

stowa

Grondstoffenfabriek

VERKENNING MOGELIJKHEDEN 'GRONDSTOF RWZI'



RAPPORT

2013

31

VERKENNING MOGELIJKHEDEN 'GRONDSTOF RWZI'

RAPPORT

2013

31

ISBN 978.90.5778.626.1



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Ellen van Voorthuizen, Royal HaskoningDHV
Arnold Zilverentant, Royal HaskoningDHV
Guus IJpelaar, Royal HaskoningDHV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Charlotte van Erp Taalman Kip, Waterschap Hollandse Delta
André Hammenga, Waterschap Hunze en Aa's
Peter van der Maas, Waterlaboratorium Noord
Chris Ruiken, Waternet
Erwin de Valk, Waterschap Vallei en Veluwe
Dick de Vente, Waterschap Regge en Dinkel
Stefan Weijers, Waterschap de Dommel
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2013-31
ISBN 978.90.5778.626.1

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

SAMENVATTING

AANLEIDING

In 2012 hebben de waterschappen en gemeenten hun ambities ten aanzien van het sluiten van ketens en kringloop vastgelegd in de 'Routekaart afvalwaterketen 2030'.

Belangrijke gedachte hierbij is dat de behandeling van afvalwater niet meer gebaseerd is op vernietiging, maar op behoud van (grond)stoffen en energie zodat deze kunnen worden teruggewonnen¹. Een eerste stap richting de realisatie van een 'Grondstoffen RWZI' is het inzichtelijk maken wat de haalbaarheid is van een 'Grondstoffen RWZI' en welke parameters daarin kritisch zijn. In dit rapport wordt deze haalbaarheid inzichtelijk door te kiezen voor een business case benadering. In deze benadering staat de vraag naar grondstoffen vanuit de markt centraal en in mindere mate wat technisch mogelijk is. Op deze manier wordt duidelijk welke grondstoffen daadwerkelijk kunnen worden afgezet, welke opbrengsten mogelijk zijn en welke technieken daarvoor nodig zijn.

DOEL VAN HET PROJECT

Verkennen van de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' gebaseerd op een business case analyse van maximale terugwinning en/of productie van één of meerdere in stedelijk afvalwater aanwezige grondstoffen.

RANDVOORWAARDEN BUSINESS CASE

Voor het opstellen van de business case zijn de volgende randvoorwaarden opgesteld:

- Er wordt uitgegaan van het huidige inzamelingsstelsel van afvalwater voor een rwzi van 100.000 i.e..
- Mogelijkheden binnen het 'nieuwe sanitatie concept' en de behandeling van externe stromen zoals mest worden buiten beschouwing gelaten.
- De business case wordt uitgevoerd op een selectie van grondstoffen welke wordt vastgesteld aan de hand van een aantal vooraf vast te stellen selectiecriteria.
- Er wordt gebruik gemaakt van technieken die nu of in de nabije toekomst beschikbaar zijn.
- De 'Grondstoffen RWZI' dient te voldoen aan de wettelijke verplichtingen ten aanzien van afnameverplichting en de huidige lozingseisen.

SELECTIE VAN GRONDSTOFFEN

Voor het concept van de 'Grondstoffen RWZI' is van de meest voorkomende stoffen in stedelijk afvalwater een uitgebreide analyse gemaakt van de markt en de technische en financiële haalbaarheid om deze stoffen terug te winnen. Hierbij zijn grondstoffen geselecteerd op basis van de terug te winnen hoeveelheid (concentratie in afvalwater), de status (omvang, prijs) van het proces waarlangs de grondstof nu wordt geproduceerd en de waarde van de grondstof op de markt. Deze analyse heeft laten zien dat de volgende grondstoffen potentie hebben om te worden teruggewonnen²:

- 1 Deze gedachte was onderdeel van de 'Elevator Pitch' van André Hammenga tijdens een bijeenkomst van het Platform Afvalwater en Energie. Naar aanleiding van deze 'Elevator Pitch' is dit project opgepakt met ondersteuning van de Grondstoffenfabriek.
- 2 Aan het eind van deze samenvatting is een tabel opgenomen met daarin de lijst met beschouwde grondstoffen en de reden waarom ze wel of niet geselecteerd zijn.

- alginaat;
- cellulose;
- fosfaat en stikstof;
- CZV als brandstof of als bouwsteen (PHA) voor bioplastics;
- CO₂.

Aan het eind van deze samenvatting is een tabel opgenomen met daarin de lijst met beschouwde grondstoffen en de reden waarom ze wel of niet geselecteerd zijn.

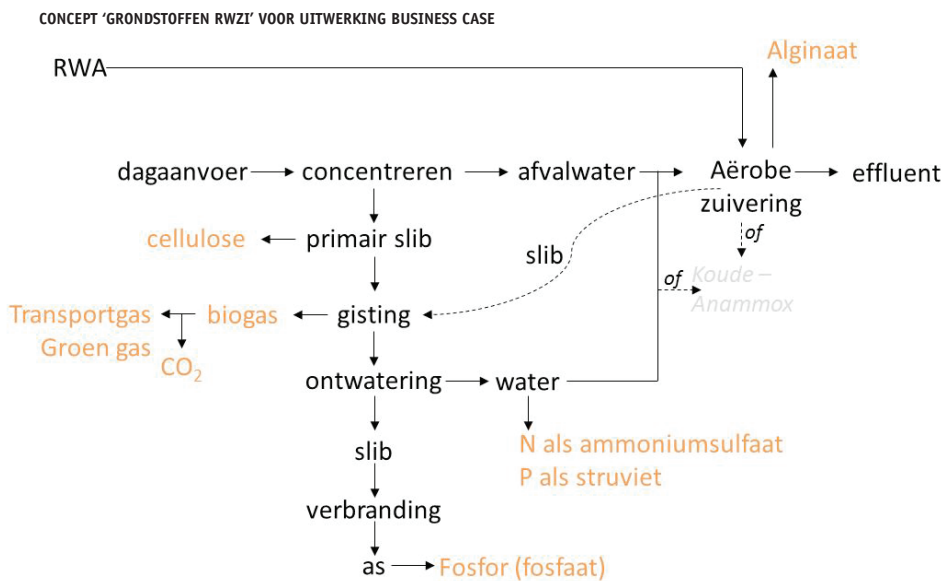
UITWERKING BUSINESS CASE

Het terugwinnen van alginaat, cellulose en fosfaat en de productie van PHA uit huishoudelijk (en industrieel) afvalwater wordt momenteel in andere STOWA-projecten onderzocht. Om die reden vallen deze stoffen buiten de scope van dit project. Om die reden is de business case uitgewerkt op de haalbaarheid van het terugwinnen en verwerken van:

- stikstof;
- CZV naar een brandstof en CO₂.

De mogelijke productie van de alginaat, cellulose en fosfaat is wel beschouwd om inzicht te krijgen in het effect van te maken keuzes. De uitgewerkte business case is weergegeven in Figuur 1.

FIGUUR 1



RESULTATEN EN CONCLUSIES BUSINESS CASE

Stikstof

Het terugwinnen van stikstof uit het rejectiewater via strippen – dit is de gangbare en meest efficiënte manier om stikstof te winnen - blijkt economisch niet haalbaar te zijn bij concentraties lager dan 5 gram per liter. Bovendien is een aërobe zuivering vereist om te kunnen voldoen aan de stikstofeisen.

Brandstof en CO₂

Voor het concentreren van CZV voor de productie van brandstof en CO₂ zijn technieken als de fijnzeef, DAF (met en zonder toevoeging van chemicaliën) en membraanfiltratie in de vorm van nanofiltratie (NF) bestudeert. Een rwzi met voorbezinktank diende hierbij als referentie.

Uit de business case is gebleken dat:

- maximalisatie van de brandstofproductie³ niet samengaat met de maximale terugwinning van cellulose en alginaat;
- toepassing van een DAF met de toevoeging van chemicaliën leidt, in tegenstelling tot een NF, tot een positieve energiebalans; dit geldt ook voor een fijnzeef⁴;
- toepassing van een DAF met de toevoeging van chemicaliën leidt niet tot een positieve business case ten opzichte van toepassing van een voorbezinktank, vanwege de hogere kosten voor chemicaliën en slibafzet; toepassing van een fijnzeef doet dit mogelijk wel;
- de schaal van 100.000 i.e. te klein is om biogas rendabel om te zetten naar brandstof;
- de vergoeding voor brandstof met ruim 40% dient te stijgen om toepassing van een DAF financieel aantrekkelijk te maken.

Kritische parameters hierin zijn het hoge chemicaliënverbruik van de DAF, de opbrengst voor brandstof en CO₂ en de hoge kosten voor concentreren CZV.

Tabel 1 toont de resultaten van de business case.

TABEL 1 FINANCIËLE RESULTATEN BUSINESS CASE. VOOR HET BEPALEN VAN DE BUSINESS CASE DIENT DE SITUATIE MET VOORBEZINKTANK ALS REFERENTIE. VOOR DE INRICHTING VAN DE RWZI ZIJN ALLEEN DIE KOSTEN GEGEVEN DIE ONDERSCHIEDEND ZIJN, DIT ZIJN DUS NIET DE KOSTEN VOOR EEN VOLLEDIGE RWZI VAN 100.000 I.E.

		Voorbezinktank	Fijnzeef	DAF zonder toevoegingen	DAF plus chemicaliën	Fijnzeef+NF
Inrichting rwzi						
Investeringskosten	€	13.605.300	12.805.500	13.316.700	12.735.100	15.858.900
Exploitatiekosten	€/j	1.930.000	1.827.000	2.066.000	2.126.000	2.781.000
Opwerking biogas						
Investeringskosten	€	1.332.000	1.398.000	1.312.000	1.513.000	1.629.000
Opbrengst ¹⁾	€/j	1.000	36.000	-9.000	96.000	157.000
Totaal						
Investeringskosten	€	14.937.300	14.203.500	14.628.700	14.248.100	17.487.900
Exploitatiekosten	€/j	1.929.000	1.791.000	2.075.000	2.030.000	2.624.000

1) van brandstof en CO₂. Er is uitgegaan van een maximale opbrengst van 90 €/ton; exclusief additionele investeringen voor aanleg leiding naar afnemer.

KANSEN VOOR DE 'GRONDSTOFFEN RWZI'

De kansen voor het terugwinnen van grondstoffen kunnen worden vergroot als de systeemgrens wordt verlegd en bijvoorbeeld wordt gekeken naar:

- aangesloten industrieën, waar de concentraties aan potentiële grondstoffen vaak veel hoger liggen;
- de verwerking van mest, waardoor terugwinning van stikstof wellicht wel haalbaar wordt en de productie van fosfaat kan worden verhoogd;
- de mogelijkheden om het afvalwater al aan de bron te concentreren (afkoppelen/gescheiden inzameling), waardoor de opbrengsten kunnen worden verhoogd en de kosten kunnen worden gereduceerd;
- het inzamelen van groente en fruitafval en afvoeren naar zuivering; STOWA-onderzoek hiernaar is recent opgestart;
- het (lokaal) benutten van de in afvalwater aanwezige warmte.

3 In de praktijk kan productie brandstof/energie wel gecombineerd worden met cellulose en/of alginaat terugwinning.

4 Hierbij dient nog wel te worden aangetekend dat in de energiebalans nog geen rekening is gehouden met het gebruik van warm spoelwater.

Naast bovengenoemde kansen kan nog worden opgemerkt dat locatie specifieke omstandigheden en de schaal van de RWZI de kansen voor een positieve business case voor een 'Grondstoffen RWZI' kunnen vergroten.

RISICO'S/AANDACHTSPUNTEN VOOR DE 'GRONDSTOFFEN RWZI'

Voor de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' dient rekening te worden gehouden met de volgende risico's:

- de marktprijs van grondstoffen versus de kosten voor terugwinning;
- wet en regelgeving met betrekking tot de afzet van grondstoffen;
- de rol van het waterschap als producent van grondstoffen versus de taken als waterbeheerder;
- acceptatie van grondstoffen uit afvalwater (imago);
- de benodigde schaalgrootte voor productie van grondstoffen en de daarvoor vereiste organisatie.

CONCLUSIES

De hier uitgevoerde studie heeft niet geleid tot nieuwe inzichten ten opzichte van de nu al in onderzoek zijnde routes voor grondstofterugwinning- of productie (cellulose, fosfaat, PHA en alginaat).

Terugwinning van de andere, niet geselecteerde grondstoffen, is vaak niet mogelijk, doordat opwerking ervan te kostbaar is of (nog) wordt belemmerd door wet en regelgeving.

Een positieve business case voor maximale brandstofopbrengst is niet mogelijk voor een rwzi van 100.000 i.e., en waar alleen het eigen slib wordt verwerkt.

De vraag of het concept van de 'Grondstoffen RWZI' haalbaar is kan pas volledig worden beantwoord als de lopende onderzoeken naar cellulose, alginaat, PHA en fosfaat zijn afgerond.

AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt om na afloop van de lopende STOWA-projecten gericht op alginaat, cellulose, PHA en fosfaat de balans op te maken en de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' aan een nadere analyse te onderwerpen.

Hierbij worden de resultaten van de diverse studies geïntegreerd, zodat een volledig beeld wordt verkregen, inclusief de meest kritische parameters.

Voor het concept van de 'Grondstoffen RWZI' is nog verder onderzoek vereist voor humuszuren, syngas, lipiden, zware metalen en vetzuren.

TABEL 2 RESULTATEN SELECTIE GRONDSTOFFEN

Grondstof	Belangrijkste reden geselecteerd of afgefallen	Risico	Potentie
GESELECTEERDE GRONDSTOFFEN			
Alginaat	aantrekkelijke marktprijs en eigenschappen	kosten productie hoger dan opbrengst;	hoog
Cellulose	beschikbare techniek al aanwezig is	aandeel cellulose daalt in afvalwater; kosten productie hoger dan opbrengst	hoog
Fosfaat	schaarse grondstof en technieken beschikbaar	struviet uit afvalwater niet onder wettelijke voorwaarden valt	hoog
Stikstof	aandeel terug te winnen stikstof significant is ten opzichte van gebruik aan kunstmest	beperkte concentraties in rejectiewater	laag
CZV als brandstof	hoogste energieopbrengst en bewezen techniek	opbrengsten brandstof minder worden	hoog
CZV als bioplastic	aantrekkelijke marktprijs	benodigde schaal (te) groot	hoog
CO ₂	als bijproduct beschikbaar is na opwerking biogas	daling afzetprijs	laag
NIET GESELECTEERDE GRONDSTOFFEN			
Algen	financieel niet haalbaar in Nederland	beperkte hoeveelheid zonlicht	niet aanwezig
Kalium	concentratie in afvalwater veel te laag	zuiverheid product, naast kalium ook natrium aanwezig	laag
Zwavel	kosten voor winning een factor 10 hoger liggen dan mogelijke afzetprijs	concurrentie is de olie-, en gasindustrie waar zwavel als bijproduct wordt gevormd	niet aanwezig
Humuszuren*	concentratie en kwaliteit humuszuren is onbekend	onbekend	onbekend
CZV als syngas*	technische en financiële haalbaarheid onbekend	complexiteit en onderhoud installaties	onbekend
CZV als vetzuur*	technische en financiële haalbaarheid nog niet aan te tonen	concurrentie met energievoorziening en CZV nodig voor stikstofverwijdering	onbekend
Slib als bouwstof	geen markt, complexe wetgeving	geen afzetmarkt	niet aanwezig
Slib als meststof	geen ruimte voor door mestoverschot	gehalte zware metalen	niet aanwezig
Slib als bodemverbeteraar	gehalte aan zware metalen te hoog voor toepassing in landbouw	gehalte zware metalen	laag
Geneesmiddelen	geen acceptatie van teruggewonnen product	lage concentraties, en merendeel zijn afbraakproducten	niet aanwezig
Lipiden	mogelijkheden onbekend	onbekend	Onbekend
Metalen*	onbekendheid over terug te winnen vorm	onbekendheid of winbare vorm interessant is voor markt	onbekend
Water	lokale situatie bepaalt kansen;	bij voldoende beschikbaarheid grondwater loont opwerking effluent zeer waarschijnlijk niet	lokaal bepaald

* onderzoek vereist om vast te stellen of de stof voldoende potentie heeft om in de 'Grondstoffen RWZI' te worden opgenomen.

VERKENNING MOGELIJKHEDEN 'GRONDSTOF RWZI'

INHOUD

	SAMENVATTING	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Randvoorwaarden business case	1
1.4	Opzet en leeswijzer	2
2	SELECTIE GRONDSTOFFEN EN CONCEPT 'GRONDSTOFFEN RWZI'	3
2.1	Opzet selectie grondstoffen	3
2.2	Resultaten selectie grondstoffen	4
2.3	Randvoorwaarden en eisen aan concept 'Grondstoffen RWZI'	5
2.4	Selectie concept	5
2.5	Omschrijving concept voor business case	6
3	UITWERKING BUSINESS CASE	8
3.1	Uitgangspunten berekeningen	8
3.1.1	Technologische uitgangspunten	8
3.1.2	Financiële uitgangspunten	9
3.3	Opbrengst grondstoffen	9
3.3.1	Cellulose	9
3.3.2	Brandstof en CO ₂	10
3.3.3	Stikstof en fosfaat	11
3.3.4	Alginaat	12
3.3	Effect concentreren op aërobe zuivering	13
3.4	Energiebalans	14
3.5	Financiële afweging	15
3.5.1	Investeringskosten	15
3.5.2	Exploitatiekosten	15
3.5.3	Productie grondstoffen	17
3.5.4	Samenvatting	18
3.6	Kritische parameters	19
3.7	Kansen en risico's	19
3.7.1	Kansen	19
3.7.2	Risico's/aandachtspunten	20

4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
4.1	Conclusies	21
	BIJLAGEN	
	Bijlage 1: Resultaten selectie grondstoffen	23
	Bijlage 2: Overzicht benaderde personen en partijen	53
	Bijlage 3: Overige technologische uitgangspunten	54
	Bijlage 4: Technologische en financiële resultaten	55

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De waterschappen hebben het initiatief genomen om een zuiveringsstrategie te ontwikkelen om zoveel mogelijk bruikbare grondstoffen, waaronder energie, uit het rioolwater terug te winnen. Belangrijke gedachte hierbij is dat de behandeling van afvalwater niet meer gebaseerd is op vernietiging, maar op behoud van (grond)stoffen zodat deze kunnen worden teruggewonnen⁵. Deze gedachte is ook de basis geweest voor de Routekaart Afvalwaterketen 2030 die door de waterschappen samen met de gemeenten is opgesteld. Een eerste stap richting de realisatie van een 'Grondstoffen RWZI' is het inzichtelijk maken wat de potentie is van een 'Grondstoffen RWZI' en welke parameters daarin kritisch zijn. In dit rapport wordt deze potentie inzichtelijk door te kiezen voor een business case benadering. In deze benadering staat de vraag vanuit de markt centraal en niet wat technisch mogelijk is. Op deze manier wordt duidelijk welke grondstoffen daadwerkelijk kunnen worden afgezet, welke opbrengst mogelijk is en wordt duidelijk welke technieken daarvoor nodig zijn.

1.2 DOELSTELLING

Vaststellen van de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' gebaseerd op een business case analyse van maximale terugwinning en/of productie van één of meerdere in stedelijk afvalwater aanwezige grondstoffen.

1.3 RANDVOORWAARDEN BUSINESS CASE

Het bepalen van de potentie van een 'Grondstoffen RWZI' heeft betrekking op de mogelijkheden om uit stedelijk afvalwater grondstoffen terug te winnen. Als eerste randvoorwaarde wordt uitgegaan van het huidige inzamelingsstelsel van afvalwater. Brongescheiden sanitatie, zoals de terugwinning van grondstoffen uit alleen urine valt dus buiten het kader van dit project. Verder betekent de focus op stedelijk water ook dat niet wordt gekeken naar de mogelijkheden die externe stromen zoals mest bieden. Hiermee hangt ook samen dat de mogelijkheden voor verwerking van externe stromen vaak locatie specifiek is, terwijl in deze studie wordt gekeken naar de mogelijkheden voor een 'gemiddelde rwzi' in Nederland met een omvang van 100.000 i.e. Dit betekent ook dat lokale afzetmogelijkheden in eerste instantie buiten beschouwing worden gelaten. De slibeindverwerking valt binnen het kader van dit project. Voor het terugwinnen van grondstoffen zal gekeken worden naar technieken die nu al kunnen worden toegepast op een RWZI of technieken die daarvoor in de nabije toekomst geschikt kunnen zijn⁶.

- 5 Deze gedachte was onderdeel van de 'Elevator Pitch' van André Hammenga tijdens een bijeenkomst van het Platform Afvalwater en Energie. Naar aanleiding van deze 'Elevator Pitch' is dit project opgepakt met ondersteuning van de Grondstoffenfabriek.
- 6 Haalbaarheid van uiteindelijke terugwinning van grondstoffen is niet alleen afhankelijk van beschikbare techniek(en), maar is van meerdere factoren afhankelijk zoals onder meer markttechnische en politieke factoren.

Bij de uitwerking van de business case wordt rekening gehouden met andere lopende STOWA-projecten op het gebied van grondstofterugwinning. Het gaat hierbij om het onderzoek naar cellulose terugwinning, PHA productie en alginaat, stikstof en fosfaat (struviet) terugwinning.

1.4 OPZET EN LEESWIJZER

Om te komen tot de opzet van een concept voor de 'Grondstoffen RWZI' is eerst een uitgebreide marktanalyse uitgevoerd. In combinatie met een toetsing van de technische en financiële haalbaarheid zijn vervolgens potentieel terugwinbare grondstoffen geselecteerd. De resultaten van deze analyse en toetsing worden uitgebreid gepresenteerd in bijlage 1, een samenvatting van de resultaten is opgenomen in hoofdstuk 2. In hetzelfde hoofdstuk wordt de selectie gemaakt van het uit te werken concept van de 'Grondstoffen RWZI' voor de business case. De uitwerking van de business case is gepresenteerd in hoofdstuk 3. Het rapport sluit in hoofdstuk 4 af met de conclusies en aanbevelingen.

2

SELECTIE GRONDSTOFFEN EN CONCEPT 'GRONDSTOFFEN RWZI'

2.1 OPZET SELECTIE GRONDSTOFFEN

De selectie van grondstoffen is gebaseerd op een marktanalyse en een toetsing van de technische en financiële haalbaarheid om een grondstof terug te winnen. Hierbij is ook gekeken naar mogelijk geldende wet en regelgeving en zijn mogelijke kansen en risico's benoemd.

Bij de analyse van de markt is in eerste instantie gekeken welke toepassingen een bepaalde grondstof kent, waarbij is gekeken naar:

- kenmerken van de markt:
 - omvang (in Nederland en wereldwijd);
 - marktprijs;
 - karakteristiek: is het een bulk of niche markt;
 - vooruitzicht: is het een groeiende, krimpende of gelijkblijvende markt (is of wordt een grondstof schaars of niet).
- houdbaarheid huidig productieproces, waarbij gekeken wordt naar:
 - kosten: is de verwachting dat kosten van productieproces zullen stijgen, dalen of gelijk blijven;
 - duurzaamheid: kent het huidige productieproces een hoog of laag energie-, of chemicaliënverbruik.
- eisen vanuit de markt: welke eisen stelt de markt ten aanzien van:
 - kwaliteit;
 - kwantiteit;
 - organisatie.

De informatie uit de markt is afgezet tegen de potentieel terug te winnen hoeveelheid grondstof. Hierbij is uitgegaan van de totale hoeveelheid afvalwater en/of slib zoals dat momenteel in Nederland wordt geproduceerd. Als uitgangspunt zijn hierbij de CBS gegevens over 2011 gehanteerd.

Informatie over de markt is verkregen aan de hand van een deskstudie en gehouden interviews met potentiële afnemers of experts. Een overzicht van benaderde personen en partijen is weergegeven in bijlage 2. In bijlage 1 zijn de resultaten van de marktanalyse⁷ in detail weergegeven, inclusief de potentie van Nederlands afvalwater en/of slib. Daarnaast is ook informatie over de technische en financiële haalbaarheid van terugwinning verzameld. Op basis van deze informatie wordt in de volgende paragrafen de afweging gemaakt of een grondstof wordt geselecteerd voor de 'Grondstoffen RWZI'.

⁷ De genoemde prijzen voor producten, zijn prijzen die bij directe levering maximaal betaald zouden kunnen worden. In de praktijk is het denkbaar dat geproduceerde grondstoffen niet direct geleverd zullen worden en de betaalde prijzen (aanzienlijk) lager kunnen liggen dan hier genoemd.

2.2 RESULTATEN SELECTIE GRONDSTOFFEN

Een overzicht van de geselecteerde grondstoffen is weergegeven in Tabel 3. In bijlage 1 is een nadere toelichting te vinden.

TABEL 3 RESULTATEN SELECTIE GRONDSTOFFEN

Grondstof	Belangrijkste reden geselecteerd of afgevalven	Risico	Potentie
GESELECTEERDE GRONDSTOFFEN			
Alginaat	aantrekkelijke marktprijs en eigenschappen	kosten productie hoger dan opbrengst;	hoog
Cellulose	beschikbare techniek al aanwezig is	aandeel cellulose daalt in afvalwater; kosten productie hoger dan opbrengst	hoog
Fosfaat	schaarse grondstof en technieken beschikbaar	struviet uit afvalwater niet onder wettelijke voorwaarden valt	hoog
Stikstof	aandeel terug te winnen stikstof significant is ten opzichte van gebruik aan kunstmest	beperkte concentraties in rejectiewater	laag
CZV als brandstof	hoogste energieopbrengst en bewezen techniek	opbrengsten brandstof minder worden	hoog
CZV als bioplastic	aantrekkelijke marktprijs	benodigde schaal (te) groot	hoog
CO ₂	als bijproduct beschikbaar is na opwerking biogas	daling afzetprijs	laag
NIET GESELECTEERDE GRONDSTOFFEN			
Algen	financieel niet haalbaar in Nederland	beperkte hoeveelheid zonlicht	niet aanwezig
Kalium	concentratie in afvalwater veel te laag	zuiverheid product, naast kalium ook natrium aanwezig	laag
Zwavel	kosten voor winning een factor 10 hoger liggen dan mogelijke afzetprijs	concurrentie is de olie-, en gasindustrie waar zwavel als bijproduct wordt gevormd	niet aanwezig
Humuszuren*	concentratie en kwaliteit humuszuren is onbekend	onbekend	onbekend
CZV als syngas*	technische en financiële haalbaarheid onbekend	complexiteit en onderhoud installaties	onbekend
CZV als vetzuur*	technische en financiële haalbaarheid nog niet aan te tonen	concurrentie met energievoorziening en CZV nodig voor stikstofverwijdering	onbekend
Slib als bouwstof	geen markt, complexe wetgeving	geen afzetmarkt	niet aanwezig
Slib als meststof	geen ruimte voor door mestoverschot	gehalte zware metalen	niet aanwezig
Slib als bodemverbeteraar	gehalte aan zware metalen te hoog voor toepassing in landbouw	gehalte zware metalen	laag
Geneesmiddelen	geen acceptatie van teruggewonnen product	lage concentraties, en merendeel zijn afbraakproducten	niet aanwezig
Lipiden	mogelijkheden onbekend	onbekend	onbekend
Metalen*	onbekendheid over terug te winnen vorm	onbekendheid of winbare vorm interessant is voor markt	onbekend
Water	lokale situatie bepaalt kansen;	bij voldoende beschikbaarheid grondwater loont opwerking effluent zeer waarschijnlijk niet	lokaal bepaald

* onderzoek vereist om vast te stellen of de stof voldoende potentie heeft om in de 'Grondstoffen RWZI' te worden opgenomen.

Om van een aantal grondstoffen de potentie vast te stellen is nog onderzoek nodig op de volgende punten:

- voor humuszuren:
 - de kwantiteit en kwaliteit van humuszuren in effluent of rejectiewater, waarbij vooral de kwaliteit de potentiële opbrengst bepaald.
- voor syngas (na vergassing of superkritische vergassing):
 - de technische en financiële haalbaarheid om slib te vergassen.
- voor lipiden:
 - aanwezigheid in Anammox bacteriën, winbaarheid en afzetmarkt.
- voor zware metalen uit as:
 - de vorm waarin potentieel interessante metalen kunnen worden teruggewonnen (koper, mangaan, aluminium, magnesium en titanium);
 - de afzetmogelijkheden van de terug te winnen vorm van genoemde zware metalen.

2.3 RANDVOORWAARDEN EN EISEN AAN CONCEPT 'GRONDSTOFFEN RWZI'

De rwzi (het waterschap) dient te voldoen aan alle wettelijke verplichtingen en eisen, hieruit volgt dat:

- de 'Grondstof RWZI' in staat dient te zijn om ook de variaties in afvalwateraanbod (is afnameverplichting) te kunnen ontvangen;
- de 'Grondstof RWZI' dient te voldoen aan de lozingseisen indien een deel van het water niet voor hergebruik wordt ingezet.

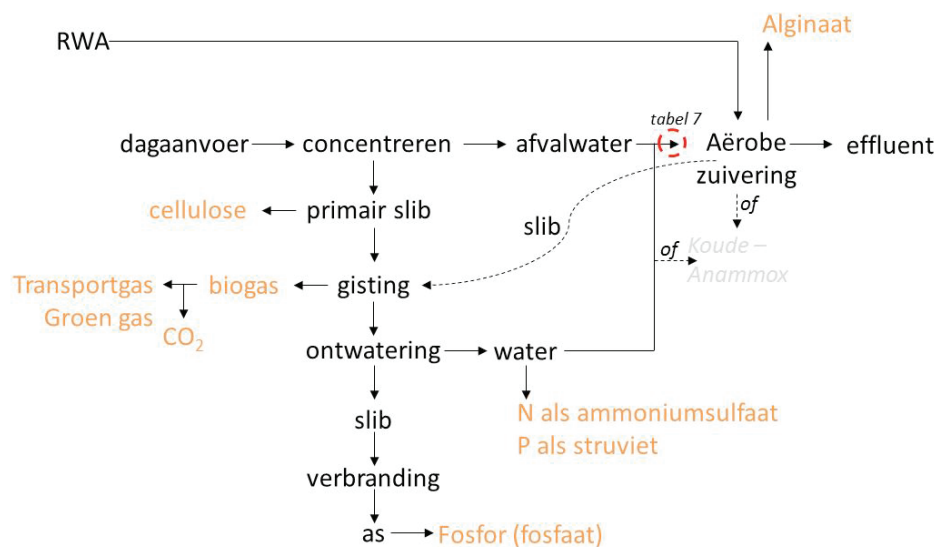
Er worden geen eisen gesteld ten aanzien van duurzaamheid om op voorhand bepaalde technieken of mogelijkheden niet uit te sluiten. Wel zal het concept voor de 'Grondstoffen RWZI' worden beoordeeld op het energie-, en chemicaliënverbruik.

2.4 SELECTIE CONCEPT

Om de geselecteerde grondstoffen terug te winnen zijn verschillende routes mogelijk. In Figuur 2 zijn alle mogelijke routes met de terug te winnen grondstoffen schematisch weergegeven. De haalbaarheid van een aantal van deze mogelijke routes worden in diverse andere lopende STOWA-onderzoeken onderzocht. Het gaat hierbij om de route naar cellulose terugwinning, PHA productie en alginaat en fosfaat terugwinning. Om deze reden wordt bij de invulling van het concept van de 'Grondstoffen RWZI' de genoemde grondstoffen niet (in detail) meegenomen.

FIGUUR 3

CONCEPT 'GRONDSTOFFEN RWZI'; KOUDE ANAMMOX IS EEN TECHNIEK IN ONTWIKKELING (GRIJS EN CURSIEF); RODE CIRKEL VERWIJST NAAR TABEL 7 WAAR DE VRACHTEN NAAR DE AËROBE ZUIVERING IS GEGEVEN



Een alternatief voor de aërobe zuivering kan de toepassing zijn van 'Koude Anammox'. Dit is alleen mogelijk bij een voldoende lage CZV/N verhouding na de concentratiestap. De technische haalbaarheid van koude Anammox moet nog worden bewezen en wordt nu in STOWA verband onderzocht. Vergassing is een alternatief voor verbranding in de toekomst, maar omdat deze techniek nog sterk in ontwikkeling is, wordt deze zoals eerder beschreven nu nog niet meegenomen.

3

UITWERKING BUSINESS CASE

3.1 UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN

3.1.1 TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN

Voor het bepalen van de business case wordt uitgegaan van een rwzi met een capaciteit van 100.000 i.e. De afvalwaterkarakteristieken behorende bij een zuivering van die omvang zijn gepresenteerd in Tabel 4. De data zijn gebaseerd op de CBS getallen van 2011.

TABEL 4 AFVALWATERKARAKTERISTIEK VOOR RWZI VAN 100.000 I.E. (150 G TZV)

Parameter	Eenheid	Waarde
Debieten		
DWA	m ³ /h	1.200
RWA	m ³ /h	4.400
Totale dagaanvoer	m ³ /d	21.224
Concentraties		
CZV	mg/l	493
BZV	mg/l	197
NKj	mg/l	45
Pt	mg/l	7
Zwevende stof	mg/l	250

In het concept is er vanuit gegaan dat de RWA niet wordt gebruikt om grondstoffen uit terug te winnen, maar direct wordt geleid naar de aërobe zuivering waar het samen met de rejec-tiewaterstroom wordt gezuiverd. Voor het ontwerp wordt uitgegaan van de totale dagaanvoer zoals deze is vermeld in Tabel 4, waarbij rekening is gehouden met een aanvoer per dag van 16 uur.

Een overzicht van de aangehouden afscheidingsrendementen is weergegeven in Tabel 5.

TABEL 5 OVERZICHT AFSCHEIDINGSRENDEMENT VAN DE ONDERZOCHE CONCENTRATIESTAPPEN

		Voorbezinktank	Fijnzeef ¹⁾	DAF – toevoegingen ²⁾	DAF + chemicaliën ³⁾	Fijnzeef + NF
		1	2	3	4	5
CZV	%	30	40	27	58	75
BZV	%	30	20	26	55	75
Nkj	%	5	5	6	13	15
Pt	%	5	5	8	75	75
Zwevende stof	%	40	50	55	75	100

1) uit STOWA 2010, Influent fijnzeven in rwzi's, rapportnummer 2010 – 19.

2) uit Kalisto onderzoek;

3) data via Witteveen + Bos

De overige uitgangspunten die bij de berekeningen zijn gebruikt zijn weergegeven in bijlage 3. Voor enkele uitgangspunten geldt dat data nog onvoldoende beschikbaar zijn, waardoor er

over deze punten nog wat onzekerheid bestaat en verder onderzoek nodig is. Het gaat hierbij vooral om:

- het afscheidingsrendement van fijnzeef en DAF;
- chemicaliënverbruik DAF;
- aandeel cellulose in primair slib van diverse concentratietechnieken;
- aandeel cellulose in organisch drogestofgehalte primair slib;
- aandeel alginaat in aëroob korrelslib;
- vergistbaarheid cellulose in primair slib.

3.1.2 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Voor het berekenen van investeringskosten en exploitatiekosten is zoveel mogelijk gebruikt gemaakt van het model dat is opgesteld voor de slibketenstudie II.

De kosten in het rekenmodel zijn opgesteld op basis van kengetallen (zie Tabel 6), zowel voor de investering- als voor de exploitatiekosten. Zij zijn primair bedoeld om verschillen aan te geven tussen scenario's. De berekende kosten zijn slechts indicatief en bedoeld ter onderlinge vergelijking van de scenario's.

TABEL 6

UITGANGSPUNTEN VOOR BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

Parameter	Eenheid	Waarde
Rente	%	5
Afschrijving		
civiele werken	jaar	30
elektrisch/mechanisch	jaar	15
Onderhoud		
civiel	% per jaar	0,5
elektrisch/mechanisch	% per jaar	3,0
Chemicaliën		
Polymeer	€ per kg	6
Fe (FeCl ₃)	€ per ton Fe	900
Elektriciteit		
afname	€ per kWh	0,12
Slib		
verwerking (gemiddeld NL)	€ per ton DS	348

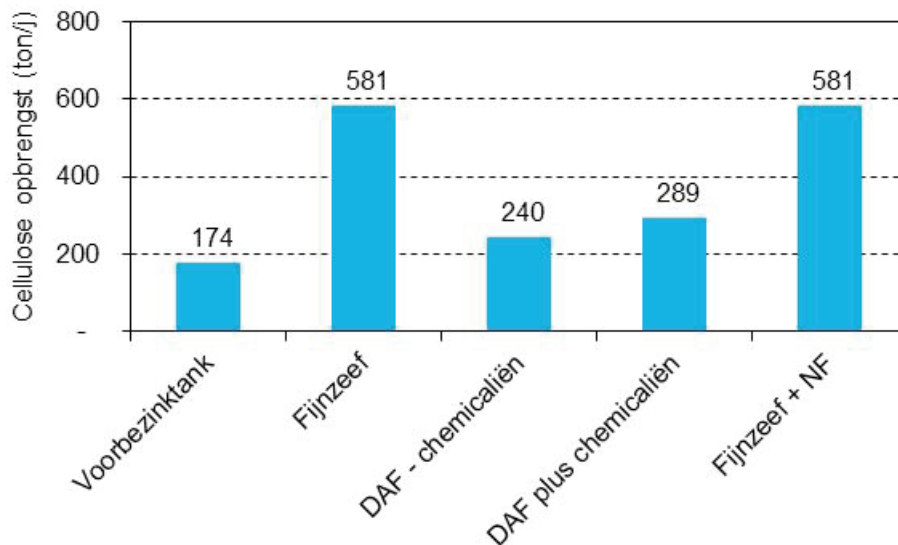
3.3 OPBRENGST GRONDSTOFFEN

3.3.1 CELLULOSE

De mogelijke cellulose opbrengsten die uit het primair slib kunnen worden teruggewonnen zijn weergegeven in Figuur 4. Bij het berekenen van de cellulose opbrengst is gekeken naar de hoeveelheid geproduceerd primair slib die afhankelijk is van het afscheidingsrendement voor zwevende stof en het aandeel cellulose.

De hoogste cellulose opbrengst wordt bereikt bij de toepassing van een fijnzeef, omdat het primair slib wat hiermee geproduceerd wordt het hoogste aandeel cellulose bevat. Het afscheiden van de cellulose uit het primair slib heeft wel gevolgen voor de biogasopbrengst bij vergisting van het primair slib en dus voor de maximalisatie van de brandstofopbrengst. In bijlage 4 zijn alle technologische resultaten opgenomen.

FIGUUR 4 OPBRENGST CELLULOSE VOOR EEN RWZI VAN 100.000 I.E.



3.2.2 BRANDSTOF EN CO₂

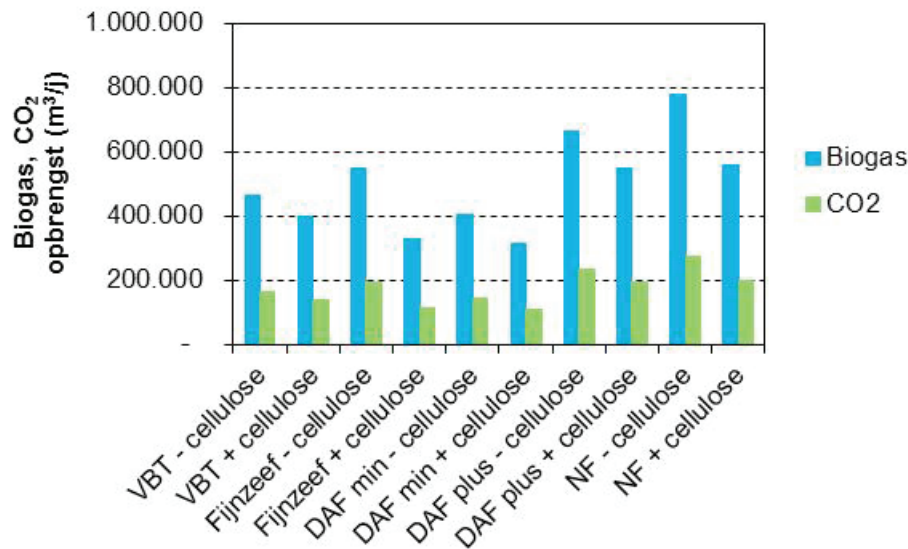
In Figuur 5 is een overzicht gegeven van de productie van brandstof en CO₂. Het concentreren van het afvalwater met een fijnzeef gevolgd door nanofiltratie levert de hoogste biogas-, en CO₂ opbrengst op. Dit is het gevolg van het hoge afscheidingsrendement voor zwevende stof (is volledig) en CZV (75%). Echter om deze hoge biogasopbrengst mogelijk te maken is wel meer energie nodig bij het gebruik van nanofiltratie ten opzichte van een fijnzeef of DAF. In § 3.4 wordt in meer detail ingegaan op de energiebalans.

Verder wordt duidelijk dat bij terugwinning van cellulose vooral bij toepassing van de fijnzeef de biogasproductie sterk daalt. Deze daling geldt in mindere mate bij de toepassing van de andere technieken omdat daar het primaire slib minder cellulose bevat. Uit bovenstaande volgt dat voor de invulling van een 'Grondstoffen RWZI' die focust op maximalisatie van de hoeveelheid brandstof niet samengaat met maximale terugwinning van cellulose. In het vervolg van het rapport wordt om die reden alleen de scenario's beschouwd waarin cellulose niet wordt teruggewonnen, om de mogelijkheden van maximale biogasopbrengst scherp te krijgen. In de praktijk is het natuurlijk denkbaar dat cellulose terugwinning en energieproductie gezamenlijk worden opgepakt.

In het vervolg van het rapport wordt om die reden alleen nog gekeken naar de situaties waarin cellulose niet wordt teruggewonnen.

FIGUUR 5

BIOGAS-, EN CO₂ OPBRENGST VOOR DE ONDERZOCHE CONCENTRATIESTAPPEN (PLUS CELLULOSE BETEKENT DAT DEZE WEL WORDT TERUGGEWONNEN, MIN CELLULOSE BETEKENT DUS DAT DEZE NIET WORDT TERUGGEWONNEN EN WORDT MEEVERGIST)



3.2.3 STIKSTOF EN FOSFAAT

Stikstof

De hoeveelheid stikstof die kan worden teruggewonnen varieert tussen de 25 en 50 ton per jaar. De concentraties die daarbij mogelijk zijn variëren tussen de 500 en 1.000 mg/l, afhankelijk van de hoeveelheid vergist slib en de mate van slibafbraak. Het terugwinnen van stikstof door middel van strippen is bij deze concentraties niet mogelijk zoals is gebleken uit een recent verschenen STOWA-rapport⁸. Dit werd ook bevestigd in een artikel van Mulder (2003)⁹, waarin wordt gesteld dat fysische chemische processen zoals strippen pas economisch rendabel zijn bij concentraties boven de 5 g/l. Een combinatie met andere stromen, zoals met het digestaat na mestvergisting, kan wellicht wel een rendabele case opleveren.

Fosfaat

Fosfaat kan maximaal worden teruggewonnen als het wordt teruggewonnen uit de as van verbrand (of in de toekomst vergast) slib. In deze situatie kan tussen de 70 en 80% van het fosfaat uit het influent worden teruggewonnen¹⁰. Voor een zuivering van 100.000 i.e. komt dit neer op 38 - 44 ton per jaar.

De route van fosfaat teruggewinning via as was mogelijk door de as van ijzerarm slib af te zetten bij Thermphos, maar sinds het faillissement van Thermphos is deze optie vervallen¹¹. Er wordt door SNB en HVC in samenwerking met Ecophos wel gewerkt aan een nieuwe technologie. Een andere optie is de afzet van de as bij ICL. Een nadeel van het terugwinnen van fosfaat uit as en deze vervolgens in zetten in de kunstmestindustrie is dat ook een deel van de zware metalen uit de as in het kunstmestproduct terecht komen. Aan de andere kant kan de inzet van as wellicht worden gezien als een verduurzaming van het huidige fosfaatproductieproces. Door het gebruik van fosfaaterts en kalium dat gewonnen wordt in mijnen, bevat kunstmest ook nu al vrij grote hoeveelheden zware metalen¹².

8 STOWA, 2012, Explorative research on innovative nitrogen recovery, rapportnummer 2012 - 51.

9 Mulder, A., 2003, The quest for sustainable nitrogen removal technologies, Water Science & Technology, volume 48, No 1 p. 67 - 75.

10 STOWA, 2011, Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties, rapportnummer 2011 - 24.

11 Wellicht toch weer een toekomstige route gezien laatste berichtgeving; <http://nos.nl/artikel/523671-toch-toekomst-voor-thermphos.html>

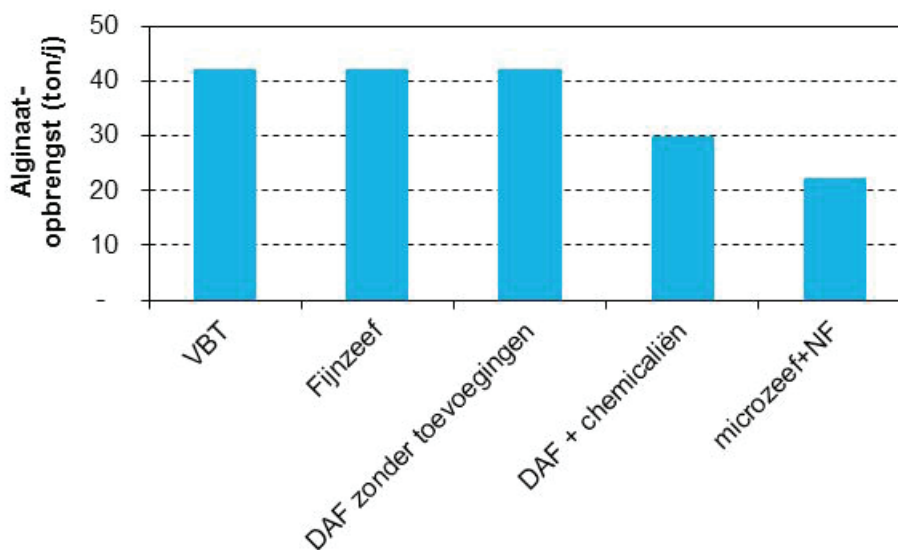
12 2010, M.S. de Graaff, Resource recovery from black water, proefschrift Wageningen Universiteit.

Fosfaat dat niet is gebonden aan het slib, en vrijkomt bij de vergisting van slib, kan worden teruggewonnen via struviet. Bij een volledig biologische fosfaatverwijdering is ca. 40 – 50%¹³, van het aangevoerde fosfaat terug te winnen. In hoeverre dit mogelijk is na concentratie van het CZV wordt gescheiden bekeken in § 3.3. Een combinatie van struvietproductie en terugwinning via as leidt tot de maximale terugwinning van uit influent afkomstig fosfaat. Vooralsnog is de afzet van struviet in Nederland nog niet mogelijk omdat het als afvalstof wordt beschouwd, in het buitenland is dit al wel mogelijk. De verwachting is echter dat de beperking voor Nederland op korte termijn (één tot twee jaar) wordt opgeheven en afzet van struviet als meststof wettelijk mogelijk wordt. Aandachtspunt hierbij is nog de voorwaarden die gesteld (gaan) worden aan de afzet van struviet. Hierbij zal voor uit stedelijk afvalwater teruggewonnen struviet vooral het hygiënische aspect een grote rol spelen. Eventueel noodzakelijke hygiënisatie zal een negatieve invloed op de energiebalans en/of een toename van het chemicaliënverbruik betekenen.

3.2.4 ALGINAAT

Bij de aërobe zuivering van het rejectiewater en het RWA deel van het afvalwater bestaat de mogelijkheid om alginaat te produceren. Alginaat wordt nu vanuit zeewier gewonnen en gebruikt in de textiel-, en papierindustrie, maar ook in de voedsel- en farmaceutische industrie. Een nadeel van alginaat uit zeewier is dat het geen consistente eigenschappen heeft door de seizoensinvloeden. Alginaat uit aëroob korrelslib heeft dit nadeel niet en lijkt daarmee een aantrekkelijk alternatief. De mogelijke hoeveelheid terug te winnen alginaat na elk van de concentratiestappen is weergegeven in Figuur 6.

FIGUUR 6 OVERZICHT ALGINAATPRODUCTIE



De hoogste alginaatproductie wordt bereikt als het CZV geconcentreerd wordt met een voorbezinktank. De reden hiervoor is dat een voorbezinktank het laagste afscheidingsrendement kent op CZV en dus nog leidt tot de hoogste secundaire slibproductie en daarmee ook de hoogste alginaatproductie. Concentratie met nanofiltratie leidt tot het hoogste afscheidingsrendement op CZV en kent de hoogste brandstofopbrengst, maar leidt dus tot een lage alginaatproductie. Maximalisatie van de brandstofopbrengst gaat dus niet samen met maximale alginaatproductie.

13 STOWA, 2011, Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties, rapportnummer 2011 – 24.

3.3 EFFECT CONCENTREREN OP AËROBE ZUIVERING

Uit § 3.2.3 is gebleken dat het terugwinnen van stikstof economisch niet haalbaar is en dat een aërobe zuivering noodzakelijk is om te voldoen aan de stikstofeisen. Verder dient deze zuivering ook de resterende hoeveelheid fosfaat die na de concentratiestap (en uit het rejectiewater) overblijft te verwijderen. Verder dient er ook rekening mee worden gehouden dat na de anaërobe zuivering nog CZV (en BZV) dient te worden verwijderd om te voldoen aan de lozingseisen op dat punt¹⁴.

Voor een goede stikstofverwijdering is het van belang dat er voldoende CZV aanwezig is om te denitrificeren. In theorie geldt een CZV/N verhouding van 2,86, maar voor de praktijk wordt vaak uitgegaan van een verhouding van 5. Voor de verwijdering van fosfaat is in de berekeningen uitgegaan van biologische P verwijdering, en indien nodig aangevuld met chemische P verwijdering. De mate waarin dit nodig is, kan worden afgeleid van de BZV/P verhouding, wanneer deze kleiner is dan 25 is aanvullende chemische P verwijdering noodzakelijk. In Tabel 7 is een overzicht opgenomen van de CZV-, en stikstof en fosfaatvracht die aanwezig is in de aanvoer naar de aërobe zuivering (is inclusief rejectiewater).

TABEL 7

OVERZICHT VRACHTEN IN AANVOER NAAR AËROBE ZUIVERING

Parameter (kg/d)	Voorbezinktank	Fijnzeef	DAF - toevoegingen	DAF+ chemicaliën	Fijnzeef + NF
CZV	8.891	8.368	9.048	6.276	4.969
BZV	3.436	3.436	3.436	2.430	1.802
NKj	976	982	977	919	913
P-totaal	155	156	153	54	57
CZV/N	9,1	8,5	9,3	6,8	5,4
BZV/P	22	22	23	45	31

Bij het toepassen van nanofiltratie wordt relatief veel CZV tegengehouden, terwijl de verwijdering van stikstof in de vorm van ammonium vrij laag is. De CZV/N verhouding na toepassing van de NF is kritisch te noemen. Op dit punt is nader onderzoek nodig naar de lokale condities (zoals de afvalwatersamenstelling) of eventueel een (beperkte) bypass van ruw afvalwater toe te passen. Alternatief om in deze situatie te voldoen aan de effluenteisen voor stikstof is toepassing van 'koude Anammox' (nadat de rest BZV is verwijderd) noodzakelijk. Deze techniek is nog in ontwikkeling en bevindt zich nog in de onderzoeksfase.

De BZV/P verhouding is in de meeste gevallen kleiner dan 25, waardoor dosering van chemicaliën wellicht noodzakelijk wordt om te voldoen aan de effluenteisen voor fosfaat. Uitzondering hier is de DAF met chemicaliëndosering, waar door de dosering van een metaalzout de verwijdering van P al bijna volledig is.

¹⁴ De verwijdering van CZV in een anaërobe stap bedraagt circa 50%, het resterende deel zal dus nog aëroob dienen te worden verwijderd.

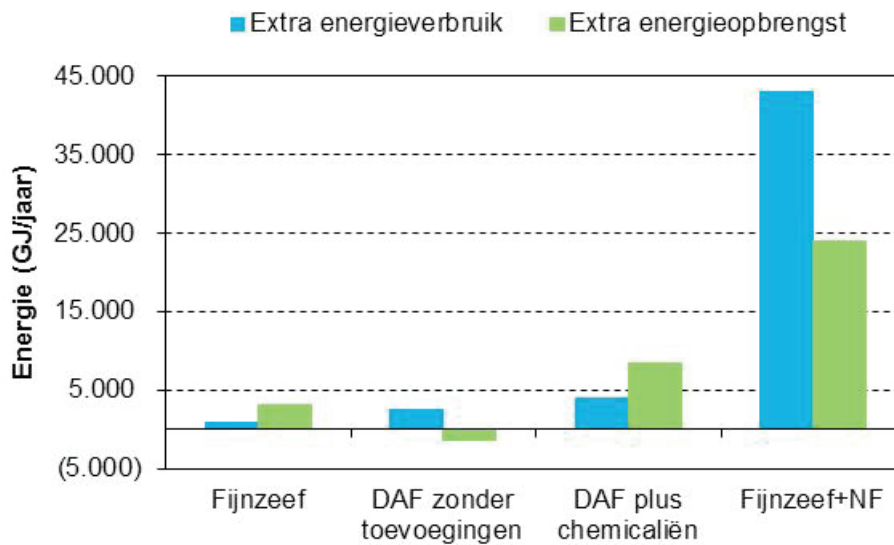
3.4 ENERGIEBALANS

De wijze waarop het CZV geconcentreerd wordt om de hoeveelheid biogas (brandstof) te maximaliseren heeft invloed op het energie-, en chemicaliënverbruik van de gehele zuivering. Om deze reden is een energiebalans opgesteld voor de diverse concentratietechnieken, waarbij rekening is gehouden met het elektriciteits-, en GER-waarden van chemicaliënverbruik bij:

- het concentreren van de CZV;
- de aërobe zuivering;
- de slibindikking, - en ontwatering.

In Figuur 7 is de energiebalans weergegeven voor de onderzochte concentratietechnieken, waarbij deze zijn afgezet tegen de referentiesituatie (voorbezinktank).

FIGUUR 7 ENERGIEBALANS CONCENTRATIETECHNIEKEN



Aan de hand van Figuur 7 kan worden vastgesteld dat:

- het concentreren van CZV met een fijnzeef en nanofiltratie meer energie vraagt dan het oplevert;
- de toepassing van een DAF met dosering van chemicaliën de hoogste energiewinst oplevert;
- een DAF zonder toevoegingen niet meer oplevert dan een voorbezinktank;
- een fijnzeef ten opzichte van een voorbezinktank een grotere energiewinst oplevert; dit wordt vooral veroorzaakt door een lager energieverbruik in de waterlijn door hogere afscheiding zwevende stof en CZV ten opzichte van een voorbezinktank; Hierbij dient nog wel opgemerkt te worden dat in de energiebalans nog geen rekening is gehouden met energie benodigd voor warm spoelwater (fijnzeef).

3.5 FINANCIËLE AFWEGING

3.5.1 INVESTERINGSKOSTEN

Bij het opstellen van de investeringskosten is gekeken naar de onderdelen die onderscheidend zijn voor de verschillende scenario's. De gegeven investeringskosten representeren dus niet de kosten voor een volledige rwzi van 100.000 i.e. Een samenvatting van de belangrijkste investeringskosten is weergegeven in Tabel 8, de details zijn opgenomen in bijlage 4. Er is in eerste instantie nog niet gekeken naar de mogelijke opwerking van biogas of de productie van andere grondstoffen. Deze worden in § 3.5.3 besproken.

TABEL 8 SAMENVATTING BELANGRIJKSTE INVESTERINGSKOSTEN, WAARBIJ HET SCENARIO MET VOORBEZINKTANK HET REFERENTIESCENARIO IS

Post	Eenheid	Voorbezinktank	Fijnzeef	DAF - toevoegingen	DAF + chemicaliën	Fijnzeef+ Nanofiltratie
Civiel						
concentratiestap	€	1.021.000	470.000	-	-	470.000
slibgisting	€	1.044.000	1.094.000	1.121.000	1.187.000	1.280.000
Niet civiel	€					
concentratiestap	€	140.000	270.000	-	-	270.000
slibgisting	€	681.000	696.000	704.000	723.000	750.000
DAF	€	-	-	1.350.000	1.390.000	-
Nanofiltratie	€	-	-	-	-	3.200.000
Aërobe zuivering	€	3.600.000	3.600.000	3.600.000	2.800.000	2.400.000
Investeringskosten	€	13.605.300	12.805.500	13.316.700	12.735.100	15.858.900

Aan de hand van de investeringskosten kan worden vastgesteld dat:

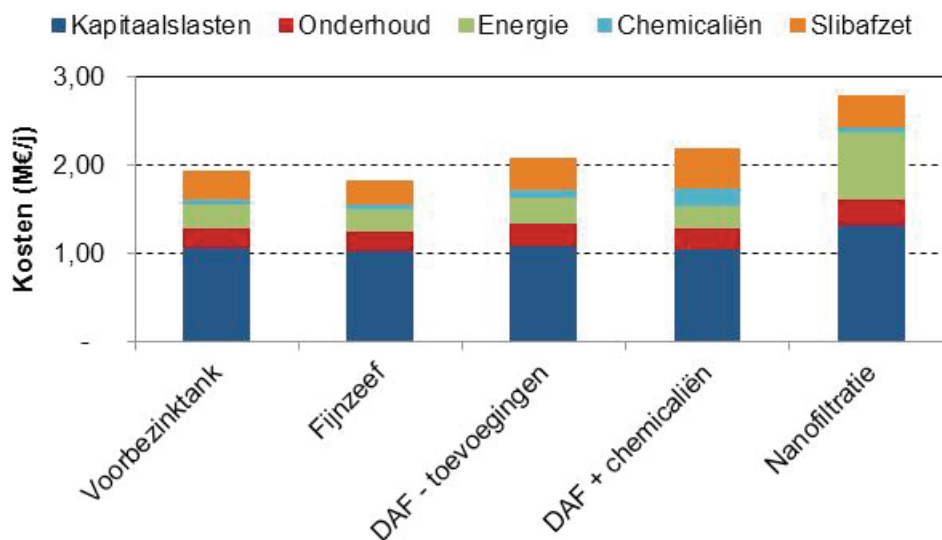
- De concentratie van CZV met een fijnzeef en nanofiltratie leidt tot de hoogste investeringskosten. Deze worden voornamelijk bepaald door de kosten voor nanofiltratie.
- De investeringskosten voor de toepassing van een DAF het laagst zijn. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de lagere kosten van de aërobe behandelingsstap die kleiner kan worden uitgevoerd door de verdergaande verwijdering van CZV en stikstof in de DAF met chemicaliëndosering.

3.5.2 EXPLOITATIEKOSTEN

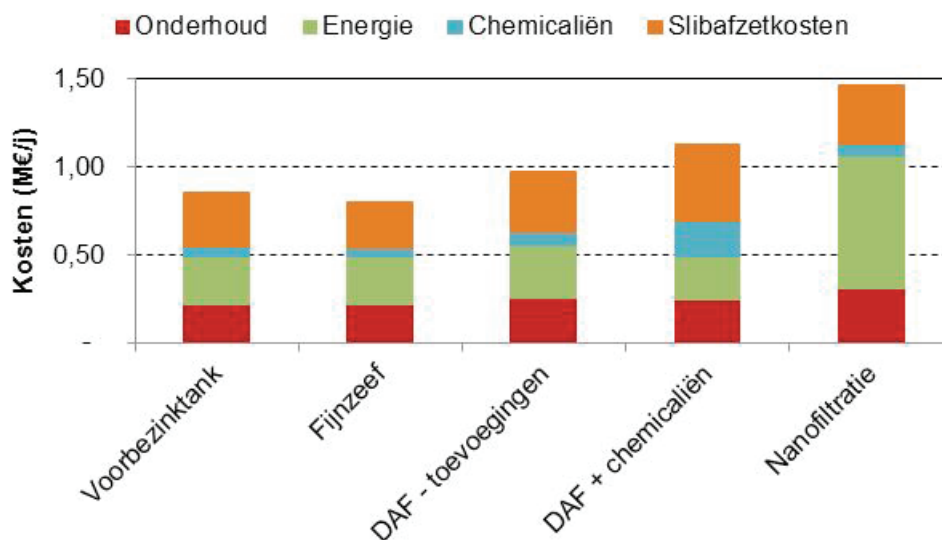
De opbouw van de exploitatie- en bedrijfsvoeringskosten voor de verschillende concentratietechnieken is weergegeven in Figuur 8. Hierbij is in eerste instantie alleen gekeken naar de kosten voor de zuivering exclusief de kosten voor mogelijke opwerking van biogas of de productie van andere grondstoffen.

FIGUUR 8 OVERZICHT EXPLOITATIE (A)- EN BEDRIJFSVOERINGSKOSTEN (B) VOOR DE DIVERSE CONCENTRATIETECHNIEKEN, WAARBIJ HET SCENARIO MET VOORBEZINKTANK HET REFERENTIESCENARIO IS

A



B



Aan de hand van de exploitatie-, en bedrijfsvoeringskosten kan worden vastgesteld dat:

- Concentratie van CZV met een fijnzeef leidt tot de laagste kosten; ten opzichte van de voorbezinktank¹⁵ is een fijnzeef goedkoper qua investeringen en kent het een hoger afscheidingsrendement op zwevende stof en CZV, waardoor aërobe ruimte kleiner kan worden uitgevoerd.
- De DAF met toevoeging van chemicaliën ondanks de lagere investeringskosten duurder is in exploitatie-, en bedrijfsvoeringskosten dan een voorbezinktank; dit wordt vooral veroorzaakt door hogere chemicaliën-, en slibafzetkosten.
- De toepassing van nanofiltratie leidt tot de hoogste kosten, vanwege de hoge investeringskosten, en het hoge elektriciteitsverbruik.

15 Dosering van chemicaliën kan afscheidingsrendement verhogen, waardoor aërobe ruimte kleiner kan worden uitgevoerd, waardoor optie met voorbezinktank nog wat aantrekkelijker wordt. Dit geldt in zekere mate ook voor een fijnzeef, waar ook chemicaliën kunnen worden gedoseerd. In een bestaande situatie met voorbezinktank kan het lonen chemicaliën te doseren, om meer energie op te wekken of ruimte te creëren in de waterlijn.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het concentreren van CZV met een DAF + chemicaliën of nanofiltratie wel leidt tot een verhoging van de energieopbrengst (zie Figuur 5), maar financieel minder aantrekkelijk is dan de toepassing van een voorbezinktank of fijnzeef.

3.5.3 PRODUCTIE GRONDSTOFFEN

Brandstof en CO₂

Een overzicht van de investeringskosten en netto jaarlijkse opbrengsten voor de productie van brandstof en CO₂ is voor de diverse concentratietechnieken is weergegeven in Tabel 9.

TABEL 9 OVERZICHT ADDITIONELE KOSTEN VOOR OPWERKING BIOGAS NAAR BRANDSTOFGAS EN AFZET VAN CO₂

Post	Eenheid	Voorbezinktank	Fijnzeef	DAF zonder toevoegingen	DAF plus chemicaliën	Fijnzeef+NF
Investering opwerking	€	1.332.000	1.398.000	1.312.000	1.513.000	1.629.000
Netto jaarlijkse inkomsten						
brandstof	€/j	(19.000)	9.000	(27.000)	58.000	107.000
CO ₂ ¹⁾	€/j	20.000	27.000	18.000	38.000	50.000
Totaal	€/j	1.000	36.000	(9.000)	96.000	157.000

1) uitgaande van een maximale opbrengst van 90 €/ton; exclusief additionele investeringen die nodig zijn om CO₂ te leveren.

Uit Tabel 9 kan worden afgeleid dat:

- De productie van brandstofgas en CO₂ uit het biogas bij toepassing van een voorbezinktank en fijnzeef niet leidt tot een positieve business case; de schaal van de gekozen rwzi is hiervoor te klein, wat aansluit bij de bevindingen uit het STOWA-rapport (2011 – 33)¹⁶.
- Bij toepassing van een DAF plus chemicaliën of een fijnzeef+ nanofiltratie, de productie van brandstof en CO₂ mogelijk al wel aantrekkelijk is voor een rwzi van 100.000 i.e.; hierbij dient nog wel te worden aangetekend dat er in de berekeningen nog geen rekeningen is gehouden met de kosten nodig voor de levering van CO₂.

Bovenstaande conclusies gelden ook wanneer in plaats van brandstofgas, 'Groen gas' wordt gemaakt.

Met de productie van brandstof en CO₂ kan met de DAF dus € 95.000,- per jaar extra worden verdiend ten opzichte van het gebruik van een voorbezinktank. Hiermee kan het verschil in exploitatiekosten worden verlaagd van 220.000 €/j (zie Figuur 8) naar 125.000 €/jaar. Deze extra kosten kunnen alleen worden terugverdiend als CO₂ en/of brandstof meer gaan opbrengen. Voor CO₂ is in de berekeningen al uitgegaan van een maximale opbrengst, en naar verwachting zal deze prijs eerder lager liggen en dalen door het toenemende hergebruik van CO₂. Een stijging van de brandstofopbrengst kan dan alleen de extra kosten voor het gebruik van een DAF terugverdienen. De benodigde stijging bedraagt ruim 0,4 €/m³. Dit is significant te noemen ten opzichte van de huidige aangenomen prijs van 0,60 €/m³ (zie STOWA 2011 – 33¹⁶) en is vooralsnog niet reëel te noemen. Er zal dus ook naar een andere manier dienen te worden gezocht om de maximale brandstofopbrengst met een DAF financieel mogelijk te maken. Hierbij valt te denken aan:

- optimalisatie van de dosering van chemicaliën in relatie tot het afscheidingsrendement,

16 STOWA, 2011, Optimalisatie WKK en Biogasbenutting, rapportnummer 2011 – 33.

waarbij gestreefd dient te worden naar een maximalisatie van het CZV afscheidingsrendement en minimalisatie van het chemicaliënverbruik;

- de mogelijkheden om stedelijk afvalwater meer geconcentreerd in te zamelen.

Overige grondstoffen

In een eerder stadium is al geconcludeerd dat maximalisatie van brandstof niet samengaat met de productie van cellulose en alginaat. Terugwinning van deze grondstoffen draagt niet bij aan een positievere business case voor de maximalisatie van brandstofgas.

Op het moment dat meer slib wordt vergist wordt er ook een grotere hoeveelheid stikstof en fosfaat geproduceerd. Van stikstof is eerder vastgesteld dat de opbrengsten en vooral de concentraties te laag zijn om terugwinning mogelijk te maken. Terugwinning van fosfaat via struviet kan leiden tot een positieve business case, doordat naast (een beperkte) opbrengst voor struviet vooral ook wordt bespaard op lagere slibafzetkosten (minder chemisch slib), vermeden struvietafvoer via slib, verbeterde slibontwatering en vermeden onderhoud (als gevolg van ongewenste precipitatie struviet).¹⁷ De verwachting is dan ook dat de verhoogde productie van struviet bij toepassing van een DAF+chemicaliën of nanofiltratie niet veel bijdraagt aan een positievere business case.

3.5.4 SAMENVATTING

In Tabel 10 is een samenvatting gegeven van de gehele business case die zowel de inrichting van de rwzi als de opwerking van biogas betreft.

TABEL 10 FINANCIËLE RESULTATEN BUSINESS CASE. VOOR HET BEPALEN VAN DE BUSINESS CASE DIENT DE SITUATIE MET VOORBEZINKTANK ALS REFERENTIE. VOOR DE INRICHTING VAN DE RWZI ZIJN ALLEEN DIE KOSTEN GEGEVEN DIE ONDERSCHIEDEND ZIJN, DUS DIT ZIJN NIET DE KOSTEN VOOR EEN VOLLEDIGE RWZI VAN 100.000 I.E.

		Voorbezinktank	Fijnzeef	DAF zonder toevoegingen	DAF plus chemicaliën	Fijnzeef+NF
Inrichting rwzi						
Investeringskosten	€	13.605.300	12.805.500	13.316.700	12.735.100	15.858.900
Exploitatiekosten	€/j	1.930.000	1.827.000	2.066.000	2.126.000	2.781.000
Opwerking biogas						
Investeringskosten	€	1.332.000	1.398.000	1.312.000	1.513.000	1.629.000
Opbrengst ¹⁾	€/j	1.000	36.000	(9.000)	96.000	157.000
Totaal						
Investeringskosten	€	14.937.300	14.203.500	14.628.700	14.248.100	17.487.900
Exploitatiekosten	€/j	1.929.000	1.791.000	2.075.000	2.030.000	2.624.000

1) van brandstof en CO₂. Voor is uitgegaan van een maximale opbrengst van 90 €/ton; exclusief additionele investeringen voor aanleg leiding naar afnemer.

Aan de hand van Tabel 10 kan worden vastgesteld dat:

- toepassing van een fijnzeef (in een groene weide situatie) de goedkoopste optie is;
- de schaal van 100.000 i.e. te klein is om biogas rendabel om te zetten naar brandstof;
- toepassing van een DAF met de toevoeging van chemicaliën niet leidt tot een positieve business case ten opzichte van toepassing van een voorbezinktank, vanwege de hogere kosten voor chemicaliën en slibafzet;
- de vergoeding voor brandstofgas (uit biogas) met ruim 40% dient te stijgen om toepassing van een DAF financieel aantrekkelijk te maken.

17 STOWA, 2011, Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties, rapportnummer 2011 - 24.

3.6 KRITISCHE PARAMETERS

Uit de financiële analyse is gebleken dat maximalisatie van de opbrengst van brandstofgas door toepassing van een DAF + chemicaliën of fijnzeef+nanofiltratie niet leidt tot een positieve business case. Kritische parameters hierin zijn:

- het hoge chemicaliënverbruik van de DAF;
- de hoge investeringskosten en het hoge elektriciteitsverbruik bij de toepassing van nanofiltratie;
- maximalisatie van de brandstof (biogas)opbrengst moeilijk samengaat met de terugwinning van cellulose en alginaat;
- de opbrengst voor brandstof te beperkt is om meerkosten van een DAF terug te verdienen;
- het stedelijk afvalwater sterk verdund is te noemen, waardoor relatief hoge kosten dienen te worden gemaakt om het afvalwater te concentreren.

Optimalisatie van het chemicaliënverbruik in relatie tot het afscheidingsrendement kan mogelijk leiden tot een meer positieve business case. Concentratie van het afvalwater door meer afkoppelen en/of gescheiden inzameling draagt bij aan een positievere business case.

De business case voor de omzetting van biogas naar brandstofgas of 'Groen Gas' wordt vooral bepaald door de prijs die er voor het geproduceerde gas wordt verkregen¹⁸.

3.7 KANSEN EN RISICO'S

3.7.1 KANSEN

De hier uitgevoerde studie heeft niet geleid tot nieuwe inzichten ten opzichte van de nu al in onderzoek zijnde routes voor grondstofterugwinning- of productie (cellulose, fosfaat, PHA en alginaat). Echter deze onderzoeken zijn nog in volle gang, waardoor op dit moment nog geen volledig beeld is van de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI'. Aanbevolen wordt om na afloop van de lopende STOWA-projecten naar alginaat, cellulose, PHA en fosfaat de balans op te maken en de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' vast te stellen. Hierbij worden de resultaten van de diverse studies geïntegreerd, zodat een volledig beeld ontstaat inclusief de kritische parameters.

Terugwinning van andere, waaronder de niet geselecteerde grondstoffen, is vaak niet mogelijk, doordat opwerking ervan te kostbaar is of wordt belemmerd door wet en regelgeving. De kansen voor het terugwinnen van grondstoffen kunnen worden vergroot als de systeemgrens wordt verlegd en bijvoorbeeld wordt gekeken naar:

- aangesloten industrieën, waar de concentraties aan potentiële grondstoffen vaak veel hoger liggen;
- de verwerking van mest, waardoor terugwinning van stikstof wellicht wel haalbaar wordt en de productie van fosfaat kan worden verhoogd;
- de mogelijkheden om het afvalwater al aan de bron te concentreren (afkoppelen/gescheiden inzameling), waardoor de opbrengsten kunnen worden verhoogd en de kosten kunnen worden gereduceerd;
- het inzamelen van groente en fruitafval en afvoeren naar zuivering; STOWA-onderzoek hiernaar is recent opgestart;
- het (lokaal) benutten van de in afvalwater aanwezige warmte.

¹⁸ STOWA, 2011, Optimalisatie WKK en Biogasbenutting, rapportnummer 2011 – 33.

Naast bovengenoemde kansen kan nog worden opgemerkt dat locatie specifieke omstandigheden en de schaal van de rwzi de kansen voor een positieve business case voor een 'Grondstoffen RWZI' kunnen vergroten.

3.7.2 RISICO'S/AANDACHTSPUNTEN

Voor de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' dient rekening te worden gehouden met de volgende risico's:

- de marktprijs van grondstoffen versus de kosten voor terugwinning;
- wet en regelgeving met betrekking tot de afzet van grondstoffen;
- de rol van het waterschap als producent van grondstoffen versus de taken als waterbeheerder;
- acceptatie van grondstoffen uit afvalwater (imago);
- de benodigde schaalgrootte voor productie van grondstoffen en de daarvoor vereiste organisatie.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 CONCLUSIES

Uit deze studie is gebleken dat de volgende grondstoffen voldoende potentie laten zien om onderdeel te kunnen zijn van een 'Grondstoffen RWZI':

- alginaat;
- cellulose;
- stikstof;
- fosfaat;
- CZV als:
 - brandstof;
 - bioplastic (PHA).
- CO₂.

Terugwinning van de andere, niet geselecteerde grondstoffen, is vaak niet mogelijk, doordat opwerking ervan te kostbaar is of wordt belemmerd door wet en regelgeving.

Het terugwinnen van alginaat, cellulose en fosfaat en de productie van PHA uit huishoudelijk (en industrieel) afvalwater wordt momenteel in andere STOWA-projecten onderzocht. Om die reden vallen deze stoffen buiten de scope van dit project. Om die reden is de business case uitgewerkt op de haalbaarheid van het terugwinnen en verwerken van:

- stikstof;
- CZV naar een brandstof en CO₂.

Technieken die hierbij zijn bekeken zijn een fijnzeef, DAF (plus en min toevoeging chemicaliën) en nanofiltratie (NF). Als referentie is uitgegaan van een rwzi met voorbezinktank en gisting. Vervolgens is gekeken wat de mogelijkheden zijn om met het geproduceerde biogas brandstof of 'Groen gas' en CO₂ te produceren en af te zetten.

Naar aanleiding van de uitwerking van de business case kan geconcludeerd worden dat:

- maximalisatie van de brandstofproductie niet samengaat met de maximale terugwinning van cellulose en alginaat;
- toepassing van een DAF met de toevoeging van chemicaliën leidt, in tegenstelling tot een NF, tot een positieve energiebalans;
- toepassing van een DAF met de toevoeging van chemicaliën niet leidt tot een positieve business case ten opzichte van toepassing van een voorbezinktank, vanwege de hogere kosten voor chemicaliën en slibafzet;
- de schaal van 100.000 i.e. te klein is om biogas rendabel om te zetten naar brandstof;
- de vergoeding voor brandstof met ruim 40% dient te stijgen om toepassing van een DAF financieel aantrekkelijk te maken.

AANBEVELINGEN

Voor verdere invulling van het concept de 'Grondstoffen RWZI' wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar de haalbaarheid van terugwinning of productie van:

- humuszuren:
 - de kwantiteit en kwaliteit van humuszuren in effluent of rejectiewater, waarbij vooral de kwaliteit de potentiële opbrengst bepaald.
- syngas (na vergassing of superkritische vergassing):
 - de technische en financiële haalbaarheid om slib te vergassen.
- voor lipiden:
 - aanwezigheid in Anammox bacteriën, winbaarheid en afzetmarkt.
- zware metalen uit as¹⁹:
 - de vorm waarin potentieel interessante metalen kunnen worden teruggewonnen (koper, mangaan, aluminium, magnesium en titanium);
 - de afzetmogelijkheden van de terug te winnen vorm van genoemde zware metalen.
- voor vetzuren:
 - de mogelijkheden om met slib vetzuren te produceren en te isoleren.

Om maximalisatie van de biogasopbrengst met een DAF + chemicaliën financieel mogelijk te maken wordt aanbevolen onderzoek te doen naar:

- de optimale dosering van chemicaliën in relatie tot het afscheidingsrendement, waarbij gestreefd dient te worden naar een maximalisatie van het CZV afscheidingsrendement en minimalisatie van het chemicaliënverbruik;
- de mogelijkheden om stedelijk afvalwater meer geconcentreerd in te zamelen.

De kansen voor het terugwinnen van grondstoffen kunnen worden vergroot als de systeemgrens wordt verlegd en bijvoorbeeld wordt gekeken naar:

- aangesloten industrieën, waar de concentraties aan potentiële grondstoffen vaak veel hoger liggen;
- de verwerking van mest, waardoor terugwinning van stikstof wellicht wel haalbaar wordt en de productie van fosfaat kan worden verhoogd;
- de mogelijkheden om door afkoppelen het afvalwater te concentreren, waardoor de opbrengsten kunnen worden verhoogd en de kosten kunnen worden gereduceerd;
- het (lokaal) benutten van de in afvalwater aanwezige warmte.

De resultaten van deze studie tonen aan dat het huidige onderzoek zich richt op de juiste grondstoffen. Echter de ontwikkelingen zijn nog in volle gang, waardoor op dit moment nog geen volledig beeld is van de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI'. Aanbevolen wordt om na afloop van de lopende STOWA-projecten naar alginaat, cellulose, PHA en fosfaat de balans op te maken en de haalbaarheid van een 'Grondstoffen RWZI' vast te stellen. Hierbij worden de resultaten van de diverse studies geïntegreerd, zodat een volledig beeld ontstaat inclusief de kritische parameters.

¹⁹ terugwinning van zware metalen uit as is de beste optie die nu ook al beschikbaar is. De reden hiervoor is dat in as de metalen in de hoogste concentratie aanwezig zijn. Deze mate van concentratie kan nooit via concentratie van afvalwater worden bereikt.

BIJLAGE 1

RESULTATEN SELECTIE GRONDSTOFFEN

ALGEN

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor algen zijn weergegeven in Tabel 11.

TABEL 11 RESULTATEN MARKTANALYSE ALGEN

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Veevoer	Bulk: > 600 miljoen ton (wereldwijd) ¹⁾ Prijs: 0,042 – 0,26 €/kg ²⁾ Vooruitzicht: groeiend	Kosten: laag duurzaamheid: concurrentie met voedselvoorziening	Lage prijs
Visvoer	Bulk voor consumptievis en niche voor siervis Prijs voor bulk < 1,5 €/kg, voor niche > 1,5 €/kg ³⁾	Bulk: deels concurrerend met voedselvoorziening Niche: wordt bepaald door productie in tropische landen	Geen medicijnresten, zware metalen en ziekteverwekkers; Minimale afname circa 6.000 ton/j ³⁾
Brandstof	Bulk: > 105 biljoen liter ¹⁾ Prijs: 1 – 1,5 €/kg ⁴⁾	Kosten: afhankelijk voorraden olie Duurzaamheid: hoog energieverbruik	Prijs lager dan 1 €/kg ¹⁾
Hoogwaardige inzet (voedsel/pharma)	Van niche tot bulk	Kosten: afhankelijk product	Onbekend

1) informatie via Wikipedia

2) informatie via Waterstromen BV, Ingrepro Renewables BV, 2012, Proefonderzoek algenfarming

3) informatie uit gesprek met Skretting

4) gebaseerd op huidige brandstofprijzen, CBS, 2013

Potentie in afvalwater

Voor het berekenen van de maximaal haalbare hoeveelheid te produceren algen uit Nederlands afvalwater is gebruik gemaakt van de resultaten van het STOWA-onderzoek naar de mogelijkheden om algen toe te passen als nazuivering op effluent²⁰. In dit onderzoek is naar voren gekomen dat de gemiddelde productie in Nederland 38,8 ton ds/ha⁻¹jaar⁻¹ bedraagt en dat circa 4 m²/i.e. nodig is. Met een totale hoeveelheid van 24,2 miljoen i.e. geproduceerd afvalwater in Nederland (CBS, 2010) is afgerond een productie mogelijk van 399.000 ton ds/j.

Technische haalbaarheid

Productie van veevoer, visvoer uit algen is technisch haalbaar, ook de productie van enkele hoogwaardige producten is haalbaar en wordt al commercieel toegepast (bijvoorbeeld LGem in Nederland).

Dit laatste geldt niet voor brandstofproductie uit algen, er wordt op grote schaal onderzoek naar gedaan, maar wordt nog niet commercieel geproduceerd²¹. In Nederland is in 2010 - 2011 onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om algen toe te passen als nazuivering op effluent. De belangrijkste conclusies waren dat een hoge verwijdering van nutriënten alleen

20 STOWA, 2011, Effluentpolishing met algen, rapportnummer 2011 – 04.

21 Teresa M. Mata, António A. Martins, Nidia. S. Caetano, 2010, Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, p. 217 – 232.

mogelijk was gedurende de zomerperiode (half jaar). Dit betekent dus ook dat productie van algen als potentiële grondstof maar gedurende de helft van het jaar mogelijk is.

Over wet en regelgeving is geen directe informatie gevonden, maar de verwachting is dat voor een mogelijke introductie van uit afvalwater geproduceerde algen in de voedsel- en farmaceutische industrie de regelgeving complex zal zijn.

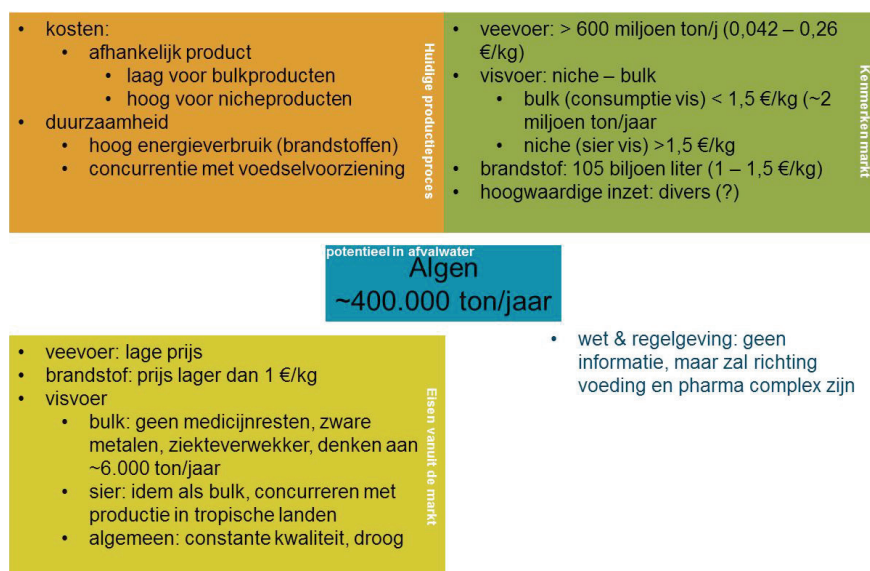
Financiële haalbaarheid

In het al eerder genoemde STOWA-rapport is berekend dat de productiekosten voor effluentpolishing met algen circa 1 €/kg ds bedragen. In het door Ingrepro en Waterstromen uitgevoerde onderzoek naar de mogelijkheden van nazuivering met algen van een industriële afvalwaterstroom is berekend dat de kosten minimaal 2 €/kg ds bedragen²². Voor beide geldt dat dit alleen nog de kosten zijn voor de productie en deze kosten nog exclusief de kosten voor ontwatering en droging zijn.

Samenvatting

In Figuur 9 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 9 SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID ALGEN



Conclusie

Het winnen van grondstoffen uit algen wordt niet haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat:

- de productie van algen in Nederland maar een beperkt deel van het jaar mogelijk is;
- de productie van algen € 1 – 2 per kg bedraagt (dit nog exclusief de kosten voor ontwatering en drogen), waarmee deze kosten al hoger liggen dan de huidige marktprijzen die voor veevoer, visvoer en brandstof op basis van algen worden betaald.

22 Waterstromen BV, Ingrepro Renewables BV, 2012, Proefonderzoek algenfarming

ALGINAAT

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor alginaat zijn weergegeven in Tabel 12.

TABEL 12 RESULTATEN MARKTANALYSE ALGINAAT

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Industriële markt (textiel en papier)	Niche: 11.000 ton/j ¹⁾ licht dalend ¹⁾ Prijs: 1 – 4 €/kg ²⁾	Kosten: stijgend ^{1)/2)} Duurzaamheid: hoog chemicaliënverbruik	Lage kosten Consistent in eigenschappen ²⁾
Voedsel en farmaceutische industrie	Niche: 13.000 ton/j ¹⁾ Licht stijgend ¹⁾ Prijs: 10 – 1.000-en €/kg ²⁾	Kosten: stijgend ^{1)/2)} Duurzaamheid: hoog chemicaliënverbruik	Veilig ²⁾ Strengere toelatingsprocedures ²⁾

1) Informatie uit: Harris J. Bixler & Hans Porse, 2010, A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry, J Appl Phycol, published online 22 may 2010.

2) Informatie uit: Alex Boscolo, Basilios Sideris, Ioanna Stavrakaki, Kanika Bailey, Snehal Patil, Umut Demirtas, 2011, PDEngBioProduct Design 2011 – Group Design Project 'Alginate from wastewater' – Final Report, TU Delft, principal: Mark van Loosdrecht.

Potentie in afvalwater

In een tabel met een overzicht van mogelijk terug te winnen grondstoffen die als startpunt is gebruikt voor het vaststellen van de routekaart is een waarde van 160 mg alginaat per gram VSS opgenomen. Op basis van deze waarde en een totale slibproductie (onvergist) van circa 439.000 ton ds/ jaar²³ kan worden berekend dat afgerond 70.000 ton alginaat zou kunnen worden geproduceerd.

Technische haalbaarheid

Het onttrekken van alginaat uit aëroob slib is nog in ontwikkeling. Voor het onttrekken van alginaat uit slib is wellicht een thermische voorbehandeling nodig, wat kansen biedt om de onttrekking van alginaat te combineren met het verhogen van de slibafbraak in een gisting. Alginaat wordt in de huidige situatie geproduceerd uit zeewier. Het gevolg van het gebruik van zeewier is dat de eigenschappen van alginaat niet consistent zijn als gevolg van wisselende klimatologische omstandigheden.

Het alginaat geproduceerd uit slib is hiervoor niet gevoelig en voldoet daarmee aan de eis vanuit de industrie om alginaat aan te leveren met consistente eigenschappen.

Gezien de hoge eisen die worden gesteld aan alginaat in de voedsel-, en farmaceutische industrie en de complexe regelgeving (langdurige trajecten voordat mogelijk geaccepteerd) wordt introductie in deze sector niet aanbevolen²⁴.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid is nog maar beperkt getoetst²⁴, waardoor een goede afweging over de financiële haalbaarheid nog niet mogelijk is.

23 Berekend op basis van getallen van CBS. In deze getallen wordt een yield van 500 g ds/kg CZV verwijderd gerapporteerd. De slibproductie is berekend op basis van de waarden uit 2010.

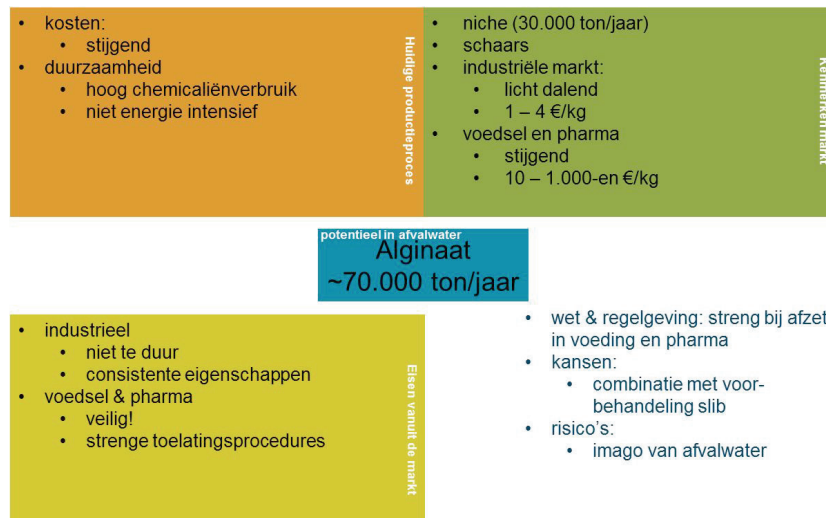
24 Informatie uit: Alex Boscolo, Basilios Sideris, Ioanna Stavrakaki, Kanika Bailey, Snehal Patil, Umut Demirtas, 2011, PDEngBioProduct Design 2011 – Group Design Project 'Alginate from wastewater' – Final Report, TU Delft, principal: Mark van Loosdrecht.

Samenvatting

In Figuur 10 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 10

SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID ALGINAAT



Conclusie

Het winnen van alginaat uit aëroob slib wordt vooralsnog haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat:

- het alginaat uit aëroob slib verwacht wordt consistent in eigenschappen te zijn, waarmee het een belangrijk voordeel heeft ten opzichte van alginaat uit zeewier;
- er een aantrekkelijke marktprijs mogelijk is;
- er al interesse is vanuit tenminste één bedrijf in Nederland.

CELLULOSE

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor cellulose zijn weergegeven in Tabel 13. In het algemeen kan worden gesteld dat de productie van cellulose een bulkmarkt is gezien het feit dat miljarden tonnen per jaar wordt geproduceerd²⁵.

25 E.R.P. Keijsers, J.E.G. van Dam, Gulden Yilmaz, augustus 2011, Cellulose een eindeloze bron van mogelijkheden, Wageningen UR Food & Biobased Research, Food & Biobased Research nummer 1274

TABEL 13 RESULTATEN MARKTANALYSE CELLULOSE.

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Isolatiemateriaal	Bulk markt, exacte omvang onbekend	Kosten: onbekend	Schoon en geurvrij ¹⁾
	Prijs: 0,05 – 0,2 €/kg ¹⁾	Duurzaamheid: energie intensief	
Melkzuur	Niche/Bulk: 300.000 – 400.000 ton/j ²⁾	Concurreert met voedselvoorziening	Geen afzet richting voedingsmiddelenindustrie ¹⁾
	Prijs: 1 – 1,2 €/kg ²⁾	Productie uit cellulose, vergt vrij veel energie en chemicaliën ³⁾	Vrij van remmende stoffen voor fermentatie ¹⁾
			Imago en hygiëne belangrijk ¹⁾
			Minimale omvang circa 100.000 ton/j ¹⁾
Ethanol	Bulkmarkt: productie bio ethanol bedraagt alleen al 86 miljoen ton/j	Idem als melkzuur	Minimale vereiste schaal vergelijkbaar met melkzuur ⁵⁾
	Prijs 1 – 1,5 €/kg ⁴⁾		
PHA productie na verzuring cellulose	Niche markt: 70.000 ton/j, maar wel sterk groeiend ⁶⁾ (geldt ook voor ethanol en melkzuur).	Kosten: hoog	Onbekend
		Duurzaamheid: onttrekking PHA uit biomassa vergt nog vrij veel energie en chemicaliën	

1) Informatie uit: STOWA, 2012, Verkenning naar mogelijkheden voor verwaarding van zeefgoed, rapportnr. 2012 – 07.

2) Informatie uit: Paulien Harmsen, Martijn Hackmaan, 2012, Groene bouwstenen voor biobased plastics; Biobased routes en marktontwikkeling, Wageningen UR Food & Biobased Research, ISBN 978-94-6173-482-2.

3) Informatie uit: Carlos A. Cardona, Óscar J. Sánchez, 2007, Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities, Bioresource Technology 98, p. 2415 – 2457.

4) gebaseerd op huidige brandstofprijzen, CBS 2013

5) persoonlijke communicatie Mark van Loosdrecht

6) Informatie uit C. Bolk, J. Ravenstein, K. Molenveld, P. Harmsen (Editor), 2012, Biobased plastics 2012, Wageningen UR Food & Biobased Research

Potentie

De hoeveelheid cellulose in Nederlands afvalwater is berekend aan de hand van de volgende uitgangspunten:

- afscheidingsrendement fijnzeef voor zwevende stof is: 50%²⁶⁾
- aandeel cellulose van zeefgoed: 80%⁸⁾

Aan de hand van de CBS cijfers uit 2009 is berekend dat circa 447 miljoen kg zwevende stof wordt aangevoerd naar de rwzi's. Met bovengenoemde uitgangspunten kan dan worden berekend dat circa 179.000 ton cellulose in het Nederlandse afvalwater aanwezig is.

Om de potentie te berekenen van de hoeveelheid te produceren melkzuur, ethanol of PHA uit cellulose zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- voor melkzuur²⁷⁾
 - cellulose omzetting en terugwinning efficiëntie: 0,76
 - glucose fermentatie efficiëntie 0,75
 - stoichiometrische opbrengst melkzuur 1,00
 - overall opbrengst 0,57

26 STOWA, 2010, Influentfijnzeven in rwzi's, rapportnummer 2010 – 19

27 Badger, P.C., 2002, Ethanol From Cellulose: A General Review, Reprinted from: Trends in new crops and new uses, J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA;

- voor ethanol²⁷:
 - cellulose omzetting en terugwinning efficiëntie: 0,76
 - glucose fermentatie efficiëntie 0,75
 - stoichiometrische opbrengst ethanol 0,51
 - overall opbrengst 0,29
- voor PHA:
 - cellulose omzetting en terugwinning efficiëntie²⁷: 0,76
 - glucose fermentatie efficiëntie²⁷ 0,75
 - opbrengst verrijking PHA biomassa²⁸ 0,30 (g VSS/gCZV)
 - opbrengst PHA²⁸ 0,80

Gezien de onzekerheid in de biologische omzettingen van cellulose en de efficiency daarvan is nog een onzekerheidsfactor van 0,25 opgenomen.

Met deze uitgangspunten en de berekende hoeveelheid cellulose in afvalwater zijn de volgende potentieel terug te winnen hoeveelheden berekend voor:

- melkzuur : 76.000 ton/j
- ethanol : 52.000 ton/j
- PHA : 43.000 ton/j

Technische haalbaarheid

De winning van cellulose uit afvalwater is technisch haalbaar met een fijnzeef. Echter de eisen vanuit de markt vereisen nog een extra stap zodanig dat het in ieder geval schoon en geurvrij is. De technische haalbaarheid voor de productie van melkzuur, ethanol en PHA uit afvalwater/slib wordt onder 'koolstof (CZV)' in meer detail besproken.

Een mogelijk risico dat hier nog genoemd kan worden is het feit dat in de toekomst de bron van cellulose in het afvalwater, het toiletpapier mogelijk in mindere mate met het afvalwater wordt afgevoerd.

Financiële haalbaarheid

In een eerste verkenning naar de toepassing van fijnzeven op rwzi's is berekend dat afhankelijk van de huidige configuratie van de rwzi, een fijnzeef binnen zeven tot tien jaar is terug te verdienen²⁹.

Samenvatting

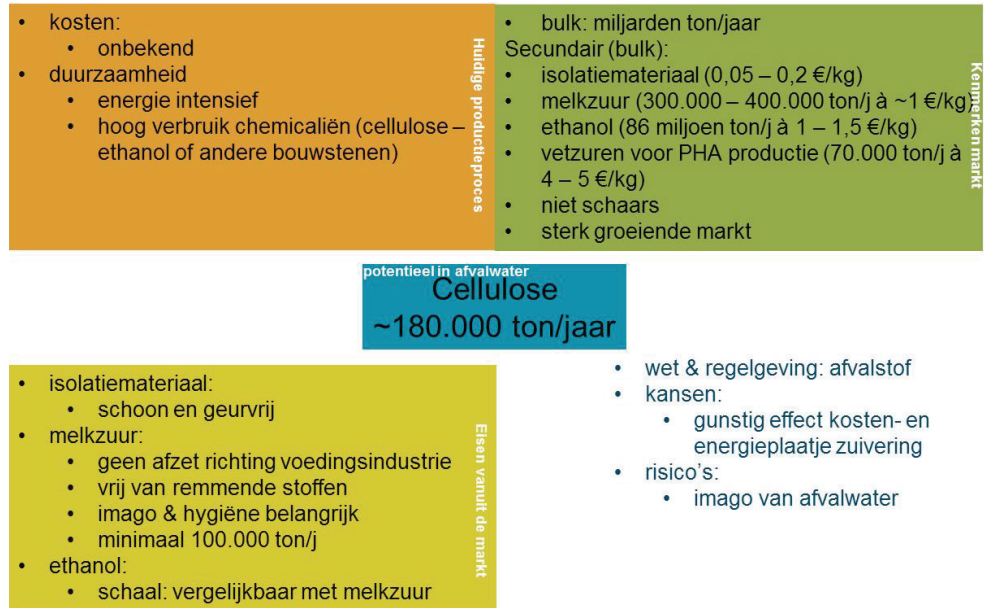
In Figuur 11 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

28 Nicholas Gurieff, Paul Lant, 2007, Comparative life cycle assessment and financial analysis of mixed culture polyhydroxyalkanoate production; *Bioresource Technology* 98, p. 3393 – 3403.

29 Stowa, 2010, Influentfijnzeven in RWZI's, rapportnummer 2010 – 19.

FIGUUR 11

SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID CELLULOSE

*Conclusie*

Het winnen van cellulose uit afvalwater wordt vooralsnog haalbaar geacht voor de 'Grondstof-fen RWZI' omdat (belangrijkste argumenten):

- er is een techniek (fijnzeef) voorhanden die een groot deel van de cellulose uit het afvalwater kan verwijderen (en daarbij ook nog een positief effect heeft op functioneren van de rwzi in termen van effluentkwaliteit en energieverbruik);
- cellulose diverse afzetroutes kent.

FOSFAAT*Marktanalyse*

De resultaten van de marktanalyse voor fosfaat zijn weergegeven in Tabel 14.

TABEL 14 RESULTATEN MARKTANALYSE FOSFAAT

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Kunstmest	Bulk: 42 miljoen ton/j wereldwijd; 24.000 ton/j in NL ¹⁾	Kosten: waarschijnlijk licht stijgend doordat fosfaaterts moeilijker te winnen is.	Vrij van ziektekiemen ⁴⁾
	Trend: stijgend wereldwijd, dalend in NL ¹⁾	Duurzaamheid: energie intensief; productie fosforzuur en natriumtripolyfosfaat vereist inzet chemicaliën ³⁾	Voorkeur voor assen en gebruik Al-zouten voor P verwijdering (Fe, mag, maar heeft niet de voorkeur)
	Prijs: 0,1 – 0,4 €/kg ²⁾		Minimaal 25 – 50 ton/week aan as
	Niet herwinbare grondstof (non renewable); enige mate van schaarste ⁵⁾		Contact met grotere organisatie en contracten voor minimaal drie tot vijf jaar
Fosfaat-zouten	Geproduceerd uit fosfaaterts. Productie uit afvalwater nog op beperkte schaal	Idem kunstmest	Idem kunstmest

1) Informatie opgevraagd via <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search>, data gelden voor 2010; voor trend gekeken naar 2000 en 2010.

2) Informatie opgevraagd via fertecon.com, minimale prijs is voor fosfaaterts, maximale prijs is voor di-ammoniumfosfaat.

3) Informatie duurzaamheid via technische schema's Thermphos;

4) Informatie uit gesprek met ICL (geldt voor alle eisen m.b.t. kunstmest)

5) Informatie uit: P.E. Fixen, 2009, World Fertilizer Nutrient Reserves - A View to the Future, Better Crops/Vol. 93 (No. 3)

Potentie in afvalwater

Op basis van de CBS gegevens uit 2010 wordt circa 14.000 ton fosfaat via het Nederlandse afvalwater naar de rwzi's afgevoerd. Dit is bijna 60% van de in Nederland gebruikte hoeveelheid fosfaat in kunstmest.

Technische haalbaarheid

De productie van diverse fosfaatzouten (struviet, calciumfosfaat) uit rejectie-waterstromen is technisch mogelijk en wordt al op praktisch schaal toegepast. Uit het gesprek met ICL is ook gebleken dat de productie van fosfaatzouten uit de as van verbrand slib mogelijk is. De belemmering voor het toepassen van fosfaatzouten zit hem in Nederland in de beperkte afzetmarkt en de wet en regelgeving die fosfaatzouten geproduceerd uit afvalwater nog als afvalstof aanmerken. De genoemde belemmeringen worden in STOWA verband ook nader onderzocht.

Fosfaat kan met verschillende technieken worden teruggewonnen zoals hierboven al beschreven. Deze technieken verschillen vooral in de maximale hoeveelheid terug te winnen fosfaat ten opzichte van de aangevoerde hoeveelheid uit het influent. Voor de technieken die in de rejectiewaterstroom worden toegepast liggen deze percentages tussen de 15/20% voor het Airprex proces en 40/50% met het Pearl proces. Via de as is een percentage van tussen de 70 en 80% mogelijk³⁰. Voordeel van het Airprex proces is, is dat het ook de ontwateringsgraad van het slib verhoogd en daarmee ook de kosten voor slibafzet reduceert³¹.

Financiële haalbaarheid

Afhankelijk van de lokale omstandigheden en de mogelijkheden om struviet af te zetten lijkt het terug winnen van fosfaat financieel haalbaar met terugverdientijden die variëren tussen de twee en tien jaar^{30,31}.

Samenvatting

In Figuur 12 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 12

SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID FOSFAAT



30 Stowa, 2011, Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties, rapportnummer 2011 – 24.

31 Stowa, 2012, Struvietproductie door middel van het Airprex proces. Pilotonderzoek op de rioolwaterzuivering Amsterdam West rapportnummer, 2012 – 27

Conclusie

Het winnen van fosfaat uit afvalwater wordt vooralsnog haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat:

- er technieken beschikbaar zijn om fosfaat zowel op de zuivering uit het rejectiewater terug te winnen als dat er technieken zijn om uit de as van verbrand slib fosfaat terug te winnen;
- fosfaat een op termijn schaarse grondstof is;
- de terug te winnen hoeveelheid fosfaat uit het afvalwater een significante bijdrage kan leveren aan de fosfaatkringloop in Nederland (~60% van de totale kunstmestvraag(P) zit in het Nederlandse afvalwater).

KALIUM

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor kalium zijn weergegeven in Tabel 15.

TABEL 15 RESULTATEN MARKTANALYSE KALIUM

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Kunstmest	Bulkmarkt: 27 miljoen ton wereldwijd, waarvan 36.000 ton in NL ¹⁾ Trend: stijgend wereldwijd, dalend in NL ¹⁾ Prijs: 0,3 – 0,4 €/kg ²⁾ Niet schaars ³⁾	Kosten: gerelateerd aan energieprijzen Duurzaamheid: energie intensief (mijnindustrie) en hoog in chemicaliënverbruik	Voor vast: zelfde eisen als voor fosfaat. Voor vloeibare mest ⁴⁾ : gewenste concentratie: 20% (K) Nauwelijks natrium bij aanwezig

1) Informatie opgevraagd via <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search>, data gelden voor 2010; voor trend gekeken naar 2000 en 2010.

2) Informatie opgevraagd via feritecon.com,

3) Informatie uit: P.E. Fixen, 2009, World Fertilizer Nutrient Reserves - A View to the Future, Better Crops/Vol. 93 (No. 3)

4) Informatie uit gesprek met van der Stelt BV

Potentie in afvalwater

Kalium wordt niet standaard gemeten in het Nederlandse afvalwater. Uit het STOWA-rapport STOWA 2005 – 12³²⁾ is afgeleid dat de concentratie circa 14 mg/l bedraagt. Met de hoeveelheid geproduceerd afvalwater in 2010 (CBS) is berekend dat er circa 27.000 ton kalium in het Nederlandse afvalwater aanwezig is.

Technische haalbaarheid

Het volledig terugwinnen van kalium uit stedelijk afvalwater is om twee redenen technisch niet haalbaar. De eerste en belangrijkste is dat de beginconcentratie in het afvalwater zo laag is dat de gewenste concentratie van 20% niet haalbaar is, omdat het water dan meer dan een factor 10.000 moet worden geconcentreerd. Een tweede reden is dat in het afvalwater ook een aanzienlijke concentratie natrium aanwezig is en niet los van het kalium kan worden geconcentreerd³³⁾.

Een mogelijkheid om kalium terug te winnen is het vormen van 'kaliumstruviet'. Dit wordt op praktijkschaal al toegepast bij de verwerking van kalvergier³⁴⁾.

32) STOWA, 2005, Afvalwaterketen ontketend-perspectieven voor afvalwatertransport en zuivering in de 21e eeuw, rapportnummer 2005 – 12.

33) E. van Voorthuizen, A.Zwijnenburg, W. v.d. Meer, H.Temmink, Terugwinnen van nutriënten uit zwart water vanuit een Nederlands perspectief.

34) E.Spikkert, 2007, Mestverwerking Gelderland maakt van kalvergier bruikbare eindproducten, Neerslag 6 – 2007.

Op het gebied van stedelijk afvalwater is voorsnog alleen op laboratoriumschaal gekeken naar de mogelijkheden om 'kaliumstruviet' te maken uit urine³⁵. Dit bleek alleen mogelijk wanneer ammonium eerst werd verwijderd.

Terugwinning van kalium lijkt dus alleen mogelijk in een situatie waarin urine separaat wordt ingezameld en behandeld. Met het mogelijk kunnen produceren van 'kaliumstruviet' gelden ook de al eerder genoemde belemmeringen aangaande een afzetmarkt en wet en regelgeving.

Financiële haalbaarheid

Niet bekend.

Samenvatting

In Figuur 13 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 13

SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID KALIUM



Conclusie

Het winnen van kalium wordt niet haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat: De concentratie kalium in het afvalwater veel te laag is om aan de eisen van vloeibare mest te voldoen.

Concentratie van kalium nauwelijks mogelijk is zonder ook natrium mee te concentreren. Natrium wordt gezien als een ongewenste component in een meststof.

Voor kalium liggen er wellicht alleen kansen in een situatie waarin urine gescheiden wordt ingezameld, kalium kan bijvoorbeeld uit urine worden teruggewonnen in de vorm van 'kaliumstruviet'. Voorwaarde hiervoor wel is dat eerst het ammonium wordt verwijderd (of teruggewonnen).

35 J.A. Wilsenach, C.A.H. Schuurbijs, M.C.M. van Loosdrecht, 2007, Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation, Water Research 41, p. 458 – 466.

STIKSTOF

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor kalium zijn weergegeven in Tabel 16 .

TABEL 16 RESULTATEN MARKTANALYSE STIKSTOF

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Kunstmest	Bulkmarkt: 103 miljoen ton wereldwijd, waarvan 235.000 ton in NL ¹ ; niet schaars Trend: stijgend wereldwijd, dalend in NL ¹ Prijs: 0,1 – 0,3 €/kg ²	Kosten: afhankelijk aardgasprijs Duurzaamheid: Energie intensief proces	Vast: idem als fosfaat qua ziektekiemen Vloeibaar ³ : nauwelijks natrium bij aanwezig minimale concentratie 8 – 9% N
Ammoniak	Bulkmarkt: 198 miljoen ton/j ³ ; niet schaars Trend: stijgend ³ Prijs: 0,5 €/kg ²	idem kunstmest	Niet nader bepaald
Salpeterzuur	Bulkmarkt: 8 miljoen ton/j ³ ; niet schaars Prijs < 0,1 €/kg ⁴ ;	idem kunstmest	Niet nader bepaald

1) Informatie opgevraagd via <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search>, data gelden voor 2010; voor trend gekeken naar 2000 en 2010.

2) Informatie opgevraagd via fertecon.com, minimale prijs voor ammoniumsulfaat, maximale prijs voor ammoniak

3) Informatie via Wikipedia (Engels)

4) Informatie via website: alibaba.com

5) Informatie uit gesprek met van der Stelt BV

Potentie in afvalwater

Op basis van de CBS gegevens uit 2010 wordt circa 88.000 ton stikstof via het Nederlandse afvalwater naar de rwzi's afgevoerd. Dit is bijna 40% van de in Nederland gebruikte hoeveelheid stikstof in kunstmest.

Technische haalbaarheid

Stikstof uit afvalwater kan in verschillende vormen worden omgezet die als mogelijk product kunnen worden afgezet. Het terugwinnen van stikstof in de vorm ammoniak is recentelijk aangetoond bij proeven op de rwzi Scheemda. Bij deze proeven wordt het ammonium vastgelegd in struviet, waarna de ammoniak na verwarming van het struviet wordt gevormd³⁶. Het vastleggen van ammonium in struviet is een bewezen techniek, maar kent de beperking dat maar een klein deel van het ammonium (uit rejectiewater) kan worden vastgelegd.

Het strippen van stikstof om het vervolgens vast te leggen in ammoniumsulfaat is een bewezen techniek die wel hoge stikstofconcentraties vereist³⁷, en die wellicht alleen mogelijk zijn in het rejectiewater. In een recent uitgekomen STOWA-rapport (2011)³⁸ is geconcludeerd dat het strippen van stikstof meer energie vergt dan de productie van N via het Haber – Bosch proces en de verwijdering van stikstof via Anammox.

36 P. Luimes, A. Hammenga, 2012, Gele stroom en groen fosfaat op de rwzi Scheemda, Neerslag 2012-III.

37 W. Bussink, T. van Dijk, 2011, Mogelijkheden en waarde van alternatieve meststoffen in de akkerbouw, NMI.

38 STOWA, 2012, Explorative research on innovative nitrogen recovery, rapportnummer 2012 – 51.

De productie van di-ammoniumfosfaat, kalkammonsalpeter en salpeterzuur is voor zover bekend nog niet getest met een aan stedelijk afvalwater gerelateerde bron. Voor de productie van di-ammoniumfosfaat zal de inzet van fosfaat gewenst zijn om ammonium volledig in deze vorm terug te winnen. Gezien de schaarste van fosfaat kan dit als niet wenselijk worden gezien.

Voor alle genoemde vormen waarin stikstof kan worden teruggewonnen geldt wel dat teruggewinning alleen haalbaar is uit een rejectiewaterstroom en niet direct uit het afvalwater vanwege de te lage concentraties.

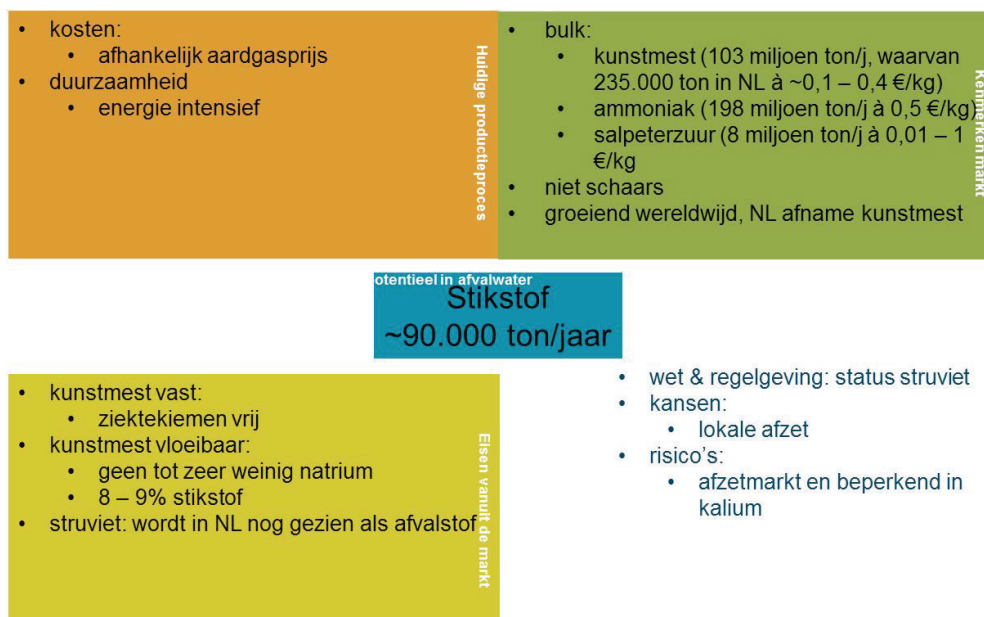
Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van de productie van ammoniak uit struviet is nog niet bekend, maar vooralsnog lijken de hoge kosten van de brandstofcel de financiële haalbaarheid van deze techniek nog in de weg te staan. De financiële haalbaarheid voor de winning van ammoniumsulfaat is nog niet bekend. Dit zelfde geldt voor de productie van di-ammoniumfosfaat, kalkammonsalpeter en salpeterzuur. De verwachting is echter dat gezien de vereiste inzet van chemicaliën de kosten daarvan al hoger zullen liggen dan de mogelijke opbrengsten.

Samenvatting

In Figuur 14 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 14 SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID STIKSTOF



Conclusie

Het winnen van stikstof uit afvalwater wordt vooralsnog haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat:

- de terug te winnen hoeveelheid stikstof uit het afvalwater een significante bijdrage kan leveren aan de kringloop in Nederland (~40% van de totale kunstmestvraag(N) zit in het Nederlandse afvalwater).

ZWAVEL

Marktanalyse

De resultaten van de marktanalyse voor zwavel zijn weergegeven in Tabel 17.

TABEL 17 RESULTATEN MARKTANALYSE ZWAVEL

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Kunstmest	Bulkmarkt: 69 miljoen ton/j1); waarvan 80-85% gebruikt voor productie H ₂ SO ₄ , hiervan wordt weer de helft gebruikt voor productie kunstmest Trend: stijgend door toenemende ontzwaveling olie Prijs: ~ 0,1 €/kg ²⁾	Zwavel wordt geproduceerd bij winning van olie en aardgas,; kosten dus gerelateerd aan energieprijzen Duurzaamheid: energie intensief proces	Voor kunstmest in vaste vorm gelden zelfde eisen als voor fosfaat. ICL gaf aan dat zwavel niet erg interessant is om terug te winnen, omdat het nu als restproduct bij olie-, en aardgasproductie wordt geproduceerd.

1) Informatie via Wikipedia (Engels)

2) Informatie opgevraagd via ferrecon.com

Potentie in afvalwater

Sulfaat in afvalwater is voornamelijk afkomstig uit het drinkwater, door lokale verschillen in kwaliteit drinkwater varieert de sulfaatconcentratie in het afvalwater ergens tussen de 20 en 35 mg SO₄-S/l³⁹. Met de hoeveelheid geproduceerd afvalwater in 2010 (CBS) is berekend dat er circa 40.000 – 70.000 ton zwavel in het Nederlandse afvalwater aanwezig is.

Technische haalbaarheid

Terugwinning van zwavel is alleen mogelijk vanuit het biogas, omdat concentraties in de waterlijn te laag liggen en het sulfaat daar niet in een winbare vorm kan worden teruggewonnen. De productie van elementair zwavel of zwavelzuur uit biogas of andere zwavelrijke gasstromen is een bewezen techniek die al op grote schaal op diverse locaties wordt toegepast.

Financiële haalbaarheid

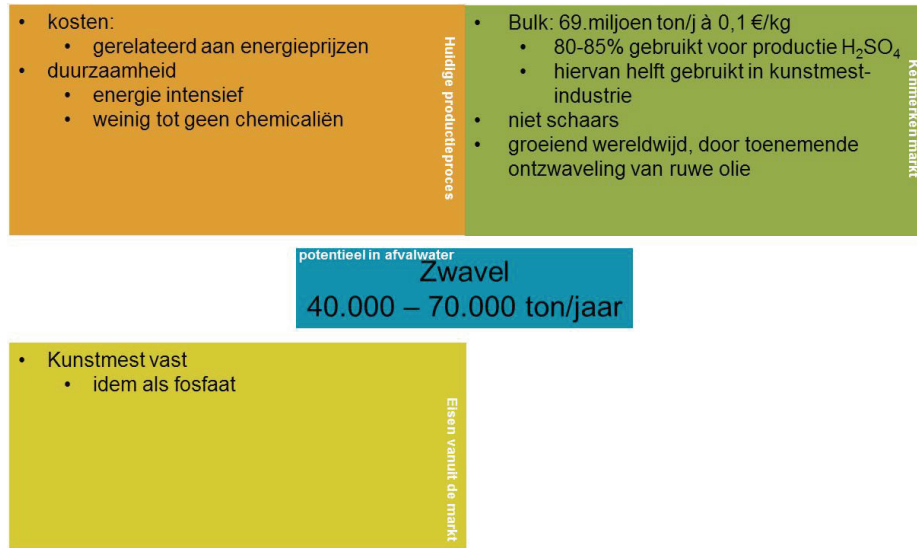
In het STOWA-rapport naar de haalbaarheid van autotrofe denitrificatie is ook gekeken naar de mogelijkheid van zwavelterugwinning uit biogas³⁹. Het terugwinnen van zwavel uit biogas heeft als voordeel dat bij de eindverwerking van slib (bij verbranding) kan worden bespaard op zwavelbehandelingskosten (omdat sulfaat niet meer in slib wordt vastgelegd). Bij het uitwerken van deze business case is gebleken dat de kosten voor het terugwinnen van zwavel voor een zuivering van 100.000 i.e. 8,60 €/kg S bedragen.

39 STOWA, 2011, Zwavel in de RWZI; Autotrofe denitrificatie en zwavelterugwinning als zuiveringstechniek voor rwzi's - een haalbaarheidsstudie, rapportnummer 2011 – 21.

Samenvatting

In Figuur 15 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 15 SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID ZWAVEL



Conclusie

Het winnen van zwavel wordt niet haalbaar geacht voor de 'Grondstoffen RWZI' omdat:

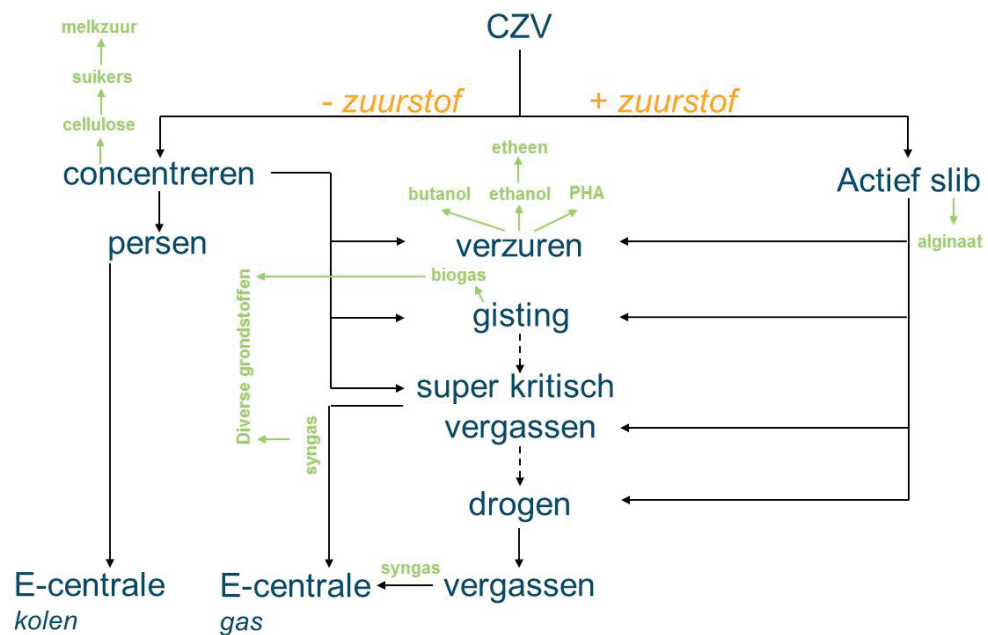
- zwavel als restproduct in toenemende mate beschikbaar komt bij de winning van olie en aardgas en daardoor een zeer goedkope en ruim beschikbare grondstof is;
- de kosten voor winning van zwavel uit biogas (8,60 €/kg S) al ver boven de huidige prijs van zwavel liggen (0,1 €/kg S).

KOOLSTOF (CZV)

Inleiding

Het in afvalwater aanwezige koolstof (CZV) kan op verschillende manieren worden omgezet in grondstoffen. In Figuur 16 is een overzicht gegeven van alle mogelijkheden.

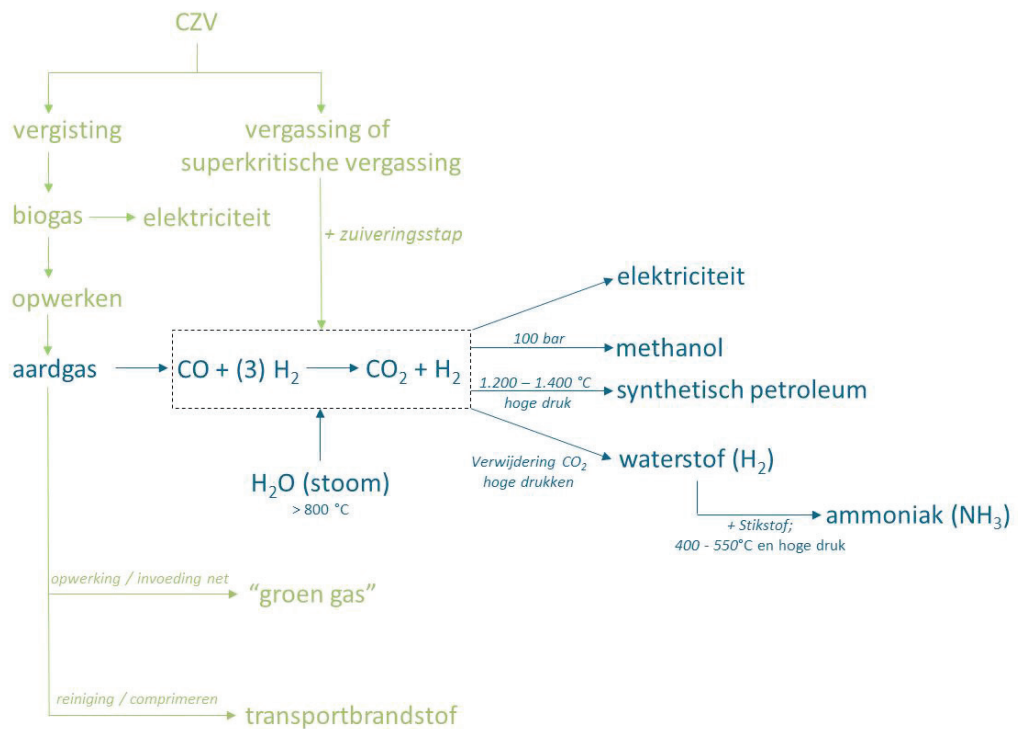
FIGUUR 16 OVERZICHT VAN MOGELIJKE PRODUCTEN DIE UIT CZV KUNNEN WORDEN GEWONNEN



Hieronder wordt in detail de marktanalyse en technische/financiële haalbaarheid weergegeven van ethanol (etheen), n-butanol, PHA en energie (syngas, biogas, elektriciteit). Etheen wordt beschouwd via ethanol, omdat de biologische productie van etheen loopt via ethanol. Met het geproduceerde biogas en syngas kunnen naast elektriciteit nog diverse grondstoffen worden gemaakt waaronder, waterstof, methanol, en kunststof. Voor biogas geldt dat ook nog opwerking naar 'Groen gas' of transportbrandstof mogelijk is. Een overzicht van de mogelijkheden is weergegeven in Figuur 8.

FIGUUR 17

MOGELIJKE AFZETROUTES BIOGAS EN SYNGAS (GROEN) AFGEZET TEGEN HUIDIGE SYNGAS PRODUCTIEROUTE (BLAUW)



Marktanalyse CZV producten

De resultaten van de marktanalyse voor koolstof zijn weergegeven in Tabel 18.

TABEL 18 RESULTATEN MARKTANALYSE KOOLSTOF

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Ethanol (etheen)	Bulkmarkt: productie bio ethanol bedraagt alleen al 86 miljoen ton/j; omvang etheen is 109 miljoen ton/j ¹⁾ Prijs 1 – 1,5 €/kg ²⁾	Concurrereert met voedselvoorziening Energie intensief proces	Minimale vereiste schaal vergelijkbaar met melkzuur ³⁾
n-Butanol	Circa 2 miljoen ton / j (bioproductie)	Idem als ethanol	Onbekend
Melkzuur	Niche/Bulk: 300.000 – 400.000 ton/j ⁴⁾ Prijs: 1 – 1,2 €/kg ⁴⁾	Idem als ethanol Productie uit cellulose, vergt vrij veel energie en chemicaliën ⁵⁾	Geen afzet richting voedingsmiddelenindustrie ⁶⁾ Vrij van remmende stoffen voor fermentatie ⁶⁾ Imago en hygiëne belangrijk ⁶⁾ Minimale omvang circa 100.000 ton/j ⁶⁾
PHA productie na verzuring cellulose	Niche markt: 70.000 ton/j, maar wel sterk groeiend ⁷⁾ (geldt ook voor ethanol en melkzuur). Prijs 3 – 4 €/kg ⁷⁾	Kosten: hoog (door vereiste steriele productie omgeving) Duurzaamheid: onttrekking PHA uit biomassa vergt nog vrij veel energie en chemicaliën	Onbekend

1) Informatie via Wikipedea (Engels)

2) gebaseerd op huidige brandstofprijzen, CBS, 2013

3) persoonlijke communicatie Mark van Loosdrecht

4) Informatie uit: Paulien Harmsen, Martijn Hackmaan, 2012, Groene bouwstenen voor biobased plastics; Biobased routes en marktontwikkeling, Wageningen UR Food & Biobased Research, ISBN 978-94-6173-482-2.

5) Informatie uit: Carlos A. Cardona, Óscar J. Sánchez, 2007, Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities, Bioresource Technology 98, p. 2415 – 2457.

6) Informatie uit: STOWA, 2012, Verkenning naar mogelijkheden voor verwaarding van zeefgoed, rapportnummer 2012 – 07.

7) Informatie uit C. Bolk, J. Ravenstein, K. Molenveld, P. Harmsen (Editor), 2012, Biobased plastics 2012, Wageningen UR Food & Biobased Research

Marktanalyse producten uit biogas & syngas

De resultaten van een meer globale analyse van de markt van de mogelijke producten die uit biogas en syngas kunnen worden gemaakt zijn samengevat in Tabel 19.

TABEL 19 RESULTATEN MARKTANALYSE POTENTIËLE PRODUCTEN UIT BIOGAS OF SYNGAS

Toepassing	Kenmerken markt	Houdbaarheid huidig productieproces	Eisen vanuit de markt
Elektriciteit (biogas en syngas)	Bulkmarkt: 113 miljoen kWh/j (alleen NL) ¹⁾ Prijs: 0,08 – 0,12 €/kWh Trend: stijgend	Kosten: afhankelijk olie en gasprijs Duurzaamheid: 80% elektriciteit komt in NL uit fossiele brandstoffen ¹⁾	Continuïteit in levering
'Groen gas' (biogas)	Bulkmarkt: 45 miljoen m ³ /j (aardgas, alleen NL) Prijs: circa 0,29 €/m ³ ²⁾ Trend: stijgend	Huidige aardgasproductie: energie intensief	Onbekend
Transportbrandstof (biogas)	Bulkmarkt Prijs: ~ 0,6 €/kg ²⁾ Trend: stijgend	Olie industrie: energie intensief	Onbekend
Methanol (syngas)	Bulkmarkt:> 30 miljoen ton/j, waarvan 40% richting formaldehyde en dan plastics etc ³⁾ . Prijs: 0,37 €/kg ⁴⁾ Trend: Stijgend	Geproduceerd uit aardgas: energie intensief	Onbekend
Synthetisch petroleum (syngas)	Bulkmarkt Prijs: 1 – 1,5 €/kg ⁵⁾	Fischer – Tropsch proces: zeer energie intensief	Onbekend
Waterstof (syngas)	Bulkmarkt: gebruikt in olie-, en kunstmestindustrie	Voornamelijk geproduceerd uit aardgas Kosten: afhankelijk aardgasprijs Duurzaamheid: zeer energie intensief.	Onbekend
Kunstmest (syngas)	Zie stikstof (Tabel 16)	Zie stikstof (Tabel 16)	Onbekend

1) Informatie via CBS 2011

2) Prijs die mogelijk kan worden verkregen als geleverd aan het net/tank; informatie uit: STOWA, 2011, Optimalisatie WKK en bioigasbenutting, rapportnummer 2011 – 33

3) Informatie via: Wikipedia (Engels)

4) Informatie via: <http://www.methanex.com/products/methanolprice.html> (bezoekt vrijdag 15 maart 2013) gebaseerd op huidige brandstofprijzen, CBS, 2013

Potentie in afvalwater

Voor het berekenen van de mogelijk (maximaal) te vormen grondstoffen uit CZV of slib is voor de hoeveelheid CZV uitgegaan van de CBS cijfers uit 2010. In dat jaar werd ruim 953 miljoen kg CZV aangevoerd naar alle Nederlandse rwzi's. Voor het berekenen van de slibproductie is uitgegaan van een yield van 0,5 kg ds/kg CZV_{omgezet}. Met de CBS cijfers voor CZV influent en effluent uit 2010 is berekend dat circa 439.000 ton ds/j aan slib wordt geproduceerd in Nederland.

Om de potentie te berekenen van de hoeveelheid te produceren, ethanol⁴⁰, PHA en energie uit afvalwater of slib zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- voor ethanol uit CZV afvalwater:
 - 30% van de CZV is fermenteerbaar (voor vetzuurproductie);
 - opbrengst ethanol uit vetzuren is 0,5 g/g.⁴¹
- voor ethanol uit slib:
 - organisch drogestofgehalte (ODS) is 75%;
 - CZV slib is 1,4 kg CZV/kg ODS;
 - maximale afbreekbaarheid: 40%;
 - slibproductie tijdens fermentatie is 0,1 kgDS/kgCZV;
 - opbrengst ethanol uit vetzuren is 0,5 g/g.⁴¹
- voor PHA uit afvalwater:
 - 30% van de CZV is fermenteerbaar (voor vetzuurproductie);
 - slibproductie verrijgingsstap: 0,3 kgDS/kgCZV⁴²;
 - PHA opbrengst: 0,8 mol PHA/mol vetzuur⁴².
- voor PHA uit slib:
 - idem als voor ethanol uit slib t/m slibproductie fermentatie;
 - idem als voor PHA uit afvalwater vanaf slibproductie verrijgingsstap.
- voor energie als methaan uit afvalwater:
 - maximale afbreekbaarheid 50% (vergelijkbaar primair slib);
 - maximale methaanopbrengst van 0,35 Nm³/kg CZV;
 - energie-inhoud methaan 39,96 MJ/m³.
- voor energie als methaan uit slib:
 - idem als ethanol uit slib t/m maximale afbreekbaarheid;
 - maximale methaanopbrengst van 0,35 Nm³/kg CZV;
 - energie-inhoud methaan 39,96 MJ/m³.
- voor de directe verbranding van geconcentreerd CZV:
 - drogestofgehalte 25%;
 - ODS gehalte 75%;
 - stookwaarde ODS: 21,318 GJ/ton ODS;
 - verdampingswaarde water: 2,258 GJ/ton
- voor energie uit syngas:
 - 11 MJ/i.e. voor vergassing⁴³
 - 185 MJ/i.e. voor superkritische vergassing⁴³

Gezien de onzekerheid in de biologische omzettingen en de efficiency daarvan voor de ethanol en PHA productie is nog een onzekerheidsfactor van 0,25 opgenomen.

40 van n-butanol zijn nog geen gegevens bekend.

41 Steinbusch, K. , 2010, Liquid biofuel production from volatile fatty acids, PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands

42 Nicholas Gurieff, Paul Lant, 2007, Comparative life cycle assessment and financial analysis of mixed culture polyhydroxyalkanoate production; Bioresource Technology 98, p. 3393 – 3403.

43 STOWA, 2010, Slibketenstudie II, rapportnummer 2010 – 33

Met deze uitgangspunten en de berekende hoeveelheid CZV in afvalwater en slib, zijn de volgende potentieel terug te winnen hoeveelheden berekend voor:

- ethanol uit afvalwater : ~ 100.000 ton/j (~3,2 miljoen GJ/j)⁴⁴
- ethanol uit slib : ~ 50.000 ton/j (~1,6 miljoen GJ/j)
- PHA uit afvalwater : ~120.000 ton/j
- PHA uit slib : ~ 70.000 ton/j
- energie (methaan) afvalwater : ~ 6,7 miljoen GJ/j
- energie (methaan) slib : ~ 2,6 miljoen GJ/j
- energie directe verbranding CZV : ~ 1,6 miljoen GJ/j
- energie (syngas) vergassing : ~ 0,3 miljoen GJ/j
- energie (syngas) superkritische vergassing : ~ 4,5 miljoen GJ/j

Technische haalbaarheid

- Ethanol (etheen) / n-butanol

Ethanol wordt op dit moment al op een grote schaal geproduceerd uit biologische producten. Deze producten concurreren echter met de voedselvoorziening, en om deze reden wordt er nu veel geïnvesteerd in de productie van ethanol uit cellulose. DSM en POET (Verenigde Staten) hebben verregaande plannen om in 2013 in de VS de eerste installatie in bedrijf te nemen die uit lignocellulose bio-ethanol maakt. Bio-ethanol wordt nu vooral gebruikt als brandstof, maar n-butanol is een aantrekkelijker alternatief vanwege de hogere energie inhoud en de lagere CO₂ uitstoot. Om deze reden wordt voor ethanol ook gekeken naar de productie van etheen die dient als bouwsteen voor de productie van polyetheen (PE). Door Braskem is in 2010 in Brazilië de eerste bioPE installatie (met suikerriet als grondstof) in bedrijf genomen. Het Chinese Cathay Industrial Biotech is tot op heden het enige bedrijf wat bio n-butanol produceert (uit mais), maar ook andere bedrijven investeren hier sterk in⁴⁵.

De productie van ethanol of n-butanol uit afvalwater of slib is nog niet onderzocht. Een mogelijk interessant proces kan het proces zijn dat Steinbusch (2010)⁴¹ op laboratorium schaal heeft ontwikkeld. In dit proces gaat men uit van het 'vergisten' van biomassa waarbij men niet verder gaat dan de productie van vetzuren. Door de omstandigheden zo te kiezen kan voornamelijk acetaat worden gemaakt. In verdere (biologische) vervolgstappen kan hier ethanol of langere vetzuren van gemaakt worden die beide interessant zijn om als brandstof in te zetten. Het principe van dit proces is nu aangetoond, maar experimenten met daadwerkelijk biomassa zijn nog niet uitgevoerd. Verder is de verwachting dat het mogelijk moet zijn om uit de cellulose uit afvalwater ethanol te produceren, het belangrijkste obstakel lijkt hierbij wel de gewenste minimale schaal van 100.000 ton/j (zie Tabel 13).

- Melkzuur

Net als ethanol wordt melkzuur geproduceerd uit suiker- en zetmeelrijke biomassa zoals suikerriet, maïs en tapioca. Omdat deze grondstoffen concurreren met de voedselvoorziening wordt nu ook gekeken naar lignocellulose als basis voor de productie van melkzuur. Dit vergt een meer complex proces, welke op dit moment nog in ontwikkeling is en waarvan de productie nog niet op commerciële schaal wordt toegepast⁴⁵.

⁴⁴ Energie inhoud (higher heating value) ethanol is 29,7 GJ/ton

⁴⁵ Informatie uit deze paragraaf is afkomstig van: Paulien Harmsen, Martijn Hackmaan, 2012, Groene bouwstenen voor biobased plastics; Biobased routes en marktontwikkeling, Wageningen UR Food & Biobased Research, ISBN 978-94-6173-482-2.

Productie van melkzuur vanuit afvalwater is alleen mogelijk via de omzetting van cellulose, omdat alleen cellulose kan worden omgezet naar suikers (en dan naar melkzuur) en de overige CZV daar niet voor geschikt is. In het laatste STOWA-onderzoek⁴⁶ naar de mogelijkheden van verwaarding van cellulose is een eerste test gedaan naar de omzetting van cellulose naar melkzuur. In deze test is in eerste instantie gekeken naar de mogelijkheden om cellulose uit afvalwater te fermenteren naar suikers. Uit de test is gebleken dat de fermentatie volledig verloopt maar nog wel geremd wordt. Dit vormt nog een belemmering voor verdere toepassing en vereist nader onderzoek. Tevens vormen ook de hygiënische aspecten een mogelijke belemmering omdat ook imago en marktrisico's een rol spelen.

- PHA

Hier wordt verwezen naar een (nog uit te komen) STOWA-rapport over de haalbaarheid van PHA productie uit afvalwater.

- Biogas & elektriciteit

Het produceren van biogas uit slib en (geconcentreerd) afvalwater is bewezen technologie net als de productie van elektriciteit uit biogas via een WKK.

- Biogas & brandstofgas

Het opwerken van biogas naar brandstof is technisch mogelijk na reiniging en compressie van het biogas⁴⁷.

- Biogas & 'Groen gas'

Het opwerken van biogas naar 'Groen gas' is technisch mogelijk met onder andere technieken zoals 'Pressure Swing Absorption', absorptie met water of chemicaliën ('scrubbing'), membraanscheiding, of cryogene scheiding⁴⁷.

- Syngas

Syngas kan worden geproduceerd door het toepassen van vergassing of super kritische vergassing. Vergassing van biomassa wordt al op commerciële schaal toegepast, maar de vergassing van slib vindt nog maar op zeer beperkte schaal plaats (alleen in Duitsland één installatie)⁴⁸. Voor superkritische vergassing geldt dat de techniek alleen nog maar op laboratoriumschaal is bewezen voor de verwerking van natte biomassa stromen in sommige gevallen ook slib.

- Syngas & elektriciteit

Op het moment dat syngas kan worden geproduceerd leidt het meestoken daarvan in een gasgestookte elektriciteitscentrale tot een energetisch hoog rendement⁴⁸.

46 STOWA, 2012, Verkenning naar mogelijkheden voor verwaarding van zeefgoed, rapportnr. 2012 - 07.

47 STOWA, 2011, Optimalisatie WKK en biogasbenutting, rapportnummer 2011 - 33.

48 STOWA, 2010, Slibketenstudie II, rapportnummer 2010 - 33.

- Syngas & methanol

De productie van methanol uit syngas is een wereldwijd toegepast proces waarbij het syngas wordt geproduceerd uit aardgas (zie Figuur 17). Dit is een energetisch intensief proces, omdat hoge temperaturen en drukken vereist zijn. Een meer duurzaam proces wordt nu toegepast door BioMCN (Delfzijl). Het syngas wordt geproduceerd uit de vergassing van glycerol welke een restproduct is van de productie van bio-ethanol. Recent heeft BioMCN ook een overeenkomst getekend met de Suikerunie en GasTerra voor de levering van biogas waarvan door BioMCN ook methanol kan worden gemaakt.

- Syngas & synthetisch petroleum (Fischer Tropsch)

De productie van synthetisch petroleum wordt wereldwijd op grote schaal toegepast door toepassing van het Fischer Tropsch proces. Het syngas kan worden geproduceerd uit aardgas of uit steenkool (bijvoorbeeld Sasol). De verdere opwerking naar synthetisch petroleum is een zeer energie intensief proces door de zeer hoge temperaturen en drukken die nodig zijn.

- Syngas & waterstof

Waterstof wordt gezien als een mogelijk potentiële brandstof voor de toekomst maar wordt op dit moment nog maar op beperkte schaal toegepast. Opwerking vanuit syngas zal nog wel de nodige energie kosten voor de verwijdering van CO₂.

- Syngas & kunstmest

De productie van kunstmest uit syngas is een zeer belangrijke productie route die wereldwijd wordt toegepast. In deze route wordt aardgas omgezet in syngas, dat vervolgens zover wordt gereinigd dat het waterstofgas kan worden gebruikt voor de productie van kunstmest. Ook dit is vanwege de vereiste hoge temperaturen en drukken een energie intensief proces.

Financiële haalbaarheid

- Ethanol (etheen) / n-butanol

Op dit moment zijn de processen voor de productie van ethanol (etheen) en n-butanol nog onvoldoende bekend, om de financiële haalbaarheid te toetsen. Het is wel goed om in het achterhoofd te houden dat deze grondstoffen onderdeel zijn van een bulkmarkt en de opbrengsten (en marges) klein zullen zijn.

- Melkzuur

Op dit moment zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om de financiële haalbaarheid te toetsen.

- PHA

Hier wordt verwezen naar (nog uit te komen) STOWA-rapport over de haalbaarheid van PHA productie uit afvalwater.

- Biogas & elektriciteit

De productie van elektriciteit uit biogas via een WKK wordt in diverse studies^{47,48} als financieel één van de meest aantrekkelijke opties gezien en kan binnen twee tot negen jaar worden terugverdiend afhankelijk van de grootte van de zuivering⁴⁷.

- Biogas & brandstofgas & 'Groen gas'

Uit een recent verschenen STOWA-rapport⁴⁷ is gebleken dat de omzetting van biogas naar brandstofgas of 'Groen gas' financieel haalbaar is, waarbij de prijs voor het geleverde gas wel erg bepalend is. Bij een prijs voor 'Groen gas' van 0,287 €/m³, varieerde de terugverdientijd tussen de vier en negen jaar afhankelijk van de grootte van de zuivering. Bij een prijs van 0,60 €/m³ voor brandstofgas varieerde de terugverdientijd tussen de vijf en tien jaar afhankelijk van de grootte van de zuivering.

- Syngas & elektriciteit

De kosten voor de productie van syngas zijn op dit moment nog lastig in te schatten omdat ervaringsgegevens ontbreken over het (superkritisch) vergassen van slib. Aan de hand van een eerste inschatting (op basis van expert judgement) is uit de slibketenstudie II⁴⁸ gebleken dat de kosten voor de eindverwerking kunnen worden gereduceerd. Afhankelijk van het huidige tarief voor slibeindverwerking kan de productie van syngas financieel haalbaar zijn.

- Syngas & methanol, synthetisch petroleum, waterstof en kunstmest

Reële getallen ontbreken om een berekening uit te voeren naar de mogelijk financiële haalbaarheid. Echter de verwachting is wel dat gezien de beperkte opbrengsten voor bijvoorbeeld methanol (0,37 /kg) en kunstmest (0,1 – 0,3 /kg) het onwaarschijnlijk is dat de productie van genoemde grondstoffen uit syngas financieel haalbaar gaan zijn. Dit wordt voor superkritische vergassing ondersteund door cijfers uit een door ECN uitgegeven rapport. In dit rapport is gekeken naar de economie van superkritische vergassing van natte biomassastromen. Geconcludeerd wordt dat de productiekosten voor het syngas of waterstof respectievelijk vijf tot tien maal zo hoog zijn als conventionele productietechnieken.⁴⁹

Conclusie

Aan de hand van de uitgevoerde marktanalyse en analyse van de technische/financiële haalbaarheid kan worden geconcludeerd dat:

- de productie van ethanol (en etheen) of n-butanol uit afvalwater of slib technisch nog niet mogelijk is en daarnaast in termen van energie minder oplevert dan het omzetten van CZV in methaan;
- de productie van PHA een interessante optie is gezien de aantrekkelijke marktprijs en de groeiende vraag;
- de productie van biogas uit het CZV in afvalwater leidt tot de hoogste energieopbrengst;
- de productie van elektriciteit, 'Groen gas' en transportbrandstof uit biogas technisch en financieel haalbaar zijn;
- biogas omgezet in de vorm van aardgas mogelijk ook kan worden afgezet bij methanol-, en kunstmestindustrie, waarbij de uiteindelijke energiebalans nog wel nader onderzoek vereist;

49 K. Hemmes, L. v.d. Beld, S.R.A Kersten, 2003, Vergassing van natte biomassa/reststromen in superkritiek water (SCWG), voor de productie van 'groen gas'(SNG), SNG/H₂ mengsels, basis chemicaliën en puur H₂, ECN-C-04-107

- de productie van syngas via zowel vergassing als superkritische vergassing nog geen bewezen technologie is en de technische en financiële haalbaarheid hiervan dus ook nog niet getoetst kan worden;
- de productie van syngas via superkritische vergassing en bij toepassing van het gas in een gas gestookte elektriciteitscentrale leidt tot een energetisch gunstige slijbketen;
- geproduceerd syngas mogelijk kan worden afgezet bij een methanolproducent of kunstmestproducent, maar waarbij de uiteindelijke energiebalans nog wel nader onderzoek vereist.

Uit bovenstaande conclusies volgt dat het terugwinnen van de volgende grondstoffen uit het aanwezige CZV vooralsnog haalbaar is voor het concept van de 'Grondstoffen RWZI':

- PHA voor de productie van bioplastics;
- brandstof in de vorm van elektriciteit, 'Groen gas' of transportbrandstof.

HUMUSZUREN

Humuszuren vormen een verzameling van organische afbraakproducten van plantenmateriaal die vaak moeilijk afbreekbaar zijn. In het afvalwater kunnen deze afkomstig zijn vanuit het drinkwater of ze kunnen nog worden gevormd op de zuivering. Echter hierover is weinig bekend. In de drinkwatersector is hier meer over bekend. Drinkwaterbedrijf Vitens heeft de afgelopen jaren intensief onderzoek uitgevoerd naar de verwijdering van humuszuur uit grondwater en de mogelijkheden om dit humuszuur af te zetten⁵⁰. Mogelijke afzetroutes zijn:

- als plantenvoedingen (bodemverbeteraar);
- als diervoeding;
- in humane toepassingen.

Voor toepassing als plantenvoeding wordt als eis gesteld dat het geconcentreerde humuszuur vrij is van dioxine, landbouwgif en zware metalen. Voor toepassing in de diervoeding gelden de zelfde eisen, met daaraan toegevoegd de kwaliteitseisen van het GMP+ (Good Management Practice). Voor humane toepassingen komen bij bovenstaande nog de eisen bij die volgen uit de HACCP.

De afzetprijs die binnen deze afzetroutes mogelijk zijn, zijn sterk afhankelijk van de eigenschappen, kwaliteit en effectiviteit van het humuszuur dat kan worden teruggewonnen. Echter als indicatie kunnen de volgende afzetprijzen worden vermeld (bron: Vitens):

- plantenvoeding : 0,1 – 1 €/l;
- diervoeding (droog) : 1 – 5 €/kg;
- humaan (droog) : > 5 €/kg

Vitens is inmiddels zover dat zij het humuszuur kunnen concentreren en afzetten naar de markt. Hieruit blijkt dat het technisch en financieel haalbaar is om humuszuur te concentreren uit grondwater. In hoeverre het financieel haalbaar is om uit afvalwater (effluent of rejectiewater) humuszuur terug te winnen is, is op dit moment nog niet zeggen, omdat nog te weinig bekend is over de hoeveelheid⁵¹ en kwaliteit van het humuszuur in afvalwater. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig, waarbij gebruik kan worden gemaakt van de kennis en ervaring die bij Vitens is opgedaan. Dit betekent dat terugwinning van humuszuren op dit moment

⁵⁰ De informatie in deze paragraaf is verkregen via Vitens;

⁵¹ In Emmen zijn metingen verricht aan het drinkwater en het effluent. Als maat voor de hoeveelheid humuszuur is de adsorptie gemeten bij 254 nm (UVA). Voor drinkwater werd een waarde van 2 – 3 abs/m gemeten, voor het effluent 30 – 40 abs/m. Dit toont aan dat op de rwzi humuszuren worden gevormd. (Informatie via Peter vd Maas, WLN).

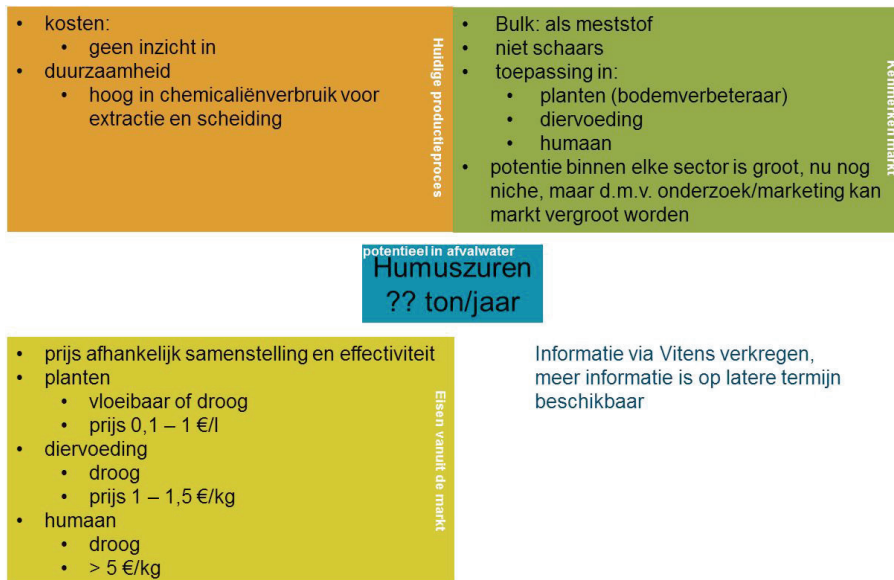
nog niet kan worden meegenomen in het concept van de 'Grondstoffen RWZI', maar dat dit nog wel interessant kan zijn voor de toekomst.

Samenvatting

In Figuur 18 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen.

FIGUUR 18

SAMENVATTING BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN ANALYSE HAALBAARHEID HUMUSZUREN



SLIB ALS BOUWSTOF OF MESTSTOF OF BODEMVERBETERAAR

Slib als bouwstof

In de huidige situatie wordt de as van verbrand of gedroogd slib afgezet in respectievelijk de Duitse mijnen en bij de ENCI waar de as dient als vulstof voor cement. In het verleden is in STOWA verband al gekeken naar de mogelijkheden van slib of as als bouwstof. In 1993 is gekeken naar de uitloogbaarheid van zware metalen uit assen⁵² en in 2005 is een breed scala aan toepassingen onderzocht⁵³.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek uit 2005 was dat slib of as niet kon worden afgezet vanwege een wisselende kwaliteit of te sterke concurrentie van de bestaande productieprocessen. Uit een gesprek met één van de auteurs van toen (Eddie Koornneef) is gebleken dat de situatie ten opzichte van 2005 nog niet is veranderd, en er nog geen kans is om slib als bouwstof in te zetten.

De belangrijkste conclusie uit het rapport van 1993 was dat er onzekerheid bestaat over de vertaling van de uitloogtesten naar de praktijk. Kennis over de uitloogbaarheid van zware metalen is nodig om slib of as mogelijk als bouwstof te mogen toepassen. Toepassing van bouwstoffen is vastgelegd in het Bouwstoffenbesluit. In dit besluit is vastgelegd dat een bouwstof een bouwstof mag worden genoemd als het tenminste 10% (m/m) aluminium, calcium of silicium (of combinatie daarvan) bevat⁵³.

Uit al wat oudere getallen zoals gerapporteerd in STOWA (2005)⁵³ blijkt dat de as van slib tussen de 9 – 16% Al₂O₃ bevat wat neer komt op 4 – 8% Al.

52 STOWA, 1993, De uitloogbaarheid van reststoffen van de slibverwerking, rapportnummer 1993 – 08.

53 STOWA, 2005, Wat te doen met zuiveringsslib?; Studie naar het nuttig toepassen van slib of haar residuen als bouwstof.

Op basis van bovenstaande beschouwingen blijkt dat slib of as niet als bouwstof kan worden toegepast, omdat er geen markt voor is en slib of as niet als bouwstof kan worden aangemerkt. Daar komt bij dat de wet en regelgeving omtrent dit onderwerp zeer complex is en onder andere inzichtelijk moet worden gemaakt wat de uitloogbaarheid is van zware metalen.

Slib als meststof

De verwerking van zuiveringsslib valt in Nederland onder het Landelijk Afvalbeheerplan 2009 – 2021 (LAP-2). Dit plan definieert de minimumstandaard voor de verwerking van zuiveringsslib, wat voor zuiveringsslib een thermische behandeling betekent. Voor een mogelijke afzet naar de landbouw gelden voor de maximale waarden van zware metalen nog steeds de normen uit het BOOM-besluit. Dit besluit is sinds enige tijd overgeheveld naar het Besluit gebruik meststoffen en het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. De normen ten aanzien van zware metalen en de samenstelling van Nederlands zuiveringsslib is weergegeven in Tabel 20.

TABEL 20

OVERZICHT NORM EN SAMENSTELLING ZUIVERINGSSLIB TEN AANZIEN VAN GEHALTE ZWARE METALEN

Component	Eenheid	Zuiveringsslib	Norm
Koper	mg/kg ds	395	75
Chroom	mg/kg ds	41	75
Zink	mg/kg ds	983	300
Lood	mg/kg ds	118	100
Cadmium	mg/kg ds	1,21	1,25
Nikkel	mg/kg ds	27	30
Kwik	mg/kg ds	1	0,75
Arseen	mg/kg ds	9	15

Ten aanzien van koper, zink, lood en kwik voldoet het Nederlandse slib niet aan de norm voor afzet naar de landbouw, terwijl ook de norm voor cadmium en nikkel bijna wordt overschreden. Zonder aanpassing van de norm lijkt afzet naar de landbouw niet mogelijk. Een belangrijke rol hierbij speelt ook dat er in Nederland een mestoverschot bestaat, waardoor de kans klein is dat er op termijn ruimte komt voor de afzet van slib in de landbouw. Dit laatste kan één van de redenen zijn waarom in de rest van Europa nog wel slib in de landbouw wordt afgezet (circa 45% van totaal geproduceerd zuiveringsslib). Ook in deze landen gelden normen voor de afzet naar de landbouw ten aanzien van zware metalen. Deze normen zijn vastgelegd in Europese regelgeving, waarbij nog wel de volgende beperkingen gelden:

- het gebruik van slib moet worden verboden wanneer de concentratie van één of meer zware metalen in de bodem de vastgestelde grenswaarden overschrijdt;
- het gebruik van zuiveringsslib dient zodanig te worden gereguleerd dat de accumulatie van zware metalen niet leidt tot overschrijding van de gestelde waarden.

Geconcludeerd kan worden dat er vanwege het mestoverschot in Nederland er vooralsnog geen ruimte is voor slib als meststof. Indien die ruimte er komt, zullen maatregelen nodig zijn om de gehalten van koper, zink, lood en kwik in het slib te reduceren. Hiermee lijkt slib als meststof niet haalbaar voor het concept van de 'Grondstoffen RWZI'. Toepassing van slib als bodemverbeteraar kan nog een alternatief zijn. Echter de gehalten aan zware metalen zullen naar verwachting ook hier een belemmering vormen voor de toepassing van slib als bodemverbeteraar.

OVERIGE GRONDSTOFFEN

CO₂

Wereldwijd wordt circa 80 miljoen CO₂ per jaar gebruikt, waarvan meer dan de helft voor de winning van aardolie. Daarnaast wordt CO₂ gebruikt voor de productie van kunstmest en in de agrofood industrie. Voor de toekomst is de verwachting dat het verbruik oploopt tot 140 miljoen ton per jaar. Dit staat echter nog in schril contrast met de jaarlijkse uitstoot die wordt geschat op 32 miljard ton CO₂ per jaar⁵⁴. Er is dus sprake van een bulkmarkt waar de prijzen dan ook zeer laag liggen en variëren tussen de 15 en 90 €/ton. Hergebruik van CO₂ wordt niet zozeer direct bepaald door het klimaatprobleem als wel door het terugverdienen van een deel van de kosten die bedrijven betalen voor de uitstoot van CO₂. Hergebruik van CO₂ zal dus een groeiende markt zijn, maar met beperkte opbrengst. Gezien deze beperkte marges zal het niet aantrekkelijk zijn om een 'Grondstof RWZI' in te richten op het maximaal produceren van CO₂, maar zullen er lokaal wel mogelijkheden zijn om CO₂ als bijproduct van de 'Groen gas' productie af te zetten in bijvoorbeeld de kunstmestindustrie of de kalkindustrie (voorbeeld is SNB). In een nog op te starten project zal door STOWA worden onderzocht wat de haalbaarheid is van de productie van CO₂ dat ontstaat bij de productie van 'Groen gas' of bij de productie van elektriciteit in een WKK. In het concept van de 'Grondstoffen RWZI' wordt CO₂ vooralsnog wel meegenomen.

Geneesmiddelen

Geneesmiddelen in het afvalwater hebben de laatste jaren in de belangstelling gestaan in het kader van mogelijk negatieve effecten voor het milieu. In 2008 is een eerste verkenning uitgevoerd naar de aanwezigheid van geneesmiddelen in het effluent van rwzi's⁵⁵. Uit deze verkenning bleek dat de concentraties waarin de geneesmiddelen werden gevonden zeer laag zijn of zelfs onder de rapportagegrens lagen. Het middel dat in de hoogste concentratie werd aangetoond was metoprolol (bètablokker), met een concentratie van 2,7 µg/l. Bij deze concentratie en de in 2010 geproduceerde hoeveelheid afvalwater (CBS) zou de maximaal terug te winnen hoeveelheid metoprolol circa 5.000 kg bedragen. Door de zeer lage concentraties zullen de opbrengsten aan medicijnen zeer beperkt zijn, terwijl wel naar verwachting meerdere zuiveringsstappen nodig zullen zijn om de medicijnen 'zuiver' genoeg te kunnen isoleren uit het afvalwater. Daarnaast is het maar zeer de vraag en eigenlijk zelfs wel uit te sluiten dat teruggewonnen medicijnen uit afvalwater zullen worden geaccepteerd door de farmaceutische industrie, de overheid en de patiënten. Samenvattend kan worden gesteld dat terugwinning van geneesmiddelen niet haalbaar is gezien de beperkte hoeveelheid en de strenge eisen die de markt stelt.

Lipiden

De celmembranen van Anammox bacteriën bevatten mogelijk lipiden die mogelijk interessant zijn om terug te winnen. Op dit moment is over de mogelijkheden nog zeer weinig bekend, en moet het onderzoek ernaar nog worden opgestart.

Zware metalen

Door vastlegging in het slib en vervolgens de verbranding van slib vindt concentratie van de zware metalen plaats in de as. Deze mate van concentratie zal nooit mogelijk zijn via concentratie van afvalwater. Terugwinning van zware metalen kan dus het beste worden gedaan via de as, een route die nu ook al beschikbaar is. In Tabel 21 zijn de jaarvrachten (CBS 2010) en de

54 Informatie uit deze paragraaf van: VNCI, AgentschapNL, De sleutelrol waarmaken, Routekaart Chemie 2012-2030, Energie en klimaat.

55 STOWA, 2008, Verkenning geneesmiddelen en toxiciteit in effluent rwzi's, rapportnummer 2008 - 06.

opdeling over slib en effluent weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de meeste metalen worden verzameld in het slib. De onbalans in de massabalans is voor de meeste metalen beperkt. Alleen van kwik en lood wordt er beperkt meer teruggevonden (10 resp. 18%) dan aangevoerd. Naast de CBS gegevens zijn ook door SNB⁵⁶ en HVC als belangrijke 'producenten' van as, gegevens verzameld over de samenstelling van het as ten aanzien van zware metalen⁵⁷. In Tabel 22 zijn deze waarden weergegeven. Hieruit blijkt dat deze concentraties goed overeenkomen met de CBS gegevens.

TABEL 21 METALENBALANS RWZI'S

	Jaarvracht (kg/j)			Opdeling naar eindbestemming		
	Influent	Slib	Effluent	Slib (%)	Effluent (%)	'onbalans' (%)
Koper	145.405	132.552	8.842	91	6	3
Chroom	17.391	13.715	2.897	79	17	4
Zink	460.409	348.041	85.375	76	19	6
Lood	36.893	39.757	3.901	108	11	-18
Cadmium	803	468	232	58	29	13
Nikkel	20.905	11.020	9.367	53	45	2
Kwik	319	265	87	83	27	-10
Arsen	6.295	3.276	2.848	52	45	3
Totaal	688.420	549.094	113.549	80	16	4

TABEL 22 METAALGEHALTES IN RWZI AS (MG/KGDS)

Metaal	HVC / SNB			CBS
	laag	hoog	gemiddeld	gemiddeld
Arsen		42	42	30
Cadmium	3,8	5,2	4,5	4,3
Chroom	91	118	105	125
Koper	986	1.086	1.036	1.200
Kwik				2,4
Nikkel	66	75	71	100
Molybdeen	27	30	29	nb
Lood	261	430	346	360
Antimoon	9	10	9,5	nb
Zink	2.262	2.713	2.488	3.160
Barium		650	650	nb
Broom		44	44	nb
Kobalt		19	19	nb
Mangaan		2.933	2.933	nb
Tin		65	65	nb
Strontium		600	600	nb
Vanadium		42	42	nb

Met deze gegevens is de potentiële hoeveelheid per metaal berekend, de potentiële opbrengst is berekend aan de hand van marktprijzen zoals gerapporteerd door WERF⁵⁸ (tenzij anders vermeld). De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in Tabel 23.

56 <http://www.snb.nl/feiten-en-cijfers/milieu/1197>

57 STOWA, 2005, Wat te doen met zuivering-slib?; Studie naar het nuttig toepassen van slib of haar residuen als bouwstof.

58 WERF, December, 2010, Nutrient recovery state of the knowledge.

TABEL 23 OVERZICHT SAMENSTELLING AS EN POTENTIËLE OPBRENGST VOOR GEHEEL NEDERLAND EN EEN RWZI VAN 100.000 I.E. (PRIJZEN IN ROOD ZIJN NIET VAN WERF, MAAR ZIJN VIA METALPRICES.COM OPGEVRAAGD)

Metaal	Potentiële	Jaarvracht	Potentiële opbrengst	
	marktprijs		NL totaal	rwzi 100.000 i.e.
	(€/kg)	kg	€/jaar	€/jaar
Aluminium	1,26	6.002.147 ¹	7.536.296	31.181
Magnesium	1,93	1.974.900	3.820.444	15.807
IJzer	0,05	7.927.648	405.103	1.676
Antimoon	9,5	1.100	10.500	50
Arseen	1,5	3.300	5.000	30
Barium	1,5	72.000	107.000	540
Broom	2	4.800	9.700	50
Cadmium	1,5	500	700	4
Chroom	10	14.000	138.000	690
Kobalt	19,5	2.100	40.800	200
Koper	5,7	132.000	753.000	3.800
Kwik	3,5	300	900	5
Lood	1,6	40.000	63.000	320
Mangaan	2,2	323.000	710.000	3.600
Molybdeen	18,7	3.300	61.800	310
Nikkel	12,2	11.000	134.000	670
Seleen	108	600	59.400	300
Strontium	2	66.000	132.000	660
Tin	17,2	7.200	123.100	620
Titanium	9	550.000	4.954.000	250.000
Vanadium	28,8	4.600	133.200	670
Zink	1,4	348.000	487.000	2.400

Aan de hand van Tabel 23 kan worden vastgesteld dat terugwinning van de meeste metalen waarop geanalyseerd wordt, financieel onhaalbaar zal zijn gezien de beperkte opbrengsten. Zeker terugwinning bij individuele zuiveringsinrichtingen is onhaalbaar. Koper, mangaan en vooral aluminium, magnesium en titanium, lijken een potentieel aantrekkelijke opbrengst te hebben, maar het is nog onbekend in hoeverre de vorm waarin deze metalen aanwezig zijn terugwinning mogelijk of interessant maken. Naast de boven besproken 'micro' metalen, bevat de as relatief hoge concentraties aan de 'macro' metalen silicium (9 – 18%) ijzer (6 – 12%) en aluminium (5 – 8%). Deze metalen zijn in zeer ruime mate beschikbaar. Het is niet waarschijnlijk dat terugwinning uit verbrandingsas voor deze stoffen economisch interessant zal zijn.

Tenslotte kan nog het volgende worden opgemerkt:

- Grondstofprijzen zijn zeer volatiel. Voor het uitbreken van de crisis in 2007 - 2008 was de prijs van veel grondstoffen factoren hoger dan de huidige prijs.
- Nog niet van alle metalen is de concentratie in afvalwater en/of slib bekend. Vooral van de zeldzame aardmetalen (lanthaniden en actiniden) waar potentieel een wereldwijd tekort van wordt verwacht) kan de concentratie mogelijk interessant genoeg (worden) om terugwinning interessant te maken.

Gezien alle onzekerheid over de technische (en daarmee ook financiële) haalbaarheid wordt het terugwinnen van metalen niet meegenomen in het concept van de 'Grondstoffen RWZI'.

Water

Voor de productie van drinkwater of proceswater kan in Nederland gebruik worden gemaakt van grondwater of oppervlaktewater dat via infiltratie in de duinen wordt opgewerkt. Daarmee zijn deze twee bronnen schoner dan het effluent van een zuivering. Naast opgeloste zouten, en organische stoffen bevat het nog zwevende stof. Effluent zal dus een uitgebreidere zuivering moeten ondergaan dan grondwater of geïnfilterd oppervlaktewater. De verwachting is dat om eenzelfde kwaliteit te leveren als het behandelde grond-, of oppervlaktewater een combinatie nodig is van ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Ultrafiltratie is nodig om de zwevende stof en een deel van de opgeloste organische stof te verwijderen. Dit is nodig om de omgekeerde osmose membranen te ontlasten en het gebruik van chemicaliën daar te verminderen. Met omgekeerde osmose membranen is het mogelijk het zoutgehalte (o.a. calcium, ijzer) te verlagen zodat het kan worden gebruikt als proceswater.

De kosten die worden gemaakt voor de productie van proceswater uit bijvoorbeeld grondwater bedragen circa € 0,10 – 0,15 /m³. In de meeste gevallen komt daar nog een bedrag bij van € 0,013/m³ aan provinciale heffing. Voorheen werd daarbij nog een grondwaterbelasting geheven van € 0,20/m³, maar deze is recentelijk afgeschaft.

Op het moment dat effluent wordt toegepast als bron voor proceswater zal dit via ultrafiltratie (of eventueel via het bestaande zandfilter) en omgekeerde osmose membranen moeten worden opgewerkt naar de gewenste kwaliteit. De kosten voor deze technieken zijn ingeschat aan de hand van waardes uit een STOWA-rapport over hergebruik van effluent⁵⁹ en 'expert judgement'. De kosten voor de benodigde technieken zijn:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| • microfiltratie / ultrafiltratie | : 0,20 €/m ³ |
| • nanofiltratie / omgekeerde osmose | : 0,25 €/m ³ |
| • UV desinfectie | : 0,02 €/m ³ |

Totaal : 0,47 €/m³

Uit bovenstaande kan worden opgemaakt dat het opwerken van effluent leidt tot hogere kosten dan de productie van proceswater uit grondwater. Vooral nu recent (begin december 2011) de grondwaterbelasting is afgeschaft lijkt hergebruik van effluent niet haalbaar. Dit werd in een recent bericht op waterforum ook genoemd als één van de redenen waarom de MBR voor communale toepassingen minder aantrekkelijk is geworden⁶⁰.

⁵⁹ STOWA, Compendium rwzi-effluent als bron voor 'ander water', 2001 – 14.

⁶⁰ Waterforum, 6 juni 2013, Communale membraan bioreactoren (MBR) uit de gratie in Nederland.

SAMENVATTING HOEVEELHEID GRONDSTOF AANWEZIG IN NEDERLANDS AFVALWATER

Grondstof	Eenheid	Totaal Nederland	Rwzi 100.000 i.e.
Algen	ton ds/j	400.000	2.000
Alginaat	ton/j	70.000	300
Cellulose	ton/j	180.000	1.000
Fosfaat	ton/j	14.000	100
Kalium	ton/j	30.000	100
Stikstof	ton/j	89.000	400
Zwavel	ton/j	50.000	200
CZV als:			
ethanol (uit afvalwater)	ton/j	110.000	500
ethanol (uit slib)	ton/j	60.000	200
PHA (uit afvalwater)	ton/j	120.000	500
PHA (uit slib)	ton/j	70.000	300
energie (methaan;afvalwater)	GJ/j	6.670.000	28.000
energie (methaan;slib)	GJ/j	2.580.000	11.000
energie (directe verbranding CZV)	GJ/j	1.650.000	7.000
energie (syngas; vergassing)	GJ/j	267.000	1.000
energie (syngas; superkritische vergassing)	GJ/j	4.480.000	18.000
Humuszuren	ton/j	onbekend ⁵¹	onbekend ⁵¹

BIJLAGE 2

OVERZICHT BENADERDE PERSONEN EN PARTIJEN

De volgende personen/partijen zijn benaderd bij de uitvoering van de marktanalyse:

- Eddie Koorneef (slib als bouwstof);
- Helle v/d Roest (alginaat);
- ICL, Cees Langeveld (fosfaat en andere meststoffen);
- Mark van Loosdrecht (lipiden Anammox);
- Peter v.d. Maas (membranen);
- Rick Winters / Chris Ruiken (cellulose);
- Stefan Weijers (concept in geheel en algen);
- Skretting (visvoer, algen);
- Van der Stelt B.V., Jeffrey Oldengarm, (vloeibare kunstmest);
- Vitens, Erik Driessen/Alexander Laarman (humuszuren);
- Wilbert Menkveld (PHA);
- Willy Verstraete (concept in geheel).

BIJLAGE 3

OVERIGE TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN

Parameter	Eenheid	Waarde
BZV effluent	mg/l	5
N effluent	mg/l	10
P effluent	mg/l	1
Me/P	-	2
Aandeel N in slib	-	0,12
N gehalte ODS	%	5
Aandeel P in slib	-	0,03
P gehalte ODS	%	1
Aandeel cellulose		
Primair slib	% van ods	30 ¹⁾
Fijnzeef	% van ods	80 ¹⁾
DAF - chem.	% van ods	30
DAF + chem	% van ods	20 ²⁾
Alginaat aandeel slib	mg/gVSS	160
E-verbruik concentratiestappen		
fijnzeef	kW/draaiuur	16 ¹⁾
DAF	kWh/m ³	0,04 ³⁾
Nanofiltratie	kWh/m ³	0,6 ³⁾
Gravitaire indikking		
DS waarde na	%	4
Mechanische indikking		
PE verbruik	g PE/kg ds	3
E-verbruik	kWh/ton ds	50
DS na mechanisch	%	6
Slibontwatering		
PE verbruik	kg PE/ton ds	10
E-verbruik	kWh/ton ds	80
DS na ontwatering	%	23
Gisting		
verblijftijd	d	20
as gehalte zeefgoed	%	25
as gehalte primair	%	25
as gehalte secundair	%	30
as gehalte flotaat	%	32
CZV primair slib	kg CZV/kg ODS	1,8
CZV secundair slib	kg CZV/kg ODS	1,4
CZV zeefgoed	kg CZV/kg ODS	1,4
Reductie primair (en cellulose) ⁴⁾	%	50
Reductie secundair	%	30
methaangehalte biogas	%	65
Verblijftijd slibbuffer/silo	d	3
Energiebalans		
GER waarde IJzerzout	GJ/ton	12,3
GER waarde PE	GJ/ton	62,2
Elektriciteit	GJ/kWh	0,009
Biogas	GJ/kWh	0,0233

1) uit STOWA 2010, Influent fijnzeven in rwzi's, rapportnummer 2010 – 19.2) aangenomen is dat met toevoeging chemicaliën niet meer cellulose wordt afgescheiden, maar wel meer zwevende stof waardoor aandeel cellulose daalt.

3) op basis van expert judgement

4) voor cellulose is zelfde afbraak aangenomen als voor primair slib (STOWA 2010, Influent fijnzeven in rwzi's, rapportnummer 2010 – 19.

BIJLAGE 4

TECHNOLOGISCHE EN FINANCIËLE RESULTATEN

TABEL 24 OVERZICHT TECHNOLOGISCHE RESULTATEN

Parameter	VBT		Fijnzeef		DAF zonder toevoegingen		DAF + chem		Fijnzeef+NF		
	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	
E-verbriuk watertijn											
concentratiestap	kWh/j	4.380	4.380	113.880	113.880	206.580	206.580	206.580	206.580	4.761.936	4.761.936
Overig watertijn	kWh/j	2.154.324	2.154.324	2.017.510	2.017.510	2.190.405	2.190.405	1.735.272	1.735.272	1.481.576	1.481.576
Slibindkking	kWh/j	49.265	49.265	43.367	43.367	42.312	42.312	29.686	29.686	3.481	3.481
Slibontwatering	kWh/j	71.986	70.242	60.885	55.070	79.876	77.478	94.488	90.711	76.937	71.123
TOTAAL	kWh/j	2.279.956	2.278.212	2.235.642	2.229.827	2.519.173	2.516.775	2.066.026	2.062.249	6.323.930	6.318.116
Slibproductie											
primair slib	kg ds/d	2.124	1.646	2.655	1.062	2.921	2.263	3.983	3.167	5.310	3.717
secundair slib	kg ds/d	2.699	2.699	2.355	2.355	2.204	2.204	1.236	1.236	159	159
chemisch slib	kg ds/d	-	-	21	21	115	115	391	391	31	31
	m ³ /d	-	-	0	0	2	2	7	7	0,5	1
Chemicaliënverbruik											
concentratiestap	ton/j	-	-	-	-	-	-	8	8	-	-
PE	ton/j	-	-	-	-	-	-	95	95	-	-
metaalzout	ton/j	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
watertijn											
P te verwijderen	kg/d	-	-	2	2	4	4	-	-	1	1
metaalzout	ton/j	-	-	3	3	17	17	-	-	5	5
ontwatering PE	ton/j	9	9	8	7	10	10	12	11	10	9
Gisting											
Primair slib	kg ds/d	2.124	1.646	2.655	1.062	2.921	2.263	3.983	3.167	5.310	3.717
waarvan zeefgoed	kg ODS/d	478	1.235	1.593	797	657	657	816	816	1.593	1.593
Primair slib	kg ODS/d	1.593	1.235	1.991	797	2.190	1.698	2.720	2.163	3.983	2.788
zeefgoed	kg ODS/d	478	1.235	1.593	797	657	657	816	816	1.593	1.593
Primair slib	m ³ /d	53	41	66	27	73	57	100	79	133	93
Secundair slib	kg ds/d	2.699	2.699	2.355	2.355	2.204	2.204	1.236	1.236	159	159
	kg ODS/d	1.890	1.890	1.649	1.649	1.542	1.542	865	865	112	112
	m ³ /d	45	45	39	39	37	37	21	21	3	3
Totale slibproductie	kg ds/d	4.823	4.346	5.010	3.417	5.124	4.467	5.218	4.402	5.469	3.876

Parameter	VBT		Fijnzeef		DAF zonder toevoegingen		DAF + chem		Fijnzeef+NF		
	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	
Biogasproductie	Nm ³ /j	464.351	398.603	547.247	328.087	404.856	314.453	662.431	550.177	780.137	560.977
CO ₂ productie	Nm ³ /j	162.523	139.511	191.536	114.830	141.700	110.058	231.851	192.562	273.048	196.342
Slib na gisting											
slib	ton ds/j	900	878	761	688	998	968	1.181	1.134	962	889
zeefgoed	ton ds/j		174		581		240		298		581
N&P vrij											
Stikstof	ton N/j	29	22	42	16	34	24	37	24	51	26
Fosfaat	ton P/j	6	4	8	3	7	5	7	5	10	5
Algemeenproductie	ton/j	42	42	42	42	42	42	30	30	22	22
Energiebalans											
Elektriciteitsverbruik											
concentratiestap	GJ/j	39	39	1.025	1.025	1.859	1.859	1.859	1.859	42.857	42.857
overig waterlijn	GJ/j	19.389	19.389	18.158	18.158	19.714	19.714	15.617	15.617	13.334	13.334
slibindikking	GJ/j	443	443	390	390	381	381	267	267	31	31
slibontwatering	GJ/j	648	632	548	496	719	697	850	816	692	640
Totaal	GJ/j	20.520	20.504	20.121	20.068	22.673	22.651	18.594	18.560	56.915	56.863
Chemicaliënverbruik											
concentratiestap	GJ/j	-	-	-	-	-	-	1.652	1.652	-	-
waterlijn	GJ/j	-	-	38	38	206	206	-	-	56	56
ontwatering	GJ/j	560	546	473	428	621	602	776	746	598	553
Totaal	GJ/j	560	546	511	466	827	809	2.428	2.398	654	609
Energieopbrengst	GJ/j	10.819	9.287	12.751	7.644	9.433	7.327	15.434	12.895	18.177	13.071

TABEL 25 OVERZICHT FINANCIËLE RESULTATEN

Post	VBT		Fijnzeef		DAF zonder toevoegingen		DAF + chem		fijnzeef+NF	
	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose	min cellulose	plus cellulose
INVESTERINGSKOSTEN										
Civiel										
concentratiestap	€ 1.021.000	1.021.000	470.000	470.000	-	-	-	-	470.000	470.000
gravitaire indikking	€ 41.200	41.200	31.900	31.900	50.500	50.500	62.900	62.900	69.400	69.400
mechische indikking	€ 40.000	40.000	39.000	39.000	39.000	39.000	35.000	35.000	23.000	23.000
slibgisting	€ 1.044.000	962.000	1.094.000	812.000	1.121.000	1.012.000	1.187.000	1.056.000	1.280.000	1.027.000
slibbuffer	€ 32.000	28.000	34.000	22.000	35.000	30.000	39.000	32.000	43.000	31.000
slibsto	€ 202.000	200.000	183.000	172.000	216.000	212.000	246.000	241.000	211.000	201.000
schakelruimtes van E 5%	€ 86.000	83.000	89.000	81.000	77.000	73.000	82.000	78.000	96.000	89.000
leidingwerk 15%	€ 357.000	344.000	278.000	232.000	219.000	202.000	235.000	214.000	314.000	273.000
SUBTOTAAL	€ 2.823.200	2.719.200	2.218.900	1.859.900	1.757.500	1.618.500	1.886.900	1.721.900	2.506.400	2.183.400
algemene kosten 25%	€ 706.000	680.000	555.000	465.000	439.000	405.000	472.000	430.000	627.000	546.000
Niet civiel										
concentratiestap	€ 140.000	140.000	270.000	270.000	-	-	-	-	270.000	270.000
gravitaire indikking	€ 28.100	28.100	22.600	22.600	33.200	33.200	39.400	39.400	42.500	42.500
mechanische indikking	€ 91.000	91.000	88.000	88.000	87.000	87.000	75.000	75.000	45.000	45.000
slibgisting	€ 681.000	655.000	696.000	604.000	704.000	670.000	723.000	685.000	750.000	675.000
slibontwatering	€ 310.000	303.000	267.000	244.000	340.000	331.000	416.000	401.000	329.000	307.000
%-age van M/E 40%	€ 572.000	556.000	593.000	538.000	510.000	489.000	549.000	523.000	637.000	591.000
SUBTOTAAL W, M/E & R	€ 2.001.100	1.945.100	2.075.600	1.882.600	1.784.200	1.711.200	1.920.400	1.830.400	2.230.500	2.067.500
algemene kosten 15%	€ 386.000	375.000	400.000	363.000	344.000	330.000	370.000	353.000	430.000	399.000
SAMENVATTING										
BOUWKOSTEN										
civiel	€ 5.329.200	5.199.200	4.573.900	4.124.900	4.199.500	4.026.500	3.967.900	3.760.900	4.813.400	4.409.400
W, E/M & R	€ 4.187.100	4.120.100	4.275.600	4.045.600	5.076.200	4.989.200	4.872.400	4.765.400	6.580.500	6.386.500
DAF*	-	-	-	-	1.350.000	1.350.000	1.390.000	1.390.000	-	-
Nanofiltratie	-	-	-	-	-	-	-	-	3.200.000	3.200.000
Aërobe zuivering	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000	2.800.000	2.800.000	2.400.000	2.400.000
Grondwerken	557.000	557.000	519.000	519.000	509.000	509.000	486.000	486.000	416.571	416.571

