

stowa

# SLIBEINDVERWERKING VAN DE TOEKOMST



RAPPORT

2025  
09

SLIBEINDVERWERKING VAN DE TOEKOMST

RAPPORT

2025

09

ISBN 978.94.6479.065.8



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Ellen van Voorthuizen (RHDHV)  
Nikolai Moed (RHDHV)  
Harry Croezen (RHDHV)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Coert Petri - Waterschap Vallei en Veluwe  
Bart Verberkt - Waterschap Aa en Maas  
Martin Wilschut - GMB  
Roel Koevoets - SNB  
Ruud Schemen - Waterschap de Dommel  
Ad de Man - Waterschap Limburg  
Mariska Ronteltap - Hoogheemraadschap van Delfland  
Cora Uijterlinde – STOWA

VORMGEVING Buro Vormvast  
STOWA STOWA 2025-09  
ISBN 978.94.6479.065.9

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

# TEN GELEIDE

Eind 2024 is de gezamenlijke visie op de waterketen 2050 vastgesteld. Uit deze visie blijkt dat de sector voor grote opgaven staan. Naast de doelen voor de zuiveringen is het doel dat de capaciteit van de verwerking van zuiveringsslib is gegarandeerd. Tegelijkertijd wordt de vraag gesteld hoe waterschappen slim, betaalbaar en duurzaam om kunnen gaan met het verwerkingsproces van het zuiveringsslib. Deze vraag wordt in dit rapport niet direct en volledig beantwoord maar geeft wel duidelijke richting over wat wel kan en wat niet haalbaar is.

In het rapport is stil gestaan bij de ontwikkelingen die invloed hebben op de hoeveelheid en de kwaliteit van het slib in 2050 en aan welke eisen toekomstige verwerkingsinstallaties dienen te voldoen. Er is een overzicht gemaakt van bestaande en nu in ontwikkeling zijnde technologieën. Criteria die essentieel zijn voor het toetsen en vergelijken van deze technologieën zijn: continuïteit, duurzaamheid, flexibiliteit en kosten. Aan de hand van deze criteria is met de ontwikkelingen in het achterhoofd gekeken naar de toekomstige inrichting van de zuivering en de slib(eind)verwerking. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In 2050 vormt het actiefslibproces (biologisch slib) nog altijd een sterke basis voor een hoge effluentkwaliteit, vormt het daarmee een sterke basis voor de inzet van effluent als grondstof voor diverse toepassingen, levert het nog steeds een belangrijke bijdrage aan de energie- en klimaatdoelstellingen, én worden via het slib veel schadelijke stoffen uit het (water)milieu gehouden. Dit is een aspect dat aandacht verdient bij de ontwikkeling van nieuwe zuiveringsconcepten zoals bij fysisch/chemische zuivering van afvalwater.
- Sommige grondstoffen kunnen beter en efficiënter op de zuivering worden teruggevoerd dan bij de slibeindverwerking en vice versa.
- Vanuit het perspectief van duurzaamheid zoals dat in dit rapport is toegepast scoort geen van de nieuwe technologieën beter dan de huidige verwerkingsroutes.
- Afzet van slib naar de landbouw om invulling te geven aan de circulaire economie is niet aannemelijk. Steeds meer wordt duidelijk welke verontreinigingen zoals medicijnresten, microverontreinigingen zoals PFAS, en micro- en nanoplastics in het slib aanwezig zijn. In Nederland voldoet het slib nu al niet aan de bestaande eisen aan slib als het gaat om zware metalen. Buiten Nederland wordt steeds vaker de discussie gevoerd of de afvoer van slib met alle verontreinigingen naar de landbouw nog wel verantwoord is.
- Optimaliseer de huidige verwerkingsroutes om de impact op het milieu verder te verkleinen en meer grondstoffen terug te winnen, zowel in aantal als in volume.
- Waterschappen en eindverwerkers kunnen gezamenlijk ondersteuning geven aan de doorontwikkeling van veelbelovende nieuwe technologieën naar een volwassen technologie.

Mark van der Werf  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

*De in deze rapportage weergegeven toetsing van alle bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën is nadrukkelijk een momentopname van de stand der techniek anno 2024 en daarom kunnen aan deze rapportage en aan de informatie leverende partijen geen rechten worden ontleend.*

## DE ROL VAN SLIB TUSSEN NU EN 2050

**In 2050 vormt het actiefslibproces (biologisch slib) nog altijd een sterke basis voor een hoge effluentkwaliteit, vormt het daarmee een sterke basis voor de inzet van effluent als grondstof voor diverse toepassingen, levert het nog steeds een belangrijke bijdrage aan de energie- en klimaatdoelstellingen, én worden via het slib veel schadelijke stoffen uit het (water)milieu gehouden.**

Met het bereiken van een **hoge effluentkwaliteit** wordt voldaan aan de eisen voor stikstof en fosfor die in de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater en de KRW zijn gesteld. Medicijnresten worden bij de grotere zuiveringen (> 150.000 i.e.) en op kleinere zuiveringen die als hotspot als risicovol zijn aangemerkt in 2050 voor 80% verwijderd. Dit leidt tot een schoner effluent en wordt in 2050 steeds vaker gezien als een **bron** voor hergebruik, irrigatie, droogtebestrijding of peilbeheer. Voor een dergelijke inzet van effluent worden nieuwe technologieën ingezet. Dit leidt bij de inzet van bijvoorbeeld membraanfiltratie tot nieuwe afvalstromen (brijn) die naar verwachting op nationaal niveau nog maar een beperkt volume zullen kennen, maar waarvoor nog wel een goede verwerking dient te worden gevonden. Naast deze nieuwe stromen leidt een schoner effluent tot een hogere mate van vervuiling van het slib. Dit gaat om hogere stikstof- en fosforvrachten, maar ook medicijnresten als poederkool wordt gebruikt om deze te verwijderen. Naast deze stoffen hechten ook veel milieuschadelijke stoffen (waaronder ZZS) zich aan slib en worden daarmee uit het milieu gehouden. Dit is én blijft een belangrijke **“stofzuigerfunctie”** van het slib! Volledig fysisch-chemische zuivering van het afvalwater wordt in 2050 nog maar beperkt toegepast, mede omdat deze technologie nog sterk in ontwikkeling is en we te maken hebben met een bestaande infrastructuur die zich niet snel laat omvormen. Belangrijk aandachtspunt voor volledige fysische chemische zuivering is in welke stromen de diverse milieuschadelijke stoffen terecht komen en welke impact dit heeft op de verdere omgang met deze stromen.

In 2050 wordt de **energie** uit slib op de zuiveringen gehaald door de productie van voornamelijk groen gas en elektriciteit. Het vergisten van slib leidt tot een reductie in het slibaanbod. Het vergisten van het extra slib dat ontstaat door de stijging in afvalwateraanbod leidt ertoe dat de stijging in slibaanbod beperkt kan worden tot 10-25%. De stijging in afvalwateraanbod heeft geen invloed op de slibkwaliteit. Meer en betere vergisting leidt tot een verhoging van de stikstof-, en fosforconcentraties in het slib dat naar de eindverwerking wordt afgevoerd.

## DE ROL VAN SLIB BIJ BEHALEN AMBITIES CIRCULARITEIT

**Invulling van circulariteit begint op de zuivering!** In 2050 worden grondstoffen zoals biogas, cellulose, Kaumera®, bouwstenen voor bioplastics (PHA), of vetzuren teruggewonnen op de zuivering. Voor de hulpstoffen die nodig zijn bij de vergisting en ontwatering van slib worden duurzame alternatieven ontwikkeld. Inzet van slib naar de landbouw als invulling van de circulaire ambities is nu en in de toekomst geen optie.

### ONDERSCHIED IN DEFINITIES VOOR CIRCULARITEIT EN DUURZAAMHEID

Circulariteit en duurzaamheid zijn twee begrippen die veelvuldig door elkaar worden gebruikt. Het is belangrijk om hier een belangrijk onderscheid in te maken. Circulariteit focust zich op het sluiten van kringlopen in grondstoffen en materialen. Dit gaat zowel over de kwaliteit van de grondstof als ook over de hoeveelheid teruggewonnen grondstof. Circulariteit start met het uit de kringloop houden van schadelijke stoffen zoals dat door het RIVM in 2019 is gesteld in het rapport “Omgaan met ZZS in een circulaire economie”. Duurzaamheid is een breder begrip en gaat over het verminderen van de negatieve impact op het milieu. Dit gaat verder dan alleen te kijken naar de CO<sub>2</sub> voetafdruk, maar kijkt bijvoorbeeld ook naar de emissies naar het milieu.

Het terugwinnen van grondstoffen op de zuiveringen heeft in 2050 een beperkte impact op de te verwerken slibhoeveelheid. De verwachting is namelijk dat terugwinning van grondstoffen op de zuiveringen wel op steeds grotere schaal plaatsvindt, maar niet zodanig dat dit een impact heeft op de totale in Nederland geproduceerde slibhoeveelheid. De ontwikkeling van duurzame alternatieven voor de in te zetten hulpstoffen bij de vergisting en ontwatering van slib vraagt om de inzet van de sector om deze gezamenlijk te gaan ontwikkelen in samenwerking met o.a. universiteiten.

Afzet van slib naar de landbouw is in 2050 en daarna, geen optie om invulling te geven aan de circulaire ambities. De belangrijkste argumenten komen voort uit een recent door LeAF<sup>1</sup> uitgevoerd STOWA onderzoek naar de circulaire slibketen 2050 en de toenemende discussie in en buiten de EU over de inzet van slib in de landbouw:

- De bevindingen uit het STOWA rapport: “Circulaire slibketen 2050:
- Er zijn in Nederland geen slibstromen te vinden die voldoen aan de huidige Nederlandse normwaarden.
- Slib veel andere verontreinigingen dan zware metalen zoals ZZS, PFAS en micro- en nano-plastics bevat. Voor deze verontreinigingen bestaan nog geen normen, maar de verwachting is wel dat deze normen er komen. Deze niet genormeerde verontreinigingen vormen een milieurisico.
- Uit de evaluatie van de huidige richtlijn slib uit de jaren tachtig blijkt dat deze niet meer in lijn is met twee belangrijke beleidsdoelen van de EU. Het gaat hierbij om bescherming van de volksgezondheid, het milieu en de circulaire economie. Wat betreft de eerste doelstelling gaat het om zorgen over vervuiling van de grond en de daarop geteelde landbouwproducten. Invulling geven aan de circulaire economie via slibverwerking gaat vooral over het behoud van fosfor in de nutriëntencyclus.
- In diverse landen, waaronder Engeland, en Australië de discussie wordt gevoerd of de afzet van slib naar de landbouw door de aanwezigheid van ZZS in slib wel te verantwoorden is
- Aanpak aan de bron krijgt steeds meer aandacht, maar zorgt op de korte termijn niet voor een verbetering van de slibkwaliteit. Dit komt enerzijds door het feit dat de verscheidenheid aan verontreinigingen groot is. Anderzijds zal het tientallen jaren na uitfasering duren voordat een verontreiniging niet meer zichtbaar is in slib.

1 LeAF: Lettinga Associates Foundation

## DE EINDVERWERKING VAN SLIB RICHTING 2050

Met de bestaande technologieën/slibketens kan en wordt nu al een grote bijdrage geleverd aan het realiseren van de ambities rondom energie- en klimaatneutraliteit en het terugwinnen van grondstoffen in de vorm van stikstof en fosfor. De nu in ontwikkeling zijnde technologieën focussen zich op het zo efficiënt mogelijk benutten van de energie uit slib.

De huidige inrichting van de slibeindverwerking bestaat in 2050 nog grotendeels en verwerkt voornamelijk biologisch zuiveringsslib. Dit betekent dat slib met of zonder separate droogstap wordt verbrand.

Verdere optimalisatie van de huidige technologieën draagt verder bij aan de energie- en klimaatdoelstellingen, kunnen stikstof, fosfor en mogelijk zwavel worden teruggewonnen, en worden milieuschadelijke stoffen verwijderd en/of omgezet naar CO<sub>2</sub> en water.

Toegepaste of nog in ontwikkeling zijnde technologieën kunnen ingedeeld worden in drie groepen:

- In de eerste groep ligt de focus op volledige verbranding van het slib. Dit wordt bereikt door een overmaat lucht toe te voegen en verder te werken onder atmosferische druk. Bij een geringe hoeveelheid zuurstof ontstaat bij vergassing een synthesegas. De energiewinst bij deze groep kan worden verhoogd door het slib eerst duurzaam te drogen tot 60 tot 90% drogestof.
- Zonder het toevoegen van lucht en het werken onder atmosferische omstandigheden ligt de focus op het produceren van verschillende gewenste producten. Denk hierbij aan gas (pyrolyse) of olie (Microwave)
- In de laatste en derde groep ligt de focus op het verdichten van de energie in één product. Dit wordt bereikt door het toepassen van hoge druk en temperaturen. Afhankelijk van de toegepaste druk en temperatuur ontstaan verschillende energieproducten.
- Torwash en het vergelijkbare proces HTC passen drukken toe tot maximaal 25 bar bij temperaturen tussen de 180 en 280°C. Bij deze procescondities ontstaat een slibstroom die goed te ontwateren is (zonder PE) tot 50 – 60% drogestof, waarin een groot deel van de in het slib opgeslagen energie nog aanwezig is.
- Bij superkritisch vergassen en HTL worden temperaturen toegepast boven de 300°C bij drukken die hoger liggen dan 200 bar. Bij toepassing van HTL wordt dan een olie geproduceerd die na opwaardering als brandstof kan worden gebruikt. Bij superkritisch vergassen ontstaat een energierijke gasstroom die na reiniging op het aardgasnet ingeprikt kan worden.

## DE GOEDE KEUZE MAKEN VOOR DE TOEKOMST

Bij het kiezen van een nieuwe technologie of verbetering van een bestaande technologie of slibketen is het van belang een helder doel te hebben, ofwel wat wordt er met de verbetering of nieuwe technologie/slibketen beoogd. Om een dergelijke keuze te maken kunnen verschillende criteria toegepast worden. In dit rapport zijn de volgende criteria toegepast:

- Continuïteit
- Volwassenheid van een technologie op basis van Technological Readiness Level (TRL);
- Betrouwbaarheid – robuustheid van een technologie;
- Afzetzekerheid van (tussen)producten (denk aan bijvoorbeeld gedroogd slib) en afval- en reststromen en een doelmatige zuivering van het geproduceerde afvalwater.
- Duurzaamheid
- Energie- en CO<sub>2</sub> balans;

- Terugwinning van grondstoffen en afzet van afval- en reststromen;
- Emissies naar het milieu.
- Toekomstbestendigheid (flexibiliteit)
- Inspelen op ontwikkelingen rondom nieuwe wet- en regelgeving en technologie en wisselingen in slibaanbod (zowel kwantiteit als kwaliteit);
- Het in de toekomst kunnen terugwinnen van fosfor;
- Kosten

**Continuïteit** kan gezien worden als één van de belangrijkste criteria waarop technologieën worden getoetst. Eigenlijk kan continuïteit gezien worden als een randvoorwaarde voor een technologie of slibketen. Logischerwijs behalen in ontwikkeling zijnde technologieën deze continuïteit nu nog niet, maar gaan dat wel doen aan het eind van die ontwikkeling als de technologie of slibketen volledig operationeel is (TRL 9). In die zin is continuïteit geen onderscheidend kenmerk van een technologie of slibketen. Op het moment dat een technologie volledig commercieel en operationeel is voor de verwerking van communaal slib zijn de volgende zaken goed geregeld:

- Risico op langere uitval is beheerst door indien nodig inzet van gespecialiseerd personeel en een hoge beschikbaarheid van kritische reserveonderdelen;
- Afzetzekerheid van tussen- of eindproducten en afval- en reststoffen is goed geregeld via bij voorkeur langlopende contracten en de daarvoor mogelijk vereiste certificeringen zijn geregeld;
- Vindt de behandeling van het vrijkomende afvalwater zodanig plaats dat lokaal of op een andere zuivering voldaan wordt aan de geldende lozingseisen.
- Is een (m)LCA uitgevoerd voor het verkrijgen van een milieuvergunning (voor nieuwe technologieën).

Net als bij continuïteit is **toekomstbestendigheid** voor in ontwikkeling zijnde technologieën niet altijd goed in te schatten wat de vergelijking met bestaande technologieën moeilijk maakt. Tegelijkertijd is flexibiliteit net als continuïteit een weinig onderscheidend criterium omdat flexibiliteit grotendeels is te organiseren in de vorm van een ontwerp of in de vorm van contractafspraken. De wijze waarop bij een technologie of slibketen continuïteit en toekomstbestendigheid geborgd wordt vertaalt zich in de **kosten** voor de slibeindverwerking. Deze kosten zijn uiteindelijk bepalend of een technologie doorbreekt. Als de kosten zich vertalen tot een verwerkingsprijs die niet concurrerend is met de dan geldende marktprijzen breekt een nieuwe technologie niet door. Wanneer een technologie sterk gebonden is aan specifieke eisen voor de kwaliteit van het slib is deze minder flexibel dan andere technologieën, waarmee **toekomstbestendigheid** wel onderscheidend kan zijn.

De **kosten** voor de eindverwerking van slib zijn voor bestaande technologieën en slibketens goed in te schatten op basis van openbaar beschikbare documenten zoals begrotingen. Voor in ontwikkeling zijnde technologieën zijn de kosten moeilijk in te schatten omdat (onder andere):

- Deze nog onvoldoende bekend zijn, omdat een nieuwe technologie op onvoldoende grote schaal is getest, waarbij nog niet alle aspecten van de slibeindverwerking zijn meegenomen;
- Deze bepaald worden door externe factoren zoals ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving, en ontwikkelingen in de markt (afzet van producten, aankoop van materialen en grondstoffen etc.);
- Verschillende keuzes worden gemaakt bij het inrichten van een slibketen als het gaat om continuïteit en flexibiliteit;



Ontwikkelingen rondom wet- en regelgeving kunnen een aanzienlijke impact op de verwerkingskosten hebben. De verwachting is echter dat alle hier onderzochte technologieën/slibketens daar even hard door worden getroffen als is dit nog wel afhankelijk van waar welke hoeveelheden (tonnages) slib worden verwerkt. Bij een droogstap voorafgaand aan verbranding wordt immers een kleinere hoeveelheid slib verbrand.

### **WE STAAN ER GOED VOOR**

**Uit bovenstaande volgt dat de duurzaamheid van een technologie voor de slibeindverwerking eigenlijk het enige criterium is waarop technologieën of slibketens zich écht kunnen onderscheiden, het is een intrinsieke eigenschap van een technologie of slibketen. Vanuit het perspectief van duurzaamheid zoals dat in dit rapport is toegepast scoort geen van de nieuwe technologieën beter dan de huidige nu beschikbare technologieën/slibketens. Mogelijk dat door het niet hoeven toepassen van polymeren bij de ontwatering na Torwash dit een voordeel geeft op de CO<sub>2</sub> voetafdruk.**

Het maximaliseren van de waarde van slib zonder verdere negatieve impact op het milieu is richting 2050 het belangrijkste punt waarop bestaande technologieën/slibketens zich kunnen en zullen verbeteren en nieuwe technologieën zich kunnen onderscheiden ten opzichte van bestaande. Voor de korte en middellange termijn (10 tot 15 jaar) kan gebruik worden gemaakt van bestaande of op korte termijn beschikbare infrastructuur om de waarde uit slib te maximaliseren in de vorm van energie, stikstof, fosfor, en mogelijk zwavel. Dit is mogelijk door slib op een duurzame wijze biologisch of thermisch (bijvoorbeeld met restwarmte) te drogen en daarna te verbranden in een monoverbrandingsinstallatie. Deze route is te zien als referentie voor nieuwe technologieën.

### **TOEKOMSPERSPECTIEF**

**Richting de toekomst ligt de focus op het verwaarden van koolstof als grondstof. De mogelijk te produceren grondstof dient geen negatieve impact op het milieu te hebben. De ontwikkeling van een maatlat om huidige en nieuwe technologieën te toetsen aan circulariteit en milieu-impact moet bijdragen aan de selectie van potentieel interessante technologieën.**

Voor de toekomst is de ambitie rondom 100% circulariteit leidend voor de verdere ontwikkeling van bestaande technologieën/slibketen en bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het gaat hierbij om het verder maximaliseren van de waarde uit slib, waarbij gestreefd wordt naar minimaal gelijke, maar bij voorkeur een positieve milieu-impact ten opzichte van de referentieroute van duurzaam drogen en monoverbranding. Het is daarbij belangrijk dat circulariteit start met het uit de kringloop houden van schadelijke stoffen zoals dat door het RIVM in 2019 is gesteld in het rapport<sup>2</sup>. Naast de terugwinning van stikstof, fosfor en mogelijk zwavel ligt de focus daarbij vooral op de terugwinning van de in slib aanwezige koolstof als grondstof. Bij de huidige en de nu in ontwikkeling zijnde technologieën ligt de nadruk vooral op energieproductie uit koolstof. Het advies is om richting de toekomst de focus te leggen op:

- Nieuwe technologieën die de koolstof uit slib omzetten naar grondstoffen. Hierbij valt te denken aan technologieën die een syngas van CO<sub>2</sub> en waterstof produceren, waaruit de productie van methanol mogelijk is.
- Het afvangen van CO<sub>2</sub> bij bestaande installaties en te zoeken naar mogelijkheden om dit met waterstof om te zetten naar methanol.

<sup>2</sup> RIVM (Beekman M., et al.), 2019, Omgaan met Zeer Zorgwekkende Stoffen in een Circulaire Economie, RIVM-briefrapport 2019-0186.

Bij bovenstaande geldt dat circulariteit begint op de zuivering en de terugwinning van grondstoffen (koolstof, stikstof, fosfor en zwavel) altijd beschouwd worden vanuit de gehele keten van zuivering en slibketen. Bij het maximaliseren van de waarde van slib is het daarom van belang om te kijken waar in de keten de grondstoffen het meest efficiënt en met de laagste milieu-impact terug gewonnen kunnen worden. Het ontwikkelen van een maatlat waarmee bestaande en nieuwe technologieën op het punt van circulariteit en duurzaamheid kunnen worden vergeleken is daarvoor essentieel. Toegepaste methodieken zoals de LCA methodiek van CE Delft als ook documenten van de Unie van Waterschappen rondom duurzaam bouwen kunnen hierbij als startpunt worden gebruikt.

Met een dergelijke maatlat is het mogelijk nieuwe technologieën te selecteren die de potentie hebben beter te scoren op circulariteit en milieu-impact dan de nu bestaande meest duurzame route van slibeindverwerking.

Een selectie op duurzaamheid is mogelijk als gedacht wordt aan het vervangen of plaatsen van een nieuwe technologie over 15 jaar over langer. De waterschappen en de huidige slibeindverwerkers kunnen gezamenlijk potentieel interessante nieuwe technologieën ondersteunen bij de ontwikkeling naar een volwassen technologie. De meeste kritische stap waarin een technologie wel of niet doorbreekt is de stap van TRL 5/6 (pilot) naar TRL 7 (demonstratieschaal). Het is in deze stap dat de kosten en risico's significant hoger en groter zijn. Het advies is om vanaf nu met elkaar in gesprek te gaan hoe als sector en eindverwerkers gezamenlijk een dergelijke doorontwikkeling van een technologie ondersteunt kan worden. Aspecten om daarbij mee te nemen zijn:

- Helderheid over hoe de selectie op duurzaamheid plaats vindt en welke data en kwaliteit daarvan beschikbaar dient te zijn.
- Helderheid over de eisen die als sector en eindverwerkers gesteld worden aan een volwassen technologie, zodat op een zeker moment mogelijk ook gestopt kan worden met de ondersteuning van de ontwikkeling van de technologie.
- Inrichting van de organisatie van sector/eindverwerker(s) en technologieleverancier, inclusief taakverdeling, verantwoordelijkheden en verwachtingen.
- Een perspectief te bieden aan bedrijven op een op termijn langdurig contract, waarbij de voorwaarden helder zijn gedefinieerd en de risico's naar redelijkheid zijn verspreid over alle betrokken partijen.
- Samenwerking te zoeken met andere landen zoals Engeland waar ook steeds nadrukkelijk wordt gekeken naar thermische verwerking van slib in plaats van afzet naar de landbouw. Dit geldt voor meer landen binnen en buiten Europa. Dit vergroot de kans dat er een grotere markt voor nieuwe (thermische) verwerkingstechnologieën ontstaat.

# LIJST VAN AFKORTINGEN

Afkorting	Toelichting
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
BBT	Best Beschikbare Techniek
BREF	BAT (best available techniques) Reference Documents
BVZ	Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer
DS	Drogestofgehalte
GAK	Granulair Aktief Kool
HTC	Hydrothermal Carbonisation
HTL	Hydrothermal Liquification
KRW	Kaderrichtlijn Water
LCA	Levens Cyclus Analyse
LAP-3	Landelijk Afvalbeheerplan - 3
MCA	Multicriteria analyse
MJA-3	Meerjaren afspraak – 3 (energie)
N	Stikstof
NF	Nanofiltratie
ODS	Organisch drogestofgehalte
P	Fosfor
PACAS	Powdered Activated Carbon in Activated Sludge
PAK	Poeder Aktief Kool
PE	Polyelectrolyt (voor indikking/ontwatering slib)
PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
PHA	Polyhydroxyalkanoates (bouwstenen bioplastic)
Slib	In dit rapport wordt hiermee communaal slib bedoeld, vrijkomend uit de behandeling van huishoudelijk afvalwater en bedrijfsafvalwater (afvalwater van bedrijven die niet over een eigen zuivering beschikken of geen directe lozing op oppervlaktewater hebben) in rioolwaterzuiveringsinstallaties
SVI	Slibverbrandingsinstallatie
TRL	Technology Readiness Level
ZZS	Zeer zorgwekkende stoffen

# STOWA IN HET KORT

## HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

## WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt STOWA zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die STOWA beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

## WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

# SLIBEINDVERWERKING VAN DE TOEKOMST

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	LIJST VAN AFKORTINGEN	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	<b>1.1</b> Achtergrond	1
	<b>1.2</b> Doelstelling, onderzoeksvragen en afbakening	1
	1.2.1 Doelstellingen en onderzoeksvragen	1
	1.2.2 Afbakening	2
	<b>1.3</b> Context rapportage en gebruik informatie	2
	1.3.1 Context rapportage	2
	1.3.2 Gebruikte informatie	3
	<b>1.4</b> Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>STAPPENPLAN SLIBSTRATEGIE - WAT IS SLIB?</b>	<b>6</b>
	<b>2.1</b> Stappenplan slibstrategie	6
	2.1.1 Vaststellen scope slibstrategie	6
	2.1.2 Uitvoering slibstrategie	8
	<b>2.2</b> Wat is slib en hoe werkt dit door op de slibeindverwerking?	9
	<b>2.3</b> Slibkwantiteit- en kwaliteit toen en nu	11
	2.3.1 Hoeveelheid slib	12
	2.3.2 Stikstof- en fosforgehalte slib	13
	2.3.3 Kwik, zwavel en chloride	14
	2.3.4 Zware metalen	15
	2.3.5 Microverontreinigingen	16

<b>3</b>	<b>ONTWIKKELINGEN EN IMPACT OP INRICHTING TOEKOMSTIGE SLIBEINDVERWERKING</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	Ontwikkeling - Afvalwateraanbod	17
<b>3.2</b>	Ontwikkeling - Beleidskader	17
3.2.1	Herziening richtlijn stedelijk afvalwater	17
3.2.2	Herziening richtlijn slibverwerking	18
3.2.3	Wettelijke verplichtingen afvalverwerking	19
3.2.4	Afvalstoffenheffing	20
3.2.5	Verplichtingen en ambities rondom thema duurzaamheid	20
<b>3.3</b>	Ontwikkelingen - inrichting afvalwater- en slibketen	24
3.3.1	Effluentkwaliteit	24
3.3.2	Energie- en klimaatneutraliteit	25
3.3.3	Nutriënten- en grondstoffenterugwinning	25
3.3.4	Terugblikken en vooruitkijken	25
<b>3.4</b>	Vertaling ontwikkelingen naar impact op slibeindverwerking	27
<b>3.5</b>	Impact - Wettelijke verplichtingen slibverwerking	27
<b>3.6</b>	Impact - Verbeterde effluentkwaliteit	28
3.6.1	Strengere eisen voor stikstof en fosfor	28
3.6.2	Verwijdering van microverontreinigingen	29
3.6.3	Hergebruik van effluent	31
<b>3.7</b>	Impact - Energie- en klimaatneutraal	32
3.7.1	Gisting en ontwatering	32
3.7.2	Monitoring broeikasgassen	33
3.7.3	CO <sub>2</sub> heffing slibverbranding	34
<b>3.8</b>	Impact - Circulair - Grondstoffenterugwinning	34
3.8.1	Impact op slibkwantiteit	34
3.8.2	Impact op slibkwaliteit	35
<b>3.9</b>	Samenvatting	36
<b>4</b>	<b>TECHNOLOGIEËN</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	Beschikbare technologieën	38
<b>4.2</b>	Thermische ver- en bewerking van slib	39
4.2.1	Thermische verwerking met zuurstof en zonder druk	40
4.2.2	Thermische ver- en bewerking zonder zuurstof en met druk	40
4.2.3	Thermische verwerking zonder zuurstof en druk	41
<b>4.3</b>	Droogtechnologieën	42
<b>4.4</b>	Afzet naar landbouw	43
<b>5</b>	<b>CRITERIA</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	Continuïteit	48
5.1.1	Technology readiness level (TRL)	48
5.1.2	Betrouwbaarheid – Robuustheid	49
5.1.3	Afzet (tussen)producten en afval- en reststoffen	50
<b>5.2</b>	Duurzaamheid	50
5.2.1	Energie- en CO <sub>2</sub> balans	50
5.2.2	Grond- en afvalstoffen	52
5.2.3	Emissies naar milieu	54
<b>5.3</b>	Toekomstbestendigheid	55
<b>5.4</b>	Kosten	56

<b>6</b>	<b>CONTINUÏTEIT</b>	<b>58</b>
	<b>6.1</b> Toetsing vergunbaarheid (LAP-3)	<b>58</b>
	<b>6.2</b> Technology readiness level (TRL)	<b>58</b>
	<b>6.3</b> Betrouwbaarheid	<b>60</b>
	<b>6.4</b> Afzet (tussen)producten en afval(water)stromen	<b>62</b>
	6.4.1 Tussenproducten	<b>62</b>
	6.4.2 Vaste afvalproducten	<b>63</b>
	6.4.3 Afvalwater	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>DUURZAAMHEID</b>	<b>68</b>
	<b>7.1</b> Energie – en CO <sub>2</sub> balans	<b>68</b>
	7.1.1 Energiebalans	<b>68</b>
	7.1.2 CO <sub>2</sub> balans	<b>71</b>
	7.1.3 Samenvatting	<b>74</b>
	<b>7.2</b> Grond- en afvalstoffen	<b>75</b>
	7.2.1 Grondstoffen	<b>75</b>
	7.2.2 Vaste afvalproducten	<b>76</b>
	<b>7.3</b> Emissies naar milieu	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>TOEKOMSTBESTENDIGHEID</b>	<b>80</b>
	<b>8.1</b> Inspelen op ontwikkelingen in slibaanbod en slibkwaliteit	<b>80</b>
	<b>8.2</b> Inspelen op strengere emissie-eisen	<b>81</b>
	<b>8.3</b> Inspelen op P-terugwinning	<b>83</b>
	<b>8.4</b> Inspelen op technologische ontwikkelingen	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>KOSTEN</b>	<b>86</b>
	<b>9.1</b> Kosten slibeindverwerking	<b>86</b>
	<b>9.2</b> Impact ontwikkelingen op de kosten	<b>88</b>
	9.2.1 Impact CO <sub>2</sub> heffing	<b>88</b>
	9.2.2 Impact afschaffing vrijstelling afvalstoffenheffing	<b>89</b>
<b>10</b>	<b>OVERZICHT TOETSING CRITERIA</b>	<b>90</b>
	<b>10.1</b> Continuïteit	<b>90</b>
	<b>10.2</b> Duurzaamheid	<b>91</b>
	<b>10.3</b> Toekomstbestendigheid	<b>93</b>
	<b>10.4</b> Kosten	<b>93</b>
<b>11</b>	<b>TOEKOMSTPERSPECTIEF SLIBEINDVERWERKING</b>	<b>95</b>
	<b>11.1</b> Doel voor de toekomst	<b>95</b>
	<b>11.2</b> Inrichting circulariteit en selectie van toekomstige technologieën	<b>95</b>
	<b>11.3</b> Ondersteuning ontwikkeling nieuwe technologieën	<b>96</b>

<b>12</b>	<b>CONCLUSIES EN ADVIES</b>	<b>97</b>
	<b>12.1</b> Conclusies	97
	<b>12.2</b> Advies	100
BIJLAGE 1	NADERE INFORMATIE TECHNOLOGIEËN SLIBEINDVERWERKING	101
BIJLAGE 2	ENERGIE- EN CO <sub>2</sub> BALANS TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS	117
BIJLAGE 3	VERDIEPENDE ACHTERGRONDINFORMATIE BIJ RAPPORT	120
BIJLAGE 4	EMISSIES NAAR MILIEU PER TECHNOLOGIE	124



# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

De afvalwater- en slibketen staat voor grote veranderingen. Met de KRW en de intreding van de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater worden nieuwe eisen aan de huidige en toekomstige zuiveringen gesteld. Om aan deze eisen te voldoen zijn wellicht nieuwe technologieën nodig en kan mogelijk het verbruik van hulpstoffen, waaronder chemicaliën, stijgen. Gelijk met de herziening van de richtlijn stedelijk afvalwater wordt gewerkt aan een herziening van de richtlijn voor slibverwerking uit 1986. Dit heeft mogelijk impact op de wijze waarop slib op de zuivering en/of daarbuiten dient te worden verwerkt. Tegelijk met deze wettelijke ontwikkelingen zijn er meer ontwikkelingen die de komende 30 jaar van invloed zijn op de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking. Denk daarbij aan de mate van vergisting, het terugwinnen van grondstoffen<sup>3</sup>, de groei/afname in afvalwateraanbod en de wijze van zuiveren (biologisch of fysisch chemisch, of een combinatie van beide). Deze ontwikkelingen hebben invloed op de hoeveelheid te verwerken slib en de samenstelling daarvan. Ontwikkelingen in de energietransitie (100% klimaatneutraal in 2035) en circulaire economie (100% circulair in 2050) zijn sturend richting de slibeindverwerking van de toekomst. In Nederland worden keuzes gemaakt over de vervanging of het buiten bedrijf stellen van bestaande installaties voor slibeindverwerking. Er wordt eveneens gewerkt aan de uitvoering van het “Robuust plan slibeindverwerking” om de eindverwerking van slib te verduurzamen. Bovenstaande opsomming van ontwikkelingen laat zien dat er steeds meer eisen worden gesteld aan de verwerking van slib op de zuiveringen en bij de slibeindverwerkingsinstallaties. Voor de eindverwerking komt daar nog bij dat er steeds hogere eisen worden gesteld aan bijvoorbeeld de emissies naar de lucht, de afzetzekerheid van (tussen) producten en afvalstoffen, en dat de kosten bij dit alles niet te veel oplopen. Dit maakt dat de inrichting van de slibeindverwerking steeds complexer wordt, en wordt het belang duidelijk om vanuit de gehele slibketen, inclusief de zuivering, te kijken naar de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking. Om vanuit deze complexiteit goede keuzes te kunnen maken ten aanzien van de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking, is het noodzakelijk om inzicht te krijgen in wat alle genoemde ontwikkelingen betekenen voor de inrichting van de slibeindverwerking in 2050.

### 1.2 DOELSTELLING, ONDERZOEKSVRAGEN EN AFBAKENING

#### 1.2.1 DOELSTELLINGEN EN ONDERZOEKSVRAGEN

Met dit project wordt invulling gegeven aan de volgende twee doelstellingen:

- Inzicht geven in de inrichting van de slibeindverwerking 2050, gezien alle de ontwikkelingen die er spelen (zie paragraaf 1.1).
- Inzicht geven op welke wijze met criteria tot een verantwoorde technologiekeuze te komen voor de invulling van de slibeindverwerking van de toekomst, die kunnen inspelen op alle genoemde ontwikkelingen (zie paragraaf 1.1).

<sup>3</sup> Denk aan: stikstof, fosfor, en mogelijk ook kalium, cellulose, bioplastic, biopolymeer

Om bovengenoemde doelstellingen te bereiken worden de volgende onderzoeksvragen in dit rapport beantwoord:

1. Welke ontwikkelingen in de afvalwater- en slibketen hebben invloed op de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking?
  - Welke ontwikkelingen hebben invloed op de kwantiteit en kwaliteit van het te verwerken slib en hoe groot (omvang) is die invloed?
  - Welke ontwikkelingen hebben invloed op de inrichting van de afvalwater- en slibketen en daarmee op de inrichting van de slibeindverwerking?
2. Welke nieuwe slibeindverwerkings-technologieën zijn er naast de bestaande technologieën die onderdeel kunnen worden van de toekomstige slibeindverwerking?
3. Welke criteria kunnen worden toegepast en zijn van belang voor het toetsen van een technologie zodat tot een verantwoorde keuze gekomen kan worden voor de slibeindverwerking van de toekomst?
4. Welke technologieën bieden de beste mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen en kunnen daarmee onderdeel zijn van de toekomstige slibeindverwerking?
  - Welke bijdrage kunnen nieuwe technologieën leveren aan het verder verduurzamen van de slibeindverwerking en daarmee een bijdrage leveren aan de ambities van de waterschappen?

### 1.2.2 AFBAKENING

De keuze voor een toekomstige slibeindverwerking valt niet los te zien van de keuzes die op de zuivering worden gemaakt en alle ontwikkelingen die rondom de slibeindverwerking spelen. Naast de eerdergenoemde factoren spelen daarbij de beperkte ruimte, materialen en personeel een rol.

Dit rapport beoogt niet om één keuze te maken over hoe die toekomstige inrichting er uit ziet. Die inrichting kan per waterschap of groep van waterschappen verschillen. Het rapport voorziet daarom vooral in handvatten en informatie om zelf aan de slag te gaan met het maken van een keuze voor een toekomstige inrichting van de slibeindverwerking die aansluit bij de eigen ambities, ontwikkelingen en bedrijfswaarden.

Bij het opstellen van dit rapport is veelal gebruik gemaakt van bestaande (openbaar) beschikbare rapportages en informatie<sup>4</sup>. De informatie uit deze bronnen is gebruikt om inzicht te geven in de mate van energie- en klimaatneutraliteit, grondstoffenterugwinning en kosten, hiervoor zijn geen nieuwe berekeningen uitgevoerd. Voor de terugwinning van fosfor uit de as die ontstaat na de verbranding van slib, zijn diverse technologieën in ontwikkeling. In deze rapportage wordt alleen gekeken óf terugwinning uit de as mogelijk is, niét hoe dit gedaan kan worden.

## 1.3 CONTEXT RAPPORTAGE EN GEBRUIK INFORMATIE

### 1.3.1 CONTEXT RAPPORTAGE

Deze rapportage is in 2024 opgesteld, met de dan beschikbare informatie over relevante ontwikkelingen, beschikbare technologieën én de stand van die technologieën als het gaat om continuïteit, duurzaamheid, flexibiliteit en kosten. De toetsing van bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën op genoemde criteria wil vooral laten zien, wat er allemaal bij komt kijken bij het maken van keuzes voor een technologie en/of slibketen. Het rapport is daarom vooral te zien als een gids, welke informatie is allemaal nodig, hoe kan men deze informatie duiden, en hoe kan men uiteindelijk keuzes maken. Toch

4 Bijvoorbeeld: Openbare jaarverslagen van slibeindverwerkers, database van de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer en STOWA rapporten.

wordt hierbij niet voorkomen dat er discussie ontstaat over de toetsing van een bepaalde technologie op een bepaald (sub)criterium. De toetsing is zo objectief mogelijk uitgevoerd, en deze is zoveel mogelijk gebaseerd op meetbare data. Dit is niet altijd mogelijk, omdat sommige criteria niet in data zijn uit te drukken. Een toetsing van criteria blijft daardoor altijd voor een deel subjectief. Parallel aan het opstellen van voorliggende rapportage is door Leaf en de Wageningen Universiteit gewerkt aan een rapportage over de “Circulaire Slibketen 2050”. Deze rapportage kan als aanvulling worden gezien op de hier voorliggende rapportage.

#### **ONDERSCHIED IN DEFINITIES VOOR CIRCULARITEIT EN DUURZAAMHEID**

Circulariteit en duurzaamheid zijn twee begrippen die veelvuldig en door elkaar worden gebruikt. Het is belangrijk om hier een belangrijk onderscheid in te maken. Circulariteit focust zich op het sluiten van kringlopen in grondstoffen en materialen. Dit gaat zowel over de kwaliteit van de grondstof als ook over de hoeveelheid teruggewonnen grondstof. Circulariteit start met het uit de kringloop houden van schadelijke stoffen zoals dat door het RIVM in 2019 is gesteld in het rapport<sup>5</sup> “Omgaan met ZZS in een circulaire economie”. Duurzaamheid is een breder begrip en gaat over het verminderen van de negatieve impact op het milieu. Dit gaat verder dan alleen te kijken naar de CO<sub>2</sub> voetafdruk, maar kijkt bijvoorbeeld ook naar de emissies naar het milieu.

#### **1.3.2 GEBRUIKTE INFORMATIE**

Naast openbaar beschikbare informatie is voor dit rapport gebruik gemaakt van informatie die opgehaald is in door ons eerder uitgevoerde projecten met:

- Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023). Dit ontwikkeltraject is onderdeel van het contract dat Vallei en Veluwe en GMB met elkaar hebben afgesloten. Doel van het ontwikkeltraject is om op termijn een duurzaam, circulair, rendabel en betrouwbaar slibeindverwerkingsconcept te hebben. In de eerste fase van het ontwikkeltraject zijn uit een lijst van technologieën enkele slibketens opgesteld, die vervolgens aan de hand van een multicriteria-analyse (MCA) zijn beoordeeld.
- WBL (2020-2021): Samen met WBL is een slibstrategiestudie uitgevoerd met als doel het selecteren van één of meerdere slibeindverwerkingsroutes voor de verwerking van het slib van WBL. De aanleiding was het aflopen van het bestaande verwerkingscontract.
- SNB (2021): In de toekomst dient de bestaande installatie vervangen te worden. In dit project is gekeken welke technologieën wanneer beschikbaar zijn, en hoe deze scoren op duurzaamheid en flexibiliteit.

In bovengenoemde projecten is veel informatie verzameld over nieuwe in ontwikkeling zijnde technologieën, zijn meer of minder gedetailleerde berekeningen gemaakt rondom energie- en klimaatneutraliteit en grondstofterugwinning, zijn criteria geselecteerd en gedefinieerd, en zijn technologieën en slibketens beoordeeld op de geselecteerde criteria. De informatie uit deze projecten is daar waar nodig geactualiseerd en naar eigen inzicht toegepast in deze rapportage.

5 RIVM (Beekman M., et al.), 2019, Omgaan met Zeer Zorgwekkende Stoffen in een Circulaire Economie, RIVM-briefrapport 2019-0186.

## 1.4 LEESWIJZER

Eén van de belangrijkste eerste stappen in een slibstrategie is het in beeld krijgen van ontwikkelingen die impact hebben op de af te voeren hoeveelheid slib en de kwaliteit daarvan. De toekomstige inrichting van de slibeindverwerking valt daarom niet los te zien van de keuzes die worden gemaakt op de zuivering. Naast de kwantiteit en kwaliteit van het te verwerken slib, bepalen ook ontwikkelingen in eisen aan de slibeindverwerking wat kan en moet. In hoofdstuk 2 is daarom eerst aandacht besteed aan de huidige hoeveelheid geproduceerd slib en de kwaliteit daarvan. Dit is het startpunt om de impact van ontwikkelingen op en rond de zuivering op de slibhoeveelheid en slibkwaliteit voor de toekomst inzichtelijk te maken. In hoofdstuk 3 wordt hier ruim aandacht aan besteed, waarbij eerst de relevante ontwikkelingen zijn beschreven, gevolgd door een beschrijving per ontwikkeling op de te verwachten en te verwerken slibhoeveelheid- en daarbij behorende kwaliteit.

Een volgende stap is het in beeld brengen van beschikbare technologieën die alleen of in een keten het slib op de korte of middellange termijn (10 – 15 jaar) kunnen verwerken. In hoofdstuk 4 is een overzicht opgenomen van bestaande en nu in ontwikkeling zijnde technologieën. In dit hoofdstuk is inzichtelijk gemaakt op welk vlak groepen technologieën van elkaar verschillen en wat de mogelijkheden zijn voor afzet van slib naar de landbouw.

Aangezien de eindverwerking een wezenlijk onderdeel (bijvoorbeeld hoge kosten, en bijdrage aan duurzaamheidsambities) is bij de verwerking van afvalwater, is het van belang de technologieën op een zo'n objectief en kwantitatief mogelijke wijze te toetsen. Criteria die hierbij vaak worden toegepast zijn: continuïteit, duurzaamheid, toekomstbestendigheid en kosten. De wijze waarop deze criteria kunnen worden gebruikt bij de toetsing is omschreven in hoofdstuk 5. In de daaropvolgende vier hoofdstukken (hoofdstuk 6 tot en met 9) volgt de uitwerking per criterium voor alle in hoofdstuk vier beschreven technologieën. De belangrijkste bevindingen per criterium zijn samengevat in hoofdstuk 10. In dit hoofdstuk wordt ook antwoord gegeven op de vraag “*Welke technologieën bieden de beste mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen en kunnen daarmee onderdeel zijn van de toekomstige slibeindverwerking?*” Het hier gegeven antwoord is van toepassing voor de korte en middellange termijn. Het perspectief voor de langere termijn (2050 en verder) wordt gegeven in hoofdstuk 11. Dit hoofdstuk geeft daarmee richting aan de waterschappen en eindverwerkers voor de benodigde inspanningen om de doelstelling voor de langere termijn te behalen. In het laatste en 12<sup>e</sup> hoofdstuk zijn de conclusies en het advies opgenomen.

*Daar waar in het rapport gesproken wordt over ‘nu’, ‘huidig’, ‘in dit rapport’ etc. wordt het jaar 2024 bedoeld. In het rapport komt veel informatie aan bod. Informatie die verdiepend is ten opzichte van de hoofdtekst is in kaders of in bijlage 3 geplaatst. Het voorliggende rapport biedt informatie voor een brede groep betrokkenen uit de afvalwatersector. In de hoofdstukken drie tot en met negen is veel informatie opgenomen die interessant is voor beleidsadviseurs/technologen die vaak het grootste gedeelte van een slibstrategie uitvoeren. Voor managers en bestuurders schetst de samenvatting een toekomstbeeld over de rol van slib en de inrichting van de slibeindverwerking richting 2050 en daarna. Hoofdstuk 10, 11 en 12 biedt daarbij nog wat meer details.*

**DISCLAIMER**

In deze rapportage zijn vier criteria voor toetsing van technologieën en slibketens geselecteerd. Dit zijn continuïteit, duurzaamheid, flexibiliteit en kosten. Continuïteit kan gezien worden als één van de belangrijkste criteria waarop technologieën worden getoetst. Eigenlijk kan continuïteit gezien worden als een randvoorwaarde voor een technologie of slibketen. De technologie of slibketen dient immers altijd het aangevoerde slib te kunnen verwerken. Afvalwater komt immers altijd, dag in dag uit, jaar in jaar uit binnen, en dient het geproduceerde slib daaruit altijd verwerkt te kunnen worden. Bij het toetsen van bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën wordt beoogd aan te geven wat erbij komt kijken voordat een technologie of slibketen de gewenste continuïteit kan waarborgen. Logischerwijs behalen in ontwikkeling zijnde technologieën deze continuïteit nu nog niet, maar gaan dat wel doen aan het eind van die ontwikkeling als de technologie of slibketen volledig operationeel is. Voor de andere in deze rapportage geselecteerde criteria geldt dat er verschillen zijn in beschikbare informatie tussen bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën. De in deze rapportage weergegeven toetsing van alle bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën is daarom nadrukkelijk een momentopname van de stand der techniek anno 2024 en daarom kunnen aan deze rapportage en aan de informatie leverende partijen geen rechten worden ontleend.

# 2

## STAPPENPLAN SLIBSTRATEGIE -

### WAT IS SLIB?

#### 2.1 STAPPENPLAN SLIBSTRATEGIE

De aanpak voor een slibstrategie kan op meerdere manieren worden uitgevoerd. De ervaring leert wel dat de in Figuur 1 gepresenteerde aanpak vrij algemeen wordt toegepast.

**FIGUUR 1** VOORBEELD VAN EEN STAPPENPLAN VOOR DE UITVOERING VAN EEN SLIBSTRATEGIESTUDIE. DE IN DE FIGUUR AANGEGEVEN STAPPEN WORDEN IN HOOFDSTUK 2 EN DE VOLGENDE HOOFDSTUKKEN VERDER BESPROKEN

1	Vaststellen scope slibstrategie	Doel van de strategie Looptijd van de strategie Breedte van de strategie Selectieproces	Hoofdstuk 2
2	Beleidskader in beeld brengen	Wettelijke verplichtingen Landelijke afspraken Eigen ambities	Hoofdstuk 3
3	Opstellen prognoses slib	Slibkwantiteit Slibkwaliteit	
4	Overzicht technologieën opstellen	Bestaande technologieën In ontwikkeling zijnde technologieën	Hoofdstuk 4
5	Vaststellen criteria en weegfactoren	Randvoorwaardes stellen (knock-out criteria) Weegfactoren vaststellen SMART maken criteria	Hoofdstuk 5
6	Uitwerken criteria	Informatie verzamelen Berekeningen uitvoeren	Hoofdstuk 6

Bij het opstellen van een slibstrategie zijn verschillende actoren betrokken. Uiteindelijk is het van belang dat de gemaakte keuze sterk gedragen wordt door de gehele organisatie. Het is daarom sterk aan te raden om de beheerorganisatie vanaf het begin aan te laten haken en deze mee te nemen in het gehele proces. Dit geldt vanzelfsprekend ook voor het bestuurlijke deel van de organisatie. Kortom het is aan te bevelen alle onderdelen van de organisatie vanaf het begin mee te nemen (stap 1) en ze mee te blijven nemen als er onderweg keuzes worden gemaakt.

##### 2.1.1 VASTSTELLEN SCOPE SLIBSTRATEGIE

Een slibstrategie begint (eerste stap) met het vaststellen van de scope van de slibstrategie. Belangrijkste is het vaststellen van het doel van de slibstrategie. Het doel van de slibstrategie is veelal gekoppeld aan het overeenkomen van een nieuw contract of het oprichten/realiseren van een nieuwe installatie. Voor beide geldt dat de keuze voor een bepaalde technologie of slibketen bestaande uit meerdere technologieën het doel is van een slibstrategie (zie kader hiernaast) waarmee tegelijkertijd invulling wordt gegeven aan de doelen en ambities van een waterschap.

### ***Onderscheid slibtechnologie en slibketens***

Het is van belang om bij de uitwerking van de slibstrategie het onderscheid te maken tussen toe te passen technologieën en slibketens. Een slibketen kan bestaan uit één technologie, bijvoorbeeld monoverbranding, waarbij het drogen en verbranden van slib op één en dezelfde locatie plaatsvindt. Een slibketen kan ook bestaan uit meerdere technologieën zoals het drogen van slib met afvalwarmte op één locatie en het verbranden van het gedroogde slib op een andere locatie. In dit laatste geval speelt mee dat er ook een afzet dient te worden gevonden voor het gedroogde slib. Vandaar het belang in onderscheid. In het vervolg van dit rapport wordt dit onderscheid zo consequent mogelijk gemaakt. Uiteindelijk dient voor elke technologie of slibketen een afzet gevonden te worden voor de rest- of afvalproducten; bij een keten met meerdere technologieën kan dit complexer zijn dan bij één technologie.

Slib is het eindproduct van de keuzes die daarvoor in de water- en sliblijn van de zuivering zijn gemaakt. De keuzes die worden gemaakt hangen samen met de wettelijke taken en ambities/wensen die een waterschap heeft:

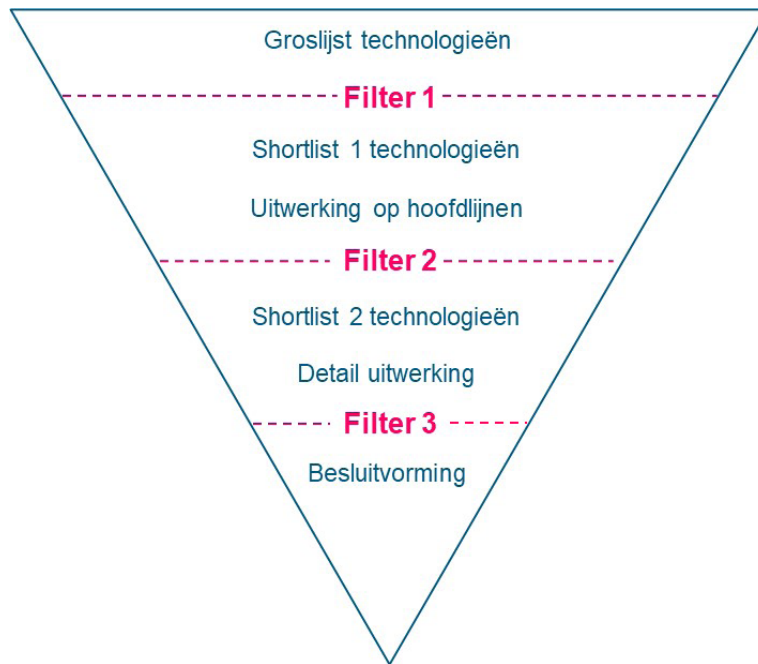
- het voldoen aan de wettelijke eisen die aan de kwaliteit van het effluent worden gesteld (is een randvoorwaarde)
- het streven naar energie- en klimaatneutraliteit (ambitie)
- circulariteit waaronder het terugwinnen van grondstoffen (ambitie)
- de wijze van slibverwerking: wel of niet gisten, het wel of niet toepassen van een slibvoorbehandelingsstap, hoe is de slibontwatering ingericht, met als belangrijkste doel kostenreductie, en terugwinning van energie uit slib (wensen/ambitie)

De laatste twee genoemde punten hebben o.a. betrekking op de wijze waarop de (biologisch beschikbare) organische stof in slib wordt benut. Terugwinning van cellulose of een biopolymeer reduceert gedeeltelijk de hoeveelheid terug te winnen energie bij vergisting. De energie die na vergisting nog overblijft kan mogelijk bij de slibeindverwerking nog benut worden. Dit voorbeeld laat het belang zien om bij het opstellen van een slibstrategie te kijken naar de gehele gehele slibketen van zuivering en slibeindverwerking. Hieruit volgt dat de keuzes die gemaakt worden bij de inrichting van de zuivering invloed hebben op de te verwerken hoeveelheid slib en de kwaliteit daarvan.

De slibstrategie kent een bredere scope dan alleen een evaluatie van beschikbare slibtechnologieën.

In de eerste stap wordt vastgesteld hoe tot een bepaalde keuze wordt gekomen. Een voorbeeld is opgenomen in Figuur 2.

FIGUUR 2 VOORBEELD VAN EEN SELECTIEPROCES BINNEN EEN SLIBSTRATEGIESTUDIE



Het voorbeeld in Figuur 2 gaat uit van een werkwijze die van grof naar fijn werkt. Bij deze werkwijze wordt op een steeds gedetailleerder niveau informatie over de technologieën verzameld. Dit bespaart tijd en geld omdat in het begin niet voor alle technologieën complexe criteria zoals CO<sub>2</sub> balans en kosten in detail hoeven te worden uitgewerkt. Deze informatie is vaak niet of beperkt beschikbaar voor nieuwe technologieën. Het is voorstelbaar dat een eerste selectie (filter 1) plaatsvindt op basis van criteria die eigenlijk randvoorwaarden zijn waaraan een technologie moet voldoen. Denk hierbij aan het “technology readiness level” (TRL) of de ambitie om fosfaat uit verbrandingsas terug te kunnen winnen. Na dit eerste filter kunnen met de overgebleven technologieën diverse slibketens worden gebouwd die bestaan uit één of meerdere technologieën. Deze slibketens kunnen vervolgens getoetst worden op een deel van de criteria of een uitwerking van alle criteria op hoofdlijnen. Na het tweede filter (toetsing) kunnen de overgebleven slibketens (advies maximaal 10) in meer detail worden uitgewerkt. Denk daarbij aan criteria zoals de CO<sub>2</sub> balans en de kosten. Met deze beperkte set slibketens kan dan een multicriteria analyse (MCA) worden uitgevoerd voor het maken van een definitieve keuze.

### 2.1.2 UITVOERING SLIBSTRATEGIE

Na het vaststellen van de scope van de slibstrategie in de eerste stap kan worden begonnen met het uitvoeren van de slibstrategie. Een belangrijke eerste stap hierin is het in kaart brengen van het beleidskader en het uitwerken van de gevolgen voor het uitvoeren van wettelijke afspraken, landelijk vastgestelde afspraken en de eigen ambities (stap 2). Belangrijk is het in kaart brengen van wat de invloed is van alle ontwikkelingen op de te verwerken hoeveelheid slib en welke variatie hier mogelijk is, en wat de verwachte kwaliteit van het slib wordt (stap 3).

De volgende stap (4) is het in beeld brengen welke technologieën beschikbaar zijn, zowel bestaande technologieën als in ontwikkeling zijnde technologieën. Om uit deze lijst technologieën, slibketens te kunnen samenstellen en te selecteren is een volgende stap (5) het definiëren en vaststellen van de toetsingscriteria. Het is daarbij belangrijk dat niet te veel



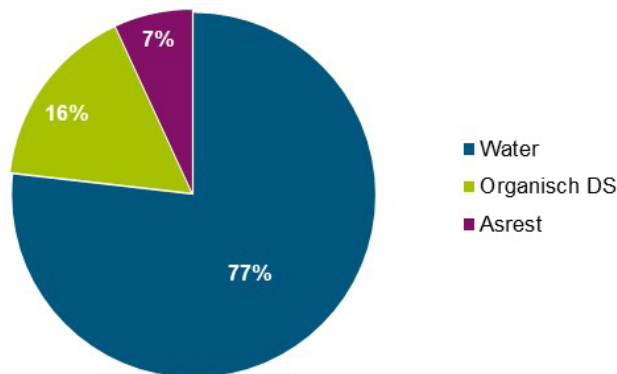
criteria worden gekozen en dat deze zoveel mogelijk kwantificeerbaar zijn. Het nadeel van te veel criteria is dat bij de beoordeling een zekere mate van ‘verdunding’ plaatsvindt. Bedoeld wordt dat bij het toepassen van (te) veel criteria elke technologie wel ergens op meerdere criteria goed scoort en op andere minder, waardoor er te weinig onderscheid kan ontstaan tussen te selecteren technologieën/slibketens.

Het uitvoeren van een MCA is bedoeld om op een zo’n objectief mogelijke manier te waarderen en vanuit daar een keuze te maken. Het is daarom van belang om bij de definitie van criteria goed na te gaan of deze kwantificeerbaar zijn, zodat een objectieve vergelijking mogelijk is. Het uitvoeren van een MCA is geen onderdeel van deze rapportage, omdat deze rapportage niet beoogt een keuze te maken voor de inrichting van de toekomstige slibeindverwerking, maar juist beoogt om structuur en informatie te geven voor dit keuzeproses. De laatste stap (6) in de slibstrategie bestaat uit het uitwerken van de criteria voor de dan geselecteerde technologieën of slibketens, afhankelijk van waar men zich bevindt in het selectieproces (zie Figuur 2).

## 2.2 WAT IS SLIB EN HOE WERKT DIT DOOR OP DE SLIBEINDVERWERKING?

Om de impact van ontwikkelingen op de slibeindverwerking te bespreken is het goed om eerst te bespreken wat slib nu precies is. In Figuur 3 is een eenvoudige weergave gegeven van de belangrijkste componenten van slib.

**FIGUUR 3** DE SAMENSTELLING VAN 1.000 KG SLIB, GEBASEERD OP DE GEMIDDELTE SAMENSTELLING VAN AL HET NEDERLANDSE SLIB. GEMIDDELD DROGESTOFGEHALTE COMMUNAAL SLIB 23,2% (BRON BVZ2021) EN ORGANISCH DROGESTOFGEHALTE 70% (BRON CBS, 2020)



Naast water, organische drogestof (ODS) en een asrest bevat slib ook andere stoffen die met het afvalwater worden aangevoerd. Een gedeelte blijft in de waterfase na gisting en ontwatering, een ander deel blijft geadsorbeerd aan het slib. De belangrijkste processen die bij de (huidige) slibeindverwerking plaatsvinden zijn gericht op het zo ver mogelijk reduceren van de slibmassa en omvatten: het verdampen van water, het verbranden van de organische stof en het reinigen van de ontstane afvalwaterstroom en rookgassen. Deze processen kunnen op één locatie plaatsvinden zoals bij monoverbranding, of op twee plaatsen zoals (thermisch/biologisch) drogen en daarna verbranden.

Voor het verdampen van water is een hoeveelheid energie nodig die sterk afhankelijk is van het percentage water in het slib en hoe dit water aan het slib gebonden is. De benodigde energie kan grotendeels uit de organische drogestoffractie (ODS-fractie) van het slib worden gehaald, zoals bij toepassing van monoverbranding; uit de omzetting van organische stof (zoals bij biologisch drogen van slib); of met een externe energiebron (zoals aardgas, elektriciteit of afvalwarmte). Bij gebruik van de energie uit slib is het ODS-gehalte van het slib van

belang. De ratio tussen het DS- en ODS-gehalte is van belang voor de energiebalans van de installatie en de doorzet en capaciteit van een installatie.

Bij de verdamping van het water ontstaat een condensaat dat vooral **stikstof** in de vorm van ammonium bevat.

Na het verbranden van slib ontstaan asresten en rookgassen. De volgende asresten kunnen worden onderscheiden:

- bedas: as die ontstaat bij de verbranding van slib in een monoverbrandingsinstallatie
- bodemas: as die ontstaat bij de verbranding van slib in een afvalverbrandingsinstallatie
- carbonaatas as die ontstaat bij onvolledige omzetting van de koolstof in slib zoals bij pyrolyse
- vliegias as die overblijft na de rookgasreiniging

Deze typen as worden gebruikt om te duiden welke componenten zich daarin bevinden en of uit een as-soort bijvoorbeeld fosfor kan worden teruggewonnen.

In de vliegias of bodemas komen de meeste **zware metalen** en **fosfaat** terecht. Uit analyses van de vliegias van SNB blijkt dat het total organic carbon (TOC) gehalte onder de detectiegrens ligt van 1%. Dit is een sterke indicatie dat nog weinig organische verbindingen in de as aanwezig zijn, en organische microverontreinigingen in zeer beperkte mate aanwezig zijn.

**Stikstof**componenten (waaronder lachgas), **kwik** en **zwavel** zijn de belangrijkste componenten die in de rookgassen zitten, omdat deze tot milieuschade kunnen leiden, waardoor hiervoor (strengere) emissie-eisen gelden. Reiniging van de rookgassen is noodzakelijk om aan deze emissie-eisen te voldoen. Dergelijke emissie-eisen gelden ook voor de afgezogen lucht van een slibdrogingsinstallatie. Tot slot kan **chloride** tijdens de verbranding effect hebben op de levensduur van de verbrandingsoven, gezien het corrosieve karakter van chloride. Samenvattend zijn de volgende componenten van belang bij de eindverwerking van slib:

- Drogestof- en organisch drogestofgehalte
  - de ratio tussen DS-gehalte en ODS-gehalte bepaalt de energiebalans (impact op duurzaamheid) en de capaciteit van de installatie (impact op kosten);
- Stikstof en fosfor
  - Het afvalwater, de afgezogen lucht van een slibdrooginstallatie, en rookgassen bevatten stikstof dat vaak in de vorm van ammoniak verwijderd dient te worden, maar er is ook de mogelijkheid om deze stikstof als grondstof terug te winnen;
  - Fosfor kan als grondstof uit de vliegias worden teruggewonnen; terugwinning van fosfor uit bodemas van een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) is niet mogelijk, omdat de concentraties fosfor te laag zijn<sup>6</sup>;
- Kwik, zwavel en chloride
  - Kwik en zwavel dienen te worden verwijderd uit de rookgassen en hebben invloed op de kosten van de slibeindverwerking;
  - Chloride kan een corrosieve werking hebben op de levensduur van de verbrandingsoven en de kosten van de slibeindverwerking beïnvloeden;

<sup>6</sup> STOWA, 2011, Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties, rapportnummer 2011-24; STOWA 2021, Spodofos: witte fosfor productie uit slibverbrandingsgassen, rapportnummer 2021 – 57.

- Zware metalen
  - Zware metalen blijven achter in de asrest na verbranding; de as kan mogelijk als nuttige grondstof worden ingezet.<sup>7</sup> Bij terugwinning van fosfor uit de vlieg-as bestaat de mogelijkheid om de metalen ijzer en aluminium terug te winnen.
- Zeer zorgwekkende stoffen (ZZS): bij de verwerking van afval, ook bij slib dient rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van ZZS. Indien ZZS voorkomen, dient beschreven te worden hoe het afval wordt verwerkt en hoe gewaarborgd is, dat onaanvaardbare risico's voor mens en milieu worden voorkomen. Voor communaal zuiverings-slib gaat het om<sup>8</sup>:
  - Organische microverontreinigingen in de vorm van medicijnresten en bestrijdingsmiddelen
  - Organische microverontreinigingen worden voor het overgrote deel verbrand en nauwelijks achterblijven in de water- as- of gasfase; zie paragraaf 5.2.3 en 7.3 voor meer nuance

In de laatste update<sup>8</sup> van in afval/slib aanwezige ZZS is PFAS nog niet opgenomen, maar de verwachting is dat hier op termijn wel meer aandacht voor komt.

De aanwezigheid van pathogenen in slib speelt alleen een rol bij een toepassing in de landbouw, daarom wordt deze toepassing alleen verder nog in paragraaf 4.4 besproken. Afzet van slib naar de landbouw is toegestaan mits aan de kwaliteitseisen voor toepassing in de landbouw wordt voldaan. Door de aanwezigheid van vooral zink en koper in slib is deze route in Nederland nu niet mogelijk. Meer informatie is opgenomen in paragraaf 4.4.

### 2.3 SLIBKWANTITEIT- EN KWALITEIT TOEN EN NU

In deze paragraaf wordt een beeld geschetst van het verloop van de hoeveelheid slib en de kwaliteit van het slib in de tijd. Met deze kennis kan vervolgens de impact van ontwikkelingen op de slibeindverwerking (in hoofdstuk drie) beter worden geduwd. Het gaat hierbij om landelijke trends, per waterschap kunnen hier verschillen in zijn. Via de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer (BVZ) en CBS zijn dit soort gegevens op te halen.

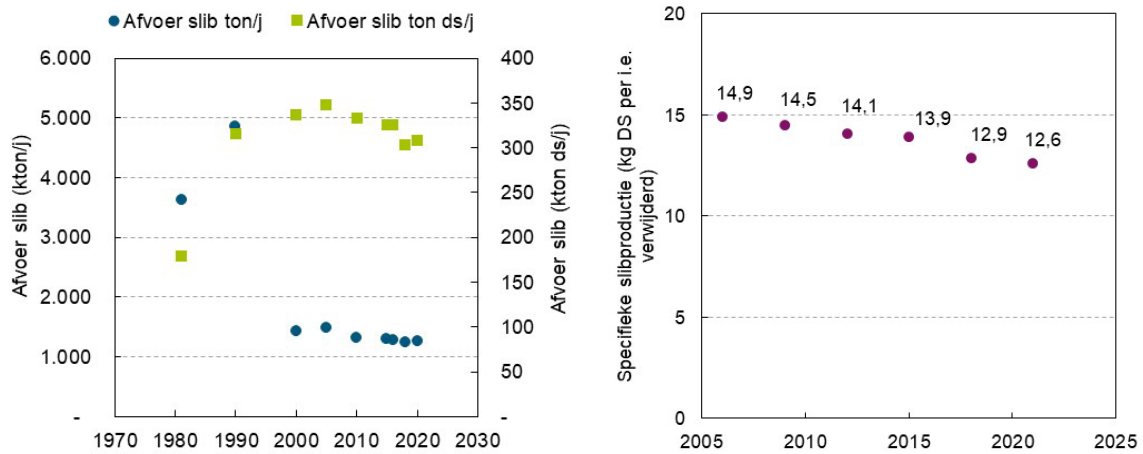
<sup>7</sup> Terugwinning van individuele metalen uit de as is zeer complex, zoals blijkt uit: KWR, september 2019, Terugwinnen van metalen uit water, slib en vlieg-as; Resultaten fase 2 – Experimenten, KWR 2019.048

<sup>8</sup> SGS, 2019, ZZS in afvalstoffen, update 2019, eindrapport A108010/R20190414a; sectorplan 16 voor zuiverings-slib

### 2.3.1 HOEVEELHEID SLIB

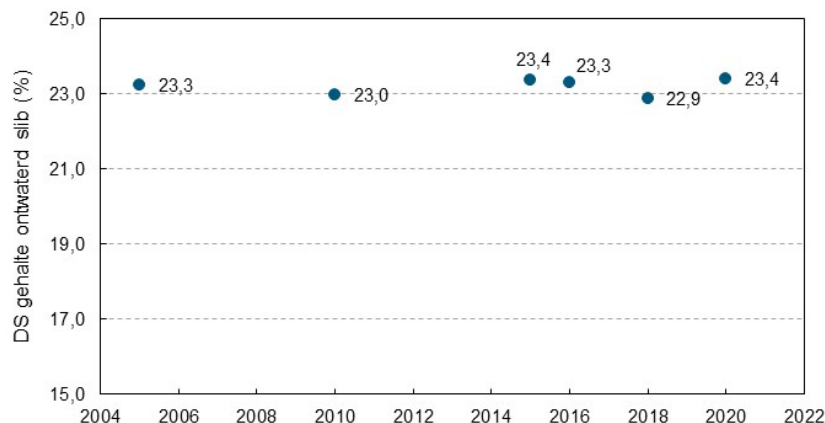
Het verloop van de hoeveelheid afgevoerd slib in Nederland is weergegeven in Figuur 4.

**FIGUUR 4** LINKS: VERLOOP AFVOER SLIB IN KILOTONNEN EN KILOTONNEN DROGESTOF (DS) IN DE PERIODE 1980 – 2020 (BRON CBS); RECHTS: SPECIFIEKE SLIBPRODUCTIE PER VERWIJDERDE I.E. (BRON BVZ 2021)



De hoeveelheid geproduceerd slib in kilotonnen drogestof (DS) neemt vanaf 1980 sterk toe tot 2000. Dit is het gevolg van een toename van de bevolking in Nederland. Na 2000 neemt de geproduceerde hoeveelheid slib (in kton DS/j) iets af. Dit is toe te schrijven aan het meer en beter vergisten van slib. In 2021 werd ongeveer 85% van het slib in Nederland vergist. De afvoer van slib in kton/j neemt scherp af na 1990. In deze periode vindt een omslag plaats van slibindikking en afzet naar de landbouw naar slibontwatering met veel hogere droge-stofgehaltes en afzet naar stortplaatsen en verwerkingsinstallaties. Vanaf 2006 neemt de specifieke slibproductie af doordat meer slib wordt vergist of beter wordt vergist. Na 2000 blijft de hoeveelheid ontwaterd slib (in kton/j) redelijk stabiel zo rond de 1,4 - 1,5 miljoen ton/j. Deze stabiliteit valt voor een deel te verklaren doordat het DS-gehalte na ontwatering al 15 jaar nagenoeg stabiel blijft rond de 23 – 23,5% zoals is te zien in Figuur 5.

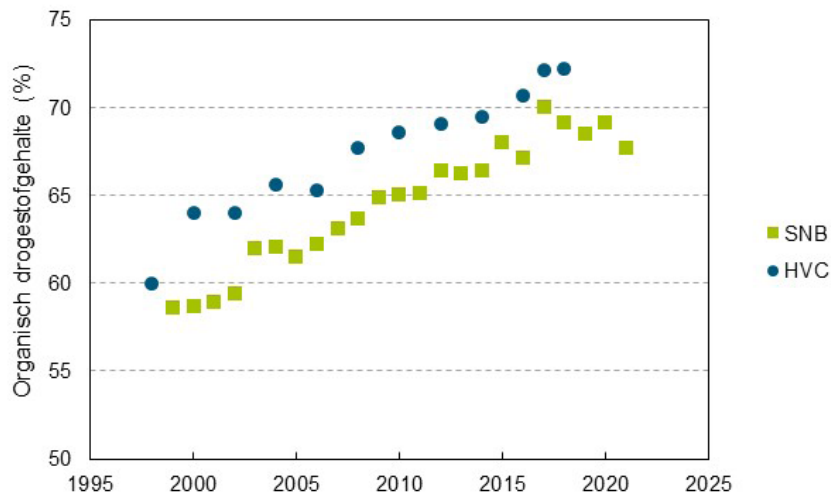
**FIGUUR 5** VERLOOP IN DROGESTOFGEHALTE VAN HET AFGEVOERDE ONTWATERDE SLIB IN NEDERLAND IN DE PERIODE 2006 – 2021 (BRON BVZ)



Het verloop in het ODS-gehalte in Nederland gaat vanuit de BVZ niet verder terug dan 2006, daarom is gebruik gemaakt van de historische gegevens die SNB en HVC in hun jaarrapporten hebben opgenomen. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 6.

FIGUUR 6

VERLOOP IN ORGANISCH DROGESTOFGEHALTE VAN HET AFGEVOERDE ONTWATERDE SLIB NAAR SNB EN HVC VOOR DE PERIODE 1998 – 2021 (BRON JAARVERSLAGEN SNB EN HVC)



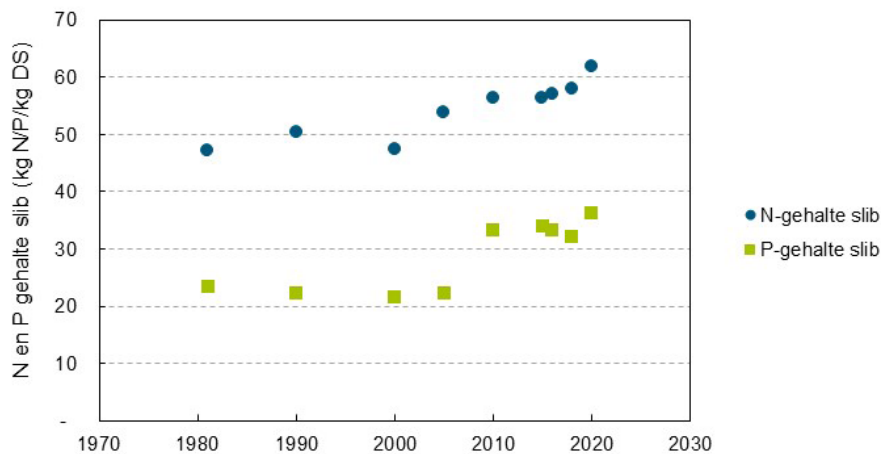
De toename in het ODS-gehalte is enigszins verrassend, omdat er steeds meer slib wordt vergist op de zuiveringen. Echter een andere trend is de toename in biologische P-verwijdering. Een daardoor lager verbruik van chemicaliën kan verklaren dat het ODS-gehalte toeneemt. Vanaf 2018 is een lichte daling van het ODS-gehalte te zien voor het slib dat bij SNB wordt aangeleverd, dit is waarschijnlijk het gevolg van een toename in chemicaliënverbruik voor de verwijdering van fosfaat om aan steeds strengere lozingseisen te voldoen en/of beter functionerende energiefabrieken<sup>9</sup>. De ratio tussen het DS-gehalte en ODS-gehalte van het slib bepaalt de energiebalans en de capaciteit van de installatie (zie verder paragraaf 3.7.1).

### 2.3.2 STIKSTOF- EN FOSFORGEHALTE SLIB

Het verloop in het stikstof- en fosforgehalte van al het slib in Nederland is weergegeven in Figuur 7.

FIGUUR 7

VERLOOP IN N- EN P-GEHALTE VAN HET AFGEVOERDE ONTWATERDE SLIB NAAR SNB EN HVC VOOR DE PERIODE 1998 – 2021 (BRON CBS)



Vanaf 2005 loopt het stikstof- en fosforgehalte van het geproduceerde slib in Nederland op. De stijging voor het fosforgehalte valt te verklaren door een toename van biologische fosfaatverwijdering op de zuiveringen. De stijging is mede het gevolg van de afname van de hoeveelheid geproduceerd slib (in tonnen DS), waardoor de concentratie fosfor in slib

<sup>9</sup> Unie van Waterschappen, 2022, Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2022.

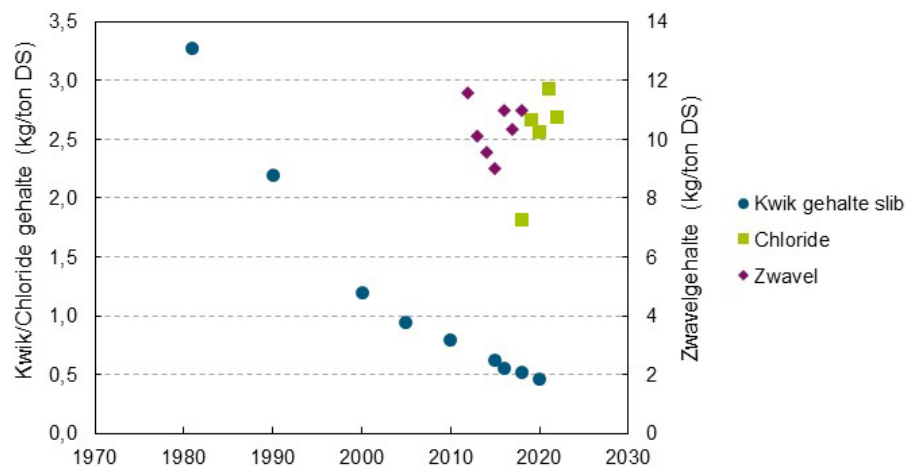
toeneemt. De toename in chemische fosfaatverwijdering vormt een ander deel van de verklaring. In de BVZ van 2021 bleek dat het specifieke chemicaliënverbruik voor fosfaat tussen 2015 en 2018/2021 met 10% is gestegen. Dit wordt ondersteunt door de stijging van het ijzergehalte in het slib dat naar SNB wordt afgevoerd. Het ijzergehalte nam daartoe van 25 g Fe per kg DS in 2017 naar 40 g Fe per kg DS in 2023.

De toename in stikstof valt lastiger te verklaren als aangenomen wordt dat het hier alleen gaat om organisch en/of chemisch (in vorm struviet) gebonden stikstof. Als bij de berekening van het stikstofgehalte van het slib rekening wordt gehouden met het opgeloste ammonium kan betere en verdergaande vergisting de stijging in het gehalte verklaren. De toename in fosforgehalte leidt niet direct tot uitdagingen bij de slibeindverwerking, maar verhoogt de kans op terugwinning van fosfor<sup>10</sup> uit de vliegias. Een toename van de hoeveelheid stikstof in het slib betekent dat er hogere kosten voor de verwijdering van stikstof uit het condensaat en de rookgassen zijn. In het geval van de rookgassen dient nog rekening te worden gehouden met strengere emissie-eisen voor stikstof naar de lucht.

### 2.3.3 KWIK, ZWAVEL EN CHLORIDE

Kwik en zwavel dat aanwezig is in slib komt in de rookgassen terecht (zie voor meer details paragraaf 5.2.3). Een hoger kwik- of zwavelgehalte leidt tot hogere kosten voor de reiniging van de rookgassen. Chloride heeft mogelijk een effect op de levensduur van een verbrandingsoven doordat chloride corrosief is. Het verloop van deze drie componenten is weergegeven in Figuur 8.

FIGUUR 8 VERLOOP KWIKGEHALTE (1980 – 2020; BRON CBS), CHLORIDEGEHALTE (2018 – 2022; BRON JAARVERSLAGEN SNB) EN ZWAVELGEHALTE (2012 – 2018; BRON JAARVERSLAGEN SNB) VAN SLIB



Het kwikgehalte in slib is sterk gedaald sinds 1980. De afname van kwik is het gevolg van nationaal en internationaal beleid om het gebruik van kwik steeds verder terug te dringen. Dit is een proces dat al vanaf de jaren negentig is ingezet en bijvoorbeeld in 2017 nog eens verder is uitgebreid<sup>11</sup>. De uitfasering van het gebruik van kwik is een voorbeeld van hoe een aanpak aan de bron leidt tot een verbetering van de kwaliteit van het slib. Het verloop in het chloridegehalte laat in 2019 een stijging zien ten opzichte van 2018. Het gehalte neemt toe van 1,8 g chloride per ton DS in 2018 naar 2,7 g chloride per ton DS in 2019, waarna het chloridegehalte stabiliseert. Een duidelijke oorzaak voor deze stijging is er niet te geven, ook

<sup>10</sup> Dit betreft zowel de biologisch- als chemisch gebonden fosfor.

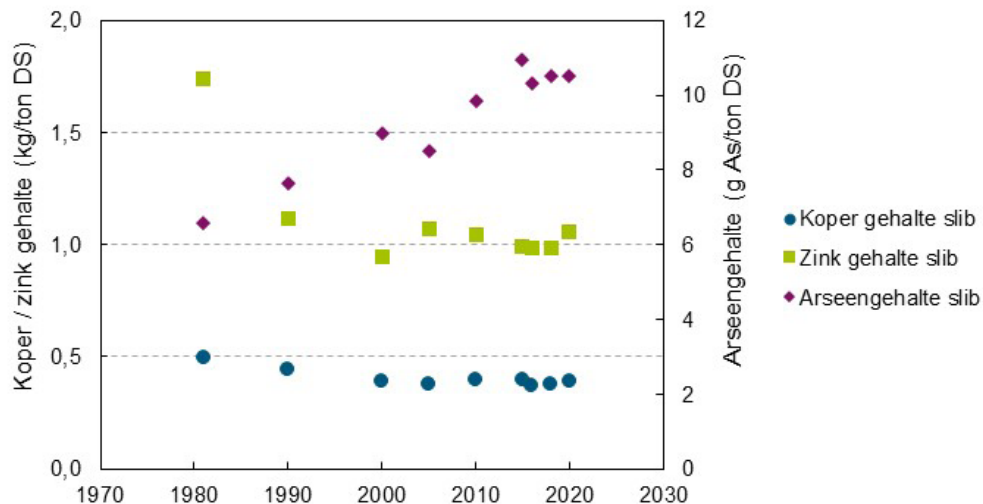
<sup>11</sup> Bron website infomil (bezoekt 7 maart 2024): Informatieblad Kwik - Kenniscentrum InfoMil

omdat er maar één datapunt lager ligt dan de rest. Een hoger chloridegehalte kan tot corrosie leiden in verbrandingsovens<sup>12</sup>. Het zwavelgehalte fluctueert in de tijd als gevolg van veranderingen in samenstelling van het influent (drinkwater en industriële lozingen), mogelijk ijzersulfaat dosering en grondwaterintrusies<sup>13</sup>.

#### 2.3.4 ZWARE METALEN

Zware metalen uit slib kunnen bij de eindverwerking van slib in verschillende fracties terecht komen. In paragraaf 5.2.3 en 7.3 wordt hier in meer detail op ingegaan. De zware metalen die in CBS-rapportages worden gerapporteerd zijn koper, chroom, zink, lood, cadmium, nikkel, kwik en arseen. Het verloop in gehalte wordt niet voor alle metalen weergegeven. Gekozen is om deze alleen te laten zien voor zink en koper gezien de link met mogelijke toepassing in de landbouw (zie paragraaf 4.4) en arseen omdat deze een aanzienlijke stijging laat zien (zie Figuur 9). De aanwezigheid van zware metalen kunnen een rol spelen bij de terugwinning van fosfor uit de vliegash. Dit kan betrekking hebben op de kwaliteit van de geproduceerde producten of de inrichting van het proces waar op een zeker moment verwijdering van zware metalen vereist is.

FIGUUR 9 VERLOOP KOPER-, ZINK-, EN ARSEENGEHALTE IN SLIB VOOR DE PERIODE 1980 – 2020 (BRON CBS)



Voor koper en zink is tussen 1980 en 1990 een daling te zien van het gehalte in slib, na die periode stabiliseert het gehalte van beide metalen in slib. Het kopergehalte in het slib laat een daling zien, mede door het toepassen van ontharding bij de productie van drinkwater en het plaatsen van steeds meer kunststofleidingen voor drinkwaterlevering in huizen. Het zink in slib is afkomstig van zinken dakgoten en uit afvalwater van de voedselverwerkende industrie. De stijging in arseen valt vooralsnog moeilijk te verklaren. Dit omdat arseen maar beperkt aanwezig is drinkwater doordat het er enerzijds helemaal niet in zit en anderzijds het aantal productielocaties met arseen beperkt is. Een hogere dosering van ijzerzouten aan bijvoorbeeld de slibgisting kan een deel van de verklaring zijn, omdat hierin arseen aanwezig is. Andere mogelijke bronnen zijn de intrede van grondwater (met arseen) in de riolering, of via voedingsmiddelen. Arseen komt bij de verbranding van slib terecht in het afvalwater van de verbrandingsinstallatie. Bij lozing van dit afvalwater na behandeling naar het oppervlaktewater of een zuivering kan dit tot problemen leiden voor de oppervlaktewaterkwaliteit.

<sup>12</sup> Bij SNB wordt deze stijging in chloride waargenomen, maar zijn nog geen signalen zichtbaar van corrosie in de verbrandingsoven (jaarverslag 2021).

<sup>13</sup> STOWA, 2011, Zwavel in de rwzi; autotrofe denitrificatie en zwavelterugwinning als zuiveringstechniek voor rwzi's – een haalbaarheidsstudie, rapportnummer 2011 – 21.

### 2.3.5 MICROVERONTREINIGINGEN

#### *Medicijnresten*

In de afgelopen vijf jaar is met het innovatieprogramma microverontreinigingen inzicht verkregen in de verwijdering van medicijnresten in het actiefslibsystemen, en in welke mate verwijdering mogelijk is met het toepassen van specifieke technologieën voor de verwijdering van medicijnresten. Gebleken is dat het gemiddelde verwijderingsrendement van zeven van de elf gidsstoffen 30- 40% bedraagt door voornamelijk adsorptie aan slib en deels omzetting (dit kan per zuivering nog wel verschillen)<sup>14</sup>. Bij toepassing van PACAS (poederkooldosering in de waterlijn) kan het totale verwijderingspercentage oplopen tot 70%<sup>15 16</sup>. Dit betekent dat poederkool ongeveer 30 – 40% extra medicijnresten uit het afvalwater verwijdert. Uit STOWA onderzoek is gebleken dat na vergisting aan slib of poederkool geadsorbeerde medicijnresten niet of nauwelijks vrijkomen in de gisting en aan het slib geadsorbeerd blijven<sup>17</sup>. Alle aan het slib en/of poederkool geadsorbeerde medicijnresten worden afgevoerd naar de slibeindverwerking.

#### *Microplastics*

Uit literatuur en uitgevoerd onderzoek is gebleken dat microplastics niet biologisch worden afgebroken, maar verwijderd worden met het primair- of secundair slib. Het verwijderingsrendement varieert daarbij tussen de 76% en 97%<sup>18</sup>. Niet bekend is wat de invloed is van slibgisting op de aanwezigheid van microplastics in uitgegist slib en hoeveel uiteindelijk naar de eindverwerking wordt afgevoerd. Vanuit de nieuwe EU richtlijn stedelijk afvalwater (goedgekeurd in februari 2024) wordt voorgeschreven om de aanwezigheid van microplastics in het influent van een zuivering (> 10.000 i.e.) te gaan monitoren. Dit geeft de mogelijkheid om meer inzicht in de aanwezigheid van microplastics in slib te verkrijgen, mits een goede analysemethode beschikbaar is.

#### *PFAS*

In 2021 is onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van PFAS in het influent, effluent en het slib. Uit dit onderzoek blijkt dat het aandeel PFAS dat met het slib wordt afgevoerd sterk kan verschillen tussen zuiveringen, er is onder andere variatie in de tijd en per type PFAS. Er is een variatie gevonden van 3 tot 40% van de influentvracht<sup>19</sup>. Net als voor de microplastics wordt voor PFAS monitoring voorgeschreven vanuit de herziene richtlijn stedelijk afvalwater.

In paragraaf 5.2.3 en 7.3 wordt in meer detail ingegaan wat met de verschillende microverontreinigingen gebeurt bij de eindverwerking van slib.

14 STOWA, 2020, Verwijdering van organische microverontreinigingen; Handvatten voor de keuze van behandelings-techniek in combinatie met de benodigde hydraulische capaciteit, rapportnummer 2020 – 06.

15 STOWA, 2018, PACAS – Poederkooldosering in actiefslib voor verwijdering van microverontreinigingen, rapportnummer 2018 – 02.

16 In de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater wordt een verwijderingsrendement van 80% ge-eist, waarvoor een hogere poederkooldosering nodig is

17 STOWA, 2023, Vrijkomen van microverontreinigingen bij vergisting van zuiveringsslib met PAK, rapportnummer 2023 – 31.

18 STOWA, 2021, Verkenning van verwijderingsroutes microplastics in de rwzi, rapportnummer 2021-50

19 STOWA, 2021, PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib, resultaten van een meetcampagne op acht rwzi's, rapportnummer 2021 – 46.



# 3

## ONTWIKKELINGEN EN IMPACT OP INRICHTING TOEKOMSTIGE SLIBEINDVERWERKING

### 3.1 ONTWIKKELING - AFVALWATERAANBOD

Het afvalwateraanbod neemt toe door groei van de bevolking en de groei in industriële activiteiten. De groei in bevolking is te achterhalen op basis van de databank van het CBS. Tussen 2025 en 2050 wordt een groei verwacht van 9%. De groei in industriële activiteiten is lastiger in te schatten. Vanaf 2006 tot en met 2021 is het aantal geloosde v.e. via bedrijven met 9% gestegen (bron BVZ). Als ervan uit wordt gegaan dat deze groei ook geldt voor de periode tot 2050, neemt het afvalwateraanbod tot 2050 met 18% toe. Dit resulteert in een afvalwateraanbod van 31,7 miljoen i.e. In 2021 bedroeg het afvalwateraanbod 26,8 miljoen i.e. Gezien het belang van goede afvalwaterprognoses loopt er STOWA programma naar deze prognoses<sup>20</sup>.

### 3.2 ONTWIKKELING - BELEIDSKADER

#### 3.2.1 HERZIENING RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER

In februari 2024 is de nieuwe aangepaste richtlijn aangenomen door het Europees parlement en is deze eind 2024 definitief vastgesteld. Voor dit rapport is uitgegaan richtlijn zoals deze door de EU in 2024 is definitief is vastgesteld. De belangrijkste aanpassingen/aanvullingen (op hoofdlijnen) op de huidige richtlijn zijn:

- Strengere normen voor de lozing van stikstof en fosfor (artikel 7), waarbij het volgende geldt:
  - een eis<sup>21</sup> van 0,7 mg P/l en 10 mg N/l voor zuiveringen tussen de 10.000 en 150.000 i.e.; in 2045 dienen al deze zuiveringen aan deze eisen te voldoen;
  - een eis<sup>22</sup> van 0,5 mg P/l en 8 mg N/l voor zuiveringen groter dan 150.000 i.e.; in 2039 dienen al deze zuiveringen aan deze eisen te voldoen;
- Verwijdering van microverontreinigingen met een rendement van 80% (artikel 8). Deze norm geldt voor alle zuiveringen groter dan 150.000 i.e. en voor zuiveringen groter dan 10.000 i.e. als deze lozen op kwetsbaar water; in 2045 dienen al deze zuiveringen aan deze eisen te voldoen;
- Verantwoordelijkheid producenten van microverontreinigingen (artikel 9): van deze producenten wordt verwacht dat zij ten minste 80% van de kosten (investerings- en operationeel) dragen die nodig zijn om aan de eisen gesteld in artikel 8 (zie punt hierboven) te voldoen;

<sup>20</sup> <https://waterketeninbeeld.geoatlas.nl/app/map/2>

<sup>21</sup> Hierbij hoort nog een minimaal verwijderingspercentage van 87,5% voor fosfor en 80% voor stikstof voor de zuiveringen tussen 10.000 en 150.000 i.e. Voor zuiveringen groter dan 150.000 i.e. geldt een minimaal verwijderingspercentage van 90% voor fosfor en 80% voor stikstof. De weergegeven i.e. betreft in de richtlijn 60 g BZV.

<sup>22</sup> European commission, Brussels, 22.05.23, Commission Staff Working Document, Evaluation, Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, SWD(2023) 157 Final.

- Zuiveringen groter dan 10.000 i.e. dienen op nationaal niveau in 2045 energieneutraal zijn, waarbij zij net zoveel duurzame energie opwekken als dat ze gebruiken (artikel 11);
- Monitoring van de broeikasgassen methaan en lachgas, hetzij via metingen, hetzij via berekening/modellering (artikel 21);
- Aanmoediging om via slib grondstoffen terug te winnen, vooral stikstof en fosfaat, maar daarbij wordt gesteld om de negatieve effecten op mens en milieu te minimaliseren (artikel 20); in het geval het slib naar de landbouw wordt afgezet dient deze gemonitord te worden (artikel 21);
- Monitoring van het influent en effluent op onder andere PFAS en microplastics (artikel 21);

### 3.2.2 HERZIENING RICHTLIJN SLIBVERWERKING

Begin 2024 is nog niet duidelijk of er op korte termijn (0 – 5 jaar) een herziening komt van de richtlijn slibverwerking. Wel is er al een evaluatie verschenen van de huidige richtlijn (uit 1986)<sup>23</sup> en is door de JRC (Joint Research Centre) een haalbaarheidsstudie uitgevoerd ter ondersteuning aan een mogelijk herziening van de richtlijn<sup>24</sup>. Sinds het begin van de richtlijn is nog nooit een herziening uitgevoerd. Dit terwijl er de afgelopen veertig jaar veel ontwikkelingen hebben plaatsgevonden. Dit was aanleiding voor de Europese Commissie (EC) om een evaluatie van de richtlijn uit te voeren. De evaluatie stelt dat de richtlijn een onverwacht positief effect had, namelijk dat toepassing van slib in de landbouw leidt tot netto minder uitstoot van CO<sub>2</sub>, een positief effect. Onverwachte negatieve effecten worden ook genoemd namelijk: antibioticaresistentie bij gebruik van slib in de landbouw, net als de aanwezigheid van microplastics in de bodem, de emissie van methaan en de aanwezigheid van andere verontreinigingen die niet in de richtlijn staan. De JRC-studie stelt dat de huidige richtlijn uit de jaren tachtig niet meer in lijn is met twee belangrijke beleidsdoelen van de EU. Het gaat hierbij om bescherming van de volksgezondheid, het milieu en de circulaire economie. Wat betreft de eerste doelstelling gaat het om zorgen over vervuiling van de grond en de daarop geteelde landbouwproducten. Invulling geven aan de circulaire economie via slibverwerking gaat vooral over het behoud van fosfor in de nutriëntencyclus. Vanuit deze vaststelling zijn twee beleidsopties nader uitgewerkt:

- Monitoring en controle van slib afgevoerd naar de landbouw, inclusief het recyclen of terugwinnen van fosfor;
- Het veiligstellen van de volksgezondheid en het milieu en terugwinning van fosfor door slibverbranding gevolgd door fosforterugwinning verplicht te stellen.

De voordelen die bij de verbranding van slib worden genoemd zijn:

- Een effectieve techniek die organische microverontreinigingen, pathogenen en microplastics elimineert;
- Teruggewonnen “fosfor kunstmest” uit de as na slibverbranding heeft een hogere agronomische waarde dan de fosfor uit slib;
- Kortere transportafstanden voor het toepassen van fosfor uit verbrandingsassen;
- Hogere werkgelegenheid.

Nadelen zijn dat andere nutriënten zoals stikstof en organisch materiaal niet langer beschikbaar zijn voor gebruik in de landbouw, en de investerings- en exploitatiekosten hoger liggen. Tegelijkertijd wordt in de studie gesteld dat de bijdrage van slib aan het terugbrengen

<sup>23</sup> JRC Science for policy report, 2023, Feasibility study in support of future policy developments of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC), ISSN 1831 – 9424. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC134591>

<sup>24</sup> Voor locatiespecifieke situaties kan het op land brengen van slib een optie zijn.

van koolstof naar de landbouw<sup>25</sup> niet significant is ten opzichte van mest en biologisch afval.<sup>23</sup> In bijlage 3 zijn hierover in Figuur 25 meer details over opgenomen.

### 3.2.3 WETTELIJKE VERPLICHTINGEN AFVALVERWERKING

Communaal zuiveringsslib wordt in Nederland gedefinieerd als een afvalstof. De verwerking van slib valt daarmee onder de wetgeving voor afvalbeheer- en verwerking.

#### LAP-3

Het Europese beleid ten aanzien van afvalverwerking is in Nederland vertaald naar het LAP-3 (Landelijk Afvalbeheer Plan). De planning was dat in 2023 dit plan zou worden vervangen door het eerste circulaire materialen plan. Aangezien dit plan nog in ontwikkeling is, is de planperiode voor LAP-3 verlengd tot en met 29 december 2025. In het huidige LAP-3 is de minimumstandaard:

- Thermisch verwerken, al dan niet na voordrogen, leidend tot de (thermische) oxidatie van het organisch materiaal. Voorbeelden hiervan zijn:
  - verbranding in verschillende typen installaties (slibverbrandingsinstallaties (SVI), cementoven, energiecentrale of AVI), al dan niet in combinatie met biologische dan wel thermische voordroging;
  - vergassen gevolgd door nuttige toepassing van het verkregen as;
- Inzet (van slib) als hulpstof in Hydrostab<sup>26</sup>. Hydrostab wordt toegepast als minerale afdichting in de bovenafdichting van stortplaatsen<sup>27</sup>.
- Terugwinnen van stoffen uit slib (bijvoorbeeld fosfaat, bioplastic, biopolymeren etc.) met de kanttekening dat het residu wat overblijft na terugwinning niet mag worden gestort;

#### *Doel en status circulair materialen plan*

Het nieuwe circulair materialen plan (CMP) is een naamswijziging van het 'Landelijk Afvalbeheerplan'. Met de nieuwe naam wordt een betere aansluiting van de transitie naar een circulaire economie beoogd. Het doel van het CMP is om innovatie voor een circulaire economie te stimuleren door ambitieuze normen vast te leggen, maar bedrijven ook uit te dagen of te belonen om beter te presteren dan de minimumstandaarden voor verwerking van afval. In 2024 volgt een zienswijzenprocedure CMP en M.E.R. Het streven is om CMP1 in 2025 in werking te laten treden. Bij het verschijnen van dit rapport is nog niet bekend wat en of er aanpassingen zijn gedaan aan de eisen die aan de verwerking van communaal worden gesteld.

De volgende verwerkingsvormen zijn nadrukkelijk niet toegestaan: natte oxidatie en pyrometallurgisch smelten, drogen of anderszins verwerken voorafgaand aan storten.

Bij het vaststellen van de minimumstandaard zijn de BBT-referentiedocumenten (BREFs) betrokken. In de BREFs zijn de best beschikbare technieken beschreven voor in dit geval de verwerking van zuiveringsslib afkomstig uit communale afvalwaterinstallaties. Gesteld wordt dat de minimumstandaard in overeenstemming is met de betreffende BBT-conclusies<sup>28</sup>. Voor (nieuwe) technologieën die niet in LAP-3 zijn genoemd is het verplicht een mLCA (multi-

<sup>25</sup> Hydrostab is een mengsel van reststoffen waaraan waterglas (natriumsilikaat) is toegevoegd

<sup>26</sup> Alterra, Wageningen 2005, Duurzaamheid Hydrostab; een veldonderzoek en een prognose.

<sup>27</sup> BREF en BBT documenten zijn onder andere te vinden op de website van de Europese Commissie. Links daartoe zijn bijvoorbeeld via deze pagina te vinden: <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/toelichting-milieubelastende-activiteiten/vergunning-milieubelastende-activiteit/ipcc/bbt-conclusies-per-ipcc-categorie/>

<sup>28</sup> BREF en BBT documenten zijn onder andere te vinden op de website van de Europese Commissie. Links daartoe zijn bijvoorbeeld via deze pagina te vinden: <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/toelichting-milieubelastende-activiteiten/vergunning-milieubelastende-activiteit/ipcc/bbt-conclusies-per-ipcc-categorie/>

cyclus Life Cycle Assessment) uit te voeren inclusief een ‘second opinion’ om een omgevingsvergunning milieu te krijgen<sup>29</sup>. Een omgevingsvergunning milieu wordt verkregen als de (nieuwe) technologie tenminste een gelijkwaardige milieu-impact heeft als de minimumstandaard. In LAP-3 staat voorgeschreven hoe en met welke methoden de mLCA dient te worden uitgevoerd.

Multi-cyclus betekent dat niet naar één levenscyclus wordt gekeken, maar naar meerdere. Dit wordt gedaan door te bepalen waar het product van een nieuwe technologie wordt toegepast. De milieu-impact van de toepassing van het product tot einde levensduur wordt meegenomen in de berekening van de totale milieu-impact van de technologie<sup>30</sup>. Bij het uitvoeren van de mLCA wordt alleen gekeken naar de stoffen waarvan de milieu-impact door emissie naar lucht, water en grond is opgenomen in de LCA-methodiek. De impact van zeer zorgwekkende stoffen zoals microplastics en PFAS vormen geen onderdeel van de mLCA. De effecten van een (nieuwe) technologie dient (door de ontwikkelaar van die technologie) daarop apart geanalyseerd te worden voor vergunningverlening. Een belangrijke randvoorwaarde voor de geldigheid van de mLCA-resultaten is dat de toepassing van een product gecertificeerd wordt.

#### *Emissie-eisen rookgassen slibverbrandingsinstallatie*

Met de ingang van de omgevingswet (2024) zijn de emissiewaarden voor de rookgassen uit slibverbrandingsinstallatie aangescherpt, zoals is vastgelegd in het besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Bij de verbranding van slib gaat het hierbij om ammonia en NO<sub>x</sub> eisen. Wel kunnen hiervoor nog maatwerkvoorschriften worden aangevraagd. Hoe dit zich ontwikkelt moet nog blijken uit de praktijk.

### **3.2.4 AFVALSTOFFENHEFFING**

Per 1 januari 2015 is de afvalstoffenbelasting uitgebreid tot afvalstoffen die worden verbrand in een inrichting waar huishoudelijk afval, gemengd bedrijfsafval of gemengd sorteeresidu mag worden verbrand. Tijdens de parlementaire behandeling van het Belastingplan 2015 is de afvalstoffenbelasting aangevuld met een vrijstelling voor zuiveringsslib<sup>31</sup>. In 2016 is duidelijk geworden dat de vrijstelling op zuiveringsslib door de EU niet gezien wordt als staatssteun<sup>32</sup>. Vanaf dat moment geldt de vrijstelling met terugwerkende kracht vanaf 1 januari 2015. Dit geldt voor zowel de verbranding van zuiveringsslib in Nederland als daarbuiten. Het is richting de toekomst denkbaar dat de vrijstelling voor de verbranding van zuiveringsslib komt te vervallen.

### **3.2.5 VERPLICHTINGEN EN AMBITIES RONDOM THEMA DUURZAAMHEID**

#### *Klimaatakkoord*

In 2010 en in 2019 hebben de waterschappen een Klimaatakkoord getekend met het Rijk. In dit akkoord stonden de ambities van de waterschappen ten aanzien van onder andere klimaatverandering en energieverbruik. De voortgang wordt sinds 2010 gemonitord in de

29 CE Delft, april 2022, mLCA Mid Mix, Multilevenscyclusanalyse van Mid Mix proces en vier nabewerkingsroutes, publicatienummer: 22.210286.061

30 Voorbeeld: het gebruik van bedas (na monoverbranding slib) als vervanger van zand in asfalt. De positieve milieu-impact van de vervanging van zand wordt meegenomen, maar ook de negatieve milieu-impact voor het frezen van asfalt wordt meegenomen. Dit is de ‘m’ in de mLCA. De LCA betreft de milieu-impact van de productie van de bedas. Meer informatie is te vinden in de mLCA van MID MIX: CE\_Delft\_210286\_mLCA\_MID\_MIX\_Def.pdf (cedelft.eu). De informatie in de paragraaf van voetnoot 15 is ook afkomstig uit dit rapport.

31 Bron: Brief staatssecretaris aan de eerste kamer d.d. 23 juni 2015, Wijziging van enkele belastingwetten en enige andere wetten (Belastingplan 2015).

32 Bron: Brief staatssecretaris aan de eerste kamer d.d. 11 januari 2016, Wijziging van enkele belastingwetten en enige andere wetten (Belastingplan 2016)

Klimaatmonitor. In het Interbestuurlijk programma (IBP 2018) en het Klimaatakkoord (2019) zijn de afspraken gemaakt richting 2030. De belangrijkste twee afspraken die raken aan de slib(eind)verwerking zijn<sup>33</sup>:

- 100% energieneutraal in 2025 met opwekking van duurzame energie;
- Bijdragen aan productie van groengas.

In 2022 is door de Unie van Waterschappen een strategische visie opgesteld “Op weg naar klimaatneutraliteit”<sup>34</sup>. In deze visie zijn de ambities uit het klimaatakkoord (uit 2010) verder verscherpt. Dit is vertaald naar de volgende vijf pijlers:

- Waterschappen zijn energieneutraal in 2025;
- Waterschappen kennen hun klimaatvoetafdruk en streven naar klimaatneutraliteit in 2035;
- Waterschappen dragen in de regio bij aan klimaatneutraliteit vanuit hun maatschappelijke verantwoordelijkheid;
- Waterschappen benutten de transitie naar een circulaire economie als integraal onderdeel van klimaatbeleid;
- Waterschappen benutten meekoppelkansen voor andere opgaven.

Met de ambitie om in 2025 energieneutraal te zijn lopen de Nederlandse waterschappen ver vooruit op de eis van energieneutraliteit in 2045 uit de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater (zie paragraaf 3.2.1). Wel is het goed om daarbij bewust te zijn van een verschil in afbakening van de afvalwater- en slibketen waarin die energieneutraliteit behaald dient te worden. Sinds de MJA-3 maakt in Nederland de eindverwerking van slib onderdeel uit van de ambitie om in 2025 energieneutraal te zijn. Dit is logisch omdat bij de eindverwerking van slib energie nodig is, maar productie van energie ook mogelijk is. Het slib dat bij de eindverwerking aankomt bevat vaak nog 40 – 60% ODS, afhankelijk van of het slib wordt vergist of de mate waarin het slib wordt vergist. De nog aanwezige organische droge stof in slib vertegenwoordigt nog een hoeveelheid energie die kan bijdragen aan de ambities rondom energie- en klimaatneutraliteit (zie eenvoudig rekenvoorbeeld hieronder). Vanuit Nederlands perspectief blijft een systeemgrens om de zuiveringen én de slibeindverwerking heen de meest logische keuze om de ambitie van energieneutraal te realiseren. Dit is zo opgenomen in de gemaakte afspraken rondom energie-efficiency (MJA-3) en klimaatneutraliteit.

In het klimaatakkoord uit 2019 is vastgelegd dat de waterschappen bijdragen aan de productie van groengas. Dit is verder geconcretiseerd in de “Strategische visie unie van waterschappen” en het versnellingsprogramma “Groen Gas”. De waterschappen hebben daarbij de ambitie uitgesproken om in 2030 minstens 75% van de totale biogasproductie om te zetten naar groengas<sup>33</sup>. Een recente ontwikkeling, de netcongestie, maakt het halen van deze ambitie uitdagend. Bij een verhoogde elektriciteitsvraag (bijvoorbeeld een extra nabehandlingsstap) kan het voor een waterschap noodzakelijk zijn de WKK-installatie langer in bedrijf te houden om voldoende elektriciteit voor de zuivering op te wekken, met als gevolg dat pas later volledig naar groengasproductie kan worden overgeschakeld. WKK’s worden nog aangehouden als reserve energiegenerator.

<sup>33</sup> Unie van Waterschappen, Arcadis, 22 september 2023, Klimaatmonitor Waterschappen; Verslagjaar 2022.

<sup>34</sup> Unie van Waterschappen, 14 oktober 2022, Strategische Visie Unie van Waterschappen “Op weg naar klimaatneutraliteit”.

**SLIB ALS BRON VAN ENERGIE – EEN VOORBEELD (OP BASIS VAN SLIBSTRATEGIESTUDIE WBL)**

Na vergisting is 40 tot 60% van de in het slib aanwezige energie nog aanwezig. Om deze energie nuttig in te zetten is het de uitdaging om het verdampen van het aanwezige water zo duurzaam mogelijk uit te voeren en daarvoor zo min mogelijk energie uit het slib voor te gebruiken. Een manier om dat te doen is het drogen van slib met warmte die nu en in de nabije toekomst niet nuttig wordt ingezet, en via een schoorsteen verdwijnt. Los van de haalbaarheid van deze mogelijkheid, laat het drogen van slib met afvalwarmte de potentie zien van de bijdrage van slib aan de energie- en klimaatdoelstellingen.

Voor het drogen (tot 90% DS) en het daarna verbranden is energie nodig voor de verdamping van water en de installaties zelf. De verbranding van dit slib levert energie op, dat als warmte nuttig kan worden ingezet bij bijvoorbeeld huishoudens of een industrie, en het verbruik van aardgas daar kan vervangen. Voor slib dat een DS heeft van 23% en een ODS gehalte van 60% kan de netto energiebalans  $-1,4 \text{ GJ/ton}_{\text{slib}}$  bedragen.

Het proces levert dan netto energie op. Omgerekend naar aardgas kan vanuit deze hoeveelheid energie bijna 4,5 miljoen  $\text{m}^3$  aardgas worden bespaard. Dit levert een  $\text{CO}_2$  besparing op van 0,08 ton  $\text{CO}_2$  per ton slib op. Voor de verwerking van 100.000 ton slib per jaar betekent dit een besparing van 8.400 ton  $\text{CO}_2$  per jaar.

Bovenstaand voorbeeld laat zien hoe energieneutraliteit in samenhang is te zien met  $\text{CO}_2$  neutraliteit. Het reduceren van de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  is immers het uiteindelijke doel van energieneutraliteit. Bij het invullen van klimaatneutraliteit is het goed om verder te kijken dan alleen de energiecomponent, maar ook te kijken naar hulp- en grondstoffen en emissies van broeikasgassen. In paragraaf 5.2.1 is uiteengezet hoe dit verder is in te vullen.

*Circulaire economie*

Met het meenemen van het verbruik van grondstoffen in een  $\text{CO}_2$  balans raakt klimaatneutraliteit ook aan de doelstellingen rondom circulariteit. In het grondstoffenakkoord dat o.a. door de waterschappen is getekend is afgesproken dat er in 2050 sprake is van een volledig circulaire economie. Het terugwinnen van grondstoffen en het reduceren van het gebruik van fossiele hulpstoffen zijn onderdeel bij het invullen van 100% circulariteit in 2050. Voor die invulling van 100% circulariteit kan slib een belangrijke rol spelen. Immers met het terugbrengen van slib naar de landbouw kan organische stof en nutriënten terug worden gebracht in de cyclus van voedselproductie – afvalwaterproductie en zuivering. Echter door de aanwezigheid van een grote diversiteit aan vervuiling zoals zware metalen, PFAS, andere ZZS, en microplastics is dit onwaarschijnlijk (zie paragraaf 4.4). Een aanpak aan de bron die al door verschillende waterschappen wordt opgepakt draagt wel bij aan een verbetering van de slibkwaliteit. De aandacht voor de rol van de producenten van microverontreinigingen in de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater kan dit proces mogelijk verder versnellen. Echter of dit zichtbaar wordt in de kwaliteit van het slib is zeer de vraag. Na uitfasering van een stof duurt het nog tientallen jaren voordat deze niet meer zichtbaar is in het slib of het milieu.

### REDUCTIE FOSSIEL PE VERBRUIK

Polymeer op fossiele basis wordt nu gebruikt voor het indikken en ontwateren van slib. Om het gebruik van dergelijke fossiele hulpstoffen te verminderen wordt enerzijds gekeken naar groene alternatieven voor fossiele polymeren en anderzijds wordt gekeken naar het verminderen van het verbruik van de fossiele polymeren. Een STOWA onderzoek uit 2016<sup>35</sup> laat zien dat groene polymeren vooralsnog mogelijk toepasbaar zijn voor slibindikking, maar nog niet voor slibontwatering. Optimalisatie van de slibontwatering, door onder andere meer aandacht voor bijvoorbeeld de instelling van de machine, de PE aanmaak etc. kan het verbruik van PE bij de ontwatering verlagen. Zonder het gebruik van PE leidt dit naar verwachting tot een lager drogestofgehalte van het ontwaterde slib, met als gevolg meer slibtransport en mogelijk knelpunten in de verwerkingscapaciteit.

#### *Robuust plan slibeindverwerking*

In 2020 is het “Robuust Plan Slibeindverwerking” opgesteld<sup>36</sup>. De concrete aanleiding voor dit plan was het plotseling wegvallen van de mogelijkheid om in Duitsland slib te verwerken en het wegvallen van de verwerkingscapaciteit bij AEB. In dit plan is onder andere afgesproken dat:

- elk individueel waterschap zorgt voor een gezonde bedrijfsmatige capaciteit waarbij de aanvoer en de eindverwerking van slib in balans zijn;
- als collectief zorgen de waterschappen voor het beschikbaar hebben van incidenten-capaciteit;
- de waterschappen blijven inzetten op het verder verduurzamen van de slibeindverwerking door middel van innovaties en optimalisaties.

#### *CO<sub>2</sub>-heffing bij verbranding*

In Duitsland wordt vanaf 1 januari 2024 een CO<sub>2</sub> belasting ingevoerd bij de verbranding van afval. Dit geldt voor zuiveringsslib als dit wordt mee verbrand in een kolencentrale. Bij het vaststellen van de heffing wordt nog wel onderscheid gemaakt tussen het biogene en niet-biogene deel van het slib. In Duitsland wordt 80% van het slib als biogeen gezien en 20% als niet-biogeen (denk aan aanwezigheid PE en mogelijk poederkool).

Over deze 20% dient bij verbranding in een kolencentrale een CO<sub>2</sub> heffing te worden betaald. Om gebruik te mogen maken van deze 80 – 20% verdeling dient 50% van het zuiveringsslib voort te komen uit aangesloten huishoudens<sup>37</sup>. In 2024 gaat het om een prijs van 40 €/ton CO<sub>2</sub> en in 2025 wordt dit 50 €/ton CO<sub>2</sub><sup>38</sup> (speelt nu alleen bij co-verbranding). Wat de ontwikkelingen in Duitsland op termijn betekenen voor het verbranden van Nederlands slib in Duitse monoverbrandingsinstallatie is nu nog niet duidelijk. Hetzelfde geldt voor de vraag of een dergelijke heffing in Nederland via EU-regelgeving gaat gelden.

35 STOWA, 2016, ‘Groen’ Poly-elektrolyt, rapportnummer 2016-14.

36 Unie van Waterschappen, VvZB, 25 november 2020, Samen op weg naar een robuuste en duurzame slibeindverwerking.

37 Informatie uit deze paragraaf is afkomstig van: DEHSt, mei 2020, Überwachung und Berichterstattung; Was ist neu ab 2021?

38 Informatie uit deze paragraaf is op 22 december 2023 gevonden op de volgende website: German CO<sub>2</sub> tax will change European waste streams | Envirotec (envirotecmagazine.com)

### 3.3 ONTWIKKELINGEN - INRICHTING AFVALWATER- EN SLIBKETEN

Hoe de inrichting van de slibeindverwerking in 2050 er uit gaat zien, blijft een uitdaging, omdat we nu eenmaal geen glazen bol hebben om in de toekomst kijken, maar we kunnen wel terugkijken. In 2010 is door STOWA een visie opgesteld voor de afvalwater- en slibketen van 2030<sup>39</sup>. Vanuit een analyse van trends en ontwikkelingen zijn de vier belangrijkste thema's (invloedsfactoren) vastgesteld. Deze thema's zijn:

- Effluentkwaliteit → Waterfabriek
- Energieneutraal → Energiefabriek
- Nutriëntenterugwinning → Nutriëntenfabriek, snel daarna grondstoffenfabriek genoemd

De thema's (inclusief kosten) die destijds zijn benoemd zijn nu nog steeds zeer actueel, ze zijn duidelijk terug te zien in de ontwikkelingen die eerder in dit hoofdstuk zijn besproken. Met het initiatief van de grondstoffenfabriek werd toen al een eerste stap gezet naar circulariteit, een thema dat in 2010 nog niet zo werd benoemd, maar nu steeds meer aandacht krijgt.

#### 3.3.1 EFFLUENTKWALITEIT

Het verbeteren van de effluentkwaliteit is en blijft een belangrijk thema voor de toekomst. In 2024 wordt nog druk gewerkt aan het behalen van de KRW-doelstellingen uit 2000. Sinds 2010 is er steeds meer aandacht gekomen voor nieuwe organische microverontreinigingen, naast toen vooral medicijnresten en hormonen, tegenwoordig is er aandacht voor PFAS en andere zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). In de herziene richtlijn stedelijk afvalwater is te zien dat dit concreet wordt gemaakt voor PFAS en microplastics. Dankzij het STOWA innovatieprogramma microverontreinigingen zijn grote stappen gezet in het onderzoek naar doelmatige en duurzame verwijdering van microverontreinigingen. Met een steeds grotere focus op het verwijderen van microverontreinigingen wordt het effluent steeds schoner. Parallel aan deze ontwikkeling staat, dat de vraag naar schoonwater steeds meer toeneemt. In Nederland wordt hierbij gekeken naar het opwaarderen van effluent naar bijvoorbeeld industrie- of drinkwater (Ultieme waterfabriek)<sup>40</sup>.

Met het concept van de "waterfabriek" ligt de focus op de productie van schoon water (en andere grondstoffen) die voor diverse toepassingen van droogtebestrijding tot industriewater kan worden ingezet<sup>41</sup>. Bij de "waterfabriek", zoals in Wilp getest worden alleen fysisch chemische technologieën ingezet die een impact hebben op de slibkwantiteit- en kwaliteit.

#### SLIB ALS STOFZUIGER VAN DE BIOLOGISCHE AFVALWATERZUIVERING

Zware metalen zoals koper en zink, maar ook diverse organische microverontreinigingen adsorberen aan het slib. Dit voorkomt dat dergelijke ZZS niet in het watermilieu terecht komen. Bij verbranding van dit slib komen deze verontreinigingen in de bedas terecht of worden ze omgezet naar CO<sub>2</sub> en water. De vastgelegde verontreinigingen zijn geïmmobiliseerd, en komen niet meer in het milieu terug. Daardoor is nuttige toepassing van deze bedas in bijvoorbeeld de asfaltindustrie mogelijk. Biologisch slib speelt hiermee een belangrijke rol in het beperken van emissies vanuit de waterketen naar het (water) milieu.

39 STOWA, 2010, Op weg naar de rwzi 2030, NEWater, rapportnummer 2010 – 11.

40 In het project 'De Ultieme Waterfabriek' laten waterschappen en drinkwaterbedrijven gezamenlijk zien hoe en onder welke voorwaarden gezuiverd rioolwater (rwzi-effluent) rechtstreeks kan worden gebruikt als bron voor drinkwater. Het project is gestart in 2021 en loopt door tot in 2026.

41 Het principe van de "Waterfabriek" is in 2019-2020 als pilot bij Vallei en Veluwe getest.



### 3.3.2 ENERGIE- EN KLIMAATNEUTRALITEIT

Met het thema energieneutraliteit is de sector gestart vanaf 2008 (start MJA-3). Gezamenlijk is afgesproken om in 2025 100% energieneutraal te zijn. In 2022 bedroeg het percentage zelfvoorzienend 64,3%, waarbij de opwekking van biogas uit slib de belangrijkste bijdrage leverde (70%)<sup>32</sup>. De toenemende biogasproductie is terug te zien in de mate van vergisting in Nederland. Bedroeg deze in 2012 nog maar 71%, in 2021 bedroeg deze 86%<sup>42</sup>. Kort na de afspraken die in de MJA-3 over energie zijn gemaakt, hebben de waterschappen in 2010 een klimaatakkoord met het Rijk opgesteld. Later, in 2019 is dit onderdeel geworden van het landelijke klimaatakkoord. Op 14 oktober 2022 is vastgesteld dat de waterschappen al in 2035 klimaatneutraal willen zijn. Voor 2030 is daarbij afgesproken om:

- 50% reductie van de emissie van lachgas
- 80% reductie van methaanverliezen bij slibvergisting

Met het inkopen van groene stroom uit Nederland hebben de waterschappen al een grote stap gezet in het reduceren van de CO<sub>2</sub> voetafdruk. Voor het reduceren van de emissies van methaan en lachgas is nog meer tijd nodig. Met het in 2022 opgestelde plan van aanpak voor de reductie van methaanemissie na de gisting en het versnellingsprogramma lachgas zijn hier al wel belangrijke stappen in gezet. Richting de toekomst is en blijft vergisting een belangrijk onderdeel zijn bij het bereiken van de energie- en klimaatdoelstellingen en om invulling te geven aan “Routekaart Groen Gas”.

Vanuit de internationale regelgeving (IPCC) ligt de focus op het terugdringen van langcyclische CO<sub>2</sub>, ofwel CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen. De CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij verbranding van biogene stromen (kort-cyclische CO<sub>2</sub> genoemd) wordt niet meegenomen in de (inter)nationale rapportages over de CO<sub>2</sub> uitstoot. Mogelijk dat dit in de toekomst verandert.

### 3.3.3 NUTRIËNTEN- EN GRONDSTOFFENTERUGWINNING

In 2012 is de grondstoffenfabriek toegevoegd aan de energiefabriek en wordt in 2024 op enkele zuiveringen cellulose, Kaumera en fosfor (in vorm van struviet) teruggewonnen en wordt onderzoek gedaan naar de productie van vetzuren uit zeefgoed of primair slib. Met het terugwinnen van grondstoffen wordt een eerste stap gezet richting de ambitie van de waterschappen om in 2050 100% circulair te zijn. In 2024 is te zien dat de potentie om de in afvalwater aanwezige grondstoffen, nog maar beperkt kan worden benut<sup>9</sup>. Belangrijkste knelpunt hierin is dat de producten uit afvalwater binnen de huidige wetgeving een afvalstatus hebben, waardoor een afzet voor een product niet of lastig te realiseren is.

De verwachting is dat richting 2050 op meer zuiveringen grondstoffen worden teruggewonnen, maar dat de schaal waarop dit gebeurt nog beperkt zal zijn. Mogelijk dat in de toekomst meer sanering van verontreinigingen aan de bron mogelijk is. De vraag is wel in welke mate dit mogelijk is en of dit dan een voldoende positief effect heeft waardoor afzet van uit afvalwater of slib teruggewonnen grondstoffen makkelijker wordt.

### 3.3.4 TERUGBLIKKEN EN VOORUITKIJKEN

Bovengenoemde beschouwing laat zien dat implementatie van maatregelen om zich aan te passen aan toekomstige ontwikkelingen tijd kost. Samenvattend is dit terug te zien aan:

- De tijd die nodig is om aan de kwaliteitseisen vanuit de KRW (uit 2000) te voldoen;
- Het feit dat het bereiken van energieneutraliteit tijd heeft gevraagd, sinds 2008 zijn grote inspanningen geleverd met als doel om ruim 15 jaar later in 2025 energieneutraal te zijn;

42 Uit de databank Waves: Home - Waves - Unie van waterschappen (databank.nl) - Zuiveringsbeheer

- Onderdelen uit de varianten voor een Energiefabriek zoals die in 2008 zijn opgesteld op beperkte schaal zijn toegepast (TDH), of nog helemaal niet zijn toegepast (brandstofcel, superkritisch vergassen);
- Het bereiken van klimaatneutraliteit (benoemd vanaf 2010) nog de nodige tijd zal vergen; met het “vergroenen” van de elektriciteitsvraag is al een grote stap gezet, maar de reductie van de methaan- en lachgasemissies vraagt nog de nodige tijd (deze emissies dragen nu circa 70% bij aan de CO<sub>2</sub> voetafdruk van de waterschappen)<sup>32</sup>;
- De initiatieven rondom het terugwinnen van grondstoffen uit afvalwater en het reduceren van het gebruik van hulpstoffen laat zien dat dit een proces is van de lange adem.

Tegelijkertijd laat een programma zoals het innovatieprogramma microverontreinigingen zien dat als gezamenlijk wordt opgetrokken een versnelling in het bereiken van ambities en wettelijke eisen mogelijk is. Eenzelfde versnelling wordt beoogd met het versnellingsprogramma lachgas. Kortom met de kennis van toen en nu is het mogelijk om richting te geven aan de slibeindverwerking van 2050. Dit is vanaf nu nog een periode van 25 jaar. Een iets langere periode sinds in 2010 de visie op de zuivering van 2030 is uitgekomen, maar de terugblik op die periode laat zien dat doelstellingen van die visie nu nog niet allemaal bereikt zijn.

Op 11 december 2024 is door de Unie van Waterschappen de visie op de toekomstige inrichting van de waterketen vastgesteld. In de visie wordt duidelijk dat het belang van de volksgezondheid en een schone leefomgeving op één wordt gezet<sup>43</sup>. Een belangrijk punt om ons bewust van te zijn en te blijven! De primaire taak van het zuiveren van afvalwater is het beschermen van de volksgezondheid, later is daar de wettelijke taak voor het beschermen van het milieu bijgekomen. Vanuit het belang van gezondheid en een schone leefomgeving zijn de volgende opgaven rondom de afvalwaterketen benoemd:

- Afvalwater hygiënisch betrouwbaar inzamelen en transporteren naar de zuivering;
- Het beperken van de emissies vanuit de waterketen naar water, bodem en lucht
- Regenwater verwerken en benutten met een maximale bijdrage aan de waterketen en het bodem- en watersysteem.
- De inrichting en het beheer van de (afval)waterketen zo duurzaam en doelmatig mogelijk.

De doelen die bij deze opgaven benoemd zijn, komen voor een groot deel al overeen met wat besproken is paragraaf 3.1 t/m 3.3. In aanvulling daarop zijn de volgende doelen nog benoemd:

- Met het inzamelen, transporteren en zuiveren van stedelijk afvalwater levert de waterketen een belangrijke maatschappelijke bijdrage op het gebied van volksgezondheid, milieu en de kwaliteit van de leefomgeving. Dat willen we zo houden en daarom de continuïteit waarborgen. Concrete doelen zijn:
  - Continuïteit bedrijfsvoering is gegarandeerd
  - Capaciteit van de zuiveringen is voldoende om al het aangeboden afvalwater te verwerken en is gegarandeerd. Voor lozingen van bedrijfsmatig afvalwater op de riolering kan een afweging gemaakt worden of afvoer en verwerking via de riolering wenselijk is.
  - Capaciteit verwerking zuiveringsslib is gegarandeerd

<sup>43</sup> Unie van Waterschappen, december 2024, Landelijke visie, strategie en uitvoeringsagenda voor de waterketen richting 2050; Een toekomstbestendige waterketen, waarvan de continuïteit is gewaarborgd.

### 3.4 VERTALING ONTWIKKELINGEN NAAR IMPACT OP SLIBEINDVERWERKING

De in paragraaf 3.2 en 3.3 genoemde ontwikkelingen hebben een impact op de hoeveelheid te verwerken slib en de kwaliteit daarvan. Beide zijn van invloed op de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking, en de daarmee samenhangende kosten. De groei van het afvalwateraanbod is een autonome ontwikkeling die afhankelijk is van de bevolkingsgroei en industriële activiteiten. Een groei in afvalwateraanbod leidt in principe tot een hogere slibproductie, die één op één is te vertalen. Echter de ontwikkelingen beschreven in de paragraaf 3.2 kunnen invloed hebben op de hoeveelheid te verwerken slib en toekomstige inrichting van de slibeindverwerking:

- Voldoen aan wettelijke verplichtingen slibverbranding, aangaande rookgasreiniging, omgang met ZZS en mogelijke aanpassing minimumstandaard (uitgewerkt in paragraaf 3.5);
- Verbeterde effluentkwaliteit om aan de eisen van de KRW en de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater te voldoen, tegelijk met een toenemende vraag naar ‘schoon water’ (uitgewerkt in paragraaf 3.6):
  - Dosering van chemicaliën voor het behalen van de strengere stikstof- en fosfor lozingseisen;
  - De verwijdering van microverontreinigingen;
  - Andere inzet van effluent (o.a. met fysisch chemisch zuiveren) – extra brijnstromen.
- Voldoen aan afspraken en ambities uit het klimaatakkoord, routekaart groen gas en de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater (uitgewerkt in paragraaf 3.7):
  - Meer en betere vergisting van slib voor productie biogas;
  - Verbetering van het ontwateringsresultaat voor minder transport, lagere kosten en invulling van het robuust plan slibeindverwerking;
  - Monitoring en reductie emissie broeikasgassen;
  - Mogelijke heffing op CO<sub>2</sub> bij de verbranding van slib.
- Circulariteit en grondstofwinning in het kader van het klimaatakkoord en een mogelijke herziening van de richtlijn slibverwerking (uitgewerkt in paragraaf 3.8):
  - Grondstofterugwinning uit afvalwater en of slib op de zuivering
  - Fosforterugwinning uit de as na slibverbranding.

In de navolgende paragrafen wordt de impact van bovengenoemde ontwikkelingen op de slibkwantiteit- en kwaliteit besproken. Vanuit hier wordt een doorkijk gemaakt naar de impact op de slibeindverwerking.

### 3.5 IMPACT - WETTELIJKE VERPLICHTINGEN SLIBVERWERKING

Concrete aanpassingen van de richtlijn slibverwerking zijn nog niet bekend. Dit geldt ook voor het circulaire materialen plan dat het bestaande LAP-3 moet gaan vervangen. Wel is het de verwachting dat de eisen voor de emissie van ammonia en NO<sub>x</sub> in de rookgassen strenger worden. Dit heeft een directe impact op de kosten, omdat voor de meeste installaties geldt dat een aanpassing van de rookgasreiniging noodzakelijk is om aan de nieuwe eisen te voldoen. Bij de verwerking van slib hoeft nu geen afvalstoffenheffing betaald te worden, omdat daar nu nog een vrijstelling voor geldt. Bij het mogelijk wegvallen van die vrijstelling dient die afvalstoffenheffing wel betaald te worden. Concrete uitwerking hiervoor ontbreekt nog, waardoor de impact op de kosten van de slibeindverwerking nog niet inzichtelijk zijn te maken. De impact van de wettelijke verplichtingen is dus alleen uit te drukken in een kostenverhoging van de slibeindverwerking.

### 3.6 IMPACT - VERBETERDE EFFLUENTKWALITEIT

#### 3.6.1 STRENGERE EISEN VOOR STIKSTOF EN FOSFOR

##### *Slibkwantiteit*

Voor het behalen van de eisen voor de KRW en/of de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater is het voor sommige zuiveringen noodzakelijk om chemicaliën te doseren in de waterlijn en/of op een zandfilter voor vergaande N en/of P verwijdering. Dosering van chemicaliën leidt tot extra (chemisch) slib. Om een indicatie te geven van de impact op de slibkwantiteit is voor stikstof en fosfor een mogelijk scenario doorgerekend. Uitgangspunt hierbij is de opgave vanuit de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater. Dit scenario gaat uit van de data uit 2021. Voor stikstof zijn de resultaten opgenomen in Tabel 1 en voor fosfor in Tabel 2.

**TABEL 1** INDICATIE VAN MATE VAN MOGELIJKE TOENAME SLIBHOEVEELHEID ALS GEVOLG VAN CHEMICALIËNDOSERING VOOR VERGAANDE STIKSTOFVERWIJDERING IN NEDERLAND.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron of toelichting
N-vracht effluent in Nederland	kg N/j	14.370.740	BVZ 2021
25% te verwijderen voor voldoen aan nieuwe lozingsseisen	kg N/j	3.592.685	Op basis van N-tot effluent is ingeschat dat circa 25% van de totale Nederlandse effluentvracht dient te worden gereduceerd om aan de nieuwe eisen te voldoen. Dit is de som van de zuiveringen die een N-tot groter dan 8 mg/L hebben. Bron BVZ 2021.
Dosering methanol	kg M/kg N	7,5	STOWA 2006 – 21
Methanolverbruik	ton/j	26.945	Berekende waarde
Specifieke slibproductie	kg DS/kg M	0,18	STOWA 2006 – 21
Extra slibproductie	ton DS/j	4.715	Berekende waarde
Slibproductie 2021	ton DS/j	307.966	BVZ 2021
Stijging t.o.v. 2021	%	2	Berekende waarde

**TABEL 2** INDICATIE VAN MATE VAN MOGELIJKE TOENAME SLIBHOEVEELHEID ALS GEVOLG VAN CHEMICALIËNDOSERING VOOR VERGAANDE FOSFORVERWIJDERING IN NEDERLAND.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron of toelichting
P-vracht effluent Nederland	kg P/j	1.687.998	BVZ 2021
70% te verwijderen voor voldoen aan nieuwe lozingsseisen	kg P/j	1.350.398	Op basis van P-tot effluent is ingeschat dat circa 70% van de effluentvracht dient te worden gereduceerd om aan de nieuwe eisen te voldoen. Dit is de som van de zuiveringen die een P-tot groter hebben dan 0,5 mg P/L hebben. Bron: BVZ 2021.
Me/P-effluent ratio	-	3	Gemiddelde waarde op basis van BVZ 2021
IJzerdosering	kg Fe/j	7.298.686	Berekende waarde
Specifieke slibproductie	kg DS/kg Fe	2,5	STOWA 2006 – 21 en STOWA 2018 - 46 <sup>44</sup>
Extra slibproductie	ton DS/j	18.247	Berekende waarde
Slibproductie 2021	ton DS/j	307.966	BVZ 2021
Stijging t.o.v. 2021	%	6	Berekende waarde

De uiteindelijke toename in slibproductie wordt daarnaast sterk beïnvloed door twee andere belangrijke factoren. De eerste is de groei in afvalwateraanbod en het vrijkomen van extra fosfor na vergisting. De tweede is welke ruimte er nog in de biologie is om extra stikstof en/of fosfor biologisch te verwijderen. Een inschatting voor de slibproductie voor heel Nederland is lastig te geven, omdat de benodigde dosering locatie specifiek is. Voor zuiveringen die aan een KRW-norm dienen te voldoen ligt het chemicaliënverbruik naar verwachting hoger, omdat de eisen vanuit de KRW zowel voor stikstof als fosfor strenger zijn<sup>45</sup>. De chemische

44 STOWA, 2018, Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit afvalwater op rwzi's, 2018 – 46.

45 Vergaande verwijdering van stikstof in de waterlijn leidt mogelijk tot langere slibleeftijden, en dus tot verdergaande mineralisatie van het slib. Dit leidt tot een lagere slibproductie. In hoeverre dit zichtbaar zal zijn is de vraag.

slibproductie ligt daardoor hoger. De totale groei in slibaanbod om aan de strengere lozings-eisen voor stikstof en fosfor te voldoen kan ruwweg ingeschat worden op 5%. Deze groei vindt dan vanaf nu tot 2050 plaats, als richting 2050 alle zuiveringen aan de nieuwe richtlijn dienen te voldoen.

#### *Slibkwaliteit*

De dosering van methanol of een andere C-bron heeft nauwelijks invloed op de kwaliteit van het slib. Wel wordt met meer slib meer stikstof afgevoerd (gehalte blijft gelijk, maar vrachten nemen toe), wat mogelijk tot knelpunten leidt bij het voldoen aan de emissie-eisen voor stikstof bij de slibeindverwerking. De dosering van een metaalzout verhoogt de asrest van het slib en verhoogt het chloride gehalte in het slib. Dit laatste wordt door SNB genoemd in het jaarverslag van 2020 en 2021. Het risico dat daarbij genoemd wordt is dat vanwege het corrosieve karakter van chloride de technische levensduur van de verbrandingsinstallatie negatief wordt beïnvloed. Op dit moment wordt dit negatieve effect nog niet door SNB waargenomen. Wanneer het mogelijk wel een knelpunt wordt kan overgestapt worden op een ander metaalzout zonder chloride. De keuze van het toe te passen zout is afhankelijk van de locatie waar het zout gedoseerd kan worden, en spelen de kosten en de beschikbaarheid van het product mee. Het extra chemisch gebonden fosfor kan worden teruggewonnen uit de vlieg-as.

### **3.6.2 VERWIJDERING VAN MICROVERONTREINIGINGEN**

Voor de verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater is door STOWA, in samenwerking met I&W, de afgelopen jaren gewerkt aan een innovatieprogramma. In dit programma is een aantal technologieën onderzocht die zijn onder te verdelen in de volgende hoofdcategorieën:

- Poederactiefkool (PAK)
- Granulair actiefkool (GAK)
- Oxidatieve technieken
- Adsorptie: alternatieve adsorptiemiddelen
- Filtratie
- Natuurlijke systemen

Veel van bovengenoemde technologieën worden toegepast op het effluent van de zuivering en hebben daarmee geen impact op de slibkwaliteit- en hoeveelheid. Uitzonderingen zijn de toepassing van filtratie en dosering van poederkool aan actiefslib (PACAS).

Bij toepassing van nanofiltratie (NF) wordt het concentraat teruggevoerd naar de biologie, waardoor vooral de kwaliteit van het af te voeren slib verandert.

De concentraties microverontreinigingen, microplastics en de concentraties van een aantal (tweewaardige) zouten zullen in het slib hoger liggen dan zonder aanwezigheid van een NF-concentraat<sup>46</sup>. De mate waarin dit optreedt is wel afhankelijk van hoeveel effluent door de nanofiltratie wordt behandeld<sup>47</sup>.

PAK kan direct aan het actiefslibstelsel worden toegevoegd, waardoor het PAK in het af te voeren slib terecht komt. De aanwezigheid van PAK verandert de hoeveelheid af te voeren

<sup>46</sup> STOWA, 2020, Haalbaarheidsstudie holle vezel nanofiltratie voor verwijdering van microverontreinigingen op rwzi's, rapportnummer 2020 – 22.

<sup>47</sup> Dit wordt mede bepaald door het 'stilstand principe', wat inhoudt dat niet meer schadelijke stoffen geloosd mogen worden als een stroom (in dit geval het schone water na nanofiltratie) aan de lozing wordt onttrokken.

slib en de kwaliteit van het slib. Met de dosering van PAK aan slib wordt massa toegevoegd, waardoor de hoeveelheid slib toeneemt<sup>48</sup>. De te verwerken hoeveelheid slib neemt toe, en er wordt met de dosering van PAK calorische waarde toegevoegd aan het slib. Dit laatste leidt ertoe dat de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de verbranding van één ton nat slib toeneemt en er extra verwerkingscapaciteit nodig is. Veruit de meeste bestaande (slib)verbrandingsinstallaties zijn thermisch begrensd. De mate van toename in calorische waarde door de toevoeging van PAK is één op één te vertalen naar de benodigde toename in verwerkingscapaciteit. Om inzicht te krijgen wat de impact van PAK dosering is op de te verwerken hoeveelheid slib en de toename in de energetische waarde van het te verwerken slib is hieronder een rekenvoorbeeld toegevoegd.

#### **IMPACT TOEVOEGING PAK AAN SLIB**

De verwachting is dat richting 2050 voor de verwijdering van medicijnresten het direct doseren van PAK aan de waterlijn, maar beperkt zal worden toegepast. De verklaring hiervoor is de relatief hoge CO<sub>2</sub> voetafdruk van het PAK (circa 10 GJ/ton) en de beperkte beschikbaarheid van duurzame alternatieven voor de fossiele PAK. De verwachting is dat maximaal 10% van het Nederlandse afvalwater behandeld wordt met directe PAK dosering in de waterlijn. In dit geval kan berekend worden dat:

- circa 2.950 ton poederkool wordt gedoseerd ( $10\% \times 1.963.972.537 \text{ m}^3/\text{j} \times 15 \text{ g PAK}/\text{m}^3$ )
- de energetische waarde hiervan bedraagt circa 85.400 GJ ( $2.950 \text{ ton PAK} \times 29 \text{ GJ}/\text{ton PAK}$ )
- de totale afgevoerde hoeveelheid slib bedroeg in 2021 1,4 miljoen ton
- *de toename in de te verwerken hoeveelheid is beperkt met 0,3% ( $2.950 / 1.400.000$ )*
- de totale energetische waarde van het slib in Nederland bedroeg in 2021 4,6 miljoen GJ ( $307.966 \text{ ton DS}/\text{j} \times 70\% \text{ ODS} \times 21,30 \text{ GJ}/\text{ton ODS}$ ).
- *de toename in de energetische waarde van het af te voeren slib bedraagt 1,9% ( $85.400/4.600.000$ )*

Vanuit de gebruikersgroep actief kool is een inventarisatie gedaan voor Nederland naar de hoeveelheid te doseren poederkool. Tot 2028 loopt deze op tot 1.200 ton PAK. Dit ligt ruim de helft lager dan in het rekenvoorbeeld hierboven. De impact op de toename in energetische waarde zou daarmee halveren. Tegelijkertijd dient er rekening mee te worden gehouden dat de dosering van PAK nog wel iets zal toenemen doordat vanuit de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater een hoger verwijderingspercentage medicijnresten wordt gevraagd dan vanuit de bijdrageregeling van het ministerie. De in dit rekenvoorbeeld gebruikte data zijn afkomstig uit de BVZ 2021 en het STOWA rapport 2020 – 34<sup>49</sup>.

Uit bovenstaand rekenvoorbeeld blijkt dat de verwachting is dat maximaal 2% extra verwerkingscapaciteit nodig is richting 2050 als gevolg van de dosering van PAK aan de waterlijn voor de verwijdering van medicijnresten. Op landelijk niveau valt de impact van de poederkooldosering mee, maar het is aan te bevelen om bij de keuze voor het toepassen van poederkool de impact op de slibeindverwerking mee te nemen. Bij het toepassen van poederkooldosering in de waterlijn bestaat de kans dat andere verontreinigingen dan medicijnresten aan het poederkool adsorberen. Welke dit allemaal zijn is nog niet geheel inzichtelijk. Uit het onderzoek naar de dosering van PAK aan een Nereda® installatie in Simpelveld is gebleken dat geen toename in verwijdering is waargenomen voor de gemeten reeks PFAS en zware metalen<sup>50</sup>.

48 STOWA, 2020, Poederkool in slib: Effect op huidige en toekomstige slibeindverwerking, rapportnummer 2020 – 34.

49 STOWA, 2020, Poederkool in slib: Effect op huidige en toekomstige slibeindverwerking, rapportnummer 2020 – 34.

50 STOWA, 2023, Haalbaarheidsstudie poederkooldosering in Nereda® voor verwijdering van microverontreiniging op rwzi Simpelveld, 2020-20

### 3.6.3 HERGEBRUIK VAN EFFLUENT

Richting de toekomst wordt steeds meer gekeken naar een andere inzet van effluent. Enerzijds ingegeven door de steeds strengere eisen aan het effluent, waardoor deze al steeds verdergaand gezuiverd wordt. Tegelijkertijd is er steeds meer vraag naar water voor bijvoorbeeld peilbeheer of droogtebestrijding. In Nederland wordt nu gewerkt aan twee initiatieven om de kwaliteit van het gezuiverde water te verhogen. De eerste is de “Waterfabriek” die uitgaat van volledige fysisch-chemische zuivering, de tweede is de ultieme waterfabriek, waarbij het effluent vanuit een biologische zuivering het uitgangspunt is.

#### *Slibkwantiteit*

Bij de toepassing van alleen fysisch-chemische behandeling van het afvalwater ontstaan diverse slibstromen uit de fijnzeef, de elektrocoagulatie en de DAF (“dissolved air flotation”). Naast genoemde slibstromen ontstaat er nog een brijn na toepassing van nanofiltratie. Na de pilot in Wilp is er nog geen duidelijk inzicht ontstaan in de exacte slibproductie<sup>51</sup>. Belangrijk aandachtspunt hierbij is ook in welke stromen de diverse milieuschadelijke stoffen terecht komen en welke impact dit heeft op de verdere omgang met deze stromen. Bij het opwaarderen van effluent is het de verwachting dat membraanstappen in de vorm van nanofiltratie of omgekeerde osmose worden toegepast. Bij deze stappen ontstaat ook een brijn. De verwerking van dit brijn is voor de waterschappen nog een nieuw fenomeen, afhankelijk van de hoeveelheid en samenstelling van het brijn zal hiervoor in de toekomst een verwerking dienen te worden gevonden.

#### *Slibkwaliteit*

Met het schoner maken van influent of effluent raakt het daarbij geproduceerde slib of brijn meer verontreinigd. Brijn, of het concentraat, is een afvalstroom die ontstaat bij de toepassing van membraanfiltratie, en verschilt sterk qua samenstelling van slib, maar wordt wel gezien als afvalstof.

Stoffen zoals zware metalen, microplastics en PFAS concentreren zich afhankelijk van de toegepaste technologieën in een slib- of brijnstroom. Het is goed om te benadrukken dat op dit moment nog niet inzichtelijk is in welke ‘afvalstroom’ bij fysisch chemische zuivering welke milieuvreemde stoffen zich concentreren en hoe dit de verdere verwerking van de ‘afvalstroom’ beïnvloed. De impact op de slibeindverwerking is nu nog moeilijk in te schatten. Wel is het de verwachting dat grootschalige opwerking van afvalwater vanuit influent (Waterfabriek) of effluent (Uitme waterfabriek) nog wel enige jaren op zich laat wachten en de impact op de slibeindverwerking op in ieder geval de komende 10 – 15 jaar beperkt zal zijn op nationaal niveau. Op het niveau van een zuivering kan het wel gaan om enkele procenten van de influentstroom. De productie van brijnstromen zal dan zeer beperkt zijn. De wijze waarop deze stroom verwerkt kan worden is een studie op zichzelf en de gesprekken daarover zijn anno 2024 net opgestart.

51 STOWA, 2023, Ontwikkeling en opschaling waterfabriek2.0; Pilot proof of concept, ontwerp en referentie-installatie 100.000 i.e. schaal en vergelijking op kosten en duurzaamheid, rapportnummer 2023-47.

### 3.7 IMPACT - ENERGIE- EN KLIMAATNEUTRAAL

#### 3.7.1 GISTING EN ONTWATERING

##### *Slibkwantiteit*

In Nederland werd in 2021 86% van het slib vergist resulterend in een specifieke slibproductie van 11,5 kg DS/i.e.<sub>influent</sub> (data uit BVZ 2021). Het gemiddelde ontwateringsresultaat bedroeg in 2021 23,2% DS. Voor 2050 kan het slibaanbod zich als volgt ontwikkelen:

- het slib dat door de autonome groei van het afvalwateraanbod extra wordt geproduceerd wordt niet vergist, en het gemiddelde ontwateringsresultaat uit 2021 blijft gehandhaafd;
- het slib dat door de autonome groei van het afvalwateraanbod extra wordt geproduceerd wordt deels vergist net als 2021 met een specifieke slibproductie van 11,5 kg DS/i.e.<sub>influent</sub>;
- al het slib wordt vergist (zoals in het locatieonderzoek groengas rwzi's<sup>52</sup> is doorgerekend) en het ontwateringsresultaat verbetert naar 24,2%.

Het resultaat van deze mogelijke ontwikkelingen voor 2050 is weergegeven Tabel 3.

**TABEL 3** VERWACHT AFVALWATERAANBOD EN SLIBPRODUCTIE IN 2050 BIJ DE HUIDIGE MANIER VAN ZUIVEREN EN DE HUIDIGE MATE VAN VERGISTEN EN ONTWATEREN EN BIJ 100% VERGISTING MET EEN VERBETERING VAN HET ONTWATERINGSRESULTAAT

Scenario voor 2050	Eenheid	Waarde
Afvalwateraanbod	i.e. à 150 g TZV	31,7 (zie paragraaf 3.1)
Slibproductie 2021 (bron BVZ 2021)	ton DS/j	307.966
	ton/j	1.327.440
autonome groei slibproductie; extra slib wordt niet vergist <sup>53</sup>	ton DS/j	405.500
	ton/j	1.748.000
	groei t.o.v. 2021	24%
autonome groei afvalwateraanbod; extra slib wordt voor 86% vergist <sup>54</sup>	ton DS/j	364.000
	ton/j	1.568.000
	groei t.o.v. 2021	15%
autonome groei afvalwateraanbod; extra slib wordt volledig vergist <sup>55</sup>	ton DS/j	346.200
	ton/j	1.430.500
	groei t.o.v. 2021	10%

De inschatting is dat in 2050 bijna 32 miljoen i.e. aan afvalwater dient te worden verwerkt. De resultaten in Tabel 3 laten zien dat afhankelijk hoe wordt omgegaan met het extra afvalwateraanbod de slibproductie in Nederland richting 2050 kan stijgen met 10 – 25%.

##### *Slibkwaliteit*

De mate waarin en hoe slib wordt vergist heeft invloed op het drogestofgehalte en organische drogestofgehalte. De verbranding van organische drogestof levert energie op. De verdamping van het in slib aanwezige water kost energie. De ratio ODS/DS geeft daarmee weer hoeveel energie per ton slibkoek wordt aangeleverd. Uiteindelijk is het de ODS/water verhouding die invloed heeft op de energiebalans en capaciteit van een (mono)slibverbrandingsinstallatie (de fractie anorganisch speelt hierin geen rol). Dit is te illustreren aan de hand van het volgende voorbeeld:

52 Unie van Waterschappen, Tauw, 2 augustus 2022, Locatieonderzoek groengas rwzi's.

53 Uitgangspunten berekening: specifieke slibproductie vóór de gisting: 20 kg DS/i.e. (afgeleid uit BVZ2021), ontwateringsresultaat 23,2%

54 Uitgangspunten berekening: specifieke slibproductie na gisting: 11,5 kg DS/i.e. (afgeleid uit BVZ2021), ontwateringsresultaat 23,2%

55 Uitgangspunten berekening: startpunt berekening is slibproductie van 364.006 (86% vergist); DS afbraak niet vergiste deel bedraagt 35%, ontwateringsresultaat 24,2 %.



- Hoger drogestofgehalte (dus minder water) in combinatie met gelijkblijvend aandeel organische stof (betere ontwatering bij gelijkblijvende drogestof-afbraak in de gisting):
  - minder energie nodig voor verdampen van water →
  - hoeveelheid energie per ton slibkoek neemt daardoor toe →
  - per ton slibkoek komt meer energie vrij bij de verbranding →
  - bestaande verbrandingsovens zijn thermisch begrenst →
  - een toename in de hoeveelheid energie per ton slibkoek verlaagd de capaciteit van de installatie
  - de toename in hoeveelheid energie per ton slibkoek leidt tot een betere energiebalans

De groei in afvalwateraanbod heeft nauwelijks invloed op de kwaliteit van het slib. Mogelijk vindt in de toekomst sanering van (micro)verontreiniging aan de bron plaats. Een aanpak aan de bron die al door verschillende waterschappen wordt opgepakt draagt bij aan een verbetering van de slibkwaliteit.

De aandacht voor de rol van de producenten van microverontreinigingen in de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater kan dit proces mogelijk verder versnellen en de kwaliteit van het slib verbeteren. Tegelijk leidt het tot een hogere afvoer van stikstof en fosfaat naar de slibeindverwerking, zeker als een technologie wordt toegepast die de vergistbaarheid vergroot zoals thermische slibontsluiting. Stikstof eindigt in het condensaat en in de rookgassen, waaruit het verwijderd dient te worden. Een hogere stikstofvracht in het slib leidt daarom tot hogere kosten voor de verwijdering van stikstof uit het condensaat en de rookgassen. Het hogere fosforgehalte heeft een positieve impact op de hoeveelheid terug te winnen fosfor uit de as. Terugwinning van fosfor is mogelijk voor zowel chemisch als biologisch gebonden fosfor.

### 3.7.2 MONITORING BROEIKASGASSEN

In de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater wordt genoemd dat monitoring van de broeikasgassen methaan en lachgas plaats dient te vinden, hetzij via metingen, hetzij via berekening/modellering. Het monitoren van deze broeikasgassen heeft geen impact op de kwantiteit en kwaliteit van het slib.

In onderstaand kader is een opsomming gegeven van waar in de sliblijn methaan- en lachgas-emissies kunnen plaats vinden.

#### **BROEIKASGASEMISSIES BIJ DE (EIND)VERWERKING VAN SLIB**

Methaanemissie kan plaats vinden op de zuivering ná de gisting bij de opslag van uitgestort slib. Informatie over de wijze waarop deze emissie kan worden ingeschat en gereduceerd is terug te vinden het STOWA rapport uit 2016<sup>56</sup> en het Plan van Aanpak Reductie Methaan<sup>57</sup> dat in 2023 is opgesteld. Het methaan dat in het slib aanwezig is dat wordt afgevoerd komt niet bij het transport vrij, maar komt vrij in de opslag bij de slibeindverwerkers. Lachgas komt vrij bij de verbranding van het slib (jaarslag SNB, 2020). De mate hiervan is onder andere afhankelijk van de toegepaste temperatuur. Deze temperatuur bepaalt de mate waarin NOx worden gevormd. Voor de emissie van NOx gelden wettelijke eisen. De mate van NOx emissie is dan meestal leidend in de toe te passen verbrandingstemperatuur. Lachgas kan op de zuivering vrijkomen in de waterlijn of in een deelstroombehandeling waarin het rejectiewater van het ontwaterde uitgestorte slib wordt behandeld. De mate waarin is sterk locatie specifiek.

<sup>56</sup> STOWA, 2016, Reductie van methaanemissie in de afvalwater- en slibketen, rapportnummer 2016-09.

<sup>57</sup> Royal HaskoningDHV, 2023, Plan van Aanpak Reductie Methaan, opdrachtgever: VvZB, referentie: BI4928-RHD-ZZ-XX-RP-Z-001.

### 3.7.3 CO<sub>2</sub> HEFFING SLIBVERBRANDING

Het mogelijk toepassen van een CO<sub>2</sub> heffing op de uitgestoten CO<sub>2</sub> na slibverbranding heeft logischerwijs geen invloed op de slibkwantiteit en kwaliteit. Wel heeft het mogelijk impact op de kosten van de slibeindverwerking. Het te verbranden slib bestaat bijna volledig uit biogene koolstof. Niet biogene koolstof is afkomstig van PE en eventueel gedoseerd actieve kool. In Duitsland wordt een verdeling van 80% biogeen en 20% niet biogeen toegepast, waarbij alleen over die laatste 20% CO<sub>2</sub> heffing dient te worden betaald (zie paragraaf 3.2.5).

## 3.8 IMPACT - CIRCULAIR - GRONDSTOFTERUGWINNING

### 3.8.1 IMPACT OP SLIBKWANTITEIT

Bij het vergisten van slib wordt een deel van de aanwezige koolstof uit het afvalwater omgezet in energie, in de vorm van elektriciteit of groen gas. Wanneer deze koolstof vóór de vergisting eerst wordt teruggewonnen in de vorm van een grondstof leidt dit tot een verlaging van de slibproductie en tot een lagere energieopbrengst. De keuze tussen terugwinning van energie en/of grondstoffen is daarmee onderdeel van een slibstrategie. Deze wordt gemaakt op basis van de ambities van de waterschappen.

Terugwinning van de op koolstof gebaseerde grondstoffen vindt nu nog maar op beperkte schaal plaats. Cellulose wordt teruggewonnen op drie zuiveringen, Kaumera<sup>®</sup> wordt geproduceerd op twee zuiveringen (bron BVZ 2021). De impact op de slibkwantiteit op Nederlands niveau is anno 2024 nihil te noemen, ook omdat het aantal zuiveringen waar cellulose (beperkt) of niet (Kaumera<sup>®58</sup>) in 2024 niet is toegenomen. Hoe dit zich in de toekomst ontwikkeld is moeilijk in te schatten. Belangrijkste factor hierin is de erkenning van de geproduceerde of teruggewonnen grondstoffen. Tot op heden is dit nog een belangrijk knelpunt, waardoor terugwinning van grondstoffen nog niet op grotere schaal wordt toegepast.

Op het niveau van een zuivering kan de impact wel groot zijn. Deze is daarom in Tabel 4 opgenomen.

**TABEL 4 VERWACHTE REDUCTIE IN SLIBPRODUCTIE (IN TONNEN SLIB) BIJ TERUGWINNING VAN GRONDSTOFFEN OP EEN ZUIVERING.**

Grondstof	Verwachte slibreductie	Bron / Toelichting
Cellulose	15%	Presentatie "De C van Cellulose", Het Lot van de C, 27 september 2023
Kaumera <sup>®</sup>	20 – 25%	Aandeel terug te winnen Kaumera <sup>®</sup> bedraagt 30% van de ODS in korrelslib (zie codeboek Waterschapsspiegel 2023). De mate van slibreductie is afhankelijk van het ODS gehalte van korrelslib (70- 80%).
PHA – rich culture*	~ 5%	Bron: STOWA 2014-10 <sup>59</sup> . De mate van slibreductie is niet direct opgenomen in het rapport.
PHA – mixed culture**	~ 10%	Uit de slibafzetkosten is de reductie voor de twee routes voor PHA productie afgeleid (ten opzichte van opgenomen referentiesituatie zonder PHA productie)
Vetzuren uit primair slib	0 – 5%	Een deel van de CZV uit primair slib kan worden omgezet naar vetzuren, waarna de gevormde vetzuren weer aan het actiefslibproces worden gedoseerd. Netto is de slibreductie minimaal.

\* Bij deze route wordt een deel van de beschikbare vetzuren eerst ingezet om een rijke cultuur aan 'bio-P' bacteriën te kweken (uit secundair slib) die daarna in een volgende stap met de resterende vetzuren zorgen voor de PHA productie.

\*\* In deze route wordt alle beschikbare vetzuren direct gevoerd aan de reactor met secundair slib om PHA te produceren.

58 In juli 2024 is een coöperatie van vier waterschappen (Rijn en IJssel, Vallei en Veluwe, Limburg en hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden) opgericht om het proces van Kaumera te versnellen. Daarnaast is er een start-up opgericht voor het vermarkten van Kaumera. Deze Kaumera Sales en Services is voor vijftig/vijftig in handen van de Kaumera Coöperatie en Royal HaskoningDHV.

59 STOWA, 2014, Verkenning naar PHA-productie uit zuiveringsslib; Bioplastic uit slib; rapportnummer 2014 – 10.

Naast de in Tabel 4 genoemde grondstoffen kunnen ook stikstof en fosfor worden teruggewonnen. Terugwinning van stikstof in de vorm van ammoniumsulfaat heeft geen impact op de af te voeren slibhoeveelheid. Deze wijze van terugwinning vindt op dit moment alleen op het niveau van de eindverwerkers plaats. De extra stikstof die vrijkomt op de zuivering wordt nu veelal in een deelstroombehandeling verwijderd. Als dit wordt vervangen door een stripinstallatie met terugwinning van ammoniumsulfaat leidt dit een lichte daling in de af te voeren slibhoeveelheid.

Terugwinning van struviet leidt niet tot een toename van de af te voeren hoeveelheid slib als het fosfaat uit het rejectiewater wordt teruggewonnen. Wanneer struviet vóór de ontwatering wordt geproduceerd en met het slib wordt afgevoerd neemt de slibhoeveelheid in massa toe. Door de aanwezigheid van struviet is er wel kans dat het ontwateringsresultaat verbeterd, waardoor er netto geen stijging is, of zelfs een verlaging van de afvoer van slib (in tonnen) mogelijk is. Voor vivianiet is de impact op de slibproductie nog niet vast te stellen, omdat deze wijze van fosfor terugwinning zich nog in de ontwikkelingsfase bevindt.

#### **IMPACT VOLLEDIGE GRONDSTOFTERUGWINNING**

Bij de uitvoering van de slibstrategie voor WBL is inzichtelijk gemaakt welke hoeveelheid slib overblijft vóór vergisting als op alle zuiveringen van WBL cellulose en Kaumera<sup>®</sup> wordt teruggewonnen. Na het terugwinnen van deze twee grondstoffen blijft dan nog altijd een hoeveelheid te vergisten slib over. Deze hoeveelheid bedraagt 50% van de hoeveelheid slib als er geen grondstoffen worden teruggewonnen. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat zolang we afvalwater in actiefslibsystemen blijven behandelen en maximaal grondstoffen terugwinnen er nog steeds een aanzienlijke hoeveelheid biologisch slib overblijft dat dient te worden verwerkt.

#### **3.8.2 IMPACT OP SLIBKWALITEIT**

Bij het terugwinnen van cellulose, Kaumera<sup>®</sup>, en PHA wordt voornamelijk organische drogestof verwijderd. De hoeveelheid ODS per aangeleverde ton drogestof daalt hierdoor, de hoeveelheid energie per aangeleverde ton slibkoek bij de eindverwerking neemt dan af als het drogestofgehalte van het slib gelijk blijft. In dit geval heeft dit een positieve impact op de capaciteit van de slibeindverwerking, maar heeft het een negatieve impact op de energiebalans van de installatie.

Het chloride dat met het slib na Kaumera<sup>®</sup> extractie achterblijft heeft gezien de beperkte schaal waarop dit nu plaats vindt geen negatieve invloed hebben op de werking van de slibeindverwerking. De accumulatie van PHA in slib is een biologisch proces dat op een zuivering plaats kan vinden. Bij dit proces worden geen chemicaliën toegepast, waardoor de kwaliteit van het af te voeren slib niet wordt beïnvloed. Extractie van de PHA vindt naar verwachting in de toekomst op een centrale locatie plaats, dit hoeft geen zuivering te zijn, waardoor er geen negatieve effecten zijn te verwachten op de slibkwaliteit.

Wat betreft de terugwinning van de nutriënten stikstof en fosfor is de impact op de kwaliteit van het slib beperkt. Bij het toepassen van een stripinstallatie voor de verwijdering van stikstof uit het rejectiewater is de verwachting dat het verwijderingsrendement voor stikstof iets lager ligt dan bij toepassing van een deelstroombehandeling. Dit betekent dat iets meer stikstof met het slib naar de eindverwerker wordt afgevoerd.

Fosforterugwinning in de vorm van struviet of vivianiet heeft invloed op het fosforgehalte in het slib. Struviet kan met het slib wordt afgevoerd waar het dan na verbranding uit de as kan worden teruggewonnen. Een andere mogelijkheid is om het struviet wel op de zuivering terug te winnen. Een overweging hierbij kan zijn dan de terugwinning van struviet op de zuivering een positievere milieu-impact heeft dan de terugwinning van fosfor uit de as<sup>60</sup>. Aan de andere kant leidt een hoger fosfor gehalte in het slib tot een meer economische rendabele terugwinning via de as-route. Deze overwegingen laten zien dat de wijze waarop fosfor uit het slib wordt teruggewonnen een belangrijk onderdeel is van een slibstrategie, omdat diverse keuzes met verschillende uitkomsten mogelijk zijn.

### 3.9 SAMENVATTING

De toename in het afvalwateraanbod in combinatie met de mate waarin de extra hoeveelheid slib wordt vergist heeft de grootste invloed op de hoeveelheid te verwerken slib in de toekomst. Ingeschat is dat de toename in slibhoeveelheid richting 2050 toeneemt met 10 tot 25%. Andere wettelijke ontwikkelingen om de effluentkwaliteit te verbeteren (verwijdering nutriënten en microverontreinigingen) en het terugwinnen van grondstoffen lijken een beperkte invloed te hebben op de hoeveelheid te verwerken slib. De kwaliteit van het slib lijkt beperkt te veranderen richting de toekomst. De aandacht voor de rol van de producenten van microverontreinigingen in de nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater kan dit proces mogelijk verder versnellen en de kwaliteit van het slib verbeteren. Het is de verwachting dat door een hogere aanvoer van influent meer slib wordt geproduceerd, en daarmee in absolute zin de vracht aan stikstof naar de eindverwerking toeneemt. Bij een hogere afbraak van slib in de gisting neemt de concentratie stikstof in de waterfase toe. De balans tussen het ODS-gehalte en DS (of water) -gehalte van het slib verandert mogelijk iets, wat mogelijk invloed heeft op de benodigde verwerkingscapaciteit en de energiebalans van de slibeindverwerking. De toename van extra stikstof in het slib in combinatie met strengere wettelijke emissie-eisen leiden tot hogere kosten voor de verwerking van slib. Ontwikkelingen die de kosten richting 2050 kunnen beïnvloeden zijn een mogelijke heffing op CO<sub>2</sub> uitstoot en het wegvallen van de vrijstelling van slib voor de afvalstoffenheffing.

De terugblik op de visie voor de afvalwater- en slibketen van 2030, opgesteld in 2010, laat zien dat aanpassingen op toekomstige ontwikkelingen tijd vraagt. Er zijn sinds 2010 grote stappen gezet op het gebied van energieneutraliteit en recent zijn met het innovatieprogramma microverontreinigingen nieuwe technologieën beschikbaar gekomen voor de verwijdering van medicijnresten uit effluent. Tegelijkertijd valt op dat we in 2024 nog grotendeels gebruik maken van de bestaande infrastructuur met bewezen technologieën voor de zuivering van afvalwater en de verwerking van slib. Dit is goed te begrijpen omdat de behandeling van afvalwater en de verwerking van slib een robuust systeem vraagt. **Continuïteit** is een belangrijk criterium bij het maken van een keuze voor de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking.

De ontwikkelingen rondom strengere emissie-eisen voor stikstof, de ontwikkelingen rondom PFAS en andere microverontreinigingen, en mogelijke belastingmaatregelen laten zien dat de **kosten** van de slibeindverwerking een belangrijk criterium zijn en blijven. Het verduurzamen van de afvalwater- en slibketen blijft een belangrijke ambitie van de waterschappen. In de visie voor de waterketen die in 2024 wordt opgesteld is duurzaamheid naast doelma-

60 STOWA, 2023, LCA van acht grondstoffen uit rioolwater, rapportnummer 2023 – 08.

tigheid als randvoorwaarde gesteld voor bestaande en toekomstige zuiveringsinstallaties. **Duurzaamheid** is daarmee een belangrijk criterium om mee te nemen bij de toetsing van technologieën voor de toekomstige slibeindverwerking in 2050. Hoe de toekomst er exact uit gaat zien is niet te voorspellen, maar **flexibiliteit** en onderlinge afstemming tussen waterschappen en eindverwerkers zijn een vereiste om richting de toekomst in te kunnen spelen op ontwikkelingen die we nu nog niet zien aankomen.

## 4

## TECHNOLOGIEËN

## 4.1 BESCHIKBARE TECHNOLOGIEËN

De technologieën die voor de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking toegepast kunnen worden bestaan uit technologieën die nu al toegepast worden in Nederland of daarbuiten, in dit rapport bestaande technologieën genoemd. Daarnaast zijn er technologieën die nu nog in ontwikkeling zijn en nog niet full-scale op slib worden toegepast. De bestaande technologieën kunnen per direct worden toegepast. De technologieën die nu (2024) in beeld zijn en nog in ontwikkeling zijn, kunnen mogelijk worden toegepast op het moment dat keuzes dienen te worden gemaakt voor de middellange termijn (10 tot 15 jaar<sup>61</sup>). Een overzicht van de bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën is weergegeven in Tabel 5. In deze tabel is allereerst aangegeven of de technologie op zichzelf kan worden toegepast en als eindverwerking van slib kan worden gezien, of dat een technologie onderdeel is van een slibketen en gezien moet worden als een tussenverwerkingstap. Tabel 5 is verder aangevuld met data over het gewenste ingaande drogestofgehalte, en de toegepaste temperatuur en druk.

TABEL 5 OVERZICHT VAN BESTAANDE EN IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN VOOR DE VERWERKING VAN SLIB

Technologie	Eindverwerking	Tussenproduct (tussenverwerking)	Gewenst ingaand DS%	Temperatuur °C	Druk (bar)
<b>BESTAANDE TECHNOLOGIEËN (Korte termijn)</b>					
Monoverbranding	X		20 – 40%	800 - 900	1 <sup>1</sup>
Biologisch drogen		65% gedroogd slib	20 – 30%	50 - >70	1 <sup>1</sup>
Droging met afvalwarmte (banddroger)		90% gedroogd slib	20 – 30%	90 - 140	1 <sup>1</sup>
Droging in kas met zon- en afvalwarmte		70% gedroogd slib	20 – 30%	60 - 80	1 <sup>1</sup>
Droging via warmtepomp		70-90% gedroogd slib	20 – 30%	40	1 <sup>1</sup>
Co-verbranding van ontwaterd, biologisch of thermisch gedroogd slib	X		20 – 30%	800 - 900	1 <sup>1</sup>
<b>IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN (Middellange termijn)</b>					
Elektro-osmotisch drogen		40% gedroogd slib	15 – 25%	10 – 25 <sup>2</sup>	1 <sup>1</sup>
Pyrolyse – Verbranding (bijvoorbeeld EuPhoRe)	X		20 – 30%	950	1 <sup>1</sup>
HTC		50-60% ontwaterd slib	8-10% / 20 – 30%	180 - 280	20 – 24
HTL		olie	15 – 20%	300 - 350	220
Microwave		olie en biokool	20 – 30%	350	1 <sup>1</sup>
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)		carbonaatas	20 – 30%	600 - 700 of 500 – 700 en 1.000 <sup>3</sup>	1 <sup>1</sup>
Torwash		50-60% ontwaterd slib	5-8%	180 - 210	15 - 20
Superkritisch vergassen	X		~15%	> 375	> 221
Vergassen	X		20 – 30%	850 - 900	1 <sup>1</sup>
MID MIX	X		20 – 30%	80 - 100 <sup>4</sup>	1 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>) is atmosferische druk 2) is temperatuur van slib, er vindt geen verwarming plaats 3) 600 – 700 graden Celsius geldt voor de leveranciers: Aquagreen, Biomacon en Jumbo-Group; Bij 500 – 700 graden Celsius carboniseert het slib in een Eliquo-Pyreg installatie, verbranding van het gecarboniseerde slib vindt plaats bij 1.000 graden Celsius; 4) temperatuur als gevolg van chemische reactie na toevoeging van kalk; bron STOWA 2019-35.

61 Op het moment dat nu (in 2024) een keuze wordt gemaakt voor een nieuwe installatie zal het naar verwachting zeker nog 10 jaar duren voordat deze operationeel is. Dit in verband met vergunning aanvraag- en verlening, aanbesteding, en bouwtijd.

*Voor de volledigheid is in Tabel 5 Elektro-osmotisch drogen nog meegenomen. Echter in het vervolg bij de beoordeling (vanaf hoofdstuk zes) wordt deze technologie verder niet meegenomen. De reden daarvoor is dat Elektro-Osmotisch drogen feitelijk een alternatief is voor de huidige ontwaterings-technologieën en niet een technologie is voor de eindverwerking van slib.*

In Tabel 5 zijn niet alle kenmerken van de technologieën opgenomen. In bijlage 1 zijn per technologie meer details weergegeven (Leveranciers, PFD, korte omschrijving en energie- en grondstofstromen). Bij de uitwerking van de criteria in de hoofdstukken vijf tot en met negen worden meer details weergegeven. Dit zijn de kenmerken van de technologie (zoals geproduceerde producten en afvalstromen) die nodig zijn om de verschillende technologieën met elkaar te kunnen vergelijken op een bepaald criterium.

De technologieën die onderdeel zijn van een slibketen, ofwel een tussenproduct opleveren, worden gecombineerd met een co-verbrandingsstap. Voor biologisch en thermisch gedroogde slib geldt dat dit kan worden meeverbrand met andere grondstoffen/afvalstromen in afval-energiecentrales, energiecentrales of andere thermische conversie-installaties, zoals Bio Energie Centrales of monoverbrandingsinstallaties. Co-verbranding van ontwaterd slib vindt in Nederland (of in België en Duitsland) beperkt plaats in afvalverwerkings-of energiecentrales. De kool- of olie die na HTC, HTL, en Microwave worden geproduceerd dienen afgezet te worden als brandstof (of toegestaan als meststof, zie verder paragraaf 6.4). Dit geldt ook voor de carbonaatas die na pyrolyse ontstaat.

## 4.2 THERMISCHE VER- EN BEWERKING VAN SLIB

Er is sprake van thermische verwerking als het slib tot as of producten wordt gereduceerd. Indien het tussenproduct vergaand ontwaterd slib betreft is er sprake van bewerking. Torwash en HTC zijn daarom thermische bewerkingstechnologieën. De overige in deze paragraaf genoemde technologieën betreffen thermische verwerkingstechnologieën.

De informatie (inclusief figuren) in deze paragraaf is gebaseerd op een document dat door de energie- en grondstoffenfabriek is opgesteld<sup>62</sup>. Met uitzondering van MID MIX vindt bij alle andere beschikbare technologieën een vorm van thermische verwerking of bewerking plaats. Belangrijkste onderscheid dat hierbij te maken is:

- de toepassing van wel of geen zuurstof (lucht) bij de verbranding van slib;
- het wel of niet toepassen van druk bij de verwerking van slib;

Op basis van dit onderscheid zijn de in Tabel 5 opgenomen technologieën in te delen zoals weergegeven in Figuur 10. De droogtechnologieën zijn niet opgenomen in de matrix van Figuur 10, omdat deze onderdeel zijn van een slibketen met aan het eind een vorm van thermische verwerking. De keuzes die men maakt ten aanzien van het wel of niet toepassen van zuurstof en/of druk zijn afhankelijk van het doel dat men nastreeft bij de verwerking van slib.

In de navolgende drie paragrafen is dit nader toegelicht.

<sup>62</sup> Energie- en Grondstoffenfabriek, J.Boorsma, L. Korving, Thermische verwerkingstechnieken voor zuiverings-slib in vogelvlucht.

FIGUUR 10

MATRIX VOOR DE INDELING VAN TECHNOLOGIEËN DIE SLIB THERMISCH VERWERKEN

	Oxidatieve technologieën <i>Toevoer van zuurstof/lucht</i>	Reducerende technologieën <i>Geen toevoer van zuurstof/lucht</i>
Atmosferische druk <i>Verdamping van water</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monoverbranding</li> <li>• Meeverbranden van slib</li> <li>• Vergassen (ondermaat zuurstof)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pyrolyse</li> <li>• Microwave</li> <li>• Pyrolyse + vergassen (EuPhoRe)</li> </ul>
Onder druk <i>Geen verdamping van water</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• HTC</li> <li>• HTL</li> <li>• Torwash</li> <li>• Superkritisch vergassen</li> </ul>

De keuze die men maakt in het wel of niet toepassen van zuurstof en of druk heeft ook gevolgen voor de kwaliteit van het afvalwater dat tijdens het proces ontstaat. Een goede verwerking hiervan is belangrijk voor het kunnen toepassen van een technologie. In paragraaf 5.1.3 is per technologie inzichtelijk gemaakt wat de verwachte samenstelling van het afvalwater is en of de behandeling daarvan al een bewezen technologie is.

#### 4.2.1 THERMISCHE VERWERKING MET ZUURSTOF EN ZONDER DRUK

Bij het verwerken van slib met zuurstof wordt volledige verbranding van de organische stof nagestreefd. De energie die hieruit vrijkomt wordt gebruikt voor de verdamping van het water uit het slib en voor de opwekking van energie in de vorm van stoom. Deze energie kan worden gebruikt om de verbrandingsinstallatie te voorzien van elektriciteit of warmte. De huidige monoverbrandingsinstallaties in Nederland zijn daar een voorbeeld van. Voor deze installaties geldt dat het mogelijk is dat het proces zichzelf in stand houdt en geen of weinig externe energie nodig heeft. Voor de nieuwe monoverbrandingsinstallatie die in Delfzijl wordt gebouwd geldt dat deze een deel van de geproduceerde energie in de vorm van warmte gaat leveren aan de omgeving. Dit is mogelijk omdat naast de verbranding van ontwaterd slib ook biologisch gedroogd slib wordt verbrand, waardoor minder energie nodig is voor de verdamping van het water en overblijft voor nuttige inzet naar de omgeving.

#### 4.2.2 THERMISCHE VER- EN BEWERKING ZONDER ZUURSTOF EN MET DRUK

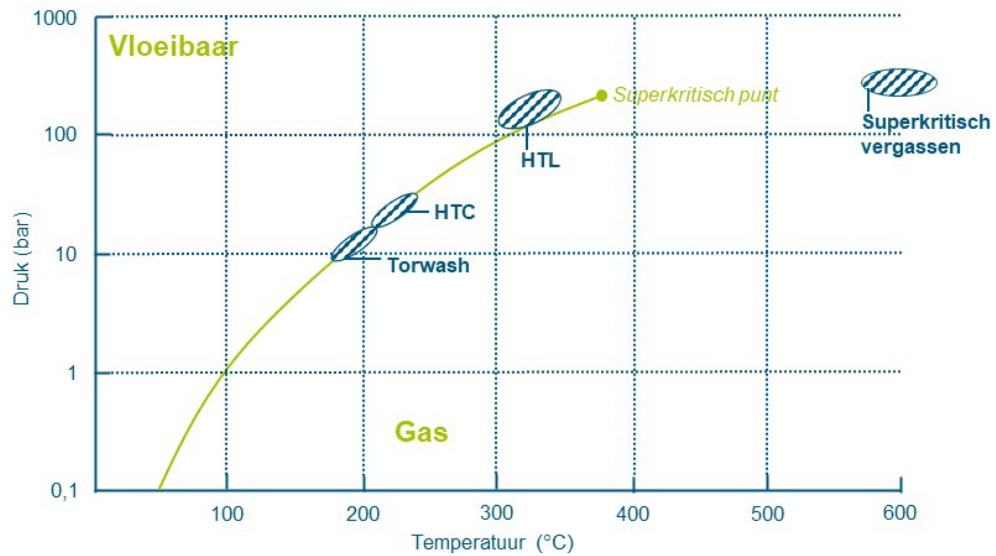
Zonder zuurstof en onder druk vindt geen afbraak van de organische stof uit slib plaats, maar streeft men naar energieverdichting. De procescondities van de technologieën die zonder toevoeging van zuurstof en met druk opereren bepalen in welke vorm de energie wordt vastgelegd.

De belangrijkste procescondities zijn de toegepaste temperatuur en daarmee druk, de verblijftijd en het eventueel toevoegen van een katalysator. De verschillen in druk en temperatuur voor deze technologieën zijn weergegeven in Figuur 11.



FIGUUR 11

AFHANKELIJKHEID VAN DRUK EN TEMPERATUUR EN POSITIE VAN DIVERSE REDUCERENDE TECHNOLOGIEËN ONDER DRUK IN RELATIE TOT DE DAMPDRUK VAN WATER



De Torwash technologie beoogt de energie uit het slib te concentreren door het slib rond de 200°C (bij 15 – 20 bar) te hydrolyseren en zo de ontwatering sterk te verbeteren (50-60%). Dit maakt dat veel minder transport nodig is om het slib te vervoeren naar een thermische verwerkingsinstallatie. Bij temperaturen boven de 200°C verandert het karakter van de chemische reacties die plaatsvinden van hydrolyse naar carbonisatiereacties. HTC opereert in het gebied tussen de 200 en 300°C bij 20 – 24 bar. Onder deze omstandigheden verbetert de ontwatering sterk net als bij Torwash, en kan na mogelijk toepassing van nadroging een hydrochar geproduceerd worden, die elders in energie kan worden omgezet. HTL is te vergelijken met HTC, maar bij HTL worden hogere drukken toegepast en is de verblijftijd in de reactor korter. Dit laatste zorgt ervoor dat de carbonisatie niet volledig is, waardoor olie en teerachtige verbindingen worden gevormd, wat het doel is van deze technologie. Soms wordt een katalysator (vaak kali-zouten) toegevoegd om de gewenste reactie te bevorderen. Superkritische vergassing ligt in het uiterste spectrum als het gaat om druk en temperatuur. Het doel is om vooral een hoogcalorisch gas te produceren ( $H_2$ ,  $CH_4$  en  $CO_2$ ). Dit is mogelijk als natte stromen zoals slib worden verwerkt. Bij de toegepaste temperaturen en druk vindt de conversie van organische stof nagenoeg volledig plaats. Onder de superkritische omstandigheden veranderen de eigenschappen van het water sterk. Zouten die normaal goed oplosbaar zijn slaan neer en lossen organische verbindingen juist weer goed op. Dit is de reden dat partijen ervoor kiezen deze zouten voor de vergassingsstap af te voeren om verstoppingen verderop te voorkomen. Andere partijen kiezen ervoor om juist na de vergassing zouten af te voeren zodat eventuele nog aanwezige slibdeeltjes alsnog omgezet worden.<sup>63</sup>

#### 4.2.3 THERMISCHE VERWERKING ZONDER ZUURSTOF EN DRUK

Bij pyrolyse dat een reducerende technologie is, maar onder atmosferische druk wordt bedreven spelen de toegepaste procescondities een belangrijke rol bij de gewenste te produceren producten.

Bij lagere temperaturen (< 700°C) en langere verblijftijd (uren) wordt vooral een koolrijk residu gevormd, dat het doel is van deze wijze van verwerking.

Het koolrijke residu kan elders worden verbrand waarbij de gevormde energie nuttig kan worden ingezet. Naast het koolrijke residu wordt ook pyrolysegas gevormd bestaande uit

63 STOWA, 2016, Experimenteel onderzoek superkritisch vergassen van zuiveringsslib, rapportnummer 2016-16.

CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>. Bij hogere pyrolysetemperaturen (> 700°C) en zeer korte verblijftijden (seconden), zoals bijvoorbeeld bij flash-pyrolyse ontstaan andere producten. Onder deze omstandigheden wordt vooral olie gevormd (doel van de verwerking), met daarnaast ook kool en gas. De korte toe te passen verblijftijd stelt hoge eisen aan een snelle opwarming van het slib. Bij de toepassing van Microwave wordt de warmte opgewekt door een sterk, continu omdraaiend elektromagnetisch veld.

#### 4.3 DROOGTECHNOLOGIEËN

In 2012 – 2013 is een marktconsultatie uitgevoerd voor slibontwatering- en slibdroging<sup>64</sup>. De informatie uit deze marktconsultatie is in deze paragraaf kort samengevat. Voor slibdroging kan onderscheid gemaakt worden in technologieën die direct of indirect thermisch drogen, of in het proces zelf warmte genereren om slib te drogen. Voorbeelden van directe droging, zijn wervelbeddrogers, trommeldrogers en banddrogers. Bij indirecte droging is er geen direct contact tussen het slib en de warmtebron. Voorbeelden hiervan zijn een paddle-droger, dunne filmdroger of een roterende schijven droger. De Pulverised Air Dryer is een voorbeeld van een droger die de warmte zelf genereert en geen externe warmtebron nodig heeft. De meeste technieken zoals de wervelbeddrogers, en trommelbeddrogers worden op grote schaal al toegepast, bijvoorbeeld als droogstap in een monoverbrandingsinstallatie. Banddrogers worden steeds vaker toegepast als afvalwarmte op een locatie beschikbaar is. In Nederland wordt in Alkmaar een dergelijke droger gerealiseerd.

Naast bovengenoemde bekende droogtechnieken zijn in de marktconsultatie andere meer 'exotische' technieken kort onderzocht. Het gaat hierbij om vriesdrogen, eutectisch invriezen en droging door middel van infrarood of microgolven. Deze technieken worden bijvoorbeeld in de levensmiddelenindustrie gebruikt, maar zijn vaak nog niet getest of toegepast voor slib. In de marktconsultatie wordt geconcludeerd dat vriesdrogen, eutectisch invriezen, en drogen met infrarood niet toepasbaar zijn op slib. Droging met microgolven is alleen getest op pilotschaal, waarbij het werkingsprincipe wel is bevestigd, maar verdere opschaling voor zover bekend niet heeft plaatsgevonden.

#### SUCCEFACTOREN VOOR INNOVATIEVE TECHNOLOGIEËN SLIBEINDVERWERKING (TORWASH)

##### *Samenwerking*

Samenwerking met stakeholders en ze actief betrekken vanuit de gehele (huidige en nieuw op te zetten) waardeketen. Voor ons is de samenwerking met waterschappen, industriële zuiveringen, onderzoeksinstituten, universiteiten (TUD, UT), energieleveranciers (Eneco en ENGIE) en andere bedrijven, slibverwerkers, ingenieursbureaus en aannemers essentieel om een goed draagvlak te creëren voor de technologieontwikkeling. Belangrijk daarbij is dat de betrokken partijen open staan voor innovatie.

##### *Testen op een zuiveringslocatie*

Wat ons een grote positieve impact heeft gebracht is dat wij onze pilot op de locatie van de RWZI Almere hebben uitgevoerd en onze demo op locatie van de RWZI Land van Cuijk. Hierdoor hebben wij veel van de mensen op de zuivering geleerd, omdat ze veel kennis hebben van het zuiveringsproces. Dat hielp ons weer beter te begrijpen hoe dit de slibkwaliteit beïnvloed en of dat een effect kon hebben op ons proces en product. Het dagelijkse contact tijdens de testperiode en elkaar wekelijks op de hoogte houden van

<sup>64</sup> STOWA, 2013, Marktconsultatie slibdroging- en slibontwatering, rapportnummer 2013 – W03.

activiteiten/bevindingen/planning, maar ook hulp vragen bij uitdagingen hielpen om het draagvlak te vergroten en om de technologie verder te brengen

#### ***Kennisopbouw***

Een solide basis in kennis en expertise ondersteund door experimentele resultaten. Dit is belangrijk om de technologie te begrijpen, begrijpen waar de uitdagingen zitten en verder te kunnen ontwikkelen.

Wat ons goed heeft geholpen zijn alle onderzoeksprojecten die wij met partijen uit de hele waardeketen samen hebben uitgevoerd als voorbereiding op de demo. De begeleidingscommissies (vanuit STOWA) heeft ons scherp gehouden op de technologie om zo aspecten mee te nemen die belangrijk zijn voor de waterschappen. Dit heeft andersom gewerkt, want de leden van onze begeleidingscommissie zijn uiteindelijk onze ambassadeurs.

#### ***Marktpotentieel en business case***

De technologie in ontwikkeling moet duidelijk een probleem oplossen. De markt dient voldoende groot te zijn zodat de technologie winstgevend kan zijn. De businesscase moet in een vroeg stadium in de ontwikkeling al kloppen. Een allereerste (simpele) businesscase berekening hebben wij gedaan tijdens de eerste testen op laboratoriumschaal. Die werd vervolgens steeds aangescherpt met elke schaal van de technologieontwikkeling.

#### ***Subsidies***

Relevante subsidies die de ontwikkeling kunnen ondersteunen. De technologieontwikkeling had niet zo ver kunnen komen zonder subsidies van RvO en de EU. Onze eerste opschaling hebben wij gedaan vanuit het BBEG-programma (RvO) en Horizon 2020 (EU) en deze stap met de DEI+ (RvO). Voor de verdere opschaling kijken wij naar mogelijkheden binnen LIFE (EU), EIC (EU) en DEI+(RvO). Kennis over de soort subsidies die passen bij de bepaalde technologie die ontwikkeld wordt kan belangrijk zijn.

*Informatie van TORWASH (Pavlina Nanou)*

#### **4.4 AFZET NAAR LANDBOUW**

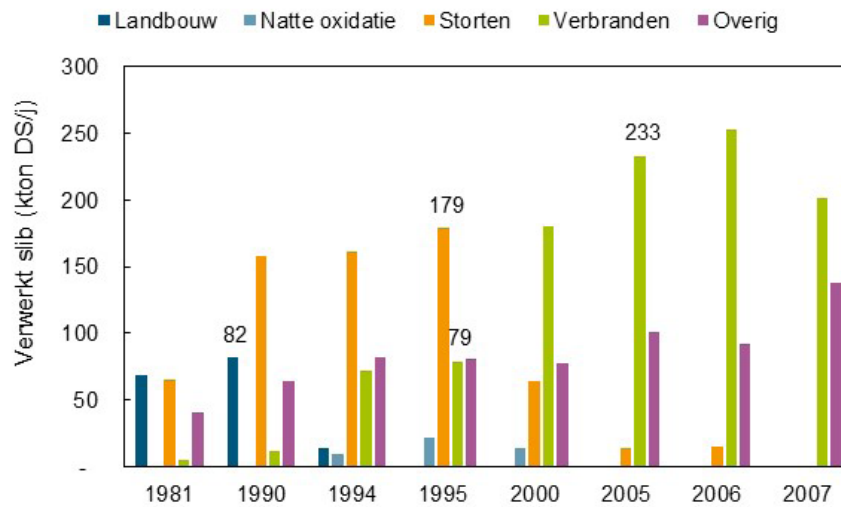
In 1951 werd de circulaire waarde van zuiveringsslib, toen nog slijkstoffen genoemd, gezien. Gezegd werd toen: *“Bij de zuivering ontstaan nevenproducten (slijkstoffen en rioolgas) die soms van vrij grote waarde blijken te zijn. Vooral in de laatste tijd is men grote waarde aan de afgescheiden slijkstoffen gaan toekennen als organische meststof, onder andere als gevolg van de aanwezigheid van allerlei de groei stimulerende verbindingen”*<sup>65</sup>.

Tot de begin jaren negentig werd het slib voor landbouw- of bodemtoepassingen ingezet. Naast deze toepassing werd het slib vooral gestort. Met deze twee verwerkingsroute werd driekwart van het dan geproduceerde slib verwerkt (zie data in Figuur 12).

<sup>65</sup> Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Kees van Lohuizen, oktober 2006, Afvalwaterzuivering in Nederland; Van beerput tot oxidatiesloot, RWSI RIZA rapport 2006.011, ISBN 90 36 95 72 73.

FIGUUR 12

ONTWIKKELING VERWERKINGSROUTE VOOR (ONTWATERD) SLIB IN NEDERLAND IN DE PERIODE 1981 – 2007. DE VERWERKINGSROUTE “OVERIG” BETREFT VERBRANDING IN EEN CEMENTOVEN OF BIJ EEN ELEKTRICITEITSCENTRALE



Eind jaren tachtig ontstond langzamerhand maatschappelijke weerstand tegen het gebruik van slib in de landbouw of voor bodemtoepassingen (alleen in Nederland). Dit was het gevolg van twijfels over de voedselveiligheid en door incidenten met het gebruik van slib door gebrek aan hygiëniseratie. Dit is terug te zien in Figuur 12, vanaf 1994 wordt nauwelijks slib nog afgezet in de landbouw. In de jaren 1994 en 1995 wordt ongeveer de helft van het geproduceerde slib gestort. In die jaren is te zien dat een deel van het slib wordt verbrand als de slibverbranding in Dordrecht (toen nog DRSH, nu HVC) in bedrijf komt. Vanaf 2000 wordt verbranding de belangrijkste verwerkingsroute als in 1998 de monoverbrandingsinstallatie in Moerdijk (SNB) in bedrijf komt. In 2005 wordt 50% van het slib uit Nederland verwerkt in een monoverbrandingsinstallatie. In 2021 is dit toegenomen tot 56% van het slib. Het overige slib werd in 2021 verwerkt in een co-verbrandingsinstallatie (11%), via biologisch drogen werd 19% van het Nederlandse slib verwerkt en 15% werd nog thermisch met aardgas gedroogd. Het biologisch- of thermisch gedroogde slib wordt thermisch verwerkt in diverse installaties.

De afbouw van de afzet van slib naar de landbouw was het gevolg van de richtlijn slibverwerking die in 1986 werd vastgesteld. In deze richtlijn is het toegestaan om slib af te zetten in de landbouw als de concentraties van zeven zware metalen (Cd, Cr, Hg, Pb, Zn, Cu, en Ni) niet overschreden worden, en het voldoet aan de eisen voor hygiëniseratie en wachttermijnen voor gebruik. Nederland heeft daarbij gebruik gemaakt van het recht om de normen verder aan te scherpen. Dit is in eerste instantie vastgelegd in het BOOM-besluit en later overgeheveld naar het Besluit gebruik meststoffen en het uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. De strengere normen in Nederland vormen een uitzondering binnen Europa. De waarden uit de richtlijn, de Nederlandse normen en enkele slibdata uit Nederland en andere landen zijn opgenomen in Tabel 6.

**TABEL 6 MAXIMAAL TOEGESTANE GEHALTEN AAN ZWARE METALEN IN ZUIVERINGSSLIB VOLGENS EU RICHTLIJN EN VERTALING DAARVAN IN NEDERLAND, DUITSLAND, ENGELAND EN WALLONIË. IN DE TABEL IS DE NEDERLANDSE SLIBKwaliteit UIT 2020 OPGENOMEN (BRON CBS)<sup>66</sup>**

Omschrijving	Cd (mg/kg DS)	Cr (mg/kg DS)	Cu (mg/kg DS)	Hg (mg/kg DS)	Ni (mg/kg DS)	Pb (mg/kg DS)	Zn (mg/kg DS)
EU richtlijn	20-40	-	1.000-1.750	16-25	300-400	750-1.200	2.500-4.000
NL richtlijn	1,2	75	75	0,75	30	100	300
NL slib (2020)	1,0	39	391	0,5	26	84	1.057
Duitse richtlijn	2	80	600	1,4	60	100	1.500
Engelse richtlijn	20-40	-	1.000-1.750	16-25	300-400	750-1.200	2.500-4.000
Waalse richtlijn	10	500	600	10	100	500	2.000

In Tabel 6 is dat de Nederlandse normen duidelijk strenger zijn voor alle zware metalen dan de Europese richtlijn, en de normen in enkele andere Europese landen/landsdelen. Tegelijkertijd is te zien dat het Nederlandse zuiveringsslib alleen niet voldoet op de normen voor koper en zink. Deze twee metalen komen vooral via de huishoudens in het afvalwater terecht. Drinkwater wordt nog veel in koperen leidingen getransporteerd, zink komt in het afvalwater terecht via voedselresten en via de afvoer van regenwater via zinken dakgoten. Verwijdering van zink en koper uit het influent of uit slib was in 2019 nog technisch en economisch uitdagend<sup>67</sup>, sindsdien heeft hier geen verdere ontwikkeling meer in plaatsgevonden.

Vanwege de overschrijding van de normen van koper en zink kan het communale slib in Nederland niet naar de landbouw worden afgezet. Naast dat de strenge normen in Nederland de afzet van slib tot nu toe onmogelijk maken, spelen andere factoren in Nederland nog een rol<sup>68</sup>:

- Vragen vanuit de markt over de kwaliteit van het slib (compost), waarbij het naast de zware metalen gaat om mogelijke verontreinigingen als hormoonstoffen, medicijnresten, microplastics etc. Deze verontreinigingen in slib kunnen de acceptatie door afnemers zeer bemoeilijken;
- De competitie met andere meststoffen, in het bijzonder dierlijke mest; slib bevat per kg organische stof relatief veel fosfor ten opzichte van andere meststoffen zoals dierlijke mest. Met het fosfaatoverschot in Nederland is slib daardoor een onaantrekkelijke meststof;
- De markt met lagere kwaliteitseisen zoals de grond- weg- en waterbouw te klein is om een aanzienlijk deel van het Nederlandse slib te kunnen verwerken;

<sup>66</sup> Tabel gebaseerd op informatie uit: STOWA, 2019, Verkenning verwaarding van zuiveringsslib met behulp van biologische methoden, rapportnummer 2019 – 11.

<sup>67</sup> KWR, September 2019, Terugwinning van metalen uit water, slib en vliegas; Resultaten fase 2 – Experimenten, KWR 2019.048

<sup>68</sup> Informatie in bullets afkomstig uit: STOWA, 2014, Perspectieven en knelpunten van zuiveringsslib voor bodemkundig gebruik, 2014-35 en STOWA, 2019, Verkenning verwaarding van zuiveringsslib met behulp van biologische methoden, rapportnummer 2019 – 11.

**BLACK SOLDIER FLIES VOOR DECENTRALE SLIBREDUCTIE<sup>69</sup>**

Larven van de black soldier flies (BSF) kunnen de slibhoeveelheid reduceren doordat zij een deel van het slib opeten en omzetten in eiwitten. Wat mogelijk een alternatief kan zijn voor onder andere veevoer. Toepassing van BSF op communaal slib lijkt uitdagend te zijn vanwege de aanwezigheid van extracellulaire polymeren. Het eerst toepassen van vergisting verhoogd wel de opbrengst. Bij toepassing op fecaal slib uit latrines lijkt een hoge afbraak (>50%) wel mogelijk. Toepassing in de Nederlandse praktijk lijkt daarmee minder waarschijnlijk.

Net als in 1951 wordt nog steeds de toegevoegde waarde van slib gezien in het kader van circulariteit. Uitvergist slib bevat nog steeds 40 – 50% organisch drogestof die op verarmde gronden een positieve impact kan hebben. Tegelijkertijd groeit de zorg over de aanwezigheid van microverontreinigingen zoals medicijnresten, microplastics, en PFAS. Verontreinigingen die vooral via de huishoudens in het afvalwater terechtkomen door het gebruik van medicijnen, schoonmaakmiddelen, verzorgingsproducten en huishoudelijke producten- en apparaten. Van deze verontreinigingen eindigen microplastics bijna volledig in het slib. Voor medicijnresten en PFAS dient er rekening mee te worden gehouden dat deze zich ook in het slib bevinden, de mate waarin kan sterk verschillen per stof en zuivering. Aanpak aan de bron, om te voorkomen dat dit soort stoffen in het slib terecht komen is een aanpak die het slib schoner kan maken, maar een (zeer) lange adem gaat vergen. De aanpak voor het verwijderen van medicijnresten en de productverantwoordelijkheid voor leveranciers in de hernieuwde richtlijn stedelijk afvalwater kan dit mogelijk wel versnellen.

De zorg om de toepassing van slib rondom volksgezondheid, en de kans om met slib circulariteit in te vullen is terug te zien in de evaluatie van de huidige richtlijn verwerking slib (zie paragraaf 3.2.2). Wat betreft de volksgezondheid gaat dit om zorgen over vervuiling van de bodem en de daarop geteelde landbouwproducten. Invulling geven aan de circulaire economie via slibverwerking gaat vooral over het behoud van fosfor in de nutriëntencyclus. Hoe zich dit richting de toekomst ontwikkelt, is op dit moment nog niet in te schatten. In de door het JRC (Joint Research Centre van EU) uitgevoerde verkenning naar een mogelijk nieuwe richtlijn slibverwerking zijn de volgende beelden geschetst:

- monitoring en controle van slib afgevoerd naar de landbouw, inclusief het recyclen of terugwinnen van fosfor;
- het veiligstellen van de volksgezondheid en het milieu en de terugwinning van fosfor door slibverbranding gevolgd door fosforterugwinning verplicht te stellen.

Wat betreft het laatste beeld is het wel van belang dat eerst betrouwbare technologieën beschikbaar komen die fosfor uit de as kunnen terugwinnen, en dat de geproduceerde producten afgezet kunnen worden.

<sup>69</sup> Informatie in dit kader uit: Raksasat, R. et al., 2022, Enriched sewage sludge from anaerobic pre-treatment in spurring valorization potential of black soldier larvae, *Environmental Research*, Volume 212, Part C en Tokwaro, R., 2023, Application of black soldier fly larvae in decentralized treatment of faecal sludge from pit latrines in informal settlements in Kampala city, *Sec. Water and Wastewater Management*, volume 11 – 2023.

In 2024 is een door LeAF<sup>70</sup> uitgevoerd STOWA onderzoek naar de circulaire slibketen 2050 afgerond (publicatie verwacht in 2025). De belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek zijn:

- Er zijn in Nederland geen slibstromen te vinden die voldoen aan de huidige Nederlandse normwaarden.
- Slib veel andere verontreinigingen dan zware metalen zoals ZZS, PFAS en micro- en nanoplastics bevat. Voor deze verontreinigingen bestaan nog geen normen, maar de verwachting is wel dat deze normen er komen. Deze niet genormeerde verontreinigingen vormen een milieurisico.

Aanpak aan de bron krijgt steeds meer aandacht (ook in de hernieuwde richtlijn), maar zorgt op de korte termijn niet voor een verbetering van de slibkwaliteit. Dit komt enerzijds door het feit dat de verscheidenheid aan verontreinigingen groot is. Anderzijds zal het tientallen jaren na uitfasering duren voordat een verontreiniging niet meer zichtbaar is in slib

Buiten Nederland wordt in Europa en de rest van de wereld veel slib nog naar de landbouw afgevoerd. Recentelijk (voor laatste jaren) wordt steeds meer de discussie gevoerd of de afzet van slib naar de landbouw door de aanwezigheid van ZZS in slib wel te verantwoorden is. Yorkshire Water (Engels waterbedrijf) noemt de publieke opinie rondom de aanwezigheid van o.a. PFAS als één van de grootste bedrijfsrisico's.

De tendens in Nederland, in Europa en daar buiten is duidelijk dat voor de afzet van slib naar de landbouw geen toekomst wordt gezien. Afzet van slib naar de landbouw is daarom in 2050 en daarna, geen optie om invulling te geven aan de circulaire ambities van de Nederlandse waterschappen.

#### **IMPACT AFZET BIOLOGISCH GEDROOGD SLIB OP DE CO<sub>2</sub> VOETAFDRIJK BIJ AFZET NAAR LANDBOUW VAN GEDROOGD PRODUCT<sup>71</sup>**

Rond 2016 heeft GMB onderzoek gedaan naar de afzetmogelijkheden van het biogranulaat naar de landbouw in Frankrijk. Onderdeel hiervan was een onderzoek naar de impact van afzet naar de landbouw op de CO<sub>2</sub> voetafdruk. In het onderzoek zijn vier cases onderzocht:

- Case 1: verwerking zuiveringsslib bij GMB + transport biogranulaat naar Frankrijk + mengen en opbrengen + koolstofvastlegging
- Case 2: case 1 + vervanging van NPK meststoffen
- Case 3: case 2 + vervanging van Mg en Ca meststoffen + meerjarige werking stikstof
- Case 4: case 3 + veenvervanging

Uit het onderzoek bleek dat bij toepassing van case 3 en 4 de toepassing van biogranulaat in de landbouw een klimaatvoordeel oplevert.

<sup>70</sup> LeAF: Lettinga Associates Foundation

<sup>71</sup> De informatie uit deze box is afkomstig van: CE Delft, 2017, Carbon footprint slibcompostering en afzet in de landbouw, publicatienummer 17.2L12.86.

# 5

## CRITERIA

### 5.1 CONTINUÏTEIT

Een eerste belangrijke stap om een technologie of slibketen te toetsen op continuïteit is te toetsen of de technologie of slibketen vergunbaar is volgens de eisen die daar vanuit LAP-3 aan worden gesteld (zie paragraaf 3.2.3). Een omgevingsvergunning milieu wordt alleen verkregen als een (nieuwe) technologie tenminste een gelijkwaardige milieu-impact heeft als de minimumstandaard. In paragraaf 6.1 is een overzicht gegeven van de status van de in dit rapport beschouwde technologieën als het gaat om vergunbaarheid.

Bij het toetsen van continuïteit is het zoeken naar criteria die kwantitatief aantonen dat een technologie geschikt is om slib voor een langere periode te verwerken, daarbij weinig uitval kent, alle rest- en afvalstromen goed verwerkt of afgezet kunnen worden, en (tussen) producten voor een lange tijd afgezet kunnen worden. Criteria die hierbij aansluiten zijn:

- Het technology readiness level (TRL) die toetst op welk ontwikkelniveau een technologie zich bevindt, ofwel een maat is voor de volwassenheid van een technologie;
- Betrouwbaarheid /robuustheid zegt iets over de beschikbaarheid van een installatie;
- De beschikbaarheid van een afzetmarkt voor een (tussen)product geeft een indicatie dat de afzet voor langere tijd gegarandeerd kan worden.

In het vervolg van deze paragraaf worden deze drie (sub)criteria nader gedefinieerd.

#### 5.1.1 TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

Het TRL-niveau van een technologie is een belangrijk middel om de ontwikkeling van een technologie te monitoren en te zien wanneer een technologie klaar is voor de markt. De verschillende ontwikkelingsstadia die daarbij zijn te onderscheiden is weergegeven in Figuur 13.

FIGUUR 13 ONTWIKKELINGSSTADIA VAN EEN TECHNOLOGIE VOLGENS TRL-CONCEPT

TRL 9	Concept volledig operationeel
TRL 8	Haalbaarheid concept volledig bekend/ eerste commerciële installatie
TRL 7	Concept operationeel in eigen of andere zuiveringsomgeving
TRL 6	Grote pilot gehouden
TRL 5	Kleine pilot gehouden
TRL 4	Laboratoriumtesten concept
TRL 3	Eerste inschatting haalbaarheid en business case
TRL 2	Concept geformuleerd
TRL 1	Basisprincipes waargenomen
TRL 0	Prikkel / idee



Bij het vaststellen van een TRL voor een technologie voor de verwerking van slib wordt uitgegaan van beschikbare informatie zoals STOWA-rapporten of informatie van de leverancier zelf. Belangrijk daarbij is om goed te kijken naar:

- De schaal waarop de technologie is getest ten opzichte van wat de beoogde schaalgrootte is;
- Of de technologie getest is op communaal zuiveringsslib; communaal zuiveringsslib onderscheidt zich duidelijk van andere biomassastromen, zo is het veel heterogener, bevat het spinsels, zouten en verloopt de viscositeit van het slib als functie van de temperatuur duidelijk anders;
- De technologie in West – Europa is getest in relatie tot de daar geldende wet- en regelgeving op kwaliteit van de luchtuitstoot, waterbehandeling, veiligheid en andere standaarden;
- De duur van de test; de samenstelling van slib verandert door de loop van het jaar, het is van belang dat vanaf een bepaald TRL-niveau (6) de testperiode minimaal een jaar is geweest;
- De opzet van de test, heeft de installatie op praktijkschaal continu gedraaid of werd deze alleen voor kortere periodes getest (alleen tijdens werkuren, of alleen in de werkweek), ofwel wat was de beschikbaarheid van de testinstallatie;
- Of **alle afzonderlijke stappen** van een technologie op hetzelfde TRL-niveau zijn getest.

Aan de hand van deze aandachtspunten kan een TRL aan een technologie worden toegekend. Welk TRL-niveau geaccepteerd wordt om een technologie te selecteren voor nadere uitwerking is afhankelijk van het moment van besluitvorming, ofwel hoeveel tijd is er nog om een technologie te ontwikkelen naar het gewenste TRL-niveau.

### 5.1.2 BETROUWBAARHEID – ROBUUSTHEID

De betrouwbaarheid, robuustheid van een technologie komt uiteindelijk neer op de (verwachte) beschikbaarheid van een installatie. De beschikbaarheid van de installatie is een combinatie van kans op uitval (gepland en ongepland) en de duur van de uitval (effect). De **kans op uitval** kan ingeschat aan de hand van de volgende risicofactor:

- Het aantal kritische onderdelen waaruit een installatie bestaat; dit zijn de onderdelen die nodig zijn om het slib in te nemen, te verwerken, of nodig zijn om te voldoen aan wettelijke (emissie)eisen; meer kritische onderdelen betekent waarschijnlijk meer gepland onderhoud om juist ongepland onderhoud te voorkomen;

De beschikbaarheid van een installatie wordt bepaald door het afzetten van tussen- en vastafvalproducten. Bij het wegvallen van de afzet van een tussenproduct zal de installatie die het tussenproduct produceert snel uit bedrijf gaan. Dit sub criterium voor continuïteit wordt in paragraaf 5.1.3 besproken.

Een inschatting van de **impact van de uitval** kan gemaakt worden aan de hand van de volgende risicofactoren:

- De afhankelijkheid van specifieke materialen en gespecialiseerd personeel is enerzijds te relateren aan of een technologie of slibketen **bestaand** is of **nieuw** en anderzijds aan de **complexiteit** van de installatie. Hierbij is gekeken naar de toegepaste **druk** en **temperaturen** en het aantal **kritische onderdelen**.

### 5.1.3 AFZET (TUSSEN)PRODUCTEN EN AFVAL- EN RESTSTOFFEN

Bij de verwerking van slib ontstaan vaste tussen- of eindproducten<sup>72</sup> en vaste afvalstromen. De afzet van deze tussen- en eindproducten en vaste afvalstromen vormt een integraal onderdeel van een technologie of slibketen. Afzetzekerheid van deze producten en stromen is bepalend voor de continuïteit van een technologie of slibketen. Op het moment dat een tussenproduct, bijvoorbeeld thermisch gedroogd slib, niet afgezet kan worden zal vrij snel de thermische drooginstallatie uit bedrijf gaan. Bij gedroogd slib tot 90% drogestof geldt nog dat de opslag daarvan gevoelig is voor broei, extra voorzieningen zijn daarbij nodig om dit slib veilig op te slaan.

Een indicatie voor een goede afzet kan gemaakt worden door per technologie of slibketen inzichtelijk te maken welke tussen- en eindproducten en vaste afvalstromen geproduceerd worden en in hoeverre hiervoor al een afzetmarkt bestaat of dat deze nog ontwikkeld dient te worden. Het is voorstelbaar dat voor een bestaande technologie die markt al sterk ontwikkeld is, en deze voor een nieuwe (in ontwikkeling zijnde) technologie nog dient te worden ontwikkeld.

Naast vaste afvalstromen ontstaan bij de verwerking van slib ook afvalwaterstromen. Deze dienen op een zodanig manier te worden gezuiverd dat kan worden voldaan aan de eisen voor lozing op het oppervlaktewater. Dit kan een directe lozing zijn als het afvalwater wordt geproduceerd en gezuiverd op een centrale eindverwerkings-locatie. Het kan gaan om een indirecte lozing als het deels gezuiverde of ongezuiverde afvalwater wordt getransporteerd naar bijvoorbeeld een communale afvalwaterzuivering. In beide situaties is het van belang dat het afvalwater vanuit de slibeindverwerking niet leidt tot een verstoring, via de aanwezigheid van toxische stoffen, van het zuiveringsproces, zodat altijd aan de lokale lozingseisen kan worden voldaan. Uiteindelijk is elke afvalwaterstroom te zuiveren via een biologische en/of fysisch chemische behandeling waarmee aan de lozingseisen kan worden voldaan. De vraag is of dit relatief als gemakkelijk of meer uitdagend/complex kan worden gezien. Belangrijk punt daarbij is of het vrijkomende afvalwater al succesvol behandeld wordt, of dat dit nog aangetoond dient te worden.

## 5.2 DUURZAAMHEID

### 5.2.1 ENERGIE- EN CO<sub>2</sub> BALANS

Het bepalen van de energie- en CO<sub>2</sub> balans van een slibtechnologie of slibketen is uitdagend. Voor een goede vergelijking tussen technologieën en/of slibketens is het van belang om een duidelijke afbakening (scope) met elkaar vast te stellen, en welke parameters mee worden genomen in de vergelijking.

Vervolgens is het van belang om alle gewenste informatie te verzamelen en daarbij op zoek te gaan naar betrouwbare data. Het verzamelen van de benodigde informatie is voor bestaande technologieën vaak eenvoudiger en hiervoor zijn de data al over een langere periode beschikbaar en vaak ook betrouwbaar. Voor in ontwikkeling zijnde technologieën is dit minder het geval en is het belangrijk dat de beschikbare data betrouwbaar en vergelijkbaar zijn met de data van bestaande technologieën/slibketens. Het is daarbij belangrijk dat bij de in ontwikkeling zijnde technologieën de juiste data worden verzameld en de daarvoor benodigde metingen op de juiste wijze worden uitgevoerd. Bij de analyse van data die verzameld worden op bijvoorbeeld pilotschaal is het goed om aandacht te hebben voor de interpretatie van die data en de vertaalslag naar een full-scale installatie.

<sup>72</sup> Voorbeeld van een eindproduct is bijvoorbeeld de carbonaats die ontstaat na pyrolyse. Een vaste afvalstroom is bijvoorbeeld de bedas die na de monoverbranding van slib kan ontstaan.

Simpelweg bestaat slib uit water, organisch drogestof en een asrest (zie Figuur 3). Om het water uit het slib te verwijderen (via bijvoorbeeld verdamping) is energie nodig.

De energie die hiervoor nodig is, kan worden gehaald uit de energie die na thermische omzetting van het in slib aanwezige organische drogestof vrijkomt, of kan deels of geheel uit een externe energiebron worden gehaald. De efficiëntie en de bron van een eventuele energiedrager (fossiel of duurzaam) bepalen de netto energiebalans en de daarmee samenhangende CO<sub>2</sub>-balans. Voor het opstellen van een **energiebalans** zijn de volgende gegevens nodig:

- De hoeveelheid te verwerken slib, het drogestof- en organisch drogestofgehalte;
- Benodigde energiebronnen voor bijvoorbeeld het leveren van druk en verwarming van slib, zoals warmte, elektriciteit, biogas en aardgas;
- Rendement van bijvoorbeeld een drogingsstap en een thermische ver- of bewerkingsstap;
- Hoeveelheid energie die mogelijk vrijkomt voor nuttige inzet voor de omgeving (bijvoorbeeld als vervanging van aardgas) of voor het eigen proces (warmteterugwinningsmogelijkheden uit de afgassen).

Voor het maken van een complete **energie- en CO<sub>2</sub>-balans** is inzicht nodig in:

- Het verbruik van de benodigde chemicaliën en hulpstoffen voor het gehele proces van drogen tot en met de rookgasreiniging en de zuivering van het condens- afvalwater;
- Transport van tussenproducten en afval- en reststoffen;
- Geproduceerde grondstoffen die nuttig kunnen worden hergebruikt en een grondstof geproduceerd uit fossiele componenten vervangt; belangrijk om hierbij te kijken naar een netto energiebalans, eventuele energie en/of hulpmiddelen die nog nodig zijn om de grondstof te produceren dienen hierin verrekend te worden;
- De emissie van broeikasgassen; het gaat hierbij vooral om de emissie van lachgas die bij de thermische verwerking van slib kan vrijkomen;
- De afzet van de eindproducten die als vervanger van bestaande grondstoffen kunnen worden ingezet.

Om een compleet overzicht te maken van de technologie en/of slibketen is het aan te raden een eenvoudig processchema te maken en een daarbij horende eenvoudige massabalans waarin alle gewenste componenten voor de energie- en CO<sub>2</sub>-balans zijn opgenomen.

De hierboven genoemde gegevens dienen voor een energiebalans omgezet worden naar primaire energie (GJ<sub>primaair</sub>) en CO<sub>2</sub>-equivalenten. Er zijn veel verschillende bronnen beschikbaar om deze kentallen voor alle energiedragers en grondstoffen op te halen. Het is aan te raden om in eerste instantie aan te sluiten bij de kentallen die al gebruikt worden voor de klimaatmonitor zodat deze herkenbaar blijven. Voor energiedragers en grondstoffen die daar niet in staan kan gebruikt worden gemaakt van de database die door CE Delft voor de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland is opgesteld<sup>73</sup>.

73 Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, CE Delft, 2018 GER-waarden database; De database in de vorm van Excel is te vinden op internet door te zoeken op RVO GER waarden database.

### BELANGRIJKE DEFINITIES

Het uitdrukken van energie in primaire energie betekent dat je rekent met het gebruik van energiebronnen met een fossiele oorsprong. Met het berekenen van de CO<sub>2</sub> voetafdruk houd je daarbij rekening door uit te gaan van “Langcyclische CO<sub>2</sub>”. Dit is CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen zoals olie en gas. Deze werkwijze sluit daarmee aan op alle nationale en internationale regelgeving rondom CO<sub>2</sub> die ook uitgaat van alleen “Langcyclische” CO<sub>2</sub>. De in dit rapport weergegeven CO<sub>2</sub> getallen zijn gebaseerd op “Langcyclische CO<sub>2</sub>”.

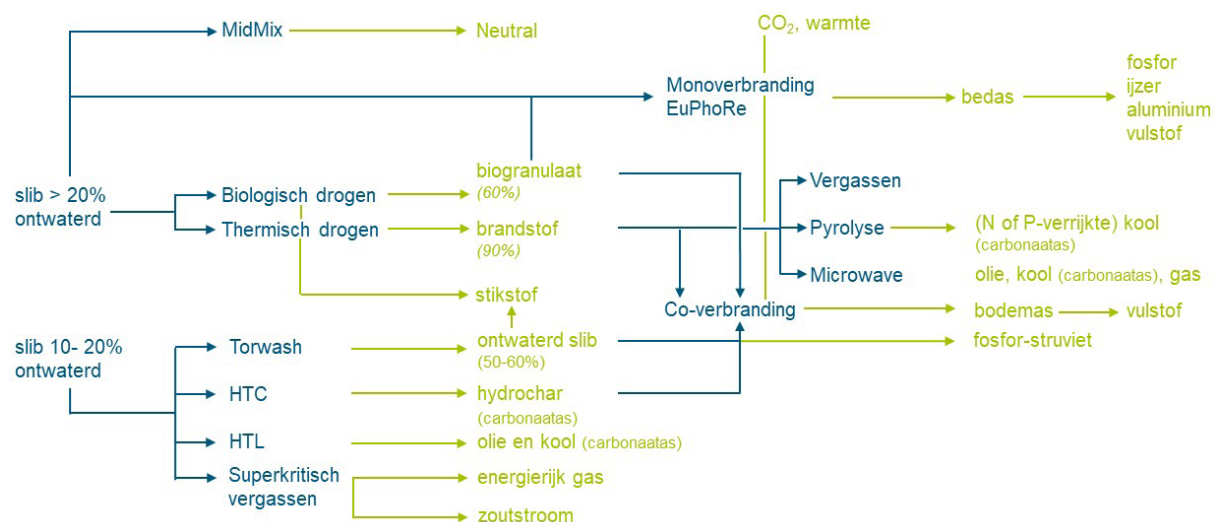
In dit rapport is verder nog niet gerekend aan de uitstoot van kort-cyclisch CO<sub>2</sub>, ofwel CO<sub>2</sub> van biogene oorsprong. Bij de verbranding van de organische stof uit slib komt dit ‘type’ CO<sub>2</sub> veel vrij, maar wordt nu nog niet meegenomen in de (inter)nationale rapportages. Mogelijk dat dit in de toekomst wel een rol gaat spelen, maar is vooralsnog niet bekend wanneer.

Uit bovenstaande blijkt dat het opstellen van een energie- en CO<sub>2</sub>-balans een hele studie op zichzelf is. Vandaar dat in dit rapport geen nieuwe berekeningen worden uitgevoerd, maar gebruik wordt gemaakt van in STOWA-rapporten verschenen energie- en CO<sub>2</sub>-balansen en het werk dat door Royal HaskoningDHV is uitgevoerd voor WBL, Vallei en Veluwe/GMB en SNB. Op basis van de bevindingen uit deze onderzoeken wordt een globale rangschikking gemaakt van de technologieën/slibketens.

### 5.2.2 GROND- EN AFVALSTOFFEN

De grond- en afvalstoffen die geproduceerd worden uit slib zijn afhankelijk van de toegepaste technologie/slibketen. In Figuur 14 is een overzicht gegeven van de mogelijke grond- en afvalstoffen die bij de technologieën uit Tabel 5 geproduceerd of teruggewonnen kunnen worden.

FIGUUR 14 OVERZICHT VAN GRONDSTOFFEN EN RESTSTOFFEN (IN GROEN WEERGEGEVEN) DIE BIJ DE EINDVERWERKING VAN SLIB GEPRODUCEERD OF TERUGGEWONNEN KUNNEN WORDEN



Ontwaterd slib (> 20%) kan na voordroging direct worden verwerkt in een monoverbrandingsinstallatie of via het MID MIX proces. Voorafgaand aan verbranding kan het ontwaterde slib (>20%) ook biologisch of thermisch gedroogd worden. Biologisch of thermisch gedroogd slib dient dan nog via andere technologieën verder verwerkt te worden. Dit kan via,

monoverbranding (inclusief Pyrolyse - Verbranding), co-verbranding (afvalenergiecentrales of (biomassa-)energiecentrales), of verwerking via vergassing, pyrolyse of microwave. Bij deze laatste groep technologieën is het drogen van slib vaak integraal onderdeel van de gehele installatie. Na toepassing van MID MIX wordt een product genaamd Neutral<sup>74</sup> gevormd, hiervoor is wel een hoge dosering ongebluste kalk nodig.

Na biologische of thermische droging van ontwaterd slib (> 20% drogestof) ontstaat een ammoniumrijke stroom, waaruit terugwinning van stikstof, vaak in de vorm van ammoniumsulfaat mogelijk is.

Bij biologisch drogen gaat het om luchtstroom waaruit de ammoniak kan worden teruggewonnen. In deze luchtstroom bevindt zich meer ammonium dan in een condenswaterstroom die na thermische droging ontstaat. Bij biologische droging wordt een deel van de organische stof nog omgezet waarbij ammonium vrijkomt en wordt afgevoerd via de afgezogen luchtstroom. Bij toepassing van MID MIX ontstaat een ammoniumrijke condensstroom die behandeld dient te worden. Om het teruggewonnen ammoniumsulfaat daadwerkelijk nuttig in te kunnen zetten, dient deze daartoe wel eerst goedgekeurd te worden.

Na verbranding van ontwaterd- of gedroogd slib in een monoverbrandingsinstallatie blijft bedas en na de rookgasreiniging een vliegashover. Vanuit de vliegashover is terugwinning van fosfor en mogelijk andere elementen mogelijk. Bij toepassing van vergassing, pyrolyse of Microwave blijft een carbonaat (kool) over, naast eventueel nog olie en gasstroom. De aanwezigheid van koolstof in de carbonaaten die na vergassing, pyrolyse of Microwave ontstaan maakt terugwinning van fosfor minder goed mogelijk. De warmte die na mono- of co-verbranding ontstaan kunnen voor het eigen proces of de omgeving nuttig worden ingezet. Dit laatste geldt ook voor het geproduceerde CO<sub>2</sub>.

Voor toepassing van Torwash of HTC kan worden volstaan met mechanisch ingedikt slib (tot 8% DS).

De energie (koolstof) uit het slib wordt bij deze technologieën geconcentreerd in vergaand ontwaterd slib, een kool/carbonaat, olie of gas. Voor al deze stromen geldt dat nog een thermische verwerkingsroute nodig is om de energie uit het slib te benutten (vaak co-verbranding) en het slib volledig te verwerken.

De vraag is nu hoe de verschillende technologieën op het gebied van grond- en afvalstoffen vergeleken kunnen worden. Als het gaat om afvalstoffen kan gekeken worden naar de ladder van Lansink, zoals opgenomen in Figuur 15.

<sup>74</sup> Om aan de eisen van MLCA (nodig voor vergunningverlening, zie paragraaf 3.2.3) te voldoen dient Neutral nog verder opgewerkt te worden.

FIGUUR 15

LADDER VAN LANSINK VOOR HET RANKEN VAN AFVALSTOFFEN DIE NA DE EINDVERWERKING VAN SLIB ONTSTAAN

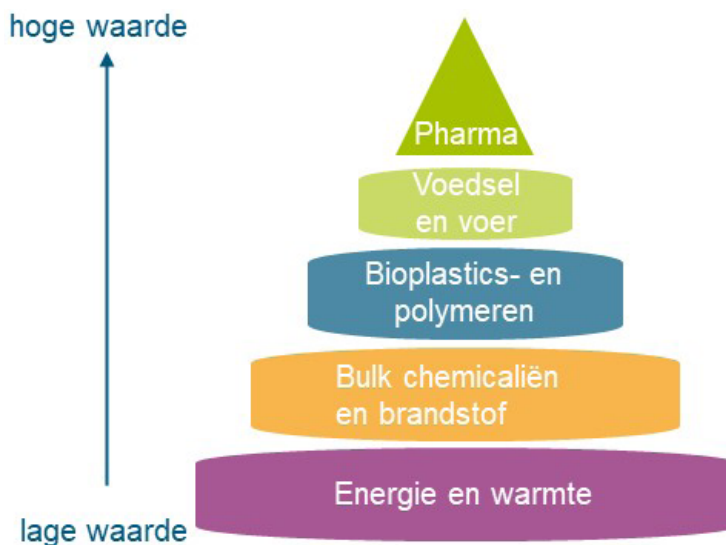


De ladder van Lansink stelt een voorkeursvolgorde op hoe het afval het beste kan worden verwerkt. Dit begint bij de minst milieubelastende optie (preventie) en eindigt bij de meest milieubelastende optie (storten). Afvalstoffen die na de slibeindverwerking ontstaan kunnen per technologie/slibketen geplaatst worden op een trede van de ladder van Lansink.

De grondstoffen die bij de eindverwerking van slib teruggewonnen kunnen worden zijn tot op heden koolstof, stikstof en fosfor, en eventueel ijzer, zwavel en aluminium. De inzet van deze stoffen kunnen aan de hand van de waardepiramide worden gerangschikt, zie Figuur 16.

FIGUUR 16

WAARDEPIRAMIDE VOOR DE INZET VAN GRONDSTOFFEN DIE UIT SLIB KUNNEN WORDEN TERUGGEWONNEN OF GEPRODUCEERD



In paragraaf 7.2 wordt per technologie/slibketen inzichtelijk gemaakt in welke vorm de koolstof, stikstof, fosfor en eventueel ijzer en aluminium worden teruggewonnen, om ze daarna te kunnen ranken.

### 5.2.3 EMISSIES NAAR MILIEU

Slib bevat een veelvoud aan verontreinigingen die tijdens de biologische zuivering van het afvalwater aan het slib zijn geadsorbeerd. Dit is de reden waarom slib ook wel de 'stofzuiger' van de zuivering wordt genoemd. Door het adsorberend vermogen van het slib worden veel milieubelastende elementen en stoffen verwijderd en komen deze niet in het milieu terecht.

Het is daarom van belang om bij de selectie van technologieën of slibketens goed te kijken of de aan het slib geadsorbeerde stoffen na eindverwerking van het slib niet alsnog in het milieu via de lucht of via het gezuiverde afvalwater terecht kunnen komen. Niet alle stoffen die mogelijk aan slib kunnen adsorberen kunnen in een slibstrategie worden beschouwd. De focus ligt op stoffen die bij de eindverwerking van slib mogelijk een belasting voor het milieu kunnen betekenen en onderdeel kunnen zijn van een huidige of toekomstige vergunning voor de emissie van die stoffen. Dit betreft:

- Stikstof en fosfor
- Kwik, zwavel en chloride
- Zware metalen (kwik, koper, zink en arseen)
- Organische microverontreinigingen (medicijnresten, microplastics, PFAS, PE (polymeer voor ontwatering)).

Afhankelijk van de procescondities die bij een technologie of in een slibketen worden toegepast kunnen deze stoffen worden afgebroken. Denk aan de omzet van organische stof naar CO<sub>2</sub> en water.

Als stoffen niet worden afgebroken kunnen ze eindigen in de vaste fractie (gedroogd slib of de verbrandingsas), het proceswater of de proceslucht. In paragraaf 7.3 wordt per technologie/slibketen beschouwd in welke fracties de verschillende stoffen terecht komen.

#### **PFAS-VERBINDINGEN BIJ VERWERKING VAN SLIB**

In 2021 is door het RIVM een studie uitgevoerd naar de verbranding van PFAS-stoffen in afvalverbrandingsinstallaties. Aan de hand van experimentele data is een volgorde gemaakt in thermische stabiliteit voor de diverse vormen van PFAS. Deze volgorde is:

- PFCs > PFASs > PFCAs > PFECAs > FTOHs > PFASAs

Voor alle 'PFAS stoffen' met uitzondering van PFC geldt dat deze volledig thermisch omgezet worden ver beneden de minimale temperatuur die voor (huishoudelijk) afvalverbrandingsinstallaties verplicht is. Deze temperatuur bedraagt 850°C. Uit de studie blijkt verder dat de minimale temperatuur waarbij verbranding van een 'PFAS-stof' plaats vindt hoger ligt dan 300°C. Dat volledige omzetting van organische microverontreinigingen bij (mono)verbranding mogelijk is blijkt ook uit een analyse\* van de vliegias die door SNB is uitgevoerd. Uit deze analyse van de vliegias blijkt dat het TOC-gehalte onder de detectiegrens ligt van 1%. Dit is een sterke indicatie dat nog weinig organische verbindingen in de as aanwezig zijn en dat organische microverontreinigingen nagenoeg volledig worden verbrand. Uitzondering hierop is PFAS dat in zeer lage concentraties aanwezig (in nanogrammen), de detectiegrens van 1% TOC is daarvoor te onnauwkeurig om vast te stellen of PFAS volledig wordt verbrand.

*\* deze analyses worden nu standaard uitgevoerd*

### **5.3 TOEKOMSTBESTENDIGHEID**

Toekomstbestendigheid is gerelateerd aan hoeverre een technologie of slibketen zich in meer of mindere mate kan aanpassen aan veranderende omstandigheden, ofwel wat is het aanpassingsvermogen. Ontwikkelingen die de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking beïnvloeden zijn:

- Schommelingen in aanbod van slib vanuit de markt, als gevolg van het uitvallen van gisting- of ontwateringsinstallaties, seizoensinvloeden, wijzigingen in instellingen ontwatering en inzet van poederkool;

- Hogere eisen aan bestaande emissies zoals NO<sub>x</sub>, naar de lucht, of nieuwe eisen voor opkomende stoffen zoals PFAS, voor emissie naar lucht, water en bodem;
- Een wettelijke eis om fosfor terug te winnen;
- Technologische ontwikkelingen, in hoeverre kunnen achter één bepaalde technologie meerdere technologieën worden geschakeld;
- Verandering in kwaliteit van het slib als gevolg van een andere wijze van afvalwater zuiveren of het vrijkomen van brijnstromen na nabehandeling van het effluent.

De afvoer van slib vanaf de zuiveringen kent door het jaar heen diverse schommelingen. Gedurende de looptijd van het leveringscontract met de eindverwerker kan de te verwerken hoeveelheid slib variëren als gevolg van meer of betere vergisting, terugwinning van grondstoffen of autonome groei door een hoger afvalwateraanbod. Het is zeer gebruikelijk dat dit soort schommelingen per jaar en door de jaren heen worden vastgelegd in een contract, waardoor een te realiseren technologie/slibketen of al bestaande technologie/slibketen voldoende capaciteit heeft om dit soort variaties op te vangen. De minimale schaalgrootte ofwel mate van modulariteit is als maat te gebruiken om technologieën/slibketens met elkaar te vergelijken als het gaat om het aanpassingsvermogen aan wisselingen in slibaanbod.<sup>75</sup>

Het voldoen aan wettelijke verplichtingen geldt altijd voor alle technologieën/slibketens. Strengere normen voor bestaande emissie-eisen leiden voor alle technologieën/slibketens tot hogere kosten. De mate waarin kan verschillen afhankelijk van de toegepaste technologie/slibketen.

De toegepaste temperatuur en druk kunnen hiervoor als maat worden genomen. Deze twee parameters bepalen namelijk in hoeverre een bepaalde organische verontreiniging wordt afgebroken of een verontreiniging terecht komt (in de gas- of vloeistoffase).

Het kunnen inspelen op een wettelijke eis om fosfor verplicht terug te winnen via de asroute is af te leiden uit de samenstelling van de geproduceerd as of koolproducten.

Het kunnen naschakelen van één of meerdere technologieën is alleen mogelijk met technologieën die een tussenproduct produceren en nog een volgende verwerkingstap nodig hebben.

#### 5.4 KOSTEN

Het invullen van criterium kosten is uitdagend. Dit komt doordat in Nederland verschillende factoren die moeilijk zijn te kwantificeren een rol spelen. Verwerking van slib in een bestaande installatie kan goedkoper zijn dan in een nieuwe of net nieuw gerealiseerde installatie<sup>76</sup>. Dit heeft te maken met installaties die al langere tijd in bedrijf zijn en grotendeels financieel zijn afgeschreven, en de mate waarin al geld wordt gereserveerd voor de investering in een nieuwe installatie. Tot slot kunnen om diverse redenen, waaronder commerciële redenen lagere prijzen voor de slibeindverwerking worden aangeboden dan de werkelijke totale prijs voor de verwerking. Dit maakt het in het huidige 'slibverwerkingslandschap' lastig om technologieën/slibketens betrouwbaar met elkaar op kosten te vergelijken. Wel zijn er openbare documenten aanwezig waarin tarieven voor de verwerking van slib voor de korte termijn (0 tot 5 jaar) te vinden zijn.

<sup>75</sup> Wisselingen in slibsamenstelling kunnen ook invloed hebben op de inzetbaarheid van een bepaalde technologie. Zo kan biologisch drogen van slib beter omgaan met zeefgoed dan monoverbranding. Andersom kan monoverbranding beter omgaan met slib dat een lager organisch drogestofgehalte heeft.

<sup>76</sup> Wel zal door goed onderhoud de continuïteit van een bestaande installatie op het gewenste niveau moeten blijven



Bij een vergelijking vanuit een groene weide situatie, uitgaand van nieuwbouw van alle te vergelijken technologieën/slibketens is de uitdaging om tot een zo'n compleet mogelijke inschatting te komen en deze betrouwbaar vast te stellen. De uitdaging zit hem er vaak in dat er een afhankelijkheid is van leveranciers voor het leveren van een kostenraming. Het beoordelen van deze kostenramingen is lastig, wat is daarin wel en niet meegenomen. Kijkend vanuit een groene weide situatie bestaat een slibeindverwerking uit:

- Transport en de opslag van ontwaterd slib (>20%) in geval van verwerking op een centrale locatie, bij eindverwerking op het niveau van een zuivering wordt deze post vervangen door transport van verregaand ontwaterd slib (50-60% DS) of carbonaatassen;
- Het transport en opslag van een tussenproduct (indien van toepassing zie in Tabel 5);
- (Thermische) verwerking van slib;
- Behandeling van vrijgekomen proceswater;
- Behandeling van alle vrijkomende lucht en rookgassen;
- Afvoer van afval- en reststoffen.

Afhankelijk van de gekozen technologie/slibkosten worden de aan deze stappen verbonden kosten gemaakt op één of twee of meerdere locaties. In dit laatste geval zijn deze kosten verwerkt in de afzetkosten van het tussenproduct. De kosten voor bovenstaande onderdelen bestaan uit:

- Kapitaalslasten, deze zijn gerelateerd aan de initiële investering, rente, en de lengte van de afschrijving;
- Transport ontwaterd en gedroogd slib, en transport van afvalstoffen;
- Verbruik en afzet van grond-, rest- en hulpstoffen, zoals gas/water/elektriciteit, chemicaliën, verbrandingsas e.a.;
- Kosten voor inzet eigen personeel en derden voor de bedrijfsvoering en onderhoud van de installatie.

# 6

## CONTINUÏTEIT

### WOORD VOORAF

Continuïteit kan gezien worden als één van de belangrijkste criteria waarop technologieën worden getoetst. Eigenlijk kan continuïteit gezien worden als een randvoorwaarde voor een technologie of slibketen. De technologie of slibketen dient immers altijd het aangevoerde slib te kunnen verwerken. Bij het toetsen van bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën wordt vooral beoogd om aan te geven wat erbij komt kijken voordat een technologie de gewenste continuïteit kan bieden. Logischerwijs behalen in ontwikkeling zijnde technologieën deze continuïteit nog niet, maar gaan dat wel doen aan het eind van die ontwikkeling als de technologie of slibketen volledig operationeel is (TRL 9). In die zin is continuïteit geen onderscheidend kenmerk van een technologie of slibketen. Het resultaat van de toetsing zoals deze in dit hoofdstuk beschreven is, is daarom nadrukkelijk een momentopname van de stand der techniek anno 2024.

### 6.1 TOETSING VERGUNBAARHEID (LAP-3)

In LAP-3 is de minimumstandaard omschreven als:

- Thermisch verwerken, al dan niet na voordrogen, leidend tot de (thermische) oxidatie van het organisch materiaal. Voorbeelden hiervan zijn:
  - verbranding in verschillende typen installaties (slibverbrandingsinstallaties (SVI), cementoven, energiecentrale of AVI), al dan niet in combinatie met biologische dan wel thermische voordroging;

Verder wordt in LAP-3 nog gemeld dat:

- Terugwinnen van stoffen uit het slib (bijv. fosfaat, bioplastic, alginaat, etc.) is toegestaan met de kanttekening dat het residu wat overblijft na terugwinning niet mag worden gestort.
  - *De as-stroom die na terugwinning van fosfor uit de as overblijft mag niet gestort worden.*

De bestaande technologieën en/of slibketens zoals deze zijn vermeld in Tabel 5 voldoen aan LAP-3. Voor (nieuwe) technologieën en slibketens die niet in LAP-3 zijn genoemd dient voor het verkrijgen van een omgevingsvergunning een mLCA (multi-cyclus Life Cycle Assessment) uitgevoerd te worden inclusief een 'second opinion'.

### 6.2 TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

Monoverbranding van slib wordt in Nederland al sinds de jaren negentig toegepast en is een volledig operationeel concept met een TRL van 9. Dit geldt ook voor biologische en thermische droging met aardgas en afvalwarmte. In Nederland is geen ervaring opgedaan met de toepassing van kasdroging, maar wereldwijd is deze technologie een veel toegepaste technologie, en kan gezien worden als een volwassen technologie met een TRL van 9. Dit geldt ook voor de technologie waarmee slib gedroogd wordt met behulp van een warmtepomp. Buiten Nederland wordt deze al op enkele locaties full-scale toegepast, waarmee de technologie zich ook op een TRL-niveau van 9 bevindt.

Bij de toetsing van het TRL-niveau is uitgegaan van het ontwikkelniveau met communaal slib. Het startpunt van de toetsing is de informatie die in het “Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV” is opgehaald (d.d. januari 2023), aangevuld met informatie die in presentaties of op websites van leveranciers is gevonden. In bijlage 3 zijn alle in ontwikkeling zijnde technologieën getoetst aan de hand van de criteria zoals deze zijn beschreven in paragraaf 5.1.1. Een samenvatting van de toetsing is opgenomen in Tabel 7.

**TABEL 7** TRL-NIVEAU VAN IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN/SLIBKETENS VOOR DE VERWERKING VAN SLIB. GENOEMDE SLIBPRODUCTIES ZIJN UITGEDRUKT IN TONNEN SLIBKOEK.

In ontwikkeling zijnde slibketens	TRL-niveau	Toelichting
Pyrolyse + verbranden	7	De technologie is in zuiveringsomgeving getest met een schaalgrootte van 30.000 ton. De technologie is continu bedreven en de duur van de test is minimaal 1 jaar. Nog geen fosfor terugwinning.
HTC	6	De technologie is door de diverse leveranciers op diverse schaalgroottes getest variërend van 14.000 tot 50.000 ton/j. De duur van de uitgevoerde testen is niet bekend, en is onduidelijk of alle bijbehorende deelprocessen voor terugwinning van grondstoffen geïntegreerd hebben plaatsgevonden.
HTL	5 of 6	Tussen 2015 en 2022 is er in Denemarken onderzoek gedaan naar deze technologie. Niet bekend is op welke schaal deze technologie is getest, vandaar dat onderscheid tussen TRL5 (kleine pilot) en TRL6 grote pilot niet is te maken.
Microwave	5	De technologie is door Aarhus Vand in Denemarken enkele maanden getest op kleine schaal (225 kg per batch). Wel is hierbij getest met communaal slib
Pyrolyse	6 of 9	Het ontwikkelniveau verschilt per leverancier, en zijn in Duitsland op praktijkschaal (kleine modules) getest (TRL 6). Dit geldt voor de installaties van Aquagreen, BioMacon en Jumbo Group. De installatie van Pyreg-Eliquo bevindt zich op TRL 9.
Torwash	6	De technologie is met een capaciteit van rond de 4.000 ton per jaar getest op de zuivering Land van Cuijk. De test heeft ongeveer een half jaar geduurd. De behandeling van het rejectiewater is op laboratoriumschaal getest en daarmee nog niet op TRL 6 niveau getest.
Superkritisch vergassen	5	Na de laboratoriumtesten die in Duitsland met Nederlands slib zijn uitgevoerd <sup>78</sup> zijn bij de installatie in Alkmaar van SCW nog geen langdurige testen met zuiveringslib uitgevoerd. Wel heeft op de zuivering Dinther een kleine pilot installatie gedraaid <sup>77</sup> . Deze heeft wel maar enkele dagen op slib gedraaid (telkens één dag, geen dagen achter elkaar).
Vergassen	7	Er zijn in Duitsland drie vergassingsinstallaties gerealiseerd. De installatie in Mannheim heeft nooit gedraaid. De installaties in Balingen en Koblenz staan regelmatig stil.
MID MIX	6	In Wilp zijn op praktijkschaal alleen testen in batchvorm uitgevoerd (4 batches van elk 40 ton slib).

De snelheid waarmee een nieuwe technologie zich ontwikkelt is van vele factoren afhankelijk. Belangrijke factoren zijn de bereidwilligheid van marktpartijen en waterschappen om te investeren in onderzoeken die bijdragen aan de ontwikkeling van een technologie en daarbij ook enige risico's te nemen. Met dergelijke onderzoeken en het ontwikkeltraject wordt inzicht verkregen in de technische haalbaarheid van de technologie, maar voor de verdere ontwikkeling van een technologie is het belangrijk dat er zicht is op een positieve businesscase. Tegelijkertijd dient een nieuwe technologie zich aan bestaande wet- en regelgeving te houden. Dit geldt voor de technologie zelf, maar zeker ook voor de af te zetten (afval)producten. Het vinden van een partij die de afname van een (afval)product voor de langere termijn zeker stelt is een andere belangrijke factor voor de ontwikkelingssnelheid van een technologie. De behandeling van eventueel vrijkomend afvalwater en de mogelijk vrijkomende rookgassen dient aangetoond zijn voordat een technologie groeit naar TRL 8 en 9. Kortom de ontwikkeling van een technologie dient integraal bekeken te worden.

<sup>77</sup> STOWA 2023, Supersludge: pilot plant proefprogramma superkritisch vergassen van zuiveringslib (2018 – 2022), rapportnummer 2023-41.

In bijlage 3 is beschreven hoe in zijn algemeenheid een inschatting gemaakt kan worden voor de tijd die nog nodig is om tot een bepaald TRL-niveau te komen.

### 6.3 BETROUWBAARHEID

*Het toetsen van het criterium betrouwbaarheid is lastig kwantitatief en objectief uit te voeren. Uiteindelijk hangt het ervan af hoe met de installatie wordt omgegaan qua onderhoud, de aanwezigheid van reserveonderdelen etc. Dit soort informatie is niet openbaar beschikbaar, waardoor de toetsing van betrouwbaarheid hier enigszins subjectief blijft. Met dit in het achterhoofd is in het vervolg van deze paragraaf getracht de betrouwbaarheid zo goed mogelijk kwantitatief en objectief te toetsen.*

De betrouwbaarheid van een technologie of slibketen wordt bepaald door de combinatie van de kans op uitval en de duur van de uitval (impact). Bij de **kans op uitval** is gekeken naar de risicofactor die eerder in paragraaf 5.1.2 is besproken:

- Het aantal kritische onderdelen. Hierbij is gekeken naar de onderdelen die voor dit criterium onderscheidend zijn voor een technologie of slibketen. Processtappen zoals de luchtreiniging, zuivering van afgezogen lucht (rookgasreiniging wordt wel meegeteld) en condens- of afvalwaterstromen (de behandeling van deze stromen wordt later in paragraaf 6.4.3 beoordeeld) zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

Het aantal kritische onderdelen per technologie of slibketen is weergegeven in Tabel 8.

**TABEL 8 AANTAL KRITISCHE ONDERDELEN PER TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN**

Technologie of slibketen	# Kritische onderdelen	Toelichting
Monoverbranding	3	droging, verbranding, rookgasreiniging
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	2	verbranding, reiniging afgezogen lucht uit composteerhallen <i>droging vindt in een hal plaats, de bij deze wijze van drogen benodigde mechanische onderdelen zijn niet complex en relatief eenvoudig te repareren of te vervangen.</i>
Droging met banddroger + co-verbranding	3	banddroger, verbranding, rookgasreiniging
Droging in kas + co-verbranding	2	verbranding, rookgasreiniging <i>zie droging, bij biologisch drogen</i>
Droging met warmtepomp + co-verbranding	3	warmtepomp, verbranding, rookgasreiniging
Pyrolyse + verbranden	4	vergassing slib, verbranding coke, verbranding proceslucht vergassing, rookgasreiniging
HTC	4	HTC, kamerfilterpers, verbranding, rookgasreiniging
HTL	3	HTL (met hoge temperatuur en druk), opwerking biochar, opwerking biokool
Microwave	5	stoomboiler, stoomdroger, microwave, opwerking biochar, opwerking biokool
Pyrolyse incl. eigen droging	3 tot 4	droogstap, 1 of 2 'verbrandingsstappen', rookgasreiniging
Torwash	4	Torwash, kamerfilterpers, verbranding, rookgasreiniging
Superkritisch vergassen	7	pomp voor drukverhoging, warmtewisseling, zoutafscheiding (diverse technologieën), opwarming, reactor, koeling, gasafscheiding
Vergassen	4	droogstap, vergassing, granulaatkoeling, rookgasreiniging
MID MIX	2 of 3	kalktoevoeging, MID MIX; 3 bij eventuele opwerking van product Neutral.

Aangezien niet het aantal kritische procesonderdelen, maar hoe wordt omgegaan met de installatie de kans op en duur van uitval bepaald, is het aantal kritische onderdelen verder niet getoetst.

De beschikbaarheid van een technologie of slibketen wordt bepaald door het afzetten van tussen- en vasteafvalproducten. Bij het wegvallen van de afzet van een tussenproduct zal de installatie die het tussenproduct produceert snel uit bedrijf gaan. Dit aspect van continuïteit wordt later in paragraaf 6.4.1 en 6.4.2 besproken.

Het aantal kritische onderdelen geeft een eerste indicatie van de complexiteit van de installatie en het risico op uitval. Uiteindelijk bepaald hoe lang een installatie al in bedrijf is, en hoe met de installatie wordt omgegaan de kans op uitval. Een monoverbrandingsinstallatie kan gezien worden als een complexe installatie, maar is een bestaande technologie waar in Nederland al veel kennis en ervaring mee is opgedaan. Vanuit deze redenering is het risico op de **duur van de uitval** van de installatie als volgt beoordeeld:

- Laag risico: bestaande en niet complexe technologie
- Gemiddeld risico: bestaande complexe technologie, of nieuwe minder complexe technologie;
- Hoog risico: nieuwe en complexe technologie,

Het resultaat van de beoordeling op de duur van uitval is opgenomen in Tabel 9.

**TABEL 9** RESULTAAT BEOORDELING OP RISICO OP LANGDURIGE UITVAL VOOR DE HIER BESCHOUWDE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS

	Minimale schaalgrootte (ton/j)	Complexiteit	Risico op langere duur van uitval
Monoverbranding	200.000	Bestaande technologie	Gemiddeld Bestaande, maar complexe installatie
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	90.000	Bestaande technologie/slibketen	Laag Bestaande, niet complexe installatie
Droging met banddroger + co-verbranding	2.500	Bestaande technologie/slibketen	Laag Idem biologisch drogen
Droging in kas + co-verbranding	1.000 – 170.000	Bestaande technologie/slibketen	Laag Idem biologisch drogen
Droging met warmtepomp + co-verbranding	1.000	Bestaande technologie/slibketen	Laag Idem biologisch drogen
Pyrolyse + verbranding	15.000 – 135.000	Nieuw, en complex door meerdere 'verbrandingsstappen'	Hoog Nieuw, onduidelijke schaalgrootte en complexe installatie
HTC	7.500 – 80.000	Nieuw, en complex door hoge temperatuur en hoge drukken.	Hoog Nieuw en complexe installatie
HTL	20.000	Nieuw en complex door hogere T en druk	Hoog Nieuw, complexe installatie
Microwave	nog geen informatie bekend	Nieuw en complex door veel onderdelen en hogere temperatuur	Hoog Nieuw, complexe installatie
Pyrolyse incl. eigen droging	1.500 – 11.500	Nieuw, maar minder complex	Gemiddeld Nieuw, maar minder complexe installatie
Torwash	1.500	Nieuw, en complex door hoge temperatuur en hoge drukken.	Hoog Nieuw en complexe installatie
Superkritisch vergassen	3.000	Nieuw en complex door veel onderdelen en hogere temperatuur en druk.	Hoog Nieuw, complexe installatie
Vergassen	8.000 – 20.000	Nieuw, maar vergelijkbaar met monoverbranding	Gemiddeld Nieuw, maar vergelijkbaar met monoverbranding
MID MIX	43.000	Nieuw, maar minder complex	Gemiddeld Nieuw, maar minder complexe installatie

Bovenstaand resultaat laat eigenlijk weer het verschil zien tussen bestaande en de meeste nieuwe technologieën. In 2024 zijn een aantal nieuwe technologieën nog niet commercieel beschikbaar en is de betrouwbaarheid daarvan moeilijk of niet te toetsen. De weergegeven complexiteit bij enkele nieuwe technologieën is zeker wel een belangrijk aandachtspunt, omdat dit meer gespecialiseerd personeel vraagt en mogelijk lastig te verkrijgen reserveonderdelen. Uiteindelijk is een hoge betrouwbaarheid/ beschikbaarheid grotendeels te realiseren en te organiseren, maar heeft dit vooral zijn weerslag op de kosten per te verwerken ton slib. Een voorbeeld hiervan is dat bij een complexere technologieën meerdere verwerkingslijnen worden gerealiseerd, waardoor bij uitval van één lijn, altijd verwerkingscapaciteit beschikbaar blijft.

Het vergassen van slib wordt gezien als even complex als monoverbranding. De praktijk leert echter dat de drie vergassingsinstallaties in Duitsland beperkt in bedrijf zijn en een lage beschikbaarheid kennen. Dat installaties kunnen uitvallen is gebleken toen in 2019 de afvalverbrandingsinstallatie van AEB volledig uit bedrijf werd genomen en slib daar niet meer kon worden verwerkt.

## 6.4 AFZET (TUSSEN)PRODUCTEN EN AFVAL(WATER)STROMEN

### 6.4.1 TUSSENPRODUCTEN

De afzetzekerheid van (tussen)producten die geproduceerd worden bij diverse technologieën is een zeer belangrijk onderdeel van een continue bedrijfsvoering van de technologie en de daarop benodigde verwerking. De afzetzekerheid wordt door meerdere factoren bepaald. De eerste is of de technologie in Nederland of in Europa al op grote schaal wordt toegepast en de afzet van het tussenproduct al voor langere tijd wordt geregeld. De afzet van tussenproducten wordt vaak in contracten vastgelegd, de mogelijke contractduur is een tweede factor die de afzetzekerheid van een tussenproduct bepaalt. De derde factor betreft de marktpotentie van het tussenproduct. De marktpotentie van een tussenproduct wordt vervolgens weer door diverse factoren bepaald:

- Aantrekkelijkheid van het (tussen)product, dit kan de energie-inhoud zijn van het tussenproduct, of het tussenproduct kan waardevolle grondstoffen bevatten; een voorbeeld hiervan is thermisch gedroogd slib dat qua mineralensamenstelling interessant is voor de cementindustrie;
- Impact op de bedrijfsvoering van de installatie waar het (tussen)product verwerkt wordt; tussenproducten die uit communaal slib gevormd worden bevatten veel stikstof, zwavel en chloride. Deze componenten eindigen na thermische verwerking grotendeels in de droogdamp (stikstof) en in de rookgassen (zwavel en stikstof). De rookgasreiniging van thermische verwerkingsinstallaties waar de (tussen)producten worden verwerkt zijn vaak niet uitgelegd om stikstof- en zwavelcomponenten vergaand te verwijderen. De hoeveelheid slib die dan in een dergelijke installatie verwerkt kan worden kan dan beperkt zijn;
- Stabiliteit van het (tussen)product; dit betreft zowel biologische- als thermische stabiliteit; Biologisch gedroogd slib levert biologisch stabiel slib op. Dit geldt niet voor thermisch gedroogd slib in een kas. Bij thermisch gedroogd slib dient er veel aandacht te zijn voor de thermische stabiliteit van het slib, gezien het risico op broei en ontvlaming. De biologische- en thermische stabiliteit spelen vooral bij de opslag van het gedroogde slib.

Op basis van bovenstaande factoren zijn de technologieën die een (tussen)product produceren beoordeeld op afzetzekerheid. De afzetzekerheid is daarbij ingedeeld naar hoog, gemiddeld

en laag. Het resultaat van de beoordeling is opgenomen in Tabel 10. Technologieën die geen tussenproduct vormen zijn hierin niet meegenomen.

**TABEL 10 RESULTAAT BEOORDELING AFZETZEKERHEID (TUSSEN) PRODUCTEN**

Technologie	Tussenproduct	Afzetzekerheid (tussen)product
Biologisch drogen	65% gedroogd slib	<b>Hoog:</b> bestaande installaties al sinds jaren negentig in bedrijf, afzetcontracten kennen vaak een langere contracttijd van vijf tot 10 jaar of langer. Verwerking vindt plaats in energiecentrales, thermische conversie installaties of afvalenergiecentrales. Vanaf 2025 wordt ongeveer de helft van het biogranulaat in de nieuwe monoverbrander van EEW in Delfzijl verwerkt. Biologisch gedroogd slib is stabiel en kan voor langere tijd (buiten) opgeslagen worden.
Droging met restwarmte (banddroger)	90% gedroogd slib	<b>Gemiddeld:</b> het nu in Nederland thermisch gedroogde slib kan voldoende afgezet worden, maar de contractduur is vaak beperkt tot 1 – 5 jaar. Is aantrekkelijke brandstof voor cementindustrie qua samenstelling van de aanwezige mineralen. Dit geldt mogelijk ook voor biomassa energiecentrales (BEC). Aanwezigheid van veel stikstof en zwavel is een nadeel. Thermisch gedroogd slib kan vaak niet voor langere tijd opgeslagen worden gezien complexiteit rondom risico op brand of broei.
Droging in kas met zon- en restwarmte	70% gedroogd slib	<b>Gemiddeld:</b> Het gedroogde slib uit een kas is niet biologisch stabiel, waardoor het moeilijk op te slaan is. Qua drogestofgehalte vergelijkbaar met biologisch gedroogd slib en kan mogelijk via dezelfde afzetroutes verwerkt worden.
Droging via warmtepomp	70 -90 % gedroogd slib	<b>Gemiddeld:</b> zie banddroger
HTC	55% hydrochar	<b>Gemiddeld:</b> de hydrochar heeft een hoge energiedichtheid (vergelijkbaar met ontwaterd slib na Torwash) waardoor dit een aantrekkelijke 'biobrandstof' kan zijn voor energiecentrales. Potentie is aanwezig, maar afzetroutes zijn nog niet bekend.
HTL	Olie en biokool	<b>Laag:</b> de oliestroom dient eerst nog opgewerkt te worden voordat deze mogelijk ingezet kan worden als brandstof. Afzet biokool is onzeker. Bevat nog maar heel weinig energie, waardoor deze niet aantrekkelijk is voor marktpartijen om te verwerken. Tegelijkertijd lijkt afzet naar de landbouw zeer moeilijk. Zie bij pyrolyse.
Microwave	Olie en biokool	<b>Laag:</b> Zie HTL
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	Carbonaatas	<b>Laag:</b> De carbonaatas, door leveranciers ook wel biochar/kool genoemd bevat nog zeer weinig energie, waardoor deze niet aantrekkelijk is voor marktpartijen. Ervaring van Pyreg in Duitsland leert dat carbonaatas uit communaal slib niet naar de landbouw kan worden afgezet. De kleine hoeveelheden gaan nu naar de cementindustrie.
Torwash	50-60% gedroogd slib	<b>Gemiddeld:</b> zie HTC en biologisch drogen bij de uitvoering van de pilot op de rwzi Land van Cuijk is Eneco als partner betrokken, een potentiële afnemer van het gedroogde slib.
MID MIX	Neutral	<b>Laag:</b> Potentiële afzetroutes zijn verkend, maar voor zover bekend is er nog geen zekerheid dat product kan worden afgezet.

De afzet van biologisch- en thermisch gedroogd slib vindt voor een groot gedeelte plaats naar België en Duitsland. Vanaf januari 2029 wordt het in Duitsland verplicht om fosfor uit de asresten terug te winnen. Slib uit Duitsland dat nu nog via co-verbranding wordt verwerkt zal daarom na 2028 daar niet meer verwerkt kunnen worden, omdat de concentraties in de as te laag zijn om economisch rendabel terug te winnen. Wat deze regelgeving betekent voor gedroogd slib dat nu in Duitsland via co-verbranding wordt verwerkt is nog niet aan te geven, maar is een ontwikkeling waar rekening mee dient te worden gehouden richting de toekomst.

#### 6.4.2 VASTE AFVALPRODUCTEN

De tussenproducten die gevormd worden bij de hierboven beschreven technologieën worden op diverse manieren verder verwerkt. Afhankelijk van de wijze van verdere verwerking worden nog vaste afvalproducten gevormd (denk aan bodemassen) of worden na verdere

opwerking van de tussenproducten ‘producten’ (denk aan transportbrandstoffen) gevormd, waarbij verder geen vaste afvalproducten meer ontstaan. Voor deze categorie geldt dat er verder geen beoordeling meer nodig is op de afzetzekerheid van vaste afvalproducten. Wel geldt voor deze ‘producten’ dat zij een vorm van certificering nodig zullen hebben, afhankelijk van de afzetmarkt (zoals Reach of Meststoffenwet). Deze certificering is noodzakelijk om de producten nuttig te kunnen inzetten. Dit geldt voor de technologieën HTL en Microwave. Bij pyrolyse ontstaat een carbonaatas waarvoor nog een nuttige afzetroute dient te worden gevonden.

Technologieën waarbij nog wel een thermische verwerkingsstap wordt toegepast zijn: biologisch- en thermisch drogen, HTC en Torwash. Thermische verwerking van de (energie-rijke) tussenproducten van deze technologieën kan plaats vinden bij elektriciteitscentrales, thermische conversie installaties, afvalenergiecentrales, of biomassa energiecentrales (BEC). In veel gevallen gaat het om co-verbranding, uitzondering is biologisch gedroogd slib dat ook in monoverbrandingsinstallaties wordt verwerkt. De vaste afvalproducten die daarbij ontstaan zijn samen met vaste afvalproducten van de andere technologieën (waar geen tussenproducten bij ontstaan) samengevat in Tabel 11. Bij het beoordelen van de afzetzekerheid is puur gekeken naar de afzetzekerheid van de vaste afvalproducten.

**TABEL 11** GEPRODUCEERDE (BELANGRIJKSTE) VASTE AFVALPRODUCTEN DIE ONTSTAAN BIJ DE THERMISCHE VERWERKING VAN ONTWATERD- OF GEDROOGD SLIB EN DE AFZETZEKERHEID VAN DEZE VASTE AFVALPRODUCTEN

Technologie	Afvalproducten (belangrijkste)	Afzetzekerheid
Monoverbranding (van ontwaterd & biologisch gedroogd slib)	Vliegas en bedas e.a.	<b>Hoog:</b> bestaande installaties die al sinds jaren negentig in bedrijf is en afzet van afvalstromen goed op orde heeft. Vraag naar as voor verwerking in asfalt is wel gevoelig voor mate waarin nieuwe wegen worden gerealiseerd.
Co-verbranding (na biologisch, thermisch drogen, HTC of Torwash)	Vliegas en bodemas e.a.	<b>Hoog:</b> thermische verwerking van deze producten vindt plaats in bestaande installaties. Door onder andere stagnatie in de bouw en economische omstandigheden stagneert de afzet van bodemassen <sup>78</sup> .
Pyrolyse + verbranding	Vliegas en bodem- of bedas	<b>Gemiddeld:</b> de technologie zelf wordt nog niet op grote schaal toegepast (TRL 5 – 7), maar de assen die worden geproduceerd kunnen naar verwachting wel via de bestaande routes van de as uit mono- en coverbrandingsinstallaties worden afgezet
HTL	Olie	<b>Laag:</b> product dient een certificering te hebben voor een nuttige toepassing. Deze is voor zover bekend nog niet aanwezig.
Microwave	Olie en kool	<b>Laag:</b> product dient een certificering te hebben voor een nuttige toepassing. Deze is voor zover bekend nog niet aanwezig.
Pyrolyse	Carbonaatas	<b>Laag:</b> product dient een certificering te hebben voor een nuttige toepassing. Deze is voor zover bekend nog niet aanwezig. Op bestaande locaties (Kleve – Pyreg, en bij installatie Aquagreen in Denemarken) zijn er geen afzetmogelijkheden voor de carbonaatas.
Superkritisch vergassen	Zoutbrijn en assen	<b>Laag:</b> Exacte samenstelling van deze stroom is niet bekend, mogelijke afzetroute is onbekend.
Vergassen	Vergassingsassen	<b>Gemiddeld:</b> technologie zelf wordt nog maar zeer beperkt voor communaal slib ingezet. De assen die worden geproduceerd kunnen naar verwachting wel via de bestaande routes van de as uit mono- en coverbrandingsinstallaties worden afgezet.

Een belangrijke afzetmarkt voor de diverse as-stromen is nuttige toepassing in asfalt. Op het moment dat de vraag naar asfalt richting de toekomst afneemt wordt de afzet van as-stromen lastiger. Dit wordt nu voor de bodemassen na co-verbranding al gemerkt.

<sup>78</sup> Informatie uit volgende bericht: <https://afvalonline.nl/bericht/39270/heijnen-bijgepraat-over-afzetprobleem-bodemas>. Website bezocht op 10-09-2024.



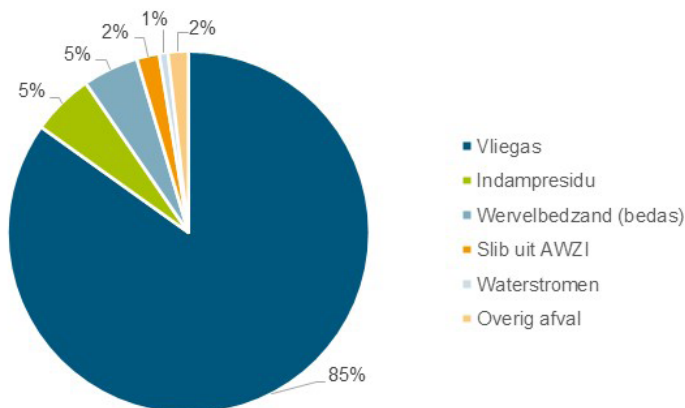
In het kader het “Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV” is in juli 2023 een bezoek gebracht aan de Pyreg (pyrolyse) installatie in Kleve. Met betrekking tot de afzet van de carbonaatas (biochar) is de volgende informatie verstrekt:

- In Duitsland is toepassing op land verboden, in Zweden en Tsjechië is het onder restricties toegestaan.
- Export vanuit Duitsland naar andere landen met bodemtoepassing is niet toegestaan.
- Mogelijk alternatieve toepassing als vulstof (asfalt of soortgelijk) of als brandstof.
- Onderzoek naar omzetten van biochar naar actieve kool zijn niet succesvol geweest.

Bovenstaande punten laten zien dat de afzet van carbonaatas zeer uitdagend is, zeker voor de Nederlandse situatie waar strenge kwaliteitseisen worden gesteld aan bodemgebruik en ook buiten Nederland steeds vaker de discussie wordt gevoerd om slib, of producten uit slib naar de landbouw te brengen.

Bij de verbranding van ontwaterd- of gedroogd slib komen naast de in Tabel 11 genoemde vaste afvalproducten nog meer afvalstromen vrij, maar deze vormen maar een klein gedeelte ten opzichte van de stroom aan vlieg-, bed-, of bodemas. Aan de hand van beschikbare gegevens van SNB (jaarverslag 2018) is dit inzichtelijk gemaakt in Figuur 17. Bij het toetsen van een nieuwe technologie is het van belang alle afvalstromen inzichtelijk te hebben, en te toetsen of deze voor langere tijd afgezet kunnen worden.

FIGUUR 17 AFVALSTROMEN (OP GEWICHTSBASIS) DIE VRIJKOMEN BIJ DE MONOVERBRANDING VAN COMMUNAAL SLIB



#### 6.4.3 AFVALWATER

Ontwaterd slib bevat grotendeels (rond de 75%) water. De samenstelling van het vrijkomende afvalwater is afhankelijk van de toegepaste technologie op de rwzi en in de slibketen. De belangrijkste parameters waarmee bij de zuivering van afvalwater dat vrijkomt bij de slibeindverwerking rekening mee dient te worden gehouden zijn:

- Organische stoffen (CZV/BZV):
  - Deze zijn grotendeels biologisch afbreekbaar en kunnen onder anaerobe omstandigheden nog energie opleveren;
  - Deze kunnen bestaan uit toxische componenten die de nitrificatie en de mate van zuurstofoverdracht remmen.
- Ammonium:
  - Ammonium komt vrij als het water wordt verdampt. Bij een droger voorafgaand aan (mono)verbranding komt het ammonium terecht in het condenswater. Bij biologisch drogen komt dit terecht in de proceslucht.

- Fosfaat:
  - Bij technologieën waar het slib direct wordt verbrand komt het fosfaat voornamelijk in de as terecht;
  - Bij technologieën waar het slib wordt 'gekraakt' kan een aanzienlijk deel van het fosfaat in het afvalwater terecht komen.

Uiteindelijk is elke afvalwaterstroom te zuiveren via een biologische en/of fysisch chemische behandeling waarmee aan de lozingsisen kan worden voldaan. De vraag is of dit relatief als gemakkelijk of meer uitdagend/complex kan worden gezien. De belangrijkste factor hierin is de mate waarin aromatische en toxische organische verbindingen vrijkomen die verstrend kunnen werken op biologische processen. Het onderzoek naar de samenstelling en toxiciteit van afvalwaterstromen die vrijkomen na toepassing van Torwash en superkritische vergassing geeft hier enig inzicht in. Bij het onderzoek naar superkritische vergassing van slib, bleek het afvalwater sterk nitrificatie remmend<sup>79</sup>. Bij een verdunning van 50x bleek dat de remming op de nitrificatie 80 – 90% bedroeg. Uit het Torwash onderzoek uit 2020 bleek dat pas na 70x verdunning geen remming meer optreedt van de nitrificatie<sup>80</sup>. Deze resultaten suggereren dat de toegepaste druk en temperatuur van invloed zijn op de samenstelling en toxiciteit van het effluent.

De toegepaste druk en temperatuur bij superkritisch vergassen ligt immers veel hoger dan bij Torwash (zie Figuur 11). De toegepaste druk en temperatuur zijn daarom als uitgangspunt gebruikt bij het toetsen van de wijze waarop het afvalwater van een technologie of slibketen kan worden behandeld. Belangrijk punt daarbij is of het vrijkomende afvalwater al succesvol behandeld wordt, of nog aangetoond dient te worden. Het resultaat van de toetsing is opgenomen in Tabel 12.

**TABEL 12** RESULTAAT TOETSING VAN DE KANS OP EEN DOELMATIGE BEHANDELING VAN HET AFVALWATER VOOR DE NOG IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN OF SLIBKETENS

Technologie of slibketen	Complexiteit en haalbaarheid behandeling afvalwater
Monoverbranding	<b>Lage complexiteit</b> , bestaande zuivering met: verwijdering ammonium uit condenswater via stripproces, biologische zuivering voor verdere verwijdering van ammonium en CZV. Effluent wordt afgevoerd naar nabijgelegen communale afvalwaterzuivering
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	<b>Lage complexiteit</b> , bestaande zuivering met: terugwinning van ammonium uit proceslucht via stripproces.
Droging met banddroger + co-verbranding	<b>Lage complexiteit</b> , nog niet bestaand in Nederland, maar ammonium kan eenvoudig via een stripproces uit condenswater worden verwijderd.
Droging in kas + co-verbranding	<b>Lage complexiteit</b> , nog niet bestaand in Nederland, maar ammonium kan eenvoudig via een stripproces uit condenswater worden verwijderd.
Droging met warmtepomp + co-verbranding	<b>Lage complexiteit</b> : Door lage temperatuur (~40°C) van verdamping verdampt ammonium nauwelijks naar lucht, maar zit daardoor wel in het afgevoerde water. Fysisch chemische verwijdering via stripproces lijkt hiervoor de hand te liggen.
Pyrolyse + verbranding	Niet van toepassing
HTC	<b>Gemiddelde complexiteit</b> : HTC wordt bedreven bij 20-24 bar en 180-280°C. Deze procesomstandigheden zijn vergelijkbaar met die van Torwash. Naast ammonium worden ook diverse toxische organische stoffen gevormd die een remmende werking hebben op de nitrificatie. Afhankelijk van de mate van verdunning kan deze remming voldoende weggenomen worden. Behandeling van vrijkomende afvalwater is nog niet op pilotschaal continu getest.
HTL	<b>Hoge complexiteit</b> HTL wordt bedreven bij 220 bar en 300-350°C. Deze procesomstandigheden zijn vergelijkbaar met die van Superkritisch vergassen. Gezien de daarbij waargenomen remming op de nitrificatie lijkt de behandeling van het vrijkomende afvalwater complex te worden.
Microwave	<b>Lage complexiteit</b> : het afvalwater bij Microwave ontstaat vooral bij de droging van het slib. De samenstelling van dit condenswater is vergelijkbaar met het condensaat dat bij de drogers in de huidige monoverbrandingsinstallaties ontstaat. Voor dit condenswater bestaat een goede behandeling.

79 STOWA, 2016, Experimenteel onderzoek superkritisch vergassen van zuiveringsslib, rapportnummer 2016-16.

80 STOWA, 2020, Pilotonderzoek hydrothermale bewerking van zuiveringsslib met Torwash®, rapportnummer 2020-26.

Technologie of slibketen	Complexiteit en haalbaarheid behandeling afvalwater
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	<b>Lage complexiteit:</b> zie Microwave
Torwash	<b>Gemiddelde complexiteit:</b> zie HTC, bij de pilottest in Almere en de in 2024 lopende pilot in Land van Cuijk wordt de behandeling van het afvalwater niet volledig getest.
Superkritisch vergassen	<b>Hoge complexiteit:</b> zie HTL, de temperatuur en druk liggen zelfs nog iets hoger dan bij HTL
Vergassen	<b>Lage complexiteit:</b> zie Microwave
MID MIX	<b>Lage complexiteit:</b> terugwinning van ammonium uit proceslucht via stripproces

Bij alle nog in ontwikkeling zijnde technologieën dient bij bovenstaande toetsing nog wel aangemerkt te worden dat een goede behandeling van het ontstane afvalwater nog niet is aangetoond. Het is van belang dat dit bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën wel wordt gedaan, om uiteindelijk zeker te weten dat het afvalwater goed kan worden behandeld en altijd aan de lozingseisen kan worden voldaan.

## 7

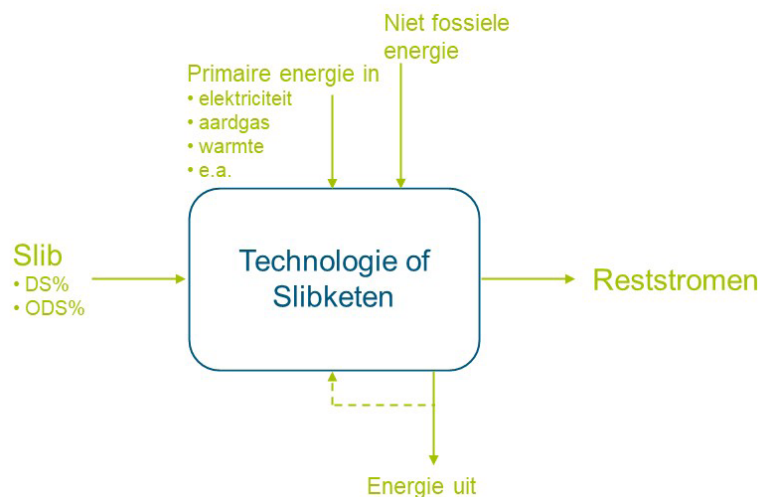
## DUURZAAMHEID

7.1 ENERGIE – EN CO<sub>2</sub> BALANS

## 7.1.1 ENERGIEBALANS

De energiebalans voor de (eind)verwerking van slib is eenvoudig weergegeven in Figuur 18. De eindverwerking van slib is hierbij aangegeven als één ‘black box’ die kan bestaan uit één technologie zoals bij monoverbranding of uit een slibketen bestaande uit meerdere technologieën zoals thermisch drogen en co-verbranding. Voor de eenvoud is vooral gekeken naar directe primaire of niet fossiele energiebronnen. De energie die nodig is voor de productie van chemicaliën is in deze paragraaf wel meegenomen, maar komt bij de bespreking van de CO<sub>2</sub> balans in meer detail aan bod.

FIGUUR 18 EENVOUDIGE WEERGAVE VOOR HET BEPALEN VAN DE ENERGIEBALANS VAN EEN TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN VOOR DE VERWERKING VAN SLIB



Het ingaande slib bevat een hoeveelheid water (af te leiden via het DS%) die bij de verwerking van slib veelal energie vraagt voor verdamping of omzetting van dat water. De organische stof (af te leiden via het ODS%) in het slib is een bron van energie, de mate waarin is grotendeels afhankelijk van of het slib vergist of onvergist is. De installatie waarin het slib wordt verwerkt vraagt energie voor het gebruik van diverse machines, pompen etc., maar additionele primaire energie kan nog nodig zijn als het slib zelf te weinig energie bevat om al het water te verdampen. In plaats van primaire energie kan een niet fossiele energiebron zoals restwarmte gebruikt worden. Dit is warmte die een te laagwaardige kwaliteit heeft om ingezet te worden voor de omgeving en nu een installatie via de schoorsteen verlaat.

Voor het inzichtelijk maken van de netto energiebalans voor de in dit rapport opgenomen technologieën en slibketens is gebruik gemaakt van data die ter beschikking is gesteld door WBL, SNB en het Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV, aangevuld met berekeningen uit recente STOWA rapportages<sup>79 en 81</sup>. Met de gegevens

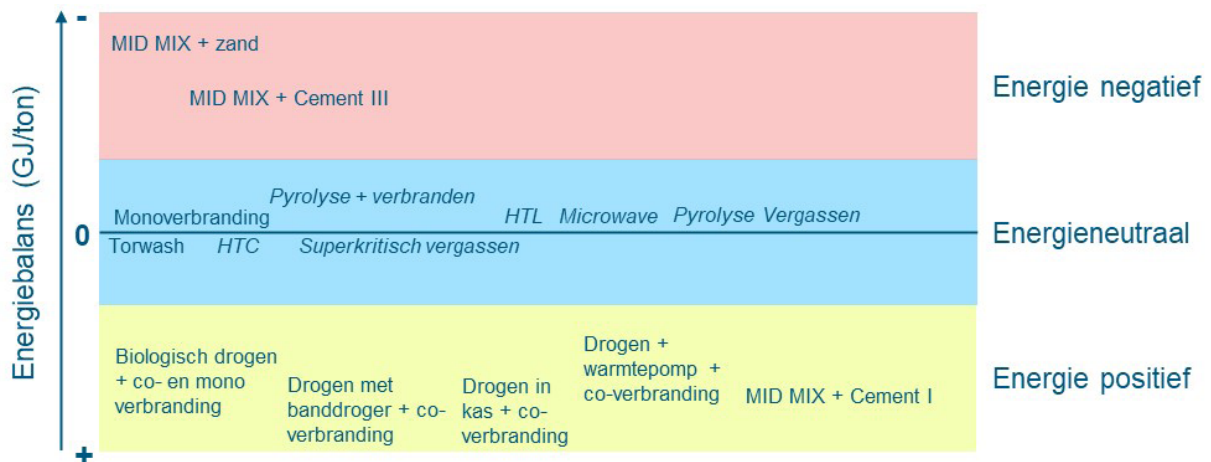
81 STOWA, 2019-35 Slibverwerking met ongebluste kalk middels het MID MIX proces, rapportnummer 2019-35.

uit deze bronnen is de netto-energiebalans voor de volgende technologieën en slibketens beschikbaar:

- Monoverbranding,
- Biologisch drogen, drogen met een banddroger of warmtepomp of drogen in een kas + co-verbranding,
- Pyrolyse + verbranding
- Torwash
- MID MIX.

Een overzicht van deze data en nadere duiding bij de totstandkoming van de gepresenteerde getallen is opgenomen in bijlage 2. Aan de hand van netto energiebalansen die beschikbaar zijn voor de hierboven genoemde technologieën/slibketens is een inschatting gemaakt voor de netto energiebalans voor de technologieën en slibketens waarvoor nog onvoldoende data beschikbaar is. Deze inschatting is kwalitatief gemaakt zonder berekeningen. Om de bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën met elkaar te vergelijken, zijn alle technologieën en slibketens op het punt van de netto energiebalans alleen kwalitatief beoordeeld. Hierbij is onderscheid gemaakt in technologieën/slibketens die duidelijk energiepositief zijn (energie leveren), of energieneutraal of energienegatief zijn (kosten primaire energie). Het resultaat is weergegeven in Figuur 19.

**FIGUUR 19** KWALITATIEVE WEERGAVE VAN DE NETTO ENERGIEBALANS VAN DE IN DIT RAPPORT BESCHOUWDE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS VOOR DE VERWERKING VAN COMMUNAAL SLIB. CURSIEF ZIJN DE TECHNOLOGIEËN WAARVOOR GEEN DATA BESCHIKBAAR ZIJN OVER EEN NETTO-ENERGIEBALANS. ENERGIE NEGATIEF BETEKENT DAT DE TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN PRIMAIRE ENERGIE KOST, NEUTRAAL IS DAT HET VERBRUIK EN DE LEVERING VAN ENERGIE GELIJK IS, ENERGIEPOSITIEF HOUDT IN DAT MEER PRIMAIRE ENERGIE WORDT VERVANGEN DAN DAT ER WORDT VERBRUIKT



Over de netto energiebalans van monoverbranding is dankzij de uitgebreide data van SNB veel informatie beschikbaar. De data van SNB laten zien dat met alle vernieuwingen van de afgelopen jaren de installatie bijna energieneutraal kan opereren<sup>82</sup>. Het netto energieverbruik bedroeg in 2022 0,06 GJ/ton. Dit resultaat laat zien dat het verwerken van slib in een installatie waarin de energie uit het slib gebruikt wordt voor het drogen van het slib rond energieneutraal uitkomt. Met deze kennis kan gesteld worden dat bij toepassing van Microwave, pyrolyse en vergassen, waarin de energie uit het slib direct gebruikt wordt voor de vereiste voorgaande droogstap, de netto energiebalans rond de nul uitkomt.

82 SNB, 2022, Jaarverslag 2022.

Met de data voor de energiebalans die in het STOWA rapport over Torwash (2020-26) zijn opgenomen wordt duidelijk dat deze net iets boven of onder energieneutraal uitkomt. Dit wordt grotendeels bepaald door het ODS-gehalte van het te verwerken slib (vergist of onvergist). Aangezien HTC een vergelijkbaar proces is als Torwash is de verwachting dat HTC ook rond energieneutraal uitkomt.

De STOWA rapportage (2016-16) over superkritisch vergassen laat zien dat deze technologie energiepositief of energieneutraal kan zijn. De netto energiebalans wordt daarbij nog wel sterk beïnvloed door diverse factoren, zoals het ingaande drogestofgehalte, de warmteoverdracht en het wel of niet tussentijds afvoeren van de zoutbrijn. Uit de berekeningen die in het “Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV” blijkt dat pyrolyse + verbranding energienegatief is met 0,3 GJ/ton slib.

De slibketens waarin het slib eerst biologisch of thermisch gedroogd wordt leveren afhankelijk van de gebruikte energiebron voor het drogen netto energie op, ofwel er wordt een hoeveelheid primaire energie vermeden. Bij biologisch drogen wordt daar een deel van de organische drogestof voor gebruikt, maar dit deel is relatief beperkt en leidt tot een biogrunulaat met een hoog DS-gehalte van ongeveer 60-65%, waardoor na verbranding van dit slib netto energie overblijft. Bij droging met een externe niet fossiele warmtebron, zoals restwarmte blijft de organische drogestof voor energieproductie behouden. Dit leidt ertoe dat deze slibketens in potentie de meeste energie opleveren. Het is daarbij wel belangrijk goed te kijken naar de oorsprong van de warmte. Het is daarbij van belang om dit te doen vanuit een brede scope inclusief de stedelijke bebouwing en bedrijven buiten de zuiverings- en slibverwerkingsinstallaties. Dit wordt verder geïllustreerd en toegelicht aan de hand van Figuur 20 in onderstaand kader.

#### BUITEN DE HEKKEN KIJKEN VOOR INZICHT IN WERKELIJKE ENERGIEBALANS

Links in Figuur 20 is een thermische droger op aardgas weergegeven. Het gedroogde slib met een DS-gehalte van 90% levert bij de verbranding daarvan energie op. De netto energiebalans voor deze keten bedraagt + 0,3 GJ/ton slib (positieve energiebalans).

FIGUUR 20 SCHEMATISCHE WEERGAVE ALS ILLUSTRATIE VOOR DE POTENTIËLE ENERGIEWINST BIJ HET GEBRUIK VAN RESTWARMTE VOOR HET DROGEN VAN SLIB, MAAR DE WEERGAVE DIENST ALS ILLUSTRATIE OM BIJ HET OPSTELLEN VAN EEN ENERGIEBALANS VERDER TE KIJKEN DAN ALLEEN DE SLIBVERWERKINGSINSTALLATIES



Restwarmte is warmte die niet nuttig wordt ingezet voor de omgeving en alleen de lucht in wordt geblazen. Bij het gebruik van deze restwarmte voor het drogen van slib met een banddroger ontstaat een duidelijk positieve energiebalans van + 2,1 GJ/ton. In het geval deze restwarmte kan worden ingezet in een warmtenet vervangt deze warmte aardgas. Dit levert een duidelijk netto positieve CO<sub>2</sub> winst op ten opzichte van drogen met aardgas.

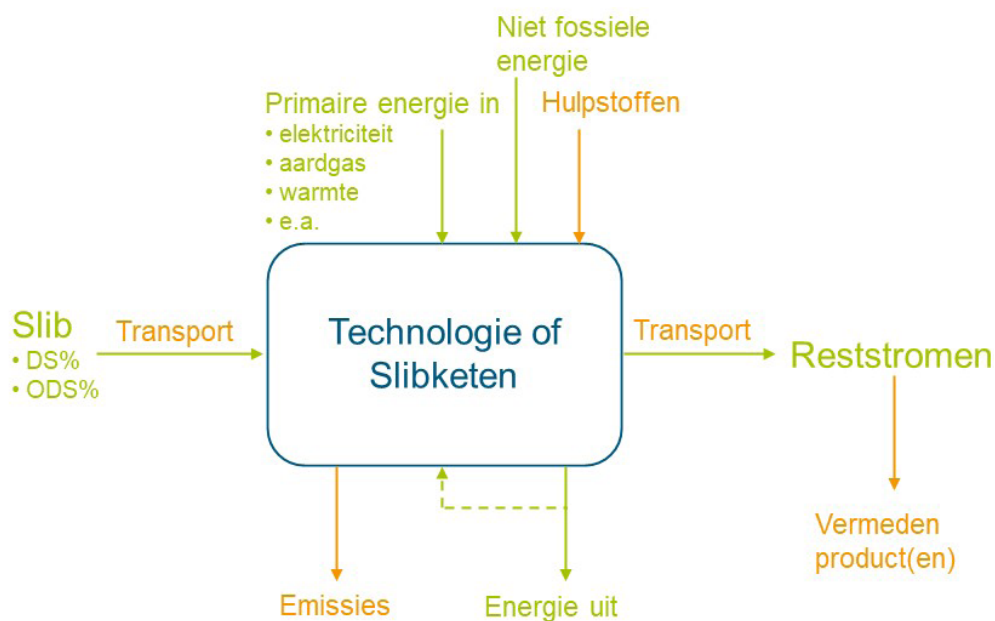
Deze winst bedraagt ruim 10.000 ton CO<sub>2</sub> eq per jaar op basis van de verwerking van 100.000 ton slib/jaar. Echter in de situatie dat deze restwarmte wordt ingezet voor een warmtenet vervalt de CO<sub>2</sub> winst van drogen met restwarmte. De afgenomen restwarmte voor het drogen van slib kan in dit geval geen aardgas vervangen voor de verwarming in het stedelijk gebied en wordt er indirect gedroogd met aardgas.

Bovenstaand voorbeeld laat zien dat voor de werkelijke energiebalans van een technologie of slibketen buiten de hekken van de zuivering en de slibverwerkingsinstallatie dient te worden gekeken en niet alleen daarbinnen!

### 7.1.2 CO<sub>2</sub> BALANS

Bij het opstellen van een CO<sub>2</sub> balans wordt verder gekeken dan alleen de energiebronnen in de vorm van elektriciteit, aardgas et cetera. Voor een compleet beeld moeten onder andere het gebruik van hulpmiddelen /chemicaliën, de emissies naar de lucht en de inzet van teruggewonnen grondstoffen worden meegenomen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 21. De emissie van biogene of kort cyclische CO<sub>2</sub> wordt nu buiten beschouwing gelaten, omdat nog niet bekend is in hoeverre deze emissie in de toekomst een rol gaat spelen bij het vergelijken van technologieën of slibketens.

FIGUUR 21 EENVOUDIGE WEERGAVE VOOR HET BEPALEN VAN DE NETTO CO<sub>2</sub> VOETAFDRIJK VAN EEN TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN VOOR DE VERWERKING VAN SLIB

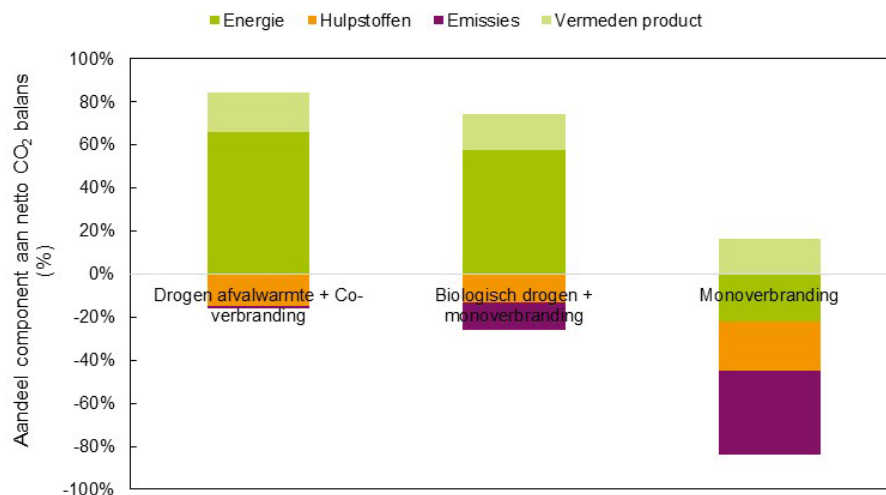


Bij de verbranding van slib ontstaat afhankelijk van de toegepaste temperatuur een bepaalde hoeveelheid lachgas dat een sterk broeikasgas is, en daarom onderdeel is van de netto CO<sub>2</sub> balans. De hulpstoffen betreffen onder andere chemicaliën die bijvoorbeeld nodig zijn bij de rookgasreiniging of nodig zijn bij het verwerkingsproces van slib zelf. Denk bij dit laatste aan de ongebluste kalk die bij MID MIX nodig is. Bij de duiding van de energiebalans in de voorgaande paragraaf en in bijlage 2 zijn al een aantal chemicaliën meegenomen in de netto energiebalans, maar voor de netto CO<sub>2</sub> balans zijn alle chemicaliën en hulpstoffen meegenomen. In bijlage 2 zijn meer details opgenomen over de meegenomen parameters in de CO<sub>2</sub> balans en zijn de beschikbare uitkomsten voor een aantal technologieën en slibketens opgenomen.

Ten opzichte van de netto energiebalans zijn voor het drogen van slib in een kas en Torwash geen data beschikbaar voor een CO<sub>2</sub> balans. De volgorde van de technologieën en slibketens zoals weergegeven in Figuur 19 zal niet of zeer beperkt veranderen voor de CO<sub>2</sub> balans, ondanks dat er geen concrete data zijn voor alle hier behandelde technologieën en slibketens. Belangrijkste reden hiervoor is dat de energiecomponent, vooral als het gaat om vermeden aardgas- of fossiele elektriciteit de grootste bijdrage levert aan een CO<sub>2</sub> balans, zoals te zien is in Figuur 22.

Als deze laatste component geen grote rol speelt kan de volgorde van de technologieën en slibketens enigszins afwijken van de volgorde van de energiebalans. Dit geldt mogelijk voor TORWASH waar geen polymeren nodig zijn bij de ontwatering en een CO<sub>2</sub> voordeel oplevert.

**FIGUUR 22** BIJDRAGE VAN ENERGIE, HULPSTOFFEN, EMISSIES NAAR LUCHT EN CO<sub>2</sub> WINST DOOR VERMEDEN INZET FOSSIEL PRODUCT DOOR AFVAL- OF GRONDSTOF UIT SLIBEINDVERWERKING VOOR DROGEN MET AFVALWARMTE EN CO-VERBRANDING, BIOLOGISCH DROGEN + MONOVERBRANDING EN MONOVERBRANDING. PER TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN IS DE BIJDRAGE PER COMPONENT WEERGEGEVEN, OPTELLEND TOT 100%. IN DE GEVALLEN DAT EEN COMPONENT (ZOALS EMISSIES BIJ MONOVERBRANDING) EEN NEGATIEVE CO<sub>2</sub> IMPACT HEEFT IS DEZE ALS NEGATIEF GETAL OPGENOMEN



Dezelfde volgorde van de technologieën en slibketens is terug te zien in Tabel 13 (zie verdere toelichting in bijlage 2).

**TABEL 13** NETTO CO<sub>2</sub> BALANS IN KG CO<sub>2</sub>/TON VOOR DE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS WAARVOOR UITGEBREIDE BEREKENINGEN UITGEVOERD EN BESCHIKBAAR ZIJN. EEN NEGATIEF GETAL BETEKENT DAT DE TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN EEN NEGATIEVE CO<sub>2</sub> BALANS EN STOOT MEER CO<sub>2</sub> UIT DAN HET VERVANGT. EEN POSITIEF GETAL BETEKENT JUUST EEN POSITIEVE CO<sub>2</sub> BALANS EN VERVANGT MEER CO<sub>2</sub> DAN HET ZELF UITSTOOT

Technologie of slibketen	Eenheid	WBL <sup>1)</sup>	Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023)	
			NL- elektriciteitsmix (2023) <sup>2)</sup>	NL – 100% groene stroom <sup>3)</sup>
Monoverbranding <sup>4)</sup>	kg CO <sub>2</sub> /ton	-72	-42	-24
Biologisch drogen + co-verbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	+98	+78	+99
Droging met banddroger + co-verbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	+124		
Droging met warmtepomp + co-verbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	-20	+55	+165
Pyrolyse + verbranden	kg CO <sub>2</sub> /ton		-48	-36
MID MIX + zand	kg CO <sub>2</sub> /ton	-507		
MID MIX + Cement III	kg CO <sub>2</sub> /ton	-292		
MID MIX + Cement I	kg CO <sub>2</sub> /ton	+132		

<sup>1)</sup> Gerekend met 556 g CO<sub>2</sub>/kWh <sup>2)</sup> Gerekend met 337 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh, d.d. 11-07-2023 <sup>3)</sup> Gerekend met 4,4 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh d.d. 11-07-2023 <sup>4)</sup> Bij verbranding slib in studie WBL is uitgegaan van een thermisch rendement van 90%



De netto CO<sub>2</sub> balans voor monoverbranding is net CO<sub>2</sub> negatief (de vermeden uitstoot van primaire CO<sub>2</sub> is net wat lager dan het verbruik van primaire energie- of grondstoffen). Bij de monoverbrandingsinstallatie van SNB wordt een deel van de uitgestoten CO<sub>2</sub> als grondstof ingezet bij de kalkindustrie. In deze situatie ontstaat dan een positieve CO<sub>2</sub> balans<sup>83</sup>. Recente ontwikkelingen bij de huidige monoverbrandings-installaties waarbij laagwaardige warmte wordt uitgewisseld met de omgeving gaan de CO<sub>2</sub> balans van monoverbranding verbeteren. De toepassing van MID MIX met afzet van Neutral<sup>®</sup> als vervanger van zand of cement (cement III) is duidelijk CO<sub>2</sub> negatief. Wanneer Neutral<sup>®</sup> als vervanger van Cement I kan worden ingezet ontstaat een duidelijke positieve CO<sub>2</sub> balans.

De slibketens die gebruik maken van biologische of thermische droging met afvalwarmte zijn duidelijk CO<sub>2</sub> positief. Wat hierbij goed is te zien is de impact van de CO<sub>2</sub> waarde van in Nederland opgewekte stroom. In de studie die door WBL in 2019 is uitgevoerd was de CO<sub>2</sub> voetafdruk van drogen met een warmtepomp nog net CO<sub>2</sub> negatief met -20 kg CO<sub>2</sub>/ton slib. Terwijl bij uitvoering van de studie in 2023 door GMB (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023)) de netto CO<sub>2</sub> balans positief is, met + 55 kg CO<sub>2</sub>/ton slib. Hierin is terug te zien dat in Nederland steeds meer stroom groen wordt opgewekt en de CO<sub>2</sub> uitstoot per opgewekte kWh daalt. Dit is helemaal goed terug te zien wanneer in de studie van GMB (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023)) voor drogen met een warmtepomp wordt uitgegaan van volledige duurzame elektriciteitsproductie. De CO<sub>2</sub> winst bedraagt in dat geval +165 kg CO<sub>2</sub> per ton slib.

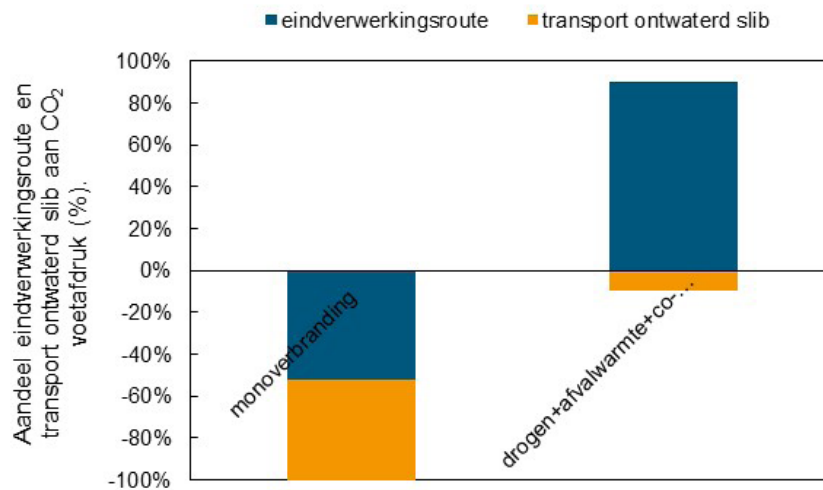
#### **IMPACT TRANSPORT ONTWERD SLIB**

Vaak wordt gedacht dat het transport van ontwaterd slib een groot aandeel heeft in de CO<sub>2</sub> voetafdruk van de slibeindverwerking. Dit is echter sterk afhankelijk van de toegepaste technologie of slibketen. Aan de hand van de slibproductie van WBL<sup>84</sup> (100.000 ton/j) is inzichtelijk gemaakt wat de bijdrage van de slibeindverwerking en het transport (met diesel vrachtwagens) van ontwaterd slib heeft op de totale CO<sub>2</sub> voetafdruk. Dit is gedaan in het geval het slib wordt verwerkt in een monoverbrandingsinstallatie of als het slib thermisch wordt gedroogd met restwarmte en het granulaat via co-verbranding wordt verbrand. Voor de berekening van de CO<sub>2</sub> voetafdruk van de monoverbranding is gebruik gemaakt van de data van GMB/Vallei en Veluwe (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023)), omdat deze berekend is op basis van de recente data voor Nederlandse elektriciteitsmix (data 2023).

83 CE Delft, 2015 en 2017, Milieuscore SNB slibverwerking: update 2015 en 2017; Effect van maatregelen tegendruk-turbine en fosfaatterugwinning op LCA en CO<sub>2</sub>.

84 Data over de CO<sub>2</sub> voetafdruk voor transport ontwaterd slib waren voor WBL ook beschikbaar

**FIGUUR 23 BIJDRAGE VAN DE EINDVERWERKING VAN SLIB EN HET TRANSPORT VAN ONTWATERD SLIB AAN DE TOTALE CO<sub>2</sub> VOETAFDRIJK VOOR MONOVERBRANDING EN DROGEN MET AFVALWARMTE EN CO-VERBRANDING**



Duidelijk wordt dat bij toepassing van monoverbranding het aandeel transport aanzienlijk is met bijna 50%. Tegelijkertijd kan hierbij vermeld worden dat SNB sinds 2023 biodiesel gebruikt voor het transport van ontwaterd slib naar de installatie in Moerdijk, daarmee wordt in het hierboven beschreven geval 50% gereduceerd. Bij de inzet van afvalwarmte voor het lokaal drogen van slib is de winst in vermeden fossiel energieverbruik veel groter, waardoor het aandeel transport nog maar 10% bedraagt.

### 7.1.3 SAMENVATTING

In Tabel 14 is een overzicht opgenomen van alle technologieën en slibketens en is de beoordeling op de energie- en CO<sub>2</sub> balans samengevat.

**TABEL 14 SAMENVATTING VAN DE BEOORDELING VAN TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS VOOR DE NETTO ENERGIE - EN CO<sub>2</sub> BALANS**

Technologie of slibketen	Netto energie- CO <sub>2</sub> balans
Monoverbranding	rond neutraal
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	positief
Droging met banddroger + co-verbranding	positief
Droging in kas + co-verbranding	positief
Droging met warmtepomp + co-verbranding	positief
Pyrolyse + verbranden	rond neutraal
HTC	rond neutraal
HTL	rond neutraal
Microwave	rond neutraal
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	rond neutraal
Torwash	rond neutraal
Superkritisch vergassen	rond neutraal
Vergassen	rond neutraal
MID MIX + zand of Cement III	negatief
MID MIX + zand of Cement I	positief

De technologieën of slibketens die rond energieneutraliteit uitkomen gebruiken veelal de energie uit slib om het water uit het slib te verdampen. De slibketens waarin een droogstap is opgenomen leveren een positieve energie- of CO<sub>2</sub> balans op. Voor het gebruik van restwarmte bij de inzet van een banddroger of een kas is het nog wel **zeer belangrijk** dat de afvalwarmte

een hoge leveringszekerheid heeft. Dit betekent warmte van voldoende hoge temperatuur (minimaal 70°C), die 24/7 gedurende een jaar beschikbaar is en gedurende minimaal de afschrijvingstermijn van de drooginstallatie geleverd kan worden.

## 7.2 GROND- EN AFVALSTOFFEN

### 7.2.1 GRONDSTOFFEN

De grondstoffen die potentieel uit ontwaterd slib zijn terug te winnen zijn, koolstof, stikstof, en fosfor. De beoordeling van de technologieën en slibketens om deze grondstoffen terug te winnen is uitgevoerd op basis van het niveau op de waardepyramide (zie Figuur 16), maar daarnaast is ook gekeken in hoeverre de terugwinningstechnologie- of afzetroute al bewezen is. Het resultaat hiervan is weergegeven in Tabel 15.

TABEL 15 TOETSING TECHNOLOGIEËN OM GRONDSTOFFEN UIT SLIB TERUG TE WINNEN

Technologie/Slibketen	Koolstof	Stikstof	Fosfor
Monoverbranding	Energie eigen proces	Ammoniumzout	Fosforzuur uit as
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	Energieproductie	Ammoniumzout	Alleen bij toepassing van monoverbranding
Droging met banddroger + co-verbranding	Energieproductie	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Droging in kas + co-verbranding	Energieproductie	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Droging met warmtepomp + co-verbranding	Energieproductie	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Pyrolyse + verbranden	Energie eigen proces	Nee	Alleen bij verbranding coke in nieuwe installatie
HTC	Energie eigen proces	Ja, maar nog lage TRL	In vorm van struviet (met bio-P slib)
HTL	Potentieel brandstof, nog in ontwikkeling	Nee	In theorie ja, maar nog geen praktijkonderzoek
Microwave	Potentieel brandstof, nog in ontwikkeling	Nee	Nee
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	Bodemverbeteraar, actief kool, mits toepasbaar, is in Nederland niet het geval	Ammoniumzout	Nee, alleen bodemtoepassingen, die in Nederland niet mogelijk zijn
Torwash	Energieproductie	Ammoniumzout	In vorm van struviet (met bio-P slib)
Superkritisch vergassen	Energie en olivijnpoeder (binding CO <sub>2</sub> )	Nee	Nee
Vergassen	Energie eigen proces	Ammoniumzout	Fosforzuur uit as, let wel op hoger C-gehalte
MID MIX + zand	Energie eigen proces	Ammoniumzout	Nee
MID MIX + Cement III	Energie eigen proces	Ammoniumzout	Nee
MID MIX + Cement I	Energie eigen proces	Ammoniumzout	Nee

oolstof in slib wordt bij bijna alle technologieën en slibketens omgezet naar energie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen technologieën/slibketens die de energie alleen gebruiken voor het eigen proces (licht blauw, gemiddelde beoordeling) en technologieën/slibketens die een deel van de energie uit het slib naar de omgeving kunnen afzetten. Bij alle technologieën/slibketens waar een droogstap van slib plaatsvindt is terugwinning van ammonium in de vorm van een ammoniumzout, vaak ammoniumsulfaat mogelijk. Niet bij alle technologieën/slibketens vindt dit nu al plaats, maar de technologie om stikstof terug te winnen (strippen) is een bewezen technologie en GMB heeft afzetroutes (inclusief wettelijke erkenning) voor de teruggewonnen stikstof. Fosfor kan worden teruggewonnen in de vorm van fosforzuur uit verbrandingsas van monoverbrandingsinstallaties of in de vorm van struviet. Via de “asroute” kan een groter aandeel van het fosfor worden teruggewonnen dan via struviet of vivianiet. Vandaar dat daar nog een licht onderscheid is gemaakt bij de beoordeling. Gedroogd slib

wordt vaak verbrand in installaties met andere afval- of energiestromen waardoor terugwinning van fosfor uit de as niet meer economisch rendabel is.

Wel is het zo dat een deel van het biologisch gedroogde slib op de korte termijn (2025/2026) in de nieuwe monoverbrandingsinstallatie van EEW in Delfzijl wordt verbrand en fosforterugwinning via de as mogelijk maakt. Indien fosforterugwinning via de slibeindverwerking niet mogelijk is, kan ook gekozen worden voor terugwinning van fosfor op de zuivering in de vorm van struviet en vivianiet.

### 7.2.2 VASTE AFVALPRODUCTEN

De vaste afvalproducten die per technologie of slibketen worden geproduceerd zijn eerder gepresenteerd in paragraaf 6.4.2. In deze paragraaf (7.2.2) is getoetst op welke wijze deze vaste afvalproducten worden verwerkt. Hierbij is gekeken naar de positie op de ladder van Lansink (zie Figuur 15). Het resultaat van de toetsing is opgenomen in Tabel 16.

**TABEL 16** RESULTAAT TOETSING AFZETRUTES VOOR GEPRODUCEERDE VASTE AFVALPRODUCTEN TIJDENS DE VERWERKING VAN SLIB BIJ DIVERSE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS

Technologie	Afvalproducten (belangrijkste)	Route verwerking vaste afvalproducten	Positie op ladder van Lansink
Monoverbranding	Vliegas en bedas e.a.	Vulmiddel voor diverse toepassingen	C: recycling
Co-verbranding (voorafgaand vindt droging plaats)	Vliegas en bodemas e.a.	Vulmiddel voor diverse toepassingen	C: recycling
Pyrolyse + verbranden	Vliegas en bodem- of bedas	Vulmiddel voor diverse toepassingen	C: recycling
Superkritisch vergassen	Zoutbrijn en assen	onbekend	onbekend
Pyrolyse	Carbonaatas	Afzet naar bodem niet realistisch	C: recycling
Vergassen	Vergassingsassen	Door aanwezigheid koolstof is afzet as een aandachtspunt <sup>85</sup>	onbekend
MID MIX	Neutral	Potentieel als grondstof	C: recycling

De afzetroutes voor de assen die bij superkritisch vergassen en vergassen vrijkomen zijn niet bekend, en kunnen feitelijk niet beoordeeld worden, maar het feit dat ze niet bekend zijn, betekent een onzekerheid in de afzet van de gevormde routes. Vandaar dat deze twee technologieën negatief zijn beoordeeld. Voor alle andere technologieën en slibketens geldt dat de geproduceerde assen als vulmiddel voor diverse toepassingen wordt ingezet. Dit kan gekwalificeerd worden als recycling. Hergebruik is hier niet van toepassing aangezien de stof niet in zijn oorspronkelijke functie terugkeert (definitie van hergebruik).

### 7.3 EMISSIES NAAR MILIEU

Kennis over waar welke componenten terechtkomen is als eerste van belang om te weten welke processtappen nodig zijn om componenten te verwijderen om aan wettelijk gestelde emissie-eisen te voldoen. Ten tweede is deze kennis nodig voor het aanvragen van een vergunning en bij het afzetten van het tussen-, grond-, en afvalstoffen. Voor alle beschouwde technologieën en slibketens is in Tabel 17 inzichtelijk gemaakt waar de voor de slibeindverwerking belangrijkste componenten terechtkomen. Details per technologie zijn opgenomen in bijlage 4.

Wat er met de verschillende componenten gebeurt bij toepassing van de verschillende technologieën is voornamelijk afhankelijk van de toegepaste temperatuur, druk en het wel of niet toepassen van zuurstof.

85 STOWA, 2013, Economische haalbaarheid van vergassing van zuiveringsslib voor de Nederlandse situatie, rapportnummer 2013 – 15.

Bij de technologieën waar zuurstof wordt toegevoegd voor een volledige verbranding zoals mono- of co-verbranding (plus of min biologische of thermische droging) en vergassing komen stikstof, chloor en kwik voornamelijk in de rookgassen terecht. Fosfor, zink, koper en arseen worden vooral vastgelegd in de asresten. Zwavel verdeelt zich ongeveer gelijk over zowel assen als rookgassen. Dit betekent dat gezien de emissie-eisen die aan de rookgassen worden gesteld uitgebreide rookgasreiniging nodig is om de daar aanwezige componenten voldoende te verwijderen. Bij toepassing van een voordroging bij of los van de verbranding komt de stikstof in de proceslucht of het proceswater terecht. Het aanwezige ammonium kan worden verwijderd via strippen, waarbij de productie van ammoniumsulfaat als grondstof mogelijk is.

Bij technologieën die geen druk toepassen, maar thermische verwerking toepassen zonder zuurstof komen de meeste elementen in een vaste fractie terecht, hetzij een as- of fosfaat-product. Uitzondering is stikstof die in de rookgassen en/of het condenswater terechtkomt. Het gaat hierbij om de technologieën: pyrolyse, microwave en pyrolyse + verbranden. Bij toepassing van MID MIX komen de meeste componenten in de vaste fractie terecht. In dit geval is dat het product Neutral<sup>®</sup>. Door de verhoging van de temperatuur na toevoeging van de ongebluste kalk verdampt hier een deel van het ammonium naar de lucht, waaruit het kan worden verwijderd en/of teruggewonnen.

Technologieën die vooral beogen de energie te concentreren in een droger product, of een olie of kool 'kraken' het slib eerst waardoor veel componenten in de waterfractie terecht komen. Dit zorgt ervoor dat er extra aandacht nodig zal zijn om het water op een goede manier te zuiveren zodat aan lozingseisen kan worden voldaan. Een deel van de componenten komt in het koolproduct terecht. Bij mogelijke verbranding hiervan komen sommige componenten (zoals stikstof, kwik en chloor) in de rookgassen terecht.

Door de hogere temperaturen die bij superkritisch vergassen worden toegepast komen stikstof en zwavel in het synthesesgas terecht. Dit leidt er waarschijnlijk toe dat de rookgassen eerst gezuiverd dienen te worden voordat zij in een aardgasnet ingebracht kunnen worden.

TABEL 17 OVERZICHT VAN WAAR WELKE COMPONENTEN TERECHTKOMEN BIJ DE DIVERSE TECHNOLOGIEËN

Technologie	Stikstof	Fosfor	Zwavel	Chloor	Kwik	Zink	Koper	Arseen
Mono-verbranding	Nagenoeg volledig afgebroken	Vliegas en bedzand	Vliegas, rookgassen (ongezuiverd)	Rookgassen (ongezuiverd)	Rookgassen (ongezuiverd)	Vliegas en rookgassen (ongezuiverd)	Vliegas en rookgassen (ongezuiverd)	Vliegas en rookgassen (ongezuiverd)
Biologisch drogen	~60% in granulaat; overig in proceslucht	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat
Thermisch drogen	Grotendeels in proceslucht of condenswater	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib
Pyrolyse + verbranden	Rookgassen	Fosfaatproduct	Fosfaatproduct	Fosfaatproduct	Vliegas	Vliegas en fosfaatproduct	Vliegas en fosfaatproduct	Vliegas en fosfaatproduct
HTC en Torwash	Hydrokolen en waterfase	Waterfase	Hydrokolen en waterfase	Hydrokolen en waterfase	Hydrokolen	Hydrokolen en waterfase	Hydrokolen en waterfase	Hydrokolen en waterfase
HTL	Waterfase en olie	Hydrochar of waterfase	Hydrochar en olie	Olie en hydrochar	Hydrochar	Hydrochar en olie	Hydrochar en olie	Hydrochar en olie
Microwave	Drogestof en condensaat	Drogestof	Drogestof	Drogestof	Drogestof	Drogestof	Drogestof	Drogestof
Pyrolyse	Carbonaatas en rookgassen	Carbonaatas	niet bekend	niet bekend	Carbonaatas	Carbonaatas	Carbonaatas	Carbonaatas
Vergassen	Synthesegas	Vlieg- en filteras en bodemas	Vlieg- en filteras en synthesegas	Voornamelijk vlieg- en filteras	Synthesegas	Voornamelijk vlieg- en filteras	Voornamelijk vlieg- en filteras	Vlieg- en filteras en bodemas
Superkritisch vergassen	Effluent en synthesegas	Kool (bijproduct)	Synthesegas	Kool (bijproduct)	Kool (bijproduct)	Kool (bijproduct)	Kool (bijproduct)	Kool (bijproduct)
MID MIX	Proceslucht en Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral

Een overzicht van waar de medicijnresten, microplastics en PFAS terecht komt is opgenomen in Tabel 18.

**TABEL 18 OVERZICHT VAN WAAR MEDICIJNRESTEN, MICROPLASTICS EN PFAS TERECHTKOMEN BIJ DE DIVERSE TECHNOLOGIEËN**

	Medicijnen	Microplastics	PFAS
Monoverbranding	100% afgebroken	100% afgebroken	+/- 100% afgebroken
Biologisch drogen <sup>1)</sup>	biogranulaat	biogranulaat	biogranulaat
Alle thermische droogtechnologieën <sup>1)</sup>	Gedroogde slib	Gedroogde slib	Gedroogde slib
Pyrolyse + verbranden	100% afgebroken	100% afgebroken	+/-100% afgebroken
HTC en Torwash	Niet bekend	Niet bekend	Niet bekend
HTL	100% afgebroken	100% afgebroken	+/-100% afgebroken
Microwave <sup>1)</sup>	Drogestof	Drogestof	Drogestof
Pyrolyse	100% afgebroken	100% afgebroken	90-100% afgebroken
Vergassen	100% afgebroken	100% afgebroken	+/-100% afgebroken
Superkritisch vergassen	100% afgebroken	100% afgebroken	+/-100% afgebroken
MID MIX	niet bekend	niet bekend	In het product Neutral

<sup>1)</sup> Bij verbranding van het tussenproduct, zoals genoemd bij deze technologieën worden de drie genoemde soorten microverontreinigingen in dezelfde mate afgebroken als bij monoverbranding aangegeven.

Uiteindelijk geldt met uitzondering van MID MIX dat het slib met of zonder droog- of voorbehandelingsstap thermisch wordt verwerkt bij hoge temperaturen. Dit leidt ertoe dat de meeste organische microverontreinigingen nagenoeg volledig omgezet worden naar CO<sub>2</sub> en water. Bij toepassing van de MID MIX zullen naar verwachting de microverontreinigingen geïmmobiliseerd worden in het eindproduct Neutral®.

## 8

## TOEKOMSTBESTENDIGHEID

**WOORD VOORAF**

De toekomstbestendigheid van een technologie wordt vooral gewogen op hoe flexibel een technologie is om in te spelen op ontwikkelingen in slibaanbod en slibkwaliteit, nieuwe wet- en regelgeving en technologische ontwikkelingen. Net als bij continuïteit is dit voor nog in ontwikkeling zijnde technologieën niet altijd goed in te schatten wat de vergelijking tussen nieuwe en bestaande technologieën moeilijk maakt. Juist omdat nieuwe technologieën nog in ontwikkeling zijn, kan wellicht gezegd worden dat zij nog flexibel zijn om in te spelen op ontwikkelingen die belangrijk zijn of worden. Met de nu beschikbare informatie is getracht recht te doen aan het toetsen van flexibiliteit voor in ontwikkeling zijnde technologieën. Het is daarom aan te bevelen dit gegeven en de onzekerheid rondom ontwikkelingen mee te nemen bij het toekennen van een weegfactor voor het criterium flexibiliteit. Uiteindelijk is flexibiliteit grotendeels te organiseren via een ontwerp of een contract dat zijn weerslag heeft op de kosten, maar “an sich” niet sterk onderscheidend is voor een technologie.

**8.1 INSPELEN OP ONTWIKKELINGEN IN SLIBAANBOD EN SLIBKwaliteit**

Richting de toekomst neemt de productie van slib alleen maar toe, omdat de toename in afvalwateraanbod (is bevolkingsgroei) leidend is bij de te verwerken hoeveelheid slib. Het omgaan met wisselingen in slibaanbod is nu iets dat geregeld is contracten of waarbij in het ontwerp van een installatie rekening mee is gehouden. Het is daarom de vraag in hoeverre het kunnen inspelen op ontwikkelingen in slibaanbod onderscheidend is voor de diverse technologieën. Enerzijds zijn er technologieën die qua schaalgrootte modulair zijn te noemen en bij een toenemend slibaanbod in de toekomst modules kunnen worden bijgeplaatst. Dit vraagt dan wel dat bij de start van de realisatie om hier al rekening mee te houden als het gaat om vergunningen en beschikbare ruimte. Technologieën die vanwege economische rendabiliteit een grotere schaal vragen kunnen in diverse lijnen worden gebouwd, waarmee flexibiliteit wordt ingebouwd, maar bij aanvang wel duurder zijn qua investeringen. Het realiseren van meerdere lijnen biedt de mogelijkheid om slibben met verschillende drogestofgehalte apart te verwerken. Bij de toetsing en het meenemen van dit criterium in een MCA is het goed om dergelijke overwegingen mee te nemen en het criterium mogelijk niet al te zwaar mee te wegen.

Een overzicht van de minimale schaalgrootte en de daarbij afgeleide flexibiliteit is opgenomen in Tabel 19.



TABEL 19 OVERZICHT VAN MATE VAN FLEXIBILITEIT PER TECHNOLOGIE/SLIBKETEN OM IN TE SPELEN OP WISSELINGEN IN SLIBAANBOD.

Technologie / slibketen	Minimale schaalgrootte (ton ontwaterd slib/j)	Toetsing flexibiliteit
Monoverbranding	100.000	<b>Laag:</b> Door minimale schaalgrootte niet makkelijk modulair uit te breiden, maar door in ontwerp uit te gaan van meerdere verbrandingslijnen kan wel flexibiliteit worden ingebouwd.
Biologisch drogen + co-en monoverbranding	90.000	<b>Laag:</b> Door minimale schaalgrootte niet makkelijk modulair uit te breiden, maar door in ontwerp uit te gaan van meerdere drooglijnen kan wel flexibiliteit worden ingebouwd.
Droging met banddroger + co-verbranding	2.500	<b>Hoog:</b> Het drogen van slib via een banddroger is goed modulair uit te voeren. Bij uitbreiding van droogcapaciteit dienen ook de afzetmogelijkheden vergroot te worden.
Droging in kas + co-verbranding	1.000 – 170.000 waarvoor 500 tot 85.000 m <sup>2</sup> nodig is <sup>1)</sup> .	<b>Gemiddeld:</b> Kassen nemen veel ruimte waardoor het lastiger is om uit te breiden. Aangezien naast warmte van de zon ook restwarmte nodig is uit bijvoorbeeld een slibverbrandingsinstallatie is het te verwachten dat de minimale schaalgrootte richting de 100.000 ton/j gaat.
Droging net warmtepomp + co-verbranding	1.000	<b>Hoog:</b> Zie drogen + banddroger
Pyrolyse + verbranden (EuPhoRe)	15.000 – 135.000 <sup>2)</sup>	<b>Gemiddeld:</b> De toe te passen schaalgrootte is ook afhankelijk of kan worden aangesloten bij een bestaande verbrandingsinstallatie of dat deze nieuw dient te worden gebouwd. In dit laatste geval is de minimaal schaalgrootte beduidend hoger.
HTC	7.500 – 80.000	<b>Gemiddeld:</b> Er is nog niet veel informatie beschikbaar over de minimale schaalgrootte. Via informatie van de leveranciers wordt een breed spectrum aan schaalgroottes aangeboden die de technologie meer of minder modulair maken.
HTL	20.000	De minimale schaalgrootte van 20.000 ton slib/j betreft één module. De technologie is daardoor wel modulair, maar duidelijk minder dan het drogen met een banddroger of warmtepomp.
Microwave	niet bekend	Onvoldoende informatie bekend
Pyrolyse incl. eigen droging	1.500 – 11.500	<b>Hoog:</b> Schaalgrootte is geschikt voor modulaire bouw op kleinere ontwateringslocaties.
Torwash	5.000	<b>Hoog:</b> De beoogde schaalgrootte per module bedraagt 5.000 ton per jaar en is daardoor modulair te noemen en is toepasbaar op de schaal van een centrale ontwateringslocatie.
Superkritisch vergassen	3.000	<b>Gemiddeld:</b> Schaalgrootte is modulair te noemen, vraag is of gezien complexiteit toepassing op zuiveringsniveau wenselijk is.
Vergassen	8.000 – 20.000	Zie HTL
MID MIX	43.000	<b>Gemiddeld:</b> Op locaties waar slib wordt ontwaterd bedraagt de slibproductie op 75% van die locaties minder dan 20.000 ton/j. De minimale schaalgrootte van MID MIX lijkt daardoor meer geschikt voor de grotere centrale ontwateringslocaties.

<sup>1)</sup> Gebaseerd op informatie kasdrooginstallatie op de zuivering Bottrop (studiereis KWN 2024). In Bottrop wordt 120.000 ton slib per jaar gedroogd op een oppervlak van 61.000 m<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup> Uit de beschikbare informatie wordt niet duidelijk of bij de grotere minimale schaalgrootte de pyrolyse eenheid in meerdere modules kan worden uitgeoerd, in combinatie met één verbrandingsstap.

Naast het inspelen op slibaanbod is het soms ook wenselijk om in te kunnen spelen op veranderingen in slibsamenstelling. Wisselingen in slibsamenstelling kunnen bijvoorbeeld invloed hebben op de inzetbaarheid van een bepaalde technologie. Het hangt daarbij nog wel af hoe groot de relatieve bijdrage is van een slibstroom met afwijkende samenstelling aan totaal te verwerken slibstroom. Het is wel zo dat als een technologie sterk gebonden is aan specifieke eisen aan de kwaliteit van het slib deze minder flexibel is dan andere technologieën, en daarmee wel onderscheidend is.

## 8.2 INSPLENEN OP STRENGERE EMISSIE-EISEN

Een ontwikkeling die mogelijk op de langere termijn kan gaan spelen zijn eisen aan de emissies naar het milieu (lucht, water en bodem) van organische microverontreinigingen, waaronder PFAS. Er is hier nu geen duidelijkheid over, dit is nog in onderzoek. Gaan deze eisen alleen gelden voor de rookgassen, of ook voor het te behandelen of te lozen afvalwater en hoe gaat regelgeving eruitzien rondom afzet van vaste afvalstoffen of producten die PFAS bevatten? Daarom geldt voor dit criterium dat bij het meenemen ervan in een MCA omzichtig hiermee dient te worden om te gaan zolang die onzekerheid er is.

De mate waarin organische microverontreinigingen kunnen worden verwijderd is sterk afhankelijk van het type microverontreiniging, en de toegepaste temperatuur en druk van een technologie (zie paragraaf 7.3). Slibketens of technologieën waarvan de verbrandings-temperatuur boven de 800°C ligt hebben een hoge flexibiliteit om mogelijk in te spelen op emissie eisen voor PFAS, omdat ‘volledige’ verbranding van PFAS stoffen mogelijk is. Technologieën of slibketens die bedreven worden op een temperatuur van rond de 300°C of lager, zijn naar verwachting minder (laag) flexibel om in te spelen op mogelijke emissie eisen voor PFAS stoffen. Gezien de onzekerheid rondom om mogelijke regelgeving voor PFAS kan alleen een eerste voorzichtige inschatting gemaakt worden of bepaalde technologieën hier meer of minder op in kunnen spelen. Het resultaat van deze eerste voorzichtige inschatting is opgenomen in Tabel 20.

**TABEL 20 EERSTE VOORZICHTIGE INSCHATTING VAN DE MATE VAN FLEXIBILITEIT OM IN TE SPELEN OP MOGELIJKE EISEN VOOR DE EMISSIE VAN PFAS-STOFFEN NAAR HET MILIEU VOOR DE HIER ONDERZOCHE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS**

Technologie	Temperatuur °C	Mate van flexibiliteit
Monoverbranding	800 - 900	<b>Hoog</b> , temperaturen hoog genoeg voor verregaande verbranding.
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	Droogstap 50 – 60 Co-verbranding: 800 - 900	<b>Hoog</b> , want product uiteindelijk thermisch verwerkt bij co-verbranding. Zie verder bij monoverbranding
Droging met banddroger + co-verbranding	Droogstap: 90 – 140 Co-verbranding: 800 – 900	<b>Hoog</b> , zie biologisch drogen+co-verbranding
Droging in kas + co-verbranding	Droogstap: 60 – 80 Co-verbranding: 800 – 900	<b>Hoog</b> , zie biologisch drogen+co-verbranding
Droging net warmtepomp + co-verbranding	Droogstap: 40 Co-verbranding: 800 - 900	<b>Hoog</b> , zie biologisch drogen+co-verbranding
Pyrolyse + verbranden	950	<b>Hoog</b> , zie monoverbranding
HTC	HTC: 180 – 280 co-verbranding: 800 – 900	<b>Hoog</b> , zie biologisch drogen+co-verbranding.
HTL	300 - 350	<b>Hoog</b> , toegepaste procesomstandigheden zorgen voor bijna volledige afbraak
Microwave	350	<b>Onbekend</b> . Na droogstap PFAS in drogestof. Temperatuur in microwave lijkt te laag voor omzetting PFAS. PFAS kan dan mogelijk in kool of olie terecht komen. Bij mogelijke verbranding van olie of kool kan PFAS worden omgezet afhankelijk van temperatuur.
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	600 - 700 of 500 – 700 en 1.000 <sup>2</sup>	<b>Gemiddeld</b> , toegepaste temperaturen niet altijd hoog genoeg
Torwash	Torwash: 180 – 210 Co-verbranding: 800 – 900	<b>Hoog</b> , zie biologisch drogen+co-en monoverbranding
Superkritisch vergassen	> 375	<b>Hoog</b> , temperaturen hoog genoeg voor verregaande verbranding.
Vergassen	850 - 900	<b>Hoog</b> , zie monoverbranding
MID MIX	90 <sup>3</sup>	<b>Laag</b> , temperatuur te laag. PFAS wordt geïmmobiliseerd in product Neutral®.

<sup>1)</sup> is atmosferische druk <sup>2)</sup> 600 – 700 graden Celsius geldt voor de leveranciers: Aquagreen, Biomacon en Jumbo-Group; Bij 500 – 700 graden Celsius carboniseert het slib in een Eliquo-Pyreg installatie, verbranding van het gecarboniseerde slib vindt plaats bij 1.000 graden Celsius; <sup>3)</sup> temperatuur als gevolg van chemische reactie na toevoeging van kalk.

Voor de meeste technologieën geldt dat de temperatuur voldoende hoog is voor bijna volledige omzetting van PFAS uit slib. Uitzonderingen zijn HTL, Microwave en pyrolyse. Bij toepassing van MID MIX wordt de PFAS geïmmobiliseerd in het product Neutral®. Wat dit betekent voor de mogelijke afzetroutes is niet aan te geven.

### STRENGERE EMISSIE-EISEN VOOR STIKSTOF

Strengere emissie-eisen gelden voor de emissie van stikstof naar de lucht en zijn nu al actueel. Met de ingang van de omgevingswet (2024) zijn de emissiewaarden voor de rookgassen uit slibverbrandingsinstallatie aangescherpt. Wel kunnen hiervoor nog maatwerkvoorschriften worden aangevraagd. Hoe dit zich ontwikkelt moet nog blijken uit de praktijk. Hogere eisen voor de emissie van stikstofcomponenten naar de lucht leidt voor alle technologieën en slibketens met een thermische verwerkingsstap tot vergelijkbare aanpassingen. Dit geldt ook voor MID MIX waar een ammoniumrijke luchtstroom ontstaat.

### 8.3 INSPELEN OP P-TERUGWINNING

De mogelijkheid om fosfor terug te winnen is al eerder getoetst bij de mogelijke terugwinning van grondstoffen uit slib in paragraaf 7.2.1. Het resultaat van deze toetsing is in Tabel 21 nogmaals herhaald. Het is goed om hierbij na te denken of het wenselijk is om de mogelijkheid om fosfor terug te winnen meerdere keren wordt beoordeeld in een MCA. Het is te overwegen om dit te beperken tot eenmaal en dan, afhankelijk van het belang dat gehecht wordt aan fosforterugwinning, dit terug te laten komen in de weegfactor die daaraan wordt toegekend.

TABEL 21

MATE VAN FLEXIBILITEIT VOOR HET INSPELEN OP EEN MOGELIJKE VERPLICHTE TERUGWINNING VAN FOSFOR

Technologie/Slibketen	Mate van flexibiliteit
Monoverbranding	Hoog, fosfor kan via de as worden teruggewonnen
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	Gemiddeld, kan alleen bij toepassing van monoverbranding. Vanaf 2025/2026 wordt een deel van het biogranulaat bij de nieuwe monoverbrandingsinstallatie van EEW verbrand.
Droging met banddroger + co-verbranding	Laag, gedroogd slib vaak verbrand met andere stromen
Droging in kas + co-verbranding	Laag, gedroogd slib vaak verbrand met andere stromen
Droging met warmtepomp + co-verbranding	Laag, gedroogd slib vaak verbrand met andere stromen
Pyrolyse + verbranden	Gemiddeld, alleen bij verbranding coke in nieuwe installatie
HTC	Gemiddeld, in vorm van struviet (met bio-P slib)
HTL	Gemiddeld, terugwinning nog niet in praktijk getest
Microwave	Laag, geen routes beschikbaar
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	Laag, alleen beschikbaar voor bodemtoepassing, welke in Nederland niet mogelijk zijn. Voor terugwinning uit de kool is aanwezigheid van koolstof problematisch op fosfor eruit terug te winnen
Torwash	Gemiddeld, in vorm van struviet (met bio-P slib)
Superkritisch vergassen	Nee
Vergassen	Fosforzuur uit as, let wel op hoger C-gehalte
MID MIX + zand	Nee
MID MIX + Cement III	Nee
MID MIX + Cement I	Nee

Een mogelijke ontwikkeling is dat op Europees niveau het terugwinnen van fosfor verplicht wordt gesteld. In Duitsland wordt dit verplicht voor grote installaties vanaf 2029 waarbij 80% van het aanwezige fosfor in het influent wordt teruggewonnen. Een dergelijk hoog rendement is vooralsnog alleen mogelijk als het fosfor uit de as wordt teruggewonnen. De verwerkingsroutes die daar nu voor in aanmerking komen zijn monoverbranding van ontwaterd of biologisch gedroogd slib en vergassing. Aandachtspunt bij vergassing is nog wel dat deze mogelijk te veel koolstof bevat wat de terugwinning van fosfor uit de as bemoeilijkt. Als de verplichte terugwinning wordt ingericht zoals nu in Duitsland, met een percentage

van 80% terugwinning van fosfor, dan werkt dit erg sturend naar monoverbranding van slib. Bij lagere verplichte percentages zijn ook struvietroutes mogelijk. Mogelijk is dan ook een route via Vivianiet mogelijk, een technologie voor P-terugwinning die in ontwikkeling is.

#### **DUURZAAMHEID EN STATUS VAN P-TERUGWINNING**

Uit een LCA van acht grondstoffen blijkt dat de positieve impact van fosforterugwinning uit de as beperkt is ten opzichte van de productie van fosfor uit erts<sup>86</sup>. De uitkomst van een dergelijke LCA is afhankelijk van de toegepaste technologie en de bron van de toegepaste chemicaliën. De afzet van de ontstane reststromen dient goed geregeld te zijn, net als dit geldt voor alle andere reststromen die bij (mono)verbranding vrijkomen. Voor Nederland geldt dat as niet gestort mag worden en bij export naar het buitenland alleen nuttig mag worden ingezet. Uit dezelfde LCA blijkt dat de positieve milieu impact van vivianiet (vooralnog) beperkt is. Alleen struviet laat een duidelijk positieve milieu impact zien. Het is echter mogelijk dat het aspect duurzaamheid niet de belangrijkste overweging is bij het terugwinnen van fosfor. Schaarste van grondstoffen en onafhankelijk worden van landen die fosfaaterts leveren kan een andere belangrijke overweging zijn om wel voor de 'asroute' te kiezen.

In Duitsland vindt fosfor terugwinning uit de as nog niet op full-scale plaats. Op de zuivering van Bottrop wordt een pilot (1000 ton as/j) uitgevoerd waarbij fosforzuur wordt teruggewonnen uit de as. De pilot loopt tot in 2026. De vraag is wel in hoeverre het realistisch is dat in 2029 in Duitsland op grote schaal al daadwerkelijk fosfor uit de as wordt teruggewonnen. In Nederland is SNB een ontwikkeltraject aangegaan met Susphos.

#### **8.4 INSPELEN OP TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN**

Het kunnen inspelen op technologische ontwikkelingen wordt vooral bepaald of na realisatie van een technologie op een later moment een nieuwe technologie erachter geschakeld kan worden. Dit is in theorie alleen mogelijk bij technologieën die een tussenproduct produceren. Deze technologieën zijn: biologisch drogen, drogen met afvalwarmte, drogen in een kas + afvalwarmte, elektrisch drogen, HTC en Torwash. Of na dergelijke technologieën een nieuwe technologie kan worden nageschakeld is dan nog wel afhankelijk van de kwaliteit van het tussenproduct en dan vooral het drogestofgehalte. Voor het overzicht zijn deze hieronder nog een keer samengevat:

- biologisch drogen 60 – 65%
- drogen met afvalwarmte 90%
- drogen in kas met afvalwarmte 70 – 90%
- elektrisch drogen 70 – 90%
- HTC en Torwash 50 – 60%

Thermisch gedroogd slib met een drogestofgehalte van 90% heeft in theorie de beste opties als gekeken wordt naar de bestaande of nu al in ontwikkeling zijnde technologieën. Pyrolyse en vergassen zijn technologieën die gevoed worden met thermisch gedroogd slib. Veelal wordt de droogstap voorgeschakeld en de pyrolysestap of vergassingsstap stap geïntegreerd uitgevoerd. Dit omdat de warmte uit de pyrolysetap of vergassingstap nodig is voor het drogen van het slib.

86 STOWA, 2023, LCA van acht grondstoffen uit rioolwater, 2023-25.

Het is echter denkbaar dat een pyrolyse of vergassingstap 'stand alone' kan worden uitgevoerd, waarbij de ontstane energie (warmte) nuttig kan worden ingezet voor de omgeving. Het transporteren en opslaan van gedroogd slib vraagt dan wel om extra maatregelen om broei of stofexplosies te voorkomen

In de huidige situatie wordt slib met een drogestofgehalte van 50 – 65% niet overwogen om te voeden in een vergassings- of pyrolyse installatie. De reden hiervoor is dat waarschijnlijk met dit slib onvoldoende energie wordt opgewekt om het gehele proces zelfstandig, zonder energie van buitenaf te draaien. Tegelijkertijd kan het hogere watergehalte van dit type slib aantrekkelijk zijn voor diverse eindafnemers die met slib van 50 – 65% beter de verwerkingscapaciteit (op basis van calorische waarde) kunnen benutten.

# 9

## KOSTEN

De kosten voor de verwerking van slib zullen vaak marktconform moeten zijn om als technologie/slibketen bestaansrecht te hebben. Het zijn de kosten die onderscheidend kunnen zijn voor een nieuwe technologie. Op het moment dat een nieuwe technologie volledig operationeel is en TRL9 heeft bereikt is continuïteit geborgd en is flexibiliteit georganiseerd. De kosten die daarvoor nodig zijn, zullen voor een nieuwe technologie marktconform moeten zijn om toe te kunnen treden tot een slibmarkt. Verhoging van kosten als gevolg van wettelijke ontwikkelingen, zullen in de meeste gevallen de bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën even hard raken, maar zijn vaak wel een groter risico omdat de prijsstijgingen significant kunnen zijn. In paragraaf 9.1 is eerst ingegaan op de ‘technische’ verwerkingskosten. Vervolgens is in paragraaf 9.2 gekeken naar de impact van een tweetal ontwikkelingen op de kosten voor slibverwerking en in hoeverre deze onderscheidend zijn voor de diverse technologieën/kosten.

### 9.1 KOSTEN SLIBEINDVERWERKING

De kosten voor de eindverwerking van ontwaterd slib worden door vele externe en interne factoren bepaald. Bij externe factoren gaat het bijvoorbeeld om nieuwe wet- en regelgeving, bij interne factoren kan het gaan om keuzes die gemaakt worden om de bedrijfszekerheid te waarborgen, of kunnen commercieel zijn om mogelijk meer slib te verwerken. Dit samenspel van factoren maakt het nagenoeg onmogelijk om tot een betrouwbare vergelijking te komen tussen bestaande en in ontwikkeling zijnde technologieën of slibketens. Wat betreft deze laatste categorie geldt dat veel kosten nog niet volledig in beeld zijn en daardoor nog moeilijker zijn in te schatten. Vaak zijn wel de kosten van het hoofdproces in beeld, maar ontbreken bijvoorbeeld nog de kosten voor de lucht- en afvalwaterbehandeling.

Er zijn twee feitelijke bronnen beschikbaar aan de hand waarvan iets te zeggen is over de kosten en kostenopbouw voor de eindverwerking van slib. Het gaat hierbij om slibketenstudie II die wel al even geleden in 2010 is opgesteld en de kosten voor de slibeindverwerking zoals deze in de BVZ 2021 zijn opgenomen.

De absolute getallen voor de kosten voor het verwerken van slib zoals deze in de slibketenstudie II zijn berekend zijn anno 2024 niet meer actueel en bruikbaar. Wel geeft de studie enig inzicht in de opbouw van de kosten. De belangrijkste drie grote posten zijn de kapitaalslasten, de kosten voor de afzet van tussen- en afvalproducten en de overige operationele kosten. De kosten voor de afzet van tussenproducten kan voor biologisch- en thermisch drogen relatief meer bijdragen aan het totaal van kapitaalslasten en operationele kosten ten opzichte van bijvoorbeeld monoverbranding. Tegelijkertijd is het aandeel kapitaalslasten na nieuwbouw bij monoverbranding hoger omdat voorzien dient te worden in een rookgasreiniging. Op basis van de berekende kosten voor monoverbranding bedroeg de verdeling in kosten (zoals berekend in 2010):

- Kapitaalslasten: 45%
- Operationele kosten minus afzet rest- en afvalproducten: 45%
- Afzetkosten: 10%

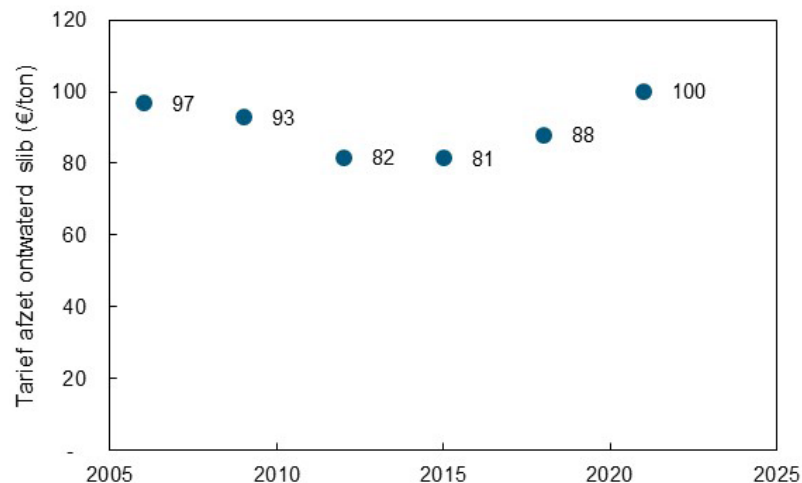
Anno 2024 zijn de beide monoverbranders in Nederland nagenoeg financieel afgeschreven en kan de verdeling van de kosten anders liggen. Dit maakt een vergelijking met andere technologieën/slibketens niet is te maken, zeker omdat in dergelijke situaties ook herinvesteringen nodig zijn, en geld beschikbaar dient te zijn voor de volledige vervanging van de installatie.

Door SNB is de informatie verstrekt dat nu de operationele kosten (exclusief afzetkosten) 70% van de totale kosten bedragen, de afzetkosten nu 20% deel uitmaken van de kosten en de kapitaalslasten nog maar 10%. Richting de toekomst is het niet mogelijk om uit te gaan van de kosten van de bestaande installatie, omdat er geïnvesteerd dient te worden in een nieuwe installatie (waarvoor je nu mogelijk al geld moet reserveren), en prijspeilen in de toekomst anders liggen.

De verwerkingskosten voor de Nederlandse waterschappen is in “Waves” beschikbaar vanaf 2006 tot en met 2021. In deze kosten zitten voor de meeste waterschappen de transportkosten en zijn ook de kosten voor de verwerking van rest- en afvalproducten opgenomen. Voor de waterschappen waarin de eindverwerkingskosten exclusief transportkosten zijn, zijn deze wel beschikbaar als aparte post. De weergegeven kosten zijn inclusief BTW. Naast de kosten voor de slibeindverwerking is de afgevoerde hoeveelheid ontwaterd slib in ton/j beschikbaar waardoor een gemiddeld tarief voor heel Nederland kan worden berekend. Het verloop van het tarief in de tijd vanaf 2006 is weergegeven in Figuur 24.

FIGUUR 24

VERLOOP AFZETKOSTEN ONTWAATERD SLIB IN EURO PER TON SLIB VANAF 2006 T/M 2021



In 2012 – 2015 liggen de verwerkingskosten per ton slib duidelijk wat lager dan de jaren daarvoor en daarna. Verklaringen hiervoor zijn moeilijk te geven, maar bedrijfstechnische en/of commerciële overwegingen kunnen hierbij een rol hebben gespeeld. Vanaf 2018 nemen de kosten weer toe, en lagen deze in 2021 op gemiddeld 100 euro/ton. Een ontwikkeling die hier waarschijnlijk invloed op heeft gehad is het wegvallen van de Duitse markt in 2019 voor het verwerken van Nederlands slib, in combinatie met het tijdelijk uitvallen van AEB en de daarna beperktere verwerkingscapaciteit bij AEB. De impact van geopolitieke ontwikkelingen op energie- en grondstofprijzen is zichtbaar in de stijgende tarieven.

Wanneer de kosten per waterschap nog gecombineerd worden met de dan bekende eindverwerkingsroute kan nog enig inzicht gekregen worden in de verschillen in kosten tussen de verschillende routes. Gezien alle eerdere genoemde variabelen die de kosten van de slibeindverwerking bepalen zijn er weinig duidelijke verschillen te zien. Uitzondering lijkt wel het

drogen van slib met aardgas altijd relatief duurder is geweest met prijzen van 100 € per ton of hoger, nog wel locatie-afhankelijk. Vanaf 2015 liggen de kosten boven de 120 €/ton (door hoge aardgasprijzen). De kosten voor monoverbranding en biologisch drogen met thermische eindverwerking liggen rond de 80 – 100 €/ton.

De kosten voor de eindverwerking van slib zijn voor bestaande installaties inzichtelijk te maken. Voor in ontwikkeling zijnde technologieën zijn de kosten nog niet goed in te schatten (en eventueel alleen met een grote bandbreedte). Uit de resultaten van de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer komt wel naar voren dat de kosten voor de eindverwerking redelijk vergelijkbaar zijn. Dit laat zich wel grotendeels verklaren door het feit dat de samenstelling van slib leidend is bij de te maken kosten voor de verwerking van slib.

Dit heeft vooral te maken met de aanwezigheid van stikstof, zwavel en kwik, waarvoor verregaande reiniging nodig is van condenswater/proceslucht en de rookgassen. De kosten hiervoor moeten altijd gemaakt worden om te voldoen aan wet- en regelgeving, of dit nu op één plek plaats vindt of in twee stappen. Daarnaast is er altijd een technologie of methode nodig om water uit het slib te krijgen, gevolgd door in de meeste gevallen een thermische verwerkingsstap van de aanwezige organische drogestof.

## 9.2 IMPACT ONTWIKKELINGEN OP DE KOSTEN

Uit de ontwikkelingen beschreven in hoofdstuk drie komen er twee ontwikkelingen naar voren die mogelijk een directe impact kunnen hebben op de kosten voor de slibeindverwerking. Dit betreft het mogelijk afschaffen van de vrijstelling van de afvalstoffenheffing en een mogelijke heffing op de uitstoot van CO<sub>2</sub> vanuit de verbranding van fossiele koolstof.

### 9.2.1 IMPACT CO<sub>2</sub> HEFFING

Voor het berekenen van de impact van een mogelijke CO<sub>2</sub> heffing op het fossiele deel van het slib wordt uitgegaan van de uitgangspunten die daarvoor in Duitsland gelden (zie paragraaf 3.2.5). In Duitsland wordt 80% van het slib als biogeen gezien en 20% als niet biogeen. Onderdeel van het niet biogene of fossiele deel van slib zijn PE en plastic deeltjes die in het slib zitten. Over de genoemde 20% dient bij verbranding in een kolencentrale een CO<sub>2</sub> heffing te worden betaald. De CO<sub>2</sub> heffing bedraagt in Duitsland in 2024 40 €/ton en in 2025 50 €/ton, in Nederland wordt uitgegaan van oplopende tarieven van 41,75 €/ton in 2022 naar 150 €/ton in 2032<sup>87</sup>. Aan de hand van een rekenvoorbeeld voor de verwerking van 100.000 ton slib per jaar is inzichtelijk gemaakt wat een mogelijke CO<sub>2</sub> heffing voor een impact heeft op de eindverwerkingskosten. Het rekenvoorbeeld is opgenomen in Tabel 22.

<sup>87</sup> In Nederland is afgesproken dat deze van 41,75 in 2022 oploopt naar 150,- in 2032. Deze afspraak is aanvullend op de Europese CO<sub>2</sub>-taxs. Zolang het Nederlandse bedrag zich onder de EU CO<sub>2</sub>-taxs bevindt wordt deze nog niet doorbelast. Hierna gaat Het hoogste tarief (NL of EU) geheven worden.



TABEL 22

IMPACT CO<sub>2</sub> HEFFING OP HET FOSSIELE DEEL VAN HET SLIB OP DE EINDVERWERKINGSKOSTEN VAN SLIB

Parameter	Eenheid	Waarde
Slibproductie	ton ontwaterd slib/j	100.000
Drogestofgehalte	%	23,4 (gemiddelde NL in 2021)
Slibproductie	ton DS/j	23.400
Organisch drogestofgehalte	%	70 (gemiddelde NL in 2021)
Slibproductie	ton ODS/j	16.380
Aandeel slib fossiel	%	20%
“Fossiel slib”	ton ODS/j	3.276
CZV van het slib	kg CZV/kg ODS	1,4
“Fossiel slib”	ton CZV/j	4.586
Factor CO <sub>2</sub> /CZV	ton CO <sub>2</sub> /ton CZV	1,22
CO <sub>2</sub> uitstoot na verbanding	ton CO <sub>2</sub> /j	5.595
Extra kosten CO <sub>2</sub> heffing		
minimaal (40 €/ton)	€/j	224.000
2024 (65 €/ton)*	€/j	364.000
Impact op tarief		
2024	€/ton ontwaterd slib	2,2
2025	€/ton ontwaterd slib	3,6

\* Afgeleid uit kosten 2024 en 2032, uitgaande van lineaire toename.

De impact van 2 - 4 €/ton lijkt beperkt te zijn, maar deze kan in de toekomst mogelijk wel stijgen doordat de prijzen voor CO<sub>2</sub> stijgen. Het fossiele deel van het slib betreft PE, de wijze waarop het slib met PE wordt verwerkt is hier maar beperkt op van invloed.

Alle hier onderzochte technologieën en slibketens zijn allen waarschijnlijk even gevoelig voor een heffing op CO<sub>2</sub>. Ten opzichte van de technologieën die uitgaan van thermische omzetting wordt MID MIX op een andere wijze geraakt door een heffing op CO<sub>2</sub>. Voor MID MIX is een grote hoeveelheid ongebluste kalk nodig, die elders bijvoorbeeld door de cementindustrie wordt geproduceerd. De cementindustrie zal een te betalen heffing op CO<sub>2</sub> doorbelasten in de prijs voor ongebluste kalk. Hoe zich dit verhoudt tot de CO<sub>2</sub>-heffing op het biogene deel van het slib bij thermische omzetting zal nader uitgezocht moeten worden. Een mogelijke CO<sub>2</sub>-heffing is daarmee niet onderscheidend voor de hier onderzochte technologieën/slibketens.

### 9.2.2 IMPACT AFSCHAFFING VRIJSTELLING AFVALSTOFFENHEFFING

Op dit moment (2024) is nog onduidelijk of de vrijstelling op de afvalstoffenheffing wordt opgeheven en als die wordt opgeheven hoe deze wordt ingericht. Belangrijke vraag is bijvoorbeeld of de heffing alleen wordt geheven over de slibstroom (in tonnen droge stof) die verbrand wordt of dat uitgegaan wordt van de totale hoeveelheid ontwaterd slib (tonnen droge stof plus het water). Mogelijk wordt hier onderscheid in gemaakt en loont het om de slibhoeveelheid voorafgaand aan verbranding aanzienlijk te verlagen door vergaande vergisting of een droogstap. Gezien de onzekerheden rondom de afvalstoffenheffing zijn hier verder geen berekeningen uitgevoerd, maar blijft het een risico op aanzienlijke kostenverhoging voor de eindverwerking van slib. Het is voor nu de verwachting dat het mogelijk wegvallen van de vrijstelling op de afvalstoffenheffing en daarmee ook op de exportheffing de hier onderzochte technologieën/slibketens even hard zal raken.

# 10

## OVERZICHT TOETSING CRITERIA

### 10.1 CONTINUÏTEIT

Continuïteit kan gezien worden als één van de belangrijkste criteria waarop technologieën worden getoetst. Eigenlijk kan continuïteit gezien worden als een randvoorwaarde voor een technologie of slibketen. Logischerwijs behalen in ontwikkeling zijnde technologieën deze continuïteit nu nog niet, maar gaan dat wel doen aan het eind van die ontwikkeling als de technologie of slibketen volledig operationeel is (TRL 9). In die zin is continuïteit geen onderscheidend kenmerk van een technologie of slibketen. Op het moment dat een technologie volledig commercieel en operationeel is voor de verwerking van communaal slib zijn de volgende zaken goed geregeld:

- Risico op langere uitval is beheerst door indien nodig inzet van gespecialiseerd personeel en een hoge beschikbaarheid van kritische reserveonderdelen;
- Afzetzekerheid van tussen- of eindproducten en afval- en reststoffen is goed geregeld via bij voorkeur langlopende contracten en daarvoor zijn de mogelijk vereiste certificeringen geregeld;
- Vindt de behandeling van het vrijkomende afvalwater zodanig plaats dat lokaal of op een andere zuivering voldaan wordt aan de geldende lozingseisen;
- Is een (m)LCA uitgevoerd voor het verkrijgen van een milieuvergunning (voor nieuwe technologieën).

Alle technologieën zijn getoetst op bovenstaande aspecten om inzicht te geven in de verschillen tussen technologieën die mogelijk straks bij de kosten tot uitdrukking komen. De samenvatting van de toetsing is weergegeven in Tabel 23.

TABEL 23 SAMENVATTING TOETSING CRITERIA VALLEND ONDER CONTINUÏTEIT.

Technologie	TRL	Risico op langere uitval	Afzetzekerheid (tussen)product	Afzetzekerheid afval (rest)stoffen	Complexiteit behandeling afvalwater
Monoverbranding	9	Gemiddeld	n.v.t.	Hoog	Laag
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	9	Laag	Hoog	Hoog	Laag
Droging met banddroger + co-verbranding	9	Laag	Gemiddeld	Hoog	Laag
Droging in kas + co-verbranding	9	Laag	Gemiddeld	Hoog	Laag
Droging met warmtepomp + co-verbranding	9	Laag	Gemiddeld	Hoog	Laag
Pyrolyse + verbranden	7	Hoog	n.v.t.	Hoog	n.v.t.
HTC	6	Hoog	Gemiddeld	Hoog	Gemiddeld
HTL	5 of 6	Hoog	Laag	Laag	Hoog
Microwave	5	Hoog	Laag	Laag	Laag
Pyrolyse	6 of 9	Gemiddeld	Laag	Laag	Laag
Torwash	6	Hoog	Gemiddeld	Hoog	Gemiddeld
Superkritisch vergassen	4	Hoog	n.v.t.	Laag	Hoog
Vergassen	7	Gemiddeld	n.v.t.	Gemiddeld	Laag
MID MIX	6	Gemiddeld	Laag	n.v.t.	Laag

Het risico op een langere uitval van een technologie wordt gerelateerd aan de complexiteit van de installatie. Technologieën waarbij hoge temperaturen en drukken worden toegepast zijn daar een voorbeeld van (o.a. HTL, superkritisch vergassen). De afzetzekerheid van tussen-, afval- en restproducten is bij een volwassen status van een technologie geregeld. De productie van een (tussen)product maakt een technologie (zoals droging) echter wel wat kwetsbaarder dan een technologie die geen (tussen)product produceert (zoals monoverbranding). Tot slot speelt de samenstelling en dan voornamelijk de energiedichtheid van een (tussen)product een rol. Bij toepassing van bijvoorbeeld Torwash of HTC wordt gestreefd naar een energierijk (tussen)product, die mogelijk aantrekkelijk is voor de markt. Dit geldt bijvoorbeeld niet voor de biokool (of carbonaatas) die bij HTL, Microwave of Pyrolyse wordt gevormd. Deze kool bevat nog nauwelijks energie en afzet naar de landbouw is in Nederland, maar ook in Duitsland niet mogelijk. Door het kraken van het slib bij hoge temperatuur en druk ontstaat bij technologieën zoals superkritisch vergassen en HTL een afvalwaterstroom waarvan de behandeling uitdagend genoemd kan worden. In mindere mate geldt dit ook voor de afvalwaterstroom die bij Torwash en HTC wordt gevormd.

## 10.2 DUURZAAMHEID

Duurzaamheid van een technologie of slibketen kan gedefinieerd worden als het maximaliseren van de waarde van slib, zonder daarbij een negatieve impact op het milieu te hebben. De waarde van slib zit in het benutten van de energie voor de omgeving, en het terugwinnen van grondstoffen. Voorafgaand aan de slibeindverwerking kan koolstof worden teruggewonnen in de vorm van biogas, cellulose, Kaumera<sup>®</sup>, bouwstenen voor bioplastic of vetzuren. Bij de eindverwerking van het slib ligt de focus op het terugwinnen van stikstof en fosfor. De mate waarin energie, stikstof en fosfor kunnen worden teruggewonnen zijn een intrinsieke eigenschap van een technologie of slibketen. Met het criterium duurzaamheid is echt onderscheid te maken tussen technologieën of slibketens. Voor de bestaande en nieuwe technologieën en slibketens is het resultaat van de toetsing op energierterugwinning/CO<sub>2</sub> balans, stikstof- en fosforterugwinning samengevat in Tabel 24 (herhaling van eerder getoonde Tabel 15).

TABEL 24 RESULTAAT TOETSING ENERGIE- EN CO<sub>2</sub> BALANS, EN MOGELIJKHEID VAN STIKSTOF- EN FOSFOR TERUGWINNING

Technologie/Slibketen	Energie- CO <sub>2</sub> balans	Stikstof	Fosfor
Monoverbranding	rond neutraal	Ammoniumzout	Fosforzuur uit as
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	positief	Ammoniumzout	Alleen bij toepassing van monoverbranding
Droging met banddroger + co-verbranding	positief	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Droging in kas + co-verbranding	positief	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Droging met warmtepomp + co-verbranding	positief	Ammoniumzout	Nee, vaak verbrand met andere stromen
Pyrolyse + verbranden	negatief	Nee	Alleen bij verbranding coke in nieuwe installatie
HTC	rond neutraal	Ja, maar nog lage TRL	In vorm van struviet (met bio-P slib)
HTL	rond neutraal	Nee	In theorie ja, maar nog geen praktijkonderzoek
Microwave	rond neutraal	Nee	Nee
Pyrolyse (inclusief droging vooraf)	rond neutraal	Ammoniumzout	Nee, alleen bodemtoepassingen, die in Nederland niet mogelijk zijn
Torwash	rond neutraal (geen PE meer nodig bij ontwatering)	Ammoniumzout	In vorm van struviet (met bio-P slib)
Superkritisch vergassen	rond neutraal	Nee	Nee
Vergassen	rond neutraal	Ammoniumzout	Fosforzuur uit as, let wel op hoger C-gehalte
MID MIX + zand of Cement III	negatief	Ammoniumzout	Nee
MID MIX + Cement I	positief	Ammoniumzout	Nee

Een positieve energiebalans en de productie van een energie die nuttig kan worden omgezet voor de omgeving kan alleen bereikt worden als het water uit slib met een duurzame bron (niet fossiel) kan worden verdampt. Dit is mogelijk met biologisch drogen, waarbij een deel van organische stof wordt ingezet om warmte te produceren en is mogelijk bij het drogen met restwarmte of met lage temperatuurdroging met een warmtepomp. Wanneer de warmte wordt geproduceerd bij een monoverbrandingsinstallatie waarin ontwaterd- en/of biologisch gedroogd slib kan worden verbrand is fosforterugwinning mogelijk. Wel dient hierbij aandacht te zijn voor de milieu-impact van fosfor terugwinning uit as. Uit de meest recente LCA-analyse<sup>88</sup> blijkt dat de positieve impact van fosforterugwinning maar beperkt is ten opzichte van de productie van fosfor uit erts<sup>89</sup>. Alleen fosforterugwinning via struviet laat een duidelijk positieve milieu impact zien. Stikstof kan bij veel technologieën/slibketens in de vorm van een ammoniumzout worden teruggewonnen. Hierbij is nog onderscheid te maken tussen thermisch en biologisch drogen. Bij thermisch drogen kan alleen de in oplossing aanwezige ammonium worden teruggewonnen. Bij biologisch drogen wordt nog een deel van de organische stof omgezet waarbij ammonium vrijkomt. Dit draagt ertoe bij dat bij biologisch drogen<sup>90</sup> meer ammonium kan worden teruggewonnen dan bij thermisch drogen.

Uit de gehele analyse op duurzaamheid blijkt dat geen van de nieuwe technologieën beter scoort dan de bestaande. Bij veel nieuwe technologieën is bijvoorbeeld fosforterugwinning niet, of nog niet mogelijk, mede omdat de focus ligt op energierugwinning. Bestaande technologieën en slibketens leveren nu en in de toekomst een grote bijdrage aan het realiseren van de ambities rondom energie- en klimaatneutraliteit en het terugwinnen van grond-

88 STOWA, 2023, LCA van acht grondstoffen uit rioolwater, 2023-25.

89 Door SNB en HVC wordt dit aspect nu (2024) nader onderzocht (voor SusPhos proces).

90 Dit gaat om het terugwinnen van een derde van de in slib aanwezige stikstof.

stoffen in de vorm van stikstof en fosfor. Dit is mogelijk door slib op een duurzame wijze biologisch of thermisch (bijvoorbeeld met restwarmte) te drogen en daarna te verbranden in een monoverbrandingsinstallatie. Deze route is te zien als referentie voor nieuwe technologieën.

### 10.3 TOEKOMSTBESTENDIGHEID

De toekomstbestendigheid van een technologie wordt vooral gewogen op hoe flexibel een technologie is om in te spelen op ontwikkelingen in slibaanbod en slibkwaliteit, nieuwe wet- en regelgeving en technologische ontwikkelingen. Net als bij continuïteit is dit voor nog in ontwikkeling zijnde technologieën niet altijd goed in te schatten wat de vergelijking met bestaande technologieën moeilijk maakt. Tegelijkertijd is flexibiliteit net als continuïteit een weinig onderscheidend criterium omdat flexibiliteit voor het grootste deel is te organiseren in de vorm van een ontwerp of in de vorm van contractafspraken. Dit komt dan terug in de kosten van een technologie of slibketen. Het is wel zo dat wanneer een technologie sterk gebonden is aan specifieke eisen aan de kwaliteit van het slib deze minder flexibel is dan andere technologieën, waarmee toekomstbestendigheid dan wel onderscheidend is. De volgende ontwikkelingen vragen flexibiliteit van een technologie of slibketen:

- Wijzigingen in slibaanbod:
  - In een contract wordt vaak vastgelegd welke hoeveelheid minimaal of maximaal aangeleverd dient te worden. Dit geldt ook voor de slibkwaliteit, vaak worden minimale en maximale eisen gesteld aan, aan bijvoorbeeld aan te leveren (organisch) drogestofgehalte.
- Strengere eisen voor de emissie van stikstof via de lucht:
  - Voor iedere technologie of slibketen geldt dat hiervoor aanpassingen aan de installatie nodig zijn, die doorgerekend gaan worden in de slibeindverwerkingskosten.
- Mogelijke eisen voor de emissie van PFAS en andere ZZS:
  - Onzeker is nog voor welke stromen mogelijke eisen aan de emissie van PFAS gesteld gaan worden. Voor de meeste technologieën/geldt dat PFAS nagenoeg volledig wordt omgezet.
- In kunnen spelen op technologische ontwikkelingen
  - Het kunnen inspelen op technologische ontwikkelingen wordt vooral bepaald of na realisatie van een technologie op een later moment een nieuwe of bestaande technologie erachter geschakeld kan worden. Dit is gemakkelijker te realiseren bij een slibketen opgebouwd uit fysiek gescheiden stappen met één of meer tussenproducten.

### 10.4 KOSTEN

De kosten voor de eindverwerking van slib zijn voor bestaande installaties inzichtelijk (via begrotingsdocumenten). Voor in ontwikkeling zijnde technologieën zijn deze kosten lastig in te schatten (en eventueel alleen met een grote bandbreedte). De redenen daarvoor zijn (onder andere):

- Deze nog niet bekend zijn, omdat een nieuwe technologie op onvoldoende grote schaal is getest, waarbij nog niet alle aspecten van de slibeindverwerking zijn meegenomen;
- Deze worden bepaald door externe factoren zoals ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving, en ontwikkelingen in de markt (afzet van producten, aankoop van materialen en grondstoffen etc.);
- Verschillende keuzes worden gemaakt bij het inrichten van een slibketen als het gaat om continuïteit en flexibiliteit.

Ontwikkelingen rondom wet- en regelgeving kunnen een aanzienlijke impact op de verwerkingskosten hebben. De verwachting is echter dat alle hier onderzochte technologieën/slibketens daar even hard door worden getroffen als is dit mogelijk nog wel afhankelijk van waar welke hoeveelheden (tonnages) slib worden verwerkt. Bij een droogstap voorafgaand aan verbranding wordt immers een kleinere hoeveelheid slib verbrand (als deze locaties fysiek van elkaar gescheiden zijn).

# 11

## TOEKOMSTPERSPECTIEF SLIBEINDVERWERKING

### 11.1 DOEL VOOR DE TOEKOMST

Voor de toekomst is de ambitie rondom 100% circulariteit leidend voor de verdere ontwikkeling van bestaande technologieën/slibketen en bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het gaat hierbij om het verder maximaliseren van de waarde uit slib, waarbij gestreefd wordt naar minimaal gelijke, maar bij voorkeur een positieve milieu-impact ten opzichte van de referentieroute van duurzaam drogen en monoverbranding. Het is daarbij belangrijk dat circulariteit start met het uit de kringloop houden van schadelijke stoffen zoals dat door het RIVM in 2019 is gesteld in het rapport<sup>91</sup>. Naast de terugwinning van stikstof, fosfor en mogelijk zwavel ligt de focus daarbij vooral op de terugwinning van de in slib aanwezige koolstof als grondstof. Bij de huidige en de nu in ontwikkeling zijnde technologieën ligt de nadruk vooral op energieproductie uit koolstof. Het advies is om richting de toekomst de focus te leggen op:

- Nieuwe technologieën die de koolstof uit slib omzetten naar grondstoffen. Hierbij valt te denken aan technologieën die een syngas van CO<sub>2</sub> en waterstof produceren, waaruit de productie van methanol mogelijk is.
- Het afvangen van CO<sub>2</sub> bij bestaande installatie en te zoeken naar mogelijkheden om dit met waterstof om te zetten naar methanol.

### 11.2 INRICHTING CIRCULARITEIT EN SELECTIE VAN TOEKOMSTIGE TECHNOLOGIEËN

Circulariteit begint op de zuivering en de terugwinning van grondstoffen (koolstof, stikstof, fosfor en zwavel) dient daarom altijd beschouwd te worden vanuit de gehele keten van zuivering en slibketen. Bij het maximaliseren van de waarde van slib is het daarom van belang om te kijken waar in de keten de grondstoffen het meest efficiënt en met de laagste milieu-impact terug gewonnen kunnen worden. Het ontwikkelen van een maatlat waarmee bestaande en nieuwe technologieën op het punt van circulariteit en duurzaamheid kunnen worden vergeleken is daarvoor essentieel. Toegepaste methodieken zoals de LCA methodiek van CE Delft als ook documenten van de Unie van Waterschappen rondom duurzaam bouwen kunnen hierbij als startpunt worden gebruikt.

Voor het selecteren van technologieën op de korte en middellange termijn (10 – 15 jaar) is het advies om te selecteren op basis van TRL-niveau. Om invulling te geven aan de doelstelling voor de langere termijn zoals hierboven geformuleerd is het advies om juist niet op TRL-niveau te selecteren, maar op duurzaamheid om zo potentieel interessante technologieën een kans te bieden zich te ontwikkelen. De vraag daarbij is hoe duurzaamheid te definiëren en te kwantificeren. De eerder genoemde maatlat biedt de mogelijkheid om nieuwe technologieën te selecteren die de potentie hebben beter te scoren op circulariteit en milieu-impact dan de nu bestaande meest duurzame route van slibeindverwerking.

91 RIVM (Beekman M., et al.), 2019, Omgaan met Zeer Zorgwekkende Stoffen in een Circulaire Economie, RIVM-briefrapport 2019-0186.

### 11.3 ONDERSTEUNING ONTWIKKELING NIEUWE TECHNOLOGIEËN

De waterschappen en de huidige slibeindverwerkers kunnen gezamenlijk potentieel interessante nieuwe technologieën ondersteunen bij de ontwikkeling naar een volwassen technologie. De meeste kritische stap waarin een technologie wel of niet doorbreekt is de stap van TRL 5/6 (pilot) naar TRL 7 (demonstratieschaal). Het is in deze stap dat de kosten en risico's significant hoger en groter zijn. Het advies is om vanaf nu met elkaar in gesprek te gaan hoe als sector en eindverwerkers gezamenlijk een dergelijke doorontwikkeling van een technologie ondersteunt kan worden. Aspecten om daarbij mee te nemen zijn:

- Helderheid over hoe de selectie op duurzaamheid plaats vindt en welke data en kwaliteit daarvan beschikbaar dient te zijn.
- Helderheid over de eisen die als sector en eindverwerkers gesteld worden aan een volwassen technologie, zodat op een zeker moment mogelijk ook gestopt kan worden met de ondersteuning van de ontwikkeling van de technologie.
- Inrichting van de organisatie van sector/eindverwerker(s) en technologieleverancier, inclusief taakverdeling, verantwoordelijkheden en verwachtingen.
- Een perspectief te bieden aan bedrijven op een op termijn langdurig contract, waarbij de voorwaarden helder zijn gedefinieerd en de risico's naar redelijkheid zijn verspreid over alle betrokken partijen.
- Samenwerking te zoeken met andere landen zoals Engeland waar ook steeds nadrukkelijk wordt gekeken naar thermische verwerking van slib in plaats van afzet naar de landbouw. Dit geldt voor meer landen binnen en buiten Europa. Dit biedt de kans dat er een grotere markt voor nieuwe (thermische) verwerkingstechnologieën ontstaat.



# 12

## CONCLUSIES EN ADVIES

### 12.1 CONCLUSIES

De conclusies van deze studie bestaan uit de antwoorden op de onderzoeksvragen die gesteld zijn.

#### 1. Welke ontwikkelingen in de afvalwater- en slibketen hebben invloed op de toekomstige inrichting van de slibeindverwerking, waarbij onderscheid wordt gemaakt in:

##### 1.1 Welke ontwikkelingen hebben invloed op de hoeveelheid en kwaliteit van het te verwerken slib en hoe groot (omvang) is die invloed?

Ingeschat is dat de slibhoeveelheid richting 2050 toeneemt met 10 tot 25% als gevolg van een toename in het afvalwateraanbod en meer en betere vergisting van het slib. Andere ontwikkelingen rondom de verbetering van de effluentkwaliteit en het terugwinnen van grondstoffen hebben maar een beperkte invloed op de hoeveelheid slib. De samenstelling van het slib verandert niet door een toename in afvalwateraanbod, wel verandert de samenstelling als gevolg van het steeds schoner worden van effluent als gevolg van strengere wettelijke lozingsnormen. Het slib bevat daardoor meer microverontreinigingen (bij toepassing poederkool), en dienen er hogere vrachten stikstof en fosfor uit het slib verwerkt te worden. Bij een hogere mate van vergisting verandert mogelijk het (organisch)drogestof gehalte van het slib. De vraag naar schoner effluent voor hergebruik en andere doelen leidt in beperkte mate tot nieuwe slibstromen die na fysisch chemische zuivering van het influent of effluent ontstaan.

##### 1.2 Welke ontwikkelingen hebben invloed op de inrichting van de afvalwater- en slibketen en daarmee op de inrichting van de slibeindverwerking?

In 2050 wordt nog steeds voornamelijk biologisch slib verwerkt, dat wel meer stikstof, fosfor en microverontreinigingen (bij toepassing poeder actiefkool) bevat. De kosten voor de eindverwerking van slib kunnen toenemen doordat aanvullende reinigungsstappen nodig zijn om aan wettelijke emissie te voldoen. Verder is er de verwachting dat er strengere eisen ten aanzien van ZZS zullen komen, de impact daarvan is nog niet in te schatten. Het volume 'nieuwe' afvalstromen zoals de brijn na membraanfiltratie zal in 2050 nog klein zijn, waar en op welke manier een dergelijke afvalstroom kan worden verwerkt is nog in onderzoek. Een verandering in de ratio tussen organisch drogestof (levert energie op) en drogestof (kost energie voor verdampen water) heeft mogelijk invloed op de verwerkingscapaciteit en energiebalans van de bestaande verwerkingsinstallaties.

#### 2. Welke nieuwe technologieën zijn er naast de bestaande technologieën die onderdeel kunnen worden van de toekomstige slibeindverwerking?

Toegepaste of nog in ontwikkeling zijnde technologieën kunnen ingedeeld worden in drie groepen. In de eerste groep ligt de focus op volledige verbranding van het slib en de nagenoeg volledige omzetting van milieuschadelijke stoffen. Dit wordt bereikt door lucht toe te voegen en verder te werken onder atmosferische druk (zoals **monoverbranding met of zonder afzonderlijke thermische of biologische droogstap**). Zonder het toevoegen van zuurstof

en het werken onder atmosferische omstandigheden ligt de focus op het produceren van verschillende gewenste producten. Denk hierbij aan gas en/of olie en/of (bio)kool. **Pyrolyse en microwave** zijn voorbeelden uit deze groep. In de laatste en derde groep ligt de focus op het verdichten van de energie in één product. Dit wordt bereikt door het toepassen van hoge druk en temperaturen. Afhankelijk van de toegepaste druk en temperatuur ontstaan verschillende producten. **Torwash** en het vergelijkbare proces **HTC** passen drukken toe tot maximaal 25 bar bij temperaturen tussen de 180 en 280°C. Bij deze procescondities ontstaat een slibstroom die goed te ontwateren is (zonder PE) tot 50 – 60% drogestof, waarin een groot deel van de in het slib opgeslagen energie nog aanwezig is. Bij superkritisch vergassen en HTL worden temperaturen toegepast boven de 300°C bij drukken die hoger liggen dan 200 bar.

Bij toepassing van HTL wordt dan een olie geproduceerd die na opwaardering als brandstof kan worden gebruikt. Bij **superkritisch vergassen** ontstaat een energierijke gasstroom die na reiniging op het aardgasnet ingeprikt kan worden.

**MID MIX** is een technologie waar alleen ongebluste kalk wordt toegevoegd en er geen sprake is van thermische verwerking of bewerking.

### 3. Welke criteria kunnen worden toegepast en zijn van belang voor het toetsen van een technologie zodat tot een verantwoorde keuze gekomen kan worden voor de slibeindverwerking van de toekomst?

**Continuïteit** kan gezien worden als één van de belangrijkste criteria waarop technologieën worden getoetst. Eigenlijk kan continuïteit beter gezien worden als een randvoorwaarde voor een technologie of slibketen. Logischerwijs behalen in ontwikkeling zijnde technologieën deze continuïteit nu nog niet, maar gaan dat wel doen aan het eind van die ontwikkeling als de technologie of slibketen volledig operationeel is (TRL 9). In die zin is continuïteit geen onderscheidend kenmerk van een technologie of slibketen. Op het moment dat een technologie volledig commercieel en operationeel is voor de verwerking van communaal slib zijn de volgende zaken goed geregeld:

- Risico op langere uitval is beheerst door indien nodig inzet van gespecialiseerd personeel en een hoge beschikbaarheid van kritische reserveonderdelen;
- Afzetzekerheid van tussen- of eindproducten en afval- en reststoffen is goed geregeld via bij voorkeur langlopende contracten en de daarvoor mogelijk vereiste certificeringen zijn geregeld;
- Vindt de behandeling van het vrijkomende afvalwater zodanig plaats dat lokaal of op een andere zuivering voldaan wordt aan de geldende lozingseisen.
- Is een (m)LCA uitgevoerd voor het verkrijgen van een milieuvergunning (voor nieuwe technologieën).

Net als bij continuïteit is **toekomstbestendigheid** voor nog in ontwikkeling zijnde technologieën niet altijd goed in te schatten wat de vergelijking met bestaande technologieën moeilijk maakt. Tegelijkertijd is flexibiliteit net als continuïteit een weinig onderscheidend criterium omdat flexibiliteit grotendeels is te organiseren in de vorm van een ontwerp of in de vorm van contractafspraken. De wijze waarop bij een technologie of slibketen continuïteit en toekomstbestendigheid geborgd wordt vertaalt zich in de **kosten** voor de slibeindverwerking. Deze kosten zijn uiteindelijk bepalend of een technologie doorbreekt. Als de kosten zich vertalen tot een verwerkingsprijs die niet concurrerend is met de dan geldende marktprijzen breekt een nieuwe technologie niet door. Wanneer een technologie sterk gebonden is aan specifieke eisen voor de kwaliteit van het slib is deze minder flexibel dan andere technologieën, waarmee **toekomstbestendigheid** wel onderscheidend kan zijn.

De **kosten** voor de eindverwerking van slib zijn voor bestaande technologieën/slibketens beschikbaar in openbare documenten. Voor in ontwikkeling zijnde technologieën zijn deze kosten lastig in te schatten (en eventueel alleen met een grote bandbreedte).

- Deze nog niet bekend zijn, omdat een nieuwe technologie op onvoldoende grote schaal is getest, waarbij nog niet alle aspecten van de slibeindverwerking zijn meegenomen;
- Deze worden bepaald door externe factoren zoals ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving, en ontwikkelingen in de markt (afzet van producten, aankoop van materialen en grondstoffen etc.);
- Verschillende keuzes worden gemaakt bij het inrichten van een slibketen als het gaat om continuïteit en flexibiliteit;

Ontwikkelingen rondom wet- en regelgeving kunnen een aanzienlijke impact op de verwerkingskosten hebben. De verwachting is echter dat alle hier onderzochte technologieën/slibketens daar even hard door worden getroffen als is dit mogelijk nog wel afhankelijk van waar welke hoeveelheden (tonnages) slib worden verwerkt. Bij een droogstap voorafgaand aan verbranding wordt immers een kleinere hoeveelheid slib verbrand (als deze locaties fysiek van elkaar gescheiden zijn).

Uit bovenstaande volgt dat de **duurzaamheid** van een technologie voor de slibeindverwerking eigenlijk het enige criterium is waarop technologieën of slibketens zich kunnen onderscheiden, het is een intrinsieke eigenschap van een technologie of slibketen. Het maximaliseren van de waarde van slib zonder verdere negatieve impact op milieu is richting 2050 het belangrijkste punt waarop bestaande technologieën/slibketens zich kunnen verbeteren en nieuwe technologieën zich kunnen onderscheiden ten opzichte van bestaande.

#### **4. Welke technologieën bieden de beste mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen en kunnen daarmee onderdeel zijn van de toekomstige slibeindverwerking?**

Uit de analyse op duurzaamheid blijkt dat geen van de nieuwe technologieën beter scoort dan de bestaande. Bestaande technologieën en slibketens leveren nu en in de toekomst een grote bijdrage aan het realiseren van de ambities rondom energie- en klimaatneutraliteit en het terugwinnen van grondstoffen in de vorm van stikstof, fosfor en mogelijk zwavel. Dit is mogelijk door slib op een duurzame wijze biologisch of thermisch (bijvoorbeeld met restwarmte of een warmtepomp) te drogen en daarna te verbranden in een monoverbrandingsinstallatie. Deze route is te zien als referentie voor nieuwe technologieën.

Voor de toekomst is de ambitie rondom 100% circulariteit leidend voor de verdere ontwikkeling van bestaande technologieën/slibketen en bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Het is daarbij belangrijk dat circulariteit start met het uit de kringloop houden van schadelijke stoffen zoals dat door het RIVM in 2019 is gesteld in het rapport<sup>92</sup>. Naast de terugwinning van stikstof, fosfor en mogelijk zwavel ligt de focus daarbij vooral op de terugwinning van de in slib aanwezige koolstof als grondstof. Bij de huidige en de nu in ontwikkeling zijnde technologieën ligt de nadruk vooral op energieproductie uit koolstof. Het advies is om richting de toekomst de focus te leggen op:

92 RIVM (Beekman M., et al.), 2019, Omgaan met Zeer Zorgwekkende Stoffen in een Circulaire Economie, RIVM-briefrapport 2019-0186.

- Nieuwe technologieën die de koolstof uit slib omzetten naar grondstoffen. Hierbij valt te denken aan technologieën die een syngas van CO<sub>2</sub> en waterstof produceren, waaruit de productie van methanol mogelijk is.
- Het afvangen van CO<sub>2</sub> bij bestaande installatie en te zoeken naar mogelijkheden om dit met waterstof om te zetten naar methanol.

## 12.2 ADVIES

Om met de (eind)verwerking van slib invulling te geven aan de ambities rondom circulariteit is het advies om:

- In te zetten op de ontwikkeling van duurzame alternatieven voor hulpstoffen die bij de vergisting en ontwatering van slib worden toegepast.
- Ontwikkeling van een maatlat (op basis van bestaande methodieken) waarmee bestaande technologieën getoetst en vergeleken kunnen worden op circulariteit én milieu-impact. Met deze maatlat kunnen potentieel interessante technologieën geselecteerd en mogelijk ondersteunt worden.
- Vanaf nu met elkaar in gesprek te gaan hoe als sector en eindverwerkers gezamenlijk een invulling kan worden gegeven aan ondersteuning van potentieel interessante technologieën voor de eindverwerking van slib. Aspecten om daarbij mee te nemen zijn:
  - Helderheid over hoe de selectie op duurzaamheid plaats vindt en welke data en kwaliteit daarvan beschikbaar dient te zijn.
  - Helderheid over de eisen die als sector en eindverwerkers gesteld worden aan een volwassen technologie, zodat op een zeker moment mogelijk ook gestopt kan worden met de ondersteuning van de ontwikkeling van de technologie.
  - Inrichting van de organisatie van sector/eindverwerker(s) en technologieleverancier, inclusief taakverdeling, verantwoordelijkheden en verwachtingen.
  - Een perspectief te bieden aan bedrijven op een op termijn langdurig contract, waarbij de voorwaarden helder zijn gedefinieerd en de risico's naar redelijkheid zijn verspreid over alle betrokken partijen.
  - Samenwerking te zoeken met andere landen zoals Engeland waar ook steeds nadrukkelijk wordt gekeken naar thermische verwerking van slib in plaats van afzet naar de landbouw. Dit geldt voor meer landen binnen en buiten Europa. Dit biedt de kans dat er een grotere markt voor nieuwe (thermische) verwerkingstechnologieën ontstaat.

**BIJLAGE 1**

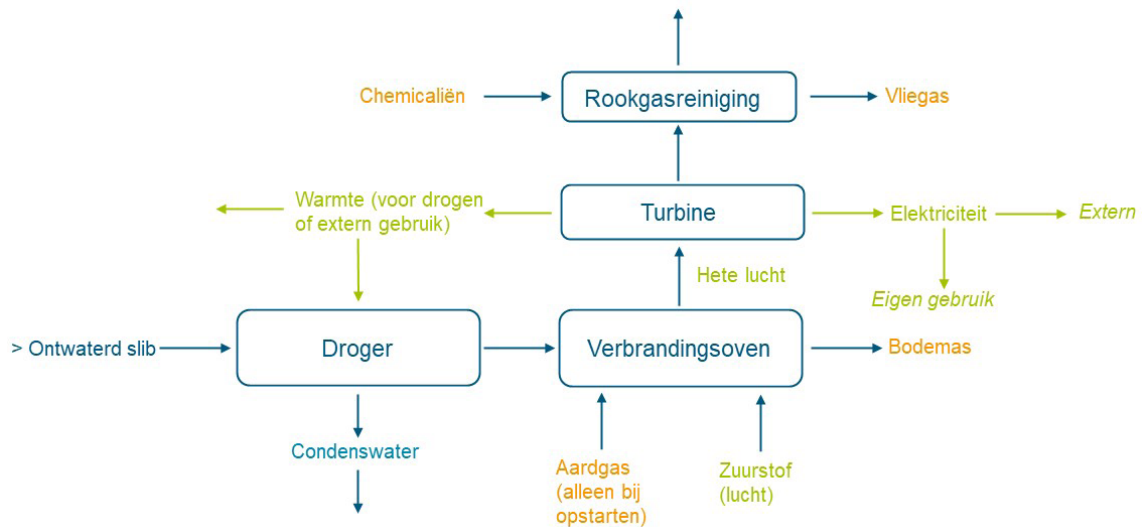
# NADERE INFORMATIE TECHNOLOGIEËN SLIBEINDVERWERKING

## 1. MONOVERBRANDING

### Leveranciers

De installatie wordt geleverd door technologieleveranciers zoals Andritz. In Nederland wordt monoverbranding toegepast bij SNB in Moerdijk en bij HVC in Dordrecht. Vanaf 2026 is een monoverbrandingsinstallatie operationeel bij EEW in Delfzijl. In Duitsland is Remondis een grote speler als het gaat om het operationeel beheer van monoverbrandingsinstallaties.

### PFD



### Procesbeschrijving

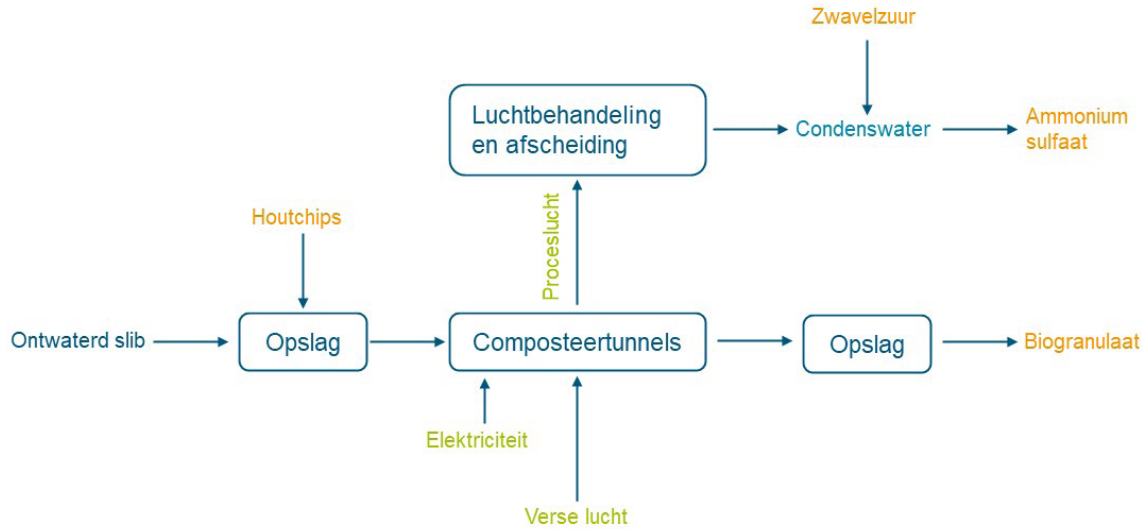
Onderstaande procesbeschrijving is vooral gebaseerd op de installaties bij SNB en HVC. In hoofdlijnen bestaat het proces bij beide installaties uit dezelfde stappen, maar zijn er wel verschillen te benoemen. Het ontwaterd slib wordt opgeslagen in bunkers waar grijpers de verschillende voorraden slib mengen. Hierdoor ontstaat een constante samenstelling die nodig is voor een efficiënte verbranding. Dit slib wordt eerst gedroogd tot 40 – 45% DS. Na deze droogstap wordt het slib verbrand in een verbrandingsoven. Een deel van de warmte die hierbij vrijkomt wordt gebruikt in de droogstap. De rookgassen die ontstaan en de ovens verlaten, koelen in de stoomketels af. Een elektrostatisch filter scheidt de asdeeltjes van de rookgassen. De verzamelde vliegas wordt opgeslagen in silo's. De rookgasreiniging verschilt tussen beide installaties, beide installaties voldoen aan de wettelijke emissie eisen voor stikstof, zwavel, kwik en andere componenten. In de rookgasreiniging van SNB wordt ammonia teruggewonnen. In tegenstelling tot bij SNB en HVC wordt bij de nieuwe installatie van EEW in Delfzijl een droge rookgasreiniging geïnstalleerd. Bij EEW wordt vanaf 2026 zowel ontwaterd als biologisch gedroogd slib verbrand. Door het hogere drogestofgehalte van het biologisch gedroogde slib (circa 65%) is geen droogstap nodig, omdat het ontwaterde slib wordt gemengd met het biologisch gedroogde slib.

## 2. BIOLOGISCH DROGEN

*Leverancier*

In Nederland wordt technologisch drogen uitgevoerd door GMB Bioenergie

*PFD*



*Procesbeschrijving*

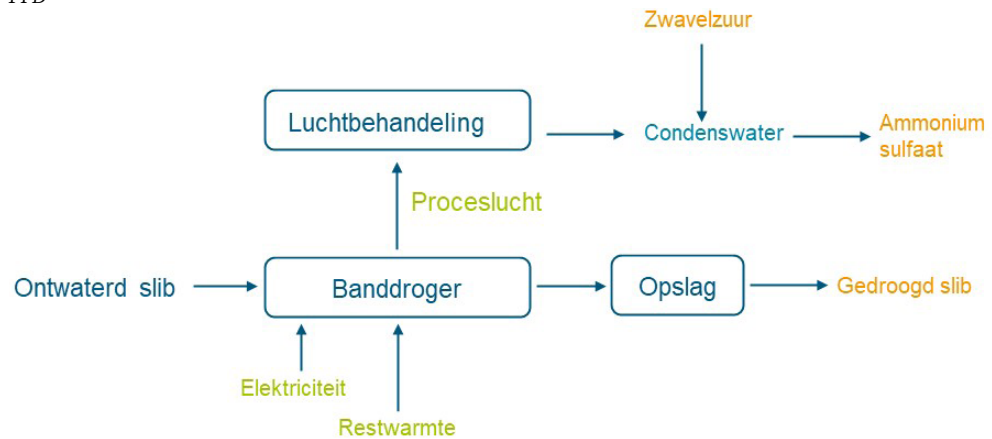
Het ontwaterd slib van circa 25% moet biologisch actief en goed beluchtbaar zijn. Daarom wordt het ontwaterde slib gemengd met eerder gecomposteerd materiaal (enten) en houtsnippers ten behoeve van de structuur. Hierdoor kan het materiaal tot circa 5 meter hoogte opgestapeld worden in de tunnels. In de gesloten tunnels doen de micro-organismen hun werk, een deel van de organische stof in het slib wordt omgezet. Hierbij komt warmte vrij, die wordt gebruikt om de pas gevulde tunnels mee te verwarmen. Na tien dagen biologisch drogen wordt de compost gezeefd. Het gezeefde materiaal wordt nagerijpt/-gedroogd. Hierna heet het biogranulaat. Dit biogranulaat met een DS van ongeveer 65% wordt toegepast als biobrandstof in onder meer energiecentrales en monoverbrandingsinstallaties. In Frankrijk is het product onder de naam Tradiphos als meststof erkend en kan biogranulaat benut worden als voedingsrijke meststof. Momenteel wordt 100% van het biogranulaat ingezet voor energieproductie. Bij het biologisch drogen wordt circa 1/3 van de in zuiveringsslib aanwezige stikstof teruggewonnen in de vorm van ammoniumsulfaat. Op deze wijze geproduceerde ammoniumsulfaat is in de Nederlandse meststoffenwet erkend en mag worden toegepast.

### 3. DROGEN MET AFVALWARMTE EN BANDDROGER

#### Leveranciers

Er zijn diverse leveranciers die banddrogers kunnen leveren. Enkele voorbeelden zijn: Andritz, Dorset, ELIQUO, Huber, Suez en Veolia.

#### PFD



Procesbeschrijving (STOWA 2013 W-03; STOWA 2018 – 16)

Er bestaan diverse wijzen waarop slib wordt gedroogd door middel van een banddroger. De belangrijkste facetten zijn: drogestofgehalte (DS%) van het ingaande slib en hoe deze op de band wordt gebracht, het uitgaande DS% van het slib, type warmtebron, directe of indirect contact tussen slib en warmtebron, kwantiteit en kwaliteit uitgaande lucht en afvalwaterstroom en behandeling daarvan.

Eén van de belangrijkste ontwerpparameters van een banddroger is de hoeveelheid water die per uur kan worden verdampt. Samen met het DS% van het ingaande slib (en gewenst uitgaande DS%) en de temperatuur van de warmtebron bepaalt dit de omvang van de banddroger en de hoogte van de investeringskosten. De wijze waarop het slib op de band wordt gebracht verschilt per leverancier. Het ontwaterde slib kan direct op de band worden gebracht, wat veelal leidt tot een meer korrelachtige structuur met diversiteit in de korrelgrootte. Het slib kan met een 'pelletizer' op de band worden gebracht, wat resulteert in een wat 'wormachtige' vorm van het gedroogde slib en vaak uniformer is in vorm. De vorm en de mate van uniformiteit in het gedroogde slib kan van belang zijn bij de afzet van het gedroogde slib bij derden die daar eisen aan stellen. Het DS% van het gedroogde slib kan een eis zijn van de afnemer van het slib en kan variëren tussen de 70 en 90% DS. Een DS% van 90% is het meest gangbaar. Bij een hoger DS% dan 90% ontstaat er een groter risico op stofvorming en explosiegevaar, een aspect waar sowieso bij banddrogers goed naar gekeken dient te worden (ATEX-maatregelen). Dit geldt zeker bij de opslag en transport van het gedroogde slib waarbij broei kan ontstaan. De warmte kan direct (bijvoorbeeld Huber) of indirect (bijvoorbeeld Eliquo) worden toegevoerd aan het slib. De kwaliteit en kwantiteit van de warmte is een belangrijke ontwerpparameter en bepaald de omvang van droger en de hoeveelheid benodigde lucht. Bij de meeste leveranciers wordt warme of verwarmde lucht gebruikt als warmtebron. Na droging ontstaan er twee afvalstromen die dienen te worden behandeld. Dit is de resterende lucht die de droger verlaat en het water dat wordt verdampt. Afhankelijk van het ontwerp, de bedrijfsvoering, en type slib (vergift, onvergift) zit hier naast enkele andere geurcomponenten vooral ammonium in dat door middel van een gaswasser (lucht) of een zuivering (water) dient te worden verwijderd. Bij toepassing van een gaswasser kan het ammonium als grondstof worden teruggewonnen.



#### 4. DROGEN IN KAS + AFVALWARMTE

##### Leveranciers

De informatie in deze bijlage is gebaseerd op het systeem van Thermo-system, andere leveranciers zijn onder andere Huber en Suez.

##### PFD



##### Procesbeschrijving (STOWA 2018 – 16; en uitgaande van installatie in Kampe (OBK))

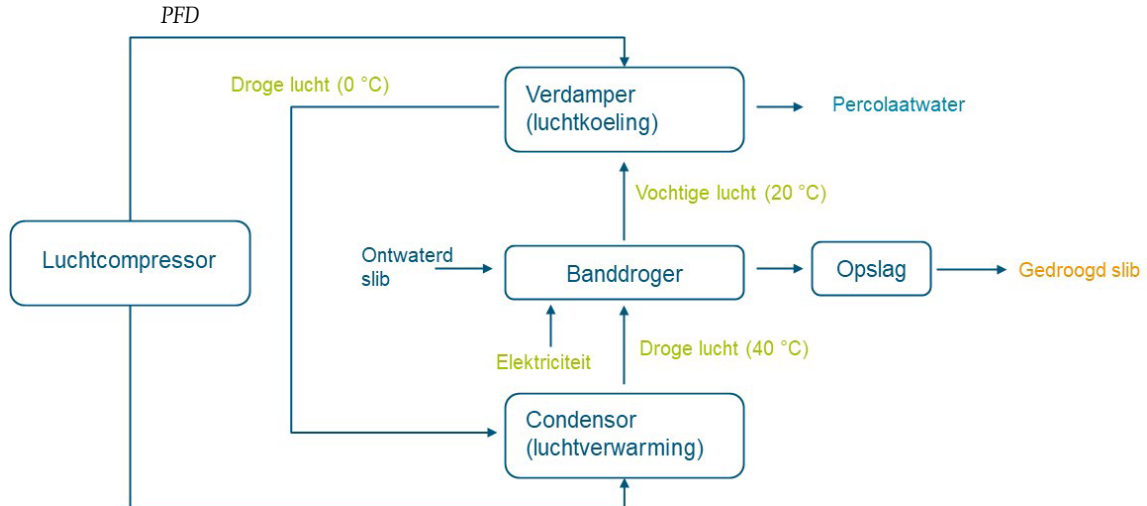
Bij kasdrogen wordt slib gedroogd met warmte van de zon en restwarmte van derden. Door het gebruik van een kas is een hogere temperatuur beschikbaar en kan de klimaatbesturing toegepast worden. Thermo-system heeft drie varianten beschikbaar; SolarBatch is een batch proces, SolarFlow is een volledig geautomatiseerd continu proces en StorageDryer een semicontinu proces voor kleinere installaties. Verschillende methodes voor het plaatsen en omwoelen van slib zijn beschikbaar. Extra toevoer van restwarmte is nodig voor een effectieve droging, in de zomer is de benodigde hoeveelheid restwarmte maar half zo hoog als in de winter. In de zomer kan met de energie uit de zon ongeveer 30% van het water verdampt worden, in de winter is dit nog geen 5%, het jaargemiddelde ligt op 15%. Het DS% van het gedroogd slib komt uit tussen de 65 en 75%.

Ontwaterd slib wordt gelost in een slibbunker in de slibontvangsthal waarna een shovel het ontwaterde slib vanuit de ontvangsthal uitrijdt in een van de droogcompartimenten. In de kassen rijdt een zogenaamde elektrische mol rond die zorgt voor periodieke omwoeling van het slib, zodat het gelijkmatig wordt gedroogd. Boven in de droogcompartimenten wordt warmte ingebracht via warmtewisselaars die aangesloten zijn op een warmwatersysteem, warmte wordt ook via vloerverwarming ingebracht. De lucht in de kas wordt met ventilatoren door de warmtewisselaars geblazen. Andere ventilatoren blazen de hete lucht richting het slib. De ventilatoren in de kassen staan onder een variabele hoek, die steeds groter en kleiner wordt waardoor de warmte gelijkmatig door de kas wordt verdeeld. Na ongeveer een week wordt het gedroogde slib met een shovel uit het droogcompartiment verwijderd en in een vrachtwagen geladen en afgevoerd naar een centrale voor verbranding. De afgevoerde lucht wordt behandeld in achtereenvolgens een gaswasser (zonder chemicaliën) en een biofilter om de aanwezige geurcomponenten en ammonium te verwijderen.

## 5. DROGEN MET ELEKTRICITEIT (WARMTEPOMP)

*Leverancier*

Vooralsnog is alleen Watropur bekend als leveranciers voor het drogen van slib met elektriciteit.



*Procesbeschrijving*

De warmtepomp aangedreven banddroger wordt geleverd door het Zwitserse bedrijf Watropur. De warmtepomp werkt op elektriciteit. In dit concept is het mogelijk om slib te drogen bij lage temperaturen (30 tot 40°C) doordat de drooglucht in een gesloten systeem circuleert en verwarmd wordt door middel van warmtepompen. De drooglucht van 40°C bevat hierdoor een extreem laag vochtgehalte waardoor droging bij deze lage temperatuur haalbaar is. De condensatie energie wordt teruggewonnen. Voordeel van deze wijze van slibdroging is dat er geen luchtbehandeling nodig is en er geen stank optreedt. Omdat er geen externe warmte nodig is kan de Watropur op nagenoeg elke locatie geplaatst worden. Wegens de lage temperaturen is er nauwelijks sprake van vervluchtiging van ammoniak naar het condensaat. Het drogestofpercentage van het ingaande materiaal moet minstens 20% DS zijn en het slib kan in deze installatie worden gedroogd tot 70 tot 90% DS

## 6. CO-VERBRANDING

### Leveranciers

De verbrandingsinstallaties worden door verschillende leveranciers geleverd. Co-verbranding van ontwaterd, biologisch of thermisch gedroogd slib vindt plaats in afvalverbrandings- en energiecentrales, bij de cementindustrie (alleen thermisch gedroogd slib) en biomassa energie centrales (BEC).

### PFD



### Procesbeschrijving

**Ontwaterd slib** wordt voornamelijk meeverbrand in afvalverbrandings-, of energiecentrales. De hoeveelheid ontwaterd slib die kan worden meeverbrand is afhankelijk van het type oven (meer of minder geschikt om ontwaterd slib mee te verbranden), de thermische capaciteit van de installatie en de concurrentie met andere afvalstromen. Ontwaterd slib wordt vaak gebruikt om de bestaande afvalstromen te 'blussen', zodat de calorische waarde van de gehele stroom daalt en er thermische capaciteit vrijkomt. Deze vrijgekomen capaciteit kan dan weer gevuld worden met andere afvalstromen tegen een zeker poorttarief waardoor meer verdiend kan worden.

**Biologisch gedroogd slib** kent door het hogere DS% een andere afzetmarkt omdat bij de verbranding een netto energie winst mogelijk is. Het biologische gedroogde slib dat in Nederland geproduceerd wordt, wordt meeverbrand in energiecentrales, afvalenergiecentrales of thermische conversie-installaties. In de toekomst (rond 2026) wordt een groot deel van het biologisch gedroogde slib meeverbrand in de monoverbrandingsinstallatie van EEW in Delfzijl.

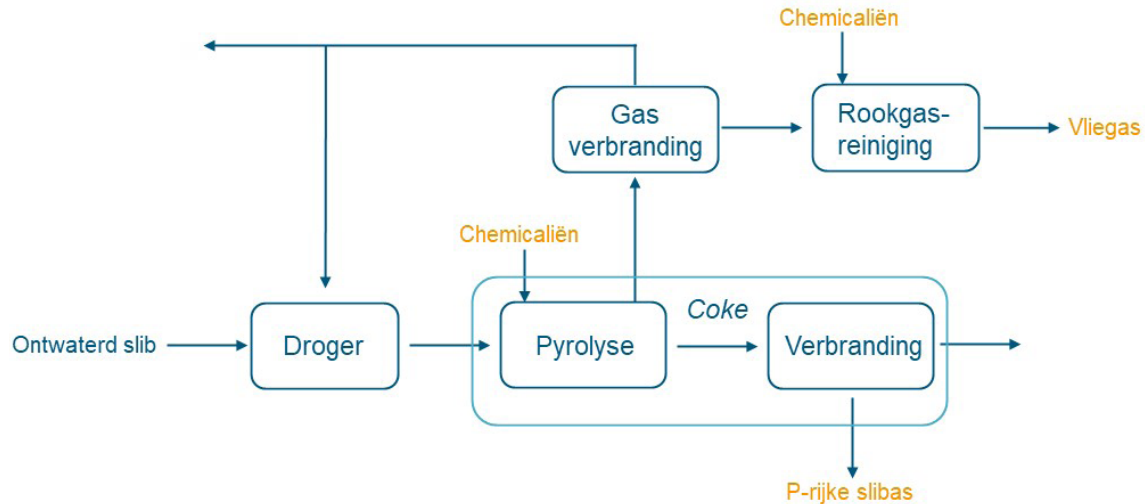
Door het hoge DS% (90%) van het **thermisch gedroogde slib** heeft dit een hoge energie-waarde en wordt bij voorkeur dan ook meeverbrand waar de geproduceerde energie nuttig kan worden ingezet in het proces of afgezet naar de omgeving. Bekende afzetroutes voor thermisch gedroogd slib uit Nederland zijn: de cementindustrie, biomassa energiecentrales en energiecentrales. Een deel van gedroogde slib van HHNK wordt verwerkt in de cementindustrie, maar het merendeel daarvan wordt meeverbrand in een BEC van HVC. In sommige gevallen kan het nodig zijn dat het thermisch gedroogde slib nog een verwerkingsstap nodig heeft. Dit betreft mogelijk vermaling of juist pellitisering

## 7. PYROLYSE + VERBRANDEN

Leveranciers

EuPhoRe

PFD



Procesbeschrijving

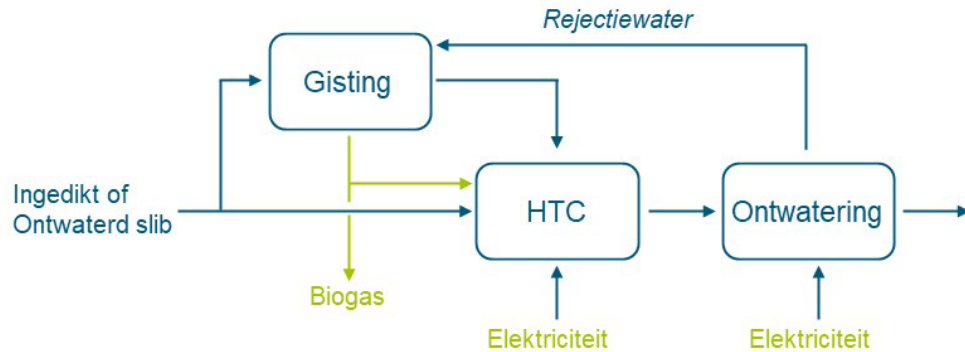
Het proces van EuPhoRe bestaat grofweg uit drie stappen. In de eerste stap vindt pyrolyse (vergassing) van het ontwaterde slib plaats. Tegelijkertijd vindt door de toevoeging van additieven (onder andere kalium- en magnesiumzouten) vervluchtiging plaats van de zware metalen uit het slib. De coke die na de eerste stap ontstaat wordt in een tweede stap verbrand. Deze verbrandingsstap kan plaatsvinden in een bestaande verbrandingsinstallatie of een nieuwe verbrander als onderdeel van het gehele EuPhoRe proces. In dit laatste geval is de claim van de leverancier dat door de opeenvolging van anoxische vergassing en oxische verbranding een as na verbranding overblijft met daarin fosfor met een hoge plantbeschikbaarheid. Bij verbranding van de coke uit de eerste stap in een bestaande verbrandingsinstallatie is terugwinning van fosfor niet mogelijk. De proceslucht uit de eerste stap wordt in een derde stap verbrand. De rookgassen die hierbij ontstaan worden gereinigd, de methode die hiervoor gebruikt wordt is onbekend. Wel zal hier veel aandacht moeten zijn voor de verwijdering van zware metalen aangezien deze zijn vervluchtigd in de eerste stap. Een deel van de rookgassen wordt gebruikt om het slib in de eerste stap te drogen

## 8. HTC

### Leveranciers

Leveranciers die HTC aanbieden zijn: HTCycle, TerraNova energy, Ingelia en C-Green AB

### PFD



### Procesbeschrijving

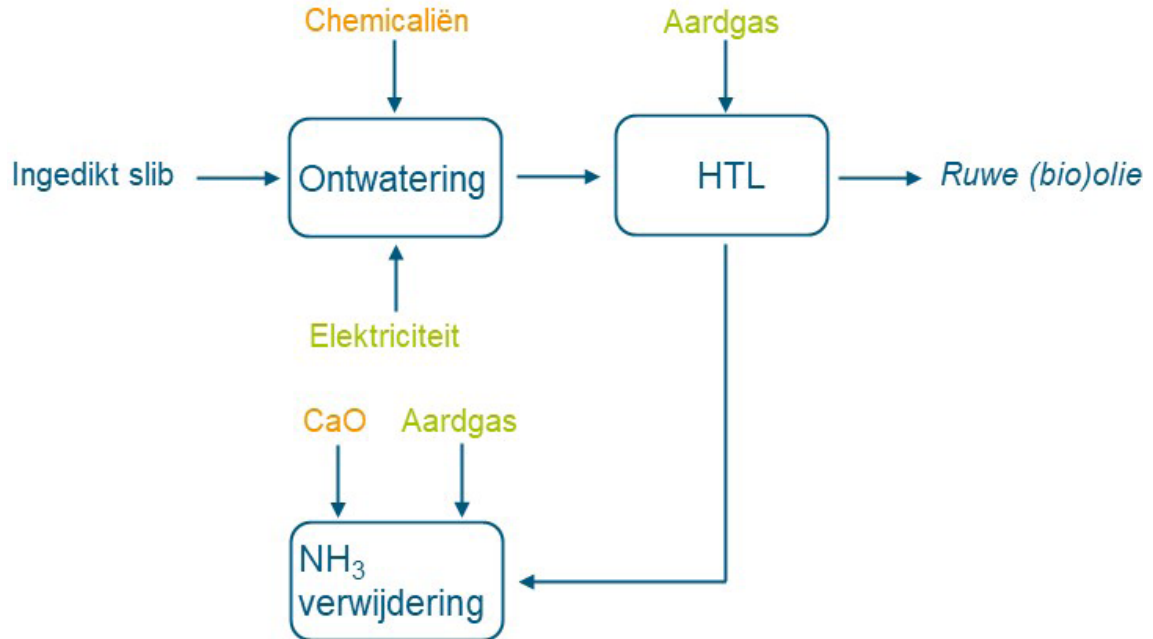
Hydrothermale carbonisatie is een thermochemisch conversieproces dat wordt gebruikt om zuiveringsslib en/of andere organische reststromen in aanwezigheid van water om te zetten in hydrochar (vergelijkbaar met biochar) en vloeibare en gasvormige producten. Het proces wordt uitgevoerd in een gesloten reactor bij een temperatuurbereik van 180-280 °C onder hoge druk (20 tot 24 bar) gedurende 1 tot 8 uur. De toegepaste procesparameters zijn per leverancier verschillend en ook of ingedikt slib of ontwaterd slib aan de HTC-reactor wordt aangeboden. De organische stof in het slib wordt omgezet in koolachtige bestanddelen die zich goed mechanisch laten ontwateren tot wel 50-60% droge stof. Met een kamerfilterpers wordt de hydrochar gescheiden van de vloeistoffase. Het is mogelijk om de HTC-reactor op diverse manieren (pre of post) te koppelen met anaerobe vergisting. Via verschillende processtappen, waaronder extractie uit de biokool en scheidingstechnieken, is het mogelijk om nutriënten terug te winnen uit zowel de hydrochar als de vloeistofstromen. De uitvoering hiervan is per leverancier verschillend.

## 9. HTL

Leveranciers

Cirlia Nordic (Denemarken)

PFD



*Procesbeschrijving*

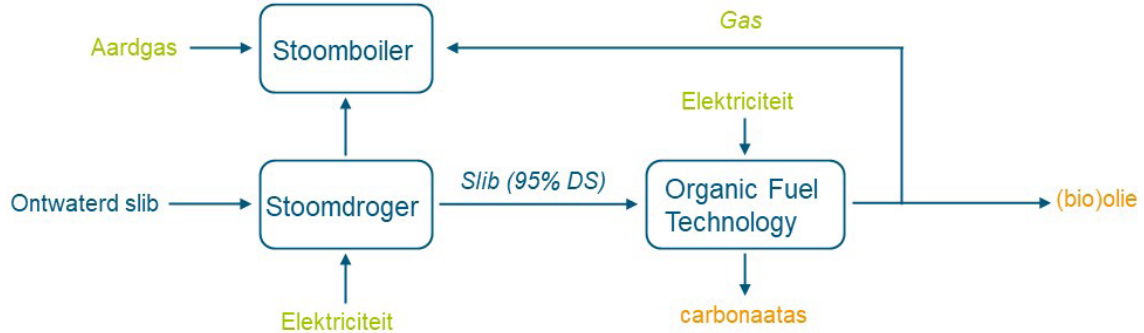
Ontwaterd slib van 15-20% DS wordt behandeld onder hoge druk en temperatuur. Dit gebeurt gedurende 15 minuten bij een temperatuur van 300 – 350 °C en een druk van 220 bar. Hierbij ontstaat een olie die gebruikt kan worden als vervanging voor fossiele brandstoffen in bijvoorbeeld de petrochemische industrie. Bij een temperatuur van circa 350 °C is de opbrengst voor bio-olie het hoogst.

## 10. MICROWAVE

Leveranciers

Organic Fuel Technology

PFD



Procesbeschrijving

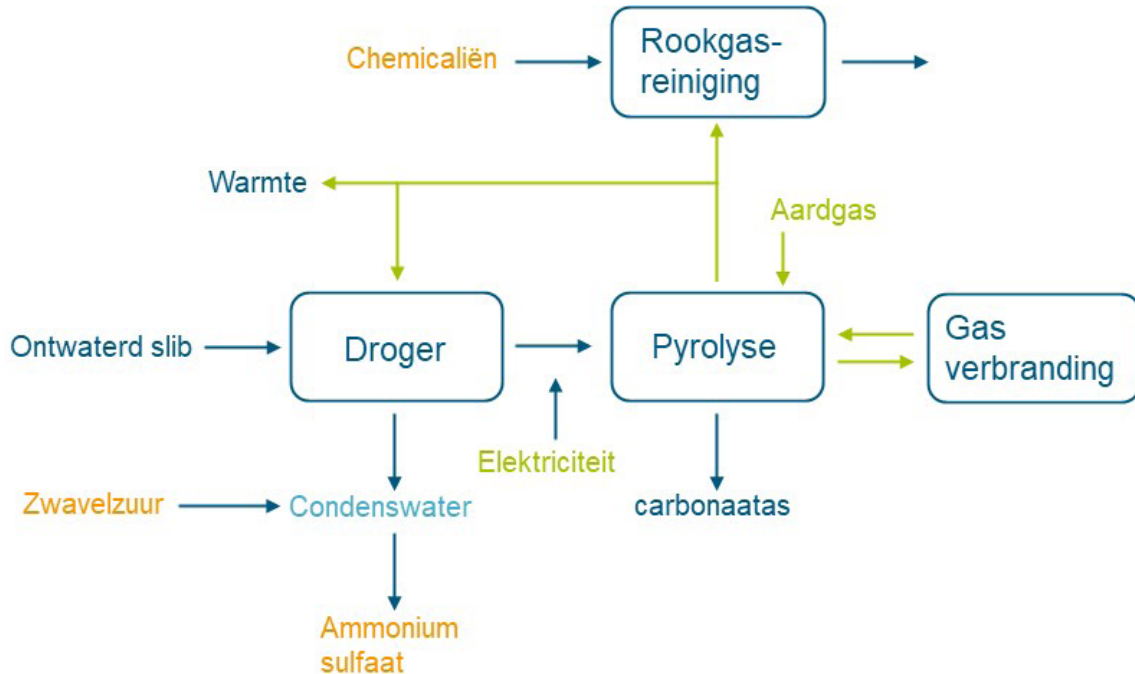
Een microwave reactor genereert een sterk, continu omdraaiend, elektromagnetisch veld dat de moleculen verwarmd en in stukken trekt. Hierbij is het mogelijk om lange organische ketens (zoals lignine, cellulose, latex en vet) te kraken, of af te breken tot kortere (bruikbare) moleculen zoals olie, gas, kool (Organic Fuel Technology, 2021-1). Voordat het zuiveringsslib behandeld kan worden met de microwave reactor zal dit eerst gedroogd moeten worden tot ~95% drogestof, hier is nog geen geïntegreerd systeem voor ontwikkeld

## 11. PYROLYSE

Leveranciers

Voor pyrolyse zijn er verschillende leveranciers: AquaGreen, Biomacon, Jumbo Group, PYREG-Eliquo.

PFD



Procesbeschrijving

Het systeem betreft een volledig geïntegreerd systeem van droging en pyrolyse. De wijze waarop het slib gedroogd wordt verschilt per leverancier. In de pyrolyseoven wordt het gedroogde zuiveringsslib verwarmd tot 500 tot 700°C (afhankelijk van de leverancier) in een zuurstofvrije atmosfeer. De verblijftijd in de pyrolyse reactor verschilt per leverancier. Bij het ontbinden van organische verbindingen komt pyrolysegas vrij, dat in de gasbrander wordt verbrand. De geproduceerde thermische energie wordt gebruikt voor zowel het drogen als de pyrolyse. Het gevormde vaste residu, carbonaatas, bestaat uit anorganische koolstof en minerale as.

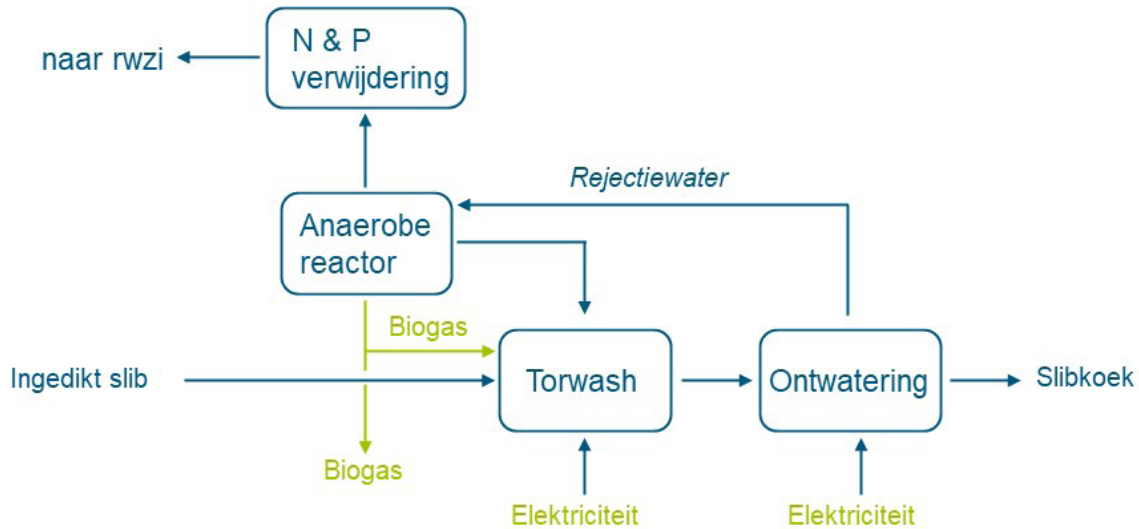


## 12. TORWASH

Leverancier

Torwash

PFD



Procesbeschrijving

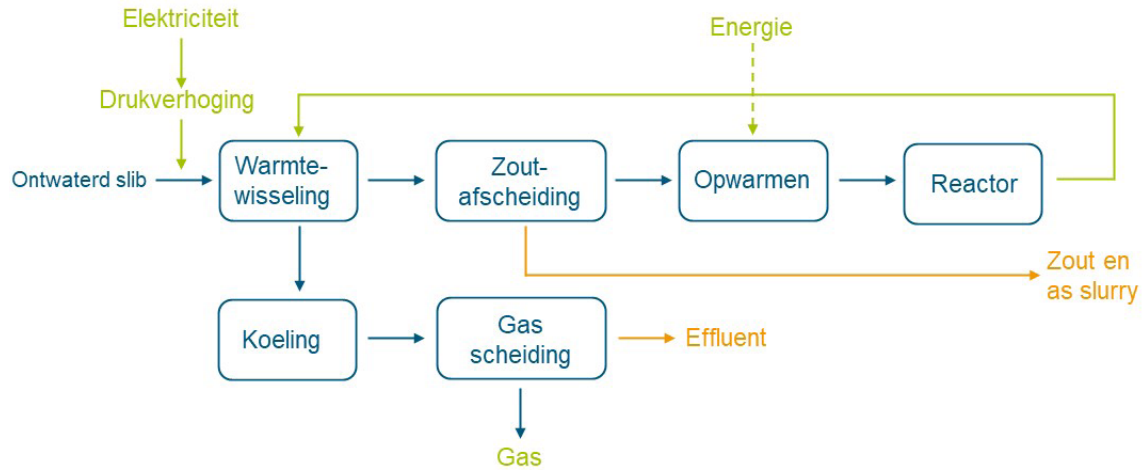
De TORWASH®-technologie (STOWA, 2020) opereert in een specifiek, maar smal temperatuurgebied (180-210°C), heter dan thermische drukhydrolyse (TDH), kouder dan hydrothermale carbonisatie (HTC). Onder deze omstandigheden vindt naast ontsluiting ook milde torrefractie plaats van het slib, maar geen inkoling. Slib wordt daardoor minder hydrofiel, op een zodanige wijze dat diepe ontwatering (met membraanfilterpersen) zonder hulpstoffen mogelijk is tot 50% DS. Hiermee onderscheidt TORWASH® zich van TDH. Anderzijds is de temperatuur zo mild dat opgelost organisch materiaal vrijwel volledig vergistbaar is tot biogas. Hiermee onderscheidt TORWASH® zich van HTC. Wat overblijft is een goeddeels droge koek, na toepassing van een membraanfilterpers, die geschikt is om energie van te maken. Het verwijderde water (filtraat) met een hoog gehalte aan CZV wordt met een anaerobe reactor behandeld waarbij biogas wordt geproduceerd, dat het TORWASH® systeem energieneutraal maakt. Fosfaat en stikstof in het filtraat kunnen worden teruggewonnen in de vorm van struviet waarvoor thans wordt gedacht aan een PHOSPAQ-reactor die eventueel nog moeten worden gevolgd door een ANAMMOX-reactor om het stikstofgehalte verder te verlagen. Het effluent van deze filtraatbehandeling gaat terug naar de waterzuivering. Het zuiveringsslib hoeft niet van tevoren worden ontwaterd of gedroogd en wordt op temperatuur gebracht via een warmtewisselingssysteem op basis van thermische olie.

### 13. SUPERKRITISCH VERGASSEN

Leveranciers

SCW Systems

PFD (vereenvoudigd)



Procesbeschrijving

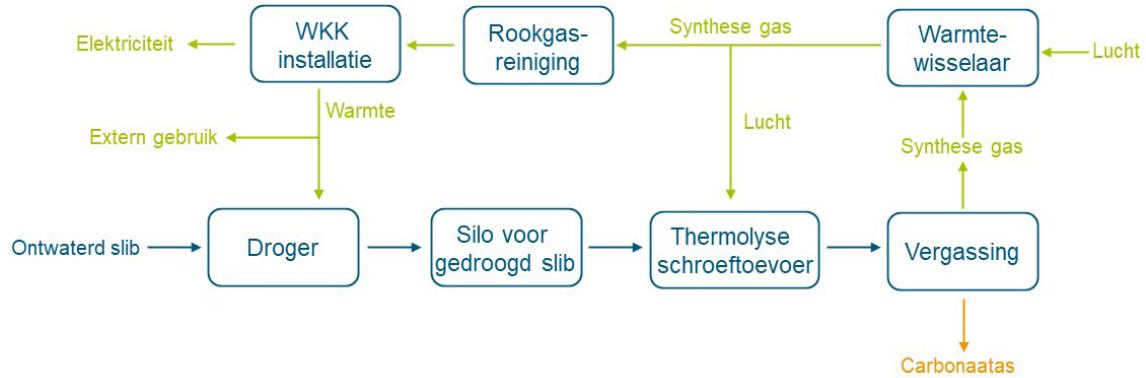
Men spreekt van superkritisch vergassen als een natte biomassastroom in superkritiek water en in afwezigheid van zuurstof wordt omgezet in een brandbaar gas. In vergelijking met conventionele vergassing heeft het verkregen gas een andere samenstelling en een hogere stookwaarde. Dit komt doordat koolmonoxide door de aanwezigheid van veel water via de water-shift-reactie omgezet wordt naar waterstof en koolstofdioxide. Het koolstofdioxide is bij hoge druk goed oplosbaar in water en als het gas bij voldoende hoge druk wordt afgescheiden, bevat het gas toch relatief weinig koolstofdioxide. Na een voorbehandeling wordt het slib vergast bij een hoge temperatuur (>375 °C) en druk (>221 bar). Het betreft een snelle reactie van slechts enkele minuten. Onder deze superkritische omstandigheden krijgt het water bijzondere eigenschappen, zodat alle organische stof wordt afgebroken tot methaan, waterstof en CO<sub>2</sub>. Een kwaliteitsbehandeling vindt plaats, waarna het gas direct geïnjecteerd kan worden in het bestaande hogedruknetwerk. Afhankelijk van de leverancier en de te behandelen organische reststroom worden de zouten voor of tijdens het proces afgescheiden. Bij de behandeling van zuiveringsslib wordt bij voorkeur gewerkt met vloeibaar slib waarvoor nog een TDH-stap nodig is. Voordat het slib naar de superkritische vergasser gaat wordt het eerst ontdaan van zouten door middel van elektrolyse en omgekeerde osmose. Het schone water wordt voor de elektrolyse weer aan het slib toegevoegd.

## 14. VERGASSEN

Leveranciers

Stülze Kopf SynGas

PFD



Procesbeschrijving

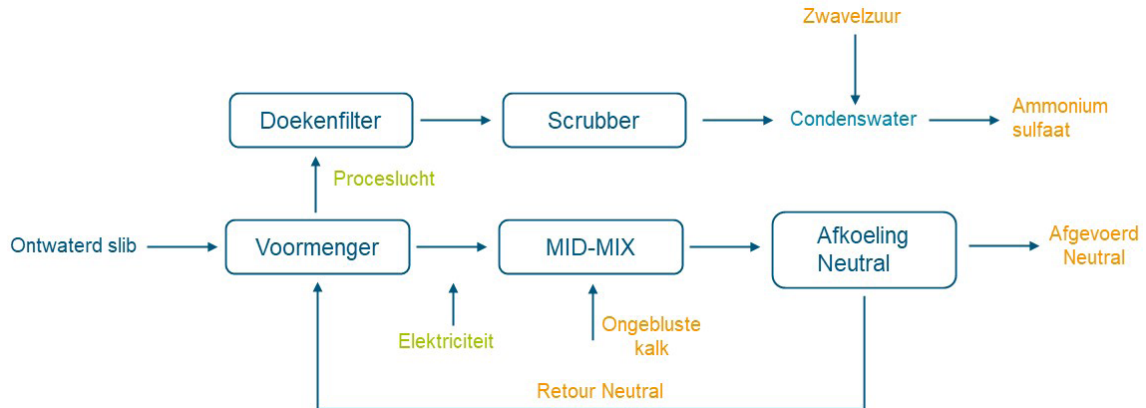
Tijdens het vergassingsproces worden organische stoffen omgezet in syngas en het inerte materiaal in as. Vergassing wordt ten opzichte van verbranding uitgevoerd met een ondermaat zuurstof en in sommige gevallen met extra externe warmte. De energie voor het thermisch drogen van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib wordt betrokken van het syngas en/of van de warmtekrachtkoppeling (op biogas) op de rwzi. De installatie van Kopf SynGas is gebaseerd op een tweetraps vergassingsproces waarbij zuiveringsslib (droge inhoud 85-95%) van de silo, samen met kalksteen, naar een thermolyses Schroeftoevoer wordt getransporteerd (Kopf SynGas). De producten, thermolysegas en koolstof en as die tijdens de thermolyse worden gegenereerd, worden getransporteerd naar een wervelbedvergasser. In de tweede fase van vergassing wordt de koolstof bij 850 – 900°C omgezet in gas en worden langeketenmoleculen (zogenaamde teer) van het thermolysegas gekraakt. Het geproduceerde syngas wordt na behandeling (gasreiniging) gebruikt om een gasmotor te laten draaien om warmtekrachtkoppeling op te wekken. Overtollig gas kan worden gebruikt in een verbrandingskamer om warmte te genereren.

## 15. MID MIX

Leveranciers

VSGM B.V.

PFD



### Procesbeschrijving

Door gecontroleerde menging met ongebluste kalk (CaO) vindt een exotherme reactie plaats, hierbij wordt het ontwaterd slib verder gedroogd en wordt alle vaste stof en een deel van het water gebonden of ingekapseld (STOWA, 2019). Het eindproduct van dit proces wordt Neutral genoemd. Ontwaterd slib van circa 25% komt eerst terecht in een toevoerbuffer en wordt daarna in een voormenger gemengd met een deel van het al geproduceerde Neutral. Dit gaat vervolgens naar een tweetal reactoren waar CaO gedoseerd wordt en mechanische krachten op het slib worden uitgeoefend. Een deel van het hierbij geproduceerde Neutral gaat retour naar de voormenger. Kalk wordt in voldoende hoeveelheid toegevoegd om de pH naar 12 te verhogen, waardoor een omgeving ontstaat die niet geschikt is voor het overleven van micro-organismen. Zolang de pH op dat niveau wordt gehouden, zal het slib niet rotten, geen onaangename geuren veroorzaken en geen gevaar voor de gezondheid vormen. De retentietijd van het materiaal in de reactor is 8-10 minuten. Het eindproduct Neutral is een witgrijs poederachtig product.

## BIJLAGE 2

# ENERGIE- EN CO<sub>2</sub> BALANS TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS

## ENERGIEBALANS

Voor het inzichtelijk maken van de netto energiebalans voor de in dit rapport opgenomen technologieën en slibketens is gebruik gemaakt van data die ter beschikking is gesteld door WBL, SNB en GMB & Vallei en Veluwe (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVv & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023)), aangevuld met berekeningen uit een recente STOWA rapportages<sup>79</sup> en <sup>93</sup>. De resultaten daarvan zijn opgenomen in Tabel 25.

**TABEL 25** NETTO ENERGIEBALANS IN GJ/TON VOOR DE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS WAARVOOR UITGEBREIDE BEREKENINGEN UITGEVOERD EN BESCHIKBAAR ZIJN. EEN NEGATIEF GETAL BETEKENT DAT DE TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN EEN NEGATIEVE ENERGIEBALANS HEEFT EN MEER PRIMAIRE ENERGIE NODIG HEEFT DAN HET VERVANGT. EEN POSITIEF GETAL BETEKENT JUIST EEN POSITIEVE ENERGIEBALANS EN VERVANGT MEER PRIMAIRE ENERGIE DAN HET ZELF NODIG HEEFT

Technologie of slibketen	Eenheid	STOWA 2019 - 35	WBL	GMB	SNB
Monoverbranding	GJ/ton	-0,06	-0,24	-0,37	-0,06
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	GJ/ton	+0,8	+1,4	+0,50	+1,2
Droging met banddroger + co-verbranding	GJ/ton	+2,1	+2,1		+1,8
Droging in kas + co-verbranding	GJ/ton	+2,1			
Droging met warmtepomp + co-verbranding	GJ/ton		+1,1	+0,16	+0,56
Pyrolyse + verbranden	GJ/ton			-0,32	
Torwash + onvergist slib	GJ/ton				+0,22
Torwash + vergist slib	GJ/ton				-0,04
MID MIX + zand	GJ/ton	-2,3	-2,2		
MID MIX + Cement III	GJ/ton	-0,5	-0,4		
MID MIX + Cement I	GJ/ton	+1,9	+2,0		

Voor de berekeningen van de netto energiebalans voor de in Tabel 25 opgenomen technologieën en slibketens zijn de bronnen meegenomen zoals weergegeven in Tabel 26.

93 STOWA, 2019-35 Slibverwerking met ongebluste kalk middels het MID MIX proces, rapportnummer 2019-35.

TABEL 26

**OVERZICHT VAN MEEGENOMEN (PRIMAIRE) ENERGIEBRONNEN BIJ DE BEREKENING VAN DE NETTO ENERGIEBALANS VOOR DE IN  
TABEL 25 OPGENOMEN TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS**

Energiebron	STOWA 2019 - 35	WBL	GMB	SNB
Elektriciteit	X	X	X	X
Aardgas		X	X	
Fossiele warmte	X	X	X	
Diesel		X	X	
Verbruik biogas				X
Verbruik houtsnippers	X	X	X	
Verbruik chemicaliën	X	X	X	
Opbrengst verbranding gedroogd slib	X	X	X	X
Opbrengst vervanging grondstof	X	X	X	

Bij het biologisch drogen wordt diesel gebruikt voor de shovels voor het vullen van de hallen met slib. GMB werkt aan vervanging van de shovels door een bandenvulstelsel. Op de locatie Tiel is dit sinds vorig jaar in bedrijf. Om het biologisch drogen van slib te ondersteunen worden houtsnippers toegevoegd die een hoeveelheid energie vertegenwoordigen. Dit volgt bij de CO<sub>2</sub> balans. Biologisch of thermisch gedroogd slib levert na verbranding energie op die dan wordt meegenomen in de energiebalans. Enkele grondstoffen die bij de diverse technologieën of slibketens worden teruggewonnen vervangen grondstoffen die met primaire energie geproduceerd worden. Aan de hand van de GER waarden van deze grondstoffen is de vervangen hoeveelheid primaire energie berekend. Bij het opstellen van de energiebalansen is dat nu gebeurt voor ammoniumsulfaat dat nu al bij het biologisch drogen wordt geproduceerd (in WBL-berekening) en het verbruik van ongebluste kalk en de teruggewonnen grondstof die als toeslagstof voor beton wordt ingezet (in alle berekeningen m.u.v. SNB-berekening).

### CO<sub>2</sub> BALANS

Voor het inzichtelijk maken van de netto CO<sub>2</sub> balans voor de in dit rapport opgenomen technologieën en slibketens is gebruik gemaakt van data die ter beschikking is gesteld door WBL en GMB & Vallei en Veluwe. De resultaten daarvan zijn opgenomen in Tabel 27.

TABEL 27

**NETTO CO<sub>2</sub> BALANS IN KG CO<sub>2</sub>/TON VOOR DE TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS WAARVOOR UITGEBREIDE BEREKENINGEN  
UITGEVOERD EN BESCHIKBAAR ZIJN. EEN NEGATIEF GETAL BETEKENT DAT DE TECHNOLOGIE OF SLIBKETEN EEN NEGATIEVE CO<sub>2</sub>  
BALANS EN STOOT MEER CO<sub>2</sub> UIT DAN HET VERVANGT. EEN POSITIEF GETAL BETEKENT JUIST EEN POSITIEVE CO<sub>2</sub> BALANS EN  
VERVANGT MEER CO<sub>2</sub> DAN HET ZELF UITSTOOT**

Technologie of slibketen	Eenheid	WBL	GMB (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023))	
			NL- elektriciteitsmix (2023)	NL – 100% groene stroom
Monoverbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	-72	-42	-24
Biologisch drogen + co- en monoverbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	+98	+78	+99
Droging met banddroger + co-verbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	+124		
Droging met warmtepomp + co-verbranding	kg CO <sub>2</sub> /ton	-20	+55	+165
Pyrolyse + verbranden	kg CO <sub>2</sub> /ton		-48	-36
MID MIX + zand	kg CO <sub>2</sub> /ton	-507		
MID MIX + Cement III	kg CO <sub>2</sub> /ton	-292		
MID MIX + Cement I	kg CO <sub>2</sub> /ton	+132		

Voor de berekeningen van de netto CO<sub>2</sub> balans voor de in Tabel 27 opgenomen technologieën en slibketens zijn de bronnen meegenomen zoals weergegeven in Tabel 28.

**TABEL 28** OVERZICHT VAN MEEGENOMEN PARAMETERS BIJ DE BEREKENING VAN DE NETTO CO<sub>2</sub> BALANS VOOR DE IN TABEL 25 OPGENOMEN TECHNOLOGIEËN EN SLIBKETENS

Energiebron	WBL	GMB (Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV (2022-2023))
Elektriciteit	X	X
Aardgas	X	X
Fossiele warmte	X	X
Diesel	X	X
Verbruik biogas		
Verbruik houtsnippers	X	X
Verbruik chemicaliën <i>zwavelzuur (drogen)</i>	X	X
<i>kalksteen/krijt - CaO (verbranden/MID MIX)</i>		
<i>kalksteen/krijt - CaCO<sub>3</sub> (verbranden)</i>		
<i>zoutzuur (verbranden)</i>		
<i>natronloog (verbranden)</i>		
Emissie lucht <i>lachgas</i>	X	-
<i>CO<sub>2</sub> uit verbranding van kalk (verbranding)</i>		
Transport ingedikt, ontwaterd, gedroogd slib	-	X
Opbrengst verbranding gedroogd slib <i>vermeden fossiele brandstof (aardgas, elektriciteit)</i>	X	X
Opbrengst vervanging grondstof <i>ammoniumsulfaat</i>	X	X
<i>vliegas - kalk</i>		
<i>vliegas - zand</i>		
<i>vermeden kalk (bij co-verbranding in cementindustrie)</i>		
<i>zandvervanger (Mid Mix)</i>		
<i>cement III</i>		
<i>cement I</i>		

## BIJLAGE 3

# VERDIEPENDE ACHTERGRONDINFORMATIE

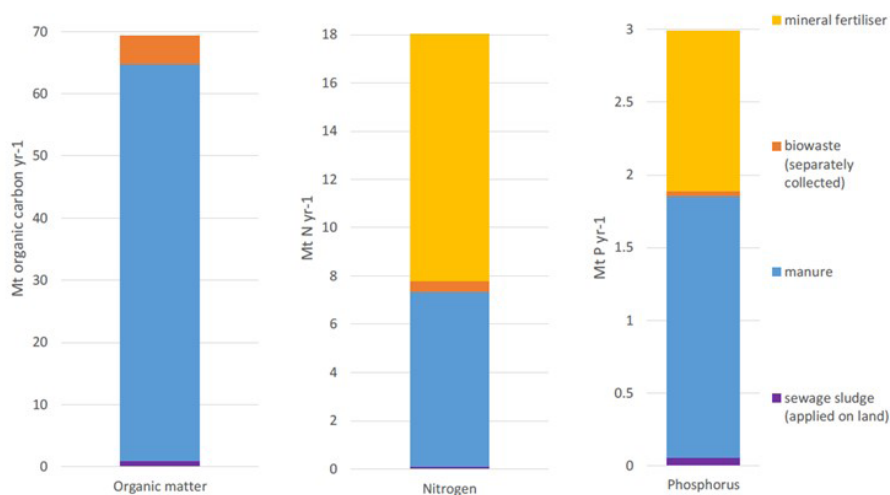
## BIJ RAPPORT

Extra informatie bij **paragraaf 3.2.2**, bron JRC Feasibility study in support of future policy development of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC)<sup>23</sup>.

With regard to P, the EU imports annually about 1.1 million tonnes (Mt) of P as mineral fertiliser. The total content of P in landspreaded sewage sludge amounts to about 5% of the P mineral fertiliser inputs to EU agricultural land. The share of N (relative to mineral fertilisers) and organic carbon (relative to manure) contained in sewage sludge is even lower than for phosphorus (Figure 5). While all three resources (organic matter, N, and P) are important for agriculture, phosphorus is likely the most significant resource due to its classification as an EU Critical Raw Material and the higher relative contribution of sewage sludge to the phosphorus input balance than to nitrogen and organic carbon balance.

**FIGUUR 25 BIJDRAGE SLIB AAN TOEPASSING VAN ORGANISCH MATERIAAL, STIKSTOF EN FOSFOR OP LANDBOUWGROND**

**Figure 5.** Annual amounts of organic carbon and nutrients applied to EU agricultural land from sewage sludge, manure, bio-waste, and mineral fertilisers (source: own elaboration).



### RESULTAAT TOETSING TRL VAN IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN (ZIE PARAGRAAF 6.2)

“Ontwikkeltraject slibeindverwerking wsVV & GMB ondersteund door RHDHV” is opgehaald (d.d. januari 2023), aangevuld met informatie die in presentaties of op websites van leveranciers is gevonden. Deze aanvullende informatie is in de laatste kolom weergegeven, details over de bron zijn onder de tabel opgenomen.



TABEL 29 RESULTAAT TOETSING TRL VAN IN ONTWIKKELING ZIJNDE TECHNOLOGIEËN

Technologie	Schaal getest	Communaal slib	Duur vd test	Continu of batch	Alle stappen getest	In West Europa getest	Bron
Pyrolyse + verbranden	1.000 tot 30.000 ton/j	Ja	> 1 jaar	Continu	P-terugwinning niet op alle locatie getest of meegenomen.	Ja	Presentatie <sup>1)</sup>
HTC	14.000 - 50.000 ton/j	Ja en nee	Niet bekend	Batch of niet bekend	Onduidelijk	Ja en nee	Websites bedrijven
HTC - HTCycle	50.000 ton/j	Ja	Niet bekend	Batch	Onduidelijk	Ja, Zwitserland	
HTC - TerraNova	14.000 ton/j	Ja	Niet bekend	Niet bekend	Onduidelijk	Nee, in China	
HTC - Ingelia	14.000 ton/j	Ja, naast andere stromen	Niet bekend	Niet bekend	Onduidelijk	Ja in Spanje	
HTC - C-Green AB	16.000 ton/j	Nee biomassa	Niet bekend	Niet bekend	Onduidelijk	Ja in Finland	Website C-green
HTL	Niet bekend	Niet duidelijk	Pilot 7 jaar (anno 2022)	Niet bekend	Niet bekend	Ja, in Zweden	Presentatie <sup>2)</sup>
Microwave	Tot 225 kg per batch	Ja	Enkele maanden	Batch	Niet bekend	Ja, in Denemarken	
Pyrolyse							
Pyrolyse - Aquagreen	4.500 ton/j	Ja	Niet bekend	Niet bekend	Niet bekend	Ja, in Denemarken	Presentatie <sup>3)</sup>
Pyrolyse - Biomacon	1.400 ton/j	Ja	Minimaal 2 jaar	Continu	Niet bekend	Ja, in Duitsland	Website Biomacon
Pyrolyse - Jumbo Groep	3.000 ton/j	Ja	Half jaar	Continu	Niet bekend	Ja, in Duitsland	Website Jumbo Group
Pyrolyse - Pyreg-Eliquo	30.000 tot 200.000 i.e.	Ja	Meerdere jaren	Continu	Ja	Ja, in Duitsland	
Torwash	circa 4.000 ton/j	Ja	Half jaar	Batch	Nee	Ja, in Nederland	Website Torwash + Aa en Maas
Superkritisch vergassen	Nog niet 'buiten' getest	Alleen op laboratorium-schaal	Niet van toepassing	Batch	Nee	Ja, in Duitsland	
Vergassen	10.000 tot 15.000 ton/j	Ja	Enkele jaren	Continu, maar lage beschikbaarheid	Ja	Ja, in Duitsland	
MID MIX	4 batches van 40 ton	Ja	Vijf maanden	Batch	Ja	Ja, in Nederland	STOWA rapport <sup>4)</sup>

1) Zepke, F. Schmelz, Klein, D., 23.09.2021, EuPhoRe – Process – Experiences and deployment's Potential, Phos4You final conference, Essen & Online

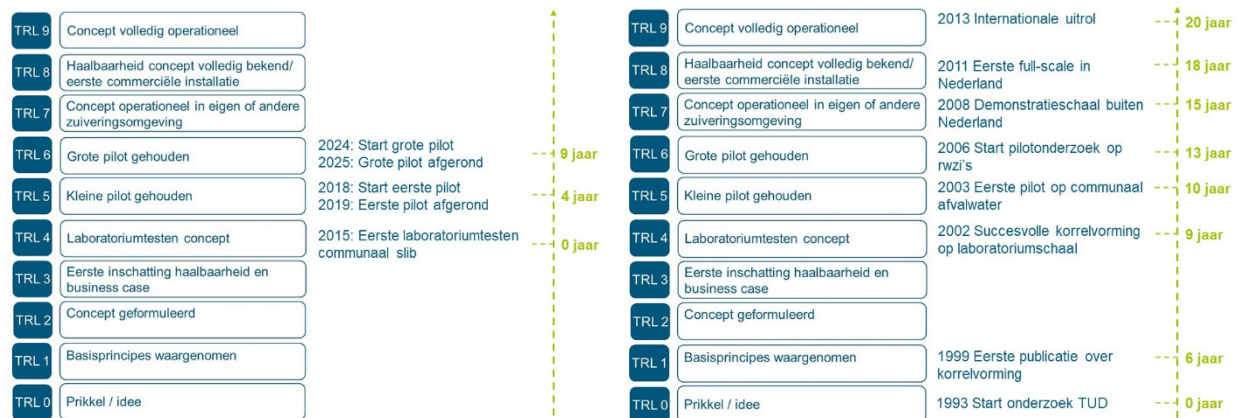
2) Billing, J., Petersen, S.H, Pedersen, J.E., Johannsen, I., Elliot, D., 19.04.2022, Bringing Hydrothermal Liquefaction Out of the Laboratory with the construction of a fully integrated commercial system, The international conference on thermo-chemical conversion science: Biomass & Municipal Solid Waste to RNG, Biofuels & Chemicals.

3) Wieth, C., 13.12.2022, AquaGreen presentation to WTA ES, Badajoz

4) STOWA, 2019, Slibverwerking met ongebluste kalk middels het MID MIX proces, rapportnummer 2019 – 35

**INSCHATTING (IN ALGEMEENHEID) ONTWIKKELTIJD NIEUWE TECHNOLOGIE (ZIE PARAGRAAF 6.2)**

Om een inschatting te maken van de tijd die een technologie nog nodig heeft om tot TRL9 te komen kan ingeschat worden aan de hand van de ontwikkeling van technologieën uit het heden of verleden. Als het gaat om de eindverwerking van slib is de ontwikkeling van Torwash een voorbeeld. Op dit moment loopt de ontwikkeling van Torwash nog, daarom kan nog gekeken worden naar een technologie die ook in Nederland met steun van de waterschappen is ontwikkeld, namelijk de aerobe korrelslibtechnologie (Nereda®). Het ontwikkeltraject van Torwash, samen met die van Nereda® is weergegeven in Figuur 26.

**FIGUUR 26 WEERGAVE VAN DE ONTWIKKELING IN TRL VAN DE TECHNOLOGIE TORWASH (LINKS) EN NEREDA®**

Vanuit deze ontwikkelingen kan de tijd die (mogelijk) nodig is om van het ene TRL-niveau naar het andere te gaan worden afgeleid. Startend vanuit het huidige TRL niveau van Torwash kan per TRL stap rekening gehouden worden met de ontwikkeltijden zoals weergegeven in Tabel 30.

**TABEL 30 AANGENOMEN BENODIGDE ONTWIKKELINGSTIJDEN TUSSEN VERSCHILLENDE TRL-NIVEAUS VOOR DE ONTWIKKELING VAN NIEUWE TECHNOLOGIEËN VOOR DE EINDVERWERKING VAN (ONTWATERD) SLIB**

TRL stappen	Ontwikkeltijd (jaar)	Toelichting
TRL 4 naar TRL 5	4	Torwash; tot en met resultaat TRL5
TRL 5 naar TRL 6	6	Torwash; tot en met resultaat TRL6
TRL 6 naar TRL 7	5	Torwash 3 jaar voorbereiding + looptijd 2jr t/m TRL 7
TRL 7 naar TRL 8	4	Aerobe korrelslibtechnologie
TRL 8 naar TRL 9	2	Aerobe korrelslibtechnologie

De werkelijke tijd die nodig is om tot TRL9 te komen van veel factoren afhankelijk die per technologie sterk kunnen verschillen. Het gaat daarom hier dan ook om een inschatting in zijn algemeenheid.

**SAMENSTELLING AFVALWATERSTROMEN VRIJKOMEND NA VERWERKING VAN ONTWATERD SLIB MET TORWASH OF SUPERKRITISCHE VERGASSING (ZIE PARAGRAAF 6.4.3)**

In het STOWA rapport over superkritische vergassing<sup>78</sup> is vrij gedetailleerd de samenstelling van het afvalwater vastgesteld. In iets minder detail is dit ook gedaan in het STOWA rapport dat gaat over pilot van Torwash in Almere<sup>79</sup>. In Tabel 31 zijn de resultaten voor de meest relevante componenten samengevat.

TABEL 31 SAMENSTELLING AFVALWATERSTROOM DIE ONTSTAAT NA VERWERKING VAN SLIB VIA SUPERKRITISCHE VERGASSING EN TORWASH

Parameter	Eenheid	Superkritisch vergassen	Torwash
CZV	mg/l	4.100 tot 5.950	27.300
BZV	mg/l	1.350 tot 1.875	n.b.
TOC	mg/l	1.685 tot 2.155	n.b.
TIC	mg/l	4.715 tot 7.173	n.b.
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	8.600 tot 12.300	1.040
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	214	1.500
Phenolindex	-	355	n.b.
PAK16	µg/l	130 – 40.800	n.b.
Remming nitrificatie	% bij x keer verdunning	100% remming bij nul tot 10x verdunning 90% remming bij 10x verdunning 80-90% remming bij 50x verdunning	0% remming bij 70x verdund.

De bepalingen voor de phenolindex en PAK16 laten zien dat het afvalwater dat na superkritische vergassing van slib ontstaat aromatische verbindingen bevat. Naftaleen werd daarbij veruit in de hoogste concentraties aangetroffen, maar stoffen zoals aceton, benzeen, toluen, en aniline werden ook aangetoond. Deze aromatische verbindingen zijn mogelijk de oorzaak van de remming op de nitrificatie die werd vastgesteld. De remming op de nitrificatie die daarbij werd gevonden was bij superkritische vergassing hoger dan bij Torwash. Dit suggereert dat de toegepaste druk en temperatuur van invloed zijn op de samenstelling en toxiciteit van het effluent. De toegepaste druk en temperatuur bij superkritisch vergassen ligt immers veel hoger dan bij Torwash (zie Figuur 11).

## BIJLAGE 4

## EMISSIES NAAR MILIEU PER TECHNOLOGIE

**MONOVERBRANDING**

Voor het vaststellen waar welke stoffen terecht komen bij het toepassen van monoverbranding is uitgegaan van de verbrandingsinstallaties in Dordrecht (HVC) en Moerdijk (SNB). Het resultaat daarvan is opgenomen in Tabel 32. De balans is gebaseerd op vertrouwelijke informatie van één van beide exploitanten. Vanwege vertrouwelijkheid kan de balans over de rookgasreiniging niet worden gegeven.

**TABEL 32 OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ DE VERBRANDING VAN SLIB IN EEN MONOVERBRANDINGSINSTALLATIE**

Stof	Afgebroken	Bedzand	Vliegas	Rookgas (ongezuiverd)	Rookgas (gezuiverd)
N	99%			1%	0,3%
P		2%	98%	≈ 0	
S		19%	56%	24%	0,2%
Cl			5%	95%	0,1%
Hg			4%	96%	5%
Zn			81%	19%	0,1%
Cu			79%	21%	0,1%
As			84%	16%	0,1%
medicijnen	100%				
microplastics	100%				
PFAS	±100%				

Het verschil tussen de percentages genoemd voor ongezuiverde en gezuiverde rookgassen betreft de fractie die wordt afgevangen in de rookgasreiniging en in producten van de rookgasreiniging (bijvoorbeeld zouten, absorbens) terecht komt. Deze producten worden vooralsnog voornamelijk gecontroleerd gestort.

Organische microverontreinigingen worden bij monoverbranding naar verwachting voor het overgrote deel afgebroken in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en – bij PFAS – HCl en/of HF. Volgens VITO<sup>94</sup> kan over het algemeen worden aangenomen dat met de geschikte verbrandingsinstallaties een destructie- en verwijderingsefficiëntie voor target PFAS van >99,99% kan bereikt worden<sup>95</sup>. Aangenomen kan worden dat voor co-verbranding van (gedroogd) slib tot dezelfde verdeling van stoffen wordt gekomen. Co-verbranding wordt niet meer apart besproken.

**BIOLOGISCH DROGEN**

Voor verdeling van potentieel milieubelastende stoffen over productstromen bij biologisch drogen is gebruik gemaakt van gegevens voor GMB in Zutphen (jaarverslag 2020). Daarnaast is gebruik gemaakt van cijfers uit de Emissieregistratie database<sup>96</sup>. Het resultaat is opgenomen in Tabel 33.

94 Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

95 Vito, Hofman, J., Berghmans, 2021, P. Literatuurstudie verbranding PFAS

96 <https://www.foodagribusiness.nl/waarom-rioolslib-veel-potentie-heeft-voor-landbouw/>  
<https://www.nutrientplatform.org/wp-content/uploads/2017/10/WUR-rapport-slib.pdf>

TABEL 33

## OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ DE BIOLOGISCHE DROGING VAN SLIB

Stof	Biogranulaat	Proceslucht
N	57%	42%
P	99%	0%
S	99%	
Cl	80%	
Hg	99%	
Zn	99%	
Cu	99%	
As	98%	
medicijnen	100%	
microplastics	100%	
PFAS	100%	

Het biologisch gedroogde slib wordt thermisch verwerkt in voornamelijk energiecentrales, en daarnaast nog in afvalenergiecentrales, en andere thermische conversie installaties. Aangenomen kan worden dat de temperatuur in dergelijke installaties minimaal vergelijkbaar is met de temperatuur in monoverbrandingsinstallaties en dat de verdeling van de stoffen over de verschillende fracties vergelijkbaar als bij monoverbranding (zie Tabel 32).

**THERMISCHE DROGING VAN SLIB**

Bij het drogen van slib met afvalwarmte verdampt alleen een gedeelte van het in de waterfase aanwezige ammonium. De overige stoffen blijven in het gedroogde slib achter. De hoeveelheid ammonium die verdampt is afhankelijk van de toegepaste temperatuur. Droging met afvalwarmte en gebruik van een banddroger vindt plaats bij 90 tot 140°C afhankelijk van de leverancier van de banddroger. Bij deze temperaturen is de verwachting dat ongeveer 20% van het in het slib aanwezige ammonium verdampt. Dit is gebaseerd op de data die daarover zijn vermeld in het STOWA rapport 2018<sup>97</sup>. Bij het drogen in kassen met zonnewarmte en afvalwarmte liggen de droogtemperaturen maximaal op 80°C. De verwachting is dat daardoor een lager percentage ammonium verdampt. Bij toepassing van elektrisch drogen met een temperatuur wordt een temperatuur bereikt van maximaal 40°C. Bij deze temperatuur verdampt ammonium niet of nauwelijks. Het thermisch gedroogde slib wordt via co-verbranding thermisch omgezet. Aangenomen kan worden dat de temperatuur in dergelijke installaties minimaal vergelijkbaar is met de temperatuur in monoverbrandingsinstallaties en dat de verdeling van de stoffen over de verschillende fracties vergelijkbaar als bij monoverbranding (zie Tabel 32).

**PYROLYSE + VERBRANDEN**

Het EuPhoRe (pyrolyse + verbranden) concept behelst een tweetraps proces waarbij hete rookgassen in tegenstroom met ontwaterd slib door een draaitrommeloven worden geleid. Door contact met de rookgassen wordt slib gedroogd, gepyrolyseerd en uiteindelijk – bij de inlaat van de rookgassen in de oven – verbrand. De bij drogen en pyrolyse vrijkomende afgassen worden apart verbrand, waarna een deel van de rookgassen wordt gerecirculeerd. De balans over het EuPhoRe concept is ingeschat op basis van diverse bronnen (presentaties, en artikelen)<sup>98</sup>. Het resultaat is weergegeven in Tabel 34

<sup>97</sup> STOWA, 2018, Drogen zuiveringsslib in kassen en in een banddroger met laagwaardige restwarmte; rapportnummer 2018-16; In het rapport is aangegeven dat tijdens proeven met de banddroger gemiddeld per dag 28 liter H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> wordt geconsumeerd voor wassen van de droogdampen en dat 298 kg/uur aan slib (23% d.s.) wordt gedroogd. Voor deze studie is aangenomen dat de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 96% sterkte heeft en dat consumptie in dit geval betekent dat alle zwavelzuur reageert met ammoniak. Er is verder aangenomen dat het bewerkte slib een stikstofgehalte van 6 gew% op d.s. heeft

<sup>98</sup> Chiorescu, E., Filipov, F., 2021 Examining the influence of sludge from municipal wastewater treatment plants processed by EuPhoRe installations on the quantity and quality of rapeseed and soybean production, Agriculture, 11, 278

TABEL 34 OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB IN EEN EUPHORE INSTALLATIE

Stof	Afgebroken	Fosfaatproduct	Vliegias	Rookgassen
N		0%		100%
P		100%		
S		100%		
Cl		100%		
Hg		3%	97%	
Zn		28%	72%	
Cu		58%	42%	
As		16%	84%	
medicijnen	100%	0%		
microplastics	100%	0%		
PFAS	100%	0%		

### HTC EN TORWASH

Voor het HTC-proces is een balans opgesteld, waarin uitloging van hydrokolen met een sterk zuur is verdisconteerd. Deze configuratie wordt bijvoorbeeld commercieel aangeboden door Terra Nova uit Düsseldorf. De balans is gebaseerd op een offerte<sup>99</sup> van AVA CO<sub>2</sub>, een voormalige aanbieder van deze technologie. Het resultaat is opgenomen in Tabel 35.

TABEL 35 OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB MET HTC EN TORWASH

Stof	Afgebroken	Hydrokolen	Waterfase (uitgeloofd)	Gasfase
N		33%	67%	
P		10%	90%	
S		50%	50%	
Cl		25%	75%	
Hg		96%	4%	
Zn		80%	20%	
Cu		80%	20%	
As		80%	20%	
medicijnen		niet bekend		
microplastics		niet bekend		
PFAS		niet bekend		

Op basis van de verwachte temperatuur (zie paragraaf 5.2.3) waarop PFAS (volledig) wordt verbrand is het de verwachting dat het grootste gedeelte van PFAS zich in de hydrokool bevindt na toepassing van HTC. De biokool, ofwel het ver ontwaterde slib (50 – 60% DS) zal in de meeste gevallen thermisch worden verwerkt in bijvoorbeeld een energiecentrale. Aangenomen kan worden dat de temperatuur in dergelijke installaties minimaal vergelijkbaar is met de temperatuur in monoverbrandingsinstallaties en dat de verdeling van de stoffen over de verschillende fracties vergelijkbaar als bij monoverbranding (zie Tabel 32).

Het Torwash proces is een specifiek Nederlandse ontwikkeling van het HTC-proces, dat met vergelijkbare temperatuur en druk opereert als de door AVA-CO<sub>2</sub> aangeboden techniek. De verdeling van elementen lijkt – uitgaande van informatie uit STOWA 2020 – 26<sup>79</sup> – vergelijkbaar te zijn met HTC.

99 Bron: HYDROTHERMALE CARBONISATION FOR WASTE WATER SEWAGE SLUDGE A SOLUTION FOR THE NETHERLANDS? APRIL 2014, Thomas Klausli, AVA CO<sub>2</sub>, aanbieding april 2014

**HTL**

HTL is een technologie die nog in ontwikkeling is en zich vooral lijkt te richten op de verwerking van plastic afval en houtig restmateriaal. De hoeveelheid beschikbare informatie over de behandeling van slib met HTL is beperkt en is alleen op basis van pilotproeven beschikbaar. Op basis van de beschikbare informatie<sup>100</sup> is tot een verdeling van de stoffen over de diverse fracties die bij HTL ontstaan gekomen. Het resultaat is weergegeven in Tabel 36.

**TABEL 36** OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB MET HTL

Stof	Afgebroken	Hydrochar	Olie	Waterfase	Gasfase
N <sup>1)</sup>		0%	26%	74%	0%
P <sup>2)</sup>		100%	0%		
S		60%	40%		
Cl		8%	92%		
Hg		100%			
Zn		90%	10%		
Cu		90%	10%		
As		90%	10%		
medicijnen	100%	0%	26%		
microplastics	100%	0%	0%		
PFAS	~100%	0%	~0%		

<sup>1)</sup> voor onvergist slib. Voor vergist slib:  $N_{olie} + N_{waterfase} = 35\% + 65\%$ . Hoeveelheid naar hydrochar is verwaarloosbaar <sup>2)</sup> voor onvergist slib. Voor vergist slib:  $Phydrochar + Pwaterfase = 90\% + 10\%$ . Hoeveelheid naar olie is verwaarloosbaar.

**MICROWAVE**

Gegevens over de werking van Microwave om tot een inschatting te komen van een verdeling van de stoffen over de diverse fracties was zover bekend beperkt beschikbaar. Aan de hand van één bron<sup>101</sup> is gekomen tot de verdeling van stoffen zoals gepresenteerd in Tabel 37.

**TABEL 37** OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB MET MICROWAVE

Stof	Drogestof	Condensaat
N	84%	16%
P	99,98%	0,02%
S	100%	
Cl	100%	
Hg	100%	
Zn	100%	
Cu	100%	
As	100%	
medicijnen	100%	
microplastics	100%	
PFAS	100%	

100 Gebruikte bronnen zijn a) Aisha Matayeva, Stephanie R. Rasmussen, Patrick Biller, Distribution of nutrients and phosphorus recovery in hydrothermal liquefaction of waste streams, *Biomass and Bioenergy* 156 (2022) 106323; b) "Zimmermann, J.; Raffelt, K.; Dahmen, N. Sequential Hydrothermal Processing of Sewage Sludge to Produce Low Nitrogen Biocrude. *Processes* 2021, 9, 491. <https://doi.org/10.3390/pr9030491>" c) Hydrothermal liquefaction of sewage sludge for biofuel application: A review on fundamentals, current challenges and strategies, Article in *Biomass and Bioenergy* · October 2022, Yujie Fan, Ursel Hornung, Nicolaus Dahmen, zie: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106570>

101 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5536261/pdf/main.pdf>

**PYROLYSE**

Voor pyrolyse is aangenomen dat de vrijkomende gassen en dampen worden verbrand en dat het proces alleen carbonaatas en rookgassen produceert. Voor pyrolyse kon geen volledig overzicht worden opgesteld voor de balans van de beschouwde elementen over de carbonaatas en de rookgassen. Voor zwavel en chloor zijn geen gegevens gevonden voor de verdeling over beide producten. De informatie<sup>102</sup> die kon worden opgehaald is samengevat in Tabel 38.

**TABEL 38 OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB MET PYROLYSE**

Stof	Afgebroken	Carbonaatas	Rookgassen
N		40%	60%
P		100%	
S		niet bekend	
Cl		niet bekend	
Hg		100% - 90% (?)	0% - 10% (?)
Zn		100%	
Cu		100%	
As		100% (?)	
medicijnen	100%		
microplastics	100%		
PFAS	90% - 100%		

**VERGASSING**

De verdeling van potentieel milieuschadelijke elementen over vergassingsproducten is gebaseerd op een rapport van TU Clausthal<sup>103</sup>, aangevuld met gegevens voor vergassing van hoogcalorisch afval met lucht<sup>104</sup> en met indicaties uit documentatie van Sülzle Kopf SynGas. Het resultaat is opgenomen in Tabel 39.

**TABEL 39 OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB BIJ TOEPASSING VAN VERGASSING**

Stof	Afgebroken	Bodemas	Vlieg- en filteras	Synthesegas
N		0%	0	100%
P		15%	85%	
S		5%	40%	55%
Cl		1%	92%	7%
Hg		0%		100%
Zn		5%	95%	
Cu		10%	90%	
As		19%	81%	
medicijnen	100%	0%		
microplastics	100%	0%		
PFAS	100%	0%		

102 [https://www.cutec.de/fileadmin/Cutec/documents/Thermische-Prozesstechnik/Abschlussberichte/DBU-Grundsatzstudie\\_Klaerschlamme\\_171030.pdf](https://www.cutec.de/fileadmin/Cutec/documents/Thermische-Prozesstechnik/Abschlussberichte/DBU-Grundsatzstudie_Klaerschlamme_171030.pdf)

b) [https://emis.vito.be/sites/emis/files/study/resume/nl/BBT-PFAS-lucht\\_finale\\_draft\\_versie\\_17-11-2023.pdf](https://emis.vito.be/sites/emis/files/study/resume/nl/BBT-PFAS-lucht_finale_draft_versie_17-11-2023.pdf).

103 Zie: [https://www.cutec.de/fileadmin/Cutec/documents/Thermische-Prozesstechnik/Abschlussberichte/DBU-Grundsatzstudie\\_Klaerschlamme\\_171030.pdf](https://www.cutec.de/fileadmin/Cutec/documents/Thermische-Prozesstechnik/Abschlussberichte/DBU-Grundsatzstudie_Klaerschlamme_171030.pdf)

104 Zie: Esa Kurkela (VTT), Biomass gasification technologies for advanced power systems and synfuels - Status and Present R&D activities in Finland. Op website: <https://docplayer.net/15390296-Biomass-gasification-technologies-for-advanced-power-systems-and-synfuels-status-and-present-r-d-activities-in-finland.html>



### SUPERKRITISCH VERGASSEN

Voor de verdeling van de elementen in de vergaste biomassa zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- alle zwavel wordt volledig omgezet in gasvormig H<sub>2</sub>S (STOWA, 2016)<sup>105</sup>, (Yakaboylu, 2016)<sup>106</sup>;
- stikstof wordt voor 80% omgezet in gasvormig NH<sub>3</sub> en voor 20% in moleculaire stikstof (STOWA, 2016);
- Na, K, Mg en Ca vormen zouten met fosfaat, chloride en silicaat voor zover deze anionen aanwezig zijn in de biomassa;
- Koolstof in slib en aanhangende verontreinigingen wordt – voor zover niet gebonden als carbonaat - voor ongeveer 95% omgezet in gasvormige producten en voor 5% in char (STOWA, 2016)<sup>104</sup>;
- De resultaten zijn samengevat in Tabel 40.

TABEL 40

**OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB MET SUPERKRITISCH VERGASSEN**

Stof	Afgebroken	Kool (bijproduct)	Effluent	Synthesegas
N			80%	20%
P		100%		
S				100%
Cl		100%		
Hg		100%	0%	
Zn		100%		
Cu		100%		
As		100%		
medicijnen	100%			
microplastics	100%			
PFAS	100%			

Ammoniak lost op in proceswater, H<sub>2</sub>S wordt afgevoerd in de gasfase en moet worden verwijderd voordat het synthesegas wordt gebruikt of geconditioneerd.

### MID MIX

Een inschatting van de verdeling van slibcomponenten over productstromen van het MID MIX proces is opgenomen in Tabel 41. De gegeven percentages zijn gebaseerd op het voor STOWA opgestelde rapport uit 2019.

TABEL 41

**OVERZICHT VERDELING VAN STOFFEN OVER DE FRACTIES BIJ VERWERKING VAN SLIB BIJ TOEPASSING VAN MID MIX**

Stof	Afgebroken	Neutral®	Proceslucht
N		30%	70%
P		100%	
S		100%	
Cl		100%	
Hg		99%	1%
Zn		100%	
Cu		100%	
As		100%	
medicijnen	niet bekend	15% - 40% (?)	
microplastics	niet bekend	15% - 40% (?)	
PFAS	niet bekend	≥ 95%?	

105 STOWA, 2016, Experimenteel onderzoek superkritisch vergassen van zuiveringsslib, STOWA 2016-16

106 Yakaboylu, O., 2016. Supercritical Water Gasification of Wet Biomass: modelling and experiments, Delft: TU Delft

In slib als ammoniak aanwezige stikstof verdampt en wordt afgevoerd in de proceslucht. De ammoniak kan door reactie met  $H_2SO_4$  of  $HNO_3$  worden uitgewassen. Fosfor, zwavel, chloor en zware metalen worden gebonden in het product Neutral<sup>®</sup>. Alleen van kwik worden sporen in het procesgas teruggevonden. Voor organisch materiaal is de volgende informatie in het rapport opgenomen. Aan de hand van een koolstofbalans is berekend dat over het algemeen 58% tot 85% van de ingaande organische stof wordt omgezet in  $CO_2/CaCO_3$ . Minerale olie wordt echter met enkele procenten tot 60 -70% gereduceerd.