

VERKENNING PYROLYSE/ CARBONISATIE ZUIVERINGSSLIB EN ANDERE BIOMASSA STROMEN



RAPPORT

2015
37

VERKENNING PYROLYSE/CARBONISATIE
ZUIVERINGSSLIB EN ANDERE BIOMASSA STROMEN

RAPPORT

2015

37

ISBN 978-90-5773-707-7



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERDERS
Joost van de Bulk, Tauw
Berend Reitsma, Tauw

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Ad de Man, Waterschapsbedrijf Limburg
Leo van Efferen, Waterschap Zuiderzeeland
Eteke Wypkema, Waterschap Brabantse Delta
Simon Gaastra, Waterschap Hollands Noorderkwartier
Tony Flaming, Waterschap de Dommel
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2015-37
ISBN 978-90-5773-707-7

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

In toenemende mate zijn de waterschappen in staat om naast energie waardevolle grondstoffen uit afvalwater en zuiveringsslib te winnen. Het gaat daarbij onder meer om alginaat, fosfaat, cellulose, bioplastics, biocomposieten, stikstof en organische stof. Parallel hieraan heeft de landbouwsector toenemende aandacht voor de kwaliteit van de bodem en in het bijzonder de behoefte aan organische stof in de bodem. Organisch materiaal van de waterschappen kan daaraan bijdragen.

In onderhavige studie is gekeken naar de toepassing van pyrolyse van zuiveringsslib. De ervaringen in Duitsland met deze nieuwe technologie zijn in beeld gebracht en vertaald naar de Nederlandse situatie. Bij pyrolyse van slib wordt thermisch een product gemaakt dat bestaat uit een fosfaatrijke as en koolstof. In het onderzoek zijn de mogelijkheden verkend om het gepyrolyseerde slib nuttig toe te passen als grondstof.

Uit het onderzoek is gebleken dat de techniek mogelijk op termijn kansen biedt bij (kleinschalige) slibeindverwerking. Vooralsnog kan gepyrolyseerd slib niet in Nederland landbouwkundig worden toegepast in verband met de eisen aan zware metalen. De techniek kan ook toegepast op andere lignine (houtstof) houdende (en schonere) biomassa, zoals bermmaaisel en dan wordt wel een waardevolle biochar (> 50 % koolstof) verkregen. Deze biochar voldoet naar verwachting wel aan de Nederlandse eisen.

De ontwikkelingen van de pyrolysetechniek in Duitsland gaat door. STOWA zal de ontwikkelingen op de voet volgen.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Carbonisatie van slib en andere biomassastromen is een vorm van pyrolyse, waarbij slib of biomassa op een langzame wijze bij 500-600 °C wordt omgezet in een product met as en kool. In onder meer Duitsland zijn en worden hiervoor diverse installaties gerealiseerd. Lignine houdende biomassa wordt een koolstofrijke biochar, slib wordt omgevormd tot een product met weinig kool maar met een hoog gehalte aan fosfor (10-20% P_2O_5). Deze fosfor is goed beschikbaar voor planten en kan dus als een goede meststof worden beschouwd. Wegens het lage koolstofgehalte kan men beter spreken over gepyrolyseerd slib dan over gecarboniseerd slib.

De drijvende kracht hiervoor is de nieuwe wetgeving in Duitsland voor de verwerking van rwzi slib. In principe moet in de toekomst alle rwzi slib via monoverbranding worden verwerkt. Dit zal grote veranderingen met zich meebrengen in de slibmarkt en zal ook de afzetmogelijkheden van verwerkt rwzi slib beïnvloeden. De techniek van pyrolyse is in Duitsland een alternatief voor monoverbranding. Deze techniek is energetisch vergelijkbaar met monoverbranding, levert een direct toepasbare P-rijke meststof op en is toepasbaar op kleine schaal. Dit zou dus ook een alternatief kunnen zijn voor de in Nederland bekende en nieuwe routes voor slibeindverwerking. Deze route is in dit STOWA-onderzoek verkend. Dit alternatief op slibeindverwerking kan bijdragen aan het ketenakkoord fosforrecycling en bijdragen aan lokale kringloopsluiting. Vóór de pyrolyse moet het slib gedroogd zijn om voldoende energie-inhoud te hebben (tot ca 70-75 % ds). Met de vrijkomende warmte van de pyrolyse kan in een deel van de energievraag voor drogen worden voorzien. Er is daarnaast nog aanvullend lage temperatuur warmte nodig van bijvoorbeeld een WKK.

In Nederland mag de geproduceerde P-meststof (van zuiveringsslib van communale oorsprong) niet in de landbouw worden toegepast, wegens de strenge normen voor zware metalen. In Duitsland zijn de eisen een stuk minder streng en kan het wel worden afgezet in de landbouw. Naar verwachting zal Nederlands gepyrolyseerd slib ook aan deze Duitse eisen gaan voldoen en kan het ook in Duitsland afgezet worden, mits er een vergunning voor export wordt verkregen. Uitvoer over de grens lijkt mogelijk, omdat de verwerking van het "slibverbrandings-product" (volgens LAP2) beschouwd kan worden als nuttige toepassing en niet als storten (sectorplan 22). De kosten voor de pyrolyse van ontwaterd slib liggen iets onder de kosten van monoverbranding. Voor de pyrolyse van slibcompost liggen de kosten hoger. Er zijn daarnaast nog optimalisaties mogelijk in schaalgrootte en in synergie met verwerking van andere biomassastromen. Deze techniek kan ook bijdragen aan lokale kringloopsluiting en kan zeker bij lange transportafstanden concurrerend zijn met bestaande (en toekomstige) slibverwerkingstechnieken.

De techniek van pyrolyse wordt in Duitsland ook gebruikt voor andere organische reststromen. Er wordt dan biochar van gemaakt. Deze biochar heeft gunstige eigenschappen als bodemverbeteraar. Biomassastromen zoals bermgras of snoeiafval zijn geschikt als grondstof voor de biochar productie. Deze biomassastromen hebben een andere samenstelling met een hoog gehalte aan lignine waardoor er door middel van pyrolyse een gecertificeerde biochar geproduceerd kan worden (> 50% kool). In Duitsland is er veel vraag naar gecertificeerde biochar, waardoor er een goede opbrengst voor het product wordt verkregen (circa EUR 720 per ton).

Aanbevolen wordt om de ontwikkelingen in Duitsland en van PYREG en andere bedrijven die biomassa pyrolyseren te volgen. Er zal te zijner tijd meer zicht komen op haalbare 'business cases', bijvoorbeeld bij lokale kringlopen met weinig transportafstanden, door het combineren van verwerkingsroutes en door een goede afzet van slibmeststof in Duitsland en van biochar in Duitsland en andere landen, waaronder ook Nederland. Voor de leveranciers is het voor de inschatting van de haalbaarheid in Nederland zinvol om een aantal potentiële Nederlandse business cases meer in detail uit te werken. Daarbij lijkt het nuttig, de kansen voor potentiële biomassastromen in Nederland zoals bermgras verder verkennen, inclusief de mogelijke opbrengsten.

Daarnaast zijn er nog een aantal vragen relevant voor de toekomst van de technologie (in Nederland). Het gaat daarbij onder meer om het krijgen van inzicht in de technische en financiële haalbaarheid van de opwerking van biochar naar actieve kool, het vaststellen hoe de recycling van fosfor via een pyrolyse-installatie zich verhoudt tot andere alternatieven voor de recycling/terug-winning van fosfor uit slib, en hoe de CO₂ uitstoot van een PYREG installatie zich verhoudt tot andere slibverwerkingstechnieken (inclusief en exclusief fosforrecycling).

DE STOWA IN HET KORT

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

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

VERKENNING PYROLYSE/CARBONISATIE ZUIVERINGSSLIB EN ANDERE BIOMASSA STROMEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN 'T KORT	
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGRONDINFORMATIE THERMISCHE BEHANDELING ZUIVERINGSSLIB EN BIOMASSA	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Overzicht processen voor thermische behandeling biomassa en slib	2
2.2.1	Inleiding	2
2.2.2	Pyrolyse	3
2.2.3	Vergassing	3
2.2.4	Verbranding	4
2.2.5	Samenvatting thermische conversieprocessen	4
2.3	Wetgeving rondom pyrolyse van slib en biomassa	4
2.4	Kenmerken van biochar en actieve kool	5
2.5	Inventarisatie leveranciers pyrolyse van slib en/of andere biomassa	5
2.5.1	Inleiding	5
2.5.2	Eisenmann	6
2.5.3	PYREG	6
2.6	Bedrijfsbezoek	7
3	UITGANGSPUNTEN PYROLYSE VAN SLIB EN BIOMASSA	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Meststof uit zuiveringsslib en biochar uit overige biomassa	8
3.3	Productie en toepassing van meststof uit zuiveringsslib	9
3.4	Productie en toepassing van biochar uit biomassa	11
3.5	Energie	11
3.6	Samenvatting	13

4	VERKENNING TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN PYROLYSE SLIB EN BIOMASSA	14
4.1	Inleiding	14
4.2	Toepassing als meststof	14
4.3	Toepassingsmogelijkheden Nederland	14
4.4	Uitwerking toepassingsmogelijkheden	15
4.4.1	Technische uitwerking	15
4.4.2	Financiële uitwerking	17
5	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	20
5.1	Discussie	20
5.2	Conclusies	21
5.3	Aanbevelingen	22
	BIJLAGEN	
Bijlage 1	Bedrijfsbezoek PYREG	23
Bijlage 2	Certificering biochar	27
Bijlage 3	Relevante tekst LAP2, bijlage 6, sectorplannen zuiveringslib (16) en verbrandingsproducten van slib (22), en reststoffen van de energiewinning uit biomassa (24)	28

1

INLEIDING

De laatste jaren is er weer hernieuwde aandacht voor slibeindverwerking. Een aantal niet gebonden Waterschappen in Nederland gaat de komende jaren nieuwe slibcontracten afsluiten. Daarnaast is men in het kader van de Energie- en Grondstoffenfabriek op zoek naar doelmatigere en duurzamere alternatieven. Hierbij kan men denken aan (superkritische) vergassing, drogen met restwarmte en het slib vervolgens verbranden als biobrandstof en gruisontwatering in combinatie met droging en verbranding. Het is daarbij ook zinvol om te onderzoeken welke technologieën in de ons omringende landen ontwikkeld worden.

Een alternatief op verbranding van slib dat in Duitsland is ontwikkeld, is het (relatief kleinschalig) bewerken van gedroogd zuiveringsslib via een thermisch bewerkingsproces zonder zuurstof (pyrolyse). Het product bestaat nog deels uit een restant koolstof en beschikt over andere eigenschappen dan slib dat verbrand wordt. Zo is de fosfaat in de pyrolyse as door de lagere temperaturen van de bewerking goed beschikbaar voor planten, terwijl dit na verbranding niet het geval is. In Duitsland en Oostenrijk worden al jaren testen gedaan naar de pyrolyse van slib en zijn de eerste 'full scale' installaties in aanbouw. Wegens het relatief lage koolstofgehalte spreken we in dit rapport niet over carbonisatie van slib, maar over pyrolyse van slib. Gepyrolyseerd slib bevat geen ziektekiemen en is door de aanwezige koolstof en nutriënten in Duitsland een meststof die afgezet kan worden. Mogelijk kan dit proces voor Nederland ook kansen bieden.

Deze techniek van pyrolyse wordt in Duitsland ook gebruikt op andere organische reststromen. Er wordt dan biochar van gemaakt (definitie zie hoofdstuk 2). De verwerking van biomassa reststoffen (slib, bermgras, maaisel) en afzet als biochar kan ook voor Nederlandse waterschappen en/of gemeenten interessant zijn vanwege de hoge prijs die biochar momenteel opbrengt.

Hoofdstuk 2 bevat de resultaten van het literatuuronderzoek naar de technieken voor de thermische behandeling van slib en biomassa. In dit hoofdstuk is ook een inventarisatie opgenomen van de verschillende leveranciers van technieken voor de thermische behandeling van zuiveringsslib en andere biomassa. Hoofdstuk 3 beschrijft de uitgangspunten voor de pyrolyse van zuiveringsslib en andere biomassa. Deze uitgangspunten zijn voornamelijk gebaseerd op informatie die is verkregen tijdens het bedrijfsbezoek. Hoofdstuk 4 bevat een verkenning naar de technische en financiële haalbaarheid van de door PYREG geleverde pyrolyse- en drooginstallaties voor verschillende toepassingsmogelijkheden in Nederland. In hoofdstuk 5 wordt afgesloten met de discussie, conclusies en de aanbevelingen. De resultaten van het werkbezoek zijn opgenomen in bijlage 1.

2

ACHTERGRONDINFORMATIE THERMISCHE BEHANDELING ZUIVERINGSSLIB EN BIOMASSA

2.1 INLEIDING

De pyrolyse van zuiveringsslib en biomassa en de omzetting naar een gecarboniseerd product zijn processen die nieuw zijn voor Nederland. Om deze reden wordt in dit hoofdstuk een toelichting gegeven op deze thermische processen. Hierin wordt soms de term biochar gebruikt. Biochar is 'verkoalde' biomassa, dat op een speciale manier is geproduceerd. Het lijkt op houtskool maar heeft een andere structuur, samenstelling en kwaliteit. Biochar betreft een koolstofrijke as (>50% koolstof) die geproduceerd wordt uit de pyrolyse van duurzame biomassa. De kenmerken en eisen aan biochar (positieve lijst, certificaten) zijn verder beschreven in paragraaf 2.3 en bijlage 2.

In paragraaf 2.2 komt aan bod wat er precies bedoeld wordt met termen als pyrolyse, carbonisatie, verbranding en vergassing. In paragraaf 2.4 volgen de kenmerken van biochar en actieve kool en de mogelijkheden om de adsorptiecapaciteit van actieve kool te vergroten. In paragraaf 2.5 is een inventarisatie opgenomen van leveranciers van systemen voor de thermische behandeling van slib en biomassa. In paragraaf 2.6 wordt het bedrijfsbezoek aan een leverancier van pyrolyse installaties beschreven.

2.2 OVERZICHT PROCESSEN VOOR THERMISCHE BEHANDELING BIOMASSA EN SLIB

2.2.1 INLEIDING

Biomassa is biologisch materiaal van organische oorsprong en is in het algemeen/meestal rijk aan koolstof, zuurstof en waterstof. Het merendeel van de biomassa is afkomstig van planten en is opgebouwd uit cellulose, hemicellulose en lignine. Zuiveringsslib is niet afkomstig van planten en bevat om deze reden relatief weinig lignine (er is wel cellulose aanwezig uit het wc-papier).

Er zijn verschillende technieken beschikbaar voor de thermische behandeling van biomassa en slib.

- Pyrolyse
- Vergassing
- Verbranding

Er is over de terminologie soms onduidelijkheid. In het onderstaande wordt dit verder toege-licht.

2.2.2 PYROLYSE

Pyrolyse (wikipedia, oudgrieks: πῦρ (pyr), vuur, en λύσις (lýsis), (op)lossing, ontleding: uit elkaar halen met vuur) ook wel kraken genoemd, is een proces waarbij organisch materiaal wordt ontleed door het te verhitten tot hoge temperaturen (200 - 900 °C) zonder dat er zuurstof bij kan komen, waardoor grote moleculen worden afgebroken tot kleinere. Dit in tegenstelling tot verbranding, die wel met aanwezigheid en verbruik van zuurstof plaatsvindt. Het is in feite een verzamelnaam. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen milde pyrolyse (torrefactie), langzame pyrolyse (carbonisatie) en snelle pyrolyse (flash pyrolyse)¹:

Torrefactie

Torrefactie is een gedeeltelijk pyrolyseproces bij een temperatuur van 200 - 300 °C gedurende 2 uur en wordt veel toegepast als voorbehandeling vóór verdere thermische behandeling (bv meestook van getorrificeerde biomassa in kolencentrales). Voor zover bekend wordt dit (nog) niet toegepast op slib. Door de ontgassing van laag calorische gassen (CO₂ en H₂) wordt de biomassa omgezet in een beter brandbaar product. Tijdens de torrefactie wordt een deel van de hemicellulose omgezet. Het merendeel van de lignine en cellulose wordt pas verkoold bij temperaturen boven de 300 °C. Het eindproduct is een droog product wat uit een mengsel van koolstof, waterstof- en zuurstofatomen bestaat (geen biochar). In vergelijking met de oorspronkelijke biomassa heeft de getorrificeerde biomassa een hogere calorische waarde, wordt water afstotend en is het door de broze structuur beter te vermalen (betere handling).

Langzame pyrolyse (carbonisatie)

Bij langzame pyrolyse (ook wel carbonisatie genoemd) wordt biomassa een lange tijd (voor slib enkele uren) verwarmd bij een temperatuur van 300 - 800 °C. Het doel van langzame pyrolyse is de productie van biochar en zo weinig mogelijk gas. Bij deze manier van langzame opwarming en een lange verblijftijd worden zowel de cellulose, hemicellulose en lignine in de biomassa omgezet in biochar. Hierbij ontstaat productgas. Dit gas wordt doorgaans verbrand. *Het bedrijf PYREG spreekt zelf over 2-traps “verbranding” met als doel (1) carbonisatie bij biomassa van plant-aardige oorsprong en (2) de productie van een as met hoge mate van fosfor beschikbaarheid in het geval van zuiveringsslib.*

Snelle pyrolyse (Flash pyrolyse)

Flash pyrolyse vindt plaats bij een temperatuur van ongeveer 500 - 600 °C en heeft in het algemeen de productie van pyrolyse olie (crude) tot doel. Bij flash pyrolyse wordt biomassa onder hoge druk in zeer korte tijd (ongeveer 1 seconde) omgezet in gassen en kool. De gassen worden vervolgens gecondenseerd tot bio olie. De pyrolyse producten worden zo snel mogelijk afgekoeld om secundaire kraakreacties te onderdrukken. Ongeveer 60 - 75% van de biomassa wordt omgezet in bio olie.

2.2.3 VERGASSING

Vergassing is een proces waarbij een vaste brandstof bijna geheel wordt omgezet in productgas (syngas) en as. Door een beperkte hoeveelheid zuurstof toe te laten (onvolledige verbranding) ontstaat een brandbaar productgas (mengsel van kooldioxide, koolmonoxide, waterstof, methaan, hogere koolwaterstoffen, water, stikstof en diverse verontreinigingen zoals teer). Vergassing vindt plaats bij temperaturen tussen de 750 - 1.600 °C. Voor zuiveringsslib is de conventionele vorm van deze techniek onderzocht in STOWA onderzoek 2013 15 Met als belangrijkste conclusie dat deze techniek zich voor verwerking van slib nog in de “troubleshoot-fase” bevindt, mede wegens de benodigde rookgasreiniging².

1 Universiteit Gent, 2013, Karakterisering van de vaste fractie (char) bekomen uit trage pyrolyse van biomassa

2 Economische Haalbaarheid van Vergassing van Zuiveringsslib voor de Nederlandse Situatie, STOWA 2013 15.

2.2.4 VERBRANDING

Verbranding van biomassa vindt plaats bij temperaturen tussen de 900 – 1.300 °C bij volledige aanwezigheid van zuurstof (bijvoorbeeld de monoverbranding van SNB en HVC, meeverbranding in bruinkoolcentrales). Onder deze omstandigheden wordt nagenoeg alle biomassa omgezet in gas (o.a. CO₂) en as. De warmte wordt deels gebruikt om elektriciteit op te wekken.

2.2.5 SAMENVATTING THERMISCHE CONVERSIEPROCESSEN

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de producten (gasvormig, vloeibaar, vast) die gevormd worden bij de verschillende thermische conversietechnieken van biomassa en slib. Verbranding is hierin buiten beschouwing gelaten.

TABEL 2.1 KENMERKEN VAN THERMISCHE CONVERSIE TECHNIEKEN VOOR BIOMASSA ³

Technologie	Temperatuur	Opwarmings snelheid	Druk	Reactie tijd	Medium	Doelproduct
Torrefactie (milde pyrolyse)	200 – 300 °C	<50 °C/min	atmosferisch	< 2 uur	Zuurstofvrije atmosfeer	Getorrificeerde biomassa
Langzame pyrolyse (carbonisatie)	300-800 °C	<80 °C/min	Atmosferisch	Uren	Zuurstofvrije atmosfeer	Biochar
Snelle pyrolyse (flash pyrolyse)	>500-600 °C	tot 1.000 °C/min	Atmosferisch of vacuüm	< 2 sec	Zuurstofvrije atmosfeer	Bio olie (crude)
Vergassing	>750 °C		Atmosferisch of verhoogd	2-3 sec	Zuurstof arme atmosfeer	Syngas

In Tabel 2.1 is te zien dat de toegepaste conversie techniek het uiteindelijke doelproduct bepaalt.

2.3 WETGEVING RONDOM PYROLYSE VAN SLIB EN BIOMASSA

Het LAP2 (Landelijk afvalbeheerplan 2009 – 2021, bijlage 6) stelt dat slibverwerking via pyrolyse-/smelten in Nederland niet toegestaan is vanwege de negatieve milieu-effecten die volgen uit de Milieu effectrapportage (MER) behorend bij het LAP1. De in deze MER beschreven verwerkings-route betreft een zeer specifiek, complex industrieel proces (bedrijf Gibros PEC) waarbij slib behandeld wordt in een pyrometallurgische smelter. Dit proces bestaat uit twee parallel bedreven lijnen waarin het slib gekraakt wordt met industriële zuurstof waarbij syngas ontstaat en de as wordt omgevormd tot een basaltachtige bouwstof. Dit proces levert een zeer negatieve LCA score.

Echter, het pyrolyse proces wat in deze studie beschreven wordt, betreft een veel eenvoudiger proces waarbij geen sprake is van smeltende as. Het is in feite een tweetraps bewerking, waarbij in de eerste fase koolstofhoudende as of biochar geproduceerd wordt en in de tweede fase het geproduceerde syngas in een floxbrander volledig wordt verbrand. De emissies voldoen aan de luchtmissienormen (activiteitenbesluit hoofdstuk 5.2). De milieu impact van het in deze studie beschreven pyrolyseproces is naar verwachting een stuk lager (eerder vergelijkbaar met verbranden) dan de hierboven genoemde route. Als ook nog lage temperatuur restwarmte gebruikt wordt, is deze route zeker duurzamer.

³ Universiteit Gent, 2013, Karakterisering van de vaste fractie (char) bekomen uit trage pyrolyse van biomassa

2.4 KENMERKEN VAN BIOCHAR EN ACTIEVE KOOL

Het pyrolyseren/carboniseren van biomassa heeft als doel de productie van biokool (biochar). Biochar betreft een koolstofrijke as (>50% koolstof) die geproduceerd wordt uit de pyrolyse van duurzame biomassa. De kenmerken en eisen aan biochar zijn beschreven in bijlage 2. Deze biochar kan bijvoorbeeld gebruikt worden als bodemverbeteraar.

Een interessant alternatief zou de opwerking van biochar naar actieve kool kunnen zijn, wegens de hoge waarde die dit product vertegenwoordigt. De opwerking naar actieve kool vraagt om aanvullende processtappen waarmee het soortelijk oppervlak van de kool vergroot wordt.

Actieve kool heeft een chemische structuur die grote gelijkenissen vertoont met zuiver grafiet. De hoge adsorptiecapaciteit van actief kool is een eigenschap die tijdens het productieproces ontstaat. Het productieproces zorgt ervoor dat de vlakke grafietlagen voortdurend onderbroken worden waardoor er een amorfe structuur ontstaat. Algemeen bestaat de structuur uit ongeveer 40% adsorptieporiën, 25% transportporiën en 35% effectief koolstofskelet. Op plaatsen waar de grafietlagen dicht tegen elkaar liggen (microporiën) is adsorptie mogelijk. In bepaalde speciale gevallen kan actief kool ook behandeld worden om een katalytische activiteit te vertonen. Dit wordt gedaan door extra defecten te creëren in de grafietstructuur.

Actief kool wordt geproduceerd uit koolstofrijk basismateriaal zoals steenkool, bruinkool en biomassa zoals turf en kokosnootschillen. Actief kool heeft een groot soortelijk oppervlak ($\pm 1.000 \text{ m}^2 / \text{gram}$) waardoor het goed in staat is om stoffen te binden. Actief kool wordt geproduceerd door een combinatie van carbonisatie en oxidatie. Het basismateriaal wordt in afwezigheid van zuurstof verhit tot een temperatuur van 500 - 600 °C om het gehalte aan koolstof te vergroten. Het soortelijk oppervlak van het gecarboniseerde materiaal kan vervolgens vergroot worden via chemische activatie (fosforzuur) of stoomactivatie.

2.5 INVENTARISATIE LEVERANCIERS PYROLYSE VAN SLIB EN/OF ANDERE BIOMASSA

2.5.1 INLEIDING

De onderhavige studie richt zich op technieken die geschikt zijn voor de productie van een gecarboniseerd/gepyrolyseerd product uit zuiveringsslib en/of daarnaast ook andere biomassa. Met de begeleidingscommissie is een inventarisatie gemaakt van leveranciers die technieken zouden kunnen aanbieden voor de langzame pyrolyse van rwzi slib. Via de beschikbare literatuur is vervolgens vastgesteld welke technieken de leveranciers aanbieden en of ze ervaring hebben met de verwerking van rwzi slib. In Tabel 2.2 zijn de resultaten van de inventarisatie opgenomen.

TABEL 2.2 LEVERANCIERS, TECHNIEKEN EN SLIBREFERENTIES

Leverancier	Technologie	Slib referenties
Biomacon	Pyrolyse van biomassa	Nee
Carbolinio	Pyrolyse van biomassa	Nee
Carbon Terra	Produceert geen biochar uit biomassa	Nee
DG Engineering	Langzame pyrolyse van biomassa	Ja (Japan)
Eisenmann	Pyrolyse van gedroogd slib	Ja (Duitsland, Italië)
Gutes Aufbereiten	Onbekend	Nee
HTCW	Vergassing	Nee
PYREG	Langzame pyrolyse van biomassa	Ja (Duitsland, Oostenrijk)
Pyromex	Ultra hoge temperatuur slibvergassing	Nee
Pyrum Innovations	Pyrolyse van autobanden	Nee
Rew Energy	Pyrolyse en vergassing van biomassa	Nee
Techtrade	Onbekend	Nee
UC Prozesstechnik	Onbekend	Nee
Visser & Smit Hanab	Pyrolyse van afvalstoffen	Nee

Uit Tabel 2.2 is af te leiden dat drie van de geïnventariseerde leveranciers ervaring hebben met de pyrolyse van slib, waarvan twee binnen Europa. Van de installatie in Japan is geen informatie beschikbaar.

2.5.2 EISENMANN

De installatie van Eisenmann (Pyrobuster) bestaat uit een draaiende trommel (rotary kiln) die verdeeld is in twee compartimenten (pyrolyse- en verbrandingscompartiment). Tot op heden zijn er twee referenties van de Pyrobuster:

- Crailsheim, Duitsland
- St. Lorenzen, Italië

De Crailsheim Pyrobuster is onderdeel van een grotere installatie waar zowel biomassa als zuiveringsslib verwerkt worden. De installatie is in 2008 in gebruik genomen en behandelt ontwaterd slib van 200.000 inwoners. Het ontwaterde slib wordt aangevoerd met een droge stof gehalte van 25%. Op locatie wordt het slib met restwarmte van de biomassacentrale gedroogd naar granulaat met een drogestofgehalte van 88% voordat het gevoed wordt aan de Pyrobuster. De capaciteit van de Pyrobuster is 650 kg slib/uur (5.000 ton slibgranulaat/j).

De rwzi in de nabijheid van St. Lorenzen in zuidelijk Tirol heeft in 2006 een Pyrobuster in bedrijf genomen met een capaciteit van 550 kg slibgranulaat per uur. Het ingaande drogestofgehalte van het slibgranulaat bedraagt 90%.

2.5.3 PYREG

De installatie van PYREG (PYREG 500) is, net als die van Eisenman, verdeeld in twee compartimenten (pyrolyse- en verbrandingscompartiment). De PYREG heeft geen draaiende trommel. Slibgranulaat met een minimaal drogestofgehalte van minimaal 70% -75% (overeenkomend met een verbrandingswaarde van minimaal 10 MJ/kg) worden met twee schroeven door de PYREG reactor geleid. Deze schroeven vormen tevens de eerste warmtebehandeling waarbij het product wordt gevormd. Het vrijkomende productgas wordt in een door PYREG ontwikkelde FLOX brander verbrand. Door deze wijze van verbranden wordt voldaan aan strenge emissie-eisen.

Inmiddels zijn er 9 PYREG 500 installaties op biomassa (zoals houtafval, papierslib, groenafval en bermgras) en 3 op zuiveringsslib in bedrijf of gaan in 2015 in bedrijf (totaal 12). Deze zijn gelegen in Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk. Voor slib staat er een installatie in Linz-Unkel (Duitsland) en staan er twee in Dornbirn (Oostenrijk).

De installaties van PYREG 500 hebben in feite een capaciteit van 500 kW verbrandingswaarde. Het te verwerken tonnage hangt dus af van de samenstelling van het materiaal. Voor gangbaar communaal slib komt dat overeen met een schaalgrootte van 1.000 ton droge stof per jaar wat overeenkomt met de slibproductie van een zuivering van ongeveer 50.000 i.e. De installaties van PYREG kunnen modulair geschakeld worden waardoor de capaciteit eenvoudig te vergroten is.

2.6 BEDRIJFSBEZOEK

Op basis van de resultaten in paragraaf 2.5.3 is besloten een bedrijfsbezoek te organiseren naar de productielocatie van PYREG in Duitsland. De volgende redenen lagen hieraan ten grondslag:

- De kleine schaalgrootte van een PYREG installatie (1.000 ton ds/j) sluit beter aan bij de oorspronkelijk voor dit onderzoek beoogde rwzi grootte van ± 50.000 i.e, zodat het decentraal (op locatie) toegepast zou kunnen worden.
- Bij gangbaar zuiveringsslib van communale oorsprong, draait de PYREG installatie op een slibgranulaat met een drogestofgehalte van 70-75 % (tegenover een vereist droge stofgehalte van 90% voor het proces van Eisenmann)
- De productielocatie van PYREG ligt relatief dicht bij Nederland
- PYREG heeft een vertegenwoordiging in Nederland (Eliquo-Water&Energy).

Het verslag van het bedrijfsbezoek is opgenomen in bijlage 1.

3

UITGANGSPUNTEN PYROLYSE VAN SLIB EN BIOMASSA

3.1 INLEIDING

Tijdens het bedrijfsbezoek (zie bijlage 1) is duidelijk geworden dat zuiveringsslib niet geschikt is om biochar te maken. De koolstof die in het slib aanwezig is, wordt tijdens de pyrolyse groten-deels omgezet in energie (in productgas, wat wordt verbrand in de FLOX kamer) waardoor er in het eindproduct een beperkte hoeveelheid koolstof overblijft. De eis voor biochar is >50% koolstof. Het zuiveringsslib wordt in feite omgezet in een fosfaatrijke as die ingezet kan worden als P rijke meststof.

In dit hoofdstuk worden de kenmerken van het gepyrolyseerde slib beschreven en wordt ingegaan op mogelijke toepassingen hiervan in Nederland. Verder wordt ingegaan op de mogelijkheden voor de pyrolyse van andere biomassa dan zuiveringsslib en worden de technische uitgangspunten geformuleerd voor de globale inschatting van de financiële haalbaarheid.

3.2 MESTSTOF UIT ZUIVERINGSSLIB EN BIOCHAR UIT OVERIGE BIOMASSA

Overige biomassa bestaat voornamelijk uit cellulose, lignine (houtstof) en hemicellulose. Voor de productie van biochar is biomassa met voldoende koolstof en lignine nodig. De eisen die gesteld worden aan de productie van biochar zijn vastgesteld in het European Biochar Certificate⁴. Hierin is onder meer vastgesteld dat biochar meer dan 50% koolstof moet bevatten en dat het door middel van pyrolyse geproduceerd moet worden. Ook aan de omstandigheden in de pyrolyse reactor (o.a. temperatuur, verblijftijd, fluctuaties) en de samenstelling van de biomassa zijn eisen gesteld. In bijlage 2 is de positieve lijst opgenomen van duurzame biomassastromen waaruit gecertificeerde biochar geproduceerd mag worden. Zuiveringsslib bevat een te laag gehalte aan koolstof waardoor het niet voldoet aan de criteria voor de productie van biochar en staat om die reden niet op deze lijst.

Afhankelijk van het type en samenstelling van de biomassa kunnen er door de pyrolyse van biomassa of slib de volgende eindproducten geproduceerd worden:

- 1 Biochar: omzetten van biomassa met hoog koolstofgehalte in biochar (C gehalte >50%) en warmte → goed verkoopbaar biochar product
- 2 Meststof: omzetten van nutriëntrijke biomassa stromen die niet aan de eisen van het European Biochar Certificate voldoen (zoals rwzi slib) in meststoffen die rijk zijn aan nutriënten (in het geval van P rijke meststoffen moet het fosforgehalte in Duitsland > 10% P₂O₅ bedragen).

⁴ www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf

Goede grondstoffen voor biochar zijn kersenpitten, kokosnootschillen, hout, gras, snoeiafval en afvalstromen uit de levensmiddelenindustrie. Het soortelijk oppervlak van de geproduceerde biochar (*Planzenkohle*) is 150 – 200 m²/gram. Ter referentie, actief kool heeft een soortelijk oppervlak van ± 1.000 m²/gram.

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de verschillende typen afvalstromen die in een pyrolyse installatie behandeld kunnen worden (niet uitputtend) en het eindproduct wat hiermee geproduceerd wordt (meststof of biochar, bron: PYREG).

FIGUUR 3.1 GESCHIKTE AFVALSTROMEN EN RESULTEREND PRODUCT VOOR PYROLYSE (MESTSTOF OF BIOCHAR); BRON PYREG

Meststof		Biochar						
Zuiverings-slib	Reststromen uit vergisters		Industrieel en productie afval	Anders	Vloeibare mest en stalmest	Groen afval uit de stad	Bos-/hout afval	Agrarisch
Primair slib	Hernieuwbare brandstoffen	Mest	Papiervezel slib	Anders	Drijfmest	Struiken en bomen	Zeeffresten	Kaf
Secundair slib	Mest	Kuil gras	Karkassen, bloed, ingewanden	Bio afval	Mest	Berm maaisel	Zaagsel	Plantage-hout
Uitgegist slib		Levensmiddelen	Afvalstromen uit bier productie		Vaste mest	Tuinafval	Afval-hout	Stro
Flotatie slib		GFT afval	Rubber			Water planten	Wortels	
		Kippen mest	Plastic			Onderhoud sloten		

In Figuur 3.1 is te zien dat zuiverings-slib niet omgezet wordt in biochar. Afvalstromen zoals industrieel afval, hout/agrarisch afval en mest zijn wel geschikt voor biochar productie.

3.3 PRODUCTIE EN TOEPASSING VAN MESTSTOF UIT ZUIVERINGSSLIB

Pyrolyse is een alternatieve vorm van slibeindverwerking en maakt in Duitsland een directe toepassing van het product mogelijk als fosfaat kunstmest (fosfaat >10% P₂O₅, inclusief hygienisatie). De beschikbaarheid van P uit gepyrolyseerd slib is 90% voor bio-P slib en 82% voor slib van rwzi's met chemische P verwijdering (bron Pyreg).

In het geval van slibverwerking is een temperatuur van 550- 580 °C optimaal voor een maximale P beschikbaarheid. Bij een temperatuur van > 800 °C is de beschikbaarheid van P slecht (daarom is as van een conventionele monoverbrander niet geschikt als P meststof).

In het geval van slibverwerking wordt het koolstofgehalte zoveel mogelijk thermisch gereduceerd, om het proces zonder externe energiebron te laten plaatsvinden. Daarmee wordt ook het P gehalte gemaximaliseerd. Eigenlijk is het een soort van monoverbranding waarbij er tevens een waardevolle meststof geproduceerd wordt. Het gevormde product kan het beste beschreven worden als as, met een hoog gehalte aan fosfor (>10%). Kwik verdampt voor 99,9% en wordt door een koolfilter afgevangen. Circa 40 % van de cadmium vervluchtigt en wordt afgevangen.

In Duitsland zijn slibben van 50 rwzi's gepyrolyseerd en daarvan voldoet 90% aan de Duitse mestrictlijnen (dus ook voor zware metalen, bron PYREG). Indien voldaan wordt aan de richtlijnen voor zware metalen kan het slib op het land gebracht worden. Het is een interessante vraag of het gepyrolyseerde Nederlandse communale slib in Nederland of Duitsland aan de toepassingsnormen zou kunnen voldoen.

Om een beeld te krijgen van de verschillende samenstellingen en toepassingsnormen voor zware metalen van zuiveringsslibben in Nederland en Duitsland, zijn in Tabel 3.1 enkele voorbeelden weergegeven en met elkaar vergeleken. In deze tabel is te zien dat de zware metalenconcentraties in zuiveringsslib en slibcompost hoger liggen dan de normen uit het Uitvoeringsbesluit meststoffenwet. Normoverschrijdingen hebben met name betrekking op koper en zink⁵. Dit betekent dat toepassing van slib en slibcompost in de Nederlandse landbouw niet mogelijk is. Bij pyrolyse van (communaal) zuiveringsslib vindt verdere concentratie van de metalen plaats en zal naar verwachting toepassing ook niet mogelijk zijn (ook al is het dan geen slib meer, maar as).

In Tabel 3.1 is verder te zien dat de Duitse normen voor zware metalen minder streng zijn. De zware metalen concentraties in het Nederlandse slib voldoen wel aan de in Duitsland gestelde grenswaarden. Naar verwachting zullen de gehalten van metalen van gepyrolyseerd Nederlands communale slib niet voldoen aan de Nederlandse maar wel aan de Duitse normen.

TABEL 3.1 NORMEN EN CONCENTRATIES VOOR CONCENTRATIES ZWARE METALEN IN SLIB EN SLIBCOMPOST IN NEDERLAND EN DUITSLAND (TER VERGELIJKING)

Stof	Eenheid	Normen zuiverings-slib NL *	rwzi slib NL, 2013 **	Normen slibcompost NL ***	Slibcompost NL ****	Normen Slib Duitsland *****	Rwzi Linz-Unkel (bij Hallerbach) na PYREG
Cd (Cadmium)	mg/kg ds	1,25	1,05	1	1,8	1,5	0,2 – 1,27
Cr (Chroom)	mg/kg ds	75	36	50	56	900 *****	53 – 88
Cu (Koper)	mg/kg ds	75	365	90	482	800 *****	470 - 422
Hg (Kwik)	mg/kg ds	0,75	0,64	0,3	0,9	1	<0,01
Ni (Nikkel)	mg/kg ds	30	24	20	33	80	38 - 69
Pb (Lood)	mg/kg ds	100	92	100	109	150	87 - 105
Zn (Zink)	mg/kg ds	300	941	290	1.277	2.000	1.800 – 1.860
As (Arseen)	mg/kg ds	15	10	15	11,5	40	6,5 – 6,9

* Uitvoeringsbesluit meststoffenwet Bijlage II (Tabellen 2)

** CBS, gegevens 2013

*** Uitvoeringsbesluit meststoffenwet Bijlage II (Tabellen 3)

**** GMB, locatie Zutphen 2010

***** DüMV, Düngemittelverordnung

***** AbfKlarV1992

Het is vervolgens een relevante vraag of in Nederland gepyrolyseerd slib, wat grotendeels bestaat uit as over de grens mag naar Duitsland. Om daarover een uitspraak te doen, is gekeken naar het Landelijk afvalbeheerplan 2009 – 2021 (LAP2) ⁶. In bijlage 3 zijn de relevante paragrafen waarin gesproken wordt over in en uitvoer van slib, as uit slib en as uit biomassa weergegeven.

5 De discussie of deze normen in Nederland correct zijn, wordt in dit rapport niet gevoerd. Mogelijk worden hierin in de toekomst keuzen gemaakt, die de lokale toepassing van slibpyrolyse zouden kunnen beïnvloeden.

6 Landelijk afvalbeheerplan 2009 – 2021, bijlage 6

Formeel valt gepyrolyseerd slib niet onder één van deze sectorplannen, omdat het gaat om as uit slib, niet van verbranding maar van een andere wijze van verwerking. De auteurs van dit rapport menen echter dat de strekking van het beleid wel iets zegt over de mogelijkheden.

Citaat (dat voor alle 3 de sectorplannen geldt):

Uitvoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan, tenzij uiteindelijk zoveel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort dat de mate van nuttige toepassing de overbrenging niet rechtvaardigt. Voor reststoffen van slibverbranding geldt dat iedere mate van storten in beginsel te hoog is om de overbrenging te rechtvaardigen omdat nuttige toepassing mogelijk is.

De toepassing van slib als meststof betreft een nuttige toepassing, indien aantoonbaar gemaakt kan worden dat het slib de eigenschappen van een meststof bevat. In Duitsland geldt voor fosfor rijke meststoffen een eis van $>10\% P_2O_5$ ⁷. Gepyrolyseerd zuiveringsslib voldoet aan deze eis. Mogelijk kan PYREG het zelfs afnemen. Als PYREG de verwerkingsroute kan aantonen, wordt verwacht dat een vergunning voor uitvoer verkregen zal worden. Stel dat andere partijen het product willen afnemen, de P er uit halen en de as zouden willen storten, kan het niet.

Met deze route wordt een significante bijdrage geleverd aan het Ketenakkoord fosforrecycling. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de kosten.

3.4 PRODUCTIE EN TOEPASSING VAN BIOCHAR UIT BIOMASSA

Biochar is geen afvalstof, maar een product. Er is geen enkele juridische of beleidsmatige belemmering om dit product toe te passen in Nederland of Duitsland. In bijlage 3 zou deze stof kunnen vallen onder sectorplan 24, restproduct van de verbranding van biomassa. Ook daarvoor geldt dat storten over de grens niet mag, net als voor het slibresidu, wat in paragraaf 3.3 is beschreven. Omdat de biochar echter waardevol is en er een goede afzetmarkt voor is in Duitsland, zal dit vooralsnog geen knelpunt voor de afzet in Duitsland en Nederland vormen.

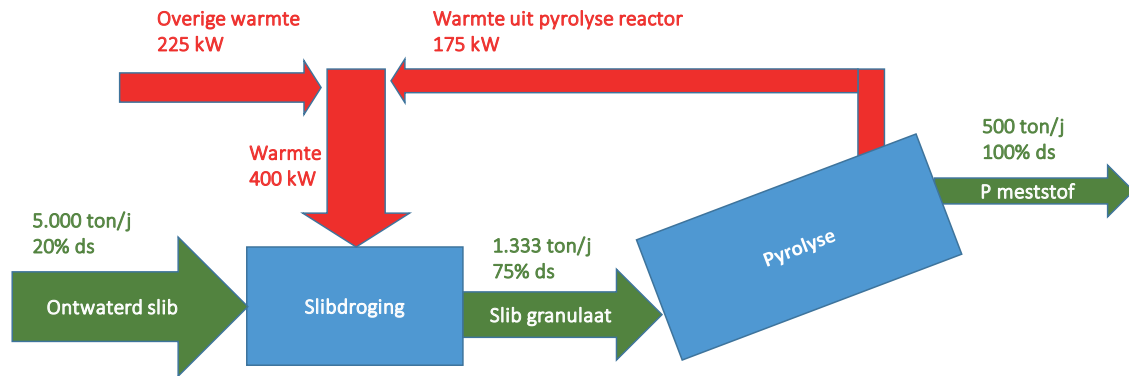
3.5 ENERGIE

De energievraag van een pyrolyse proces is afhankelijk van de verbrandingswaarde van het ingaande materiaal en de eisen aan het eindproduct. Als ondergrens voor het ingaande materiaal wordt een verbrandingswaarde van 10 MJ/kg gehanteerd.

In het geval van zuiveringsslib is een minimaal drogestofgehalte van 70-75% vereist om te komen tot een verbrandingswaarde van 10 MJ/kg (afhankelijk van het organische drogestofgehalte, dus wel of niet vergist slib, etc). Bij de pyrolyse van zuiveringsslib is het eindproduct een fosforrijke meststof. Om tot een zo geconcentreerd mogelijke meststof te komen, moet het koolstofgehalte in het slib zo ver mogelijk gereduceerd worden (dit levert een hoger P gehalte in het slib op). De maximalisatie van de afbraak van organische stof levert weer extra energieproductie op. Uitgaande van de productie van een P rijke meststof uit zuiveringsslib levert een pyrolyse installatie met een capaciteit van 1.000 ton ds/j een vermogen van 175 kW aan warmte. Om het ingaande slib te drogen tot 70-75% droge stof is ongeveer 400 kW nodig. Dit is weergegeven in Figuur 3.2.

⁷ DüMV, Düngemittelverordnung

FIGUUR 3.2 WARMTE BALANS PYROLYSE ZUIVERINGSSLIB (BRON PYREG)



Bruto heeft PYREG een rendement van 45 % warmte (mondelinge informatie PYREG), uit de documentatie van PYREG blijkt dat ca 35 % nuttig kan worden toegepast voor droging. Uit Figuur 3.2 kan worden afgeleid dat er 225 kW aanvullende warmte nodig is om het slib te kunnen drogen. Deze warmte kan bijvoorbeeld geleverd worden door een WKK. Niet uitgegist slib is in principe ook geschikt voor pyrolyse, maar de afwezigheid van een gisting met WKK en (rest)warmte maakt de toepassing minder kansrijk. Indien er een WKK aanwezig is, is er doorgaans in combinatie met de pyrolysewarmte voldoende WKK warmte beschikbaar om het slib te drogen (zie ook paragraaf 4.2 voor een voorbeeldberekening).

De warmtebalans voor een pyrolyse installatie waarmee afvalhout of gedroogd bermgras omgezet wordt naar biochar, ziet er anders uit. Deze biomassa stromen hebben reeds een verbrandingswaarde >10 MJ/kg waardoor de restwarmte van de pyrolyse installatie niet gebruikt hoeft te worden voor droging. Deze restwarmte kan gebruikt worden voor een andere toepassing.

In het geval van de biochar productie bedraagt de hoeveelheid geproduceerde warmte ongeveer 135 kW (tegenover 175 kW bij de productie van P rijke meststof). Dit wordt veroorzaakt doordat de koolstof in het geval van biochar productie minder ver afgebroken wordt (geen stap na pyrolyse).

3.6 SAMENVATTING

Op basis van de informatie in de voorgaande paragrafen en bijlage 1 zijn in Tabel 3.2 de uitgangspunten voor een pyrolyse installatie met een capaciteit van 1.000 ton droge stof per jaar opgenomen.

TABEL 3.2 UITGANGSPUNTEN PYROLYSE INSTALLATIE (INPUT 1.000 TON DS/J)

Uitgangspunt	Eenheid	Waarde
Capaciteit pyrolyse installatie per jaar	ton ds/j	1.000
Temperatuur (bij slibverwerking)	°C	550-580 *
Minimale verbrandingswaarde input materiaal	MJ/kg	10**
Beschikbaarheid installatie	%	85
Productie van slakken	kg/week	15 ***
Deeltjesgrootte ingaand product	< mm	30
Warmteproductie bij omzetting zuiveringsslib tot P meststof	kW th	175
Warmteproductie bij omzetting biomassa naar biochar	kW th	135
Benodigde restwarmte voor slibdroging (capaciteit 1.000 ton ds/j)	kW th	400
Biochar productie	ton/ ton ds	0,3
Meststof productie	ton/ ton ds	0,5****
Elektriciteitsverbruik slibdroging (per ton verdampt water)	kWh/ton	55

* procestemperatuur is afhankelijk van input materiaal

** afhankelijk van hoe droog het er in gaat, dus als het > 65 %, dan is minder (rest)warmte nodig

*** geen aanvullende informatie ter beschikking gesteld over de verwerkingsroute en kosten van deze slakken

**** meststof productie per ton droge stof is hoger dan biochar productie omdat het asgehalte van slib hoger is dan dat van biomassa stromen die gebruikt worden voor de productie van biochar

4

VERKENNING TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN PYROLYSE SLIB EN BIOMASSA

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de toepassingsmogelijkheden verkend voor de pyrolyse van afvalstromen van waterschappen. Allereerst wordt in dit hoofdstuk kort in gegaan op de toepassing van gepyrolyseerd slib als meststof in de landbouw. Vervolgens zijn drie verschillende toepassingsmogelijkheden geformuleerd voor het pyrolyseren van biomassastromen die vrijkomen bij waterschappen. De drie toepassingsmogelijkheden zijn globaal uitgewerkt (technisch en financieel).

4.2 TOEPASSING ALS MESTSTOF

Uit hoofdstuk 3 komt naar voren dat Nederlands slib niet voldoet aan de richtlijnen die opgesteld zijn voor zware metalen. Afzet van het gepyrolyseerde slib (meststof) in de Nederlandse landbouw lijkt ook niet mogelijk, omdat de behandeling van slib (compost) in een pyrolyse installatie geen reductie oplevert van de hoeveelheden zink en koper. De relatieve hoeveelheden zink en koper nemen juist toe wegens de reductie van het koolstofgehalte. Lokaal kunnen er wel verschillen zijn. Vooral nog wordt er van uitgegaan dat de geproduceerde meststof alleen in het buitenland afgezet kan worden. In hoofdstuk 3 is beargumenteerd dat dit mogelijk zou kunnen zijn.

4.3 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN NEDERLAND

De volgende toepassingsmogelijkheden zijn verkend:

- A1: installatie voor pyrolyse rwzi slib en productie van P rijke meststof (afzet in het buitenland)
- A2: pyrolyse slibcompost en productie van P rijke meststof (afzet in het buitenland)
- B1 biochar: pyrolyse van bermgras en productie van biochar

Naast de toepassing van rwzi slib als meststof in het buitenland (A1, A2) zou pyrolyse voor de waterschappen ook interessant kunnen zijn voor de verwerking van andere organische afvalstromen zoals bermgras (B1). Het bermgras wordt allereerst gewassen en geperst om achtereenvolgens het zand en vocht te verwijderen. De resterende grasvezels hebben een drogestofgehalte van 50%, zijn rijk aan lignocellulose en hebben een anorganische fractie van ongeveer 5%. Deze grasvezels kunnen direct de pyrolyse installatie in. Of dit product ook verder opgewerkt kan worden tot actieve kool is niet bekend.⁸

⁸ Contact met dhr J van den Dikkenberg van Cabot Norit

Voor alle toepassingsmogelijkheden is als uitgangspunt een capaciteit van 2.000 ton ds/j aangehouden voor (de droger en) de pyrolyse installatie. In het geval van variant A1 is als praktijkcase rwzi Arnhem-zuid geselecteerd waar op jaarbasis 1.926 ton ds/j geproduceerd wordt (na gisting). Deze capaciteit komt overeen met de capaciteit van twee pyrolyse installaties (elk 1.000 ton ds/j) die (indien nodig) voorafgegaan worden door één banddroger. Deze set up is door het schaal-effect energetisch en kostentechnisch efficiënter dan één pyrolyse installatie en één banddroger. Het ontwaterde slib heeft een droge stof gehalte van 20% en moet gedroogd worden voordat het behandeld kan worden. De totale hoeveelheid slib komt hiermee op 9.600 ton koek/j. De rwzi Arnhem-zuid heeft een slibgisting en WKK waardoor er warmte beschikbaar is.

Voor variant A2 is uitgegaan van de verwerking van slibcompost. Hiervoor is contact opgenomen met een slibcomposteerder. Als uitgangspunt is gehanteerd dat er een hoeveelheid slibcompost verwerkt wordt die gelijk staat aan 2.000 ton droge stof (capaciteit van twee pyrolyse installaties). Het slibcompost heeft een drogestofgehalte van 65% en een asrest van 50%. De totale hoeveelheid slibcompost komt hiermee op 3.058 ton/j (uitgaande van de benodigde 10 MJ/kg ingaand product).

Voor varianten B1 is uitgegaan van de verwerking van voorbehandeld bermgras. De waterschappen produceren dit bermgras zelf bij maaierwerkzaamheden. Voorafgaand aan de pyrolyse installatie wordt het bermgras gewassen en geperst. Als uitgangspunt is gehanteerd dat er jaarlijks 2.000 ton drogestof aan voorbehandeld bermgras verwerkt wordt. Dit komt overeen met 4.000 ton voorbehandeld bermgras. De kosten van het voorbehandelen van het geperste bermgras bedragen 35 euro per ton⁹.

4.4 UITWERKING TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

In deze paragraaf worden de drie toepassingsmogelijkheden technisch en financieel verkend. Allereerst worden uitgangspunten opgesteld, gevolgd door de globale technische en financiële uitwerking.

4.4.1 TECHNISCHE UITWERKING

Op basis van de in hoofdstuk 3 beschreven minimale verbrandingswaarde van het input materiaal zijn in Tabel 4.1 de slibhoeveelheden berekend voor de verschillende toepassingsmogelijkheden. Het benodigde drogestofgehalte is gebaseerd op de minimale verbrandingswaarde van het input materiaal (10 MJ/kg). Aan de hand van de onderstaande formule is voor uit g gist slib, slibcompost en bermgras berekend bij welk drogestofgehalte deze minimaal vereiste verbrandingswaarde gerealiseerd wordt.

$$H_{\text{slib}} = (\text{ODS} * H_{\text{organisch}}) * \text{DS} - H_{\text{verdamping water}} * (1 - \text{DS})$$

Met:

H_{slib}	= stookwaarde in GJ per ton slib materiaal;
$H_{\text{organisch}}$	= 21,318 GJ/ton ODS (organische drogestof);
ODS	= organisch gehalte in de drogestof in (%);
DS	= drogestof gehalte van het slibmateriaal in (%);
$H_{\text{verdamping water}}$	= 2,258 GJ/ton (verdampingswarmte van water).

9 Ervaringen Tauw obv lopend onderzoek 2015 bij Waterschap Rijn en IJssel

TABEL 4.1 SLIBHOEVEELHEDEN

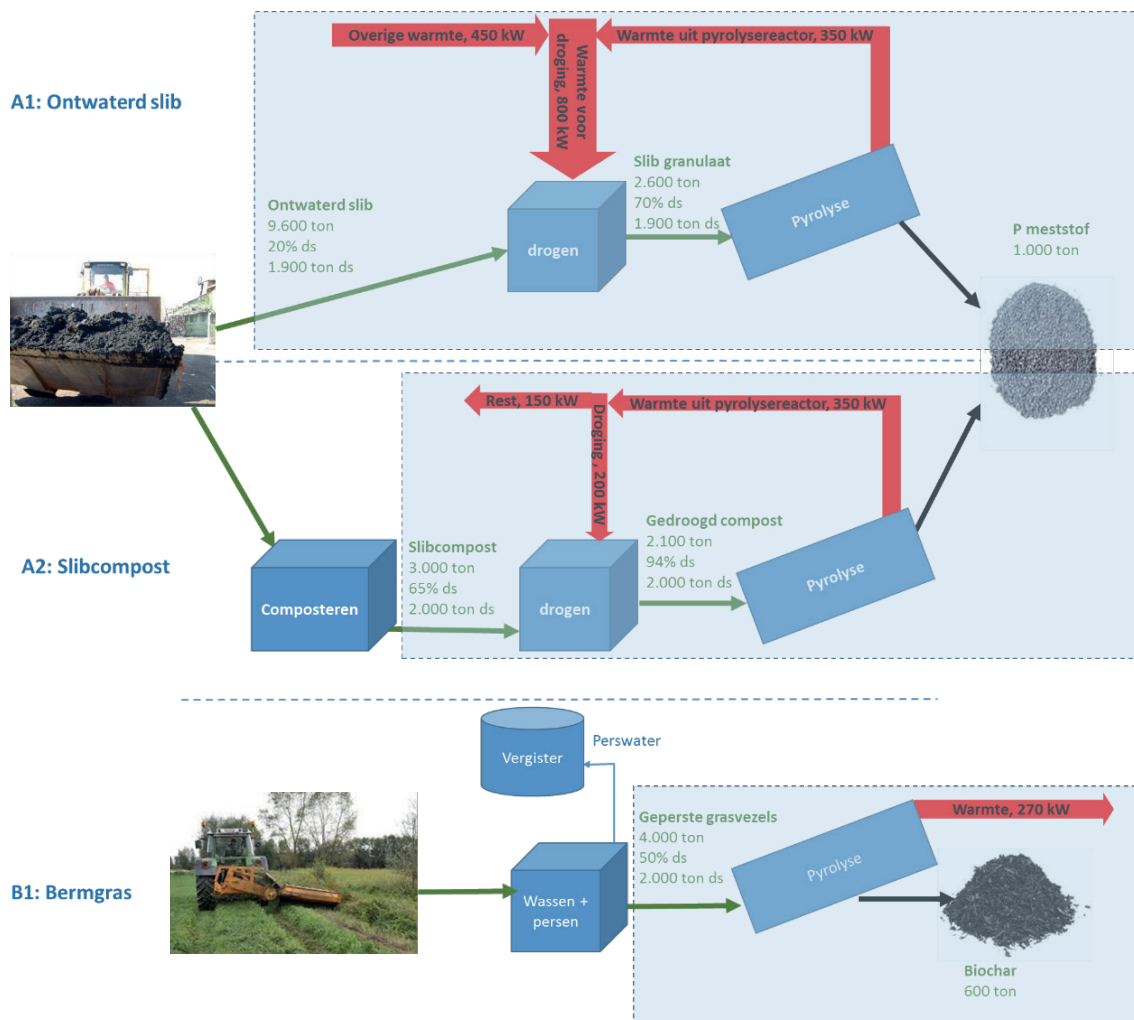
Uitgangspunt	Eenheid	Variant A1	Variant A2	Variant B1
		Rwzi	slibcompost	Bermmaaisel
Input PYREG	-	Ontwaterd slib	Slibcompost	Bermmaaisel (geperst)
Totale vracht	ton/j	9.630	3.058	4.000
Droge stof gehalte	% ds	20%	65%	50%
Asrest	% van ds	34%	50%	5%
Benodigd droge stof gehalte	% ds	75% *	94% *	55% **
Gedroogd product	ton/j	2.568	2.128	3.670
Droge stof input	ton ds/j	1.926	2.000	2.000
Aantal PYREGS	stuks	2	2	2

* vereist droge stof gehalte voor verbrandingswaarde >10 MJ/kg en 500 kW per machine.

** omdat het vereiste drogestofgehalte nagenoeg overeen komt met die van het aangeleverde product is aangenomen dat een banddroger niet nodig is

Op basis van de slibhoeveelheden in Tabel 4.1 zijn in Figuur 4.1 de toepassingsmogelijkheden A1, A2 en B2 grafisch weergegeven. De scope is weergegeven in de blauwe kaders. In deze figuur is ook de productie en het verbruik van warmte opgenomen.

FIGUUR 4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VARIANTEN A1, A2 EN B1



In Figuur 4.1 is te zien dat ontwaterd slib (A1) en slibcompost (A2) gedroogd moeten worden

voordat ze de pyrolyse-installatie ingaan. Dit is noodzakelijk wegens de vereiste verbrandingswaarde van 10 MJ/kg. Het voorbehandelde bermgras (B1) hoeft niet te worden gedroogd, maar is al gewassen en geperst om tot een voldoende hoge verbrandingswaarde te komen. De hoeveelheid product (meststof of biochar) is afkomstig uit documentatie PYREG: 50% van de droge stof in het slib wordt omgezet in P meststof.

Op basis van de geformuleerde uitgangspunten zijn in Tabel 4.2 de verschillende toepassingsmogelijkheden verder uitgewerkt.

TABEL 4.2 UITWERKING TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

Uitgangspunt	Eenheid	Variant A1 Rwzi	Variant A2 Slibcompost	Variant B1 Voorbehandeld bermmaaisel
Benodigde vermogen aan warmte voor droging	MWth	0,8	0,20	0,04
(Band)droger	-	Ja	Ja	Nee
Biogasproductie	Nm ³ /j	808.000	0	0
Restwarmteproductie WKK	MJ/j	19.000.000	0	0
Totaal beschikbaar vermogen restwarmte	MWth	0,95*	0,35**	0,27**
Totaal extra benodigde vermogen aan warmte	MWth	0	0	0

* warmte pyrolyse + WKK

** warmte pyrolyse

Uit Tabel 4.2 kan worden afgeleid dat er zowel in variant A1 als A2 een droger nodig is om het input materiaal een verbrandingswaarde >10 MJ/kg te geven. In variant A1 en A2 is op locatie voldoende restwarmte beschikbaar voor de benodigde slibdroging. In variant B1 hoeft het bermmaaisel slechts enkele procenten gedroogd te worden om te voldoen aan de minimaal benodigde verbrandingswaarde van 10 MJ/kg. Als uitgangspunt voor bermmaaisel is gehanteerd dat er geen banddroger nodig is om deze enkele procenten droging te realiseren (bijvoorbeeld via optimalisatie van de voorbewerking).

4.4.2 FINANCIËLE UITWERKING

De kosten van de pyrolyse installatie (bouwkosten, beheer en onderhoud en variabele kosten) zijn gebaseerd op informatie die verkregen is tijdens het bedrijfsbezoek (bijlage 1). Deze kosten zijn richtinggevend. Per project moeten de kosten op maat bekeken worden¹⁰.

De bouwkosten van een banddroger met een capaciteit van 400 kg water/h zijn opgevraagd bij een leverancier van banddrogers. De kosten van de kleinere drooginstallatie voor slibcompost zijn op basis van die raming ingeschat. De bouwkosten van een pyrolyse-installatie voor de behandeling van rwzi slib bedragen EUR 500.000, tegenover EUR 350.000 voor een pyrolyse-installatie waarmee andere afvalstromen behandeld worden. De reden hiervoor is, dat er bij de behandeling van slib een extra naverbrandingscompartiment en actieve koolfilter nodig zijn.

De investeringskosten worden berekend door de bouwkosten van de pyrolyse installaties (en de banddroger) te vermenigvuldigen met een toeslagfactor van 2. Deze factor is een ruwe inschatting van de benodigde kosten voor leidingwerk, besturing, eenvoudige civiele constructie (betonnen plaat met afdekking), risico, winst, BTW en overige bijkomende kosten¹¹.

De kosten voor beheer en onderhoud van de pyrolyse installatie zijn EUR 40.000 per jaar en

10 Let op dat er enkel een (eenvoudige) rookgasbehandeling nodig is voor zuiveringsslib (ivm Hg). Niet voor de meeste biomassastromen.

11 PYREG vindt deze benadering te ruw. Pyreg en droging worden gebouwd in modules af fabriek inclusief besturing en electro, waardoor de toeslagfactor kleiner zou kunnen zijn. PYREG raamt de all-in kosten (ex BTW) voor Droger+Pyreg op 1,5- 2 M Euro (fundering op staal, ex connecting pipe work). Hier hoeft dus (volgens PYREG) geen opslagfactor (anders dan BTW) meer overheen. De praktijk leert dat er voor een waterschap altijd nog bijkomende kosten zijn. Daarom is de raming in het rapport niet aangepast. Mogelijk zit er dus nog wat marge in de raming.

de variabele kosten bedragen EUR 25.000 per jaar (elektriciteit, afvoer restslakken, koolfilter). De kosten voor beheer en onderhoud van de banddroger zijn ingeschat op EUR 40.000 per jaar (zowel onderdelen als personeel).

De kosten voor de afzet en het transport van het gepyrolyseerde slib (meststof) zijn ingeschat als kosten neutraal (0 EUR/ton). De geproduceerde meststof heeft een gehalte van >10% aan P₂O₅ en kan goed in het buitenland ingezet worden als bodemverbeteraar. Om de kosten van transport te compenseren, moet de afnemer dus wel betalen (of gratis ophalen). PYREG: “De waarde van as uit slib is sterk in verhouding met het P gehalte. Uit de waarde van het product worden de afzetkosten (opslag, transport, marketing) betaald”.

Biochar wordt toegepast als bodemverbeteraar en vertegenwoordigt een waarde van 720 EUR/ton (bron Pyreg). In dit onderzoek is voor de waarde een range ingeschat van 400 – 750 EUR/ton.

Het perswater van het bermgras kan worden vergist waardoor per ton bermgras 35 m3 aan biogas geproduceerd wordt. De extra energieproductie uit het biogas van het geperste gras wordt niet meegenomen in de baten.

De financiële uitgangspunten zijn samengevat in Tabel 4.3.

TABEL 4.3

FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Aspect	Eenheid	Waarde
Bouwkosten pyrolyse installatie voor biochar productie	EUR	350.000 *
Bouwkosten pyrolyse installatie meststof productie	EUR	500.000 *
Bouwkosten banddroger slibdroging variant A1	EUR	1.000.000 *
Toeslagfactor (tbv randvoorzieningen, leidingwerk, eenvoudig civiel (fundering met dak) winst, risico, BTW, overige kosten)	Factor	2
Afschrijving mechanisch	jaar	10
Rente	%	5,0
Annuïteit mechanisch	Factor	0,130
Beheer en onderhoud PYREG	EUR/j	40.000
Beheer en onderhoud banddroger	EUR/j	40.000 **
Variabele kosten PYREG (elektriciteit, chemicaliën, etc)	EUR/j	25.000
kosten arbeid	EUR/h	60
kosten elektriciteit	EUR/kWh	0,1
Energie inhoud methaan	MJ/Nm ³	35,9
Percentage methaan in biogas	%	65
Kosten restwarmte rwzi	EUR/MWh	0 ***
Kosten gas	EUR/Nm ³	0,4
Kosten warmte uit gas	EUR/MWh	40
Afzet P meststof uit slib	EUR/ton	0
Kosten voorbehandeling geperst gras	EUR/ton	35
Waarde biochar	EUR/ton	400 – 750 **

*bouwkosten (exclusief toeslagfactoren en kosten voor gebouw/leidingwerk)

**inschatting (PYREG schat in 720 euro/ton)

***uitgaande van benutting restwarmte WKK

In Tabel 4.4 zijn de jaarlijkse kosten opgenomen. De afschrijving is gebaseerd op de

investeringskosten voor de pyrolyse installaties en de eventueel benodigde banddroger en luchtbehandeling. Inclusief benodigde kosten voor leidingwerk, besturing, eenvoudige civiele constructie (betonnen plaat met afdekking), leidingwerk, risico, winst, BTW en overige bijkomende kosten.

TABEL 4.4 JAARLIJKSE KOSTEN VARIANTEN A1 EN A2 EN B1

Uitgangspunt	Eenheid	Variant A1	Variant A2	Variant B1
		Rwzi	Slibcompost	Bermmaaisel
Voorbehandeling product	EUR/j	0	0	128.440
Afschrijving (alleen W)	EUR/j	518.000	390.000*	181.000
Beheer en onderhoud	EUR/j	120.000	120.000	80.000
Variabele kosten (energie, chemicaliën, etc)	EUR/j	89.000	55.000	52.000
Kosten warmte tbv droging	EUR/j	0	0	0
Opbrengst eindproduct	EUR/j	0	0	-240.000 / -450.000
Totale kosten	EUR/j	727.000	565.000	-9.000 / 201.000 **

* hierbij zijn de kosten van de droger gedownscaled tov variant A1

** afhankelijk van de waarde van de biochar (EUR 400 – 750 / ton) lopen de jaarlijkse kosten uiteen van beperkte baten (EUR 9.000) tot een kostenpost van EUR 200.000.

In Tabel 4.4 is te zien dat de kosten voor variant A1 op jaarbasis circa EUR 700.000 bedragen. De capaciteit van de droger en pyrolyse installaties bedraagt een kleine 10.000 ton aan ontwaterd slib per jaar waardoor de kosten per ton slibkoek grofweg op EUR 70 per ton slibkoek uitkomen. PYREG: “eerdere economische analyses laten zien dat Pyreg met een kostenniveau van rond de 60 Euro/ton uit kan (dit is ook bij het bedrijfsbezoek ook aan de orde gekomen, zie bijlage 1)”.

De kosten voor variant A2 bedragen op jaarbasis EUR 565.000. Deze kosten hebben betrekking op de droging en pyrolyse van 3.000 ton gecomposteerd slib waardoor de kosten per ton slibcompost neer komen op EUR 200 / ton. De huidige verwerkingskosten van slibcompost bedragen ongeveer EUR 30 / ton waardoor de pyrolyse van slibcompost niet haalbaar lijkt te zijn.

Voor de verwerking van geperst en gewassen bermgras (B1) is geen drooginstallatie nodig en kan volstaan worden met een eenvoudigere pyrolyse installatie (geen rookgasbehandeling of na-carbonisatie). De afschrijving valt hierdoor lager uit. De voorbehandeling van het product brengt kosten met zich mee, maar daar tegenover staan de baten uit de verkoop van de geproduceerde biochar. De baten uit de verkoop van de geproduceerde biochar zijn sterk afhankelijk van de inkomsten per ton biochar. In deze studie is hiervoor een range van EUR 400 – 750 per ton opgenomen waardoor de jaarlijkse kosten uiteenlopen van beperkte baten (EUR 9.000) tot een kostenpost van EUR 200.000. De kosten van huidige gebruikelijke verwerkingswijzen van bermgras variëren van enkele Euro's per ton (lokaal onderwerken van gras), tot € 10-20,-/ton voor professionele compostering¹². Op voorhand kan dus niet gezegd worden of pyrolyse van bermmaaisel financieel kansrijk is. Het hangt sterk af van de werkelijke opbrengst van de biochar.

12 Biogas uit gras -een onderbenut potentieel, Een studie naar kansen voor grasvergisting, Brinkmann Consultancy, RVO, 2014

5

DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 DISCUSSIE

De verkenning van pyrolyse van slib was ingegeven door de theoretische mogelijkheid om actieve kool te maken uit slib ten behoeve van effluentpolishing. Uit de contacten met de leverancier PYREG ('site visit') bleek echter dat slib te weinig lignine en te veel as bevat om een koolstofrijk product te maken dat geschikt is voor actieve kooltoepassingen. De officiële term voor carbonisatie van slib is dan ook eigenlijk onjuist, omdat er maar weinig koolstof in het product zit, daarom wordt in dit rapport gesproken over pyrolyse. PYREG spreekt zelf over een verbranding in twee stappen: de vorming van as en productie van productgas en de verbranding van het productgas.

Bij de verkenning van pyrolyse van zuiveringsslib kwam wel aan het licht dat de techniek een alternatief voor slibeindverwerking kan zijn. Door veranderingen in de Duitse wetgeving moet in de toekomst in principe alle rwzi slib via monoverbranding worden verwerkt. Dit zal grote veranderingen met zich meebrengen in de slibmarkt in Duitsland en zal ook de afzetmogelijkheden van verwerkt rwzi slib beïnvloeden, wellicht ook in Nederland.

De techniek van pyrolyse is in Duitsland een alternatief voor monoverbranding. PYREG is een techniek op relatief kleine schaal (modulair 1.000 ton ds/j), maar toepassing op grotere centrale schaal lijkt ook mogelijk (Eisenmann). Deze techniek is energetisch vergelijkbaar met monoverbranding. Ten opzichte van andere nieuwe alternatieven op slibeindverwerking, zoals drogen met restwarmte en het toepassen van granulaat als biobrandstof (ENCI of kolencentrales) is de energiebalans minder gunstig, want er wordt geen elektriciteit opgewekt, terwijl dat bij de thermische verwerking van gedroogd slib als biobrandstof wel gebeurt.

Na pyrolyse bij 500-650 °C ontstaat een asproduct met daarin een hoog gehalte aan fosfor (10-20 % P₂O₅). Deze fosfor is goed beschikbaar voor planten en kan dus als een goede meststof worden beschouwd. Dit alternatief op slibeindverwerking kan dus bijdragen aan het ketenakkoord fosforrecycling en bijdragen aan lokale kringloopsluiting (door de kleinschalige modulaire opbouw en de mogelijkheid van weinig transport). Vóór pyrolyse moet het slib voorgedroogd zijn (voor communaal zuiveringsslib tot circa 70-75 % ds). Met de vrijkomende warmte van de pyrolyse kan in een deel van de energievraag voor drogen worden voorzien. Er is daarnaast nog aanvullend lage temperatuur warmte nodig.

In Nederland mag de geproduceerde P-meststof niet in de landbouw worden toegepast, wegens de te hoge gehalten zware metalen. In Duitsland zijn de waarden van de normen voor toepassen een stuk minder streng waardoor Duits gepyrolyseerd slib prima kan worden afgezet in de landbouw. Naar verwachting zal Nederlands gepyrolyseerd slib ook aan deze eisen gaan voldoen en kan het ook afgezet worden, mits er een vergunning voor export wordt gegeven.

Uitvoer over de grens lijkt mogelijk, omdat de verwerking van het “slibverbrandingsproduct” (LAP2) beschouwd kan worden als nuttige toepassing en niet als storten. De techniek wordt niet exact in het LAP beschouwd, maar de auteurs menen dat dit onder sectorplan 22 zou kunnen vallen.

Qua kosten (60-70 euro per ton koek) is de techniek iets goedkoper dan de huidige kosten van monoverbranding. Optimalisaties zijn mogelijk, bijvoorbeeld combinatie van meer PYREGS met 1 droger of combinatie met pyrolyse van andere biomassa met uitwisseling van warmtestromen. Dat zal zeker een positief effect hebben op de ‘business case’.

De techniek van pyrolyse wordt in Duitsland ook gebruikt op andere organische reststromen. Er wordt dan biochar van gemaakt. Het product mag biochar heten als het > 50% koolstof bevat en op de positieve lijst voor certificering staat. Deze biochar heeft gunstige eigenschappen als bodemverbeteraar. Biomassastromen zoals bermgras of snoeiafval zijn geschikt als grondstof voor biochar productie. Deze biomassastromen hebben een hoger gehalte aan koolstof en lignine waardoor er door middel van pyrolyse een gecertificeerde biochar geproduceerd kan worden.

In Duitsland is er veel vraag naar gecertificeerde biochar, waardoor er een goede opbrengst voor het product wordt verkregen (EUR 720 per ton). Deze techniek kan dus ook voor andere biomassa reststoffen van Nederlandse waterschappen en/of gemeenten interessant zijn. In de praktijk moet blijken wat dan de daadwerkelijke opbrengst van biochar is. PYREG zal deze stromen wellicht willen afnemen. Transport over de grens zal geen probleem zijn, omdat het een product is en geen afvalstof. Als we kijken naar sectorplan 24 uit het LAP2 is storten ook niet toegestaan. Dat zal echter voor dit waardevolle product geen probleem zijn. Als PYREG een exportvergunning aanvraagt, zal deze naar verwachting worden verkregen.

5.2 CONCLUSIES

De volgende conclusies kunnen worden geformuleerd:

- Pyrolyse van zuiveringsslib levert een koolstofarme as op met een hoog P gehalte (P_2O_5 > 10%). Deze fosfor is voor planten goed opneembaar en kan in Duitsland worden afgezet als meststof. Zuiveringsslib heeft een te laag lignine gehalte voor toepassing als biochar.
- In Nederland kan de meststof uit gepyrolyseerd communaal slib niet worden toegepast, wegens de strenge normen voor koper en zink. Gepyrolyseerd slib uit Nederland voldoet wel aan de Duitse normen voor zware metalen en het lijkt mogelijk dit in Duitsland af te zetten;
- Energetisch is het minder aantrekkelijk dan de toekomstige potentiële route slibdrogen en het granulaat verwerken als biobrandstof, omdat er geen elektriciteit uit het slib wordt opgewekt.
- Pyrolyse leent zich voor toepassing op kleine schaal en zou een bijdrage kunnen leveren aan lokale kringlopen (weinig transport). Daarmee levert het een bijdrage aan het ketenakkoord P recycling.
- De kosten voor de pyrolyse van ontwaterd communaal slib en omzetting in een fosfaatrijke meststof voor export naar Duitsland zijn iets goedkoper dan de huidige kosten van monoverbranding. Kostenreductie lijkt mogelijk door toepassen van combinaties van pyrolyse met andere biomassastromen (qua schaalgrootte, utilities, warmteuitwisseling, etc).
- De pyrolyse van biomassastromen met een hoog ligninegehalte (zoals bermmaaisel, hout) resulteert in biochar (>50% koolstof). Dit is een aantrekkelijke bodemverbeteraar waar in Duitsland een goede markt voor is.

5.3 AANBEVELINGEN

Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Stakeholders in de slibverwerking hebben er baat bij de ontwikkelingen in Duitsland en van PYREG en andere bedrijven die bezig zijn met pyrolyse goed te volgen. Er zal te zijner tijd meer zicht komen op haalbare 'business cases', qua schaalgrootte en bijvoorbeeld door het combineren van verwerkingsroutes en een goede afzet van slibmeststof in Duitsland en biochar in Duitsland en Nederland;
- Voor de leveranciers is het voor de inschatting van de haalbaarheid in Nederland zinvol om een aantal potentiële Nederlandse 'business cases' meer in detail uit te werken. Daarbij lijkt het nuttig, de kansen voor potentiële biomassaströmen in Nederland zoals bermgras verder verkennen, inclusief de mogelijke opbrengsten;
- Daarnaast zijn de volgende vragen relevant voor de toekomst van de technologie (in Nederland):
 - Nader onderzoek naar de afzetmogelijkheden van meststof in het buitenland, anders dan Duitsland
 - LCA studie naar de CO₂ uitstoot en terugwinning van fosfor (en opname in de planten) van de slibpyrolyse in vergelijking met andere routes van slibeindverwerking en fosfor terugwinning
 - Inzicht krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van de verdere opwerking van biochar naar actieve kool (vergroten van soortelijk oppervlak biochar)

BIJLAGE 1

BEDRIJFSBEZOEK PYREG

ALGEMEEN

PYREG is in 2004 gestart met als doel om zuiveringsslib te pyroliseren. Inmiddels zijn er 9 installaties op biomassa en 3 op zuiveringsslib in bedrijf of gaan in 2015 in bedrijf (totaal 12). Deze zijn gelegen in Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk. Voor slib staat er een installatie in Linzunkle (Duitsland) en staan er twee in Dornbirn (Oostenrijk). Op de productielocatie van PYREG in Dörth draait ook een PYREG installatie op houtafval waarvan de restwarmte geleverd wordt aan een naburig bedrijf.

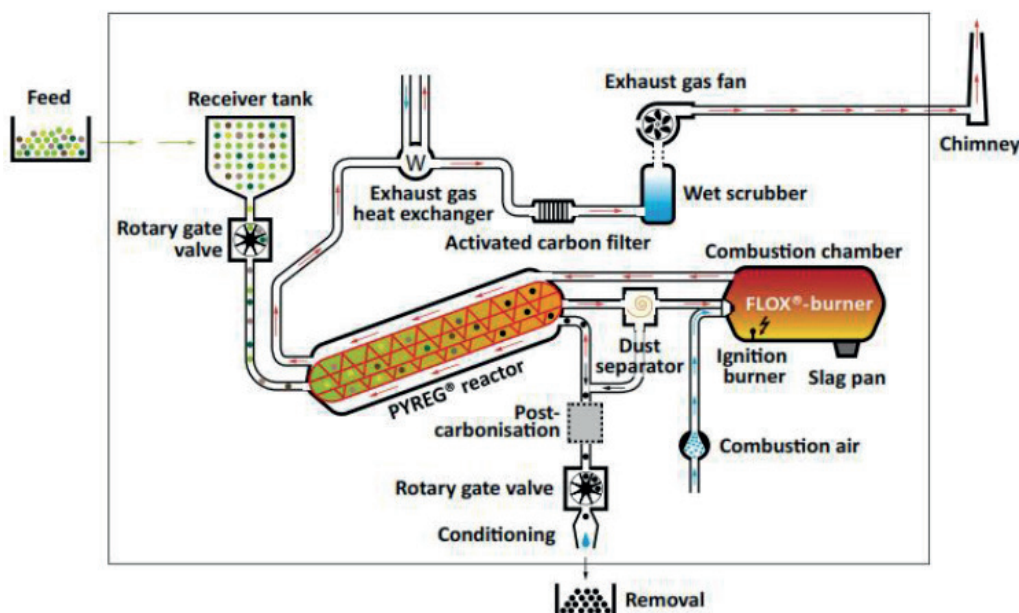
BEDRIJFSBEZOEK

Op 8 april 2015 is door de STOWA begeleidingscommissie en met de hulp van Eliquo Water & Energy een bezoek gebracht aan de productielocatie van PYREG in Dörth (nabij Koblenz). Het doel van het bezoek was om meer inzicht te krijgen in de technologie en de toepassingsmogelijkheden.

BESCHRIJVING VAN PYREG PROCES

Het processchema van de PYREG is weergegeven in figuur A1.

FIGUUR A1 PROCESSHEMA PYREG (BRON: PYREG EN ELIQUO WATER & ENERGY)



Het inputmateriaal komt vanuit de ontvangttank in de reactor terecht waar het omgezet wordt in kool en syngas. Het syngas wordt gereinigd (stoffilter) en vervolgens verbrand in een speciaal ontwikkelde brander (FLOX burner). De verbrandingsgassen uit de FLOX brander worden gebruikt om de PYREG reactor te verwarmen. Door deze verbrander kunnen strenge emissie eisen worden gehaald. Een warmtewisselaar haalt de resterende warmte uit de verbrandings-gassen waarna een actiefkoolfilter en een natte wasser de verbrandingsgassen

reinigen. De 'post carbonisation' stap en de scrubber in Figuur A1 zijn alleen van toepassing bij de verwerking van zuiveringsslib. Het doel van de 'post carbonisation' is om de resterende koolstof zoveel mogelijk te reduceren waardoor de warmteproductie en het procentuele gehalte aan fosfor toenemen. Het drogestofgehalte van ingaand slib moet >65% zijn, dan is er geen risico op verkleving. De minimale verbrandingswaarde van de ingaande biomassa moet minimaal 10MJ/kg zijn. In het geval van zuiveringsslib is minimaal alle thermische energie uit het slib nodig voor de droging van het slib (van 20% naar 65% ds).

In het geval van zuiveringsslib (en andere biomassa met een te laag droge stof gehalte) wordt de PYREG installatie gecombineerd met een banddroger. De banddroger benut de beschikbare restwarmte van de PYREG (en restwarmte van bijvoorbeeld een WKK). Een banddroger wordt pas financieel interessant wanneer er meerdere PYREG installaties staan. De kosten van de banddroger worden op deze manier verdeeld over een groter aantal installaties.

TE BEHANDELEN BIOMASSASTROMEN

Marcel Rensmann: de PYREG installatie wordt eigenlijk voor twee doeleinden gebruikt:

- Omzetten van biomassa met hoog koolstofgehalte in biochar (C gehalte >50%) en warmte
 ↳ goed verkoopbaar product
- Omzetten van rwzi slib (en andere biomassa stromen met relatief laag koolstof gehalte) in een meststof (P gehalte >10%) en warmte

Biochar

Voor de productie van goede biochar is biomassa met voldoende koolstof en lignine nodig. Dit bepaalt de eigenschappen van biochar zoals de adsorptiecapaciteit en capaciteit om water vast te houden. Biochar moet >50% koolstof bevatten (biochar certificate, zie bijlage 2).

Ook andere substraten zoals zeefgoed (cellulose) zijn bekeken. Zeefgoed bevat weinig structuur/lignine waardoor de gevormde kool niet geschikt is als biochar. Goede grondstoffen voor biochar zijn kersenpitten, kokosnootschillen en ander hard materiaal. Het soortelijk oppervlak van dit type biochar (Planzenkohle) is 150 – 200 m²/gram. Het doel is om te komen tot een specifiek oppervlak > 1.000 m²/g omdat je dan actief kool produceert (veel waardevoller) ↳ EUR 2.000 / ton. Overwogen wordt om aan het begin van de PYREG (voorafgaand aan het 1^e compartiment) fosforzuur te doseren of om aan het einde (voorafgaand aan de quench) een stoombehandeling toe te passen. Er wordt momenteel druk getest welke techniek het meest geschikt is om het specifiek oppervlak te vergroten.

Kunstmest / grondverbeteraar

PYREG is een alternatief voor centrale monoverbranding en maakt de directe toepassing van het product als fosforkunstmest (fosfor >10%) mogelijk in Duitsland.

In het geval van slibverwerking is het doel om het koolstofgehalte zoveel mogelijk te reduceren (maximaliseren P gehalte en maximale thermische energie productie). Eigenlijk is het een soort van monoverbranding waarbij er tevens een waardevolle meststof geproduceerd wordt (waarbij de P biologisch beschikbaar is).

De beschikbaarheid van P uit gecarboniseerd slib is 90% voor bio-P slib en 82% bij slib van rwzi met chemische P verwijdering. Een partner bedrijf van PYREG kan korrels maken van het gecarboniseerde slib.

Een temperatuur van 550- 580 °C is optimaal voor een goede P beschikbaarheid. Bij een temperatuur van 800 °C is de beschikbaarheid van P slecht.

Het drogestofgehalte dient >65% te zijn, dan is er geen risico op verkleving.

Het gevormde product kan het beste beschreven worden als as, met een hoog gehalte aan fosfor (>10%). Kwik verdampt voor 99,9% en wordt door een koolfilter afgevangen. De zink- en koperconcentraties in het gevormde product zullen zeer waarschijnlijk niet voldoen aan de Nederlandse wetgeving (Deze eisen zijn in Nederland strenger dan in Duitsland). In Duitsland zijn slibben van 50 rwzi's gecarboniseerd en daarvan voldoet 90% aan de Duitse mestrictlijnen (dus ook voor zware metalen).

KENMERKEN PYREG INSTALLATIE

De capaciteit van een PYREG500 is 500 kW en voor communaal zuiveringsslib circa 1.000 tons ds per jaar. Uitgaande van een drogestofgehalte van het ontwaterde slib van 20% komt dit neer op 5.000 ton slibkoek per jaar. Het ingaande materiaal van de PYREG moet een verbrandingswaarde hebben van 10MJ/kg.

De capaciteit van één PYREG500 is voldoende voor de behandeling van het slib van een rwzi van 30.000-50.000 i.e.

BEHEER EN ONDERHOUD

De PYREG installatie dient elke 8-10 dagen uit bedrijf genomen te worden (voornamelijk voor de verwijdering van 10-20 kg/week aan slakken ↘ categorie 2 afval, naar stortplaats). De installatie heeft een beschikbaarheid van 85% (7.500 uur bedrijfsuren per jaar).

ENERGIE

De PYREG draait autotherm op de warmte die vrijkomt bij de verbranding van het geproduceerde syngas. Daarboven op produceert de PYREG bij de behandeling van rwzi slib 150 – 200 kW aan warmte. Om ontwaterd rwzi slib voldoende te kunnen drogen (van 20-25% ds naar 60-80% ds) is een vermogen van 400 kW aan warmte nodig. Op een rwzi met een gisting en een WKK is deze warmte beschikbaar. Indien geen gisting beschikbaar is moet de warmte dus ergens anders vandaan gehaald worden. Een mogelijkheid is om een extra PYREG neer te zetten waarin bijvoorbeeld bermmaaisel behandeld wordt. De extra beschikbare warmte kan dan ingezet worden voor slibdroging.

EMISSIES

De emissies van de PYREG voldoen aan de 17. Bimsch (*idem aan activiteitenbesluit 5.2*).

Het rejectiewater van de natte scrubber gaat terug naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (hoog zwavelgehalte). Deze stroom is zeer beperkt.

KOSTEN EN BATEN (OP BASIS VAN MONDELINGE INFO VAN PYREG)

De investeringskosten van de PYREG type 500 bedragen EUR 350.000 voor een installatie voor de behandeling van hoogwaardige biomassa en EUR 500.000 voor een installatie voor de behandeling van slib (inclusief gaswasser en quench).

De jaarlijkse kosten voor een PYREG bedragen EUR 110.000 per jaar (ex slibdroging). De kosten van een banddroger bedragen circa EUR 700.000. Het meest economisch is om één banddro-

ger te plaatsen voor meerdere PYREGs (2 of 3). Kassendroging van slib zou een nog economischer alternatief kunnen zijn. Grofweg bedragen de kosten voor PYREG 30 EUR/ton slibkoek en de kosten voor droging ook 30 EUR/ton slibkoek (totale kosten voor slibeindverwerking = 60 EUR/ton slibkoek). Het product (fosfor kunstmest) is kostenneutraal af te zetten.

De businesscase bij de productie van biochar is gunstig vanwege de stijgende biochar prijzen. Biochar uit hout/bast vertegenwoordigd een waarde van EUR 720 per ton (PYREG).

TOEKOMST: P TERUGWINNING UIT SLIB

Vanaf 2024 wordt monoverbranding van slib verplicht in Duitsland (inclusief P terugwinning). De monoverbrandingscapaciteit is momenteel 500.000 ton ds/j en er moet 1.500.000 ton ds/j bij komen. De benodigde investeringen bedragen naar schatting 3 miljard euro. Bij conventionele monoverbranding moet het as bewerkt te worden om de fosfor beschikbaar te maken (Ecophos proces). De kosten hiervan bedragen volgens PYREG EUR 400/ton ds (EUR 100 per ton slibkoek van 25% ds). De totale kosten per ton koek bedragen in dat geval 100 + 65 = EUR 165 per ton.

Opmerking Tauw: De huidige kosten van as van SNB bedragen 67 EUR/ton, volgens SNB kunnen ze deze bij Ecophos kosten neutraal afzetten (of zelfs met een kleine opbrengst). Dat betekent dus dat de slibeindverwerking circa 6 EUR/ton koek goedkoper wordt. Dit moet nog worden gerealiseerd in de praktijk maar de inschatting van PYREG lijkt duidelijk te hoog.

HOOFDCONCLUSIES WERKBEZOEK

- rwzi slib is niet geschikt om te worden omgezet naar biochar omdat het koolstofgehalte te laag is en het geen lignine bevat
- Rwzi slib wordt met het PYREG proces omgezet in een fosfaatrijke meststof (P gehalte > 10%) die in het buitenland op het land gebracht zou kunnen worden
- Afvalstromen zoals bermgras, hout afval, groente en fruit afval en industriële afvalstromen kunnen met een PYREG omgezet worden in biochar (koolstof gehalte > 50%). Een goede bodemverbeteraar.
- De techniek heeft inmiddels diverse praktijkinstallaties geleverd, met een aantal jaren ervaring. Daarmee heeft het zich in de praktijk voor een aantal toepassingen bewezen.

BIJLAGE 2

CERTIFICERING BIOCHAR

Het European Biochar Certificate bevat een uitgebreide omschrijving van de eisen die aan biochar gesteld worden (niet opgenomen). Eén van de belangrijke eisen betreft een minimaal koolstof gehalte van 50%. Andere belangrijke eisen hebben betrekking op de duurzaamheid van het input materiaal. Hieronder is de positieve lijst opgenomen voor de productie van biochar (de stoffen die in principe een certificaat kunnen krijgen, dat je het biochar mag noemen).

Positive list of biomasse feedstock approved for use in producing biochar	Version: 1 October 2013
European Biochar Certificate	

Biomasses

Origin	biomasse feedstock	Special requirements for basic grade biochar	Special requirements for premium grade biochar	Biomass for woodchar
Local waste collection services with waste separation	Biodegradable waste Biodegradable waste with kitchen waste Biodegradable waste with kitchen waste and leftovers			
Garden waste	Leaves	No street cleaning waste		
	Flowers	Only waste not / no longer usable as animal feed		
	Vegetables	Attached soil is deemed an additive and must not account for more than 10% of DM		Yes
	Roots			Yes
	Prunings from trees, vines and bushes			Yes
Agriculture and forestry	Cippings from nature conservation measures	Only waste not / no longer usable as animal feed		Yes
	Harvest leftovers			
	Straw, used straw, husks and grain dust	Attention: health & safety precautions where dust is involved Only waste not / no longer usable for human consumption or as animal feed		
	Grain, feedstuffs, fruit		Biomasses must have been produced in a sustainable manner	Yes
	Grain, feedstuffs, prunings from biomass plantations grown for energy or biomass use (renewable resources)			Yes
Kitchens and canteens	Prunings from trees, vines and bushes			Yes
	Seeds and plants			Yes
	Bark and chippings	Only from untreated		Yes
	wood	Wood		Yes
Vegetable production	Sawdust, wood shavings, wood wool			Yes
	Kitchen, canteen and restaurant leftovers	check chlorine content, dioxin analysis		
Waterway maintenance	Material from washing, cleaning, peeling, centrifuging and separation processes			
	Pulp, pips, peelings, shreds or pomace (e.g., from oil mills, spent grain)			
	Raked off material, flotsam, fishing residues			
(vegetable material)	harvested material, water plants			
Animal by-products	Hides and skins, bristles, leathers, hair	Subject to national hygiene regulations		
	Bones	check chlorine content - dioxine analysis		
	Manure	only vegetable		
Materials from food and confectionary production	Expired food and confectionary	Material		
	Leftovers from the production of canned food			
	Leftovers from the production of canned food			
	Seasoning residues			
	Residues from potato, corn or rice starch production			
	Residues from dairy processing			
	Fruit, grain and potato residues, alcohol distillery residues			
	Brewer's grain, germs and dust from spent hops in beer production, lees and sludge from breweries			
	Marc, wine lees, sludge from the winemaking			
	Tobacco, tobacco dust, stalks, ribs, sludge			
	Tea and coffee grounds			
	Fruit			
	Treacle residues			
Oilseed residues				
Mushroom substrates				
Fish residues				
Eggshells				
Textiles	Cellulose, cotton and vegetable fibres	only from untreated		
	Hemp, sisal and other fibres	Textile fibres		
	wool leftovers and wool dust	only from wood fibres not treated chemically (a contamination analysis of the paper fibre sludge must be presented)		
Paper production	Paper fibre sludge			
Plant-based packaging material	Cotton and wood fibres	not chemically modified		
Origin		of solely natural		
		origin, untreated		
Biogas plants	Fermentation residues		biomasses for biogas plants must be produced sustainably	

Additives

Additives are used to improve pyrolysis conditions and biochar quality. They must not total more than 10% of the pyrolysed biomass (DM).

Group	Initial materials	Special requirements for basic grade biochar	Special requirements for premium grade biochar
Mineral-organic ingredients	Lime Lignite Bentonite Rock flour Clay Loam Soil		

Applications for the inclusion of other biomasses not listed in the positive list may be submitted to the European Biochar Foundation (www.european-biochar.org)

Daarnaast is de inzet van alle vormen van zuiveringsslib als hulpstof in Hydrostab voor toepassing op een stortplaats toegestaan.

III In- en uitvoer

Het toetsingskader, de bezwaargronden en de bijbehorende procedures voor in- en uitvoer zijn opgenomen in hoofdstuk 'Toetsingskader in- en uitvoer' van het beleidskader. De uitwerking voor afvalwaterzuiveringsslibben is:

(Voorlopige) verwijdering

Uitvoer voor storten is op grond van nationale zelfverzorging in beginsel niet toegestaan.

Uitvoer voor verbranden als vorm van verwijdering is in beginsel toegestaan.

In- en uitvoer voor voorlopige verwijdering zijn in beginsel niet toegestaan op grond van nationale zelfverzorging wanneer als vervolghandeling een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort.

Invoer voor storten is op grond van nationale zelfverzorging en/of nationale wettelijke bepalingen in beginsel niet toegestaan.

Invoer voor verbranden als vorm van verwijdering is in beginsel toegestaan wanneer de verwerking in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard.

Invoer van afvalwaterzuiveringsslibben, met uitzondering van slibben uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie voor verbranden als vorm van verwijdering is in beginsel toegestaan wanneer de verwerking in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard.

Invoer van afvalwaterzuiveringsslibben uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie voor verbranden als vorm van verwijdering is in beginsel niet toegestaan, omdat de verwerking niet in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard, tenzij sprake is van de daarbij vermelde uitzondering.

(Voorlopige) nuttige toepassing

Uitvoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan, tenzij uiteindelijk zoveel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort dat de mate van nuttige toepassing de overbrenging niet rechtvaardigt. Voor afvalwaterzuiveringsslibben geldt dat iedere mate van storten in beginsel te hoog is om de overbrenging te rechtvaardigen omdat nuttige toepassing of verbranden als vorm van verwijdering mogelijk is.

Invoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan wanneer de verwerking in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard.

van reststoffen van biomassaverbranding direct in zoutkoepels, worden alleen aangemerkt als een handeling van nuttige toepassing voor zover reststoffen van biomassaverbranding daarbij in de plaats komt van primaire grondstoffen die anders voor het vervaardigen van de mortels of het vullen van de zoutkoepels hadden moeten worden gebruikt. Deze vervanging van primaire grondstoffen kan worden aangetoond door een bewijs van de bevoegde autoriteit ter plaatse of door een verklaring van de inrichting van verwerking waarin is aangegeven dat er sprake is van een opvulplicht. Uitvoer voor deze toepassingen is toegestaan. Indien niet is aangetoond dat er een opvulplicht is, wordt uitgegaan van (ondergronds) storten. In dat geval is uitvoer voor deze toepassingen niet toegestaan.

Invoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan wanneer de verwerking in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard.