 2.1) beschreven wordt.

3.1 Procesbeschrijving alkalische hydrolyse

Bij alkalische hydrolyse wordt het lichaam in een hydrolysator geplaatst. Het lichaam kan met of zonder kleding in het apparaat worden geplaatst, op voorwaarde dat de kleding gemaakt is van gemakkelijk afbreekbare materialen zoals wol of zijde. Vervolgens wordt de reactor gevuld met warm water en een alkalische vloeistof. De alkalische vloeistof kan bestaan uit kaliumhydroxide, natriumhydroxide of een combinatie van beide. Zodra de gewenste pH-waarde is bereikt, wordt de oplossing verder verwarmd. Bij systemen die werken bij atmosferische druk wordt de vloeistof verhit tot 90-98°C. Bij systemen met hogere druk stijgt de temperatuur tot 150-180°C en de druk tot 4-11 bar. Afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid alkali lost het lichaam op binnen een periode van 3 tot 14 uur, waarbij een systeem met hogere temperaturen doorgaans sneller werkt dan een systeem met lagere temperaturen.

Na afloop wordt de hydrolysator afgekoeld en worden de overgebleven resten, bestaande uit eventueel medische hulpmiddelen en botten, schoongespoeld met water. Vervolgens worden de medische hulpmiddelen gerecycled en worden de botten verpulverd tot poeder. In bestaande systemen in het buitenland stroomt de restvloeistof, het effluent, naar een buffertank of het riool. Voordat het effluent op het riool wordt geloosd, wordt het in de meeste gevallen geneutraliseerd door toevoeging van zwavelzuur.

3.2 Verschillen tussen leveranciers

Op de markt zijn diverse leveranciers van hydrolysatie-apparatuur beschikbaar. De werking van het systeem en de gebruikte chemicaliën kunnen de samenstelling van het effluent beïnvloeden. Als onderdeel van de studie zijn verschillende producenten van apparatuur benaderd om inzicht te verkrijgen in hun processen. Resomation Ltd. [3] uit Engeland en Bio-Response Solutions [4] uit Amerika hebben wereldwijd werkende hydrolysatoren. Daarnaast zijn ECO Resomation [5] en Aquasolve [6] uit Nederland benaderd.

- Resomation Ltd. produceert een systeem werkend bij hoge temperatuur. Kaliumhydroxide wordt gebruikt als alkali voor de hydrolyse en zwavelzuur voor de neutralisatie van het effluent. Per lichaam wordt ongeveer 2000 liter effluent geproduceerd. Het effluent is steriel en bevat geen sporen van DNA. [7]

- Bio-Response Solutions verkoopt systemen werkend bij lage en hoge temperaturen voor de mens onder de naam Aquamation. Als alkali worden verschillende ratio's van kalium- en natriumhydroxide gebruikt. Injectie van koolzuur wordt gebruikt om het effluent te neutraliseren.¹ Tijdens het hydrolysatie proces wordt de hydrolysator gekanteld waardoor de menselijke resten naar beneden vallen. Hierdoor is minder water benodigd, waardoor per lichaam ongeveer 1.500 liter effluent ontstaat. Onderzoek [8] valideert de afbraak van schadelijke prionen en bacteriën, bij een blootstelling aan een temperatuur van 95,6°C gedurende 14 uur
- ECO resomation heeft een systeem ontworpen werkend bij verhoogde druk en hoge temperatuur. Daarnaast wordt kaliumhydroxide gebruikt om het lichaam op te lossen. Zwavelzuur wordt gebruikt om het effluent te neutraliseren. Hierdoor lijkt het proces op Resomation Ltd. Eén cyclus resulteert in ongeveer 1.200 liter effluent²
- Aquasolve heeft een systeem ontworpen werkend bij een atmosferische druk en relatief lage temperatuur (<80°C). Het proces heeft een korte cyclus tijd van 4 tot 4,5 uur door gebruik van een grotere hoeveelheid kaliumhydroxide in opzichte van andere leveranciers. Ter neutralisatie wordt azijnzuur gebruikt, met daaropvolgend de additie van ethanol. Het proces resulteert in een geconcentreerde stroom effluent met een volume van minder dan 200 liter³

Op het proces van Aquasolve na zijn deze processen vergelijkbaar, waardoor geen verschillen in verwerking van het effluent zijn. Aquasolve gebruikt ethanol en azijnzuur, waardoor de mate van organische vervuiling velen malen hoger is. Hierdoor is de belasting op biologische zuiveringen in vergelijking tot andere leveranciers groter. Echter is de potentiële productie van biogas ook hoger.

3.3 Effluent samenstelling

Alkalische hydrolyse is de procesmatige naam voor de chemische reactie die plaatsvindt tijdens deze methode van lijkbezorging. De chemische reactie breekt triglyceriden (vetten) in het lichaam af tot zeep en worden eiwitten in bijvoorbeeld nagels en haren omgezet naar individuele aminozuren. De mate van vervuiling van het effluent is dan ook afhankelijk van het lichaam. Niet elk lichaam heeft dezelfde bouw. De volgende factoren beïnvloeden de samenstelling van het effluent:

1. Bouw van het lichaam. Grote lichamen resulteren in een hogere concentratie van vervuilingen. Wanneer de huidige trend in overgewicht doorzet zal de mate van vervuiling in het effluent toenemen
2. Instellingen en ontwerp van de hydrolysator. Er zijn meerdere leveranciers van apparatuur voor alkalische hydrolyse. De ontwerpen verschillen onder andere in gebruik van loog, temperatuur en de hoeveelheid effluent. Wanneer een groter volume effluent vrij komt wordt de vervuiling verdund. De hoeveelheid loog heeft invloed op de concentratie zout

¹ Informatie is aangeleverd door Bio-Response Solutions

² Informatie is aangeleverd door ECO Resomation

³ Informatie is aangeleverd door Aquasolve

3. Vervuiling uit de omgeving. Wanneer de mens in contract komt met vervuilingen van de omgeving via voeding en water kunnen deze achter blijven in het menselijk lichaam. Een voorbeeld zijn de poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) die zich in verschillende mate ophopen in het lichaam [9]. De verwachting is dat deze stoffen niet tot minimaal afbreken tijdens alkalische hydrolyse

Tabel 3.1 Effluent analyses van Resomation Ltd. systemen, gemiddelden van TNO [10] en Middlesex university [11]

	Gemiddeld resultaat in mg/l	Standaarddeviatie	Aantal metingen, (aantal boven detectielimiet)
Kwik	<0,0025		4 (0)
Arseen	<0,030		1 (0)
Cadmium	<0,0025		6 (0)
Chroom*	0,29		6 (1)
Koper	0,06	0,02	6 (6)
IJzer	0,93	0,19	6 (6)
Lood	<0,015		6 (0)
Mangaan	0,015		1 (1)
Nikkel	<0,0050		6 (0)
Zink	0,36		6 (1)
CZV	24500	15200	6 (6)
Droge stof/TSS	2100	1200	6 (6)
Fosfor	22	6	6 (6)
Sulfaat als (SO4)	5500		1 (1)
Ammoniakale Stikstof	80	103	6 (6)
BZV	12500	6500	3 (3)
Olie en vet**	6400	5000	6 (6)
pH (std. Units)	>10		
Effluent volume (liter)	1900-2100		

* 5 metingen van Middlesex University onder de detectielimiet van 0,023 mg/l, alleen meting van TNO ruim boven het limiet

** Methode van analyse kan geen onderscheid maken tussen vetten en zepen

Zoals verwacht zijn de verschillen tussen lichamen terug te zien in de mate van vervuiling van het water. De hoeveelheid organische vervuiling, uitgedrukt in chemisch zuurstofverbruik (CZV) en biochemisch zuurstofverbruik (BZV), verschilt significant tussen metingen. Ook de hoeveelheid zepen, uitgedrukt in olie en vet, is afhankelijk van het lichaam. De mate van organische vervuiling in het hydrolysatorium effluent is aanzienlijk. Gemiddeld bevat huishoudelijk afvalwater 450 mg/liter biochemisch zuurstof verbruik [12], het effluent bevat dus ruim 40 keer meer organische vervuiling. In de literatuur is aangegeven dat de totale vuilvracht in het hydrolysatorium effluent van 1 lichaam gelijkstaat aan circa 1 inwoner equivalent. Analyseresultaten van het systeem van Bio-Response Solutions [13] zijn vergelijkbaar met de waardes uit tabel 3.1 wanneer gecorrigeerd wordt voor het volume aan effluent.

Een aandachtspunt bij de analyseresultaten is het niet kunnen uitsluiten van de aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen in lage concentraties. In het verleden werd amalgaam, een legering van onder andere kwik en zilver, gebruikt als vulmiddel voor tanden. Volgens Bio-Response Solutions en een nieuws artikel [14] blijven de vullingen tijdens het proces onaangetast. Echter is het niet bekend of er amalgaam vullingen aanwezig waren tijdens het hydrolysatie proces waarbij de analyses van Resomation LTD uit tabel 2 zijn uitgevoerd. Het oplossen van kwik tijdens alkalische hydrolyse is niet verwacht door de chemische resistentie van zilver bij alkalische omstandigheden. Daarentegen lost bij een lage pH en een hoge temperatuur het amalgaam gemakkelijk op [15] [16]. Overigens ligt de norm voor kwik in oppervlaktewater lager dan het detectie limiet van beschikbare analysetechnieken.

3.4 Effluent volume en vuillast

De verwachting is dat, net zoals bij de legalisatie van crematie, de vraag naar alkalische hydrolyse langzaam zal stijgen nadat deze methode van lijkbezorging steeds meer als normaal wordt gezien. Uit een draagvlakonderzoek [17] uit 2017 blijkt dat alkalische hydrolyse bij 39 % van de ondervraagden positieve gevoelens oproept. Daarnaast reageert 24 % 'zou ik wel doen' op basis van een korte informatieve tekst. Wanneer daadwerkelijk een kwart van de bevolking zou kiezen voor alkalische hydrolyse dan zouden er circa 40.000 hydrolysaties uitgevoerd worden per jaar, uitgaand van gemiddeld 170.000 overlijdens per jaar. Dit zou resulteren in ruim 80.000 m³ effluent wanneer het proces van Resomation Ltd. gebruikt wordt.

Indien dit effluent allemaal via het riool op de RWZI verwerkt wordt levert dat de volgende beschouwing op.

Er wordt in Nederland per jaar ongeveer 20 miljard m³ afvalwater [18] gezuiverd in rioolwaterzuiveringsinstallaties.

De concentraties verontreiniging van het effluent zijn velen malen hoger dan in stedelijk afvalwater. Een gemiddelde inwoner produceert een vuillast van 54 gram BZV per dag of circa 20 kg BZV per jaar in het stedelijk afvalwater. Bij één cyclus van alkalische hydrolyse ontstaat 2.000 liter effluent met gemiddeld 12,5 gram biochemisch of biologisch zuurstof verbruik (BZV) per liter. In het totaal resulteert dit in een last van 25 kilogram BZV of ongeveer circa 1,25 inwoner equivalent. Dit is 25 % hoger dan het in de literatuur genoemde getal van 1.

Een hydrolysatorium waar 6 dagen per week één lichaam per dag verwerkt wordt, belast een rioolwaterzuiveringsinstallatie jaarlijks net zoveel als 317 inwoners. Wanneer bij een kwart van de jaarlijkse overlijdens gekozen wordt voor alkalische hydrolyse komt de extra last op het Nederlandse riool uit op 50.000 inwoners equivalenten.

Deze waarden zijn indicatief en afhankelijk van meerdere variabelen. Zo kan de uiteindelijke hoeveelheid mensen die voor alkalische hydrolyse kiezen hoger of lager zijn. In de stad Stillwater, Amerika, kiest bijvoorbeeld ongeveer 50 % van de inwoners voor alkalische hydrolyse [19]. Daarnaast is de hier gebruikte waarde van de gemiddelde BZV-concentratie berekend met maar drie analyses met een grote standaardafwijking (>50 % van het gemiddelde). Desondanks laat deze beschouwing zien dat lozing van het effluent op het vuilwaterriool een relatief grote impact heeft op met name kleine RWZI's.

3.5 Verwerkingsmethoden

Nu de mate van vervuiling in het effluent is vastgesteld kan bepaald worden welke methodes beschikbaar zijn om het effluent te zuiveren of te verwerken tot een nuttig product. Het uitgangspunt van deze verwerkingsmethoden is dat het effluent bij het verlaten van het hydrolysatorium geen DNA materiaal bevat. Dit houdt in dat het effluent niet herleidbaar is naar het individu of naar de mens. Hiermee is het effluent vergelijkbaar met rookgassen van crematie, waardoor verwerking hiervan geen ethische bezwaren oproept. Daarnaast moet het effluent steriel zijn en mag het geen prionen bevatten. Wanneer het effluent na alkalische hydrolyse toch menselijk DNA materiaal bevat of niet steriel is, is het verwerken hiervan in een publieke zuivering bezwaarlijk en moet het behandeld worden als gevaarlijk afval.

Elke van de zuiveringsmethoden heeft een beoordeling ontvangen van +, +/- of -. Bij een positieve beoordeling (+) voldoet de verwerkingsmethode aan het beoordelingskader van de gezondheidsraad of kan het met kleine aanpassingen voldoen. Bij een gemiddelde beoordeling (+/-) kan met een aanpassing voldaan worden aan het beoordelingskader of moet uit de levenscyclusanalyse blijken hoe duurzaam de methode is. Als een verwerkingsmethode een negatieve beoordeling krijgt (-), betekent dit dat de verwerkingsmethode niet voldoet aan het beoordelingskader. Dit houdt in dat niet verwacht wordt dat binnen korte termijn aanpassingen gedaan kunnen worden om te voldoen aan de gestelde eisen.

3.5.1 Lozing op het oppervlaktewater

Bij lozing op oppervlaktewater wordt het effluent direct verpompt naar een in de buurt gelegen waterlichaam. Hier komt het water direct terecht, zonder voorbehandeling. De organische vervuiling in het effluent wordt verwijderd door de micro-organismen in het waterlichaam. Wanneer te veel organisch materiaal geloosd wordt onttrekken de micro-organismen te veel zuurstof uit het water, waardoor de biologische kwaliteit van het waterlichaam achteruit gaat. Daarnaast is het effluent door de hoge alkaliteit schadelijk voor het oppervlaktewater waardoor niet aan de zorgplicht wordt voldaan.

Voor lozing op het oppervlaktewater is een vergunning nodig. Als deel van de vergunningsaanvraag moet de Algemene Beoordelings Methodiek (ABM) en immissietoets doorlopen worden. Deze methodiek en toetsing richt zich op het voorkomen en minimaliseren van afvalwater door hergebruik en/of zuivering. Op basis van de samenstelling van het effluent zal nooit een vergunning voor directe lozing op het oppervlaktewater worden afgegeven. Daarnaast kan er door directe lozing op het oppervlaktewater negatieve beeldvorming ontstaan rondom alkalische hydrolyse. Zeker als de lozing in de omgeving van zwemwater plaatsvindt.

Tabel.2.2 Toetsing van beoordelingskader lozing op het oppervlaktewater

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid		Negatieve gevolgen voor lokale waterkwaliteit.	-
Waardigheid	De verwerkingsmethode heeft geen invloed op afbraak van lichaam.	Het bruine effluent is mogelijk zichtbaar voor de omgeving rondom lozingspunt. Geuroverlast door microbiologische afbraak niet uitgesloten.	-
Duurzaamheid	Direct lozen legt geen tot weinig beslag op beschikbare ruimte en eindige stoffen.	Schade aan het lokale milieu is waarschijnlijk. Emissies door natuurlijke afbraak zijn niet gecontroleerd.	-

3.5.2 Lozing op de bodem

Bij lozing op de bodem wordt het effluent verspreid over het land. Dit zou in een soortgelijke vorm kunnen plaatsvinden als op een verstrooiterrein voor crematie as. De organische vervuiling wordt vervolgens afgebroken door micro-organismen in de bodem en dient als voeding voor planten. Dit kan een positief imago geven aan alkalische hydrolyse door iets terug te geven aan de natuur.

Wanneer het effluent geloosd wordt op de bodem mag dit geen negatief effect hebben voor het milieu. Het geneutraliseerde effluent bevat echter hoge concentraties zouten en sporen van metalen. Dit heeft mogelijk een nadelig effect op het milieu en plantgroei waardoor de lozing niet voldoet aan de zorgplicht voor bodembescherming. Ook de grote hoeveelheid sulfaat is problematisch en kan leiden tot verzuring van de bodem en verdringing van fosfaat [20]. Belangrijk is om de bodem te analyseren en vast te stellen of de samenstelling van het effluent past binnen de vrachten die bodem mag ontvangen. Wanneer deze vrachten worden overschreden heeft dit nadelen voor de biodiversiteit en stijgt het risico op grondwatervervuiling.

Volgens de zorgplicht moet verontreiniging van de bodem worden voorkomen en moeten nieuwe verontreinigen opgeruimd worden. Bij lozing op de bodem is de kans op verontreiniging groot waardoor deze methode af valt.

Tabel 3.3 Toetsing van beoordelingskader bij lozing op de bodem

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid		Negatieve gevolgen voor het milieu wanneer het effluent niet binnen de benodigde vracht van de bodem past.	-
Waardigheid	Het gebruik van effluent als voedingsbron voor planten kan een positief imago geven.	Geuroverlast is niet uitgesloten. De methode is niet geschikt in de wintermaanden wanneer planten de nutriënten minder snel opnemen en wanneer de grond bevroren is.	+/-
Duurzaamheid		Schade aan lokaal milieu bij lozing van fosfaat- en stikstofhoudend effluent wanneer dit niet binnen de vracht past. Groot terrein benodigd om het effluent uit te rijden.	-

3.5.3 Aerobe zuivering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie

Bij aerobe zuivering wordt het effluent gezuiverd in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Het effluent moet eerst geneutraliseerd worden tot een pH kleiner dan 10 en wordt afgevoerd via het riool. Terwijl het effluent richting de RWZI stroomt wordt het gemengd met huishoudelijk afvalwater. In de rioolwaterzuivering wordt het effluent onder zuurstofrijke condities gereinigd door de micro-organismen in actief slib. Tijdens dit proces worden de vervuilingen omgezet naar koolstofdioxide, stikstofgas en nieuw slib. De overmaat aan slib kan vergist worden voor biogasproductie. Omdat tijdens aerobe zuivering een groot deel van de organische vervuiling al direct omgezet wordt naar koolstofdioxide kan er uit slib minder biogas geproduceerd worden dan tijdens directe vergisting.

Wanneer het effluent op het vuilwaterriool wordt geloosd geldt een zorgplicht [2] waardoor de lozer aan enkele voorwaarden moet voldoen. Deze voorwaarden bestaan om de werking van de RWZI en het riool te beschermen. Dit houdt in dat de temperatuur van het effluent niet hoger mag zijn dan 30°C. De zuurgraad dient tussen een pH van 6,5 en 10 te liggen, en de sulfaatconcentratie moet lager zijn dan 300 mg/l zodat betonrot voorkomen wordt. Om te voldoen aan deze waardes moet het effluent verder worden terug gekoeld en in plaats van zwavelzuur een ander zuur gebruikt worden voor pH neutralisatie. Het effluent bevat vóór pH neutralisatie minder dan 100 milligram/liter sulfaat.⁴

Na zuivering in de RWZI wordt het relatief schone water geloosd in het nabijgelegen oppervlaktewater. Het relatief schone water bevat nog stoffen die schadelijk zijn voor het milieu, waaronder microplastics, medicijnresten en PFAS. Momenteel wordt er nog niet standaard bij elke RWZI aanvullend gezuiverd op deze stoffen. De herziening van de Richtlijn Behandeling Stedelijk Afvalwater, die momenteel behandeld wordt op Europees niveau [21], zal naar verwachting resulteren in strengere lozingsseisen voor RWZI's. Het verder zuiveren van het water in de RWZI kan de duurzaamheid verbeteren omdat het geloosde water schoner is, maar verdere zuivering kan ook resulteren in een hoger energie en/of chemicaliën verbruik.

Zuivering via de aerobe rioolwaterzuivering wordt toegepast in meerdere hydrolysatoria in Amerika, waaronder in de stad Stillwater bij een hydrolysatorium van Resomation Ltd. [19]. De operators van de lokale RWZI stonden eerst negatief tegenover dit afvalwater, maar educatie over alkalische hydrolyse werkte goed om de zorgen van de operators weg te nemen. Na aansluiting van de hydrolysator ondervond de lokale waterzuivering geen problemen. Naast de installatie van Resomation Ltd. staan wereldwijd ongeveer 500 alkalische hydrolyse systemen van Bio-Response Solutions aangesloten op het riool.

Naarmate alkalische hydrolyse populairder wordt zal het volume aan effluent toenemen. Zoals beschreven in sectie 3.4 heeft een hydrolysatorium waar zes personen per week worden gehydrolyseerd per jaar dezelfde beslagname op een RWZI capaciteit als de vuilvracht per jaar van ongeveer 320 mensen. Wanneer het effluent van meerdere hydrolysaties geloosd wordt op één RWZI kan bij kleine RWZI's door te hoge belasting met CZV een capaciteitsprobleem ontstaan. Dit kan een reden zijn om lozingen van het hydrolysatorium te weigeren, aangezien RWZI's zijn ontworpen en bedoeld voor de zuivering van stedelijk afvalwater [22].

Voor lozing op het riool is een vergunning nodig. Als aan de eisen ten aanzien van de parameters pH, sulfaat, olie en vetten en zwevende stof wordt voldaan is het verkrijgen van een vergunning realistisch. Bij afwijking daarvan is overleg met de bevoegde gezagen noodzakelijk.

Deze verwerkingsmethode is volledig uitontwikkeld en het Technology Readiness Level-niveau (TRL) is derhalve op 9 beoordeeld.

⁴ Analyseresultaten van Bio-Response Solutions en Aquasolve bevatten beide minder dan 100 mg/l sulfaat. Deze processen gebruiken geen zwavelzuur.

Tabel 3.4 Toetsing van beoordelingskader aerobe zuivering in een rioolwaterzuiveringsinstallatie

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Zuivering wordt gegarandeerd door monitoring van de RWZI.	Een hoge sulfaat concentratie kan invloed hebben op de werking van het riool en een RWZI.	+
Waardigheid	Zuivering is niet waarneembaar voor het publiek.	Lozen van het effluent op het vuilwaterriool kan als niet waardig worden gezien door de families.	+/-
Duurzaamheid	Weinig tot geen nieuwe infrastructuur nodig wanneer gebruik gemaakt wordt van bestaande RWZI. Een kleine hoeveelheid biogas productie vanuit vergisting van het RWZI-slib	Het beluchten van de beluchtingstanks kost veel energie. Impact van herziening van de Richtlijn Behandeling Stedelijk Afvalwater op de duurzaamheid van de zuivering van het effluent via de RWZI is zeer locatie afhankelijk.	+/-

3.5.4 Anaerobe zuivering via bedrijfsafvalwaterzuivering

Anaerobe zuivering is vergelijkbaar met aerobe zuivering, maar vindt plaats in een zuurstofarme omgeving in plaats van zuurstofrijk. Hierdoor zijn andere bacteriën aanwezig die voornamelijk methaan en koolstofdioxide maken in plaats van alleen koolstofdioxide. Het mengsel van methaan en koolstofdioxide, ook bekend als biogas, kan direct of na opwerking tot aardgaskwaliteit gebruikt worden als alternatief voor fossiele brandstoffen. Een nadeel van anaerobe zuivering is de waterstofsulfide productie die plaats kan vinden door sulfaat in het effluent. Waterstofsulfide is een giftig, corroderend en stinkend gas dat uit het biogas verwijderd moet worden voor gebruik. Bij anaerobe zuivering is het gebruik van zwavelzuur tijdens neutralisatie af te raden om waterstofsulfide vorming tegen te gaan.

De haalbaarheid van de verwerkingsmethode hangt af van de beschikbaarheid van bedrijfsafvalwaterzuiveringsinstallaties. Er wordt hier expliciet bedrijfsafvalwaterzuivering genoemd omdat er anaerobe RWZI's in Nederland zijn. Wanneer er slechts een klein aantal installaties beschikbaar is voor de zuivering van hydrolysatorium effluent moet het effluent relatief ver vervoerd worden. Dit heeft vanzelfsprekend een negatief effect op de duurzaamheid door uitstoot van de vrachtwagens. Dit vervoer kan voorkomen worden wanneer de anaerobe zuivering direct bij het hydrolysatorium geplaatst kan worden.

Er zijn geen voorbeelden gevonden waarbij het hydrolysatorium effluent per anaerobe zuivering wordt gezuiverd. Wel zijn vergelijkbare afvalstromen anaeroob gezuiverd met verschillende mate van succes [23] [24]. De mate van zuivering en biogas productie zijn onder andere afhankelijk van de opstelling en technologie, verblijftijd en biochemisch zuurstof verbruik. Na anaerobe zuivering blijft een deel van de organische vervuiling, stikstof en fosfor over waardoor verdere zuivering in een RWZI nodig is. Omdat het grootste deel van het biochemisch zuurstofverbruik verwijderd is, is de impact van het afvalwater op het RWZI lager.

Deze verwerkingsmethode is volledig uitontwikkeld en het TRL-niveau is derhalve op 9 beoordeeld.

Tabel 3.5 Toetsing van beoordelingskader anaerobe zuivering

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Veiligheid en lozingsconcentraties worden gewaarborgd door de beheerder.	Hoge concentraties aan zwavel kunnen resulteren in hogere waterstof sulfide productie.	+
Waardigheid	Anaerobe zuivering vindt plaats in een afgesloten systeem.		+
Duurzaamheid	Een deel van de energie in het effluent wordt omgezet naar biogas. Bij grote installaties kan het effluent mogelijk op locatie gezuiverd worden.	Het effluent moet per vrachtwagen vervoerd worden naar een waterzuivering.	+/-

3.5.5 Gebruikt als meststof

Het effluent bevat verschillende nutriënten voor planten zoals stikstof, fosfor en overige organische stoffen. De concentraties van deze nutriënten kunnen wijzigen door gebruik van andere zuren dan zwavelzuur. De aanwezigheid van deze nutriënten in het effluent kan de groei van planten of gewassen bevorderen. Direct gebruik van het effluent als meststof heeft een mooie symbolische waarde maar roept ook ethische dilemma's op, bijvoorbeeld bij gebruik op voedingsgewassen.

In Denver, Colorado, werd het effluent direct gebruikt op een boerderij [25] voor de groei van bloemen. In de literatuur wordt na de hydrolysatie van dierlijke producten vaak een vergisting stap voorgeschreven [26] [27]. De restvloeistof van fermentatie, digestaat, had een positieve impact op de groei van de plant [26]. Echter was een anorganische meststof effectiever dan het digestaat, omdat het digestaat niet de voor de plant optimale ratio tussen stikstof en fosfaat bevatte. Een combinatie van het digestaat en de anorganische meststof resulteerde in het meest effectieve groeimiddel.

Om het effluent direct als meststof te mogen gebruiken moet het opgenomen worden in de meststoffenwet. Voordat het effluent wordt toegelaten als meststof moet bepaald worden of het effluent voldoet aan de ecologische en landbouwkundige eisen. Advies over toelating wordt uitgevoerd door de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) [28]. Onderdeel van de criteria is dat het effluent gelijkmatig van samenstelling is. Echter kunnen de verschillen in effluent concentraties en opbouw tussen leveranciers groot zijn waardoor een positieve beoordeling hierop moeilijk te behalen is. In het laatste deel van de beoordeling wordt gekeken naar sociaal-culturele overwegingen. Verwacht wordt dat het gebruik van origine menselijke resten bij de productie van voeding als ongewenst gezien wordt.

Als het effluent de positief beoordeeld wordt als meststof wordt het effluent vrij verhandelbaar en moet het toegevoegd worden aan bijlage Aa van de meststoffenwet [29]. Het vrij verhandelen van effluent kan bijdragen aan een negatieve beeldvorming van alkalische hydrolyse.

Tabel 3.6 Toetsing van beoordelingskader gebruik als meststof

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Wanneer de bemesting wordt afgestemd op de bodem kan vruchtbaarheid verbeterd worden. De CDM bepaald of gebruik ecologisch veilig is.		+
Waardigheid	Gebruik van het effluent op bloemen kan als waardig of positief gezien worden.	Bij goedkeuring wordt het effluent vrij verhandelbaar. Gebruik van effluent op eetbare gewassen kan als ongewenst gezien worden. Extra geuroverlast kan niet worden uitgesloten.	+/-
Duurzaamheid	Het effluent kan kunstmest gedeeltelijk vervangen of dienen als supplement. Gebruik van andere zuren bij neutralisatie kan de werking als meststof verbeteren.	Het effluent moet per vrachtwagen vervoerd worden.	+

De wet- en regelgeving voor deze methode is nog onvoldoende ontwikkeld om een definitief oordeel met betrekking tot de haalbaarheid te geven. Hoewel er technologisch geen onzekerheden zijn ten aanzien van deze methode is juist de ontbrekende wet- en regelgeving de reden om het TRL niveau relatief laag te beoordelen, namelijk 6.

De methode op zich heeft een goede potentie, vooral op duurzaamheid.

3.5.6 (Co-)Vergisting

Co-vergisting is vergelijkbaar met optie 4, anaerobe zuivering (sectie 3.5.4). Ook bij vergisting breken bacteriën het effluent af tot biogas. Het verschil tussen de technieken is de concentratie organische en vaste stof in de voeding. Bij (co-)vergisting is een meer geconcentreerde hoeveelheid organische stof gewenst om de biogasproductie te optimaliseren. In Nederland zijn twee veel voorkomende vormen van vergisten [30]: monovergisting waarbij één product wordt vergist zoals slib uit een RWZI, en co-vergisting waarbij minimaal 50 % mest gebruikt wordt, aangevuld met stoffen uit bijlage Aa, onderdeel IV uit de meststoffen wet [29]. Om het effluent toe te voegen aan deze lijst moet een soortgelijke procedure doorlopen worden als de toetsing voor meststoffen. Tijdens deze procedure wordt het effluent getoetst op ecologische en landbouwkundige eisen. Daarnaast moet het toevoegen van het effluent een positieve bijdrage leveren aan de biogas productie [28].

De economische haalbaarheid van de verwerkingsmethode is de vergistbaarheid en de biogasopbrengst. Het effluent van machines waar enkel kaliumhydroxide en een anorganisch zuur, zoals zwavelzuur, gebruikt wordt heeft waarschijnlijk te weinig organische stof om tot een rendabele biogas productie te komen. Wanneer azijnzuur en ethanol gebruikt worden voor de neutralisatie van het effluent is de organisch vracht van het effluent groter en is de economische haalbaarheid wellicht groter.

Deze verwerkingsmethode is volledig uitontwikkeld en het TRL-niveau is derhalve op 9 beoordeeld.

Tabel 3.7 Toetsing van beoordelingskader bij co-vergisting

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	<p>Veiligheid en wordt gewaarborgd door de beheerder van de vergister.</p> <p>De CDM bepaald of het effluent veilig is voor gebruik als meststof.</p>	Hoge concentraties aan zwavel kunnen resulteren in waterstofsulfide productie.	+
Waardigheid	<p>Het effluent wordt nog verder afgebroken.</p> <p>Door biogas productie levert het effluent iets terug aan de samenleving wat een positief imago kan hebben.</p>	Bij goedkeuring wordt het effluent vrij verhandelbaar.	+
Duurzaamheid	Draagt toe aan biogas productie.	Het effluent moet per vrachtwagen vervoerd worden.	+

3.5.7 Ultrafiltratie met keramisch membraan

Ultrafiltratie, of UF, is een scheidingstechniek gebaseerd op molecuulgrootte. Het effluent wordt bij deze methode door een poreus filter, het membraan, geperst waardoor grote moleculen achterblijven. Deze fractie aan grotere moleculen is bekend als het retentaat. Ionen, water en overige kleine moleculen bewegen wel door het filter. De alkalische vloeistof, het permeaat, kan gedeeltelijk hergebruikt worden in het hydrolyse proces waardoor de methode van lijkbezorging duurzamer wordt. Het permeaat dient hiervoor aangesterkt te worden door de toevoeging van kaliumhydroxide pellets.

Hergebruik van UF permeaat van het effluent in een volgend hydrolyse proces zou als ongewenst gezien kunnen worden. Zo gaan de zouten en kleine organische moleculen van het eerste lichaam door het filter heen waardoor het met het volgende lichaam in contact komt. Hoewel de zouten niet naar het individu te herleiden zijn, kan dit een negatief imago geven aan de methode. Na ultrafiltratie kan nanofiltratie toegepast worden om de kleinere organische moleculen af te vangen waardoor enkel de zouten in het permeaat overblijven. Om de filtratie bij een hoge pH uit te voeren zal dit vragen om een chemisch resistent filter, zoals bijvoorbeeld keramische materialen of hoogwaardige fluor-polymeerkunststoffen. Onduidelijk is of deze membranen nu commercieel beschikbaar zijn.

Ook wanneer gekozen wordt om het effluent niet her te gebruiken kan dit bijdragen aan de duurzaamheid ten opzichte van ongefilterd effluent. Zo kan gekozen worden om het UF permeaat af te voeren via het riool. Het permeaat bevat minder organische vervuiling waardoor dit de RWZI minder belast. Het retentaat is hoger belast met organische stoffen. Hierdoor is het geschikter voor vergisting en is er minder transportvolume. Dit houdt ook in dat het effluent geneutraliseerd moet worden voordat het in het vuilwaterriool geloosd wordt waardoor het filter minder chemisch resistent hoeft te zijn. Het rendement van zuivering en mate van fouling op het filter moet worden vastgesteld voor deze optie.

Deze verwerkingsmethode is niet ontwikkeld voor deze toepassing en het TRL-niveau is derhalve op 5 beoordeeld.

Tabel 3.8 Toetsing van beoordelingskader Ultrafiltratie

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Bij neutralisatie van het effluent kan een conventionele filtratie opstelling gebruikt worden.	Het filter moet corrosie aankunnen om doorslag te voorkomen.	+
Waardigheid	Wanneer effluent niet wordt hergebruikt ontstaat geen bezwaar.	Hergebruik van het effluent kan ethische dilemma's oproepen.	+/-
Duurzaamheid	Gedeeltelijke hergebruik van wanneer gekozen wordt voor recycling, ook minder gebruik aan zwavelzuur en/of efficiënter vrachtvervoer van het effluent.	Aanpassing en uitbereiding van huidige opstelling nodig.	+

3.5.8 Carbonisatie

Bij carbonisatie van het effluent wordt het effluent gezuiverd door organische vervuilingen te verkolen. Dit houdt in dat het effluent wordt verwarmd tot 200-300 °C bij zuurstofarme condities. Vervolgens slaat de organische binding neer tot vaste koolstof met sporen van fosfaat. De meeste zouten blijven in oplossing waardoor de alkalische eigenschap behouden blijft. De vloeistof kan hierdoor gedeeltelijk hergebruikt worden. Als gevolg van het gebruik van reinigingswater bij het schoonmaken van de apparatuur zal het volume toenemen. Er zal dus altijd een deelstroom elders verwerkt worden of geloosd worden op het riool. De vaste fractie moet gescheiden worden via zakkenfiltratie en kan gebruikt worden als alternatief van kool.

Een nadeel van de methode is het hoge energiegebruik en relatief extreme proces condities in vergelijking met de overige methodes. Hierdoor is hergebruik van energie belangrijk om de methode duurzaam te houden. Daarnaast vindt ook hergebruik van het effluent plaats wat de duurzaamheid verbeterd maar mogelijk ook als negatief gezien wordt door indirect contact.

Tabel 3.9 Toetsing van beoordelingskader Carbonisatie

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Geen bezwaren wanneer een deugdelijke opstelling ontworpen wordt.	Hogedruk vat op locatie van het hydrolysatorium.	+/-
Waardigheid		Hergebruik van het effluent kan ethische dilemma's oproepen.	+/-
Duurzaamheid	Minder beslag op RWZI. Of gedeeltelijk hergebruik van kaliumhydroxide.	Hoog energiegebruik waardoor hergebruik van energie benodigd is.	-

De stand van deze techniek voor deze methode is nog onvoldoende ontwikkeld om een definitief oordeel met betrekking tot de haalbaarheid te geven. De techniek op zich heeft een goede potentie.

Deze verwerkingsmethode is niet ontwikkeld voor deze toepassing en het TRL-niveau is derhalve op 5 beoordeeld.

3.5.9 Wet air oxidation

Wet air oxidation (WAO) lijkt procesmatig op carbonisatie maar vindt plaats onder zuurstofrijke omstandigheden in plaats van de afwezigheid van zuurstof. Hierdoor wordt de organische vervuiling geoxideerd tot koolstofdioxide, zwavel tot sulfaat en fosfor tot fosfaat. De precieze restverontreiniging wordt hierdoor geminimaliseerd maar zonder ervaring in de praktijk is moeilijk vast te stellen of de mate van zuivering voldoende is. Gekozen kan worden om het gezuiverde effluent af te voeren via het riool.

WAO heeft dezelfde nadelen als carbonisatie. Daarnaast vindt ook uitstoot naar de omgeving plaats in de vorm van koolstofdioxide en mogelijk ook vluchtige organische stoffen. Hierdoor lijkt de verwerkingsmethoden op crematie met indirecte 'verbranding' van het lichaam.

Origineel is het WAO proces ontworpen voor de petrochemische industrie. Dit zijn vaak installaties met grote volumes. Wanneer gekozen wordt voor WAO zal een kleinschaliger proces ontworpen moeten worden. Op korte termijn zal deze technologie niet beschikbaar zijn.

Tabel 3.10 Toetsing van beoordelingskader Wet Air Oxidation

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Geen bezwaren wanneer een deugdelijke opstelling ontworpen wordt.	Hogedruk vat op locatie van het hydrolysatorium. Ontstaan van gassen welke gezuiverd moeten worden voordat deze in de atmosfeer terecht komen.	+/-
Waardigheid		Hergebruik van het effluent kan ethische dilemma's oproepen.	+/-
Duurzaamheid	Minder beslag op RWZI. Of gedeeltelijk hergebruik van kaliumhydroxide.	Hoog energiegebruik waardoor recycling van warmte benodigd is om de methode rendabel te maken.	-

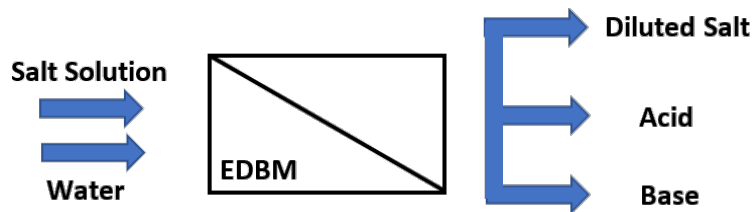
Deze verwerkingsmethode is niet ontwikkeld voor deze toepassing en het TRL-niveau is derhalve op 5 beoordeeld.

De stand van deze techniek voor deze methode is nog onvoldoende ontwikkeld om een definitief oordeel met betrekking tot de haalbaarheid te geven. De techniek op zich heeft een goede potentie.

3.5.10 Elektrodialyse met bipolaire membranen

Elektrodialyse met bipolaire membranen (EDBM) is een relatief nieuwe en veelbelovende technologie waarmee een zout elektrochemisch kan worden omgezet in een zuur en zijn geconjugeerde base (figuur 3.1). Hierdoor kunnen zuren en alkalische stoffen teruggewonnen worden. Bij EDBM stroomt het effluent langs verschillende membranen en zorgt het elektrodialyse proces voor zowel de scheiding van zouten samen met watersplitsing voor het omzetten van een zout in een zuur en/of base. De bipolaire membranen versterken de splitsing van water in protonen en hydroxide-ionen. Vervolgens worden door toepassing van een elektrisch potentiaal selectief de anionen en kationen gescheiden en water gesplitst tot een proton en hydroxyl groep. Dit resulteert in drie stromen: een zure oplossing en een alkalische oplossing die opnieuw in het hydrolyse proces kunnen worden ingezet, en een sterk gereduceerd volume van het effluent met een lagere concentratie van zouten.

Een voordeel van EDBM is dat er geen extern aangevoerde base (NaOH) of zuur (H_2SO_4) nodig is maar dat dit onsite gemaakt kan worden (mits een lokaal beschikbaar zout aanwezig is).



Figuur 3.1 Schematische weergave van EDBM

De TRL (Technology Readiness Level) van EDBM varieert afhankelijk van de specifieke toepassing, maar het bevindt zich over het algemeen tussen niveau 6 (technologie gedemonstreerd in relevante omgeving) en niveau 9 (systeem bewezen in operationele omgeving). De technologie is nog niet toegepast op het effluent en de effectiviteit van terugwinning van de alkalische vloeistof moet verder worden onderzocht. De membranen kunnen bijvoorbeeld last krijgen van vervuiling (fouling) waardoor een voorbehandeling benodigd kan zijn. In Nederland wordt door diverse kennisinstellingen zoals WUR, TNO en Wetsus toepassingsonderzoek gedaan waarbij aspecten zoals vermeden kosten voor inkoop van grondstoffen alsook de verwerking van reststromen, bijvoorbeeld als chemisch afval, de technologie ook bedrijfseconomisch interessant maken.

Naast EDBM zou ook enkel elektrodialyse toegepast kunnen worden waardoor alleen alkali wordt teruggewonnen. Dit heeft het voordeel dat neutralisatie van het effluent alvorens elektrodialyse niet benodigd is.

Tabel 3.11 Toetsing van beoordelingskader EDBM

Waarde	Voordelen	Nadelen	Eindoordeel
Veiligheid	Directe en lokale productie van zuur en loog zonder intermediair van waterstof gas. Minder risico's voor opslag en transport van geconcentreerde gevaarlijke chemicaliën (zuren en basen)		+/-
Waardigheid	Het is een zogenaamd gesloten systeem met een interne kringloop.	Hergebruik van het effluent kan ethische dilemma's oproepen.	+/-
Duurzaamheid	Minder chemicaliën benodigd door recycling en productie van zuur en loog.	Rendement van terugwinning en werking pas duidelijk na pilot test.	+/-

Deze verwerkingsmethode is niet ontwikkeld voor deze toepassing en het TRL-niveau is derhalve op 5 beoordeeld.

De stand van deze techniek voor deze methode is nog onvoldoende ontwikkeld om een definitief oordeel met betrekking tot de haalbaarheid te geven. De techniek op zich heeft een goede potentie.

3.6 Conclusie

Het geneutraliseerde effluent is dermate vervuilend voor het milieu dat het voor lozing gezuiverd moet worden. Routes zoals directe lozing op de bodem en in het oppervlaktewater vallen hierom af en worden niet meegenomen in de LCA. Ook valt de terugwinning van de alkali en/of het zuur met bipolaire membranen af voor de LCA omdat het rendement niet bekend is. Echter blijft EDBM een veelbelovende technologie die verder zal kunnen worden ontwikkeld en in de toekomst niet zou moeten worden uitgesloten door regelgeving.

Veel belovende routes zijn zuivering via een rioolwaterzuiveringsinstallatie, anaerobe zuivering, (co-)vergisting en gebruik als mest. Elke van deze methodes kan een groot deel van de organische fractie verwijderen en/of nuttig gebruiken. Daarnaast produceert bijna elke methode in verschillende mate biogas waardoor energie wordt teruggewonnen. De hoeveelheid biogas zal variëren tussen leveranciers. Door het gebruik van ethanol, zoals het proces van Aquasolve bevat het effluent meer organische vervuiling waardoor meer biogas geproduceerd kan worden. Deze routes zijn technisch haalbaar wanneer voldaan kan worden aan de zorgplichten of de toetsing van de meststoffenwet doorstaan wordt.

Wet air oxidation en carbonisatie van het effluent kunnen ook succesvol de mate van vervuiling in het effluent terugdringen, maar duurzaamheid van de methodes moet blijken uit de LCA.

Daarnaast moet bepaald worden of recycling van het alkali gewenst is en de aanwezigheid van een extra hoogdrukvat.

Daarnaast kan ontwatering van het effluent via filtratie of apart afvangen van het spoelwater bijdragen aan efficiënter vervoer per vrachtwagen wanneer voor anaerobe zuivering of vergisting wordt gekozen. Dit resulteert ook in een gunstiger product voor vergisting door de hogere concentratie organisch materiaal. Bij een locatie waar meerdere hydrolysatoren in werking zijn is het mogelijk ook rendabel om het effluent lokaal te zuiveren door de bouw van een kleine anaerobe zuivering.

In onderstaande tabel 3.12 zijn alle beoordelingen samengevat.

Tabel 3.12 Overzicht beoordelingen verwerkingsmethoden op veiligheid, waardigheid en duurzaamheid

Beoordelingsaspect verwerkingsmethoden	Veiligheid	Waardigheid	Duurzaamheid
Lozing op het oppervlaktewater	-	-	-
Lozing op de bodem	-	+/-	-
Zuivering in RWZI	+	+/-	+/-
Zuivering bedrijfsafvalwaterzuivering (Anaerobe)	+	+	+/-
Gebruikt als meststof	+	+/-	+
(Co-)Vergisting	+	+	+
UF keramisch membraan	+	+/-	+
Carbonisatie	+/-	+/-	-
Wet air oxidation	+/-	+/-	-
Elektrodialyse met bipolaire membranen	+/-	+/-	+/-

4 Chemische analyse van effluent

Analyses uit het verleden van het effluent bevatten onderling grote verschillen zoals weergegeven in tabel 3.1, sectie 3.3. Om de dataset te vergroten is een effluent nogmaals te geanalyseerd. In samenwerking met Resomation Ltd. is het effluent van een lichaam van circa 47 kg geanalyseerd. De analyse is in de USA uitgevoerd door Pace Analytical services. De resultaten daarvan zijn gegeven in tabel 4.1. In de kolommen zijn respectievelijk het onbehandelde effluent en het met zwavelzuur aangezuurde effluent gegeven. Ter vergelijking is in de rechter kolom de analyseresultaten van het TNO rapport uit 2018 weergegeven. De certificaten van de analyse zijn gegeven in bijlage 2.

Tabel 4.1 Analyseresultaten effluent USA en TNO (2018)

Monstercode	3287NA	3287SULF	Waste Point / TNO rapport 2018 R10677
pH	12,7	10	10
CZV (mg/l)	7040	10100	14000
BZV (mg/l)	4270	4290	22680
Olie en vetten (mg/l)	93,1	1400	5408
Fosfaat (P-PO4) (mg/l)	7,9	8,6	21
Sulfaat (mg/l)	< 240	2200	5500
Zwevende stof (mg/l)	905	773	3800
Stikstof niet organisch (mg/l)	40,4	40,8	
Nitraat Nitriet (mg/l)	2,95	3,15	
Stikstof Kjeldahl (mg/l)	215	212	
Ammonia (N-NH4) (mg/l)	37,4	37,6	
Totaal stikstof (mg/l)	218	216	
Kwik (µg/l)	4,2	4,8	
IJzer (µg/l)	736	673	
Lood (µg/l)	7,0	7,1	
Cadmium (µg/l)	1,1	0,78	
Koper (µg/l)	40,5	42,5	
Nikkel (µg/l)	7,2	8,6	
Zink (µg/l)	162	162	
Chroom (µg/l)	< 10	< 10	
Arseen (µg/l)	< 2,5	< 2,5	

De resultaten van de monsters met de code 3287NA en 3287SULF zijn zeer vergelijkbaar. Het aanzuren heeft wel een invloed op de gehalten 'Olie en vetten'. Zeer waarschijnlijk heeft de toevoeging van zwavelzuur een effect op de verzepte vetten. Na het aanzuren komen deze stoffen als separate stof in deze parameter in zicht. Daarnaast leert een vergelijking tussen de TNO-analyse en het 3287 monster dat de ordegrootte gelijk is. De absolute waarde verschilt wel als gevolg van de hoeveelheid verdunning die optreedt als gevolg de menging van spoelwater en effluent.

Van het effluent, geproduceerd uit de machine van Resomation Ltd., is het meeste informatie beschikbaar. Het volume aan effluent en de mate van vervuiling is daarom gebruikt in de LCA. Daarnaast is ook de eerdere LCA over alkalische hydrolyse uitgevoerd op basis van informatie van Resomation Ltd.

5 LCA studie naar effluent alkalische hydrolyse

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de Levenscyclusanalyse (LCA) van vier routes ter verwerking van het effluent van alkalische hydrolyse. Tijdens een levenscyclusanalyse (LCA) wordt de milieubelasting van een systeem of product berekend op een set milieu-indicatoren. Een LCA wordt altijd uitgevoerd volgens een vast kader zoals beschreven in de ISO-normen NEN-EN-ISO 14040/14044. Een korte samenvatting van de LCA-methodiek is te vinden in bijlage 1. De geselecteerde routes voldoen aan het beoordelingskader voor nieuwe vormen van lijkbezorging en zijn technisch haalbaar (zie hoofdstuk 3). Het gaat om de volgende routes:

- **Verwerkingsroute 3:** Het behandelen van het effluent via aerobe zuivering (paragraaf 3.5.3). Voor de leesbaarheid wordt deze route verder '**Aerobe zuivering**' genoemd
- **Verwerkingsroute 4:** Het afvoeren van het effluent per vrachtwagen en behandelen via anaerobe zuivering (paragraaf 3.5.4). Deze route wordt verder '**Anaerobe zuivering**' genoemd
- **Verwerkingsroute 5:** Het opwerken van het effluent tot meststof voor gewassen (paragraaf 3.5.5). Deze route wordt verder '**Meststof**' genoemd
- **Verwerkingsroute 6:** Het (co-)vergisten van het effluent voor energieopwekking (paragraaf 3.5.6). Deze route wordt verder '**Vergisten**' genoemd

Naast deze vier routes worden er ook twee routes kwalitatief bekeken, aangezien deze routes technisch nog niet voldoende ontwikkeld zijn om in een onderbouwd LCA-model te gieten maar in theorie wel voldoen aan het beoordelingskader. Het gaat om de volgende routes:

- **Verwerkingsroute 8: Carbonisatie van het effluent (paragraaf 3.5.8)**
- **Verwerkingsroute 9:** Oxidatie van het effluent via 'wet air oxidation' waarbij organische componenten worden omgezet naar koolstofdioxide (paragraaf 3.5.9)

Voor **verwerkingsroutes 7 en 10** is onvoldoende informatie beschikbaar gekomen om deze via een LCA-methodiek te beschouwen. **Verwerkingsroutes 1 en 2** zijn vanwege het niet voldoen aan de wetgeving niet beschouwd.

Paragraaf 5.2 geeft een beschrijving van de vier routes en de afbakening. In paragraaf 5.3 wordt een overzicht gegeven van de verzamelde data. Paragraaf 5.4 gaat in op de resultaten met het milieuprofiel, een zwaartepuntanalyse en een gevoeligheidsanalyse. Paragraaf 5.5 behandelt de kwantitatieve analyse van de routes 'Carbonisatie' en 'Wet air oxidation'. Het hoofdstuk eindigt met een korte discussie en conclusie.

5.2 LCA doelstelling en afbakening

5.2.1 Doel

Het doel van deze LCA is het inzichtelijk maken van de milieu-impact van verschillende manieren om het effluent van alkalische hydrolyse van menselijke resten te verwerken. Dit in het kader van het voornemen van het kabinet om alkalische hydrolyse toe te staan als methode van lijkbezorging. De uitkomst van de LCA biedt een basis voor besluitvorming op dit onderwerp en biedt inzicht in de consequenties van verschillende effluent verwerkingsmogelijkheden. Deze LCA is primair bedoeld voor de opdrachtgever en de betrokken commissies. De opdrachtgever is van plan om het rapport te gebruiken ter besluitvorming.

5.2.2 Gedeclareerde eenheid

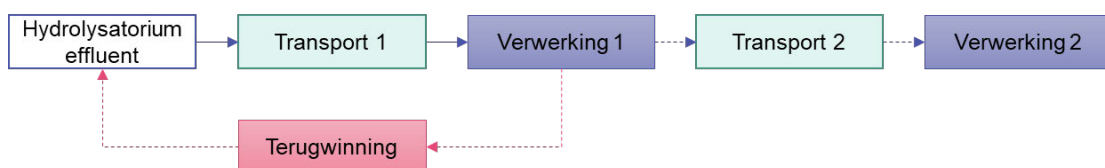
Een LCA vergelijkt systemen op milieueffecten op basis van een functionele of gedeclareerde eenheid. De gedeclareerde eenheid wordt gebruikt wanneer slechts enkele gedeelten van de levenscyclus in kaart worden gebracht. Voor deze LCA is de gedeclareerde eenheid geformuleerd als:

- 1.944 l effluent - Het transporteren en (eind)verwerken van het geneutraliseerde effluent van alkalische hydrolyse van 1 gemiddeld formaat lichaam, oftewel 1 verwerkingscyclus, vanaf het moment dat het effluent het hydrolysatorium verlaat totdat het effluent volledig is verwerkt en niet meer als zodanig herkenbaar is

Het 'gemiddeld formaat lichaam' en de bijbehorende hoeveelheid effluent zijn gebaseerd op de uitkomsten van het literatuuronderzoek zoals omschreven in de voorgaande hoofdstukken. Concreet betekent dit een hoeveelheid van circa 2000 liter effluent met de samenstelling van tabel 2.

5.2.3 Systeemgrenzen

Tijdens een LCA wordt de milieubelasting van een afgebakend systeem berekend. Voor dit project is dat het (eind)verwerken van 1.944 liter hydrolysatorium effluent. Het systeem bevat één of meerdere transporten van het effluent (C2), één of meerdere (eind)verwerkingsprocessen (C3, C4) en eventuele winst buiten de systeemgrenzen (D). Figuur 5.1 toont deze globale opzet. In deze LCA is de eventuele winst buiten de systeemgrenzen (fase D) meegenomen als onderdeel van transport en verwerking (fase C) door middel van het toekennen van vermeden productie.



Figuur 5.1 Globale opzet van de hydrolysatorium effluent verwerkingsroutes

De verschillende routes staan beschreven in paragraaf 3.5.3 – 3.5.6. Dit hoofdstuk gaat in op de modellering in SimaPro versie 9.4 en de LCA resultaten. De LCA is gebaseerd op Nederlandse processen en werkwijzen, waarbij de meest logische en/of algemene route is gekozen. De volgende zaken zijn niet meegenomen in de LCA omdat ze geen onderscheid geven tussen de routes:

- De milieu-impact van het hydrolysatorium (uitvoeren alkalische hydrolyse)
- De milieu-impact van nabewerking binnen het hydrolysatorium (bijvoorbeeld aanzuring)
- De milieu-impact van het verwerken van de vaste resten (botresten en eventuele protheses)

5.2.4 Verantwoording

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit de NEN-EN-ISO 14040/14044. De LCA is uitgevoerd op basis van de resultaten van het literatuuronderzoek uitgevoerd door TAUW (hoofdstuk 3) en gesprekken met TAUW deskundigen. De gegevensverzameling heeft plaatsgevonden in het eerste kwartaal van 2023, waarna aansluitende de berekeningen zijn uitgevoerd en het LCA-dossier is opgesteld. De LCA is uitgevoerd door de LCA-deskundigen van TAUW en is tegengelezen door een interne kwaliteitscontroleur. De LCA is extern gereviewed door TNO. Vervolgens is een intensieve evaluatie doorlopen en zijn standpunten over de invulling van de LCA besproken en is overeenstemming bereikt.

5.3 Levenscyclus inventarisatie analyse (LCIA)

5.3.1 Dataverzameling en -kwaliteit

De LCA is gebaseerd op het literatuuronderzoek zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken. Het literatuuronderzoek wordt ondersteund door metingen die op bestaande installaties in de VS uitgevoerd zijn. Deze manier van lijkbezorging wordt nog niet algemeen toegepast in Nederland. Hierdoor heeft TAUW kennisleemtes in de verwerking van het effluent voor de Nederlandse situatie moeten invullen met aannames en voorspellingen. De producten van de verschillende verwerkingsmethodes zijn gealloceerd op massa. Er is per route een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (paragraaf 5.4.2).

Het LCA-model is gebaseerd op processen uit de EcolInvent database (versie 3.6) en de NMD (versie 3.5). Voor de transportafstand per vrachtwagen is een standaardtransportafstand van 50 km gehanteerd. Dit komt overeen met standaardtransportafstanden binnen Nederland zoals vastgesteld in de Bepalingsmethode van het NMD.⁵

5.3.2 Data inventarisatie

Deze paragraaf gaat in op de modellering in het softwarepakket SimaPro versie 9.4. Per verwerkingsroute wordt de precieze scope, aannames, hoeveelheden en processen gegeven. Aangepaste processen staan uitgewerkt in bijlage 1b.

⁵ De stichting NMD is een onafhankelijke organisatie die het mogelijk maakt om een eenduidige berekening van de milieuprestatie van bouwwerken in de Nederlandse context te kunnen maken. <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-plugin/>

Verwerkingsroute 3 – Het behandelen van het effluent via aerobe zuivering

Bij deze verwerkingsmethode wordt het effluent van het hydrolysatorium via de normale riolering afgevoerd (transport 1) naar een bestaande communale rioolwaterzuivering (verwerking 1). De scope van ‘Aerobe zuivering’ is weergegeven in figuur 5.2. De samenstelling van het SimaPro model is te vinden in tabel 5.1.



Figuur 5.2 Scope LCA model ‘Aerobe zuivering’. De rode lijn geeft de meegenomen scope weer

Om deze verwerkingsroute in SimaPro te modelleren zijn er enkele aannames gedaan:

- **Verwerking 1:**

- **Proceskeuze:** Er is geen Ecolnvent proces beschikbaar specifiek voor Nederlandse afvalwaterzuiveringen. Het geselecteerde proces is gebaseerd op de Zwitserse situatie (*Wastewater, from residence {CH} | treatment of, capacity 1.1E10l/year | Cut-off, U*). Het Ecolnvent proces gaat uit van een andere samenstelling van het influent dan wat als standaard wordt gehanteerd binnen Nederland (zie onderstaande tabel). Grofweg kan worden aangenomen dat behandeling van 1 m³ Nederlands afvalwater gelijk staat aan behandeling van 3 m³ Zwitsers afvalwater. Daarbij is ook gecorrigeerd voor de hoeveelheid water die het systeem verlaat door deze waarden in het Zwitserse proces te delen door 3 (bijlage 1b). Deze benadering overschat echter de elektriciteitsvraag bij het zuiveren van Nederlands afvalwater (factor 1,4 verschil). Dit is na de tabel verder uitgewerkt. De kwaliteit van het effluent van de RWZI’s in Zwitserland en Nederland is vergelijkbaar.

Parameter	Communaal afvalwater (CH)	Communaal afvalwater (NL)	Factor verschil
Bron	Ecolnvent	TAUW	-
CZV	155,6 mg/l	500-600 mg/l	±3
BZV	103,6 mg/l	250-300 mg/l	±3
N-totaal	19,7 mg/l	50-60 mg/l	±3
P-totaal	3,1 mg/l	10 mg/l	±3
Elektriciteitsvraag	0,21 kWh/m ³	0,3 kWh/m ³	1,4

- **Elektriciteitsvraag:** Chemisch zuurstofverbruik (CZV) en biologisch zuurstofverbruik (BZV) zijn parameters die aangeven hoeveel zuurstof er nodig is om de aanwezige vervuiling volledig te oxideren, waarbij het BZV de hoeveelheid biologisch afbreekbare (organische) vervuiling aangeeft. Bij aerobe afvalwaterzuivering wordt er zuurstof in het water gepompt, waardoor aerobe micro-organismen deze vervuiling kunnen omzetten naar biomassa. De niet-biologisch afbreekbare fractie (CZV min BZV) bindt zich zonder tussenkomst van micro-organismen aan het inerte gedeelte van het slib.

De beluchting van het afvalwater vormt circa 70 % van de elektriciteitsbehoefte van een aerobe afvalwaterzuivering. De overige 30 % wordt bijvoorbeeld verbruikt door pompen, voortstuwars, ruimerbruggen en ontwateringsmachines. Het energiegebruik van deze onderdelen is continu en slechts voor een klein deel afhankelijk van het aanvoerdebiet. Om een conservatieve benadering te maken nemen we de energievraag wel mee. Gebaseerd op onze ervaring met afvalwaterzuiveringen in Nederland is er ongeveer 0,3 kWh elektriciteit per m³ afvalwater nodig. Onderstaande tabel laat zien dat het effluent ongeveer 50x meer BZV bevat dan standaard communaal afvalwater. In formule is de elektriciteitsvraag ter afbraak van BZV in 1 m³ hydrolysatorium effluent: $30\% * 0,3 \text{ kWh/m}^3 + 70\% * 50 * 0,3 \text{ kWh/m}^3 = 10,6 \text{ kWh/m}^3$

De elektriciteitsvraag per 1 m³ hydrolysatorium effluent is gemodelleerd als 3 m³ Zwitserse afvalwaterbehandeling ($3 * 0,21 \text{ kWh/m}^3 = 0,63 \text{ kWh/m}^3$) plus 9,97 kWh/m³ extra elektriciteit voor BZV-afbraak zodat het totaal uitkomt op 10,6 kWh/m³. Dit staat nader omschreven in tabel 4.

Parameter	Communaal afvalwater (NL)	Hydrolysatorium effluent	Factor verschil
Bron	TAUW	Tabel 3.1	-
CZV	500-600 mg/l	24.500 mg/l	±50
BZV	250-300 mg/l	12.318 mg/l	±50
N-totaal	50-60 mg/l	400 mg/l ⁶	±4
P-totaal	10 mg/l	22 mg/l	±2
Elektriciteitsvraag	0,3 kWh/m ³	10,6 kWh/m ³	-

- **Omzetting CZV, N, P en andere stoffen:** Indien er voldoende biomassa in de aerobe tank zit kan er worden aangenomen dat het CZV zich voldoende kan hechten aan biomassa en zonder extra ingrepen kan worden afgevoerd. Stoffen zoals stikstof, fosfaat en microverontreinigingen kunnen door de extra beluchting en de verhoogde slibgroei voldoende worden omgezet naar onschadelijke verbindingen. De elektriciteitsvraag van de hoeveelheid ammoniakale stikstof (omzetting naar nitraat) is verwaarloosbaar ten opzichte van de extra elektriciteitsvraag voor BZV. Er is dus geen extra elektriciteit of andere input nodig, naast de extra elektriciteitsvraag voor BZV-afbraak. De hoeveelheid slibproductie is niet aangepast aangezien deze geen direct verband houdt met extra beluchting.

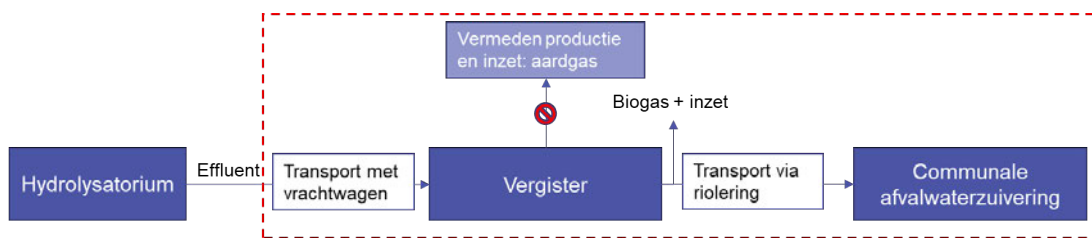
⁶ Een menselijk lichaam bevat ca 1% van het lichaamsgewicht aan stikstofverbindingen (Shyamala Iyer. (2009, September 27). *Atoms & Life*. ASU – Ask A Biologist. Retrieved April 25, 2023 from <https://askabiologist.asu.edu/content/atoms-life>). Tijdens het hydrolyse proces gaan deze verbindingen naar de waterfase. 1% komt overeen met circa 400 mg/l N, waarvan 80 mg/l NH₃-N (Tabel 3.1)

Tabel 5.1 SimaPro model 'Aerobe zuivering'

Fase levenscyclus	SimaPro proces	Waarde	Aannames
C2 – Afvaltransport	Transport 1: Effluent via riolering Sewer grid, 4.7E10l/year, 583 km {RoW} construction Cut-off, U	2,41E-07 km =1.944 l * 1,24E-7 km/m ³	1,24E-7 km/m ³ afvalwater. Zie bijlage 1b
C3, C4 – Afvalverwerking	Verwerking 1: Communale zuivering lenW - Aerobe zuivering route 3 1 m ³ = 3 m ³ Wastewater, from residence {CH} treatment of, capacity 1.1E10l/year Cut-off, U) + 9,97 kWh Electricity, low voltage {NL} market for Cut-off, U	1.944 l	Zie bijlage 1b voor de aanpassing van het Zwitserse afvalwaterzuiveringsproces. 3 m ³ van dit proces bevat al 0,63 kWh elektriciteit. De totale elektriciteitsvraag van hydrolysatorium effluent is 10,6 kWh/m ³

Verwerkingsroute 4 – Het afvoeren van het effluent per vrachtwagen en via anaerobe zuivering

Bij deze verwerkingsmethode wordt het effluent per vrachtwagen afgevoerd, waarna het wordt verwerkt op een anaerobe zuivering. Een anaerobe zuivering werkt volgens dezelfde principes als een anaerobe vergister. Er is gekozen om in het model voor 'Anaerobe zuivering' de vergister te combineren met het communale afvalwaterzuiveringsproces uit 'Aerobe zuivering'. Het effluent wordt per vrachtwagen afgevoerd (transport 1) naar een anaerobe vergister (verwerking 1). Hier wordt een groot deel van de C-vracht (CZV, BZV) omgezet naar biogas. Het water wordt hierna via de riolering getransporteerd (transport 2) naar de aerobe zuivering (verwerking 2) waar de overige vervuiling verwijderd wordt. Dit is weergegeven in figuur 5.3.



Figuur 5.3 Scope LCA model 'Anaerobe zuivering'. De rode lijn geeft de meegenomen scope weer

Om deze verwerkingsroute in SimaPro te modelleren zijn er enkele aannames gedaan:

• **Verwerking 1:**

- Afhankelijk van het precieze hydrolysatorium-proces is het effluent rijk aan ammoniakale stikstof en aan sulfaten door de neutralisatie met zwavelzuur. Een hoge ammonia concentratie is toxisch en een hoge sulfaatconcentratie werkt remmend op anaerobe processen. Het hydrolysatorium effluent vormt maar een klein aandeel van de totale input van de vergister. Bij het vermengen van de input stromen raakt het effluent bovendien verdund. In deze studie is ervan uitgegaan dat deze vermenging en verdunding de oorspronkelijke ammonia- en sulfaatconcentraties voldoende verlaagt
- De hoeveelheid biogas is gebaseerd op vergisting van slachthuis-afvalwater. Bij anaerobe vergisting van dit afvalwater wordt ongeveer 0,35 l methaan per gram CZV geproduceerd [23, 31]. De aanname is dat de vergisting 75 % van het CZV omzet naar methaan. Biogas bestaat voor circa 60 % uit methaan. Per resomeercyclus kan er dus 20,8 m³ biogas worden geproduceerd
- Biogas heeft een lagere verbrandingswaarde dan aardgas; respectievelijk 22,73 MJ/nm³ en 36,6 MJ/nm³. Daarnaast komen er andere emissies vrij bij verbranding van biogas dan bij verbranding van aardgas. Om deze redenen is gekozen om biogas productie te modelleren vanaf productie tot en met verbranding/warmte productie in een co-generator en deze impact te compenseren met eenzelfde warmte-opwekking vanuit aardgas. Dit staat verder uitgewerkt in tabel 5.2
- Het substraat dat de vergister in gaat is zeer waarschijnlijk minder viskeus dan een gemiddeld substraat. Hierdoor is er waarschijnlijk minder energie nodig voor het mengen dan voor gemiddeld substraat. Dit is niet meegenomen in dit model (worst-case benadering)
- Bij deze verwerkingsstap wordt een beperkte hoeveelheid digestaat (vaste rest) geproduceerd. De aanname is dat dit op de normale manier wordt verwerkt, zoals dat al onderdeel is van de EcoInvent processen voor vergisting, en dat overgebleven metalen en zouten hier geen nadelige invloed op hebben. De waterfase gaat door naar transport 2 en verwerking 2

Stof	Gemiddeld resultaat (mg/l in 1.944 l)	Verlies in co-vergister *	Concentratie in waterfase (mg/l in 1.750 l)
Kwik	<0,0025	0 %	0,0028
Arseen	<0,030	0 %	0,033
Cadmium	<0,0025	0 %	0,0028
Chroom	0,29	0 %	0,32
Koper	0,06	0 %	0,067
IJzer	0,93	0 %	1,0
Lood	<0,015	0 %	0,017
Mangaan	0,02	0 %	0,017
Nikkel	<0,0050	0 %	0,0056
Zink	0,36	0 %	0,40

Stof	Gemiddeld resultaat (mg/l in 1.944 l)	Verlies in co-vergister *	Concentratie in waterfase (mg/l in 1.750 l)
CZV	24.500,00	75 %	6.800
Droge stof/TSS	2.069,00	65 %	800
Fosfor	22,00	5 %	23
Sulfaat	5.500,00	50 %	3.100
Organische stikstof	320,00	5 %	340
Ammoniakale stikstof	80,00	5 %	84
BZV	12.318,00	90 %	1.370
Olie en vet	6.400,00	90 %	710
pH (std. units)	>10	-	-
Effluent volume (Liter)	1.944,00	10 %	1750

* *Inschatting gebaseerd op TAUW-ervaring*

- **Transport 2:** In een co-vergistingsinstallatie wordt naar schatting 10 % van het ingaande water opgenomen in het gas. Transport 2 is dus berekend op basis van 1.750l.
- **Verwerking 2:**
 - Het effluent van de vergister moet na gezuiverd worden. De aanname is dat het gaat om een overgebleven vuillast van 25 % van het CZV en 10 % van het BZV. Het model is op dezelfde aannames gebaseerd als 'Aerobe zuivering', echter is de zuurstofvraag voor BZV afbraak in dit scenario 5 keer zo hoog in plaats van 50 keer (zie onderstaande tabel). De elektriciteitsvraag voor (CZV en) BZV afbraak komt daarmee uit op 1,05 kWh/m³. De elektriciteitsvraag is gemodelleerd als 3 m³ Zwitserse afvalwaterbehandeling (3 x 0,21 kWh/m³ = 0,63 kWh/m³) plus 0,42 kWh/m³ extra elektriciteit voor BZV afbraak zodat het totaal uitkomt op 1,05 kWh/m³

Parameter	Communaal afvalwater (NL)	Hydrolysatorium effluent na vergister	Factor verschil
CZV	500-600 mg/l	6.805,56 mg/l	±10
BZV	250-300 mg/l	1.368,67 mg/l	±5
Elektriciteitsvraag	0,3 kWh/m ³	1,05 kWh/m ³	

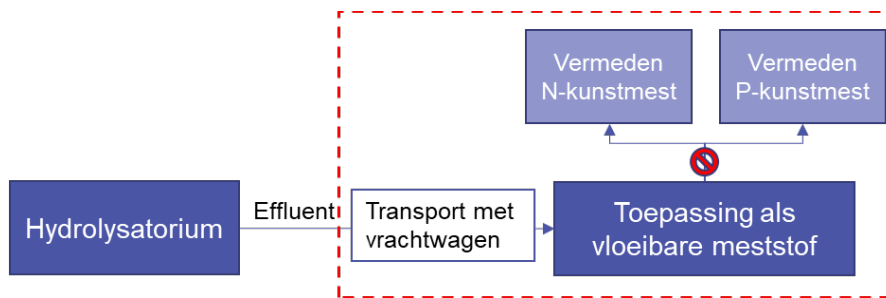
Het model en de aannames zijn samengevat in tabel 5.2.

Tabel 5.2 SimaPro model 'Anaerobe zuivering'

Fase levenscyclus	SimaPro proces	Waarde	Aannames
C2 – Afvaltransport	Transport 1: Afvoer per vrachtwagen naar anaerobe zuivering 0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	97,20 tonkm 1.944 l * 50 km	Aanname transportafstand 50 km en dichtheid 1 kg/l
	Transport 2: Effluent via riolering naar RWZI Sewer grid, 4.7E10l/year, 583 km {RoW} construction Cut-off, U	2,17E-07 km 1.749 l * 1,24E-7 km/m ³	1,24E-7 km/m ³ afvalwater. Aanname 10 % minder volume. Zie bijlage 1b
C3, C4 – Afvalverwerking	Verwerking 1: Anaerobe zuivering Biogasproductie en inzet: Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} heat and power co-generation, biogas, gas engine, label-certified Cut-off, U	20,84 m ³ = 474 MJ	Zie tekst
	Vermeden aardgasproductie en inzet: Heat, central or small-scale, natural gas {CH} heat and power co-generation, natural gas, 160kW electrical, lambda=1 Cut-off, U	-474 MJ = -12,94 m ³	
	Verwerking 2: Communale zuivering lenW - Aerobe zuivering route 3 1 m ³ = 3 m ³ Wastewater, from residence {CH} treatment of, capacity 1.1E10l/year Cut-off, U + 0,42 kWh Electricity, low voltage {NL} market for Cut-off, U	1.749 l	Zie bijlage 1b voor de aanpassing van het Zwitserse afvalwaterzuiveringsproces. 3 m ³ van dit proces bevat al 0,63 kWh elektriciteit. De totale elektriciteitsvraag van hydrolysatorium effluent is 1,05 kWh/m ³

'Meststof' – Inzet als kunstmestvervanger voor gewassen

Bij deze verwerkingsmethode wordt het effluent per vrachtwagen afgevoerd (transport 1) naar een nabijgelegen akker waar het zonder extra bewerkingen wordt ingezet als kunstmestvervanger (verwerking 1). Dit is weergegeven in figuur 5.4.



Figuur 5.4 Scope LCA model 'Meststof'. De rode lijn geeft de meegenomen scope weer

Om deze verwerkingsroute in SimaPro te modelleren zijn er enkele aannames gedaan:

- **Verwerking 1:**

- **Samenstelling kunstmest:** In deze studie is de aanname gedaan dat het hydrolysatorium effluent zonder verdere bewerkingsstappen kunstmest kan vervangen. In de Verenigde Staten is dit al zo toegepast maar in Europa nog niet (zie sectie 3.5.5). Op veel Nederlandse boerderijen wordt gewerkt met zogenoemde NPK-kunstmest in verschillende samenstellingen. Deze samenstellingen worden door de boer op verschillende momenten toegepast om de gewenste samenstelling N, P en K gehalten in de bodem te bereiken. Aangezien het hydrolysatorium effluent zowel N als P bevat, kan dit zowel N-kunstmest als P-kunstmest vervangen. Afhankelijk van het precieze hydrolysatorium-proces is het effluent rijk aan ammoniakale stikstof en aan sulfaten door de neutralisatie met zwavelzuur. Als de bodem veel zwavel bevat kan dit een probleem opleveren. In deze studie is dit probleem buiten beschouwing gelaten
- **Emissie hydrolysatorium effluent naar bodem en water:** Bij het uitsproeien van hydrolysatorium effluent met de samenstelling uit tabel 3.1 als kunstmestvervanger wordt een deel de stoffen opgenomen in de gewassen en een ander deel lekt door naar de bodem. Voor deze studie is uitgegaan van 90 % opname van organisch materiaal (BOD, COD) en zwavelverbindingen, 70 % opname van slecht oplosbare stoffen en 0-20 % opname van beter/goed oplosbare stoffen. Dit is samengevat in onderstaande tabel. In deze studie is ervan uitgegaan dat het water uit het effluent niet wordt ingezet als bewatering maar in plaats daarvan wordt opgenomen in de omgeving. Er vindt dus geen vervanging van beregening plaats.

	Gemiddeld resultaat (mg/l)	Opname in gewas (schatting)	Emissie (mg/l)
Kwik	<0,0025	90 %	0,00025
Arseen	<0,030	70 %	0,009
Cadmium	<0,0025	90 %	0,00025
Chroom	0,29	20 %	0,232
Koper	0,06	90 %	0,006
IJzer	0,93	20 %	0,744
Lood	<0,015	90 %	0,0015
Mangaan	0,015	70 %	0,0045
Nikkel	<0,0050	70 %	0,0015
Zink	0,36	90 %	0,036
CZV	24.500	90 %	2.450
Droge stof/TSS	2.069	90 %	206,9
Fosfor	22	70 %	6,6
Sulfaat als SO42-	5.500	70 %	1.650
Organische stikstof	320	70 %	96
Ammoniakale stikstof	80	20 %	64
BZV	12.318	90 %	1.231,8
Olie en vet	6.400	90 %	640
pH (std. units)	>10	-	
Effluent volume (Liter)	1.944	0 %	1.944

- **Hoeveelheid vermeden kunstmest:** Hydrolysatorium effluent is nog onbekend als kunstmestvervanger. Daarom is uitgegaan van de allocatieregels voor kunstmestvervanging door dierlijke mest uit Annex IV van de Footprint Category Rules Red Meat [32]. Volgens deze regels mag het systeem dat de kunstmestvervanger produceert de vermeden impact van kunstmestproductie, -transport, -toepassing en -emissies aftrekken van de impact van de kunstmestvervanger (inclusief productie, transport, toepassing en emissies). Bij gebrek aan praktijkdata mag voor 50 % van N en P in het effluent vermeden kunstmest worden gerekend. Dit komt voor hydrolysatorium effluent neer op:

- N-kunstmest: Voor het totale stikstofgehalte (N) kan worden uitgegaan van 1 % N per lichaam⁷ in de vorm van onder andere aminozuren, dat geheel naar de waterfase gaat. Dit komt neer op ongeveer 400 mg N/l in de vorm van organische en ammoniakale verbindingen. Er wordt dus per resomeercyclus van 1.944 l 778 g N-kunstmest uitgespaard. 50 % hiervan is 388,80 g N-kunstmest.
- P-kunstmest: Het effluent bevat 22 mg/l fosfor (P), oftewel 42,77 g P per gemiddelde resomeercyclus van 1.944 l (tabel 3.1). In kunstmest heeft P de vorm van P₂O₅. Het moleculaire gewicht van P is 30,97 g/mol, oftewel 1,4 mol P = 0,7 mol P₂O₅ per resomeercyclus. 0,7 mol P₂O₅ = 196,03 g P₂O₅ uitgespaard per resomeercyclus. 50 % hiervan is 98,01 g P-kunstmest
- **Modellering:** Het hydrolysatorium effluent is gemodelleerd als enkel transport (als transport 1) en emissies. Bij de emissies is uitgegaan van 1.944 l water met de samenstelling uit tabel 3.1 (zie bijlage 1b). Productie is niet van toepassing aangezien hydrolysatorium effluent een afvalstroom is waarvoor geen milieukosten of milieubaten worden gerekend. Wat betreft de methode van applicatie (uitrijden op landbouwgrond) is aangenomen dat deze grotendeels hetzelfde is voor effluent en kunstmest. De netto emissie hiervan is naar verwachting verwaarloosbaar. Dit proces is daarom niet meegenomen in het model.

De vermeden kunstmest is gemodelleerd op basis van bestaande SimaPro processen. Dit staat beschreven in bijlage 1b. Ook hier is applicatie niet meegenomen.

Het model en de aannames zijn samengevat in tabel 5.3.

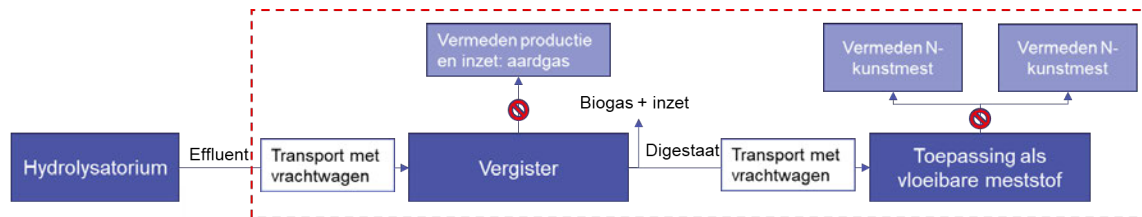
Tabel 5.3 SimaPro model 'Meststof'

Fase levenscyclus	SimaPro proces	Waarde	Aannames
C2 – Afvaltransport	Transport 1: Vrachtwagen 0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	97,20 tonkm 1.944 l * 50 km	Aanname transportafstand 50 km, dichtheid 1 kg/l
C3, C4 – Afvalverwerking	Verwerking 1: Toepassing als meststof Meststof: lenW - Emissies kunstmestvervanger 'Meststof' Vermeden kunstmest: lenW - Phosphate fertiliser, as P2O5 {RER} market for Cut-off, U lenW - Nitrogen fertiliser, as N {RER} market for Cut-off, U	1.944 l 98,01 g 388,80 g	Meststof: emissies. Productie telt niet mee (afvalstof), transport is meegenomen als transport 1, applicatie is buiten beschouwing gelaten (netto ±0). Zie bijlage 1b Vermeden kunstmest: productie, transport en emissies. Applicatie is buiten beschouwing gelaten (netto ±0). Zie bijlage 1b

⁷ Shyamala Iyer. (2009, September 27). Atoms & Life. ASU – Ask A Biologist. Retrieved April 25, 2023 from <https://askabiologist.asu.edu/content/atoms-life>.

'Vergisten' – Co-vergisting en toepassing als meststof

Bij deze verwerkingsmethode wordt het effluent per vrachtwagen afgevoerd (transport 1) naar een co-vergistingsinstallatie (verwerking 1). Hier wordt het organisch materiaal omgezet naar biogas. Het water wordt hierna per vrachtwagen getransporteerd (transport 2) naar een akker waar het wordt ingezet als vloeibare kunstmestvervanger (verwerking 2). Dit is weergegeven in figuur 5.5.



Figuur 5.5 Scope LCA model 'Vergisten'. De rode lijn geeft de meegenomen scope weer

Om deze verwerkingsroute in SimaPro te modelleren zijn er enkele aannames gedaan:

- **Verwerking 1:** Zie verwerking 1 van verwerkingsmethode 4
- **Transport 2:** In een co-vergistingsinstallatie wordt naar schatting 10 % van het ingaande water opgenomen in het gas. Transport 2 is dus berekend op basis van 1.750l
- **Verwerking 2:** Tijdens het vergistingsproces is een deel van de stoffen omgezet of anderszins uit de waterfase verdwenen. Zie hiervoor verwerking 1 van verwerkingsmethode 4. Bij de emissie vanuit het waterige effluent van de co-vergister op de bodem is uitgegaan van de percentages opname in planten zoals genoemd in verwerking 1 van 'Meststof'

Het model en de aannames zijn samengevat in tabel 5.4.

Tabel 5.4 SimaPro model 'Vergisten'

Fase levenscyclus	SimaPro proces	Waarde	Aannames
C2 – Afvaltransport	Transport 1: Effluent met vrachtwagen 0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	97,20 tonkm 1.944 l * 50 km	Aanname transportafstand 50 km, dichtheid 1 kg/l
	Transport 2: Effluent vergister met vrachtwagen 0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	87,48 tonkm 1.749 l * 50 km	Aanname transportafstand 50 km, dichtheid 1 kg/l
C3, C4 – Afvalverwerking	Verwerking 1: Anaerobe zuivering		Zie verwerking 1 van 'Anaerobe zuivering'
	Biogasproductie en inzet: Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} heat and power co-generation, biogas, gas engine, label-certified Cut-off, U	20,30 m ³ = 474 MJ	
	Vermeden aardgasproductie en inzet: Heat, central or small-scale, natural gas {CH} heat and power co-generation, natural gas, 160kW electrical, lambda=1 Cut-off, U	-474 MJ = -12,94 m ³	
	Verwerking 2: Toepassing als meststof		Meststof: emissies. Productie telt niet mee (afvalstof), transport is meegenomen als transport 1, applicatie is buiten beschouwing gelaten (netto ±0). Zie bijlage 1b
	Meststof: lenW - Emissies kunstmestvervanger 'Vergisten'	1.749 l	
	Vermeden kunstmest: lenW - Phosphate fertiliser, as P2O5 {RER} market for Cut-off, U	93,10 g	
	lenW - Nitrogen fertiliser, as N {RER} market for Cut-off, U	295,49 g	Vermeden kunstmest: productie, transport en emissies. Applicatie is buiten beschouwing gelaten (netto ±0). Zie bijlage 1b

5.4 Resultaten levenscyclusanalyse (LCA) en interpretatie

5.4.1 Rekenmethode

- De berekeningen zijn uitgevoerd in overeenstemming met NEN-EN-ISO 14040 en 14044
- Het modelleren is uitgevoerd in SimaPro 9.4 met EcolInvent database versie 3.6 (2019) en de NMD database versie 3.5 (2022)
- De milieu-impact is uitgerekend met gebruik van ReCiPe 2016 v1.06 midpoint method, Hierarchist version. ReCiPe 2016 is een internationaal gebruikte rekenmethode. Het resulteert in de milieu-impact op 18 midpoint categorieën. De berekeningen zijn uitgevoerd zonder lange-termijn (>100 jaar) emissies mee te nemen

5.4.2 Resultaten

Deze paragraaf bevat de resultaten van de LCA. De resultaten zijn sterk afhankelijk van de aannames en de ingaande data. De verwerkingsroutes zijn beschouwd alsof ze op dit moment operationeel zijn, maar dat is niet de realiteit. Het ligt daarom voor de hand dat de resultaten veranderen wanneer meer bekend wordt over de verschillende verwerkingsroutes, bijvoorbeeld omdat deze in de praktijk toegepast (gaan) worden. Mede hierom zijn de LCA resultaten geldig voor een periode van 5 jaar. Het is aan te bevelen om de studie op een later moment te herhalen waarbij de aannames en uitgangspunten worden heroverwogen.

5.4.2.1 Resultaten per impact categorie

Tabel 5.5 toont de impact per verwerkingsroute per impact categorie. Een hogere score betekent een hogere milieu-impact. Een negatieve score laat een vermeden impact zien. In deze studie is dat ofwel vermeden methaanproductie uit aardgas ofwel vermeden kunstmestproductie. De resultaten laten zien dat voor verwerking van het effluent van één resomeercyclus:

- 'Aerobe zuivering' vrij neutraal scoort met een gemiddelde tot lage impact
- 'Anaerobe zuivering' heel wisselend scoort met op een derde van de impact categorieën de hoogste score, maar ook op drie categorieën de minste impact.
- 'Meststof' op de meeste impact categorieën de minste (of meeste vermeden) milieu-impact veroorzaakt
- 'Vergisten' vrij neutraal scoort met een gemiddelde tot hoge impact

Tabel 5.5 Milieu-impact scores per impact categorie. Groen = minste of hoogste vermeden milieu-impact, rood = grootste milieu-impact

Impact categorie	Eenheid	Aerobe zuivering	Anaerobe zuivering	Meststof	Vergisten
Global warming	kg CO ₂ eq	14,7956	3,7531	5,7520	6,6763
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,0000	0,00007	-0,0001	0,00002
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,0796	0,0931	0,0614	0,1388
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,0236	0,0407	0,0296	0,0605
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,0109	0,0248	0,0061	0,0267
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,0236	0,0407	0,0296	0,0605
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	0,0341	0,1178	0,0084	0,1151
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,0060	0,0049	0,0013	0,0013
Marine eutrophication	kg N eq	0,0341	0,0307	0,0364	0,0346
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	28,0125	28,9418	4,6880	25,0341
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,0606	0,0781	0,0227	0,0469
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,1043	0,1096	0,0370	0,0673
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,4075	0,3292	0,0233	0,0583
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	11,7230	10,2069	1,1610	2,9986
Land use	m ² a crop eq	0,3215	0,9249	0,6396	1,4555
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,0358	0,0431	-0,0135	0,0146
Fossil resource scarcity	kg oil eq	3,8220	-1,0194	2,6047	0,7634
Water consumption	m ³	-1,6295	-1,5365	-1,9792	-1,7587

Hierna worden de oorzaken van de hoogste of laagste impact per impact categorie besproken. Deze informatie kan worden gebruikt om de verwerkingsroutes aan te passen zodat de totale milieu-impact (nog verder) daalt.

Global warming (kg CO₂-eq)

Bij deze impact categorie wordt de hoeveelheid broeikasgasemissies berekend in CO₂-equivalenten. 'Aerobe zuivering' scoort hier het hoogste en 'Anaerobe zuivering' het laagst. Bij 'Aerobe zuivering' wordt deze impact vooral veroorzaakt door de elektriciteitsvraag van de aerobe zuivering. Bij 'Anaerobe zuivering' is deze elektriciteitsvraag lager en wordt er bovendien vermeden impact van aardgasproductie en inzet in mindering gebracht.

Stratospheric ozone depletion (kg CFC11-eq)

Aantasting van de ozonlaag wordt veroorzaakt door emissie van ozonafbrekende stoffen. Deze impact is bij deze studie vooral afhankelijk van vergisting, waarbij N₂O emissies vrijkomen. Deze komen in veel mindere mate vrij bij productie en gebruik van aardgas. 'Anaerobe zuivering' scoort het hoogst. Bij het vermijden van kunstmestproductie wordt de emissie van halogeenverbindingen vermeden, waardoor de routes 5 relatief goed scoort op deze impact categorie.

Ionizing radiation (kBq Co-60 eq)

Ionizing radiation heeft te maken met de hoeveelheid (licht) radioactief materiaal er vrijkomt (radionuclides). Deze impact wordt vooral veroorzaakt door vrachtwagen transport, waarbij fossiele stoffen zoals petroleum, bitumen en diesel worden ingezet voor brandstofproductie en wegenbouw. 'Vergisten' bevat het meeste transport per vrachtwagen en scoort daarom het hoogst. 'Aerobe zuivering' bevat alleen transport via riolering en scoort daardoor het laagst.

Fine particulate matter formation (kg PM2.5 eq)

Fine particulate matter formation meet de hoeveelheid aerosolen die vrijkomen tijdens een proces. Tijdens (co-)vergiftiging wordt vaste massa omgezet naar gas. Hierbij komen stoffen vrij zoals ammonia, zwaveldioxides en stikstofoxides. 'Aerobe zuivering' en 'Vergisten' hebben hierdoor een hoge impact. De impact van 'Vergisten' is iets hoger doordat vrachtwagentransport hier ook een impact veroorzaakt. De impact van 'Meststof' is het laagst door de vermeden impact van kunstmestproductie.

Ozone formation (human health & terrestrial ecosystems)

Deze impact categorieën laten de impact van luchtvervuiling op de menselijke gezondheid en op land-ecosystemen zien. 'Vergisten' scoort hier het slechtst en 'Meststof' het beste. Bij 'Vergisten' wordt al het hydrolysatorium effluent per vrachtwagen getransporteerd en wordt biogas geproduceerd, waarbij NOx verbindingen vrijkomen. De vermeden aardgas- en kunstmestproductie is niet voldoende om de netto impact op deze categorie te kunnen verlagen. De kleine impact van 'Meststof' komt voornamelijk door de vermeden impact van kunstmestproductie.

Terrestrial acidification (kg SO₂ eq)

Bodemverzuring wordt veroorzaakt door neerslag van anorganische stoffen. In deze studie komen deze vooral vrij door het gebruik van fossiele brandstoffen en bij het onderhouden van de wegen, oftewel door het transport per vrachtwagen. Een andere oorzaak is het bedrijven van de anaerobe vergister. 'Vergisten' bevat het meeste transport per vrachtwagen en scoort daarom het hoogst, gevolgd door 'Anaerobe zuivering'. 'Meststof' levert de kleinste milieu-impact, door de vermeden impact van kunstmestproductie.

Freshwater eutrophication (kg P eq)

Deze impact categorie meet de hoeveelheid nutriënten (P) die in het oppervlaktewater terecht komt. 'Aerobe zuivering' scoort hier het slechtst op. Dit komt door emissies naar water vanuit het afvalwaterzuiveringsproces. 'Meststof' en 'Vergisten' scoren het best. De impact die er is wordt veroorzaakt door fosfaat in de kunstmestvervanger.

Marine eutrophication (kg N eq)

Deze impact categorie meet de hoeveelheid nutriënten (N) die in zeewater terecht komt. De verwerkingsroutes scoren ongeveer gelijk. 'Meststof' scoort het slechtst, wat te herleiden is naar de rest-emissie van stikstof die niet wordt opgenomen door de gewassen. 'Anaerobe zuivering' scoort het best. De emissie die er is wordt veroorzaakt door rest-emissie van nitraat in het effluent van de waterzuivering.

Terrestrial-, freshwater- and marine ecotoxicity, human (non-)carcinogenic toxicity (kg 1,4-DCB)

De impact op de toxiciteitscategorieën hangt af van de hoeveelheid stoffen die vrijkomt gecombineerd met de mate van persistentie, de mate van accumulatie en de mate van toxiciteit. Het is een vrij grove benadering waarin niet alle relevante stoffen even goed worden meegenomen. 'Aerobe zuivering' en 'Anaerobe zuivering' scoren overall de hoogste impact. Deze wordt veroorzaakt door achtergebleven stoffen als zink, chroom, koper en nikkel in het effluent van de waterzuiveringsinstallatie. De impact wordt bij 'Anaerobe zuivering' en 'Vergisten' enigszins gecompenseerd door vermeden impact uit de vergistingsstap. De meeste vermeden toxiciteit komt door de vermeden productie van kunstmest, waarbij normaal veel toxische stoffen zoals arseen, zink en koper vrijkomen.

Land use (m²a crop eq)

De impact categorie landgebruik meet in hoeverre het land nog in natuurlijke staat kan functioneren. Onderdelen hiervan zijn de intensiteit van het gebruik, de duur van het gebruik en de tijd die het land nodig heeft om hiervan te herstellen. De factoren die hier in deze studie de meeste impact op veroorzaken zijn het aanleggen van wegen voor vrachtwagentransport en de aanleg van de vergisters en de waterzuiveringsinstallaties. 'Aerobe zuivering' scoort de minste impact, omdat hier relatief weinig infrastructuur voor nodig is. 'Vergisten' scoort de meeste impact en dit komt voornamelijk door de hoeveelheid infrastructuur die nodig is voor het vrachtwagentransport.

Mineral resource scarcity (kg Cu eq)

Deze impact categorie geeft het gebruik van mineralen weer. Bij gebruik in dit systeem zijn deze grondstoffen niet langer beschikbaar voor andere systemen. Mineralen worden in deze studie vooral gebruikt bij productie en onderhoud van de vrachtwagen, de wegen, de vergister en de waterzuivering. De vermeden productie van kunstmest in 'Meststof' zorgt voor een negatieve score op mineral resource scarcity, aangezien er geen kunstmestfabriek hoeft te worden gebouwd. Hierdoor scoort 'Meststof' de minste impact. 'Anaerobe zuivering' scoort de meeste impact, doordat de impact van transport en de aanleg van de vergistingsinstallatie groter is dan de negatieve score door vermeden kunstmestproductie.

Fossil resource scarcity (kg oil eq)

Deze impact categorie geeft het gebruik van fossiele grondstoffen weer. Bij gebruik in dit systeem zijn deze grondstoffen niet langer beschikbaar voor andere systemen. Fossiele grondstoffen spelen vooral een rol bij het onderhoud van de wegen en als brandstof voor de vrachtwagen. De inzet van biogas in plaats van aardgas leidt tot een negatieve score (vermeden impact). ‘Aerobe zuivering’ scoort de meeste impact vanwege de hoeveelheid transport per vrachtwagen die niet gecompenseerd wordt door vermeden impact. ‘Anaerobe zuivering’ scoort een vermeden impact vanwege de vermeden aardgasproductie door (co-) vergisting. Ook ‘Vergisten’ scoort weinig impact, maar de vermeden aardgasproductie kan de impact van vrachtwagentransport niet geheel compenseren.

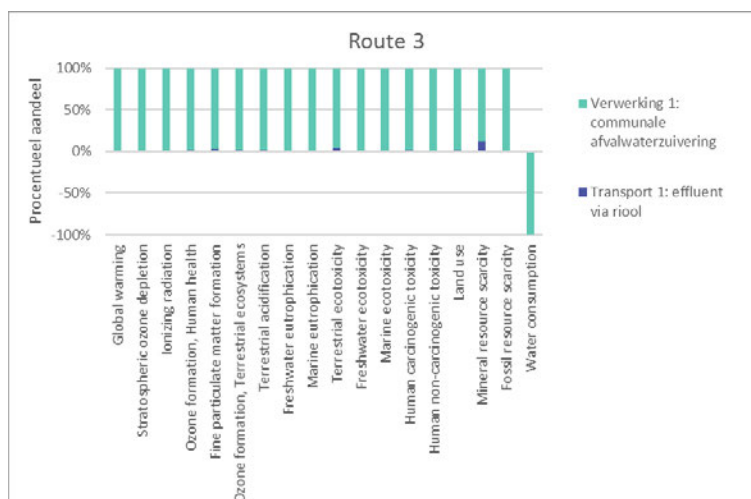
Water consumption (m³)

Water consumption gaat over de hoeveelheid water die vrij beschikbaar blijft voor het ecosysteem. In principe komt na volledige verwerking van het hydrolysatorium effluent, dit water volledig weer ter beschikking van het ecosysteem. Echter treedt er soms een verlies op, zoals verdamping tijdens vergisting, of is er water nodig voor bijvoorbeeld elektriciteitsproductie. Hierdoor is de waarde bij geen van de routes gelijk aan -1,944 m³. De onderlinge verschillen zijn echter klein.

5.4.2.2 Relatieve bijdrage per processtap per verwerkingsroute

‘Aerobe zuivering’

Figuur 5.6 toont de relatieve bijdrage van transport en verwerking voor ‘Aerobe zuivering’. Beiden veroorzaken milieu-impact, maar verwerking (communale afvalwaterzuivering) significant meer dan transport (via riolering). Verder toont de figuur de vermeden milieu-impact op Water consumption omdat het afvalwaterzuiveringsproces water terug levert naar de omgeving.

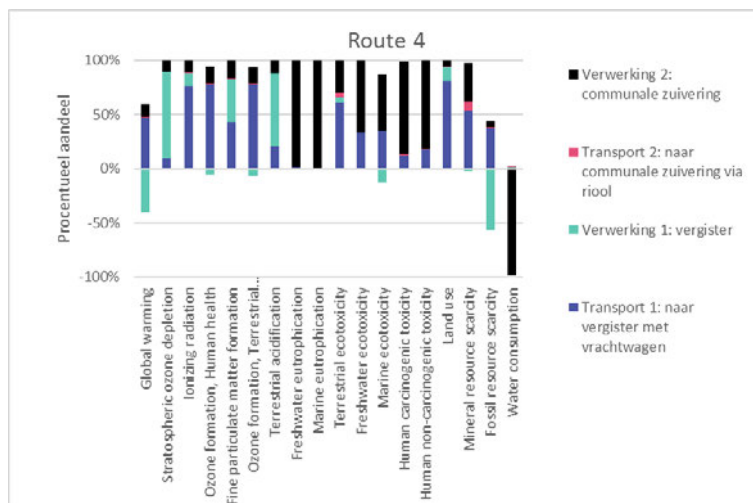


Figuur 5.6 Relatieve bijdrage van de verschillende processtappen aan de milieu-impact van ‘Aerobe zuivering’

‘Anaerobe zuivering’

Figuur 5.7 toont de relatieve bijdrage van transport en verwerking voor ‘Anaerobe zuivering’. Alle processtappen veroorzaken milieu-impact. De impact van transport 1 (vrachtwagen) veroorzaakt relatief de meeste impact, gevolgd door verwerking 2 (aerobe zuivering) en verwerking 1 (vergister). Transport 2 (via riolering) levert nauwelijks een bijdrage aan de totale milieu-impact.

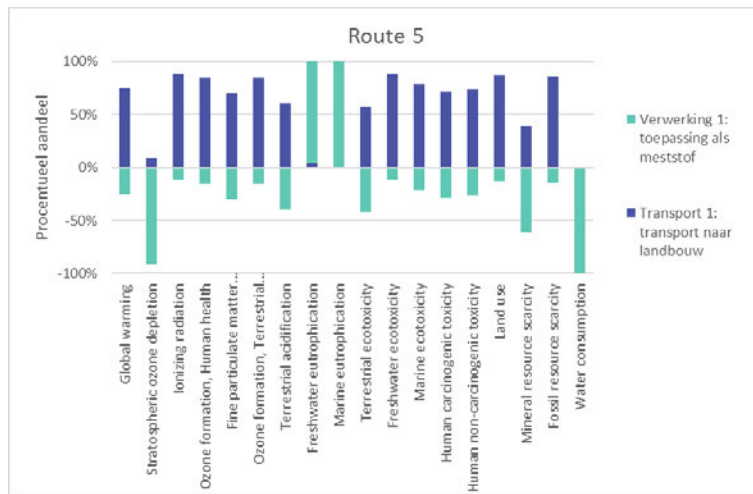
De figuur toont ook de vermeden milieu-impact op Water consumption vanuit verwerking 2 doordat het afvalwaterzuiveringsproces water terug levert naar de omgeving. Daarnaast is op een aantal categorieën negatieve impact door vermeden productie en gebruik van aardgas te zien. Productie en inzet van biogas in plaats van aardgas levert op een aantal categorieën netto negatieve (vermeden) impact op (global warming, ozone formation, marine ecotoxicity, fossiel resource scarcity), maar op andere categorieën juist extra impact (stratospheric ozone depletion, fine particulate matter formation, terrestrial ecotoxicity).



Figuur 5.7 Relatieve bijdrage van de verschillende processtappen aan de milieu-impact van ‘Anaerobe zuivering’

‘Meststof’

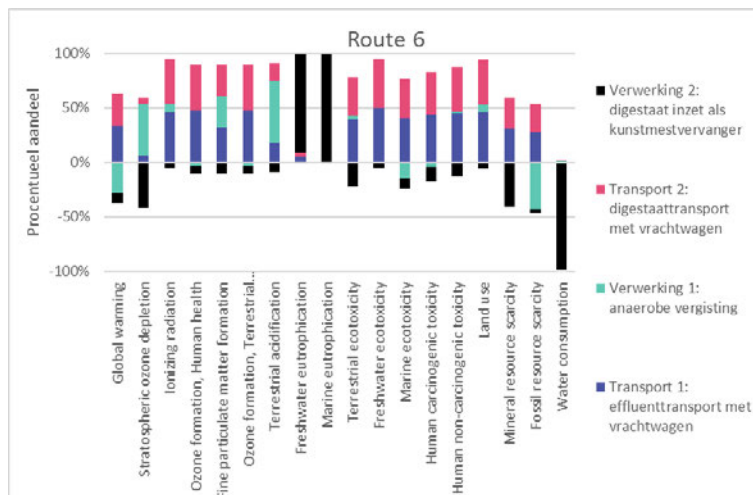
Figuur 5.8 toont de relatieve bijdrage van transport en verwerking voor ‘Meststof’. Het transport (via vrachtwagen) veroorzaakt op de meeste impact categorieën de meeste milieu-impact. De verwerking (toepassing als meststof) veroorzaakt vooral op freshwater- en marine eutrophication de hoogste impact. Dit komt vooral door de uitspoeling van N- en P-verbindingen naar (oppervlakte)water. Echter zorgt het vermijden van N- en P-kunstmest op alle andere categorieën voor een negatieve (vermeden) milieu-impact.



Figuur 5.8 Relatieve bijdrage van de verschillende processtappen aan de milieu-impact van 'Meststof'

'Vergisten'

Figuur 5.9 toont de relatieve bijdrage van transport en verwerking voor 'Vergisten'. Transport 1 en 2 (beiden per vrachtwagen) veroorzaken relatief de meeste milieu-impact, gevolgd door verwerking 1 (anaerobe vergisting). Verwerking 1 compenseert de eigen milieu-impact door vermeden aardgasproductie en gebruik, zoals besproken in 'Anaerobe zuivering'. Verwerking 2 (toepassing als kunstmestvervanger) vermijdt overall juist milieu-impact, maar veroorzaakt wel verreweg de hoogste impact op freshwater- en marine eutrophication door de uitspoeling van N- en P-verbindingen naar (oppervlakte)water.



Figuur 5.9 Relatieve bijdrage van de verschillende processtappen aan de milieu-impact van 'Vergisten'

5.4.2.3 Gevoeligheidsanalyse op gewogen resultaten

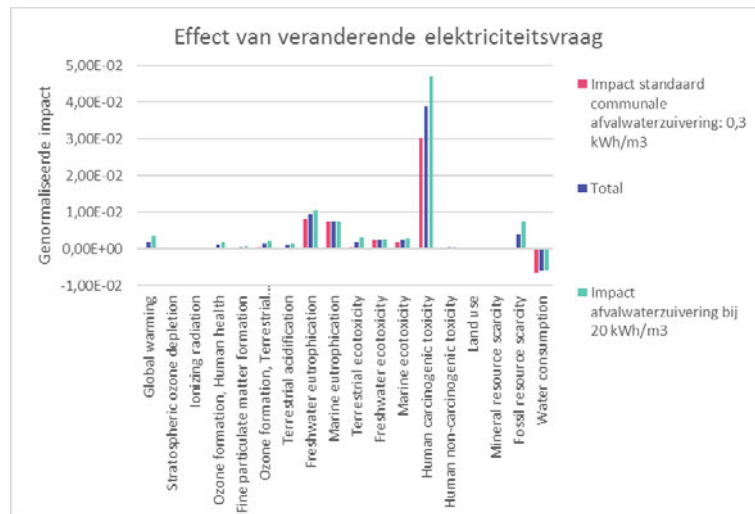
In deze studie is per verwerkingsroute een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de gewogen resultaten:

- **Aerobe waterzuiveringsinstallatie:** Wat is de impact van een andere elektriciteitsvraag door meer of minder BZV vracht? – ‘Aerobe zuivering’
- **Vergister:** Wat is het effect van meer of minder biogas productie en inzet op de navolgende verwerkingsstappen? – ‘Anaerobe zuivering’ en ‘Vergisten’
- **Kunstmestvervanger:** Wat is het effect van het 100 % meenemen van vermeden N- en P-kunstmest, in plaats van 50 %? – ‘Meststof’ en ‘Vergisten’

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses zijn weergegeven als genormaliseerde resultaten. Deze resultaten zijn het resultaat van normalisatie van de resultaten per impact categorie. De normalisatie is uitgevoerd met de standaard normalisatiefactoren van ReCiPe 2016 zoals die in SimaPro zijn opgenomen (bijlage 1c). Weging van resultaten is subjectief en valt daardoor buiten de toegepaste ISO-normen, maar geeft meer inzicht in hoe de milieu-scores zich ten opzichte van elkaar verhouden.

Effect van andere elektriciteitsvraag bij aerobe waterzuiveringsinstallatie

Het hydrolysatorium effluent is meer vervuild dan standaard Nederlands communaal effluent. Een aerobe afvalwaterzuivering gebruikt zuurstof om vervuiling af te breken. Meer vervuiling vraagt meer zuurstof, en dit vraagt meer beluchting. 70 % van de elektriciteitsbehoefte van een Nederlandse waterzuiveringsinstallatie komt vanuit de beluchting. Bij ‘Aerobe zuivering’ is er in totaal 10,6 kWh/m³ elektriciteit nodig vanwege de hoge vuillast. Deze gevoeligheidsanalyse toont de impact van elektriciteit op het afvalwaterproces. Figuur 5.10 toont de resultaten. Het effect van meer of minder elektriciteitsgebruik is in bijna alle impact categorieën zichtbaar, maar het waterzuiveringsproces, los van elektriciteit, zorgt in veel categorieën voor meer dan de helft van de impact per m³. Verandering in elektriciteitsverbruik door meer of minder BZV heeft dus geen doorslaggevend effect op de milieu-impact van de aerobe zuivering.



Figuur 5.10 Gevoeligheidsanalyse elektriciteitsgebruik aerobe waterzuivering

Effect van 50 % meer of minder biogas productie

Tijdens ‘Anaerobe zuivering’ en ‘Vergisten’ is de productie en inzet van biogas verrekend met de vermeden productie en inzet van aardgas. Deze gevoeligheidsanalyse laat zien wat er gebeurt als er 50 % meer of minder biogas wordt geproduceerd door de vergister. Meer of minder biogasproductie heeft effect op de hoeveelheid CZV en BZV die naar de vervolgstappen gaat. Voor ‘Anaerobe zuivering’ heeft dit direct effect op de hoeveelheid beluchting op de communale afvalwaterzuivering, en daarmee op de elektriciteitsvraag. Voor ‘Vergisten’ heeft het effect op de hoeveelheid CZV en BZV die in de bodem terecht komt. Echter wordt deze impact niet meegenomen in LCA's naar mestproducten. ‘Vergisten’ is daarom niet meegenomen in deze gevoeligheidsanalyse.

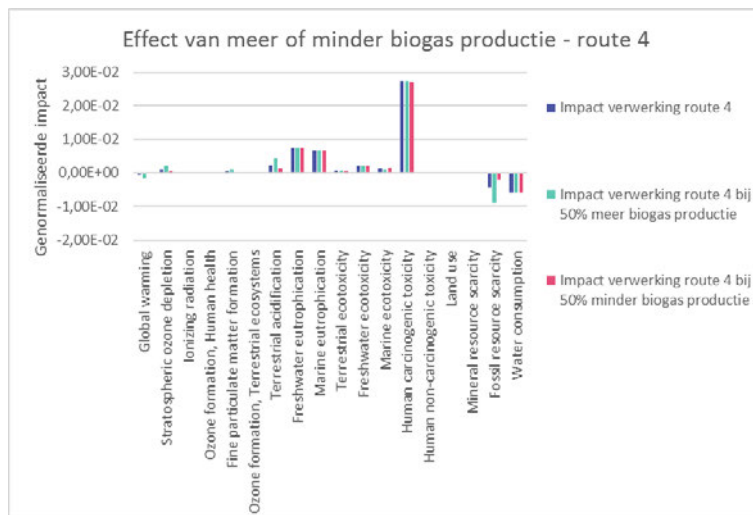
De situaties zijn samengevat in tabel 5.6. De impact van transport is buiten beschouwing gelaten aangezien deze niet afhankelijk is van de hoeveelheid geproduceerd biogas.

Tabel 5.6 Uitgangspunten gevoeligheidsanalyse biogasproductie

	'Anaerobe zuivering' 50 % meer biogas	'Anaerobe zuivering' 50 % minder biogas	'Vergisten' 50 % meer biogas	'Vergisten' 50 % minder biogas
Verwerking 1	Vergister	Vergister	Vergister	Vergister
Biogas uit (m ³)	40,6	10,15	40,6	10,15
Vermeden aardgas (m ³)	25,22	6,31	25,22	6,31
CZV uit (mg/l)	3.402,78	10.208,34	3.402,78	10.208,34
BZV uit (mg/l)	684,34	2.053,01	684,34	2.053,01
N, P, et cetera	Gelijk	Gelijk	Gelijk	Gelijk
Volume uit (L)	1.749,6	1.749,6	1.749,6	1.749,6
Verwerking 2	Aerobe zuivering	Aerobe zuivering	Kunstmestvervanger	Kunstmestvervanger
Elektriciteitsvraag (kWh)	2,67	1,00	NVT	NVT
N-, P-kunstmest	NVT	NVT	Gelijk	Gelijk
CZV emissie (mg/l)	Gelijk	Gelijk	340,28	1.020,83
BZV emissie (mg/l)	Gelijk	Gelijk	68,43	205,30

'Anaerobe zuivering'

Figuur 5.11 laat zien dat de verandering in elektriciteitsvraag op de zuivering geen effect heeft op de totale impact van de aerobe zuivering. Daarentegen is er wel een duidelijk effect te zien op onder andere global warming en fossil resource scarcity. Het effect van meer of minder biogasproductie heeft dus geen gevolgen voor de impact van de aerobe zuivering.



Figuur 5.11 Gevoeligheidsanalyse biogasproductie - 'Anaerobe zuivering'

Effect van volledig meenemen van vermeden N- en P-kunstmest

Kunstmestvervanging is gemodelleerd volgens de allocatieregels voor kunstmestvervanging door dierlijke mest uit Annex IV van de Footprint Category Rules Red Meat [32]. Deze regels stellen dat bij gebrek aan praktijkdata slechts voor 50 % van N en P in het effluent vermeden kunstmest mag worden gerekend. Dit houdt in dat de impact van de kunstmestvervanger volledig wordt meegerekend maar de baten van de vermeden kunstmestproductie maar voor 50 %. Deze gevoeligheidsanalyse bekijkt hoeveel verschil dit maakt ten opzichte van 100 % meerekenen van vermeden kunstmestproductie voor verwerking 1 van 'Meststof'. De resultaten zijn weergegeven in figuur 5.12.

Niet alle impact categorieën veranderen wanneer vermeden N- en P-kunstmest 100 % meegeteld wordt. Marine eutrophication verandert niet of nauwelijks, omdat deze emissie niet wordt veroorzaakt door vermeden kunstmest maar door de kunstmestvervanger. Voor de meeste andere impact categorieën is er echter wel een duidelijk meer negatieve score (minder impact) te zien als er voor 100 % vermeden kunstmest wordt meegerekend. Hetzelfde beeld is te zien bij 'Vergisten'.



Figuur 5.12 Gevoeligheidsanalyse naar hoeveelheid vermeden kunstmest bij verwerking 1 van 'Meststof'

5.5 Kwalitatieve analyse van 'Carbonisatie' en 'Wet air oxidation'

Twee verwerkingsroutes die technisch nog niet voldoende ontwikkeld zijn om in een onderbouwd LCA-model te analyseren maar in theorie wel voldoen aan het beoordelingskader vanuit kwalitatief oogpunt, zijn kwalitatief geanalyseerd. Het gaat om de volgende routes:

- **Verwerkingsroute 8:** Carbonisatie van het effluent (paragraaf 3.5.8)
- **Verwerkingsroute 9: Oxidatie van het effluent via 'wet air oxidation' waarbij organische componenten worden omgezet naar koolstofdioxide (paragraaf 3.5.9)**

Van de verwerkingsroute 10: Elektrodialyse met bipolaire membranen (EDBM) zijn te weinig gegevens bekend om een kwalitatieve analyse te doen.

'Carbonisatie' houdt in dat organische vervuiling in het effluent bij hoge temperatuur en zuurstofarme condities wordt verkoold. De alkalische vloeistof die overblijft kan in theorie opnieuw worden toegepast in het hydrolysatorium. De vaste fractie kan worden opgewerkt tot (actief) kool. Deze verwerkingsroute is een hoog technische oplossing, waarbij in de context van milieubelasting rekening moet worden gehouden met de bouw van een carbonisatie installatie en hoog energieverbruik. Daarentegen is hergebruik van de alkalische vloeistof en de vaste fractie wel gunstig: zo wordt nieuwe productie van de alkalische vloeistof en van (actief) kool, dat normaal vaak van fossiele oorsprong is, voorkomen.

Conclusie: Deze route is vanuit milieu-perspectief interessant om nader te onderzoeken en op termijn een LCA analyse op uit te voeren. De totale impact zal echter naar verwachting hoger liggen dan bijvoorbeeld 'Aerobe zuivering', waarbij het effluent als onderdeel van een bestaande afvalstroom wordt verwerkt en niet als stand-alone oplossing.

'Wet air oxidation' lijkt veel op 'Carbonisatie', echter worden er juist zuurstofrijke condities toegepast. In plaats van kool ontstaan er verschillende stoffen (CO_2 , NO_3 , SO_4 , PO_4). In theorie kan de alkalische vloeistof teruggevoerd worden naar het hydrolysatorium en de stoffen periodiek worden geloosd op een rwzi. Dit is echter technisch moeilijker dan het opwerken van de koolfractie via 'Carbonisatie'.

Bij 'Wet air oxidation' dient in de context van milieubelasting rekening te worden gehouden met de bouw van een wet air oxidation installatie en hoog energieverbruik. De alkalische vloeistof kan worden hergebruikt: zo wordt nieuwe productie van de alkalische vloeistof voorkomen. Dit is gunstig voor de netto milieu impact. Er is nog geen duidelijke strategie voor het lozen van de reststoffen en dit kan leiden tot een behoorlijke milieu-impact.

Conclusie: Deze route is vanuit milieu-perspectief voorzichtig interessant om nader te onderzoeken en op termijn een LCA analyse op uit te voeren. De totale impact zal echter naar verwachting hoger liggen dan 'Carbonisatie' vanwege de beperktere mogelijkheden op hergebruik van de afvalstromen.

5.6 Conclusie en discussie LCA

Conclusie en discussie

- De verwerkingsroutes zijn onderling zeer verschillend en veroorzaken dus ook verschillende impacts. De weging van de verschillende impact categorieën binnen de Nederlandse context zal zich gaandeweg meer moeten uitkristalliseren
- **Geen** van de verwerkingsroutes laat op basis van deze studie grote nadelen zien wat betreft milieu-impact. 'Wet air oxidation' toont (nog) geen zwaarwegende redenen om het niet te doen, maar leveren ook geen duidelijk milieuvoordeel op
- Transport via riolering is gunstiger dan transport via vrachtwagen aangezien er minder onderhoud, brandstof en constructie voor nodig is
- Behandeling van het effluent door communale waterzuivering is een goede, neutraal-scorende en eenvoudige optie waarbij de bestaande infrastructuur kan worden benut. Er is een extra milieueffect van de grotere elektriciteitsvraag, maar dit is niet overheersend. Het effect van (kleine hoeveelheden) hydrolysatorium effluent op de elektriciteitsvraag en de werking van de waterzuivering zien wij als beheersbaar. Het effluent zal nooit zelfstandig behandeld worden in een afvalwaterzuivering, maar altijd in combinatie met communaal effluent. Naar verwachting zal de bijdrage van het hydrolysatorium effluent <1 vol% zijn en daarmee ook weinig bijdragen aan de overall vervuilingsgraad, zuurstofvraag en elektriciteitsvraag van het ingaande vuile water
- Vergisting van het effluent in een co-vergister is gunstig, omdat productie en inzet van aardgas vermeden wordt. Daarnaast ontlast het navolgende verwerkingsstappen, zoals een aerobe zuivering (minder elektriciteitsbehoefte) en inzet als kunstmestvervanger (minder emissies). Het toxische effect van (kleine hoeveelheden) hydrolysatorium effluent op de co-vergisting zien wij als beheersbaar vanwege de verdunning met andere substraten
- Het effluent direct inzetten als kunstmestvervanger is een interessante optie. Echter is er in de praktijk weinig verschil met lozen op de bodem (verwerkingsroute 2, afgevalven op grond van de zorgplicht bodem). Hier moet dus goed worden gekeken naar de benodigde vergunningen. Het vermijden van N- en P-kunstmest is extra interessant als dit 100 % mag worden meegenomen in de LCA

Nader onderzoek

De verwerkingsroutes zijn nog niet in Nederland uitgevoerd en leunen daarom zwaar op theorie en aannames. Er zullen experimenten en pilotprojecten moeten worden uitgevoerd om deze te verstevigen of juist te ontcrachten en om te kijken of de uitkomsten in stand blijven bij wisselende hoeveelheden en samenstelling van het effluent. Daarbij moet er ook ruimte worden gelaten voor opties die in dit onderzoek nog niet naar voren zijn gekomen. Dit onderzoek is nadrukkelijk bedoeld als verkennende studie en niet als begrenzen of eliminerende studie.

6 Conclusie en aanbevelingen

Alkalische hydrolyse biedt mensen een duurzame optie voor lijkbezorging ten opzichte van gascrematie en begraven wanneer het effluent zorgvuldig verwerkt wordt.

Uit de chemische analyse blijkt het effluent hoge concentraties organische verontreinigingen bevat die onbehandelde lozingen niet toestaat. De totale vuilvracht in het effluent van 1 lichaam bedraagt circa 1,25 inwoner equivalent.

Twee verwerkingsmethoden, het direct lozen van het effluent op de bodem en/of oppervlaktewater, zijn uitgesloten door de schade die deze methoden toebrengen aan het milieu.

Geen van de navolgende verwerkingsroutes laat op basis van deze studie grote nadelen zien wat betreft milieu-impact.

Een derde verwerkingsmethode, waarbij het effluent geloosd wordt op het vuilwaterriool en vervolgens gezuiverd wordt in een bestaande rioolwaterzuiveringsinstallatie, is het meest gemakkelijk te implementeren. Ook in het buitenland wordt deze methode vaker toegepast zonder dat dit tot operationele problemen leidt. Wel moet het hydrolysatorium voldoen aan een aantal zorgplichten ten aanzien van de lozingsparameter sulfaat, olie en vetten, zwevende stof en mogelijk chloride. Het hydrolysatorium zal bijvoorbeeld een ander type zuur dan zwavelzuur moeten gebruiken om aan deze plicht te voldoen. Het gebruik van een rioolwaterzuiveringsinstallatie is echter niet de meest duurzame optie vanwege het relatief hoge energiegebruik om de organische verontreiniging te verwerken.

Een vierde methode, zuivering van het effluent met hulp van anaerobe zuivering, biedt een mogelijkheid om biogas te winnen uit het effluent. Een nadeel is vervoer naar een anaerobe zuiveringsinstallatie per vrachtwagen waarmee extra uitstoot gemoeid is. De anaerobe zuiveringsinstallatie zal dicht in de buurt van het hydrolysatorium moeten liggen om deze extra uitstoot te kunnen minimaliseren. Mogelijk kan het in gevallen met meer dan één hydrolysator rendabel zijn om het effluent op het terrein van het hydrolysatorium anaeroob te zuiveren. Wanneer ethanol en/of een organisch zuur gebruikt om het effluent te neutraliseren wordt zal dit de biogas productie verhogen. Het gebruik van zwavelzuur is bij deze methode ongewenst vanwege de vorming van giftig waterstofsulfide-gas.

Een vijfde verwerkingsmethode, het toepassen van het effluent als meststof, is volgens de LCA het meest gunstig voor het milieu. Echter is de kans klein dat het effluent de toetsing voor toelating als meststof doorstaat, omdat de samenstelling van het effluent kan verschillen uitgaande van de verschillende hydrolysatie processen. Daarnaast kan het effluent afgekeurd worden vanwege sociaal-culturele overwegingen.

Een zesde verwerkingsmethode, het (co-)vergisten van het effluent, is een combinatie van anaerobe zuivering en het gebruik als meststof. Bij co-vergisting moet het effluent ook getoetst worden op de meststoffen voordat het digestaat gebruikt mag worden als meststof.

Van de overige 4 routes is het technisch ontwikkelingsniveau nog te laag en is te weinig informatie beschikbaar om een kwantitatieve LCA uit te voeren. Dit houdt niet in dat deze verwerkingsmethoden uitgesloten moeten worden, maar dat meer tijd nodig is om deze routes verder te ontwikkelen. De voordelen van deze routes, zoals keramische ultrafiltratie en elektrolyse met bipolaire membranen kunnen echter aanzienlijk zijn op zowel duurzaamheidsaspecten, veiligheid als ook bedrijfseconomisch voordelen hebben.

De verwerkingsroutes zijn nog niet in Nederland in de praktijk uitgevoerd. Door ruimte te geven voor pilotprojecten kan de uitvaartbranche zelf nadere gegevens creëren die de uitkomsten van dit onderzoek bevestigen.

De resumé van de conclusies is dan dat de verwerkingsmethoden met de laagste milieueffecten co-vergisting en toepassing als meststof zijn. Deze methoden hebben ook een hoge waardigheidsscore en zijn technologisch klaar voor implementatie. Wel geldt voor de toepassing als meststof dat de wetgeving voor deze toepassing nu geen ruimte biedt om het effluent op het land te brengen. Hiervoor dient de meststoffenwet te worden aangepast.

Aanbevolen wordt dan ook

- Om vrijheid te geven in het gebruik van meerdere verwerkingsmethoden zolang voldaan wordt aan het beoordelingskader van de Gezondheidsraad en de zorgplicht voor het milieu
- Te onderzoeken of aanpassing van de meststoffenwet wenselijk en mogelijk is
- Te onderzoeken de nieuwe ontwikkelingen zoals keramische ultrafiltratie en elektrolyse met bipolaire membranen door het bedrijfsleven, zoals technologieleveranciers en eindgebruikers samen met kennisinstellingen en overheid verder kunnen worden ontwikkeld tot betrouwbare, circulaire en duurzame oplossingen
- Ruimte te laten voor nieuwe verwerkingsmethoden en deze nader te beoordelen wanneer daar om verzocht wordt

In de opstartende fase van alkalische hydrolyse in Nederland, waarbij de hoeveelheden effluent beperkt zijn, is gebruik van het riool en verwerking op een RWZI een gepaste optie. In het buitenland is dit verre weg de meest voorkomende verwerkingsmethode. Zuiveren via andere routes vraagt om vervoer van het effluent per vrachtwagen wat de duurzaamheid van deze optie vermindert. Afspraken over de voorwaarden en vergunningsaspecten van het gebruik van het vuilwaterriool en de RWZI dienen gemaakt te worden met de waterschappen en gemeentes.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de beoordeling van de verschillende verwerkingsmethoden op de verschillende criteria. Voor de methode met een negatieve milieupact en een te lage stand der technologie is geen beoordeling van de overige criteria gemaakt. De groen gearceerde methoden bieden op dit moment goed en duurzame verwerkingsmethoden.

Tabel 6.1 Overzicht verwerkingsmethoden en beoordelingscriteria van de milieu impact

Beoordelingsaspect verwerkingsmethoden	Milieu-impact	Waardigheid	Energiegebruik en broeikasgas-emissies	Grondstofgebruik voor effluentverwerking**	Stand der Technologie (TRL 1-9)*
Lozing op het oppervlaktewater	--	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld
Lozing op de bodem	--	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld
Zuivering in RWZI	+	0	-	0	9
Zuivering bedrijfsafvalwaterzuivering (Anaerobe)	+	0	0	0	9
Gebruikt als meststof	++	+	+	+	6
(Co-)Vergisting	++	0	0	0	9
UF keramisch membraan	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	5
Carbonisatie	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	5
Wet air oxidation	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	5
Elektrodialyse met bipolaire membranen	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	Niet beoordeeld	5

* Een hoge waarde geeft aan dat de technologie is uitontwikkeld voor deze toepassing

** De waarde is vooral bedoeld als onderlinge spiegeling tussen de verwerkingsmethoden en heeft geen absolute betekenis

7 Afkortingen en Begrippenlijst

ABM	Algemene Beoordelings Methodiek
Alkali	Base of loog, bv natronloog of kaliloog
BZV	Biochemisch zuurstof verbruik
CZV	Chemisch zuurstof verbruik
EDBM	Elektrodialyse met bipolaire membranen
LCA	Levenscyclusanalyse
PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
TSS	Total suspended solids / totaal zwevende stoffen
WAO	Wet air oxidation
Aerobe zuivering	Waterzuivering onder zuurstofrijke omstandigheden met hulp van bacteriën
Anaerobe zuivering	Waterzuivering onder zuurstofarme omstandigheden met hulp van bacteriën
Effluent	Restvloeistof na alkalische hydrolyse
Hydrolysatie	Het oplossen van een overledenen in een alkalische vloeistof
Hydrolysator	Het apparaat waar de overledenen in geplaatst wordt voor hydrolysatie
Hydrolysatorium	Een gebouw of locatie waar overledenen alkalisch worden gehydrolyseerd
Prionen	Schadelijke en ziekteverwekkende eiwitten
TRL	Technology Readiness Levels/ Stand van bruikbaarheid van de technologie

8 Verwijzingen

- [1] Gezondheidsraad, „Toelaatbaarheid nieuwe vormen van lijkbezorging,” Den Haag, 2020.
- [2] Rijkswaterstaat, „Zorgplicht voor afvalwater vanuit algemene lozingsregels,” Kenniscentrum InfoMil, [Online]. Available: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/algemene-regels-lozingsroute-schema/zorgplicht/#:~:text=Met%20de%20zorgplicht%20wordt%20bedoeld,of%20het%20oppervlaktewater%20niet%20verontreinigd..> [Geopend 24 april 2023].
- [3] Resomation Ltd., „Resomation,” [Online]. Available: <https://resomation.com/>. [Geopend 23 mei 2023].
- [4] Bio-Response Solutions, [Online]. Available: <https://bioresponsesolutions.com/>. [Geopend 23 mei 2023].
- [5] ECO RESOMATION, [Online]. Available: <https://www.ecoresomation.biz/nl/>. [Geopend 23 mei 2023].
- [6] Aquasolve, [Online]. Available: <https://aquasolve.eu/>. [Geopend 23 mei 2023].
- [7] J. Reinders en M. Spruijt, „Veiligheidsanalyse,” TNO, Utrecht, 2018.
- [8] A. D. G, „Validation of the Bio-response solutions human-28 low-temperature alkaline hydrolysis system,” *Applied Biosafety*, vol. 24, nr. 4, 2019.
- [9] P. Francisca, N. Martí, N.-O. Alicia, F. Francesc, L. D. José, B. Damià en F. Marinella, „Accumulation of perfluoroalkyl substances in human tissues,” *Environment International*, vol. 59, pp. 354-362, 2013.
- [1] R. J.E.A. en S. M.P.N., „Veiligheidsanalyse Resomeren,” TNO, Utrecht, 2018.
- [1] L. Lundy, B. Linneker en S. Bradshaw, „Alkaline hydrolysis as an emerging end-of-life disposal option: experiences to-date and opportunities for the UK,” Hendon, 2019.
- [1] P. Telkamp, J. v. d. Bulk, R. Berg en P. Baggelaar, „Bepaling zuurstofvraag huishoudelijk afvalwater,” STOWA, 2018.
- [1] Accuracy Environmental Laboratories Ltd., „Effluent Analysis,” Bio-Response Solutions, Toronto, 2017.
- [1] S. Flynn, „Dust to drain: Increasingly popular cremation that DISSOLVES bodies into ash and LIQUID that's treated through municipal water facilities,” Dailymail, 2017 september 18. [Online]. Available: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-4895712/New-type-cremation-DISSOLVES-bodies-LIQUID.html>. [Geopend juni 2023].
- [1] M. Marek, „Dissolution of mercury from dental amalgam at different pH values,” *Journal of Dental Research*, pp. 1308-1315, 1997.
- [1] G. Soh, C. Chew, A. Lee en T. Yeoh, „Thermal effect on the dissolution of mercury from two dental amalgams,” *Journal of Oral Rehabilitation*, vol. 18, pp. 179-183, 1991.

- [1 W. Andringa, J. Bouwmeester, F. t. Doeschot, P. Nieuwenburg en D. Wilson, 7] „Draagvlakonderzoek resomeren,” I&O Research, 2017.
- [1 CBS, „Zuivering van stedelijk afvalwater; per regionale waterkwaliteitsbeheerder,” 22 maart 8] 2023. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/71476ned>. [Geopend 18 april 2023].
- [1 „An insight into Alkaline Hydrolysis in Minnesota, USA,” Minnesota, 2019. 9]
- [2 R. Schils, „30 vragen en antwoorden over zwavel,” Wageningen Environmental Research, 0] Wageningen, 2016.
- [2 Rijksoverheid, „BNC-fiche 2: Herziening Richtlijn stedelijk afvalwater,” 26 10 2022. [Online]. 1] Available: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/10/26/fiche-2-herziening-richtlijn-stedelijk-afvalwater> . [Geopend juni 2023].
- [2 H. Water, „Lozen op vuilwaterriool,” [Online]. Available: 2] <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/handboek-water/wetgeving/algemene-regels-lozingsroute-schema/lozen-vuilwaterriool/>. [Geopend juni 2023].
- [2 A. D. Shende en G. R. Pophali, „Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater: a 3] review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 35-55, 2021.
- [2 S. Xueqing, Y. L. Kwok en Y. N. How, „Anaerobic treatment of pharmaceutical wastewater: A 4] critical review,” *Bioresource Technology*, vol. 245, pp. 1238-1244, 2017.
- [2 Be a Tree Cremation, „water cremation,” [Online]. Available: 5] <https://www.beatrecremation.com/water-cremation>. [Geopend 20 April 2023].
- [2 S.-W. Kang, C. Jeong, D.-C. Seo, S. Y. Kim en J.-S. Cho, „Liquid fertilizer production by 6] alkaline hydrolysis of carcasses and the evaluation of developed fertilizer in hot pepper cultivation,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 122, pp. 307-312, 2018.
- [2 K. Sanja, K. Tajana, J. Vanja en J. Zlatko, „ALKALINE HYDROLYSIS OF ANIMAL WASTE 7] AS PRE-TREATMENT IN PRODUCTION OF FERMENTED FERTILIZERS,” *Cereal Research Communications*, vol. 36, pp. 179-182, 2008.
- [2 C. D. Meststoffenwet, „Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet,” Wageningen university & 8] research, Wageningen, 2016.
- [2 Overheid.nl, „Uitvoeringsregeling Meststoffenwet,” [Online]. Available: 9] <https://wetten.overheid.nl/BWBR0018989/2021-02-18#BijlageAa>. [Geopend 20 april 2023].
- [3 R. v. O. Nederland, „Technieken vergisten,” [Online]. Available: 0] <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bio-energie/vergisting-en-vergassing/technieken#digestaat>. [Geopend 20 april 2023].
- [3 J. Tauber, V. Parravicini, K. Svardal and J. Krampe, "Quantifying methane emissions from 1] anaerobic digesters," *Water Science & Technology*, vol. 80, no. 9, p. 1654–1661, 2019.
- [3 T. S. f. t. R. M. Pilot, „Footprint Category Rules Red Meat - Version 1.0,” July 2019. 2]

- [3 R. v. O. Nederland, „Hoeveel fosfaat landbouwgrond,” [Online]. Available:
3] <https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/gebruiken-en-uitrijden/fosfaat-landbouwgrond>.
[Geopend mei 2023].
- [3 Meststoffen Nederland, „Kunstmest 4.0,” Leidschendam, 2019.
4]



Kenmerk

R001-1290653KVX-V01-pws-NL

Bijlage 1

Bijlagen bij LCA

Bijlage 1a LCA methodologie

Een LCA is een methode om de milieu-impact van de verschillende fasen van een levenscyclus van een product of dienst te bepalen. Dit is bruikbaar om te voldoen aan bepaalde voorschriften, om inzicht te krijgen in de milieu-hotspots van de levenscyclus en om de levenscyclus verder te verbeteren. Grofweg kan men per product de volgende fasen onderscheiden:

- **Grondstofwinning (fase A1-3)**
Het mijnen van de materialen. Het materieel dat hiervoor wordt ingezet heeft bijvoorbeeld energie nodig. Ook leidt dit vaak tot lokale vervuiling in water en bodem en allerlei emissies in de lucht
- **Productiefase (fase A3)**
Hoe en waar maakt de producent het product, welke materialen worden gebruikt, hoeveel en welke energie is daarvoor nodig, wat voor soort transport is nodig en welke afvalstoffen komen er vrij?
- **Transport naar consument (fase A4)**
Transportafstand en wijze van transport (vrachtwagen, schip, et cetera)
- **Gebruiksfase (fase B)**
Welk onderhoud is nodig? Moeten onderdelen van het product worden vervangen?
- **Afvalverwerking (fase C en D)**
Na einde levensduur: wat is er nodig om het product te verwijderen en hoe worden ze verwerkt: hergebruik, recycling, verbranden of stort?

Niet alle fasen hoeven altijd onderdeel te zijn van een LCA studie. De scope wordt in overleg met de opdrachtgever bepaald. Voor elke relevante fase wordt data verzameld en in een model gezet middels de LCA-software SimaPro. Het rekenmodel berekent op basis van de geselecteerde fasen het milieuprofiel van het product, dienst of organisatie.



De levenscyclus van een product

Een LCA studie bestaat uit verschillende stappen die onderling afhankelijk zijn. Het is een iteratief proces waarbij bijvoorbeeld aannames en de scope bij nader inzien worden aangepast. Het gaat om de volgende stappen:

1. Afbakening – Definitie van doel en scope

Wat is het doel van de studie, wat valt binnen de scope en wat niet, wat is de functionele eenheid of producteenheid? Welke normen en rekenmethode worden gehanteerd?

2. LCI – Levenscyclusinventarisatie

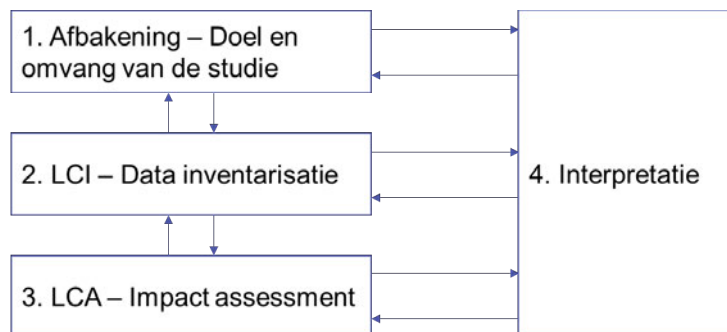
Welke data is beschikbaar? Waar moeten aannames worden gedaan, en welke zijn dat?

3. LCA – Levenscyclus assessment

Wat is het effect van de data inventarisatie uit stap 2 op de milieu-impact resultaten? Welke impact categorieën zijn het belangrijkste?

4. Interpretatie

Kloppen de aannames? Welke conclusies kunnen worden getrokken op basis van deze studie? Hoe past dit in de realiteit?



De vier stappen van een LCA

Bijlage 1b Custom processen

Verwerkingsroute 3 'Aerobe zuivering':

- Keuze voor Sewer grid, 4.7E10l/year, 583 km {RoW}| construction | Cut-off, U in plaats van XXXX Afvalwatertransport, riolering, per m³ (op basis van Sewer grid, 4.7E10l/year, 583 km {RoW}| construction | Cut-off, U) omdat die laatste ook afvalwaterzuivering bevat
- lenW - Aerobe zuivering route 3
 - Gebaseerd op: Wastewater, from residence {CH}| treatment of, capacity 1.1E10l/year | Cut-off, U
 - Aanpassingen:
 - Dit proces is gemodelleerd als 3 m³ om 1 m³ Nederlands afvalwater te benaderen. Het uitgaande water (per 1 m³ Zwitsers afvalwater gaat 0,9 m³ naar de omgeving en 0,1 m³ naar biogas) is gecorrigeerd (gedeeld door 3) om de waterbalans kloppend te houden.
 - Elektriciteit voor afvalwaterzuivering aangepast van Zwitsers proces naar de Nederlandse mix *Electricity, low voltage {NL}| market for | Cut-off, U*. Deze mix is ook toegevoegd voor de overige elektriciteitsbehoefte voor BZV afbraak

'Anaerobe zuivering':

- Transport 2: zie 'Aerobe zuivering'
- Verwerking 2: zie 'Aerobe zuivering'

'Meststof':

- lenW - Emissies kunstmestvervanger 'Meststof'
 - Custom proces: samenstelling hydrolysatorium effluent als emissie naar bodem, gecorrigeerd voor opname door gewassen. CZV en BZV zijn buiten beschouwing gelaten in lijn met eerdere LCA's over kunstmestproductie
- lenW - Nitrogen fertiliser, as N {RER}| market for | Cut-off, U
 - Gebaseerd op: Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut-off, U
 - Aanpassing: alle niet-RER processen op Hoeveelheid = 0. De hoeveelheden van de RER-processen zijn omgerekend naar totaal 1 kg
- lenW - Phosphate fertiliser, as P2O5 {RER}| market for | Cut-off, U
 - Gebaseerd op: Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Cut-off, U Aanpassing: alle niet-RER processen op Hoeveelheid = 0. De hoeveelheden van de RER-processen zijn omgerekend naar totaal 1 kg

'Vergisten':

- Biogasproductie: zie 'Anaerobe zuivering'
- Emissies kunstmestvervanger: zie 'Meststof'. In plaats van de samenstelling van het hydrolysatorium effluent is de samenstelling na de vergister (verwerkingsmethode 4) gebruikt. Er is gecorrigeerd voor opname door gewassen. CZV en BZV zijn buiten beschouwing gelaten in lijn met eerdere LCA's over kunstmestproductie

Bijlage 1c Wegingsfactoren ReCiPe

Tabel B1.1 ReCiPe 2016 impact categorieën met de normalisatie factoren die gelden voor ReCiPe 2016 Midpoint Hierarchic / World (2010) resultaten zoals gegeven in SimaPro 9.4

Impact categorie	Eenheid	Normalisatie-factor
Global warming	kg CO ₂ eq	1,25E-04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1,67E+01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	2,08E-03
Ozone formation, Human health	kg NO _x eq	4,86E-02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	3,91E-02
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x eq	5,63E-02
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	2,44E-02
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,54E+00
Marine eutrophication	kg N eq	2,17E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6,58E-05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3,97E-02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,30E-02
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	9,71E-02
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,20E-05
Land use	m ² a crop eq	1,62E-04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	8,33E-06
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1,02E-03
Water consumption	m ³	3,75E-03



Kenmerk

R001-1290653KVX-V01-pws-NL

Bijlage 2

Analysecertificaten Pacelabs



July 14, 2023

██████████
██████████
Bradshaw Funeral & Cremation Services
2800 Curve Crest Blvd
Stillwater, MN 55082

RE: Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Dear ██████████ ██████████

Enclosed are the analytical results for sample(s) received by the laboratory on June 14, 2023. The results relate only to the samples included in this report. Results reported herein conform to the applicable TNI/NELAC Standards and the laboratory's Quality Manual, where applicable, unless otherwise noted in the body of the report.

The test results provided in this final report were generated by each of the following laboratories within the Pace Network:

- Pace National - Mt. Juliet
- Pace Analytical Services - Minneapolis

If you have any questions concerning this report, please feel free to contact me.

Sincerely,



██████████
██████████@pacelabs.com

Project Manager

Enclosures



REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



CERTIFICATIONS

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Pace Analytical Services, LLC - Minneapolis MN

1700 Elm Street SE, Minneapolis, MN 55414
 A2LA Certification #: 2926.01
 Alabama Certification #: 40770
 Alaska Contaminated Sites Certification #: 17-009
 Alaska DW Certification #: MN00064
 Arizona Certification #: AZ0014
 Arkansas DW Certification #: MN00064
 Arkansas WW Certification #: 88-0680
 California Certification #: 2929
 Colorado Certification #: MN00064
 Connecticut Certification #: PH-0256
 EPA Region 8 Tribal Water Systems+Wyoming DW Certification #: via MN 027-053-137
 Florida Certification #: E87605
 Georgia Certification #: 959
 GMP+ Certification #: GMP050884
 Hawaii Certification #: MN00064
 Idaho Certification #: MN00064
 Illinois Certification #: 200011
 Indiana Certification #: C-MN-01
 Iowa Certification #: 368
 Kansas Certification #: E-10167
 Kentucky DW Certification #: 90062
 Kentucky WW Certification #: 90062
 Louisiana DEQ Certification #: AI-03086
 Louisiana DW Certification #: MN00064
 Maine Certification #: MN00064
 Maryland Certification #: 322
 Michigan Certification #: 9909
 Minnesota Certification #: 027-053-137
 Minnesota Dept of Ag Approval: via MN 027-053-137
 Minnesota Petrofund Registration #: 1240

Mississippi Certification #: MN00064
 Missouri Certification #: 10100
 Montana Certification #: CERT0092
 Nebraska Certification #: NE-OS-18-06
 Nevada Certification #: MN00064
 New Hampshire Certification #: 2081
 New Jersey Certification #: MN002
 New York Certification #: 11647
 North Carolina DW Certification #: 27700
 North Carolina WW Certification #: 530
 North Dakota Certification (A2LA) #: R-036
 North Dakota Certification (MN) #: R-036
 Ohio DW Certification #: 41244
 Ohio VAP Certification (1700) #: CL101
 Oklahoma Certification #: 9507
 Oregon Primary Certification #: MN300001
 Oregon Secondary Certification #: MN200001
 Pennsylvania Certification #: 68-00563
 Puerto Rico Certification #: MN00064
 South Carolina Certification #:74003001
 Tennessee Certification #: TN02818
 Texas Certification #: T104704192
 Utah Certification #: MN00064
 Vermont Certification #: VT-027053137
 Virginia Certification #: 460163
 Washington Certification #: C486
 West Virginia DEP Certification #: 382
 West Virginia DW Certification #: 9952 C
 Wisconsin Certification #: 999407970
 Wyoming UST Certification #: via A2LA 2926.01
 USDA Permit #: P330-19-00208

Pace Analytical Services National

12065 Lebanon Road, Mt. Juliet, TN 37122
 Alabama Certification #: 40660
 Alaska Certification 17-026
 Arizona Certification #: AZ0612
 Arkansas Certification #: 88-0469
 California Certification #: 2932
 Canada Certification #: 1461.01
 Colorado Certification #: TN00003
 Connecticut Certification #: PH-0197
 DOD Certification: #1461.01
 EPA# TN00003
 Florida Certification #: E87487
 Georgia DW Certification #: 923
 Georgia Certification: NELAP
 Idaho Certification #: TN00003
 Illinois Certification #: 200008
 Indiana Certification #: C-TN-01

Iowa Certification #: 364
 Kansas Certification #: E-10277
 Kentucky UST Certification #: 16
 Kentucky Certification #: 90010
 Louisiana Certification #: AI30792
 Louisiana DW Certification #: LA180010
 Maine Certification #: TN0002
 Maryland Certification #: 324
 Massachusetts Certification #: M-TN003
 Michigan Certification #: 9958
 Minnesota Certification #: 047-999-395
 Mississippi Certification #: TN00003
 Missouri Certification #: 340
 Montana Certification #: CERT0086
 Nebraska Certification #: NE-OS-15-05
 Nevada Certification #: TN-03-2002-34
 New Hampshire Certification #: 2975

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



CERTIFICATIONS

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Pace Analytical Services National

New Jersey Certification #: TN002	Texas Certification #: T 104704245-17-14
New Mexico DW Certification	Texas Mold Certification #: LAB0152
New York Certification #: 11742	USDA Soil Permit #: P330-15-00234
North Carolina Aquatic Toxicity Certification #: 41	Utah Certification #: TN00003
North Carolina Drinking Water Certification #: 21704	Vermont Dept. of Health: ID# VT-2006
North Carolina Environmental Certificate #: 375	Virginia Certification #: VT2006
North Dakota Certification #: R-140	Virginia Certification #: 460132
Ohio VAP Certification #: CL0069	Washington Certification #: C847
Oklahoma Certification #: 9915	West Virginia Certification #: 233
Oregon Certification #: TN200002	Wisconsin Certification #: 998093910
Pennsylvania Certification #: 68-02979	Wyoming UST Certification #: via A2LA 2926.01
Rhode Island Certification #: LAO00356	A2LA-ISO 17025 Certification #: 1461.01
South Carolina Certification #: 84004	A2LA-ISO 17025 Certification #: 1461.02
South Dakota Certification	AIHA-LAP/LLC EMLAP Certification #:100789
Tennessee DW/Chem/Micro Certification #: 2006	

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



SAMPLE SUMMARY

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Lab ID	Sample ID	Matrix	Date Collected	Date Received
10657412001	3287NA	Water	06/14/23 11:32	06/14/23 13:44
10657412002	3287SULF	Water	06/14/23 11:57	06/14/23 13:44

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



SAMPLE ANALYTE COUNT

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Lab ID	Sample ID	Method	Analysts	Analytes Reported	Laboratory
10657412001	3287NA	EPA 6020B	GAS1	9	PASI-M
		EPA 7470A	LMW	1	PASI-M
		EPA 350.1	AEC	1	PAN
		EPA 351.2	UNP	1	PAN
		EPA 353.2	AEC	1	PAN
		Calculated	UNP	2	PAN
		Hach 10360 Rev 1.1	MLL	1	PASI-M
		EPA 1664B OG	JL5	1	PASI-M
		SM 2540D	JKH	1	PASI-M
		SM 4500-H+B	RM3	1	PASI-M
		EPA 300.0	AR3	1	PASI-M
		EPA 410.4	EPT	1	PASI-M
		SM 4500-P F	KEO	1	PASI-M
		NO2+NO3+NH3 Calculated	KEO	1	PASI-M
		10657412002	3287SULF	EPA 6020B	GAS1
EPA 7470A	LMW			1	PASI-M
EPA 350.1	AEC			1	PAN
EPA 351.2	UNP			1	PAN
EPA 353.2	AEC			1	PAN
Calculated	UNP			2	PAN
Hach 10360 Rev 1.1	MLL			1	PASI-M
EPA 1664B OG	JL5			1	PASI-M
SM 2540D	JKH			1	PASI-M
SM 4500-H+B	RM3			1	PASI-M
EPA 300.0	AR3			1	PASI-M
EPA 410.4	EPT			1	PASI-M
SM 4500-P F	KEO			1	PASI-M
NO2+NO3+NH3 Calculated	KEO			1	PASI-M

PAN = Pace National - Mt. Juliet

PASI-M = Pace Analytical Services - Minneapolis

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



ANALYTICAL RESULTS

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

Sample: 3287NA	Lab ID: 10657412001	Collected: 06/14/23 11:32	Received: 06/14/23 13:44	Matrix: Water				
Parameters	Results	Units	Report Limit	DF	Prepared	Analyzed	CAS No.	Qual
6020B MET ICPMS								
Analytical Method: EPA 6020B Preparation Method: EPA 3020A Pace Analytical Services - Minneapolis								
Arsenic	ND	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-38-2	D3
Cadmium	1.1	ug/L	0.40	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-43-9	
Chromium	ND	ug/L	10.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-47-3	D3
Copper	40.5	ug/L	5.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-50-8	
Iron	736	ug/L	250	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7439-89-6	
Lead	7.0	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7439-92-1	
Manganese	ND	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7439-96-5	D3
Nickel	7.2	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-02-0	
Zinc	162	ug/L	25.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:12	7440-66-6	
7470A Mercury								
Analytical Method: EPA 7470A Preparation Method: EPA 7470A Pace Analytical Services - Minneapolis								
Mercury	4.2	ug/L	0.20	1	06/20/23 05:24	06/22/23 12:44	7439-97-6	
Wet Chemistry 350.1								
Analytical Method: EPA 350.1 Preparation Method: 350.1 Pace National - Mt. Juliet								
Nitrogen, Ammonia	37400	ug/L	25000	100	07/01/23 21:14	07/01/23 21:14	7664-41-7	
Wet Chemistry 351.2								
Analytical Method: EPA 351.2 Preparation Method: 351.2/365.4 Pace National - Mt. Juliet								
Nitrogen, Kjeldahl, Total	215000	ug/L	10000	40	07/01/23 08:39	07/03/23 16:26	7727-37-9	
Wet Chemistry 353.2								
Analytical Method: EPA 353.2 Preparation Method: 353.2 Pace National - Mt. Juliet								
Nitrate-Nitrite (as N)	2950	ug/L	100	1	06/27/23 23:41	06/27/23 23:41	7727-37-9	
Calculated Results								
Analytical Method: Calculated Preparation Method: Calc. Pace National - Mt. Juliet								
Nitrogen	177000	ug/L	10000	1	07/03/23 16:26	07/03/23 16:26	7727-37-9	
Total Nitrogen	218000	ug/L	100	1	07/03/23 16:26	07/03/23 16:26		
Hach 10360 Rev 1.1 BOD								
Analytical Method: Hach 10360 Rev 1.1 Preparation Method: Hach 10360 Pace Analytical Services - Minneapolis								
BOD, 5 day	4270	mg/L	1200	600	06/28/23 10:37	07/03/23 08:18		B1,B3, H1,H2
1664B HEM, Oil and Grease								
Analytical Method: EPA 1664B OG Pace Analytical Services - Minneapolis								
Oil and Grease	93.1	mg/L	5.0	1		06/29/23 09:15		1M
2540D Total Suspended Solids								
Analytical Method: SM 2540D Pace Analytical Services - Minneapolis								
Total Suspended Solids	905	mg/L	27.8	1		06/20/23 11:55		

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
 without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.

**ANALYTICAL RESULTS**

Project: Annual Testing

Pace Project No.: 10657412

Sample: 3287NA	Lab ID: 10657412001	Collected: 06/14/23 11:32	Received: 06/14/23 13:44	Matrix: Water				
Parameters	Results	Units	Report Limit	DF	Prepared	Analyzed	CAS No.	Qual
4500H+ pH, Electrometric								
Analytical Method: SM 4500-H+B Pace Analytical Services - Minneapolis								
pH at 25 Degrees C	12.7	Std. Units	0.10	1		06/15/23 15:56		H6
300.0 IC Anions								
Analytical Method: EPA 300.0 Pace Analytical Services - Minneapolis								
Sulfate	ND	mg/L	240	200		06/28/23 21:47	14808-79-8	
410.4 COD								
Analytical Method: EPA 410.4 Preparation Method: EPA 410.4 Pace Analytical Services - Minneapolis								
Chemical Oxygen Demand	7040	mg/L	500	1	06/22/23 10:52	06/23/23 11:46		
SM4500P-F, Total Phosphorus								
Analytical Method: SM 4500-P F Preparation Method: SM 4500-P B Pace Analytical Services - Minneapolis								
Phosphorus	7.9	mg/L	0.20	2	06/27/23 13:50	06/29/23 11:45	7723-14-0	
Total Inorganic Nitrogen Calc.								
Analytical Method: NO2+NO3+NH3 Calculated Pace Analytical Services - Minneapolis								
Total Inorganic Nitrogen	40.4	mg/L	0.30	1		07/10/23 08:53		
Sample: 3287SULF								
Lab ID: 10657412002 Collected: 06/14/23 11:57 Received: 06/14/23 13:44 Matrix: Water								
Parameters	Results	Units	Report Limit	DF	Prepared	Analyzed	CAS No.	Qual
6020B MET ICPMS								
Analytical Method: EPA 6020B Preparation Method: EPA 3020A Pace Analytical Services - Minneapolis								
Arsenic	ND	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-38-2	D3
Cadmium	0.78	ug/L	0.40	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-43-9	
Chromium	ND	ug/L	10.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-47-3	D3
Copper	42.5	ug/L	5.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-50-8	M1
Iron	673	ug/L	250	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7439-89-6	M1
Lead	7.1	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7439-92-1	
Manganese	ND	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7439-96-5	D3
Nickel	8.8	ug/L	2.5	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-02-0	
Zinc	162	ug/L	25.0	5	07/10/23 03:54	07/12/23 21:26	7440-66-6	M1
7470A Mercury								
Analytical Method: EPA 7470A Preparation Method: EPA 7470A Pace Analytical Services - Minneapolis								
Mercury	4.8	ug/L	0.20	1	06/20/23 05:24	06/22/23 12:45	7439-97-6	
Wet Chemistry 350.1								
Analytical Method: EPA 350.1 Preparation Method: 350.1 Pace National - Mt. Juliet								
Nitrogen, Ammonia	37600	ug/L	25000	100	07/01/23 21:16	07/01/23 21:16	7664-41-7	

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.

**ANALYTICAL RESULTS**

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Sample: 3287SULF	Lab ID: 10657412002	Collected: 06/14/23 11:57	Received: 06/14/23 13:44	Matrix: Water				
Parameters	Results	Units	Report Limit	DF	Prepared	Analyzed	CAS No.	Qual
Wet Chemistry 351.2	Analytical Method: EPA 351.2 Preparation Method: 351.2/365.4 Pace National - Mt. Juliet							
Nitrogen, Kjeldahl, Total	212000	ug/L	10000	40	07/01/23 08:39	07/03/23 16:28	7727-37-9	
Wet Chemistry 353.2	Analytical Method: EPA 353.2 Preparation Method: 353.2 Pace National - Mt. Juliet							
Nitrate-Nitrite (as N)	3150	ug/L	100	1	06/27/23 23:42	06/27/23 23:42	7727-37-9	
Calculated Results	Analytical Method: Calculated Preparation Method: Calc. Pace National - Mt. Juliet							
Nitrogen	175000	ug/L	10000	1	07/03/23 16:28	07/03/23 16:28	7727-37-9	
Total Nitrogen	216000	ug/L	100	1	07/03/23 16:28	07/03/23 16:28		
Hach 10360 Rev 1.1 BOD	Analytical Method: Hach 10360 Rev 1.1 Preparation Method: Hach 10360 Pace Analytical Services - Minneapolis							
BOD, 5 day	4290	mg/L	1200	600	06/28/23 10:37	07/03/23 08:20		B1,B3, H1,H2
1664B HEM, Oil and Grease	Analytical Method: EPA 1664B OG Pace Analytical Services - Minneapolis							
Oil and Grease	1400	mg/L	5.6	1		06/29/23 09:15		1M
2540D Total Suspended Solids	Analytical Method: SM 2540D Pace Analytical Services - Minneapolis							
Total Suspended Solids	773	mg/L	333	1		06/20/23 11:55		
4500H+ pH, Electrometric	Analytical Method: SM 4500-H+B Pace Analytical Services - Minneapolis							
pH at 25 Degrees C	10	Std. Units	0.10	1		06/15/23 16:03		H6
300.0 IC Anions	Analytical Method: EPA 300.0 Pace Analytical Services - Minneapolis							
Sulfate	2200	mg/L	240	200		06/28/23 22:02	14808-79-8	
410.4 COD	Analytical Method: EPA 410.4 Preparation Method: EPA 410.4 Pace Analytical Services - Minneapolis							
Chemical Oxygen Demand	10100	mg/L	500	1	06/22/23 10:52	06/23/23 11:46		
SM4500P-F, Total Phosphorus	Analytical Method: SM 4500-P F Preparation Method: SM 4500-P B Pace Analytical Services - Minneapolis							
Phosphorus	8.6	mg/L	0.20	2	06/27/23 13:50	06/29/23 11:45	7723-14-0	
Total Inorganic Nitrogen Calc.	Analytical Method: NO2+NO3+NH3 Calculated Pace Analytical Services - Minneapolis							
Total Inorganic Nitrogen	40.8	mg/L	0.30	1		07/10/23 08:53		

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 888265 Analysis Method: EPA 7470A
QC Batch Method: EPA 7470A Analysis Description: 7470A Mercury Water
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4680882 Matrix: Water
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Mercury	ug/L	ND	0.20	06/22/23 12:35	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4680883

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Mercury	ug/L	5	5.1	103	80-120	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4680884 4680885

Parameter	Units	10657741003		4680885		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual	
		Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result							MSD Result
Mercury	ug/L	<0.20	5	5	4.0	4.9	81	97	80-120	19	20	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 892451 Analysis Method: EPA 6020B
 QC Batch Method: EPA 3020A Analysis Description: 6020B Water UPD5
 Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4702745 Matrix: Water

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Arsenic	ug/L	ND	0.50	07/12/23 20:57	
Cadmium	ug/L	ND	0.080	07/12/23 20:57	
Chromium	ug/L	ND	2.0	07/12/23 20:57	
Copper	ug/L	ND	1.0	07/12/23 20:57	
Iron	ug/L	ND	50.0	07/12/23 20:57	
Lead	ug/L	ND	0.50	07/12/23 20:57	
Manganese	ug/L	ND	0.50	07/12/23 20:57	
Nickel	ug/L	ND	0.50	07/12/23 20:57	
Zinc	ug/L	ND	5.0	07/12/23 20:57	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4702746

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Arsenic	ug/L	100	103	103	80-120	
Cadmium	ug/L	100	101	101	80-120	
Chromium	ug/L	100	105	105	80-120	
Copper	ug/L	100	106	106	80-120	
Iron	ug/L	2000	2210	110	80-120	
Lead	ug/L	100	103	103	80-120	
Manganese	ug/L	100	104	104	80-120	
Nickel	ug/L	100	107	107	80-120	
Zinc	ug/L	100	103	103	80-120	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4702747 4702748

Parameter	Units	MS		MSD		MS Result	MSD Result	MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		10657412002 Result	Spike Conc.	Spike Conc.	Conc.								
Arsenic	ug/L	ND	100	100	100	121	110	121	110	75-125	10	20	
Cadmium	ug/L	0.78	100	100	100	116	106	116	106	75-125	9	20	
Chromium	ug/L	ND	100	100	100	131	119	122	110	75-125	10	20	
Copper	ug/L	42.5	100	100	100	173	157	131	115	75-125	10	20	M1
Iron	ug/L	673	2000	2000	2000	3320	3000	132	116	75-125	10	20	M1
Lead	ug/L	7.1	100	100	100	128	117	121	110	75-125	9	20	
Manganese	ug/L	ND	100	100	100	123	113	121	110	75-125	9	20	
Nickel	ug/L	8.8	100	100	100	134	122	125	114	75-125	9	20	
Zinc	ug/L	162	100	100	100	302	275	141	113	75-125	9	20	M1

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 2088079 Analysis Method: EPA 350.1
 QC Batch Method: 350.1 Analysis Description: Wet Chemistry 350.1
 Laboratory: Pace National - Mt. Juliet

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: R3943818-1 Matrix: Water
 Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Nitrogen, Ammonia	ug/L	ND	250	07/01/23 20:23	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: R3943818-2

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Nitrogen, Ammonia	ug/L	7500	7710	103	90.0-110	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: R3943818-4 R3943818-5

Parameter	Units	R3943818-4		R3943818-5		% Rec	% Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		L1630835-01 Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result						
Nitrogen, Ammonia	ug/L	245	5000	5000	5240	5360	100	102	90.0-110	2.24	10

MATRIX SPIKE SAMPLE: R3943818-7

Parameter	Units	L1630957-01 Result	Spike Conc.	MS Result	MS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Nitrogen, Ammonia	ug/L	ND	5000	4860	97.2	90.0-110	

SAMPLE DUPLICATE: R3943818-3

Parameter	Units	L1630835-01 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Nitrogen, Ammonia	ug/L	245	ND	0.820	10	

SAMPLE DUPLICATE: R3943818-6

Parameter	Units	L1630957-01 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Nitrogen, Ammonia	ug/L	ND	ND	0.00	10	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 2085946 Analysis Method: EPA 351.2
 QC Batch Method: 351.2/365.4 Analysis Description: Wet Chemistry 351.2
 Laboratory: Pace National - Mt. Juliet

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: R3944291-1 Matrix: Water
 Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Nitrogen, Kjeldahl, Total	ug/L	ND	250	07/03/23 16:02	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: R3944291-2

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Nitrogen, Kjeldahl, Total	ug/L	12000	12900	108	75.2-120	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: R3944291-3 R3944291-4

Parameter	Units	R3944291-3		R3944291-4		% Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		L1630107-01 Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result						
Nitrogen, Kjeldahl, Total	ug/L	205	5000	5000	5920	5570	114	107	90.0-110	6.09	20 MH

SAMPLE DUPLICATE: R3944291-5

Parameter	Units	L1630107-02 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Nitrogen, Kjeldahl, Total	ug/L	658	618	6.27	20	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 2084506 Analysis Method: EPA 353.2
 QC Batch Method: 353.2 Analysis Description: Wet Chemistry 353.2
 Laboratory: Pace National - Mt. Juliet

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: R3941986-1 Matrix: Water
 Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L	ND	100	06/27/23 23:09	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: R3941986-2

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L	2500	2410	96.4	90.0-110	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: R3941986-9 R3941986-10

Parameter	Units	L1629445-11 Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result	MSD Result	MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L	ND	2500	2500	2280	2310	91.2	92.4	90.0-110	1.31	20	

MATRIX SPIKE SAMPLE: R3941986-7

Parameter	Units	L1629965-02 Result	Spike Conc.	MS Result	MS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L		216	2500	2460	89.8	90.0-110 ML

SAMPLE DUPLICATE: R3941986-6

Parameter	Units	L1629965-02 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L	216	216	0.00	20	

SAMPLE DUPLICATE: R3941986-8

Parameter	Units	L1629445-11 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Nitrate-Nitrite (as N)	ug/L	ND	ND	0.00	20	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 890393 Analysis Method: Hach 10360 Rev 1.1
QC Batch Method: Hach 10360 Analysis Description: Hach 10360 Rev 1.1, BOD
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4691444 Matrix: Water
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
BOD, 5 day	mg/L	ND	2.0	07/03/23 08:11	B3

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4691446

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
BOD, 5 day	mg/L	198	213	107	85-115	B3

SAMPLE DUPLICATE: 4691447

Parameter	Units	10659065001 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
BOD, 5 day	mg/L	3.2	3.2	2	20	B3

SAMPLE DUPLICATE: 4691448

Parameter	Units	10659215001 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
BOD, 5 day	mg/L	2.5	2.5	2	20	B3

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 890674 Analysis Method: EPA 1664B OG
QC Batch Method: EPA 1664B OG Analysis Description: 1664B HEM, Oil and Grease
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4693005 Matrix: Water
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Oil and Grease	mg/L	ND	5.0	06/29/23 08:08	

LABORATORY CONTROL SAMPLE & LCSD: 4693006 4693007

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCSD Result	LCS % Rec	LCSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qualifiers
Oil and Grease	mg/L	40	36.0	32.6	90	82	78-114	10	18	

MATRIX SPIKE SAMPLE: 4693008

Parameter	Units	40263893003 Result	Spike Conc.	MS Result	MS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Oil and Grease	mg/L	<1.3	40	33.3	81	78-114	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 888639 Analysis Method: SM 2540D
QC Batch Method: SM 2540D Analysis Description: 2540D Total Suspended Solids
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4682184 Matrix: Water
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Total Suspended Solids	mg/L	ND	10.0	06/20/23 11:54	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4682185

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Total Suspended Solids	mg/L	100	96.0	96	80-120	

SAMPLE DUPLICATE: 4682186

Parameter	Units	10657432001 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
Total Suspended Solids	mg/L	<5.0	ND		5	

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 887597 Analysis Method: SM 4500-H+B
QC Batch Method: SM 4500-H+B Analysis Description: 4500H+B pH
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4677156

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
pH at 25 Degrees C	Std. Units	5	5.0	101	98-102	H6

SAMPLE DUPLICATE: 4677157

Parameter	Units	10657204001 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
pH at 25 Degrees C	Std. Units	7.2	7.2	0	3	H6

SAMPLE DUPLICATE: 4677158

Parameter	Units	10657283002 Result	Dup Result	RPD	Max RPD	Qualifiers
pH at 25 Degrees C	Std. Units	2.9	2.9	0	3	H6

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 890602 Analysis Method: EPA 300.0
 QC Batch Method: EPA 300.0 Analysis Description: 300.0 IC Anions
 Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4692468 Matrix: Water
 Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Sulfate	mg/L	ND	1.2	06/29/23 04:10	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4692469

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Sulfate	mg/L	50	46.0	92	90-110	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4692470 4692471

Parameter	Units	10658429005		4692471		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result						
Sulfate	mg/L	881	500	500	1340	1340	92	92	80-120	0	20 E

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4692472 4692473

Parameter	Units	10658419003		4692473		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result						
Sulfate	mg/L	11.1	50	50	55.2	54.9	88	88	80-120	1	20

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
 without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 889099 Analysis Method: EPA 410.4
QC Batch Method: EPA 410.4 Analysis Description: 410.4 COD
Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4684910 Matrix: Water
Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Chemical Oxygen Demand	mg/L	ND	50.0	06/23/23 11:40	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4684911

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Chemical Oxygen Demand	mg/L	300	299	100	90-110	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4684912 4684913

Parameter	Units	4684912		4684913		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		10658099001 Result	MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result						
Chemical Oxygen Demand	mg/L	ND	250	250	271	278	107	110	90-110	3	20

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA

Project: Annual Testing
 Pace Project No.: 10657412

QC Batch: 890287 Analysis Method: SM 4500-P F
 QC Batch Method: SM 4500-P B Analysis Description: SM4500P-F, Total Phosphorus
 Laboratory: Pace Analytical Services - Minneapolis

Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

METHOD BLANK: 4690907 Matrix: Water
 Associated Lab Samples: 10657412001, 10657412002

Parameter	Units	Blank Result	Reporting Limit	Analyzed	Qualifiers
Phosphorus	mg/L	ND	0.10	06/29/23 10:50	

LABORATORY CONTROL SAMPLE: 4690908

Parameter	Units	Spike Conc.	LCS Result	LCS % Rec	% Rec Limits	Qualifiers
Phosphorus	mg/L	2.5	2.6	105	90-110	

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4690909 4690910

Parameter	Units	10658308003		4690910		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result	MSD Result						
Phosphorus	mg/L	0.87	2.5	2.5	3.5	3.3	103	96	80-120	5	20

MATRIX SPIKE & MATRIX SPIKE DUPLICATE: 4690911 4690912

Parameter	Units	10658327001		4690912		MS % Rec	MSD % Rec	% Rec Limits	RPD	Max RPD	Qual
		MS Spike Conc.	MSD Spike Conc.	MS Result	MSD Result						
Phosphorus	mg/L	0.20	2.5	2.5	2.6	2.6	96	97	80-120	1	20

Results presented on this page are in the units indicated by the "Units" column except where an alternate unit is presented to the right of the result.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
 without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALIFIERS

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

DEFINITIONS

DF - Dilution Factor, if reported, represents the factor applied to the reported data due to dilution of the sample aliquot.
ND - Not Detected at or above adjusted reporting limit.
TNTC - Too Numerous To Count
J - Estimated concentration above the adjusted method detection limit and below the adjusted reporting limit.
MDL - Adjusted Method Detection Limit.
PQL - Practical Quantitation Limit.
RL - Reporting Limit - The lowest concentration value that meets project requirements for quantitative data with known precision and bias for a specific analyte in a specific matrix.
S - Surrogate
1,2-Diphenylhydrazine decomposes to and cannot be separated from Azobenzene using Method 8270. The result for each analyte is a combined concentration.
Consistent with EPA guidelines, unrounded data are displayed and have been used to calculate % recovery and RPD values.
LCS(D) - Laboratory Control Sample (Duplicate)
MS(D) - Matrix Spike (Duplicate)
DUP - Sample Duplicate
RPD - Relative Percent Difference
NC - Not Calculable.
SG - Silica Gel - Clean-Up
U - Indicates the compound was analyzed for, but not detected.
N-Nitrosodiphenylamine decomposes and cannot be separated from Diphenylamine using Method 8270. The result reported for each analyte is a combined concentration.
Reported results are not rounded until the final step prior to reporting. Therefore, calculated parameters that are typically reported as "Total" may vary slightly from the sum of the reported component parameters.
Pace Analytical is TNI accredited. Contact your Pace PM for the current list of accredited analytes.
TNI - The NELAC Institute.

SAMPLE QUALIFIERS

Sample: R3941986-7
[1] Wet Chemistry by Method 353.2 - Matrix spike failure due to matrix.

BATCH QUALIFIERS

Batch: 890674
[BE] Batch extracted by solid phase extraction (SPE).

ANALYTE QUALIFIERS

1M +6ML OF 6NHCL
B1 Less than 1.0 mg/L DO remained for all dilutions set. The reported value is an estimated greater than value and is calculated for the dilution using the least amount of sample.
B3 The dissolved oxygen depletion of the dilution water blank exceeded 0.2 mg/L.
D3 Sample was diluted due to the presence of high levels of non-target analytes or other matrix interference.
E Analyte concentration exceeded the calibration range. The reported result is estimated.
H1 Analysis conducted outside the recognized method holding time.
H2 Extraction or preparation was conducted outside of the recognized method holding time.
H6 Analysis initiated outside of the 15 minute EPA required holding time.
M1 Matrix spike recovery exceeded QC limits. Batch accepted based on laboratory control sample (LCS) recovery.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALIFIERS

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

ANALYTE QUALIFIERS

- MH Matrix spike recovery and/or matrix spike duplicate recovery was above laboratory control limits. Result may be biased high.
- ML Matrix spike recovery and/or matrix spike duplicate recovery was below laboratory control limits. Result may be biased low.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full,
without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.



QUALITY CONTROL DATA CROSS REFERENCE TABLE

Project: Annual Testing
Pace Project No.: 10657412

Table with 6 columns: Lab ID, Sample ID, QC Batch Method, QC Batch, Analytical Method, Analytical Batch. It lists various testing parameters and results for different samples.

REPORT OF LABORATORY ANALYSIS

This report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Pace Analytical Services, LLC.

Effective Date: 4/14/2023

Sample Condition Upon Receipt **Client Name:** Bradshaw Funeral & Cremation Services **Project #:** **WO#: 10657412**

Courier: FedEx UPS USPS Client
 Pace SpeedDee Commercial

Tracking Number: _____ See Exceptions ENV-FRM-MIN4-0142

PM: HB **Due Date: 06/28/23**
CLIENT: Bradshaw

Custody Seal on Cooler/Box Present? Yes No **Seals Intact?** Yes No **Biological Tissue Frozen?** Yes No N/A

Packing Material: Bubble Wrap Bubble Bags None Other **Temp Blank?** Yes No

Thermometer: T1 (0461) T2 (0436) T3 (0459) T4 (0402) T5 (0178) T6 (0235) T7 (0042) T8 (0775) T9 (0727) 01339252/1710 **Type of Ice:** Wet Blue Dry None Melted

Did Samples Originate in West Virginia? Yes No **Were All Container Temps Taken?** Yes No N/A

Temp should be above freezing to 6 °C **Cooler temp Read w/Temp Blank:** _____ °C **Average Corrected Temp (no temp blank only):** 25.8 °C

Correction Factor: -0.1 **Cooler Temp Corrected w/temp blank:** _____ °C See Exceptions ENV-FRM-MIN4-0142 1 Container

USDA Regulated Soil: N/A, water sample/other: _____ **Date/Initials of Person Examining Contents:** 6-14-23

Did samples originate in a quarantine zone within the United States: AL, AR, AZ CA, FL, GA, ID, LA, MS, NC, NM, NY, OK, OR, SC, TN, TX, or VA (check maps)? Yes No

Did samples originate from a foreign source (internationally, including Hawaii and Puerto Rico)? Yes No

If Yes to either question, fill out a Regulated Soil Checklist (ENV-FRM-MIN4-0154) and include with SCUR/COC paperwork.

Location (Check one):	Duluth	Minneapolis	Virginia	COMMENTS
Chain of Custody Present and Filled Out?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		1.
Chain of Custody Relinquished?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		2.
Sampler Name and/or Signature on COC?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> N/A	3.
Samples Arrived within Hold Time?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		4. If fecal: <input type="checkbox"/> <8 hrs <input type="checkbox"/> >8 hr, <24 <input type="checkbox"/> No
Short Hold Time Analysis (<72 hr)?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		5. <input type="checkbox"/> Fecal Coliform <input type="checkbox"/> HPC <input type="checkbox"/> Total Coliform/E.coli <input checked="" type="checkbox"/> BOD/cBOD <input type="checkbox"/> Hex Chrom <input type="checkbox"/> Turbidity <input checked="" type="checkbox"/> Nitrate <input checked="" type="checkbox"/> Nitrite <input type="checkbox"/> Orthophos <input type="checkbox"/> Other
Rush Turn Around Time Requested?	<input type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> No		6.
Sufficient Sample Volume?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		7.
Correct Containers Used?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> N/A	8.
-Pace Containers Used?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
Containers Intact?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		9.
Field Filtered Volume Received for Dissolved Tests?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	10. Is sediment visible in the dissolved container? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
Is sufficient information available to reconcile the samples to the COC? Matrix: <input checked="" type="checkbox"/> Water <input type="checkbox"/> Soil <input type="checkbox"/> Oil <input type="checkbox"/> Other	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		11. If no, write ID/Date/Time of container below: <input type="checkbox"/> See Exceptions ENV-FRM-MIN4-0142
All containers needing acid/base preservation have been checked?	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> N/A	12. Sample # 001-002 <input type="checkbox"/> NaOH <input checked="" type="checkbox"/> HNO3 <input checked="" type="checkbox"/> H2SO4 <input type="checkbox"/> Zinc Acetate
All containers needing preservation are found to be in compliance with EPA recommendation? (HNO3, H2SO4, <2pH, NaOH >9 Sulfide, NaOH >10 Cyanide)	<input type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> N/A	Positive for Residual Chlorine? <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> See Exceptions ENV-FRM-MIN4-0142
Exceptions: VOA, Coliform, TOC, <u>DOC Oil and Grease</u> , DRO/8015 (water) and Dioxins/PFAS (*If adding preservative to a container, it must be added to associated field and equipment blanks--verify with PM first.)	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> N/A	pH Paper Lot # Residual Chlorine 0-6 Roll 0-6 Strip 0-14 Strip 208422 223819B
Headspace in Methyl Mercury Container?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	13.
Extra labels present on soil VOA or WIDRO containers?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	14. <input type="checkbox"/> See Exceptions ENV-FRM-MIN4-0142
Headspace in VOA Vials (greater than 6mm)?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	
3 Trip Blanks Present?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	15.
Trip Blank Custody Seals Present?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	Pace Trip Blank Lot # (if purchased): _____

CLIENT NOTIFICATION/RESOLUTION **Field Data Required?** Yes No

Person Contacted: _____ Date/Time: _____

Comments/Resolution: _____

Project Manager Review: _____ Date: 7/5/23

NOTE: Whenever there is a discrepancy affecting North Carolina compliance samples, a copy of this form will be sent to the North Carolina DEHNR Certification Office (i.e., out of hold, incorrect preservative, out of temp, incorrect containers).



DC#_Title: ENV-FRM-MIN4-0142 v02_Sample Condition Upon Receipt (SCUR) Exception Form

Effective Date: 09/22/2022

Workorder #: _____

No Temp Blank		
Read Temp	Corrected Temp	Average temp
29.3	29.2	25.8
23.8	23.7	
21.8 21.5	21.4	
29.2	29.1	

PM Notified of Out of Temp Cooler? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If yes, indicate who was contacted, date and time. If no, indicate reason why.
Multiple Cooler Project? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No

If anything is OVER 6.0° C, you MUST document containers in this section HERE



Tracking Number	Temperature

Out of Temp Sample ID	Container Type	# of Containers

pH Adjustment Log for Preserved Samples

Sample ID	Type Of Preserve	pH Upon Receipt	Date Adjusted	Time Adjusted	Amount Added (mL)	Lot # Added	pH After	In Compliance After Addition?		Initials
3287NA	HNO3	6	6-14-23	1449	1	22520029	0	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	[REDACTED]
3287NA	H2SO4	6	6-14-23	1449	1	3121042	0	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
3287NA	H2SO4	6	6-14-23	1449	1	3121042	0	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
								<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
								<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
								<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
								<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	

Comments:

Pace Container Order #1113086

Addresses		
Order By : Company Bradshaw Funeral & Cremation Contact [REDACTED] Email [REDACTED] Address 2800 Curve Crest Blvd Address 2 _____ City Stillwater State MN Zip 55082 Phone [REDACTED]	Ship To : Company Bradshaw Funeral & Cremation Contact [REDACTED] Email [REDACTED] Address 2800 Curve Crest Blvd Address 2 _____ City Stillwater State MN Zip 55082 Phone [REDACTED]	Return To: Company Pace Analytical Minnesota Contact [REDACTED] Email [REDACTED] Address [REDACTED] Address 2 [REDACTED] City Minneapolis State MN Zip [REDACTED] Phone [REDACTED]

Info			
Project Name Annual Testing	Due Date 06/09/2023	Profile 34719	Quote _____
Project Manager [REDACTED]	Return Date _____	Carrier FedEx	Location MN

Trip Blanks <input type="checkbox"/> Include Trip Blanks	Bottle Labels <input type="checkbox"/> Blank <input type="checkbox"/> Pre-Printed No Sample IDs <input type="checkbox"/> Pre-Printed With Sample IDs	Bottles <input type="checkbox"/> Boxed Cases <input type="checkbox"/> Individually Wrapped <input checked="" type="checkbox"/> Grouped By Sample ID/Matrix
Return Shipping Labels <input type="checkbox"/> No Shipper <input type="checkbox"/> With Shipper	Misc <input type="checkbox"/> Sampling Instructions <input checked="" type="checkbox"/> Custody Seal <input checked="" type="checkbox"/> Temp. Blanks <input checked="" type="checkbox"/> Coolers _____ <input type="checkbox"/> Syringes _____	
COC Options <input type="checkbox"/> Number of Blanks _____ <input checked="" type="checkbox"/> Pre-Printed _____	<input type="checkbox"/> Extra Bubble Wrap <input checked="" type="checkbox"/> Short Hold/Rush Stickers <input type="checkbox"/> DI Water _____ Liter(s) <input type="checkbox"/> USDA Regulated Soils	

# of Samples	Matrix	Test	Container	Total	# of	Lot #	Notes
2	WT	Mercury, Metals	250mL plastic HNO3	2	0	050823-2EIZ	
2	WT	TSS, pH, 300.0 Anions	1L plastic, unpres.	2	0	050123-2AED	
2	WT	COD, Total Phos	250mL plastic H2SO4	2	0	040323-4EJA	
2	WT	BOD 5-day	1L plastic unpres	2	0	050123-2AED	
2	WT	Oil and Grease by 1664	(2) 1L amber glass HCl	2	0	051523-1DAW	
2	WT	Nitrate + Nitrite, TKN, Ammonia	(1) 250 mL plastic H2SO4	2	0	040323-4EJA	Sub to Pace National

Hazard Shipping Placard In Place : NO

LAB USE:

*Sample receiving hours are Mon-Fri 7:30am-7:00pm and Sat 9:00am-1:00pm unless special arrangements are made with your project manager.
 *Pace Analytical reserves the right to return hazardous, toxic, or radioactive samples to you.
 *Pace Analytical reserves the right to charge for unused bottles, as well as cost associated with sample storage/disposal.
 *Payment term are net 30 days.
 *Please include the proposal number on the chain of custody to insure proper billing.

Ship Date :	06/08/2023
Prepared By:	[REDACTED]
Verified By:	_____

Sample
Sub Nitrogen series to Pace National

CLIENT USE (Optional):

Date Rec'd:	_____
Received By:	_____
Verified By:	_____

Bijlage 3**Literatuuronderzoek alkalische
hydrolyse**



Literatuuronderzoek verwerkingsmethoden en milieubelasting van effluent alkalische hydrolyse

25 augustus 2023

Kenmerk R002-1290653PPP-V01-aa-NL

Verantwoording

Titel	Literatuuronderzoek verwerkingsmethoden en milieubelasting van effluent alkalische hydrolyse
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectleider	Mike van Boldrik
Auteur(s)	Peter van der Pijl
Tweede lezer	Peter van der Pijl
Uitvoering meet- en inspectiewerk	-
Kenmerk	R002-1290653PPP-V01-aa-NL
Aantal pagina's	25 (exclusief bijlagen)
Datum	25 augustus 2023
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Werking van alkalische hydrolyse	5
3	Effluent samenstelling	6
3.1	Chemische compositie	6
3.2	Kwik.....	7
3.3	Steriele vloeistof	8
3.4	Schatting volume van effluent	8
4	Verwerkingsmethoden.....	9
4.1	Het lozen van het effluent op oppervlaktewater	9
4.2	Het lozen van het effluent op de bodem.	10
4.3	Het behandelen van het effluent via aerobe zuivering	11
4.4	Het afvoeren van het effluent per as en via anaerobe zuivering.....	13
4.5	Het opwerken van het effluent tot meststof voor gewassen.....	14
4.6	Het (co-)vergisten van het effluent voor energieopwekking.	16
4.7	Het filtreren van het effluent met een keramisch membraanfilter.....	18
4.8	Carbonisatie van het effluent.	18
4.9	Oxidatie van het effluent via “wet air oxidation”	20
4.10	Elektrodialyse met bipolaire membranen	21
5	Afkorting en begrippen	22
6	Literatuurverwijzingen.....	23

1 Inleiding

Na een positief advies van de Gezondheidsraad is het voornemen van het kabinet om alkalische hydrolyse, ook bekend als resomeren of watercrematie, toe te staan als een manier van lijkbezorging. Tijdens alkalische hydrolyse wordt het lichaam van een mens of dier opgelost in een alkalische vloeistof. Hierbij ontstaat een waterige restvloeistof bestaande uit alkalische resten en opgeloste en afgebroken weefsels. Deze vloeistof wordt ook wel het effluent genoemd.

Het positieve advies van de gezondheidsraad is gebaseerd op een beoordelingskader [1], waarmee nieuwe vormen van lijkbezorging getoetst worden. Het beoordelingskader wordt gebruikt om de vorm van lijkbezorging te toetsen op veiligheid, waardigheid en duurzaamheid. In eerdere onderzoeken is de veiligheid [2] van alkalische hydrolyse geanalyseerd en is de ecologische voetafdruk [3] van het proces vergeleken met begraving en crematie. De verwerking van het effluent minder uitvoerig onderzocht. Dit literatuuronderzoek gaat daarom over de verschillende methoden om het effluent te verwerken en zal de basis leggen voor een levenscyclusanalyse. Het beoordelingskader van de gezondheidsraad is leidend voor het analyseren van de verwerkingsmethoden, omdat ook de verwerking van het effluent hieraan moet voldoen.

In het literatuuronderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

- Wat is de chemische samenstelling van effluent bij alkalische hydrolyse?
- Welke verwerkingsmethoden zijn geschikt om het effluent te zuiveren?
- Welke verwerkingsmethoden voldoen aan het beoordelingskader voor nieuwe vormen van lijkbezorging?

In de uitvraag van dit project zijn een aantal mogelijke verwerkingsmethoden gepresenteerd. Deze worden beoordeeld. Daarnaast worden een aantal nieuwe verwerkingsmethoden beoordeeld. Alle methoden worden hieronder opgesomd. Methoden 1 tot en met 6 en 10 zijn aangereikt door opdrachtgever. Methoden 7, 8 en 9 zijn bedacht door TAUW.

1. Het lozen van het effluent op oppervlaktewater
2. Het lozen van het effluent op de bodem
3. Het behandelen van het effluent in een rioolwaterzuivering doormiddel van aerobe zuivering
4. Het afvoeren van het effluent per vrachtwagen en behandeling van het effluent in een bedrijfsafvalwaterzuivering via anaerobe zuivering
5. Het opwerken van het effluent tot meststof voor gewassen
6. Het (co-)vergisten van het effluent voor energieopwekking
7. Het filtreren van het effluent met een keramisch membraanfilter
8. Carbonisatie van het effluent waardoor de organische componenten omgezet worden tot vaste koolstof en koolstofdioxide. Vervolgens kan het effluent gemakkelijker gefiltreerd worden
9. Oxidatie van het effluent via "wet air oxidation" waar organische componenten omgezet worden naar koolstofdioxide

10. Elektrodialyse met bipolaire membranen voor terugwinnen van zuur en base, met daaropvolgend zuivering van organische componenten

Elk van deze methoden wordt getoetst op de toetsingscriteria opgesteld, door de gezondheidsraad. Dit houdt in dat het verwerkingsproces veilig, waardig en duurzaam moet zijn voordat alkalische hydrolyse goedgekeurd wordt als nieuwe methode voor lijkbezorging. Het beoordelingskader is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Beoordelingskader voor lijkbezorging opgesteld door de gezondheidsraad [1]

Waarde	Voorwaarde
Veiligheid	<p>1. Gegarandeerde technische veiligheid. De installaties mogen geen risico opleveren voor operateurs en anderen in de buurt.</p>
	<p>2. Geen verspreiding van risicovolle agentia. Tijdens het proces mag geen risicovolle agentia verspreid worden in concentraties die schadelijk zijn voor mens en natuur.</p>
Waardigheid	<p>3. Gegarandeerde afbraak van het lichaam Het proces moet het lichaam afbreken tot ten minste het skelet.</p>
	<p>4. Geen ongewilde vermenging van lichaam en de overblijfselen Tijdens de lijkbezorging moeten de lichamen en de overblijfselen daarvan gescheiden blijven om herleidbaarheid in stand te houden.</p>
	<p>5. Geen publieke waarneembaarheid De lichaamsafbraak mag niet zichtbaar en waarneembaar zijn voor de omgeving. Dit houdt ook in dat hinder door geur niet toegestaan is.</p>
	<p>6. Integriteit van het lichaam en de overblijfselen De lichamen en de overblijfselen moeten beschermd worden tegen ontvreemding en ander oneigenlijk gebruik.</p>
Duurzaamheid	<p>7. Minder gebruik op eindige stoffen Uitvoeren en inrichten van het proces moet minder eindige stoffen gebruiken dan begraven en cremieren.</p>
	<p>8. Minder schadelijke emissies Tijdens uitvoering van het proces moet de uitstoot van schadelijke emissies lager zijn dan bij begraven of cremieren</p>
	<p>9. Minder beslag op beschikbare ruimte De methode van lijkbezorging moet minder ruimte in beslag nemen dan begraven.</p>

2 Werking van alkalische hydrolyse

Alkalische hydrolyse is een technologie om lichamen tot aan het bot af te breken in wateroplosbare componenten. Alvorens de behandeling wordt een lichaam gekleed in een afbreekbaar materiaal en vervolgens in een metalen buisvormige reactor geschoven.

Deze opstelling wordt ook wel de hydrolysator genoemd. Daarna wordt de reactor gevuld met water en 5%, 45% kalium hydroxide oplossing totdat het gewenste pH is bereikt. Naast kaliumhydroxide wordt natriumhydroxide ook benoemd als alternatief.

Echter kan gebruik van natriumhydroxide resulteren in gelvorming met verstoppingen als gevolg¹. Het gebruik van kaliumhydroxide tijdens de hydrolysatie is dan ook een uitgangspunt voor dit onderzoek.

Afhankelijk van het model van de hydrolysator wordt de vloeistof verhit naar 150°C bij een druk van 4 bar of 93-98°C bij atmosferische druk. Afhankelijk van de druk en temperatuur duurt een cyclus gemiddeld 3,5 tot 18 uur [4] [5]. Gebruik van hogere temperaturen tijdens de hydrolysatie resulteert in een kortere cyclustijd. Gedurende cyclus wordt de alkalische vloeistof rondgepompt waardoor voldoende vermenging ontstaat. Nadat het lichaam is opgelost wordt de alkalische vloeistof verpompt naar een externe tank en blijven de botten en medische hulpmiddelen achter in de hydrolysator. Na een spoelcyclus om alkalische resten te verwijderen kunnen de botten verwijderd worden uit de hydrolysator en wordt de medische hulpmiddelen op de daarvoor geschikte methode afgevoerd. Als laatste stap wordt het pH van het effluent in de externe tank verlaagd met de additie van zuur.

De naam alkalische hydrolyse komt van de chemische reactie die plaats vindt tijdens het proces. Tijdens alkalische hydrolyse valt de base de carbonylgroep van een ester of amidebinding aan waardoor de binding breekt. In het geval van afbraak van vetten, zoals triglyceriden, ontstaan vluchtige vetzuren, zepen en glycerol, terwijl haren en nagels afbreken tot voornamelijk aminozuren.

3 Effluent samenstelling

Om tot een geschikte verwerkingsmethode uit te komen moet eerst de samenstelling van het effluent vastgesteld worden. Chemische analyses van het effluent kunnen de aanwezigheid van schadelijke chemicaliën uitsluiten en de mate van verontreiniging weergeven.

3.1 Chemische compositie

De chemische compositie van het effluent is in enkele studies [3] [6] geanalyseerd. Hieruit bleek grote variëteit tussen de analyseresultaten. Dit kan grotendeels verklaard worden door het verschil aan lichamen en eventuele oplosbare omkledingen, maar mogelijk ook door de afstelling en procescondities van de hydrolysator.

De verwachting is dat bij een groot lichaam meer effluent gegeneerd wordt. Echter is dit niet altijd het geval. Een voorbeeld uit het onderzoek [6] door Middlesex University is case ID 1. Het lichaam waaruit het effluent gegeneerd is, is 53 kilogram en levert 2050 liter effluent op. Daarentegen levert case ID 2, 1935 liter effluent op terwijl het lichaam ruim twee keer zwaarder is en 117 kilogram weegt. Door gebruikt van minder alkalische oplossing in combinatie met een groter lichaam is de verontreiniging in het water hoger dan case ID 1, zie tabel 2. Ook is een aanzienlijk hogere concentratie aan olie en vet in het effluent, waardoor het aannemelijk is dat lichamen met veel vet resulteren in grotere verontreinigingen.

Tabel 2 Overzicht chemische analyses van effluent

Analyseresultaat in mg/l	TNO [3]		Middlesex University [6]			
	TNO 2018	Case ID 1	Case ID 2	Case ID 3	Case ID 4	Case ID 5
Kwik	<0,0010	<0,0005	<0,00025	<0,00025	n/a	n/a

¹ Deze informatie is verkregen uit een gesprek met de alkalische hydrolyse technologie leverancier, Resomation Ltd.

	TNO [3]		Middlesex University [6]			
Arseen	<0,030	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Cadmium	<0,0025	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Chromium	0,29	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Koper	0,037	0,077	0,0685	0,0455	0,054	0,0805
IJzer	0,73	0,7	1	0,9	1,2	1,05
Lood	<0,015	<0,29	<0,29	<0,29	<0,29	<0,29
Mangaan	0,015	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Nikkel	<0,0050	<0,061	<0,061	<0,061	<0,061	<0,061
Zink	0,36	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
CZV	14000	23900	53500	23350	22350	10320
Droge stof/TSS	3800	1970	1575	1330	3110	630
Fosfor	21	13,5	27	19	31	21
Sulfaat als (SO ₄)	5500	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ammoniakale stikstof	130	30	5,45	272	23	24
BZV	18550	n/a	n/a	n/a	12950	5455
(C) BZV	22680					
Olie en vet	5408	5885	15650	5245	5230	973,5
pH (std. units)	10	9,2	9,3	9,1	9,1	9,4
Effluent volume (l)	ca. 2000	2050	1935	1850	1913	1973
Lichaamsgewicht (kg)	n/a	53	117	66	71	61

De conclusie uit tabel 2 is dat de effluent concentraties en hoeveelheden per persoon verschillen. Dit komt door het lichaamstype van de lichamen. De verwachting is ook dat de effluent concentraties zullen verschillen tussen nu en de toekomst. Een voorbeeld is de groei in overgewicht in Nederland. Als de huidige trend in lichaamsgroei doorzet zal logischerwijs de concentratie olie en vet in het effluent toenemen door meer gehydrolyseerd lichaamsvet. Daarnaast kan de mate van vervuiling van onze omgeving invloed hebben op de effluent concentraties. Wanneer onze omgeving meer vervuild raakt dan kan dit mogelijk ophopen in het menselijk lichaam. Een voorbeeld is PFAS. Een deel van de PFAS-chemicaliën kunnen ophopen [7] in het lichaam. Deze chemicaliën zijn moeilijk af te breken en breken waarschijnlijk niet af tijdens alkalische hydrolyse.

3.2 Kwik

Een andere zeer zorgwekkende stof is kwik. Dit houdt in dat uitstoot naar de omgeving vermeden moet worden omdat de stof schadelijk is voor de gezondheid. Door de introductie van amalgaam vullingen in tanden bestaat het risico van kwik uitstoot zoals bij crematie het geval is. Alkalische hydrolyse wordt vaak beschreven als een duurzame methode door het vermijden van kwik emissies in gassen.

Er is geen wetenschappelijk bewijs gevonden dat kwik niet in het effluent terecht komen, wel wordt benoemd dat de amalgaam vullingen na afloop gemakkelijk verwijderd kunnen worden [8]. Dit geeft de indruk dan niet de gehele vulling oplost.

De wettelijke jaargemiddelde norm voor kwik concentraties in oppervlakte wateren is 0,07 ng/liter, deze waarde is aanzienlijk lager dan het detectielimiet van de analyses uit tabel 2. Van deze lichamen is de aanwezigheid van amalgaam vullingen niet bekend. Uit een bredere serie van metingen [6] komt de concentratie kwik wel boven het detectie limiet. Negen van de achttien metingen resulteren in een positieve uitslag met een gemiddelde waarde van 2,1 ug/l met een standaarddeviatie van 0,8 ug/l. Ook hier wordt niet aangegeven of de lichamen amalgaam bevatten en is het detectie limiet niet gegeven. De oplosbaarheid van amalgaam wordt beïnvloed door temperatuur [9] en zuurtegraad [10]. Bij een lage pH en hogere temperatuur lost het amalgaam gemakkelijker op. De procescondities van alkalische hydrolyse vielen buiten de scope van deze onderzoeken, welke beperkt waren tot een temperatuur van 60°C en een pH range van 1 tot en met 8. Om uitsluitsel te geven in welke mate amalgaam oplost zou een experiment uitgevoerd moeten worden waar meerdere tanden met een amalgaam vulling gehydrolyseerd worden.

3.3 Steriele vloeistof

Een voorwaarde in het beoordelingskader is volledige afbraak van het lichaam. Uit onderzoek [3] is aangetoond dat bij de juiste procesvoering geen DNA te terug te vinden in het effluent van een hoog temperatuur hydrolysator. Dit is bevestigd door een leverancier van de voor hydrolyse benodigde apparatuur. Ook bevat het effluent geen bacteriën en is het effluent daardoor steriel. Daarnaast kan uit dieronderzoek [11] geconcludeerd worden dat schadelijke en ziekteverwekkende eiwitten (prionen) verwijderd worden. Ook is bij een laagtemperatuur hydrolysator bewezen [12] dat het effluent geen groter proteïne materiaal bevat dan de kleinst gevaarlijke prion. Met deze gegevens kan geconcludeerd worden dat het effluent geen biologisch gevaar vormt. Alkalische hydrolyse wordt door de effectieve sterilisatie ook beschreven als methode om risicovol biologisch afval te verwerken [13] [14].

3.4 Schatting volume van effluent

Om inzicht te krijgen over de schaal van de hoeveelheid effluent kan een schatting worden gemaakt. Uit een draagvlakonderzoek [15] blijkt dat bij 39 % van de mensen alkalische hydrolyse positieve gevoelens oproept op basis van een korte tekst. Vervolgens kiest 38 % van de groep het de uitspraak “past bij mij” en 24 % “zou ik wel doen”. Daarentegen kiest 28 % “past niet bij me” en 43 % “zou ik nooit doen”. Een persoon kan meerdere argumenten gebruiken.

Als aangenomen wordt dat het percentage met de reactie “zou ik wel doen” ook zou kiezen voor alkalische hydrolyse. Als de keuzes per leeftijdscategorie hetzelfde zijn en de zuiveringsmethode van het effluent geen effect heeft op de keuze, dan zou bijna kwart van de bevolking kiezen voor alkalische hydrolyse. In 2022 waren er in Nederland bijna 170.000 sterfgevallen [16]. Dit zou theoretisch kunnen resulteren in 40.000 personen die kiezen voor alkalische hydrolyse.

Wanneer elke hydrolysatie 2.000 liter effluent produceert kan het landelijk totaal uitkomen op 80 miljoen liter effluent per jaar.

Door de onbekendheid van de methode voor lijkbezorging onder de bevolking kan het aandeel mogelijk groeien wanneer de technologie wordt aangeboden. In de plaats Stillwater, Minnesota USA, zag de aanbieder van begravingen, crematies en alkalische hydrolyse de vraag significant veranderen [17]. In 2019 koos 35 % procent voor begraving. 65 % koos voor crematie, waarvan 75-80 % koos voor alkalische hydrolyse/watercrematie. Dit komt uit op ongeveer 50 % van de lokale bevolking. Daarbij moet wel benadrukt worden dat de demografie in Minnesota significant verschillend ten opzichte van Nederland. De uiteindelijke vraag naar de alkalische hydrolyse en daardoor de hoeveelheid effluent zal afhangen van de prijs, acceptatie door religie en duurzaamheid van de technologie.

4 Verwerkingsmethoden

In de navolgende paragrafen worden de verschillende verwerkingsmethoden beschreven en globaal beschouwd. De beschouwing is gebaseerd op de in de literatuur beschreven informatie alsmede de kennis van onze eigen experts.

4.1 Het lozen van het effluent op oppervlaktewater.

De meest simpele verwerkingsmethode is om het effluent te lozen op het oppervlaktewater. Dit zou inhouden dat het effluent direct vanuit het hydrolysatorium verpompt wordt naar een in de buurt gelegen waterlichaam. Vervolgens breken de organismen de organische fractie in effluent af en worden overige vervuilingen (voornamelijk zouten) afgevoerd naar uiteindelijk de Noordzee. Onbehandeld effluent is echter is schadelijk voor de biologie in het oppervlaktewater en daarom moeten speciale voorzorgsmaatregelen worden genomen om ervoor te zorgen dat het op een veilige en milieuvriendelijke manier wordt geloosd.

Om te beginnen moeten de lozingsnormen en -voorschriften van de betreffende regio en de lokale autoriteiten worden nageleefd. Op basis van de analyses op het effluent voldoet het effluent niet aan de eisen die gelden voor het lozen van deze stoffen in het oppervlaktewater. Een voorbeeld is het chemisch zuurstof verbruik. Als we aannemen dat de toegestane waarde vergelijkbaar is met een rioolwaterzuiveringsinstallatie dan komt de lozingsnorm uit op 125 mg/l [18]. De gemiddelde effluent concentratie is ruim 200 keer hoger op ongeveer 25.500 mg/l CZV. Daarnaast is de CZV-waarde per cyclus moeilijk te voorspellen, omdat uit de gegevens van tabel 2 kan worden vastgesteld dat deze waarde afhankelijk is van het opgeloste lichaam. De hoge CZV-waarde in combinatie met andere vervuilingen zal het verkrijgen van een vergunning voor de lozing onmogelijk maken.

Naast de technisch eenvoudige correctie van de pH is een uitgebreide behandeling via een biologische zuivering nodig. Het biologisch zuiveren van afvalwater op locatie van het hydrolysatorium valt buiten de scope van deze lozingsoptie en daardoor valt deze optie af.

Dit maakt het noodzakelijk om het effluent te behandelen voordat het wordt geloosd. Dit vindt bijvoorbeeld worden gedaan door middel van filtratie, adsorptie of chemische behandeling. Dit helpt om de concentratie van schadelijke stoffen te verminderen en de pH-waarde van het effluent aan te passen om het beter af te stemmen op de omstandigheden van het ontvangende oppervlaktewater.

Ten slotte moeten de omstandigheden van het ontvangende oppervlaktewater in overweging worden genomen. Deze, zoals doorstroming, ecologische conditie en zuurstofconcentratie van het water kunnen allemaal van invloed zijn op de impact van het effluent. Het is daarom belangrijk om de eigenschappen van het oppervlaktewater te kennen en ervoor te zorgen dat het effluent veilig kan worden geloosd zonder de ecologische balans van het water te verstoren.

Geconcludeerd kan worden dat het direct lozen van effluent op oppervlaktewater niet voldoet aan het beoordelingskader.

- **Veiligheid:** Door het effluent te lozen op het oppervlaktewater bestaat het risico dat de waterkwaliteit nadelig wordt beïnvloed. Lozen van effluent met hoge CZV-waardes kan resulteren in zuurstofarmoede in het waterlichaam waardoor bijvoorbeeld vissen kunnen sterven
- **Waardigheid:** Geen publieke waarneembaarheid van de lozing kan niet worden gegarandeerd. Zo kan geuroverlast van het effluent zelf en geur die ontstaat tijdens de microbiologische afbraak niet worden uitgesloten. Het effluent heeft een zeepachtige geur welke mogelijk waarneembaar is. Ten slotte kan de lozing ethische dilemma's veroorzaken wanneer het effluent geloosd wordt in (de buurt van) zwembaden
- **Duurzaamheid:** Het lozen van effluent op oppervlaktewater zal geen extra beslag leggen op beschikbare ruimte of gebruik maken van eindige grondstoffen. Daarentegen zijn de schadelijker zijn dan tijdens begraven of cremieren

4.2 Het lozen van het effluent op de bodem.

De tweede methode is het verspreiden van het effluent over de bodem. Mogelijkerwijs kan dit vergeleken worden met het uitstrooien van as na een crematie over strooivelden. Wanneer effluent van alkalische hydrolyse op de bodem wordt gebracht, is het belangrijk om enkele belangrijke stappen te volgen om ervoor te zorgen dat de bodem niet wordt aangetast.

Ten eerste moet de pH van het effluent worden gecorrigeerd. Alkalische hydrolyse verhoogt de pH van het effluent tot een niveau dat schadelijk is voor alle organismen. Het is daarom belangrijk om de pH van het effluent te corrigeren voordat deze op de bodem wordt gebracht. Dit kan worden gedaan door het toevoegen van zure oplossingen zoals zwavelzuur of fosforzuur om de pH te verlagen tot een geschikt niveau. Wellicht wordt het zoutgehalte van het geneutraliseerde effluent hoger dan de gewenste waarde voor een bodemlozing. De verwachting is dat met name de concentratie kalium- en/of natriumzouten hoog zal zijn.

Kalium kan de plant groei bevorderen maar bij te hoge concentraties ook negatief beïnvloeden [19] en hoge concentraties natrium hebben een nadelig gevolg [20] voor de plantgroei.

Ten tweede moet de samenstelling van het effluent voor bijvoorbeeld koolstof- en stikstofverbindingen en fosfaten passen binnen de vrachten die de bodem mag ontvangen. Indien geen actieve gewassen op de grond aanwezig zijn is het risico van af- en uitspoeling naar grond- of oppervlaktewater groot. Zeer waarschijnlijk is dat het lozen op de bodem niet is toegestaan als gevolg van de zorgplicht zoals

omschreven in de Wet Bodembescherming [21], artikel 13, of artikel 1.6 in de omgevingswet [22]. Met name het opbrengen van (micro-)verontreinigingen is hierbij niet toegestaan.

Een ander nadeel van deze verwerkingsmethode is het moeilijk te verspreiden van het effluent tijdens de wintermaanden met minder (micro)biologische activiteit. Hierdoor bestaat het risico dat meer verontreinigingen zich opbouwen in de grond en mogelijk ook in het grondwater. Ook kan de grond bevroren zijn en bedekt met ijs of sneeuw waardoor het effluent boven op de grond blijft liggen en ophoopt.

Ook het lozen van effluent op de bodem voldoet niet aan elke voorwaarde vanuit het beoordelingskader. Daarnaast is de verwerkingsmethode waarschijnlijk wettelijk niet haalbaar.

- **Veiligheid:** Door het effluent te verspreiden over de bodem bestaat het risico dat de grond- en waterkwaliteit nadelig wordt beïnvloed. Ook bestaat het risico dat de bodem en grondwater lokaal verzilt door de hoge concentraties zout in het effluent
- **Waardigheid:** De verwerkingsmethode heeft mogelijk een positieve symbolische waarde wanneer het effluent verspreid over de bodem. De nutriënten in het effluent kunnen theoretisch bijdragen aan de plantgroei tot bepaalde concentraties, waardoor het lichaam iets teruggeeft aan de natuur. Echter is de methode in de wintermaanden minder waardig wanneer het effluent niet de bodem in kan trekken en mogelijk zichtbaar is bij de aanwezigheid van sneeuw. Ook kan niet worden uitgesloten of geuroverlast ontstaat tijdens de afbraak in de bodem. Wanneer er negatieve effecten zijn op de natuur heeft dit ook impact op de symbolische waarde en kan het positieve imago verdwijnen
- **Duurzaamheid:** Alvorens het verspreiden van het effluent over de bodem moet het geneutraliseerd worden. Dit verhoogt de concentratie zouten en gebruik van chemicaliën. Daarnaast moet het effluent vervoerd worden naar een locatie waar het effluent verspreid kan worden. Voor dit transport is energie nodig met (in)directe uitstoot als gevolg. Daarnaast moet een gebied aanwezig zijn waar het effluent verspreid kan worden dat vergelijkbaar is met een verstrooiterrein voor crematie-as. Dit neemt veel gebied in gebruik waardoor het minder duurzaam is. Het gebied kan waarschijnlijk wel voor meerdere doeleinde gebruikt worden, zoals dat crematie-as verstrooiterreinen ook als publiek park toegankelijk zijn. De natuur in het gebied zal echter meer beïnvloed worden door de nutriënten in het effluent dan van crematie-as

4.3 Het behandelen van het effluent via aerobe zuivering

Uit methoden 1 en 2 geconcludeerd kan worden geconcludeerd dat het is belangrijk om deze effluentstroom te zuiveren voordat het in de omgeving wordt geloosd. Zo wordt schade aan het milieu en de volksgezondheid te voorkomen.

Een veelgebruikte methode voor het zuiveren van effluent afkomstig van alkalische hydrolyse is aerobe biologische zuivering [17] [23]. Wel dient voordat het effluent geloosd wordt op het riool of direct in de rioolwaterzuivering de pH verlaagd te worden met een zuur. Dit om schade aan het riool, apparatuur en bacteriën in de zuivering te voorkomen.

Aerobe biologische zuivering is een proces waarbij bacteriën worden gebruikt om organisch materiaal af te breken tot kooldioxide, stikstof en water. Dit proces vindt plaats in een beluchte reactor waarin het effluent wordt gemengd met zuurstof en bacteriën die van nature voorkomen in afvalwater. Tijdens het proces

vermenigvuldigen de bacteriën zich door het organisch materiaal uit het effluent te consumeren en af te breken tot koolstofdioxide, stikstof en water. Het proces vermindert de hoeveelheid organische stoffen in het effluent en vermindert daarmee de vervuilde werking ervan. Hierdoor kan na zuivering van het water geloosd worden op oppervlaktewateren. De bacteriën en vaste residuen, ook wel slib genoemd, wordt doorgaans vergist tot biogas. Hierdoor wordt een deel van de energetische waarde van het effluent omgezet naar een waardevol product.

Het proces van aerobe biologische zuivering vereist een aantal factoren om optimaal te functioneren. Allereerst moet er voldoende zuurstof beschikbaar zijn om de bacteriën te laten ademen en organisch materiaal af te breken. Dit wordt bereikt door beluchting van de reactor, waarbij lucht door de reactor wordt geblazen. Daarnaast is het belangrijk om de juiste verhouding tussen organisch materiaal en bacteriën te hebben om een efficiënte afbraak te garanderen. Het waterschap heeft de verantwoordelijkheid [24] dat het afvalwater volgens de wet wordt gezuiverd. Dit houdt in dat voldoende controle plaats vindt of het effluent goed gezuiverd wordt.

Echter moet het effluent ook voldoen aan enkele zorgplichten [25]. Zoals eerder benoemd moet het effluent geneutraliseerd worden en moet het pH niet lager zijn dan 6,5 en niet hoger dan 10 om schade aan het riool te voorkomen. De temperatuur mag niet hoger dan 30°C zijn en de sulfaat concentratie moet lager zijn dan 300 milligram per liter om onwenselijke effecten, zoals sulfide vorming, te vermijden. Zoals de Rijksoverheid vermeld zijn deze voorwaarden in situaties met relatief geringe hoeveelheden effluent erg strikt. Het riool en RWZI ondervinden geen nadelig effect als een emmer water van 60°C in het riool wordt gelegd. Daarentegen is 2.000 liter warm effluent mogelijk te veel om via het riool af te voeren. De hoge sulfaat concentraties kunnen ook een probleem vormen. De gemeten sulfaat concentratie in tabel 1 komt uit op 5.500 mg/liter. Dit is ruim 18 keer de waarde van de zorgplicht. Omdat het effluent niet volledig voldoet aan de zorgplicht moeten mogelijk onderlinge afspraken worden opgesteld met het waterschap waarna deze worden vastgelegd in een vergunning.

Een ander verschil tussen het effluent en huishoudelijk afvalwater is de concentratie oliën en vetten. Gemiddeld bevat huishoudelijk afvalwater tussen de 50 en 100 mg/l oliën en vetten [26]. Het effluent bevat gemiddeld ruim 6.000 mg/l aan olie en vet. Deze waarde is aanzienlijk hoger waardoor het risico op filmvorming van olie op water ontstaat. Daarnaast kunnen oliën en vetten zich afzetten op leidingen en pompen waardoor meer onderhoud benodigd is. Daarentegen leek in een rioolwaterzuivering van Minnesota [17], USA, het tegenovergestelde plaats te vinden. De waterzuivering ondervond problemen met vetten en oliën welke verholpen waren nadat het effluent werd toegevoegd aan het riolsysteem. Hoewel er aanwijzingen zijn dat de zepen en alkalische resten in het effluent de opbouw van vet kunnen voorkomen, kan dit niet met zekerheid worden geconcludeerd. Om de precieze effecten van olie en vet in het effluent op de waterzuiveringsinstallatie vast te stellen, zal meer onderzoek benodigd zijn.

Een rioolwaterzuivering is ook geschikt om het kwik gedeeltelijk te verwijderen. Het gemiddelde zuiveringsrendement komt uit op 70 % [27], met een geschat betrouwbaarheidspercentage van 50 %. Het kwik zal achterblijven in het slib, welke vervolgens verbrand wordt waar het kwik grotendeels wordt opgevangen in de gas zuivering.

Samenvattend is het proces van aerobe biologische zuivering een effectieve methode om het effluent te zuiveren en de hoeveelheid organische stoffen en stikstofverbindingen in het afvalwater te verminderen. Door beluchting en de aanwezigheid van bacteriën wordt het organisch materiaal afgebroken tot koolstofdioxide, stikstof en water.

- **Veiligheid:** Door het effluent te lozen in de rioolwaterzuivering wordt het biochemisch zuurstof verbruik verlaagd. Hierdoor kan in tegenstelling tot directe lozing op het oppervlaktewater zonder grote negatieve gevolgen het water geloosd worden. Daarnaast wordt de mate van zuivering gegarandeerd door zuiveringseisen van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Lozing van effluent in het riool tijdens het overstorten van rioolwater moet voor komen om de waterkwaliteit niet negatief te beïnvloeden. Mogelijk moet worden nagedacht over het tijdelijk opslaan van het effluent tijdens zware neerslag
- **Waardigheid:** De verwerkingsmethode voldoet aan de voorwaardes van gegarandeerde afbraak en ongewilde vermenging tijdens de lijkbezorging omdat het de hydrolyse niet beïnvloed. Onderdeel van de waardigheid is dat geen waarneembaarheid van het proces mag zijn. Het effluent zal in het riool mengen met huishoudelijk afvalwater waardoor het snel onherkenbaar wordt. Hierdoor is het proces niet zichtbaar. Een nadeel van de methode is de mogelijk negatieve symbolische waarde wanneer het effluent wordt geloosd in het riool en in contact komt met huishoudelijk afvalwater
- **Duurzaamheid:** Het zuiveren van het effluent met een rioolwaterzuivering gebruikt weinig chemicaliën en voldoet daardoor aan de eerste voorwaarde van de gezondheidsraad. Daarnaast kan vergisting van het slib biogas opleveren wat een positieve impact heeft. Een ander voordeel is dat de infrastructuur en aanwezig is om het effluent te zuiveren zolang de rioolwaterzuiveringsinstallatie beschikbare capaciteit heeft. Door het hoge BZV neemt een hydrolysatorium waar dagelijks één persoon gehydrolyseerd wordt 200 tot 700 inwoners equivalenten in. Uitgegaan van een gemiddelde BZV per persoon van 24 ± 13 kg. Deze waarde is tot stand gekomen door het aantal liters effluent te vermenigvuldigen met de BZV-waarde uit tabel 2.

Het gedeeltelijk gebruik van de rioolwaterzuivering moet meegenomen worden in de LCA, al is de verwachting dat de ruimte benodigd voor de zuiveringsinstallatie kleiner is dan de ruimte voor een begraving. Hiermee zal de methode voldoen aan de voorwaarde uit het beoordelingskader.

Wanneer het effluent niet direct via het riool gezuiverd kan worden neemt de duurzaamheid van de methode af. Dit kan voorkomen bij onderhoud van het riool of geen beschikbare capaciteit bij de rioolwaterzuivering. In deze gevallen moet het effluent mogelijk per vrachtwagen vervoerd worden naar een zuivering met beschikbare capaciteit

4.4 Het afvoeren van het effluent per as en via anaerobe zuivering.

Effluent afkomstig van alkalische hydrolyse kan worden behandeld via een anaerobe zuivering. De anaerobe zuivering is een proces waarbij bacteriën organisch materiaal afbreken in een zuurstofloze omgeving. Dit proces is een alternatief voor aerobe biologische zuivering en wordt vaak gebruikt voor de behandeling van afvalwater met een hoog organisch gehalte.

Bij anaerobe zuivering worden bacteriën gebruikt om organisch materiaal in het effluent af te breken in een gesloten reactor zonder zuurstof. Het proces produceert biogas, dat grotendeels bestaat uit methaan en kooldioxide. Het biogas kan worden gebruikt als een hernieuwbare energiebron. Het proces vermindert ook de hoeveelheid organisch materiaal in het effluent en vermindert daarmee de vervuilende werking ervan. Naast methaan en koolstofdioxide kan ook waterstofsulfide ontstaan door de grote hoeveelheid zwavel in het effluent. Waterstofsulfide is een giftige stof en heeft corroderende eigenschappen. Hierdoor is het van belang om het biogas te zuiveren met bijvoorbeeld de hulp van absorbers.

Het proces van anaerobe zuivering vereist een aantal factoren om optimaal te functioneren. Allereerst moet het effluent worden geneutraliseerd om de pH verlagen. Verder wordt het verwarmd tot een temperatuur tussen 35 en 40 graden Celsius om de bacteriën te activeren. De juiste verhouding tussen organisch materiaal en bacteriën moet worden gehandhaafd om een efficiënte afbraak te garanderen. De zuurgraad moet ook worden gecontroleerd om ervoor te zorgen dat de bacteriën optimaal kunnen functioneren.

Na het proces van anaerobe zuivering moet het gezuiverde effluent worden behandeld om geur en smaak te verwijderen en om het veilig te maken voor afvoer in het riool. Het kan worden behandeld met een biologische behandeling of beluchting, afhankelijk van de uiteindelijke bestemming van het gezuiverde effluent. Soortgelijke afvalstromen met vergelijkbare CZV en vaste stof gehalten zijn met succes behandeld [28] [29] via deze zuiveringsmethode.

- **Veiligheid:** De installaties bestaan al en verwerken soortgelijke afvalstromen. Daarnaast is de beheerder van de installatie verantwoordelijk voor deugdelijk onderhoud en gebruik van de installatie waardoor de veiligheid gegarandeerd wordt. Rekening moet gehouden worden met de hoge zwavel concentratie in het effluent met het risico op de vorming van waterstofsulfide.
- **Waardigheid:** Anaerobe zuivering wordt uitgevoerd in afgesloten condities om zuurstof buiten te houden. Hierdoor kunnen geen stinkende gassen ontsnappen. Om geuroverlast uit te sluiten tijdens gebruik van het biogas moet het waterstofsulfide alvorens verwijderd worden
- **Duurzaamheid:** In tegenstelling tot aerobe zuivering moet het effluent altijd vervoerd worden per vrachtwagen naar een industriële partner wat vanzelfsprekend een negatief gevolg heeft op de duurzaamheid. Het gebruik van vervoer met fossiele verbranding neemt beslag op eindige stoffen. De zuivering van het effluent gebruikt daarentegen geen tot een minimale hoeveelheid chemicaliën en levert biogas op. Het biogas kan gebruikt worden voor als alternatief voor aardgas. Tijdens productie van het biogas moet de productie en uitstoot van waterstofsulfide voorkomen worden om schadelijke emissies te voorkomen

4.5 Het opwerken van het effluent tot meststof voor gewassen

Bij het alkalisch hydrolyseren worden de organische componenten afgebroken en de resulterende vloeistof, bekend als effluent, kan worden gebruikt als meststof of supplement.

Wanneer effluent van alkalische hydrolyse op de bodem wordt gebracht, is het belangrijk om enkele belangrijke stappen te volgen om ervoor te zorgen dat de bodem niet wordt aangetast en dat de effluent effectief kan worden gebruikt als meststof.

Ten eerste moet de pH van het effluent worden gecontroleerd. Alkalische hydrolyse verhoogt vaak de pH van het effluent tot een niveau dat schadelijk kan zijn voor alle organismen. Het is daarom belangrijk om de pH van het effluent aan te passen voordat deze op de bodem wordt gebracht. Dit kan worden gedaan door het toevoegen van zure oplossingen zoals zwavelzuur of fosforzuur om de pH te verlagen tot een geschikt niveau. Wellicht wordt het zoutgehalte van het geneutraliseerde effluent hoger dan de gewenste waarde voor een bodemlozing.

Ten tweede moet de samenstelling van het effluent voor bijvoorbeeld stikstofverbindingen en fosfaten passen binnen de benodigde vrachten van de bodem.

Ten derde moet de effluent gelijkmatig over de bodem worden verdeeld. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van een irrigatiesysteem, zoals een sproeier of druppelirrigatie, maar ook met een bemester. Hierdoor wordt voorkomen dat sommige delen van de bodem te veel of te weinig effluent krijgen, wat kan leiden tot ongelijkmatige groei van planten.

Tot slot is het belangrijk om de bodem na het aanbrengen van de effluent goed te controleren. Het is mogelijk dat de effluent bepaalde stoffen bevat die de bodem kunnen verzadigen, wat kan leiden tot schadelijke effecten op de plantengroei. Door regelmatig de bodemvochtigheid en de concentratie van voedingsstoffen in de bodem te meten, kan worden gecontroleerd of het effluent op de juiste manier wordt opgenomen door de planten en of er geen ongewenste effecten optreden.

Uit onderzoek [30] blijkt dat het effluent een voordelig effect heeft op de plantgroei wanneer een vergistingsstap alvorens plaatsvindt. Gebruik van mest vanuit het effluent resulteerde in grotere fruit lichamen. Maar door de niet optimale verhouding tussen de stikstof en fosfaat werkte de meststof minder goed dan kunstmest. De combinatie van kunstmest en mest van effluent leverde de beste meststof op.

In het kort is het belangrijk om de pH en samenstelling van het effluent te controleren voordat deze op de bodem wordt aangebracht, de effluent gelijkmatig te verdelen en de bodem na het aanbrengen van de effluent regelmatig te controleren. Door deze stappen te volgen, kan effluent van alkalische hydrolyse veilig en effectief worden gebruikt als meststof. Belangrijk nadeel van deze verwerkingsoptie is het feit dat er een grote discontinuïteit in de afzet van effluent bestaat. Er zal dan een grote buffercapaciteit gecreëerd moeten worden.

- **Veiligheid:** Het gebruik van effluenten van alkalische hydrolyse van menselijke lichamen als meststof kan veilig zijn, zolang de effluenten voldoen aan de wettelijke normen voor veilige concentraties van verontreinigende stoffen. Er moet worden gewaarborgd dat de pH-waarde is verlaagd. Bovendien moet er zorgvuldig worden omgegaan met de opslag, het transport en het gebruik van de effluenten om onbedoelde blootstelling te voorkomen.

- **Waardigheid:** Het opwerken van effluenten van alkalische hydrolyse van menselijke lichamen tot meststof kan worden gezien als respectvol en waardig, omdat het een duurzame manier is om menselijke resten te verwerken en tegelijkertijd bijdraagt aan de productie van voedsel. Het gebruik van de effluenten als meststof kan een symbolische betekenis hebben en kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Om geen directe relatie met de lokale populatie te genereren is opmenging met de vloeibare fractie van dierlijke mest een mogelijkheid
- **Duurzaamheid:** Het opwerken van effluenten van alkalische hydrolyse van menselijke lichamen tot meststof kan bijdragen aan de duurzaamheid van onze voedselproductie, omdat het een alternatieve bron van meststoffen biedt die behalve geur geen negatieve impact heeft op het milieu en die de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen vermindert. Bovendien kan het gebruik van deze meststoffen de bodemvruchtbaarheid verbeteren en bijdragen aan de reductie van de uitstoot van broeikasgassen

4.6 Het (co-)vergisten van het effluent voor energieopwekking.

Deze optie is vergelijkbaar aan optie 4. Het vergistingsproces is een anaeroob proces waarbij bacteriën organisch materiaal omzetten in methaan en koolstofdioxide. Dit zogenaamde biogas kan gebruikt worden als energiebron voor de productie van warmte of elektriciteit. Waarbij het belangrijkste doel van anaerobe zuivering het gedeeltelijk zuiveren van water is, ligt bij vergisting de prioriteit om biogas te produceren. Meestal wordt tijdens vergisten een grondstof gebruikt met een hoger energetische waarde. Waardoor het uitdagender is om de condities in de reactor constant te houden.

Het pH van de reactor zal bijvoorbeeld sneller dalen door de productie van azijnzuur, een tussenproduct van methaanproductie. Hierdoor moet de voeding langzaam gedoseerd worden of gebruik worden gemaakt van een zuurteregelaar. Mogelijk kan het alkalische effluent gebruikt worden als zuurteregelaar om de voeding gedeeltelijk te neutraliseren. Om het effluent apart te kunnen doseren moet waarschijnlijk een aanpassing aan bestaande opstellingen plaatsvinden, maar levert een mogelijk voordeel op in duurzaamheid.

In Nederland worden twee manieren van vergisting toegepast. Mono vergisting waar één soort product wordt vergist, zoals waterzuiveringsslib of dierlijke mest en co-vergisting waar een mengsel, bestaand uit minimaal 50% mest en overig plantaardig materiaal wordt vergist. Na de vergisting blijft een vloeistof met een lagere energetische waarde over. Dit wordt het digestaat genoemd. Deze stof is een afvalstof tenzij de gebruikte voeding voldoet aan de meststoffenwet [31] Het effluent van alkalische hydrolyse staat niet in deze wet waardoor het digestaat wordt beschouwd als afvalstof. Dit is onaantrekkelijk voor de beheerders van vergisters omdat het afvoeren van als digestaat als afvalproduct duurder is. Daarnaast heeft het effluent een relatief lage energetische waarde voor vergisting en levert daardoor relatief weinig biogas op. Ter indicatie heeft varkensmest een CZV van gemiddeld 100 gram per kilo [32], al is dit afhankelijk van verschillende omstandigheden. Het effluent heeft gemiddeld 25 gram CZV.

- **Veiligheid:** Het gebruik van effluenten van alkalische hydrolyse van menselijke lichamen als meststof is veilig, zolang de effluenten voldoen aan de wettelijke normen voor veilige concentraties van verontreinigende stoffen. Er moet worden gewaarsborgd dat de pH-waarde is verlaagd. Bovendien

moet er zorgvuldig worden omgegaan met de opslag, het transport en het gebruik van de effluenten om onbedoelde blootstelling te voorkomen. Tevens dient de vergistingsinstallatie aan de geldende wet- en regelgeving voldoen

- **Waardigheid:** Het kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Daarnaast draagt het bij aan de productie van hernieuwbare energie en kan het een positieve bijdrage leveren aan de maatschappij. Om het effluent te gebruiken als meststof moet deze in de meststoffenwet opgenomen worden. Dit heeft het gevolg dat het effluent verhandelbaar is op de vrije markt. Dit kan een negatief beeld met zich meebrengen
- **Duurzaamheid:** Het draagt bij aan de productie van hernieuwbare energie en de reductie van de uitstoot van broeikasgassen. Bovendien draagt het bij aan de reductie van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de bevordering van een circulaire economie. Een afweging moet worden gemaakt of de biogas productie meer energie oplevert dan het vervoer van het effluent

4.7 Het filtreren van het effluent met een keramisch membraanfilter.

Effluent afkomstig van alkalische hydrolyse kan worden behandeld via keramische membraanfiltratie. Keramische membraanfiltratie is een geavanceerde technologie voor het behandelen van afvalwater, waarbij het effluent door een keramisch membraan wordt geduwd om deeltjes en verontreinigingen te verwijderen.

Bij keramische membraanfiltratie wordt het effluent door een keramisch membraan geduwd, dat een poriegrootte heeft van minder dan 0,1 micrometer. De poriën zijn zo klein dat ze alleen watermoleculen, zouten en zeer kleine verontreinigingen doorlaten, terwijl de grotere deeltjes worden tegengehouden. Het proces is zeer efficiënt en kan een hoge mate van zuivering bereiken, waardoor het geschikt is voor toepassingen waar een hoge zuiveringsgraad vereist is. Omdat in deze toepassing het gefilterde effluent water, zouten en loog bevat is deze vloeistof een aantal maal her te gebruiken. Het geconcentreerde residu kan via de anaerobe verwerkingsroute onder opties 4 en 6 genoemd worden omgezet in biogas.

Het grote voordeel is dat de primaire neutralisatie van het effluent niet nodig is. Dit bespaart aanzienlijk op de chemicaliën die bij de overige opties nodig zijn. Tevens wordt restloog hergebruikt, hetgeen de kosten en milieubelasting van de fabricage van loog bespaart.

- **Veiligheid:** Het ultra filtreren van het effluenten van alkalische hydrolyse van menselijke lichamen als meststof is veilig, zolang de effluenten voldoen aan de wettelijke normen voor veilige concentraties van verontreinigende stoffen. Er moet worden gewaarborgd dat de pH-waarde van het concentraat is verlaagd. Het permeaat, zijnde de loog die door het membraan treedt, dient met dezelfde veiligheidsaspecten behandeld te worden als het zuivere loog
- **Waardigheid:** Dit kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Omdat met het hergebruik van vloeistof ook een vermenging van opgelost materiaal ontstaat zal het draagvlak voor deze optie lager zijn dan bij andere opties. Wanneer vermenging van de vloeistof dermate ongewenst is kan gekozen worden om het permeaat te neutraliseren en vervolgens te lozen in het riool
- **Duurzaamheid:** Het draagt bij aan de reductie van de hoeveelheid chemisch afval die wordt geproduceerd en vermindert de hoeveelheid water die nodig is voor de verwerking van menselijke resten. Bovendien draagt het bij aan de reductie van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de bevordering van een circulaire economie.

Wanneer gekozen wordt om het permeaat te lozen op het riool bevat het een lager CZV waardoor het minder capaciteit van de rioolwaterzuivering inneemt en daardoor duurzaamheid verbeterd. Daarnaast is het residu hoger in energie waardoor het geschikter is voor vergisting of anaerobe zuivering en is minder vrachtcapaciteit benodigd

4.8 Carbonisatie van het effluent.

Effluent van alkalische hydrolyse kan worden verwerkt via carbonisatie. Dit proces omvat het onder hoge temperaturen en druk zetten van organisch materiaal, waardoor het omgezet wordt in vaste koolstof en

water. Het proces maakt gebruik van effluent als oplosmiddel en vermijdt de uitstoot van schadelijke stoffen, waardoor het een milieuvriendelijke optie is voor het verwerken van effluent.

Carbonisatie werkt door organische stoffen te ontleden en om te zetten in vaste koolstof door middel van een reeks chemische reacties. Bij dit proces wordt het effluent van alkalische hydrolyse in een reactor geplaatst en onder hoge druk en temperatuur gebracht. Dit zorgt ervoor dat de organische stoffen worden afgebroken tot hun basiselementen. Dit resulteert in de vorming van vaste koolstof, zouten en nitraat in de vloeistof. Vervolgens kan het effluent gemakkelijker gefiltreerd worden en enige malen hergebruikt.

Het proces van carbonisatie kan worden uitgevoerd bij temperaturen tussen de 180 en 300 graden Celsius, afhankelijk van de aard van het afval en de gewenste kwaliteit van het eindproduct. Na afloop van het proces wordt de koolstof gescheiden van de vloeistof en kan de koolstof worden gebruikt als brandstof of als grondstof voor de productie van producten zoals kunstmest en koolstofvezels. Na afloop van het carbonisatie-proces wordt het behandelde effluent van alkalische hydrolyse afgekoeld door de volgende batch voor te verwarmen en gezuiverd van resterende stoffen.

Een van de voordelen van carbonisatie is dat het effluent van alkalische hydrolyse kan worden omgezet in een waardevol product in plaats van simpelweg te worden afgevoerd als afval. Het proces is milieuvriendelijk omdat het geen schadelijke stoffen uitstoot en het effluent dat wordt gebruikt in het proces kan worden gerecycled.

- **Veiligheid:** Het carboniseren van het effluent alkalische hydrolyse van menselijke lichamen is een veilig proces, mits er voldoende maatregelen worden genomen om de veiligheid rond het proces dat gepaard gaat met een hoge druk en een hoge temperatuur reactor, te borgen. Daarnaast dient de uitstoot van schadelijke stoffen beperkt te worden. De uitstoot van schadelijke gassen kan worden beperkt door het toepassen van geschikte technologieën en het nemen van passende voorzorgsmaatregelen
- **Waardigheid:** Door het hergebruiken van het loog wordt voorkomen dat er grote hoeveelheden chemisch afval worden geproduceerd. Dit kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Omdat met het hergebruik van vloeistof ook een vermenging van opgelost materiaal ontstaat zal het draagvlak voor deze optie lager zijn dan bij andere opties

- **Duurzaamheid:** Het draagt bij aan de reductie van de hoeveelheid chemisch afval die wordt geproduceerd en vermindert de hoeveelheid water die nodig is voor de verwerking van menselijke resten. Bovendien draagt het hergebruik van het loog bij aan de reductie van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de bevordering van een circulaire economie. Vanwege de hoge temperaturen en druk die nodig zijn om de carbonisatie te laten plaatsvinden leidt dit een hoge uitstoot van broeikasgassen en andere luchtverontreinigende stoffen, wat niet erg duurzaam is. Het is echter mogelijk om de energie-efficiëntie van het proces te verbeteren door bijvoorbeeld het gebruik van warmteterugwinning.

4.9 Oxidatie van het effluent via “wet air oxidation”

Wet Air Oxidation (WAO) is een proces dat gebruikt kan worden voor het efficiënt verwerken van organisch afval, waaronder effluent van alkalische hydrolyse. Het proces werkt door middel van oxidatie bij hoge temperaturen en druk in aanwezigheid van zuurstof, waardoor organisch afval wordt afgebroken tot water, kooldioxide, nitraat en anorganische verbindingen (zouten). Dit proces maakt gebruik van de oxidatieve eigenschappen van zuurstof om organisch afval af te breken en het afval te veranderen in niet-giftige stoffen.

In het WAO-proces wordt het effluent van alkalische hydrolyse in een reactor geplaatst en wordt zuurstof onder druk toegevoegd. De reactie dient in een vloeibare fase plaats te vinden. Het mengsel wordt vervolgens verwarmd tot een temperatuur van ongeveer 200-320 graden Celsius en onder druk gehouden tot een maximum van 300 bar. Door deze hoge druk en temperatuur worden de organische verbindingen afgebroken tot kooldioxide en water, waardoor de restverontreiniging wordt geminimaliseerd.

Na afloop van het WAO-proces wordt het behandelde effluent van alkalische hydrolyse afgekoeld door de volgende batch voor te verwarmen en gezuiverd van resterende stoffen. Het resulterende water kan vervolgens worden hergebruikt en periodiek worden afgevoerd als zout afvalwater of na aanvulling van het loog gehalte weer worden ingezet voor een nieuwe batch.

Het voordeel van het WAO-proces is dat het een milieuvriendelijke optie is voor de verwerking van organisch afval. Het proces maakt gebruik van zuurstof als oxidatiemiddel, waardoor er geen extra chemicaliën nodig zijn. Hierdoor wordt het proces duurzaam en wordt de hoeveelheid chemisch afval geminimaliseerd.

In conclusie, het WAO-proces is een veilige, efficiënte en milieuvriendelijke methode voor de verwerking van organisch afval, inclusief effluent van alkalische hydrolyse. Door middel van oxidatie bij hoge temperatuur en druk worden organische verbindingen afgebroken tot water, kooldioxide en anorganische verbindingen. Het resulterende water kan worden hergebruikt of afgevoerd als afvalwater. WAO biedt een veelzijdige en effectieve oplossing voor het verwerken van afvalwater en is een duurzame optie voor de toekomst.

- **Veiligheid:** Het WAO-proces is een veilig proces, mits er voldoende maatregelen worden genomen om de veiligheid rond het proces dat gepaard gaat met een hoge druk en een hoge temperatuur reactor, te borgen. Daarnaast dient de uitstoot van schadelijke stoffen beperkt te worden. De uitstoot van schadelijke gassen kan worden beperkt door het toepassen van geschikte luchtzuiveringstechnologieën en het nemen van passende voorzorgsmaatregelen
- **Waardigheid:** Door het hergebruiken van het loog wordt voorkomen dat er grote hoeveelheden chemisch afval worden geproduceerd. Dit kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Omdat met het hergebruik van vloeistof ook een vermenging van opgelost materiaal ontstaat zal het draagvlak voor deze optie lager zijn dan bij andere opties
- **Duurzaamheid:** Het draagt bij aan de reductie van de hoeveelheid chemisch afval die wordt geproduceerd en vermindert de hoeveelheid water die nodig is voor de verwerking van menselijke resten. Bovendien draagt het hergebruik van het loog bij aan de reductie van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de bevordering van een circulaire economie. Aan de andere kant geldt dat het energieverbruik van het WAO-proces is vanwege de hoge temperaturen en druk die nodig zijn om de oxidatie te laten plaatsvinden. Dit kan leiden tot een hoge uitstoot van broeikasgassen en andere luchtverontreinigende stoffen, wat niet erg duurzaam is. Het is echter mogelijk om de energie-efficiëntie van het proces te verbeteren door bijvoorbeeld het gebruik van warmteterugwinning. WAO wordt vaak grootschalig toegepast bij het zuiveren van reststromen van de petrochemie. Dit zijn relatief grote reststromen van meerdere kubieke meters per uur. Wanneer gekozen wordt om WAO toe te passen voor kleinere afvalstromen moet mogelijk een specialistisch ontwerp gemaakt worden wat prijzig kan zijn. Daarnaast zal in verhouding tot verwerkingscapaciteit meer staal benodigd zijn

4.10 Elektrodialyse met bipolaire membranen

Elektrodialyse met bipolaire membranen (EDBM) is een elektrochemische technologie die wordt gebruikt om zuren en basen te scheiden en terug te winnen uit een oplossing. Het proces maakt gebruik van een speciaal soort membraan dat bestaat uit een positieve en een negatieve laag, die aan elkaar zijn gekoppeld via een gemeenschappelijke bipolaire laag.

Tijdens het proces worden twee elektroden in een oplossing geplaatst, gescheiden door een reeks van deze bipolaire membranen. Wanneer er elektrische stroom wordt aangelegd, ontstaat er een verschil in elektrische potentiaal tussen de elektroden. Dit resulteert in een ionenstroom door de membranen, waarbij positieve ionen (in dit proces kalium-ionen) zich bewegen naar de negatieve elektrode en negatieve ionen (in dit proces hydroxyl-ionen) naar de positieve elektrode.

Als gevolg van deze scheiding worden de zuren en basen gescheiden en kunnen ze worden teruggewonnen uit de oplossing. Het gezuiverde zuur en de base worden vervolgens uit de compartimenten verwijderd en zijn klaar voor gebruik in andere processen.

EDBM heeft veel voordelen ten opzichte van andere scheidingstechnieken, zoals lage operationele kosten, hoge efficiëntie en milieuvriendelijkheid. Het wordt vaak gebruikt in de chemische industrie voor de productie van zuren en basen en voor het behandelen van afvalwater.

Voor de toepassing van deze techniek in deze case vindt nader onderzoek plaats met de Universiteit Wageningen.

- **Veiligheid:** De EDBM is relatief nieuw maar wordt beschreven als veilig omdat er geen waterstofgas en zuurstofgas wordt geproduceerd maar direct waterstof- en hydroxide ionen [33]. Daarnaast gebruikt de technologie geen giftige chemicaliën. Zolang het uiteindelijke ontwerp van de EDBM deugdelijk is voldoet de methode aan de voorwaarden van de gezondheidsraad
- **Waardigheid:** Door het hergebruiken van het loog wordt voorkomen dat er grote hoeveelheden chemisch afval worden geproduceerd. Dit kan bijdragen aan een meer positieve en menselijke benadering van de dood en de verwerking van menselijke resten. Omdat met het hergebruik van vloeistof ook een vermenging van opgelost materiaal ontstaat zal het draagvlak voor deze optie lager zijn dan bij andere opties
- **Duurzaamheid:** Het draagt bij aan de reductie van de hoeveelheid chemisch afval die wordt geproduceerd en vermindert de hoeveelheid water die nodig is voor de verwerking van menselijke resten. Bovendien draagt het hergebruik van het loog bij aan de reductie van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de bevordering van een circulaire economie.

Het kwantificeren van de duurzaamheid van de verwerkingsmethode via een levenscyclusanalyse is moeilijk. Momenteel is EDBM gevalideerd op lab schaal en wordt de technologie kleinschalig toegepast in proeffabrieken [34]. Hierdoor is weinig informatie beschikbaar over hoe een commerciële unit uiteindelijk in werking treedt en welke rendementen behaald worden

5 Afkortingen en begrippen

BZV	biochemisch zuurstof verbruik
CZV	chemisch zuurstof verbruik
EDBM	Elektrodialyse met bipolaire membranen
LCA	levenscyclusanalyse
PFAS	per- en polyfluoralkylstoffen
TSS	Totaal zwevende stoffen
WAO	Wet Air Oxidation
Effluent	Rest vloeistof na alkalische hydrolyse
Hydrolysatie	Het oplossen van een overledenen in alkalische omgeving
Hydrolysator	Het apparaat waar de overledenen in geplaatst wordt voor hydrolysatie
Hydrolysatorium	Een gebouw of locatie waar overledenen alkalisch worden gehydrolyseerd

6 Literatuurverwijzingen

- [1] Gezondheidsraad, „Toelaatbaarheid nieuwe vormen van lijkbezorging,” Den Haag, 2020.
- [2] H. t. B. A. A. E.E. Keijzer, „Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken - update van eerder TNO - onderzoek,” TNO, Utrecht, 2014.
- [3] J. Reinders en M. Spruijt, „Veiligheidsanalyse,” TNO, Utrecht, 2018.
- [4] Bio-Resonse solutions, *Alkaline Hydrilysis Systems for Human Disposition*.
- [5] Resomation Ltd., „Key attributes and advantages,” [Online]. Available: <https://resomation.com/our-funeral-partners/key-attributes-and-advantages/>. [Geopend maart 2023].
- [6] L. Lundy, B. linneker en S. Bradshaw, „Alkaline hydrolysis as an emerging end-of-life disposal option: experiences to-date and opportunities for the UK,” Hendon, 2019.
- [7] United States Environmental Protection Agency, „Our Current Understanding of the Human Health and Environmental Risks of PFAS,” 16 maart 2023. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/pfas/our-current-understanding-human-health-and-environmental-risks-pfas#:~:text=Some%20PFAS%20chemicals%20can%20accumulate,Drinking%20water%20contaminated%20with%20PFAS..> [Geopend 30 maart 2023].
- [8] S. Flynn, „Dust to drain: Increasingly popular cremation that DISSOLVES bodies into ash and LIQUID that's treated through municipal water facilities,” DailyMail, 18 September 2017. [Online]. Available: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-4895712/New-type-cremation-DISSOLVES-bodies-LIQUID.html>. [Geopend april 2023].
- [9] G.soh, C. Chew, A. Lee en T. Yeoh, „Thermal effect on the dissolution of mercury from two dental amalgams,” *Journal of Oral Rehabilitation*, vol. 18, pp. 179-183, 1991.
- [10] M. Marek, „Dissolution of mercury from dental amalgam at different pH values,” *Journal of Dental Research*, pp. 1308-1315, 1997.
- [11] A. J. Scanga, P. B., K. Vercauteren en B. E. B., „Alkaline Hydrolysis of mouse-adapted scrapie for inactivation and disposal of prion-positive material,” *Journal of Animal Science*, pp. 1787-1793, 2008.
- [12] A. D. G., „Validation of the Bio-response solutions human-28 low-temperature alkaline hydrolysis system,” *Applied Biosafety*, vol. 24, nr. 4, 2019.
- [13] K. S, V. N, K. T, Š. Z, Š. A en K. D, „High-risk biodegradable wast processing by alkaline hydrolysis,” *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, pp. 249-253, 2011.
- [14] T. Wang, J. Wu, Y. Yi en J. Qi.
- [15] W. Andringa, J. Bouwmeester, F. t. Doeschot, P. Nieuwenburg en D. Wilson, „Draagvlakonderzoek resomeren,” I&O Research, 2017.

- [1 CBS, „Sterfte,” [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/bevolkingsgroei/overlijden#:~:text=%3EHoeveel%20mensen%20overlijden%20er%20in,de%20rest%20van%20het%20jaar..> [Geopend maart 2023].
- [1 B. Smith en A. Cottam, „An insight into Alkaline Hydrolysis in Minnesota, USA,” Minnesota, 2019. 7]
- [1 Rijkswaterstaat, „Lozing van afvalwater uit Rioolwaterzuiveringsinstallaties,” [Online]. Available: 8] <https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/installaties/rwzi/lozingsvoor-schriften/>. [Geopend maart 2023].
- [1 X. Xu, X. Du, F. Wang, J. Sha, Q. Chen, Z. Zhu, S. Ge en Y. Jiang, „Effects of Potassium Levels on 9] Plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings,” *frontiers in plant science*, vol. 11, 2020.
- [2 L. Santiago-Rosario, K. Harms, B. Elderd, P. Hart en M. Dassanayake, „No escape: The influence of 0] substrate sodium on plant growth and tissue sodium responses,” *Ecology and Evolution*, vol. 11, pp. 14231-14249, 2021.
- [2 Rijkswaterstaat, „Zorgplicht bodembescherming,” [Online]. Available: 1] [https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/wet-bodembescherming/zorgplicht-bodembescherming/#:~:text=In%20de%20Wet%20bodembescherming%20\(Wbb,die%20redelijkerwijs%20kunnen%20worden%20gevergd..](https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/wet-bodembescherming/zorgplicht-bodembescherming/#:~:text=In%20de%20Wet%20bodembescherming%20(Wbb,die%20redelijkerwijs%20kunnen%20worden%20gevergd..) [Geopend maart 2023].
- [2 Informatiepunt Leefomgeving, „inhoud van de omgevingswet,” [Online]. Available: 2] <https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/inhoud/#h8d9e6722-397f-4bc8-88b6-22aacef6ea72>. [Geopend maart 2023].
- [2 P. Olsomn, „Flush and Bone: funeralizing alkaline hydrolysis in the United States,” *Science, 3] Technology & Human values*, vol. 39, nr. 5, pp. 666-693, 2014.
- [2 Rijkswaterstaat, „Zorgplicht zuivering stedelijk afvalwater,” [Online]. Available: 4] <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/lozen-biologisch/behandeling-stedelijk-afvalwater/lozen-rwzi/zorgplicht-zuivering-stedelijk-afvalwater/>. [Geopend maart 2023].
- [2 Rijkswaterstaat, „Zorgplicht voor afvalwater vanuit algemene lozingsregels,” [Online]. Available: 5] <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/algemene-regels-lozingsroute-schema/zorgplicht/>. [Geopend maart 2023].
- [2 P. Telkamp, J. v. d. Bulk, R. Berg en P. Baggelaar, „Bepaling zuurstofvraag huishoudelijk afvalwater,” 6] STOWA, 2018.
- [2 RIJKSWATERSTAAT, „Effluenten RWZI's (gemeten stoffen),” 2022. 7]
- [2 A. D. Shende en G. R. Pophali, „Anearobic threatment of slaughterhouse waste: a review,” 8] *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 35-55, 2020.
- [2 X. Shi, K. Y. Leong en H. Y. Ng, „Anaerobic treatment of pharmaceutical wastewater: A critical 9] review,” *Bioresource Technology*, vol. 245, pp. 1238-1244, 2017.

- [3 S.-W. Kang, C. Jeong, D.-C. Seo, S. Y. Kim en J.-S. Cho, „Liquid fertilizer production by alkaline hydrolysis of carcasses and the evaluation of developed fertilizer in hot pepper cultivation,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 122, pp. 307-312, 2018.
- [3 Rijksoverheid, „Technieken vergisting,” 27 juli 2021. [Online]. Available:
1] <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bio-energie/vergisting-en-vergassing/technieken>. [Geopend 30 maart 2023].
- [3 D. Gómez, J. L. Ramos-Suárez, B. Fernández, E. Muñoz, L. Tey, M. Romero-Güiza en F. Hansen,
2] „Development of a Modified Plug-Flow Anaerobic Digester for Biogas Production from Animal Manures,” *Energies*, 2019.
- [3 A. Culcasi, R. Ktori, A. Pellegrino, M. Rodriguez-Pascal, M. v. loosdracht, A. Tamburini, A. Cipollina,
3] X. D en G. Micale, „Towards sustainable production of minerals and chemicals through seawater brine treatment using Eutectic freeze crystallization and Electrodialysis with bipolar membranes,” *Journal of Cleaner Production* , 2022.
- [3 M. Herrero-Gonzalez, J. López, G. Virruso, C. Cassaro, A. Tamburini, A. Cipollina, J. L. Cortina, R.
4] Ibañez en G. Micale, „Analysis of Operational Parameters in Acid and Base Production Using an Electrodialysis with Bipolar Membranes Pilot Plant,” *Membranes*, vol. 13, nr. 200, 2023.