

stowa

# LITERATUURSTUDIE SLIBDESINTEGRATIE



RAPPORT

2005  
W04

LITERATUURSTUDIE SLIBDESINTEGRATIE

RAPPORT

2005  
W04



# COLOFON

Utrecht, 2005

UITGAVE STOWA, Utrecht

## PROJECTUITVOERING

mevr. M. van Rens (Grontmij Nederland bv)

dhr. L. Luning (Grontmij Nederland bv)

mevr. P. Loeffen (Grontmij Nederland bv)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

dhr. H. Schepman (Waterschap Groot Salland)

dhr. D. de Vente (Waterschap Regge en Dinkel)

dhr. E. Poulus (Waterschap Zeeuwse Eilanden)

mevr. K. de Buijn (Waterschap Vallei en Eem)

dhr. V. Claessen (Waterschap Aa en Maas)

dhr. F. Brandse (Waterschap Reest en Wieden)

dhr. L. van Efferen (Waterschap Zuiderzeeland)

mevr. C. Uijterlinde (STOWA)

## FOTO VOORPAGINA

Slibdesintegratie op rwzi land van Cuijk (Grontmij)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2005-W04

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)



# LITERATUURSTUDIE SLIBDESINTEGRATIE

## INHOUD

### STOWA IN HET KORT

<b>1</b>	<b>SAMENVATTING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INZET EN EFFECT VAN DESINTEGRATIE</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Wat is slibdesintegratie</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Inzet</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>Effect</b>	<b>8</b>
	3.3.1 Slibreductie	9
	3.3.2 Verbeterde ontwatering	10
	3.3.3 Bestrijding van licht slib en schuimproblemen	10
	3.3.4 Toename van biogasproductie	11
	3.3.5 Ontsluitingsgraad	11
<b>3.4</b>	<b>Energie-toevoer aan het slib</b>	<b>12</b>
<b>3.5</b>	<b>Retourbelasting</b>	<b>13</b>
	3.5.1 Stikstof	14
	3.5.2 Fosfaat	14
	3.5.3 CZV	15
	3.5.4 pH	16
		<b>V</b>

<b>4</b>	<b>BESCHIKBARE TECHNIEKEN EN VERGELIJKING</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	Mechanische desintegratie	17
<b>4.2</b>	Chemische desintegratie	18
<b>4.3</b>	Thermische desintegratie	18
<b>4.4</b>	Biologische desintegratie	19
<b>4.5</b>	Stand der techniek, recente publicaties slibdesintegratie	19
	4.5.1 Vergelijkende literatuur	19
	4.5.2 Ultrasoon geluid	22
	4.5.3 Ozon	24
	4.5.4 Hydrodynamische desintegratie	24
	4.5.5 Thermisch	25
	4.5.6 Vermalen	25
	4.5.7 Elektrische pulsen	25
	4.5.8 Hoge druk homogenisatie	25
	4.5.9 Slibdesintegratie in de waterlijn	25
<b>4.6</b>	Vergelijking van technieken	26
	4.6.1 Schaalgrootte en toepassing voor vergisting	27
	4.6.2 Referenties	28
	4.6.3 Prestaties	29
	4.6.4 Bedrijfszekerheid / Storingsgevoeligheid	30
	4.6.5 Kostenniveau	30
<b>4.7</b>	Samenvatting vergelijking	31
<b>5</b>	<b>WERKINGPRINCIPE ULTRASONE SLIBDESINTEGRATIE</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	Frequentie van de trilling	33
<b>5.2</b>	Intensiteit van de trilling	33
<b>5.3</b>	DS-gehalte van het te behandelen slib	34
<b>6</b>	<b>WERKINGSPRINCIPE HYDRODYNAMISCHE SLIBDESINTEGRATIE</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>AANBEVELINGEN</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>41</b>
BIJLAGE 1	Inzetstrategieën slibdesintegratie	
BIJLAGE 2	Leveranciersinformatie	
BIJLAGE 3	Desintegratietechnieken	

# 1

## SAMENVATTING

STOWA heeft een literatuurstudie uit laten voeren naar slibdesintegratie, een voorbehandelingstechniek voor zuiveringslib. De studie gaat in op de mogelijkheden voor inzet van slibdesintegratie op een waterzuivering, de verwachte positieve effecten, eventuele nadelige neveneffecten en de marktrijpheid van diverse technieken. Van een aantal recente publicaties is een samenvatting gegeven, ter illustratie van de huidige stand der techniek.

Slibdesintegratie is de verzamelnaam voor technieken die er op gericht zijn de biologische afbreekbaarheid van het slib te verbeteren door het slib “uit elkaar te laten vallen”. In eerste instantie is dit het afbreken van slibvlokken en bij intensievere behandeling van het slib worden ook aanwezige cellen opengebrouwen. Naarmate meer energie wordt toegevoerd, worden de slibstructuren verder afgebroken. Afhankelijk van de manier waarop die energie wordt overgedragen, worden vier soorten desintegratieprocessen onderscheiden: mechanisch, chemisch, thermisch en biologisch.

De huidige grootschalige toepassingen betreffen vooral de verbetering van de vergisting door desintegratie van ingedikt secundair slib. Een andere veel genoemde potentiële toepassing is de behandeling van retourslib. De studie is gericht op de eerste toepassing, namelijk desintegratie van secundair slib, omdat deze naar verwachting meer besparingen oplevert tegen lagere kosten. De behandeling van retourslib kan vooral interessant zijn voor zuiveringen zonder slibgisting.

### EFFECT

De belangstelling voor dit onderwerp is het gevolg van de milieuvoordelen en kostenbesparingen die door diverse wetenschappers en leveranciers worden geclaimd:

- **Slibreductie**  
Door de voorbewerking van het slib kan dit sneller en vollediger worden afgebroken tijdens de vergisting. Ten gevolge hiervan kan volstaan worden met een kortere verblijftijd ofwel vindt een verdergaande afbraak van organisch materiaal plaats bij dezelfde verblijftijd. Op basis van de literatuur lijkt een toename van de afbraak van organisch materiaal met 25%-35% haalbaar.
- **Verbeterde ontwatering**  
Ten gevolge van de andere deeltjesgrootteverdeling van het slib na desintegratie en het lagere gehalte aan organisch materiaal na vergisting is het slib beter ontwaterbaar. Een relatieve toename van het drogestofgehalte in de slibkoek met 10% is haalbaar.
- **Bestrijding van licht slib en schuim**  
Desintegratie kan de dradige structuur van het slib afbreken, waardoor schuimvorming wordt tegengegaan en het effectief volume van de vergistingtanks toeneemt.

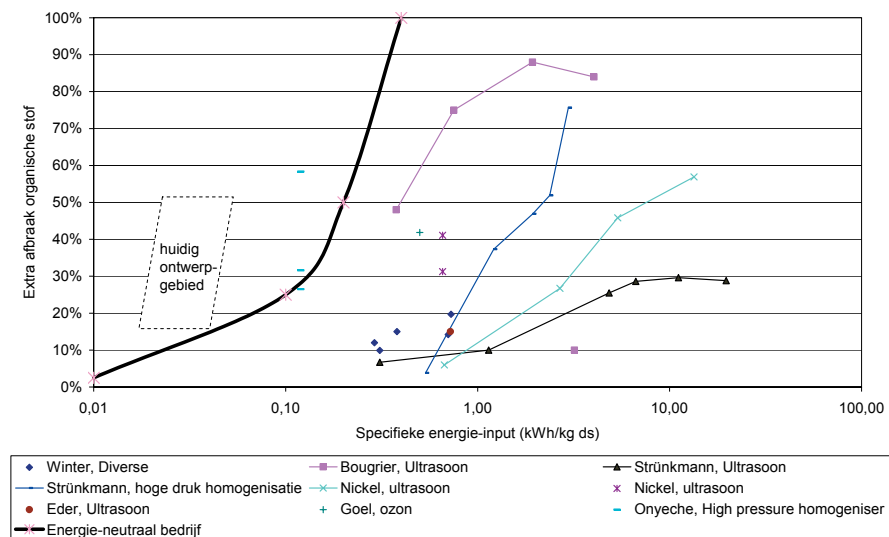


- Toename van biogasproductie

Door de toegenomen afbraak van biomassa in de vergisting wordt meer biogas geproduceerd. De toename van de biogasproductie is evenredig met de extra afbraak en ligt daardoor naar verwachting in de grootteorden 25%-35%.

In de literatuur worden ook vaak de ontsluitingsgraad en het specifieke energieverbruik gebruikt om het directe effect van slibdesintegratie te kwantificeren. De eerste parameter is weliswaar goed meetbaar maar heeft in de praktijk weinig nut, omdat ontsluiting slechts een tussenstap is die bovendien weinig voorspellende waarde heeft voor de uiteindelijke effecten. Het energieverbruik is van belang, omdat dit een groot deel uitmaakt van de operationele kosten voor slibdesintegratie. Ten opzichte van het totale energieverbruik van een zuivering ligt het energieverbruik voor slibdesintegratie in de grootteorde van een paar procent.

In onderstaande figuur is het specifieke energieverbruik voor slibdesintegratie in recente installaties vergeleken met diverse onderzoeksresultaten. Tevens is het gebied aangegeven waar slibdesintegratie energie-neutraal draait: de extra elektriciteitsproductie uit biogas is gelijk aan het energieverbruik van de desintegratie-unit. De figuur laat zien dat het energieverbruik van slibdesintegratie de laatste jaren sterk teruggebracht is.



Naast het extra energieverbruik worden als mogelijke nadelige effecten van desintegratie genoemd:

- een verhoogde retourbelasting van stikstof, fosfaat en CZV en daardoor extra zuurstofverbruik en C-bron voor stikstofverwijdering
- extra polymeerverbruik voor ontwatering; in sommige experimenten wordt gerapporteerd dat het drogestof gehalte na ontwatering toeneemt, maar dat hiervoor meer polymeer nodig is.

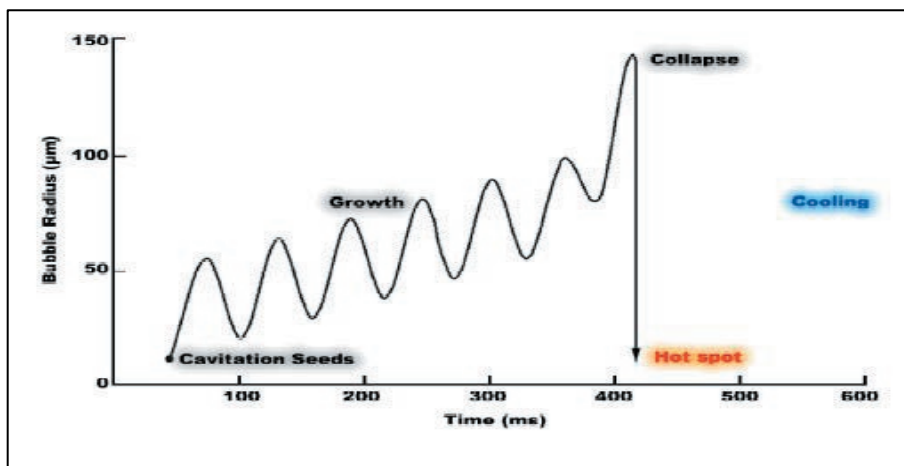
### MARKTRIJPHEID

Ondanks het grote aantal desintegratietechnieken dat in de literatuur wordt beschreven, is het aantal technieken dat marktrijp kan worden genoemd beperkt. Slechts vier technieken voldoen aan het selectie criterium dat zij op full-scale zijn toegepast voor de behandeling van secundair slib, namelijk: ultrasoon geluid, hydrodynamische desintegratie, lysaatcentrifuge en verwarmen.

Een vergelijking van deze vier technieken op de criteria referenties, prestaties, bedrijfszekerheid en kostenniveau laat zien dat hydrodynamische desintegratie en ultrasoon geluid momenteel de meest geschikte technieken zijn voor grootschalige desintegratie van secundair slib voor vergisting. De belangrijkste minpunten van de lysaatcentrifuge en thermische desintegratie zijn respectievelijk de geringere prestaties op het punt slibreductie en de hoge kosten.

### WERKING VAN GESELECTEERDE TECHNIEKEN

Zowel ultrasonische als hydrodynamische desintegratie maakt gebruik van cavitatie. Door het overdragen van energie op het slib ontstaan dampbellen, die bij een bepaalde kritische grootte imploderen. In onderstaande figuur is het ontstaan, groei en imploderen van dampbellen weergegeven. Tijdens de implosie ontstaan hot spots in het slib, waar lokaal hoge temperaturen en drukken optreden, waardoor slibstructuren worden afgebroken.



Bij ultrasonische slibdesintegratie wordt een mechanisch opgewekte trilling overgedragen op het slib, waardoor cavitatie wordt opgewekt. De belangrijkste factoren voor de effectiviteit van ultrasonische desintegratie zijn het drogestof gehalte van het slib en de frequentie en intensiteit van de trilling. Recente toepassingen gaan uit van respectievelijk een zo hoog mogelijk drogestof gehalte, een relatief lage frequentie (circa 20 kHz) en hoge intensiteit.

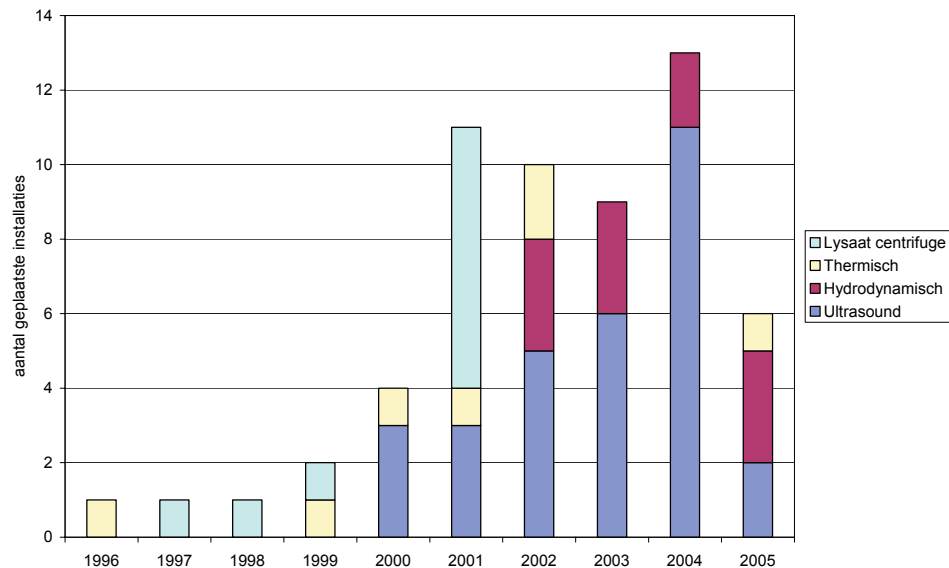
Bij hydrodynamische desintegratie wordt het slib door een nozzle geperst, waardoor de snelheid sterk toeneemt. Als de snelheid voldoende wordt opgevoerd, kan de statische druk zo ver dalen dat de dampdruk van de vloeistof wordt onderschreden met als gevolg dat er dampbellen worden gevormd. Als de snelheid van het slib weer afneemt na het passeren van de nozzle zullen de dampbellen imploderen (cavitatie).

### FINANCIËLE HAALBAARHEID

Slibdesintegratie leidt tot een verlaging van de kosten van waterzuivering doordat minder slib hoeft te worden afgevoerd en meer elektriciteit wordt geproduceerd uit biogas. Deze besparingen zijn in het algemeen groter dan de extra kosten, die veroorzaakt worden door de investeringen, onderhoud en het energieverbruik voor desintegratie.

De terugverdientijd voor een slibdesintegratie-unit ligt momenteel rond de 4 tot 8 jaar, inclusief de extra investeringen voor randvoorzieningen. Leveranciers noemen terugverdientijden van 2 tot 4 jaar, maar dat is zonder randvoorzieningen. Deze terugverdientijden zijn slechts gemiddelde waarden. In de praktijk moet rekening worden gehouden met de lokale

omstandigheden die van invloed zijn op de rentabiliteit, zoals het plaatsen van een buffer, uitbreiding van de warmtekrachtenheid, het drogestofgehalte van het slib, verblijftijd in de gisting, de grootte van de te behandelen stroom en de mogelijkheid om secundair slib apart te behandelen.



In bovenstaande figuur zijn de aantallen geplaatste slibdesintegratie-units weergegeven voor de behandeling van secundair slib (tot en met februari 2005). Hierin is te zien dat ultrasoon geluid en hydrodynamische homogenisatie momenteel het meest worden toegepast. Gezien het geringe, maar groeiend aantal geplaatste installaties, kan worden geconcludeerd dat de techniek zich nog in de beginfase van de ontwikkeling bevindt. Vanwege de gunstige effecten en korte terugverdientijd, wordt verwacht dat er in Nederland goede mogelijkheden zijn voor slibdesintegratie.

#### AANBEVELINGEN

Uit de literatuurstudie komen de volgende aandachtspunten voor het demonstratieproject:

- De aantoonbaarheid van resultaten is een moeilijk punt gebleken doordat verschillende interpretaties van gevonden effecten mogelijk bleek. Dit onderstreept de noodzaak om in twee parallele lijnen het effect te onderzoeken.
- Vermijd potentiële versturende omstandigheden, zoals verstoppingen, omdat het dan niet mogelijk is om eenduidig het effect van desintegratie te bepalen.

# 2

## INLEIDING

Slibverwerking is een significante post in de totale kosten voor afvalwaterzuivering. Technologieën die op efficiënte wijze in staat zijn de hoeveelheid slib te beperken die een eindverwerking moeten ondergaan (ontwateren gevolgd door verbranden of composteren), genieten daarom grote interesse, zoals ook moge blijken uit het overzicht van recente literatuur over dit onderwerp.

Vanuit deze achtergrond heeft STOWA een project geïnitieerd om de effecten van slibdesintegratie nader in kaart te brengen en dan met name voor die technieken die de laatste jaren een sterke ontwikkeling hebben doorgemaakt. Dit zijn vooral technieken die door gebruik te maken van cavitatie in het (ingedikte) slib, de ontleding van het slib tot stand brengen.

In een demonstratie zal op maximaal drie onderzoekslocaties het secundaire slib een desintegratiebehandeling ondergaan, voorafgaand aan de vergisting, met als hoofddoel een grotere afbraak van biologisch materiaal en verbetering van de ontwaterbaarheid van het slib. Er is gekozen voor slibdesintegratie voorafgaand aan slibgisting, omdat deze toepassing economisch het meest veelbelovend is.

Ter voorbereiding van die demonstratie is de onderhavige literatuurstudie uitgevoerd. Aan de hand van een breed overzicht van desintegratietechnieken wordt een eerste selectie gemaakt op basis van het ontwikkelingsstadium, referenties en prestaties. Van de marktrijpe technieken wordt vervolgens ingegaan op het werkingsprincipe en mogelijke leveranciers.

Deze rapportage is alleen digitaal beschikbaar. Na afronding van de demonstratieprojecten wordt er een gedrukt rapport uitgegeven waarin de resultaten van deze literatuurstudie geïntegreerd worden.

### LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt achtergrondinformatie gegeven over slibdesintegratie, waaronder de wijze van inzet op een RWZI, mogelijke voordelen van desintegratie, benodigde energietoevoer en eventuele extra retourbelasting.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op beschikbare desintegratietechnieken. Na een overzicht van recente ontwikkelingen die in de literatuur worden gemeld worden de technieken onderling vergeleken op basis van praktijktoepassingen, prestaties, betrouwbaarheid en kostenniveau.

In de hoofdstukken 4 en 5 wordt de werking van respectievelijk ultrasone en hydrodynamische slibdesintegratie toegelicht.

In hoofdstuk 6 staan de conclusies met betrekking tot de mogelijkheden van slibdesintegratie en momenteel meest geschikte technieken voor de voorgenomen demonstratie.

# 3

## INZET EN EFFECT VAN DESINTEGRATIE

Het thema slibdesintegratie is niet nieuw: het wordt al decennia bestudeerd en publicaties over laboratoriumtesten gaan terug tot de zestiger jaren. Wat wel nieuw is, is de opschaling naar de praktijk en het beschikbaar komen van informatie over deze grootschalige toepassingen. Een belangrijke rol is hierbij gespeeld door de Duitse vereniging voor water en afvalwater (ATV-DVWK), die in 1998 een werkgroep voor slibdesintegratie heeft opgericht (AK-1.6). Daarnaast is in Japan een aantal technieken voor slibdesintegratie ontwikkeld met als drijvende krachten de aangescherpte effluenteisen en ruimtegebrek voor storten van het slib.

### 3.1 WAT IS SLIBDESINTEGRATIE

Onder de term slibdesintegratie wordt een aantal technieken aangeduid die er op gericht zijn de biologische afbreekbaarheid van het slib te verbeteren door het slib “uit elkaar te laten vallen”. Hierbij kan zowel van mechanische, thermische, biologische als chemische technieken gebruik worden gemaakt en van combinaties van deze technieken.

Bij de desintegratie van slib kunnen de volgende effecten worden onderscheiden (26):

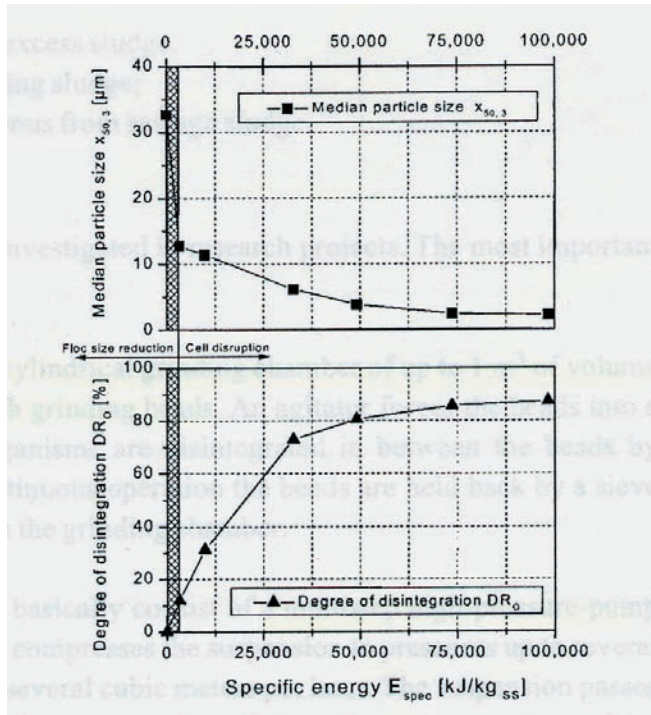
- Grote slibaggregaten (slibvlokken) worden afgebroken tot kleinere deeltjes
- Contactoppervlak van deeltjes neemt toe
- Aanwezige enzymen worden gemobiliseerd en geactiveerd
- Aanwezige cellen worden (deels) opengebroke.

Bij deze effecten is sprake van een zekere rangorde. Bij een relatief lage energie input worden de slibvlokken afgebroken en bij toenemende energietoever worden geleidelijk ook de aanwezige cellen afgebroken (27, 33). Mueller (27) heeft deze relatie tussen energie-input en afbraak van slibvlokken en -cellen voor een bepaald type slib vastgesteld door de deeltjesgrootteverdeling en mate van desintegratie te meten als functie van de hoeveelheid toegevoerde energie via ultrasoon geluid, zie figuur 1.

Bij lage energie-input is een snelle afname van de deeltjesgrootte te zien ten gevolge van de afbraak van slibvlokken. Bij toename van de toegevoerde hoeveelheid energie neemt de mate van desintegratie toe, terwijl de deeltjesgrootte slechts geleidelijk afneemt. Dit duidt er op dat aanwezige cellen worden opengebroke. Ook is in de onderste figuur te zien dat bij hogere energietoever sprake is van verminderde meeropbrengst.

FIGUUR 1

INVLOED VAN SPECIFIEKE ENERGIE OP DE DEELTJESGROOTTEVERDELING (BOVEN) EN DE MATE VAN DESINTEGRATIE (ONDER) VOOR SECUNDAIR SLIB DAT IS BEHANDELD MET ULTRASOON GELUID (33)  
 NB 1 KWH KOMT OVEREEN MET 3600 KJ, OFTEWEL 12.500 KJ IS ONGEVEER GELIJK AAN 3,5 KWH.

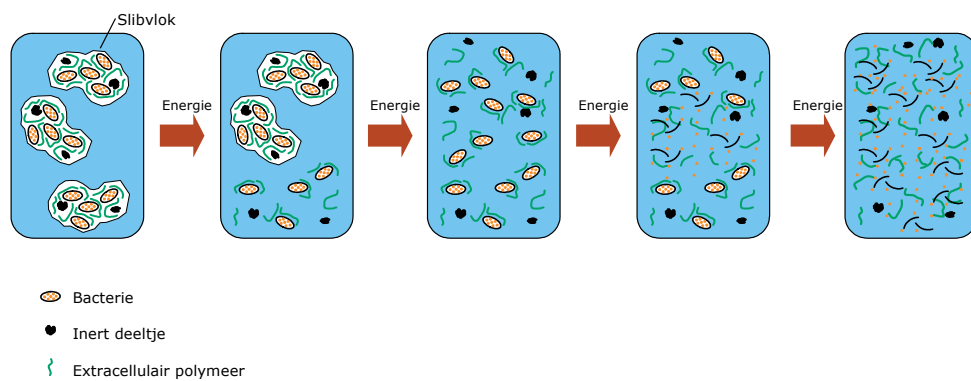


De hier vermelde omvang van energietoevoer is vele malen hoger dan nu in de praktijk wordt toegepast. De huidige toepassingen bevinden zich in het gebied waar verkleining van de deeltjesgrootte overheerst en slechts beperkt celafbraak plaatsvindt (het gearceerde gebied links in figuur 1).

Grafisch kan het effect van de energietoevoer op de slibdesintegratie als volgt worden weergegeven:

FIGUUR 2

EFFECT VAN VERHOOGDE ENERGIETOEVOER OP DE DESINTEGRATIE VAN SLIB

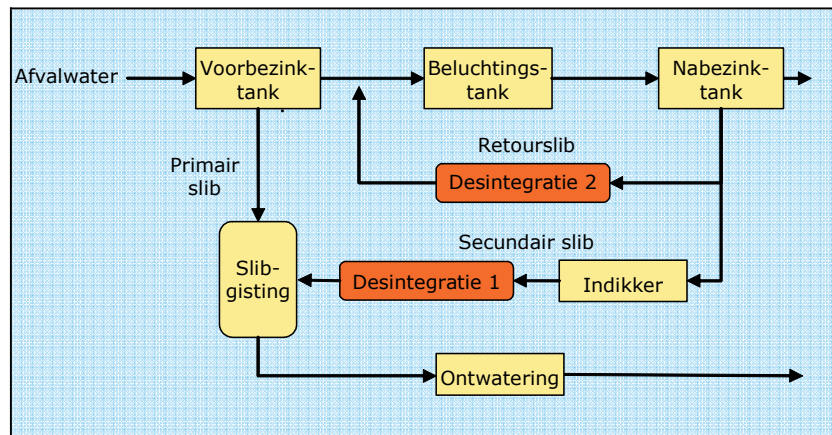


### 3.2 INZET

Binnen een waterzuivering kan slibdesintegratie op verschillende plaatsen worden ingezet (26). Een volledig overzicht van inzetmogelijkheden van slibdesintegratie op een waterzuivering is gegeven in bijlage 1. De huidige grootschalige toepassingen van slibdesintegratie betreffen vooral de behandeling van ingedikt secundair slib voorafgaand aan slibgisting, zie “desintegratie 1” in figuur 3, omdat deze toepassing diverse positieve effecten (zie volgende paragraaf) koppelt aan een hoge effectiviteit. Deze inzetstrategie is gekozen voor de demonstratie van STOWA.

Een andere toepassing is de behandeling van retourslib, “desintegratie 2” in de figuur. Het belangrijkste effect van deze toepassing is de verbeterde afbraak van organisch materiaal in de beluchtingstank, waardoor minder slib vrijkomt uit de nabezinking (onder andere 4, 7, 11, 43). De kosten per ton vermeden slib liggen hoger dan voor “desintegratie 1”, onder andere omdat bij de eerste toepassing de productie van biogas evenredig toeneemt met de extra afbraak. Daarnaast vindt “desintegratie 1” meestal plaats na de indikker, waardoor de benodigde hoeveelheid energie lager is dan voor “desintegratie 2”.

FIGUUR 3 MOGELIJKE INZET VAN SLIBDESINTEGRATIE



In de meeste praktijktoepassingen van slibdesintegratie wordt slechts een deel van de volumestroom behandeld, variërend van 20 tot 70% (31). De keuze voor volstroom- of deelstroombehandeling is niet op voorhand te maken en hangt onder andere samen met de gekozen technologie en de uitvoering van de apparatuur. Bijvoorbeeld een aantal producenten van ultrasonische apparatuur gaat standaard uit van deelstroombehandeling (33, 38), terwijl andere leveranciers met een ander ontwerp juist uitgaan van volstroombehandeling.

### 3.3 EFFECT

De belangstelling voor slibdesintegratie is het gevolg van de effecten die verwacht werden op basis van de labtesten en die door de praktijk worden bevestigd (o.a. in 5, 8, 11, 15, 33, 53), namelijk:

- Slibreductie
- Bestrijding van licht slib en schuimvorming
- Verbeteren van het rendement van de ontwatering
- Toename van biogasproductie
- Bij aerobe toepassing: meer C-bron beschikbaar voor de stikstofverwijdering

Deze paragraaf gaat in op de totstandkoming van die effecten.

### 3.3.1 SLIBREDUCTIE

Op veel zuiveringen wordt anaerobe vergisting ingezet voor reductie van de hoeveelheid zuiveringsslib. Primair en secundair slib worden tegelijk vergist, met een gemiddeld omzettingsrendement van 30% tot 55% bij een verblijftijd van 20 tot 30 dagen (26). Positieve effecten van slibdesintegratie op de vergisting zijn (26,33):

- De vergisting kan worden versneld, oftewel de genoemde omzettingsrendementen kunnen bij een veel kortere verblijftijd worden gerealiseerd
- De afbraak van slib en de biogasproductie kan worden verhoogd. Oftewel: bij dezelfde verblijftijd vindt een verdergaande afbraak van organisch materiaal plaats. Dit effect is het grootst bij kortere verblijftijden, tot circa 20 dagen. Bij langere verblijftijden is het effect kleiner.

Slibdesintegratie heeft vooral een positief effect op de omzetting van secundair slib in de vergisting, maar heeft nauwelijks invloed op de omzetting van primair slib (33). De oorzaak hiervoor ligt in de meestal lage afbraak van secundair slib in de vergisting, terwijl primair slib relatief makkelijk wordt afgebroken. Vergistingsexperimenten met ongemengd slib laten zien dat het omzettingsrendement voor primair slib circa 55% is bij een gebruikelijke verblijftijd, terwijl voor secundair slib de afbraak langzamer en minder volledig verloopt met een omzettingsrendement van 20% tot 30% (41). Dit verschil wordt veroorzaakt door de snelheidsbepalende stap in de omzetting van slib in biogas, namelijk de hydrolyse<sup>1</sup> van het organisch materiaal (9,24). Primair slib bestaat vooral uit organisch materiaal dat goed te hydrolyseren is, terwijl secundair slib voor het grootste deel bestaat uit actieve biomassa (bacteriën), die moeilijk te hydrolyseren is.

Over de wijze waarop slibdesintegratie de hydrolyse bevordert, worden verschillende theorieën geopperd. Door vrijwel alle auteurs wordt de ontsluiting van celmateriaal als een belangrijke bijdrage genoemd. Over de deeltjesverkleining en oppervlaktevergroting bestaat weinig discussie. De manier waarop de ontsluiting van celmateriaal tot stand komt levert verschillen in inzicht op.

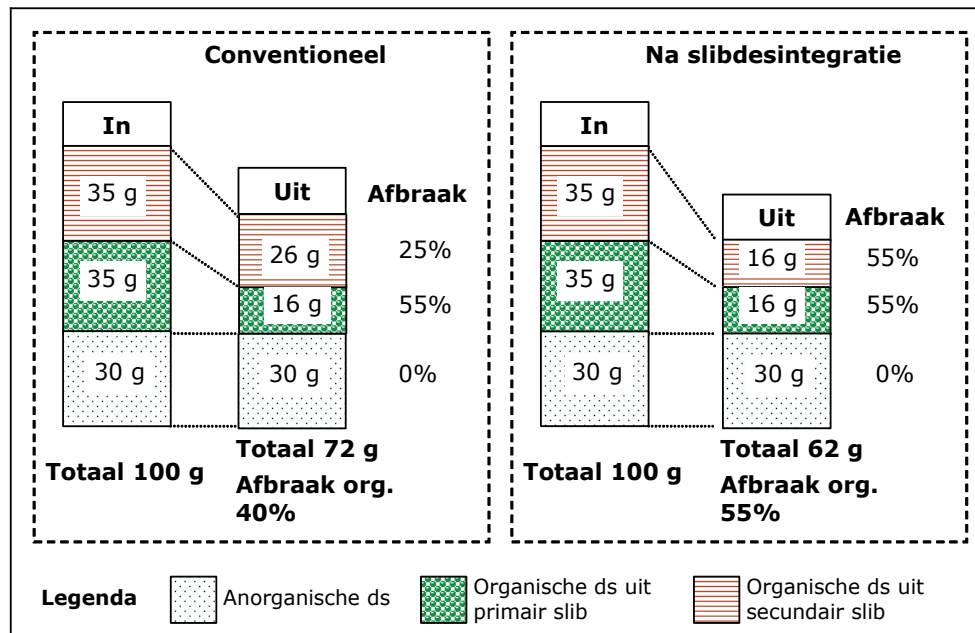
Een aantal auteurs noemt alleen de mechanische beschadiging van de cellen. Anderen leggen veel meer de nadruk op de activiteit van enzymen, die op hun beurt de versnelde hydrolyse bewerkstelligen. Het is in de praktijk lastig om het effect van enzymen te kwantificeren, omdat bij de hydrolyse diverse enzymen een rol spelen. Desintegratie-experimenten met het toevoegen van externe enzymen gebruiken vaak slechts één type enzym. Het resultaat van deze experimenten varieert van 12% meer afbraak (2) tot geen enkel effect op de anaerobe afbraak (21).

De onderstaande figuur illustreert welke invloed de desintegratie van secundair slib kan hebben op de droge stof balans over de vergisting. Voor de figuur is uitgegaan van een gemiddelde slibsamenstelling: 70% organisch materiaal, dat voor de helft bestaat uit secundair slib en voor de andere helft uit primair slib. Dit voorbeeld is gebaseerd op de aanname dat door de inzet van slibdesintegratie de afbraak van secundair slib toeneemt van 25% naar 55%, wat overeenkomt met een overall toename van de afbraak met 38%. Dit ligt binnen de range van gemeten prestaties op demonstratielocaties (2-50%) (31).



FIGUUR 4

DROGE STOF BALANS OVER DE VERGISTING VOOR 100 GRAM AANGEVOERDE DROGE STOF



### 3.3.2 VERBETERDE ONTWATERING

Het verbreken van de slibvlokken en de daarop volgende verbeterde biologische afbraak van het slib leiden in veel gevallen tot een verbetering van de ontwateringseigenschappen van het slib. Als achterliggende mechanismen worden genoemd:

- De andere deeltjesgrootteverdeling na desintegratie leidt tot een beter ontwateringsgedrag (26)
- Door desintegratie en een betere afbraak van organisch materiaal heeft het slib een hoger gehalte anorganisch materiaal en is daardoor beter ontwaterbaar (32).

Vanwege de recente positieve resultaten bij grootschalige experimenten is de verwachting dat ook in de STOWA-demonstratie de ontwaterbaarheid van het slib zal verbeteren, maar gezien de tegenstrijdige resultaten van kleinschalige en grootschalige experimenten kan hier niet op voorhand van worden uitgegaan. Ook is nog onduidelijk of na slibdesintegratie een hogere of lagere PE-dosering nodig is, omdat beide effecten in de literatuur worden gemeld (15, 31, 53). Voor de economische haalbaarheid van slibdesintegratie is naast de slibproductie ook de ontwatering een belangrijke factor. Een kleine verbetering in de ontwatering leidt al snel tot een significante afname van de af te voeren hoeveelheid ontwaterde slibkoek. Of dit een financieel voordeel oplevert hangt af van de contractvorm voor eindverwerking.

### 3.3.3 BESTRIJDING VAN LICHT SLIB EN SCHUIMPROBLEMEN

Draadvormige bacteriën in het slib kunnen in de vergistingstank een groot probleem zijn door de vorming van schuim. Het schuim leidt tot operationele problemen, zoals het verkleinen van het effectieve volume van de vergistingstank waardoor de verblijftijd van slib afneemt. Desintegratie kan de dradige structuur van het slib afbreken, waardoor ook de schuimvorming wordt tegengegaan.

### 3.3.4 ONTSLUITINGSGRAAD

Omdat er een direct verband is tussen het vrijkomen van celmateriaal en het beschadigen van cellen, wordt het effect van slibdesintegratie vaak uitgedrukt in de ontsluitingsgraad. Dit is het deel van de cellen dat door de desintegratie beschadigd is. Er zijn twee manieren om de ontsluitingsgraad te meten, namelijk op basis van de CZV en op basis van de respiratiesnelheid (26).

Bij de ontsluitingsgraad op basis van de aanwezige CZV (aufschlussgrad CSB of  $A_{csb}$ ) wordt de opgeloste CZV die vrij is gekomen door de desintegratiebehandeling vergeleken met de "maximale" CZV-afgifte. Deze laatste wordt bepaald door het slibmonster gedurende 22 uur bloot te stellen aan een natronloog oplossing van 0,5 mol/l. Grote zorg moet besteed worden aan het afscheiden van niet opgelost materiaal omdat de deeltjesgrootte hiervan sterk gereduceerd kan zijn door de behandeling. Dit kan aanleiding geven tot een onterecht gunstige beoordeling van resultaten.

Bij de ontsluitingsgraad op basis van de respiratiesnelheid (aufschlussgrad S of OV of  $A_s$ ) wordt het zuurstofverbruik door micro-organismen vóór en na desintegratie vergeleken.

Vergelijking van gemeten ontsluitingsgraden laat zien dat de waarde  $A_s$  vaak 2 tot 4 maal groter is dan de waarde  $A_{csb}$  (25, 53). Als verklaring hiervoor wordt gegeven dat slibdesintegratie nooit zoveel organisch materiaal in oplossing kan brengen als de chemische behandeling met natronloog.

Ondanks het veelvuldig gebruik van de ontsluitingsgraad in de wetenschappelijke literatuur, moet er een kanttekening geplaatst worden bij het praktische nut van deze parameter. Het is aangetoond dat het ontsluiten van slib resulteert in slibreductie, maar er is geen eenduidig verband: soms is de ontsluitingsgraad groter dan de extra afbraak (28,53) en soms treedt het omgekeerde effect op, namelijk dat de extra afbraak groter is dan de ontsluitingsgraad (33, 35). Blijkbaar zijn er naast de ontsluitingsgraad nog andere factoren zoals de verblijftijd in de vergisting en de samenstelling van het slib die de uiteindelijke slibreductie bepalen.

Voor het kwantificeren van het praktische nut van slibdesintegratie zijn daarom de hierboven behandelde effecten zoals slibreductie en verbeterde ontwatering betere parameters dan de ontsluitingsgraad. Dit beperkt de mogelijkheden om op basis van een labonderzoek naar de ontsluitingsgraad voorspellende uitspraken te doen over de effecten van slibdesintegratie.

### 3.3.5 TOENAME VAN BIOGASPRODUCTIE

Door de toegenomen afbraak van biomassa in de vergisting wordt netto meer biogas geproduceerd. De toename van de biogasproductie is van dezelfde grootte-orde als de extra afbraak. In bovenstaand voorbeeld voor de droge stof balans is 38% meer organische stof omgezet door de behandeling van het slib met slibdesintegratie, in dit voorbeeld zal ook de biogasproductie met circa 38% toenemen. Een iets lagere toename van de biogasproductie kan ook voorkomen, doordat de specifieke gasproductie uit secundair slib iets lager ligt dan bij primair slib.

De specifieke biogasproductie (hoeveelheid gevormd methaan per afgebroken kg droge stof) neemt niet toe door desintegratie (33). De toename van de biogasproductie is dus volledig toe te schrijven aan de grotere hoeveelheid organisch materiaal die wordt afgebroken.

### 3.4 ENERGIE-TOEVOER AAN HET SLIB

De hoeveelheid energie die nodig is om een bepaalde ontsluitingsgraad te realiseren is één van de manieren om desintegratietechnieken onderling te vergelijken. Deze wordt vaak uitgedrukt in de specifieke energie: de toegevoerde hoeveelheid energie per kg droge stof (uitgedrukt in kWh/kg ds). Enerzijds is de specifieke energie een maat voor de efficiency van het proces en aan de andere kant is het een belangrijke parameter voor de operationele kosten, waarin energie vaak de grootste kostenpost is (26).

Een ideale maatstaf is de specifieke energie echter niet. Aan de ene kant zijn de resultaten niet alleen afhankelijk van de gebruikte technologie, maar ook van de specifieke omstandigheden, zoals het droge stof gehalte van het slib, de instellingen van de apparatuur en de gemiddelde verblijftijd in de vergisting. Aan de andere kant kan naast een desintegratie-effect de toegevoerde energie ook deels in warmte worden omgezet (28).

In figuur 5 zijn de resultaten samengevat van diverse studies naar het verband tussen de energietoevoer en extra afbraak van organisch materiaal in slib. In de figuur zijn de volgende gegevens uitgezet:

- Het huidig ontwerpgebied van grootschalige installaties die recent geleverd zijn door diverse leveranciers, dit is het vlak links onder in de grafiek,
- De lijn waarop slibdesintegratie energie-neutraal draait: de extra hoeveelheid opgewekte elektriciteit uit biogas is even groot als het energieverbruik van de desintegratie-eenheid. Uitgangspunten voor het berekenen van deze lijn zijn een specifieke biogasproductie van 890 l/kg organisch, 60% methaan in het biogas en 35% elektrisch rendement van de gasmotor.
- De resultaten van diverse onderzoeken naar slibdesintegratie. Dit zijn veelal labonderzoeken, alleen het onderzoek van Winter was op praktijkschaal.

Ter vergelijking: het gemiddelde energieverbruik op RWZI's ligt rond 0,3-0,4 kWh/m<sup>3</sup> inkomend afvalwater. Bij een drogestofgehalte van 200 mg/l (0,02%) komt dit op een gemiddeld energieverbruik van circa 2 kWh per kg ds.

Uit het voorgaande blijkt dat de energietoevoer op zichzelf niet zoveel zegt als de overige omstandigheden niet bekend zijn. Het doel van de figuur is dan ook niet om in absolute zin een uitspraak te doen over de meest energie-efficiente techniek, dat zou alleen mogelijk zijn als alle experimenten met hetzelfde slib op dezelfde locatie uitgevoerd waren. Het doel is wel om een indruk te krijgen van de grootte-orde van de benodigde hoeveelheid energie voor slibdesintegratie.

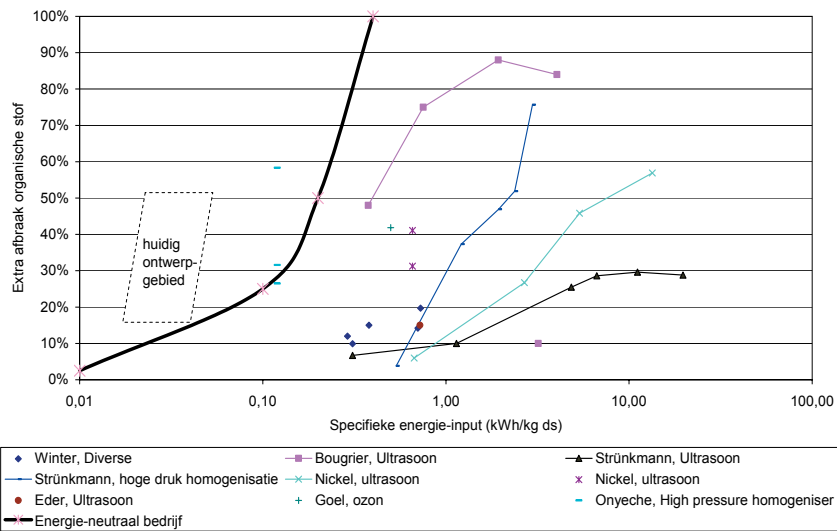
In de figuur valt vooral het grote verschil op tussen de resultaten van de onderzoeken op lab-schaal en de praktijktoepassingen. Waar in de onderzoeken over het algemeen tussen 0,3 en 5 kWh per kg drogestof wordt toegevoerd, is dit in de praktijk een factor 10 tot 100 kleiner. De oorzaken voor deze verschillen zijn enerzijds de ontwikkelingen aan de apparatuur, waardoor deze steeds efficiënter wordt (bijvoorbeeld de vormgeving van de sonotrodes, reactor en venturi) en anderzijds optimalisaties van het proces, zoals recirculatie van de slibstroom over de desintegratie-eenheid. De meeste onderzoeken zijn al enkele jaren geleden uitgevoerd, terwijl de praktijkgegevens afgeleid zijn voor het jaar 2004. De figuur laat zien dat het energieverbruik van slibdesintegratie de laatste jaren sterk teruggebracht is.

Daarnaast moet rekening worden gehouden met schaaffecten, waardoor labonderzoek geen goede voorspellende waarde heeft als het gaat om de benodigde energie op praktijkschaal.

FIGUUR 5

GEREALISEERDE EXTRA AFBRAAK VAN ORGANISCH MATERIAAL IN SLIB ZOALS BEPAALD IN VERSCHILLENDE ONDERZOEKEN EN DE WERKPUNTEN VAN EEN AANTAL COMMERCIËLE LEVERANCIERS

*Inzet en effect van desintegratie*



Bij de vergelijking van energie-toevoer is ook niet altijd duidelijk of het gaat om geïnstalleerd vermogen of om opgenomen vermogen. In algemene zin valt hier dus niet zoveel over te zeggen, maar tussen de individuele leveranciers is wel een vergelijking mogelijk met als uitgangspunt dat zij getracht zullen hebben een optimum te vinden tussen benodigde energietoevoer en te behalen effecten. De data van praktijkinstallaties vormen dus een bruikbaar uitgangspunt. Een kanttekening hierbij is dat de installaties nog steeds verder verbeterd worden, waardoor voor praktijkdata vooral gekeken moet worden naar de meest recente installaties.

### 3.5 RETOURBELASTING

Omdat slibdesintegratie de structuur en afbraak van het slib beïnvloedt, is het te verwachten dat de inzet van desintegratie de kwaliteit van het filtraat na vergisting beïnvloedt. De meest onderzochte filtraateigenschappen zijn die welke bepalend zijn voor de retourbelasting en de kosten van waterzuivering, namelijk de concentratie ammonium-stikstof, de fosfaatconcentratie, de CZV en de pH.

*De resultaten van deze onderzoeken zijn samengevat in de volgende paragrafen. Naast de genoemde onderzoeken heeft ook Barjenbruch (2) gekeken naar de retourbelasting, maar die resultaten zijn hier niet opgenomen omdat ze onvoldoende betrouwbaar werden geacht. Bijvoorbeeld het grote verschil tussen extra afbraak en extra biogasopbrengst doet vermoeden dat de metingen niet nauwkeurig zijn.*

Voor zover bekend zijn geen metingen verricht naar de invloed van slibdesintegratie op de zware metalen in het filtraat. Onderzoek (21) laat zien dat zware metalen direct na de desintegratiestap gemobiliseerd worden door de ontsluiting van het slib, waardoor de concentratie in de waterfase toeneemt. Dit effect is tijdelijk, tijdens de verdere behandeling en stabilisatie van het slib binden de zware metalen weer aan de slibmatrix. Wel wordt een indirect effect van slibdesintegratie verwacht (28): door de verdere afbraak van organisch materiaal kan de hoeveelheid slibgebonden metaal afnemen, waardoor de concentratie in het filtraat toeneemt.

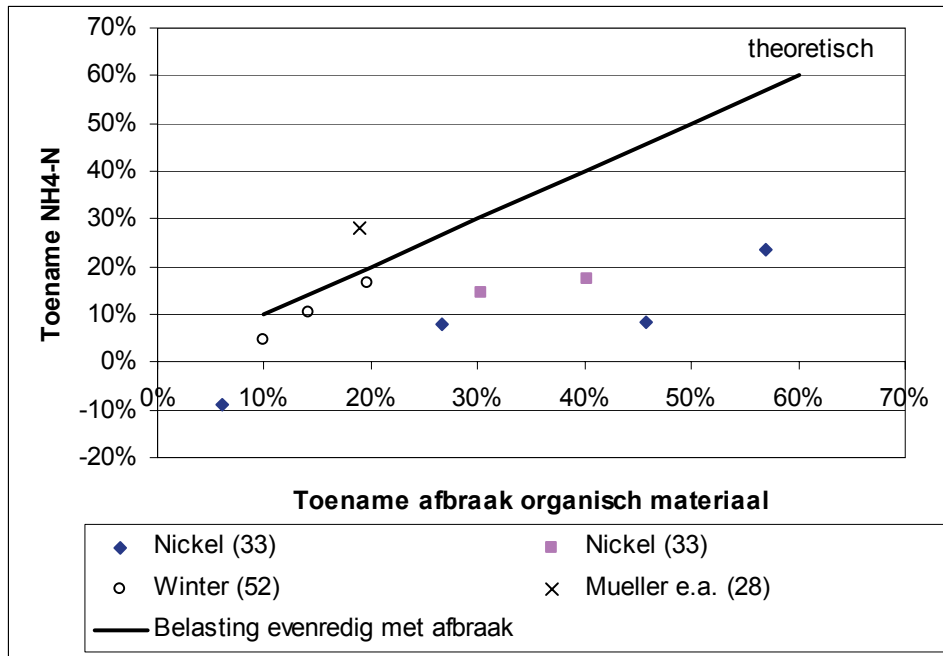
### 3.5.1 STIKSTOF

Bij de vergisting van stikstofhoudend organisch materiaal komt stikstof vrij in de vorm van ammonium. Verschillende onderzoeken (2, 28, 33, 53) laten een toename van de hoeveelheid stikstof in het filtraat zien bij toenemende afbraak van secundair slib in de vergisting, zie figuur 6. De experimenten van Nickel en Winter lijken een lineair verband aan te geven tussen afbraak en hoeveelheid stikstof. Zoals in de figuur te zien is, zou een lineaire curve echter niet door de oorsprong gaan. De onderzoeken geven geen verklaring voor dit verschijnsel. De verschillen tussen de onderzoeken worden waarschijnlijk veroorzaakt door de verschillende samenstellingen van het slib en variatie in de opzet van de experimenten (batch/pilot, gebruikte desintegratietechniek).

Door de toename in stikstofvrucht, neemt de behoefte aan koolstof in de aerobe lijn toe en zal in sommige gevallen extra C-bron moeten worden toegevoegd. Dit in tegenstelling tot desintegratie in de waterlijn, waar juist extra C-bron wordt geproduceerd door slibdesintegratie.

FIGUUR 6

INVLOED VAN SLIBDESINTEGRATIE OP DE AMMONIUM-STIKSTOFCONCENTRATIE IN HET FILTRAAT NA VERGISTING



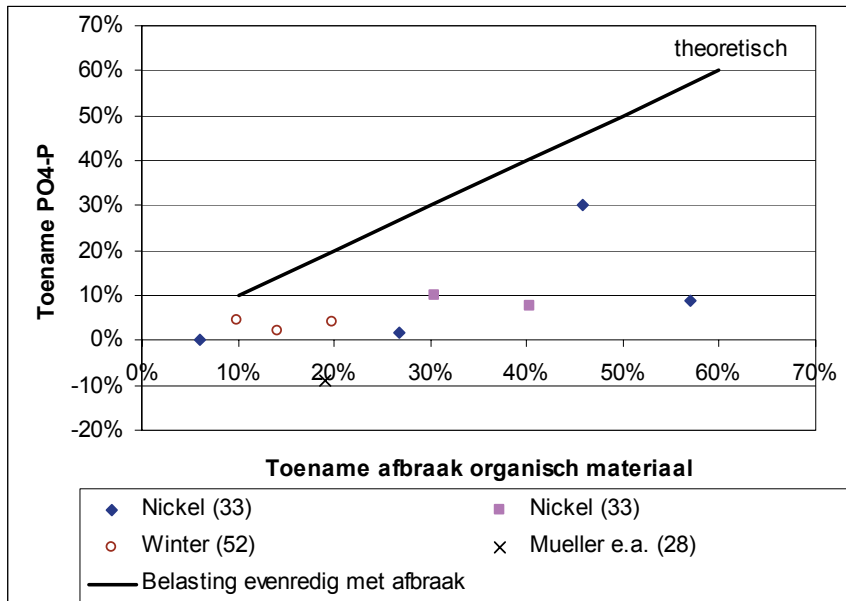
Hoewel de totale hoeveelheid stikstof in het filtraat toeneemt bij toenemende afbraak, blijft de specifieke stikstofvorming ongeveer constant. Bij de onderzoeken op Bad Bramstedt bedroeg deze 100 tot 170 mg ammonium-stikstof per g omgezet organisch materiaal (33). Op deze zuivering wordt tweederde van de belasting geleverd door een runderslachterij en een visverwerking.

### 3.5.2 FOSFAAT

De invloed van slibdesintegratie op de hoeveelheid fosfaat in het filtraat na vergisting is niet zo eenduidig als bij stikstof, zie figuur 7 waarin de resultaten van diverse onderzoeken zijn samengevat. In de figuur is te zien dat in de meeste gevallen de hoeveelheid fosfaat toenam bij toenemende afbraak van organisch materiaal (2, 33, 53), maar dat er geen eenduidig verband lijkt te zijn tussen omzetting en de hoeveelheid fosfaat. In (28) zijn vijf experimenten met secundair slib uitgevoerd, waarbij de hoeveelheid fosfaat in het filtraat gemiddeld afnam met 9%. De onderzoeken vermelden niet welk type fosfaatverwijdering is gebruikt.

FIGUUR 7

INVLOED VAN SLIBDESINTEGRATIE OP DE FOSFAATCONCENTRATIE IN HET FILTRAAT NA VERGISTING

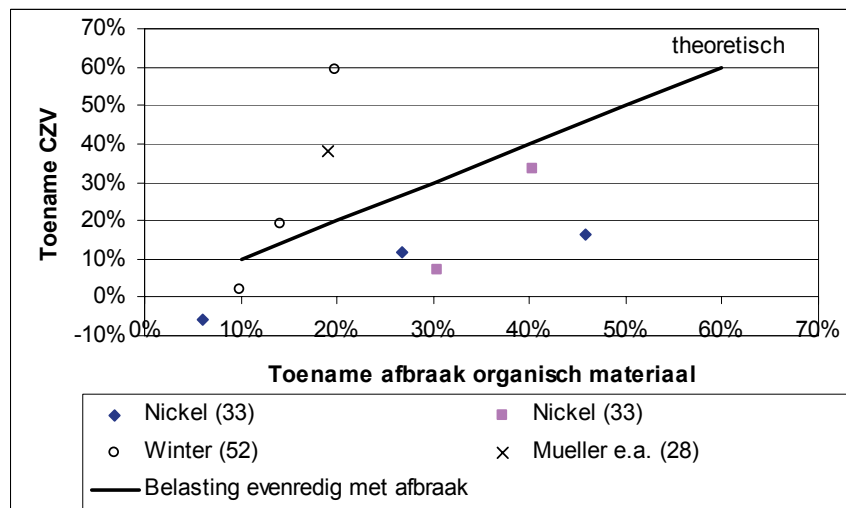


### 3.5.3 CZV

In figuur 8 zijn de resultaten samengevat van een aantal onderzoeken naar de verandering van CZV bij toepassing van slibdesintegratie (2, 28, 33, 53). In de meeste gevallen neemt de CZV van het filtraat toe, blijkbaar wordt er door de desintegratie een moeilijk afbreekbare CZV-fractie gevormd die slechts gedeeltelijk afgebroken kan worden in de vergisting.

FIGUUR 8

INVLOED VAN SLIBDESINTEGRATIE OP DE CZV VAN HET FILTRAAT NA VERGISTING



De extra CZV in het filtraat ten gevolge van slibdesintegratie, die niet afgebroken wordt in de vergisting, blijkt grotendeels wel afbreekbaar in aeroob milieu (33, 45). Mogelijk kan hiermee de extra koolstofbehoefte in de aerobe lijn door toename van de stikstofvracht deels ingevuld worden, waardoor geen extra C-bron hoeft te worden toegevoegd.

Naar de invloed van slibdesintegratie op het BZV-gehalte van het filtraat is voor zover bekend slechts één onderzoek gedaan (33), maar de meetnauwkeurigheid is te klein om algemene uitspraken te doen. Een significante toename van BZV in het filtraat is alleen gevonden bij

desintegratie met ozon en de kogelmolen. Dit waren tevens de twee technieken met de grootste specifieke energietoevoer.

#### **3.5.4 PH**

De pH van het filtraat verandert nauwelijks onder invloed van slibdesintegratie. Alleen bij zeer korte verblijftijden (grootteorde 4 dagen) trad een lichte daling van de pH op, wat veroorzaakt werd door zuren die vanwege de korte verblijftijd nog niet afgebroken waren. Bij langere verblijftijd worden deze zuren afgebroken in de vergisting (33). Dit effect heeft naar verwachting weinig verband met de toepassing van desintegratie: ook zonder desintegratie is het aannemelijk dat de pH daalt bij een korte verblijftijd, oftewel een overbelasting van de reactor (verzuring).

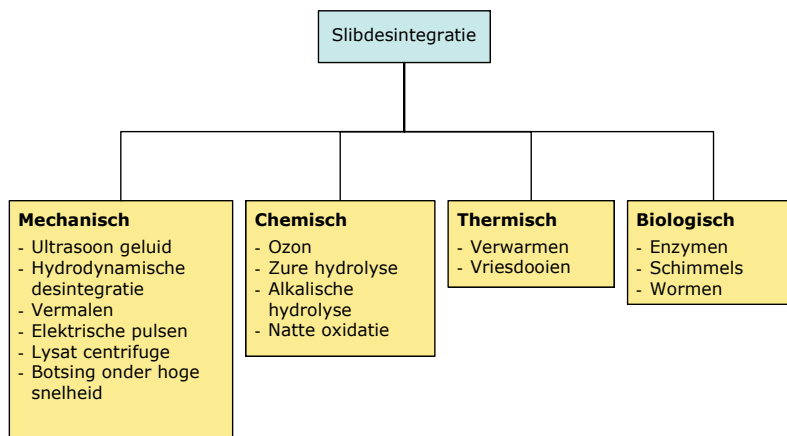
## 4

# BESCHIKBARE TECHNIEKEN EN VERGELIJKING

De desintegratie van slib kan op zeer uiteenlopende manieren worden gerealiseerd. De basis is steeds hetzelfde: door het uitoefenen van een externe kracht op het slib verandert de structuur van de slibmatrix en neemt de gemiddelde deeltjesgrootte af. Er zijn echter veel verschillende manieren om die kracht op te wekken en op het slib over te dragen. De eerste indeling van desintegratietechnieken is naar de aard van het proces, namelijk mechanisch, chemisch, thermisch of biologisch. Binnen iedere categorie zijn vervolgens weer verschillende technieken beschikbaar, zoals in onderstaand schema is aangegeven. Daarnaast worden in de praktijk soms combinaties van verschillende technieken toegepast, bijvoorbeeld een thermo-chemische behandeling van slib.

FIGUUR 9

OVERZICHT VAN TECHNIEKEN VOOR SLIBDESINTEGRATIE



In de volgende paragrafen wordt een beknopte toelichting gegeven op de vier hoofdcategorieën. Een uitgebreidere beschrijving van de afzonderlijke technieken staat in bijlage 3. Daarna worden de technieken onderling vergeleken en wordt aangegeven welke op dit moment het meest geschikt zijn voor grootschalige desintegratie van secundair slib voor vergisting. Deze studie richt zich nadrukkelijk op de behandeling van secundair slib. Een alternatief is de behandeling van retourslib, waarvoor op vergelijkbare wijze een afweging gemaakt kan worden, met mogelijk andere uitkomsten.

## 4.1 MECHANISCHE DESINTEGRATIE

De mechanische energie die nodig is voor de ontsluiting van het slib bestaat uit druk of afschuifkracht. De vaste deeltjes in het slib zullen in eerste instantie weerstand bieden tegen de mechanische vervorming die optreedt bij het uitoefenen van de druk of afschuifkracht. Als de kracht die op het slib wordt uitgeoefend groter is dan de interne krachten die de slibdeeltjes bij elkaar houden, vallen de slibdeeltjes uiteen in kleinere stukken (34).



Bij technieken zoals vermalen, elektrische pulsen en lysat centrifuge worden drukkrachten en schuifkrachten direct overgedragen op het slib. Bij ultrasoon geluid, hydrodynamische slibdesintegratie en botsing onder hoge snelheid (deze laatste wordt ook wel hoge druk homogenisatie genoemd) wordt cavitatie opgewekt in het slib door het slib in trilling te brengen of door een sterke verandering van de stromingssnelheid. Tijdens de cavitatie treden lokaal een hoge druk en temperatuur op, waardoor een grote kracht wordt uitgeoefend op het slib.

Een aantal van deze technieken werd al op grote schaal toegepast voordat zij werden ingezet voor slibdesintegratie, namelijk ultrasoon, vermalen en de venturibuis (die bij slib wordt ingezet voor hydrodynamische desintegratie). Daar tegenover staan de technieken die speciaal zijn ontwikkeld voor slibdesintegratie, zoals elektrische pulsen en botsing onder hoge snelheid, en de aanpassing van indikcentrifuges door een “lysaat”-eenheid toe te voegen (26).

#### 4.2 CHEMISCHE DESINTEGRATIE

Bij de chemische desintegratie worden twee mechanismen onderscheiden, namelijk de chemische oxidatie en de chemische hydrolyse (30).

Bij omgevingstemperatuur en -druk en bij gebruik van zuurstof als oxidator worden de organische deeltjes in het slib relatief langzaam of zelfs helemaal niet geoxideerd. Om een snellere en completere oxidatie te bereiken is een hogere temperatuur of een sterkere oxidator nodig. In het eerste geval spreekt men van thermo-chemische natte oxidatie en in het tweede geval van actieve natte oxidatie. De werking van chemische oxidatie voor slibdesintegratie berust vooral op het afbreken van celstructuren door radicalen. De radicalen worden gevormd door een radicaalvormende stof zoals ozon of door het activeren van het slib met bijvoorbeeld hoge druk, temperatuur of UV-straling.

Al bij het toevoegen van relatief kleine hoeveelheden sterk zuur of base neemt de hydrolysesnelheid van slib sterk toe. De chemische hydrolyse resulteert in het uiteenvallen van onder andere suikers en proteïnen in kleinere eenheden. De celwand van micro-organismen wordt daarbij afgebroken. Voor een grotere reactiesnelheid kan de behandeling bij hogere temperatuur plaatsvinden. Bij de alkalische hydrolyse vindt door de toevoeging van loog ook een verzeeping van de vetten in de celwand plaats. Daardoor worden bij deze behandeling meer organische deeltjes in oplossing gebracht dan bij de zure hydrolyse.

#### 4.3 THERMISCHE DESINTEGRATIE

De thermische behandeling van slib kan worden onderscheiden in thermische conditionering, thermische desintegratie en vriesdooien (30). Terwijl de eerste en laatste behandeling vooral leiden tot een verbetering van de ontwaterbaarheid van het slib, heeft de thermische desintegratie als hoofddoel een verbetering van de biologische afbraak van het slib.

Bij de thermische conditionering wordt door de keuze van temperatuur en behandelingsduur een vergaande afbraak van organische bestanddelen bereikt. Het resterende slib heeft een aanzienlijk lager gehalte organische, waterbindende bestanddelen en heeft een hoger vastestofgehalte na ontwatering.

De thermische desintegratie van slib verloopt vergelijkbaar met de thermische conditionering, maar vindt plaats bij een lagere temperatuur. Daardoor worden de organische deeltjes minder vergaand gehydrolyseerd en worden ook minder moeilijk afbreekbare componenten gevormd.

Bij vriesdooien worden de slibvlokken en celstructuren verstoord door de vorming van ijskristallen. Het vriesproces kan gebruikt worden om de ontwaterbaarheid van het slib te verbeteren door de afbraak van waterbindende organische structuren.

#### 4.4 BIOLOGISCHE DESINTEGRATIE

Bij de biologische desintegratie van slib worden enzymen, schimmels of wormen ingezet.

De activiteit van enzymen leidt tot een biologische hydrolyse van het slib. Al bij kleine hoeveelheden kunnen enzymen een aanzienlijke toename van de reactiesnelheid bewerkstelligen. De enzymen kunnen extern geproduceerd worden en toegevoegd worden voor de slibgisting om de afbraak en ontwatering te verbeteren. Daarnaast komen bij de afbraak van in het slib aanwezige cellen enzymen vrij (autolyse). Deze autolyse treedt ook op bij de andere desintegratietechnieken die de celwand afbreken, waardoor de celinhoud vrijkomt (30).

In een bioreactor wordt het slib afgebroken door schimmelculturen. In tegenstelling tot de andere, relatief snelle desintegratietechnieken is hiervoor een verblijf nodig van enkele dagen. De schimmelculturen worden apart gekweekt in een bioreactor op de locatie.

Wormen kunnen worden ingezet om de slibstructuren af te breken. Daarbij groeit de populatie wormen, die als proteïne-rijk bijproduct afgezet zouden kunnen worden. Een voorwaarde hiervoor is dat de wormen niet te veel verontreinigd zijn met bijvoorbeeld zware metalen.

#### 4.5 STAND DER TECHNIEK, RECENTE PUBLICATIES SLIBDESINTEGRATIE

Om een indruk te geven van de grote aandacht voor slibdesintegratie en de recente ontwikkelingen, is hieronder een overzicht gegeven van relevante publicaties en congressen (vooral WEFTEC en IWA) uit de periode 2003-2004. De eerste sectie van het overzicht behandelt publicaties die verschillende technieken vergelijken. De andere secties geven een overzicht van de literatuur per techniek. In cursief is commentaar op de publicaties toegevoegd.

##### 4.5.1 VERGELIJKENDE LITERATUUR

Müller e.a. (31) hebben een overzicht opgesteld van de prestaties en financiële haalbaarheid van slibdesintegratie. Als belangrijkste doelstellingen van desintegratie noemen zij slibreductie en het verhogen van de biogasopbrengst. Daarnaast worden schuimbestrijding, verbeterde ontwatering en verlaging van de viscositeit genoemd. Mogelijke nadelige effecten van desintegratie zijn verhoogde retourbelasting, toename van de concentraties in het effluent, extra C-bron nodig voor denitrificatie en extra milieubelasting bij gebruik van chemische desintegratieprocessen.

Er is gekeken naar de gegevens van 55 rwzi's met slibdesintegratie, waarvan het merendeel wordt ingezet voor de verbetering van de vergisting. Van deze installaties behandelt 80% secundair slib, 13% behandelt het primair/secundair slibmengsel en het restant behandelt uitgedist slib. Meestal wordt een deelstroom van 20 tot 70% behandeld. De afbraak van organisch materiaal stijgt met 2 tot 50% en de gasproductie stijgt met 9 tot 50%. Bij de desintegratie van retourslib zijn slibreducties van minstens 20% behaald. De specifieke energie-input varieert van 0,5-2,7 kWh/m<sup>3</sup> bij hydrodynamische desintegratie tot 9-16 kWh/m<sup>3</sup> bij ultrasone desintegratie.

In de praktijk blijkt nauwkeurige registratie van de effecten van slibdesintegratie lastig. Bijvoorbeeld op veel locaties wijkt de gemeten toename van de afbraak duidelijk af van de

toename in biogasproductie, terwijl deze theoretisch gezien even groot moeten zijn. Als mogelijke oorzaken voor dit verschil worden genoemd de meeton nauwkeurigheden of de tijdsverschillen tussen beide metingen en de extra afbraak die in die tijd optreedt.

Tijdens duurtoepassingen zijn slijtageproblemen met de ultrasone sonotroden en verstopping van spuitmonden bij hydrodynamische desintegratie gemeld, maar beide problemen zouden inmiddels zijn opgelost door een beter ontwerp, andere materiaalkeuze en voorschakeling van zeven.

Voor mechanische en thermische desintegratie is een kosten-batenanalyse opgesteld, maar alleen de mechanische desintegratie met positief gekozen uitgangspunten lijkt financieel haalbaar bij de gekozen uitgangspunten. Thermische desintegratie is vanwege de hoge investering alleen in extreme gevallen haalbaar. Belangrijkste parameters voor de kosten-batenanalyse zijn de verwijderingskosten voor het slib, het drogestofgehalte na ontwatering en de stijging van de afbraak. Het is niet mogelijk om een algemene uitspraak te doen over de haalbaarheid omdat die te veel afhangt van lokale omstandigheden en effecten. Wel wordt verwacht dat vanwege verdere ontwikkeling van desintegratietechnologieën de haalbaarheid steeds gunstiger wordt.

*Ondanks het grote aantal beschouwde installaties wordt geen duidelijke uitspraak gedaan over de omvang van de te verwachten effecten. De kosten-batenanalyse geeft inzicht in relevante parameters voor de financiële haalbaarheid, maar laat ook zien dat door het toepassen van andere uitgangspunten binnen de gevonden range van resultaten zowel een positieve als een negatieve rentabiliteit kan worden berekend. De aantoonbaarheid van de effecten van desintegratie is een bron van veel onzekerheden, met name door twijfel aan de betrouwbaarheid van gebruikte data en het ontbreken van een referentiesituatie.*

Müller e.a. (30) hebben thermische, chemische en biochemische technieken voor slibdesintegratie beschreven en vergeleken. Als belangrijkste toepassingen onderscheiden ze slibreductie, C-bron voor stikstofverwijdering, bestrijden van licht slib en schuim en verbeterde ontwatering. De conclusie was dat het aantal praktijktoepassingen van deze technieken voor RWZI-slib zich beperkt tot thermische behandeling (met als doel slibreductie) en biologische hydrolyse (voor het vrijmaken van C-bron). Bij de andere technieken belemmeren technische problemen en hoge kosten een grootschalige toepassing.

*Het artikel is een aanvulling op eerdere publicaties waarin mechanische technieken voor desintegratie zijn beschreven (26,28). In tegenstelling tot het grote aantal praktijktoepassingen van mechanische desintegratie is de toepassing van thermische, chemische en biochemische technieken dus nog beperkt.*

Barjenbruch en Kopplow (2) hebben thermische desintegratie, enzymtoevoeging en hogedrukhomogenisatie van secundair slib vergeleken. Met alle drie technieken werden filamenten afgebroken, maar alleen thermische behandeling was effectief in de bestrijding van schuim. Hieruit wordt geconcludeerd dat schuimvorming wordt veroorzaakt door extracellulaire polymeren en niet door filamenten. De afbraak van opgelost organisch materiaal steeg bij thermische behandeling en hogedrukhomogenisatie (respectievelijk 4-6% en 7%) maar nauwelijks bij de enzymbehandeling. De biogasproductie steeg met 12% (enzymen) tot 20% (thermische behandeling en hogedrukhomogenisatie).

*Het onderzoek was vooral gericht op de bestrijding van schuim. De oorzaak van de schuimproblemen wordt niet duidelijk. Er wordt niet ingegaan op het verschil tussen extra afbraak en extra biogasproductie, terwijl deze resultaten wel vragen oproepen omdat theoretisch gezien de extra afbraak en extra gasopbrengst van dezelfde grootteorde moeten zijn. De resultaten zijn tegenstrijdig met andere experimenten, waarin ook andere technieken geschikt bleken voor schuimbestrijding.*

Winter (53) en Schmelz en Müller (46) beschrijven de vergelijking van 5 technieken op full-scale niveau die is uitgevoerd door A. Winter. De onderzochte technieken zijn: twee verschillende typen kogelmolen, ozonbehandeling, lysaatcentrifuge en ultrasoon. De effecten van desintegratie zijn steeds bepaald ten opzichte van een referentielijn zonder desintegratie, zodat variaties in slibsamenstelling geen invloed hadden op de resultaten.

Alle 5 technieken resulteren in een toename van de anaerobe afbraak. In alle gevallen nam de retourbelasting van het centraat toe voor wat betreft stikstof, fosfaat en CZV. Het droge stof gehalte na ontwatering nam toe met 0,5-2 procentpunt (relatieve toename circa 10%). Hiervoor was echter ook een hogere PE-dosering nodig, namelijk 6 tot 30% meer dan voor de ontwatering van onbehandeld slib. Voor de slibdesintegratie is een specifieke energie-input van 9 tot 28 kWh/m<sup>3</sup> gebruikt.

Volgens de exploitatieberekeningen voor toepassing op praktijkschaal is desintegratie moeilijk financieel rendabel te bedrijven, zeker op kleinere RWZI's.

Het onderzoek liet zien dat het maken van een sluitende koolstofbalans in de praktijk lastig is. In slechts drie gevallen was een verbeterde afbraak vastgesteld op basis van de volumestromen slib en biogas, maar de toename van stikstof in het centraat met alle vijf technieken leidde tot de conclusie dat met alle experimenten meer anaerobe afbraak is gerealiseerd. De oorzaken voor de eerste foutieve conclusie bleken de onnauwkeurigheid in de biogasmeting en het ontbreken van de variatie in drogestofgehalte in het ingaande slib.

*De specifieke energie-input en retourbelasting liggen in dezelfde grootteorde als bij andere onderzoeken. Bij de installatie op Land van Cuijk wordt gewerkt met een gemiddelde energietoever van 9 kWh/m<sup>3</sup>, bij een drogestof gehalte van ongeveer 8%. Wat de ontwatering betreft worden uiteenlopende resultaten gemeld en ook een verslechtering van de ontwatering komt regelmatig voor (19, 28). Bijvoorbeeld in (28) had het gedesintegreerde slib een drogestofgehalte na ontwatering dat 6% lager lag dan voor het referentieslib (14,5% ds in plaats van 15,4% ds) en was bovendien 40% meer flocculant nodig. Als verklaring voor een slechtere ontwaterbaarheid wordt de kleinere deeltjesgrootte genoemd en het vrijkomen van slecht afbreekbare polymeren.*

*Ook de problemen met het opstellen van een sluitende koolstofbalans komen in diverse onderzoeken naar voren en zijn een aandachtspunt bij het uitvoeren van een demonstratie om het effect van slibdesintegratie aan te tonen.*

Yin e.a. (55) hebben een literatuur review uitgevoerd naar mogelijkheden om de ontwatering van slib te verbeteren. Ultrasoon geluid komt als beste uit de vergelijking, vanwege een betere ontwatering en het overbodig zijn van additieven. Andere methoden, zoals vriesdooien en het toevoegen van as, lijken financieel minder haalbaar.

*De review heeft ultrasonische behandeling vergeleken met het toevoegen van uiteenlopende additieven. Andere desintegratietechnieken zijn niet beschouwd, zodat niets geconcludeerd kan worden over de positie van ultrasoon ten opzichte van andere desintegratietechnieken.*

## **SAMENVATTING VAN VERGELIJKENDE ARTIKELEN**

*Slibdesintegratie heeft een aantoonbaar positieve invloed op anaerobe afbraak van organisch materiaal, ontwaterbaarheid en schuimbestrijding. Kwantificering van effecten en energie-input blijkt lastig, aan de ene kant vanwege meeton nauwkeurigheden en aan de andere kant vanwege zeer uiteenlopende resultaten ten gevolge van locatiespecifieke parameters. Ook de financiële haalbaarheid blijkt sterk afhankelijk van specifieke omstandigheden, waarbij in het algemeen mechanische technieken er beter voor lijken te staan dan thermische technieken.*

#### 4.5.2 ULTRASOON GELUID

Nickel en Neis (35) zien slibreductie en schuimbestrijding als belangrijkste effecten van ultrasone slibdesintegratie. De doorbraak van de techniek is vooral een financiële vraag. Ondanks dat Duitsland koploper is in ultrasone desintegratie met toepassingen op ruim 30 RWZI's is er weinig openbare informatie over de financiële haalbaarheid. In het algemeen geldt dat de volgende omstandigheden gunstig zijn: korte vergisting (minder dan 20 dagen), lage afbraak in vergisting (minder dan 45%), lage biogasproductie, indikking van slib van 3% naar 6%, hoge viscositeit, aparte behandeling van secundair slib mogelijk en hoge verwijderingskosten. Grofweg kan gerekend worden met een energiebehoefte van 3-15 kWh/m<sup>3</sup> en investeringen van 10.000-20.000 euro/kW.

*Hoewel de titel doet vermoeden dat het artikel het gehele scala aan desintegratietechnieken beschouwt, is er voor gekozen verder in te gaan op ultrasone desintegratie en komen overige technieken in het artikel niet aan bod. De genoemde omstandigheden waarbij slibdesintegratie een positieve bijdrage kan leveren zijn algemeen geldend en zijn ook gebruikt voor de selectie van demonstratie-locaties binnen het STOWA-onderzoek.*

Grönroos e.a. (14) vinden dat ultrasone behandeling meestal resulteert in een hogere anaerobe afbraak, maar niet altijd. In het algemeen gold dat hoe hoger de hoeveelheid opgelost CZV na behandeling, hoe meer afbraak. Het toevoegen van oxidanten tijdens de ultrasone behandeling, zoals peroxide, gaf geen extra afbraak.

*Een belangrijke conclusie naar aanleiding van de variërende resultaten is dat een ultrasone behandeling afgestemd moet worden op de specifieke omstandigheden, het werken met standaardinstellingen zoals hier gedaan is geeft niet altijd een goed resultaat.*

Eder en Günthert (10) hebben de desintegratie van secundair slib op twee zuiveringen onderzocht. De optimale instellingen voor de desintegratie, zoals vermogen en behandeltijd, bleken sterk afhankelijk van de slibeigenschappen waaronder drogestofgehalte, viscositeit en polymeertoevoeging, zodat voor iedere locatie de optimale instelling uitgezocht moet worden. Het resultaat van de desintegratie was 9% ontsluiting van het slib en 15% extra afbraak tijdens vergisting.

*De gevonden invloed van drogestofgehalte van het slib op de desintegratie wordt in andere onderzoeken bevestigd, net zoals de noodzaak om per locatie de optimale instellingen van ultrasone desintegratie te bepalen. De relatie met viscositeit en polymeertoevoeging is weinig onderzocht.*

Brown e.a. (5) beschrijven een full-scale test op de zuivering van Orange County, waarbij gedurende vijf maanden de prestaties van een sliblijn met ultrasone behandeling zijn vergeleken met een controlelijn. Voor de demonstratie is de volledige stroom secundair slib naar de testvergister behandeld. Desintegratie resulteerde in 50% meer biogasproductie en een absolute toename van de afbraak van vaste stof met 15% (van 38% afbraak naar 52%). Bij een gelijke dosering van PE kon het behandelde slib beter ontwaterd worden dan het onbehandeld slib: het droge stof gehalte steeg gemiddeld in absolute waarde met 1,6% (van 18% naar bijna 20%). Daarnaast was de schuimvorming in de vergistingstank die gedesintegreerd slib verwerkte aanzienlijk minder dan in de vergister die onbehandeld slib verwerkte. De gevoeligheidsanalyse voor de financiële haalbaarheid laat zien dat vooral het drogestofgehalte na ontwatering, de extra afbraak en verwijderingskosten van belang zijn.

*De lengte van de demonstratie (vijf maanden) en het gebruik van een controlelijn zijn goede uitgangspunten voor een betrouwbare demonstratie. Voor de STOWA-demonstratie wordt van hetzelfde principe uitgegaan.*

*Het positieve effect van slibdesintegratie in de bestrijding van schuimvorming wordt bevestigd door andere onderzoeken (waaronder 27, 52), die een sterke afname laten zien van het drijfslib na voorbehandeling met desintegratie.*

Hogan e.a. (15) rapporteren over een rwzi die voor een groot deel gevoed werd met afvalwater van een abattoir. Door de ultrasone behandeling van het secundair slib kon het droge stof gehalte na ontwatering oplopen naar 25% in plaats van de 15% ds die daarvoor behaald werd. Op een andere testlocatie nam door ultrasone behandeling de omzetting van secundair slib in de vergisting toe van 20-30% naar 60-70%. Op een derde locatie kon door behandeling van 20 tot 25% van de slibstroom naar de vergisting de omzetting in de vergisting toenemen met 40%.

*De gevonden verbeteringen in ontwateringsgedrag en afbraak van organisch materiaal tijdens vergisting zijn in lijn met andere onderzoeken. In tegenstelling tot veel andere demonstraties zijn de laatste twee gebaseerd op volstroombehandeling.*

Bhirud e.a. (3) hebben de werking van een nieuw type sonotrode onderzocht met mierenzuur als modelverontreiniging. De sonotrode was in deze test zo opgesteld dat vibraties in de lengterichting werden opgewekt. In vergelijking met een tradionele opstelling (vibraties opgewekt aan de zijkant van de sonotrode) resulteerde dit in een hogere afbraak per toegevoerde energie-eenheid. De gebruikte opstelling is mogelijk interessant voor praktijktoepassing, maar daarvoor moeten eerst nog testen uitgevoerd worden met RWZI-slib.

*De beschreven opstelling, waarbij ultrasone vibraties in de lengterichting worden opgewekt, is tegenwoordig standaard voor commercieel beschikbare apparatuur.*

Kim e.a. (17) vergeleken het effect van het gelijktijdig gebruiken van twee verschillende frequenties (namelijk 28 kHz en 40 kHz) met het effect van beide frequenties afzonderlijk. Zij vonden dat bij het gelijktijdig gebruik van twee verschillende frequenties het aanwezige CZV sneller in oplossing gaat en dat de omzetting tijdens fermentatie sneller verloopt.

*De resultaten van de test zijn veelbelovend, maar het uiteindelijk effect is nog onvoldoende aangetoond. De experimenten zijn op labschaal uitgevoerd en er is alleen opgelost CZV gemeten. Nog te bepalen zijn de effecten op vergisting en ontwatering bij toepassing op praktijkschaal.*

Watanabe e.a. (50) legden een elektrisch veld (400 mA) aan over de ultrasone reactor (28 kHz) en vonden dat hierdoor de slibdesintegratie wordt versneld: in de gecombineerde reactor loste CZV ruim 3 keer zo snel op als op basis van de afzonderlijke effecten van ultrasoon en elektriciteit verwacht kon worden. Met deze techniek zou het specifiek energieverbruik van ultrasone desintegratie kunnen worden verlaagd.

*Ook voor deze test geldt dat het veelbelovend is, maar dat nog experimenten op praktijkschaal nodig zijn om de invloed op anaerobe afbraak en ontwatering te bepalen.*

### **SAMENVATTING ULTRASONE DESINTEGRATIE**

*Desintegratie met ultrasoon geluid wordt al op grote schaal ingezet vanwege de positieve effecten op RWZI's. Ontwikkelingen richten zich vooral op verlaging van het energieverbruik. Vanwege de grote invloed van locatiespecifieke parameters zoals drogestofgehalte van het slib is het noodzakelijk om per locatie de optimale instellingen van ultrasone desintegratie te bepalen*

#### **4.5.3 OZON**

Yasui e.a. (54) behandelden in een full-scale test een deel van het uitgestort slib met ozon, dit slib werd daarna weer teruggevoerd naar de vergisting. De demonstratie duurde twee jaar en de prestaties werden vergeleken met een controlelijn zonder desintegratie. De resultaten waren 30% meer afbraak van organisch materiaal, ruim 70% minder slibkoek en het watergehalte in de slibkoek nam af van 80% naar 70%.

*De genoemde reductie van slibkoek lijkt echter onwaarschijnlijk hoog ten opzichte van de verbeteringen in afbraak en ontwatering: op basis van deze getallen wordt een afname van de hoeveelheid slibkoek van circa 40% verwacht, wat op zich nog steeds een goed resultaat is. Een kosten-batenanalyse zal moeten aantonen of besparingen door slibreductie opwegen tegen de extra kosten voor ozonbehandeling, die hoger liggen dan de kosten voor mechanische desintegratie.*

Sievers e.a. (49) geven een literatuuroverzicht van slibdesintegratie met ozon, waarbij met de behandeling van retourslib een slibreductie van 20% tot 35% is bereikt en 19% slibreductie door de desintegratie van secundair slib. Een vergelijking met mechanische desintegratietechnieken laat zien dat de mogelijke slibreductie met ozon groter is, maar dat de kosten voor ozonbehandeling eveneens hoger zijn.

*De betere resultaten bij toepassing in de waterlijn zijn in overeenstemming met de praktijktoepassingen van ozon, die vooral in de waterlijn zitten.*

Goel e.a. (12) hebben op pilotschaal slib uit de vergister behandeld met ozon. Vergelijking met een controlelijn liet zien dat door de ozonbehandeling de afbraak toenam met 42%. Een toename van het drogestof gehalte in de vergister tot 6,5% door ophoping van anorganisch materiaal gaf geen operationele problemen. Via een kosten-baten-analyse is een economische index opgesteld, waarmee snel de haalbaarheid van ozonbehandeling bepaald kan worden op basis van verwijderingskosten en energiekosten.

*De gepresenteerde economische index om het break-even punt te berekenen is te optimistisch, omdat hierin niet de kosten voor het produceren van ozon en inpassing van de ozoninstallatie zijn opgenomen.*

### **SAMENVATTING OZON**

*Ondanks het kleine aantal toepassingen van ozon voor secundair slib, lijkt ozon vergelijkbare resultaten te kunnen boeken als andere desintegratietechnieken. De kosteneffectiviteit blijft een punt van aandacht vanwege de hogere kosten voor desintegratie met ozon.*

#### **4.5.4 HYDRODYNAMISCHE DESINTEGRATIE**

Gogate en Pandit (13) hebben formules opgesteld om de invloed van het ontwerp van de reactor op de cavitatie-druk en actieve zone met cavitatie te berekenen. Deze formules zijn bevestigd met labexperimenten. Een vergelijking met ultrasoon voor de afbraak van een aantal industriële producten (zoals toluen) laat zien dat hydrodynamische cavitatie effectiever is dan ultrasoon.

*De vergelijking van hydrodynamische desintegratie met ultrasoon is uitgevoerd voor een aantal aan producten op basis van toluen. Deze resultaten zeggen niets over de effectiviteit van beide technieken voor de afbraak van slib.*

*Het kleine aantal publicaties over hydrodynamische desintegratie is niet in overeenstemming met het aantal praktijktoepassingen, dat vanaf 2002 juist toeneemt.*

#### **4.5.5 THERMISCH**

Abraham en Kepp (1) meten een afbraak van 60% - 70% van organisch materiaal in de vergisting na thermische desintegratie van slib op RWZI Dublin. Vanwege het hoge gehalte aan moeilijk afbreekbare vezels zou de verwachte afbraak zonder voorbehandeling ongeveer 40% zijn. In eerste instantie werd alleen primair slib behandeld, maar na verstoppingsproblemen in de warmtewisselaars vanwege de lage pH (5,5) is uitgesteid slib met pH 8 toegevoegd aan het te behandelen primair slib, waarna er geen problemen meer waren.

*Deze RWZI wijkt af van andere zuiveringen vanwege de slechte afbreekbaarheid van primair slib. De behaalde extra afbraak van primair slib is daardoor niet representatief voor andere zuiveringen.*

#### **4.5.6 VERMALEN**

Cartmell e.a. (6) hebben secundair slib behandeld met twee typen vermalers, waardoor de afbraak in de vergisting toenam met 5%-9% en de biogasproductie toenam met 10%-36%.

*Er is een groot verschil tussen het gemeten extra biogas en de extra afbraak, wat doet vermoeden dat de metingen onvoldoende nauwkeurig zijn geweest om het effect eenduidig vast te kunnen stellen.*

#### **4.5.7 ELEKTRISCHE PULSEN**

Koners e.a. (18) concluderen op basis van berekeningen en metingen van de geleidbaarheid van slib dat de desintegratie van slib met elektrische pulsen technisch mogelijk moet zijn.

*Desintegratie met elektrische pulsen bevindt zich nog in een experimentele fase en ook dit artikel geeft aan dat vervolgonderzoeken zullen worden uitgevoerd om de vermoede effecten te toetsen.*

#### **4.5.8 HOGE DRUK HOMOGENISATIE**

Onyeche en Sievers (36) beschrijven de full-scale behandeling van slib uit de vergister: eerst indikken en daarna desintegreren bij een druk van 100 tot 150 bar. Het resultaat is 25%-38% extra afbraak. Het effect op de anaerobe afbraak is bepaald door slibmonsters vóór en na de desintegratie in het lab te vergisten.

De gebruikte methode om het effect aan te tonen is niet zo nauwkeurig, het gebruik van twee parallelle lijnen heeft de voorkeur.

#### **4.5.9 SLIBDESINTEGRATIE IN DE WATERLIJN**

Diehm e.a. (8) beschrijven een grootschalige test op RWZI Stuttgart naar de desintegratie van retourslib. Door de desintegratie nam de hoeveelheid secundair slib af. De denitrificatie nam toe ten gevolge van de extra C-bron, maar dit leidde nauwelijks tot een verbetering van de effluentkwaliteit omdat ook een extra hoeveelheid stikstof vrijkwam bij de desintegratie, die ongeveer even groot was. In totaal resulteerde dit in een afname van NO<sub>3</sub>-N in het effluent met 2 mg/l. Echter vanwege de sterke toename van CZV (met meer dan 20 mg/l) wordt de desintegratie van retourslib afgeraden.



Schmitt (48) beschrijft de hydrodynamische desintegratie van 4% van het retourslib op RWZI Wiesbaden, waardoor de hoeveelheid spuislib afnam met 15%-20% en de slibvolume-index daalde van 110 mg/l naar 80 mg/l. Het drogestofgehalte in de beluchtingstank nam af van 4 kg/m<sup>3</sup> naar 2 kg/m<sup>3</sup>, waardoor minder zuurstoftoevoer nodig was en een forse besparing in elektriciteitsverbruik werd gerealiseerd.

Er is gekozen voor hydrodynamische desintegratie omdat hiermee een zes maal groter debiet kon worden behandeld dan met ultrasoon bij eenzelfde investering en met slechts een kwart van het energieverbruik. Het retourslib wordt ingedikt van 0,6% ds tot 6% ds voorafgaand aan de desintegratie.

Bij AZV Obere Freiburger Mulde (11) werd met ultrasone behandeling van retourslib een slibreductie van 35% bereikt. Desondanks kon de desintegratie niet financieel rendabel draaien vanwege de zeer lage slibverwerkingskosten op deze locatie.

Yoon e.a. (56) hebben een recyclestroom over een MBR behandeld met ultrasoon geluid. Op basis van de gemeten extra afbraak is berekend dat bij een recyclestroom van 3,7 alle organisch materiaal wordt afgebroken. Voor het experiment is gebruik gemaakt van een modelslib dat alleen bestond uit organische componenten. Bij praktijktoepassingen kan anorganisch materiaal in het slib een probleem zijn, omdat dit vanwege het membraan zich ophoopt in de MBR.

Rewcastle e.a. (40) rapporteren over een full-scale test voor de behandeling van retourslib en vinden afhankelijk van de ozon-dosering 60% tot 80% afname van de hoeveelheid slib.

Schmid (47) gebruikt een pomp die ondergedompeld wordt in het beluchtingsbassin om via hydrodynamische desintegratie licht slib te bestrijden. Het resultaat was een daling van de slibvolume-index van 180 mg/l naar 80 mg/l en een afname van draadvormige structuren in het slib. Na drie maanden was er een lichte stijging van de SVI naar 100 mg/l door aanpassing van de micro-organismen, maar dit had geen negatieve invloed op de sedimentatie.

Pincince (39) rapporteert over een full-scale behandeling van retourslib met een kogelmolen, waarbij de slib volume index en de hoeveelheid slib na vergisting toenamen ten opzichte van de controlelijn. Dit is in tegenspraak met diverse eerdere testen met kogelmolens. Mogelijke oorzaken zijn dat onvoldoende kracht is uitgeoefend op het slib of dat fouten zijn opgetreden bij het gelijk verdelen van slib over de test en de controle.

#### **SAMENVATTING SLIBDESINTEGRATIE IN DE WATERLIJN**

*De toepassing in de waterlijn laat in het algemeen een aanzienlijke slibreductie en verlaging van de slibvolume-index zien. Diverse technieken lijken effectief, maar er zijn ook diverse knelpunten voor de praktische toepasbaarheid zoals extra retourbelasting of ophoping voor het membraan van een MBR.*

#### **4.6 VERGELIJKING VAN TECHNIKEN**

Onlangs de grote keuze aan desintegratietechnieken zijn ze niet allemaal even geschikt voor de voorgenomen demonstratie. Een praktische belemmering is in veel gevallen het niet commercieel beschikbaar zijn van een functionerende installatie. Bijvoorbeeld met de biologische technieken zijn wel testen uitgevoerd op laboratoriumschaal, maar deze zijn nog niet ver genoeg ontwikkeld om op praktijkschaal ingezet te kunnen worden.

Van belang voor de demonstratie is dat de techniek zich in de praktijk heeft bewezen in een vergelijkbare situatie. Daarvoor is naar de volgende criteria gekeken worden:

1. Schaalgrootte waarop de techniek is toegepast
2. Toepassing voor de vergisting
3. Aantal referenties
4. Prestaties
5. Betrouwbaarheid / Storingsgevoeligheid
6. Kostenniveau

#### 4.6.1 SCHAALGROOTTE EN TOEPASSING VOOR VERGISTING

In onderstaande tabel is voor iedere techniek aangegeven op welke schaal deze al is toegepast en of de techniek al eerder is gebruikt voor de desintegratie van secundair slib vóór slibgisting (“desintegratie 1” in figuur 3).

TABEL 1 GEREALISEERDE TOEPASSINGEN VAN DESINTEGRATIETECHNIEKEN

Techniek	Gerealiseerde schaalgrootte	Toepassing voor secundair slib in combinatie met slibgisting
<b>Mechanisch</b>		
- Ultrasoon geluid	Full scale	Ja
- Hydrodynamische homogenisatie	Full scale	Ja
- Vermalen	Full-scale Test	Ja
- Elektrische pulsen	Pilot	Ja
- Lysat centrifuge	Full-scale	Ja
- Botsing onder hoge snelheid	Full-scale Test	Nee
<b>Chemisch</b>		
- Ozon	Full scale	Nee
- Zure hydrolyse	Full scale	Nee
- Alkalische hydrolyse	Lab	Nee
- Natte oxidatie	Full-scale	Nee
<b>Thermisch</b>		
- Verwarmen	Full scale	Ja
- Vriesdooien	Lab	Nee
<b>Biologisch</b>		
- Enzymen	Test	Ja
- Schimmels	Full scale	Nee
- Wormen	Test	

Een techniek wordt voldoende marktrijp geacht voor de demonstratie als deze op praktijk-schaal (full scale) ingezet is voor de behandeling van secundair slib. Uit de tabel blijkt dat de volgende technieken voldoen aan dit criterium:

- ultrasoon geluid,
- hydrodynamische homogenisatie
- lysat centrifuge
- verwarmen.

De vergelijking in de volgende paragrafen zal zich toespitsen op deze vier technieken.

De andere technieken zijn ofwel nog niet toegepast voor de behandeling van secundair slib ofwel hebben zich nog niet bewezen in de praktijk. Tot de eerste categorie behoren ozon en schimmels. Van slibdesintegratie met ozon zijn bijvoorbeeld ongeveer 50 referenties bekend, waarvan ruim 30 in Japan en de rest in Europa. Echter al deze toepassingen hebben betrekking op de waterlijn (desintegratie van retourslib) en bovendien is een groot deel geplaatst op industriële waterzuiveringen. Testen met ozon voor de behandeling van secundair slib in

combinatie met gisting laten 30% tot 42% extra afbraak van organisch materiaal zien (12, 29) en een verhoging van het droge stof gehalte na ontwatering van 20% naar 32% (29). Vanwege het ontbreken van grootschalige toepassingen en de verwachte hoge kosten is ozon niet meegenomen in de gedetailleerde vergelijking.

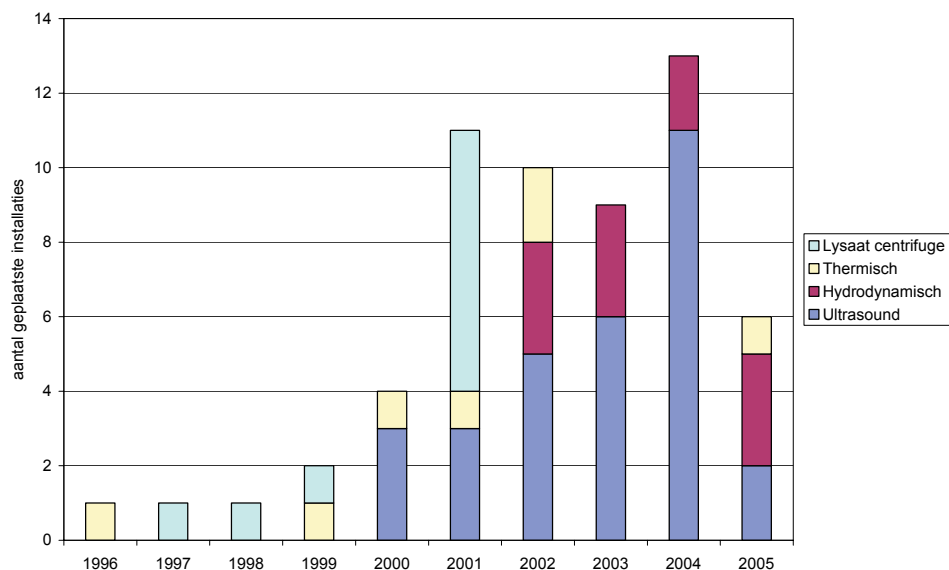
In de tweede categorie zitten de technieken die vaak wel op labschaal zijn getest, maar die vanwege diverse knelpunten nog niet zijn doorgebroken naar praktijktoepassing. De meeste knelpunten zijn van technische aard, zoals slijtage en storingsgevoeligheid. Naast een grote kans op uitval van de desintegratie-unit leidt dit ook tot hoge kosten.

Bijvoorbeeld de kogelmolen, het meest gebruikte type vermaler voor slibdesintegratie, en botsing onder hoge snelheid zijn full-scale getest (42, 53) maar bleken te gevoelig voor slijtage om in aanmerking te komen voor praktijktoepassing. De kogels in een kogelmolen slijten onder invloed van de grote krachten tijdens slibdesintegratie, waardoor de kogels regelmatig vernieuwd moesten worden. De sproeikop bij de botsing onder hoge snelheid was sterk onderhevig aan slijtage omdat op die plaats cavitatie optreedt in het slib. Daarnaast is apparatuur met een nauwe doorstroomopening gevoelig voor verstopping. Dit geldt bijvoorbeeld voor de sproeikop bij de botsing onder hoge snelheid en de zeef die nodig is in combinatie met een kogelmolen om maalkogels af te scheiden van het slib. Bij deze processen is een extra afscheiding van grove deeltjes nodig voorafgaand aan de desintegratiestap. Vooral draadvormige deeltjes zoals haren kunnen leiden tot verstopping en moeten dus verwijderd worden. Een belangrijk knelpunt voor elektrische pulsen is het hoge energieverbruik, wat leidt tot hoge operationele kosten (20).

#### 4.6.2 REFERENTIES

In figuur 10 zijn de aantallen gerealiseerde installaties voor iedere techniek uitgezet. Deze referenties hebben allemaal betrekking op de desintegratie van secundair slib voor de vergisting.

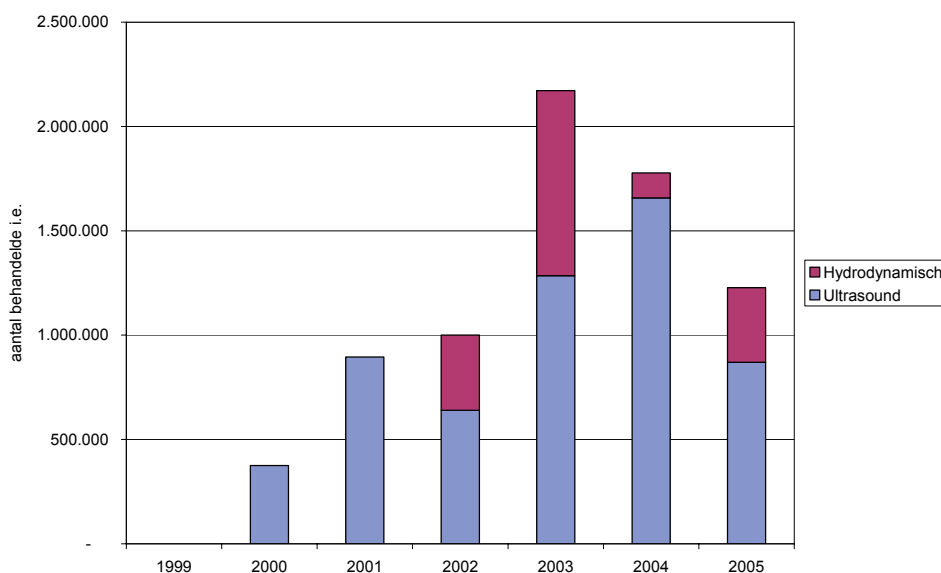
FIGUUR 10 AANTALLEN GEREALISEERDE INSTALLATIES VOOR DE DESINTEGRATIE VAN SECUNDAIR SLIB VOOR VERGISTING (AANTALLEN IN 2005 ZIJN DE VERKOCHTE INSTALLATIES PER 31 JANUARI 2005)



In de grafiek is te zien dat ultrasoon en hydrodynamische desintegratie vooral de afgelopen jaren sterk in opkomst zijn. Het aantal toepassingen van thermische desintegratie is lager, maar redelijk constant. De inzet van lysaat centrifuges heeft een piek gehad in 2001, maar is daarna afgenomen. De schaalgrootte van de toepassing van slibdesintegratie is in figuur 11 getoond voor de ultrasone en hydrodynamische installaties, uitgedrukt in aantal i.e. dat door desintegratie behandeld wordt.

FIGUUR 11

GEREALISEERDE AANTALLEN IE DIE MET ULTRASONE EN HYDRODYNAMISCHE DESINTEGRATIE WORDEN BEHANDELD VOOR VERGISTING  
(AANTALLEN IN 2005 ZIJN DE VERKOCHTE INSTALLATIES PER 31 JANUARI 2005)



Ook in geografische zin zijn er verschillen tussen de referenties. Ultrasone desintegratie is in een groot aantal verschillende landen geplaatst, uiteenlopend van Duitsland, Zweden, Groot Brittannië en Nederland tot en met Australië, Nieuw-Zeeland en Singapore. Hydrodynamische desintegratie is vooral toegepast in Duitsland, met een enkele referentie in Zweden, Zwitserland en Groot Brittannië. Thermische installaties zijn vooral geleverd aan Denemarken, Groot Brittannië, België en Noorwegen, terwijl lysaat centrifuges vooral in Duitsland zijn geplaatst.

Gezien de grote geografische spreiding in de toepassing van slibdesintegratie wordt er van uitgegaan dat het effect algemeen geldt en dat de technieken ook op een Nederlandse zuivering ingezet kunnen worden voor langdurig gebruik.

#### 4.6.3 PRESTATIES

Een gemeenschappelijke factor is dat alle vier technieken bewezen hebben bij te dragen aan een verdergaande afbraak van organisch materiaal in de vergisting. De grootte van de toename is afhankelijk van allerlei factoren, zoals droge stof gehalte van het slib, toegevoerde hoeveelheid energie en verblijftijd in de vergisting. De waarden uit diverse onderzoeken zijn daarom niet direct te vergelijken. Gemiddeld genomen is met ieder van deze vier technieken op praktijkschaal een toename van de afbraak mogelijk met 10-30%.

Daarnaast is voor alle vier de technieken door de leveranciers aangegeven dat ze tevens effectief zijn voor verbetering van de ontwatering, verhoging van de biogasopbrengst en schuimbestrijding

#### 4.6.4 BEDRIJFSZEKERHEID / STORINGSGEVOELIGHEID

De inzet op grote schaal van de beschouwde desintegratietechnieken toont dat de technieken voldoende betrouwbaar zijn voor praktijktoepassing. Wel zijn ze alle gevoelig voor slijtage. Dit heeft te maken met de omstandigheden waarbij slibdesintegratie optreedt, namelijk bij hoge druk en/of temperatuur. Door deze extreme omstandigheden heeft ook de apparatuur veel te leiden, wat tot uiting komt in corrosie.

Hydrodynamische apparatuur heeft het minste last van erosie, omdat de cavitatie in het midden van de vloeistofstroom opgewekt wordt. Dit in tegenstelling tot andere apparatuur waar de cavitatie optreedt in het grensvlak tussen vloeistof en apparaat. Bijvoorbeeld in de lysaat centrifuge vindt slibdesintegratie vooral plaats bij de messen in het lysaatgedeelte, die daardoor eroderen (53). Bij ultrasoon installaties hebben de sonotrodes het meest te lijden, omdat de cavitatie vooral optreedt direct naast de sonotrodes (31). Bij thermische desintegratie zijn alle systeemdelen die in contact staan met het opgewarmde slib gevoelig voor corrosie.

In alle gevallen geldt dat door een goede materiaalkeuze de corrosie beperkt kan worden, maar aan de materiaalkeuze zal ook een kosten/batenanalyse vastzitten. Veel leveranciers kiezen daarom voor een uitvoering waarbij aangetaste onderdelen eenvoudig kunnen worden vervangen.

#### 4.6.5 KOSTENNIVEAU

Recent is een uitgebreide kosten-baten-analyse opgesteld voor mechanische en thermische slibdesintegratie op een standaardzuivering in Duitsland (33), met een belasting van 100.000 i.e. Het artikel vermeldt niet welk type mechanische desintegratie als voorbeeld heeft gediend voor de vergelijking, maar op basis van de gehanteerde uitgangspunten mag er van uitgegaan worden dat dit ofwel ultrasonische ofwel hydrodynamische desintegratie is geweest. De gegevens van de mechanische desintegratie zijn omgewerkt naar specifieke kosten en opbrengsten per i.e., zie onderstaand rekenvoorbeeld. De investering voor thermische desintegratie is circa 10 maal groter, waardoor deze zich niet kan terugverdienen binnen de technische levensduur van de installatie.

TABEL 2 SPECIFIEKE KOSTEN EN OPBRENGSTEN VAN MECHANISCHE DESINTEGRATIE, ONTLEEND AAN (33)

	Eenheid	Waarde
<b>Slibhoeveelheden</b>		
Slibproductie voor gisting	kg ds/i.e./jaar	32
Hoeveelheid organische stof in slib	kg ds/i.e./jaar	22
Afbraak van organische stof in vergisting ZONDER desintegratie (40% omzetting)	kg ds/i.e./jaar	8,85
Relatieve verbetering van afbraak door desintegratie	-	25%
Extra afbraak in vergisting na desintegratie	kg ds/i.e./jaar	2,2
Afname van hoeveelheid slibkoek (25% ds na ontwatering)	kg/i.e./jaar	8,8
<b>Kosten-baten-analyse</b>		
Besparing door afname van hoeveelheid slibkoek (bij verwijderingskosten van €50-€60 per ton)	€/i.e./jaar	+ 0,44-0,53
Extra elektriciteitsproductie door grotere biogasopbrengst	€/i.e./jaar	+ 0,22
Extra onderhoudskosten	€/i.e./jaar	- 0,20
Extra elektriciteitsverbruik voor desintegratie	€/i.e./jaar	- 0,11
Totaal besparing	€/i.e./jaar	+ 0,35 – 0,44
Investering voor desintegratie (incl. randapparatuur)	€/i.e.	1,7 – 2,7
Terugverdientijd	jaar	4-8

Ten opzichte van eerdere publicaties over de kosten van slibdesintegratie (28,32) zijn de kosten voor energieverbruik gedaald: in die publicaties worden als grootste kostenposten voor slibdesintegratie de investering en het energieverbruik genoemd, die beide 25% tot 35% van de jaarlijkse kosten uitmaken. Als derde grote kostenpost is daarin de vervanging van slijtdeelen genoemd met ongeveer 13% van de jaarlijkse kosten.

Als er al een centrifuge aanwezig is op de zuivering, is de lysaat unit in aanschaf het goedkoopste. Het lysaat gedeelte wordt los gekocht en aan de bestaande centrifuge gekoppeld. Als het secundair slib niet wordt ingedikt en/of geen centrifuge aanwezig is in de secundair sliblijn, dan zijn de kosten uiteraard hoger. Wat betreft investeringsniveau zijn dan ultrasoon en hydrodynamische desintegratie het gunstigst, waarvoor de investeringen van dezelfde grootteorde zijn. Thermische desintegratie is het duurste in aanschaf, zoals ook wordt genoemd in (33). Dat er ondanks de hoge kosten toch een redelijk aantal thermische installaties is verkocht, heeft te maken met de vergaande desinfectie van het slib door thermische behandeling, waardoor in veel landen het daarna mogelijk is om het slib op het land uit te rijden.

#### 4.7 SAMENVATTING VERGELIJKING

Op basis van het eerste criterium, dat de techniek zich minimaal in de praktijk moet hebben bewezen voor de desintegratie van secundair slib voor vergisting, bleven vier geschikte technieken over. In de onderstaande tabel is de score van deze vier technieken op de overige criteria samengevat.

TABEL 3 VERGELIJKING VAN OP PRAKTIJSCHAAL BEWEZEN TECHNIEKEN

Techniek	Referenties	Prestaties	Bedrijfszekerheid	Kostenniveau
Ultrasoon geluid	++	+	+	gemiddeld
Hydrodynamische homogenisatie	+	+	++	gemiddeld
Lysat centrifuge	0	0	+	laag of gemiddeld *
Verwarmen	0	+	0	hoog

++ zeer goed, + goed, 0 voldoende, - matig, - slecht

\* Als reeds een centrifuge aanwezig is, zijn de kosten laag

In de tabel is te zien dat de thermische desintegratie en lysat centrifuge over de hele linie slechter scoren dan de rest en hebben daarom niet de voorkeur. Voor de lysaat centrifuge geldt bovendien dat als er nog geen centrifuge is en indikking van secundair slib ook ongewenst is, deze optie niet logisch is. Immers dan moet het slib na de desintegratie weer opgemengd worden met het zuurstof onttrokken water.

Voor de demonstratie hebben daarom ultrasoon geluid en hydrodynamische desintegratie de voorkeur. Er zijn geen publicaties bekend waarin de kosten van deze technieken onderling worden vergeleken. De beste financiële vergelijking die tot nu toe gepubliceerd is (31) onderscheidt alleen mechanische en thermische desintegratie, zonder verdere onderverdeling. De werking van deze technieken is in de volgende hoofdstukken uitgewerkt. Voor desintegratie op basis van ultrasoon of hydrodynamische desintegratie zijn in hoofdstuk 4 leveranciers actief op de Europese markt. In bijlage 2 is een overzicht gegeven van hun apparatuur en referenties.

# 5

## WERKINGPRINCIPE ULTRASONE SLIBDESINTEGRATIE

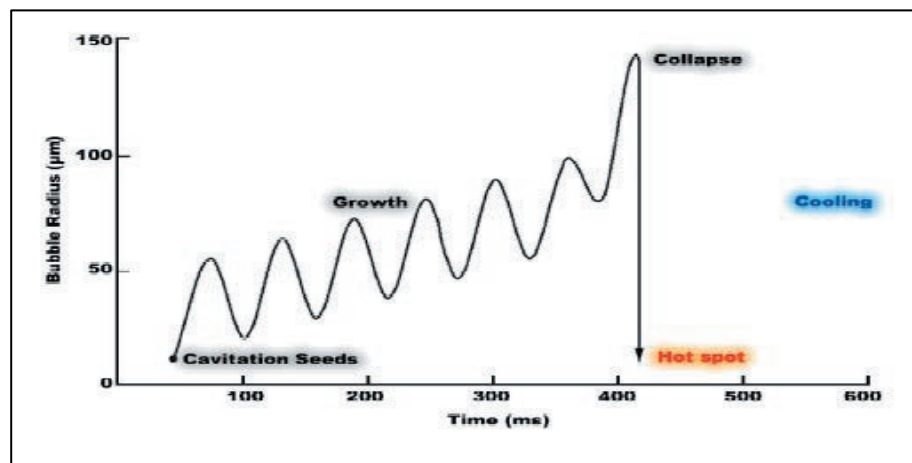
Bij ultrasonische slibdesintegratie wordt een mechanisch opgewekte trilling via een zogenaamde sonotrode overgebracht op de te behandelen slibstroom. De term ultrasoon heeft betrekking op het feit dat hiervoor trillingen worden gebruikt met een frequentie die boven die van hoorbaar geluid ligt oftewel boven 20 kHz.

De sonotrode kan zowel in de vorm van een staaf als in een ring worden uitgevoerd. In beide gevallen worden zodanige dimensies gekozen dat een staande trilling opgewekt kan worden waarbij het eind van de sonotrode de maximale amplitude ondergaat. Bij een ringvormige sonotrode gaat het hierbij om het binnenoppervlak van de ring. Bij het toepassen van langere sonotrodes zijn er meerdere plaatsen langs de lengte die de maximale amplitude bereiken.

De vloeistof in de directe nabijheid van de sonotrode wordt aan zulke snelle verplaatsingen blootgesteld dat op microschaal de dampspanning onderschreden wordt. Na het ontstaan van een dampbel kan die door verdere blootstelling aan de trilling nog verder groeien, tot een kritische grens wordt bereikt en er een implosie van de dampbel plaatsvindt. Dit is in figuur 12 grafisch weergegeven. Bij dit imploderen van de dampbellen ontstaan de desintegratie effecten:

- Op het punt van de implosie ontstaan grote afschuifkrachten met als gevolg deeltjesverkleining en beschadiging van cellen. Ook kunnen hierbij enzymen gemobiliseerd worden;
- Door het ontstaan van een kleine vloeistofstraal met een zeer hoge snelheid (jetstream) kan tot op enige afstand van de plaats van implosie nog steeds een beschadiging van celmateriaal plaatsvinden.

FIGUUR 12 ONTSTAAN, GROEI EN IMPLODEREN VAN CAVITATIEBELLEN TEN GEVOLGE VAN ULTRASONE BEHANDELING VAN SLIB (33)

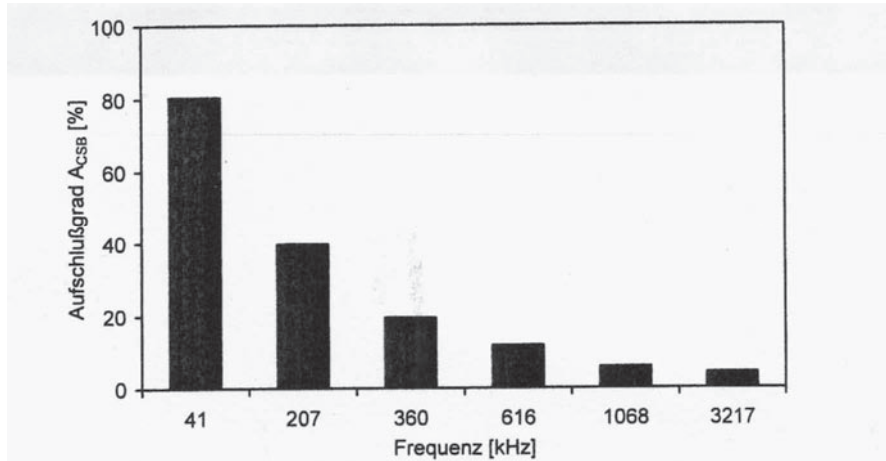


Er zijn verschillende factoren die de effectiviteit van ultrasone slibdesintegratie beïnvloeden. In de volgende paragrafen worden kort de belangrijkste besproken.

### 5.1 FREQUENTIE VAN DE TRILLING

De frequentie van de trilling heeft invloed op de gevormde grootte van de dampbellen. Een lage frequentie leidt tot grotere bellen hetgeen op zijn beurt weer leidt tot een groter desintegratie effect. In figuur 13 wordt het verband weergegeven (33).

FIGUUR 13 INVLOED VAN DE FREQUENTIE VAN DE TRILLING (IN KHZ) OP DE ONTSLUITING VAN HET SLIB UITGEDRUKT IN  $A_{CSB}$  (33)



De figuur laat zien dat bij gelijkblijvende energie-input (in dit geval  $1,9 \text{ W/cm}^2$  gedurende 4 uur, wat overeenkomt met ongeveer  $50 \text{ kWh/kg ds}$ ) de desintegratie toeneemt als een lagere frequentie wordt gebruikt. In de proefopzet is gebruik gemaakt van een ultrasoon systeem dat als laagste frequentie 41 kHz kon produceren. Echter op grond van de resultaten wordt de beste ontsluiting verwacht bij een frequentie van 20 kHz. De huidige generatie apparatuur voor slibdesintegratie maakt gebruik van frequenties tussen 20 en 25 kHz.

### 5.2 INTENSITEIT VAN DE TRILLING

De intensiteit drukt de hoeveelheid energie uit die per oppervlakte eenheid door de sonotrode wordt afgegeven. Deze intensiteit is afhankelijk van de vormgeving van de sonotrode en de amplitude van de trilling die wordt aangelegd. In de volgende figuur (33) wordt het verband duidelijk gemaakt bij gelijkblijvende energietoevoer.

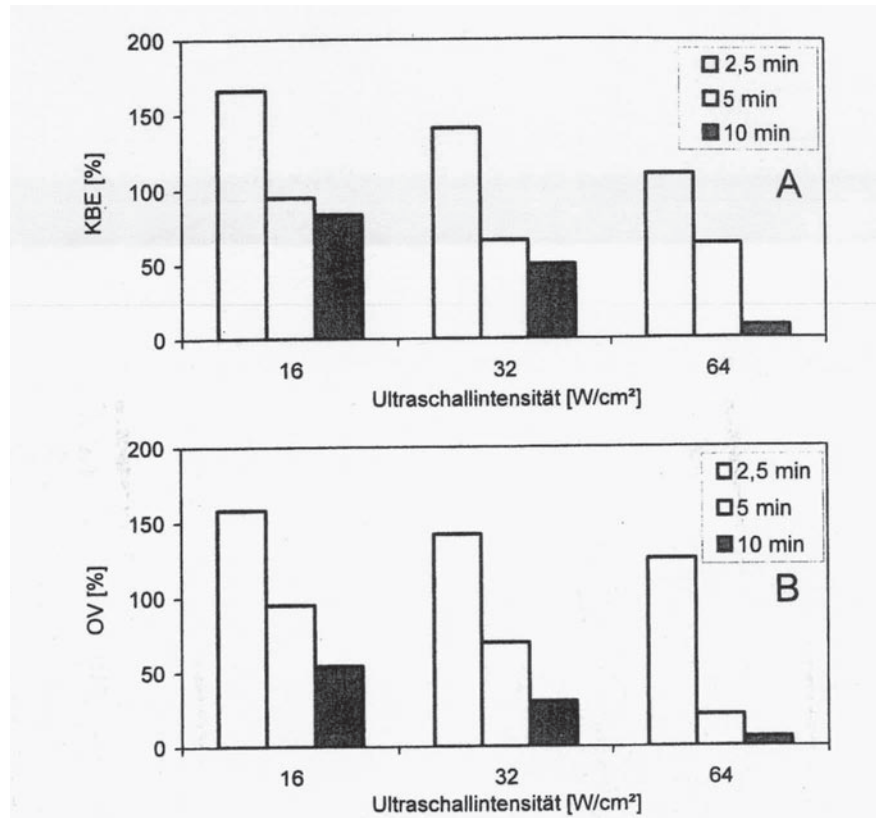
Voor de proef zijn zowel de intensiteit van de trilling als de behandeltijd gevarieerd. Het effect van de behandeling werd vastgesteld aan de hand van de hoeveelheid kolonievormende eenheden (KBE) en de respiratiesnelheid van het slib (OV), waarbij de KBE en OV van het onbehandelde slib op 100% zijn gesteld.

De test laat zien dat door een korte behandeling van actief slib bij lage intensiteit (meest linkse balk in figuur) in eerste instantie de activiteit van het slib toeneemt ten opzichte van het onbehandelde slib (KBE en OV meer dan 100%), terwijl bij hoge intensiteit en behandeltijd inactivering optreedt. De verschillen worden veroorzaakt doordat bij hogere intensiteiten ook celwanden worden beschadigd terwijl bij lagere intensiteiten de nadruk ligt op deeltjesverkleining en activering van enzymen. Zo kan bij de behandeling van actief slib bij korte



behandeltijden en een lage intensiteit en verhoging van de respiratiesnelheid optreden. Bij langere verblijftijden en hogere intensiteiten raken er zoveel cellen beschadigd dat de respiratiesnelheid sterk afneemt.

FIGUUR 14 INVLOED VAN DE INTENSITEIT VAN DE TRILLING OP DE BACTERIOLOGISCHE ACTIVITEIT EN ZUURSTOFVERBRUIKSNELHEID VAN SECUNDAIR SLIB (33)

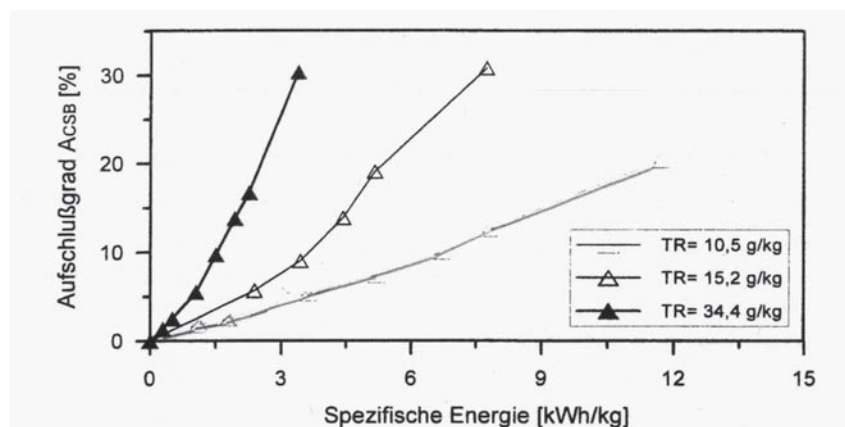


De huidige generatie apparatuur maakt gebruik van aanzienlijk hogere intensiteiten dan in de figuur aangegeven.

### 5.3 DS-GEHALTE VAN HET TE BEHANDELEN SLIB

Naast het ontwerp van het apparaat heeft ook het gehalte drogestof van het slib invloed op de effectiviteit van de behandeling.

FIGUUR 15 INVLOED VAN DROGESTOFGEHALTE OP HET SPECIFIEKE ENERGIEVERBRUIK VOOR ONTSLUITING VAN SECUNDAIR SLIB (33)



In de bovenstaande figuur (33) is het effect van het drogestof gehalte op de desintegratie uitgedrukt in de ontsluitingsgraad van de aanwezige CZV (aufschlussgrad CSB). Een hoog drogestof gehalte van het slib heeft een positief effect op de ontsluitingsgraad. Een vergelijkbaar verband tussen specifieke energie-input en drogestof gehalte is ook gevonden in (10,37). Als verklaring voor dit effect worden twee mechanismen genoemd (33):

- De gesuspendeerde deeltjes in het slib werken als kiemen voor de cavitatie
- Bij een hoger drogestof gehalte is de kans dat een opgewekte jetstream een slibdeeltje raakt, groter.

# 6

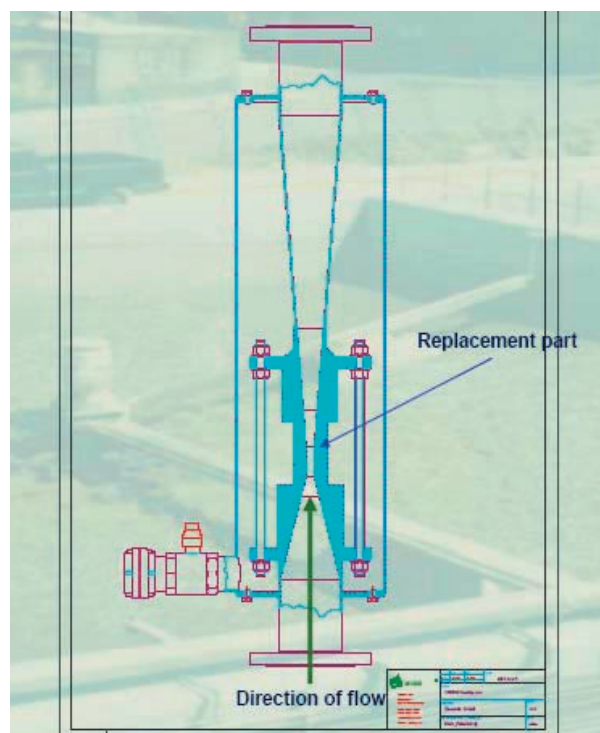
## WERKINGSPRINCIPE HYDRODYNAMISCHE SLIBDESINTEGRATIE

De hydrodynamische slibdesintegratie maakt gebruik van het principe dat bij een vloeistof als er geen sprake is van hoogteverschillen de som van statische en dynamische druk konstant is (Wet van Bernoulli). Door een vloeistof door een vernauwing te persen zal de snelheid en dus de dynamische druk sterk toenemen. Als direct gevolg neemt de statische druk in de vloeistof af. Als de snelheid voldoende wordt opgevoerd kan de statische druk zo ver dalen dat de dampdruk van de vloeistof wordt onderschreden met als gevolg dat er dampbellen gevormd worden. Als de vloeistof na het passeren van de vernauwing weer vertraagt zullen de gevormde dampbellen imploderen (cavitatie).

Dit principe wordt op dit moment in een aantal commerciële installaties toegepast ondermeer om slibdesintegratie te bewerkstelligen.

Bij de toepassing op slibdesintegratie van ingedikt slib voor vergisting wordt dit ondermeer gedaan door bij een voordruk van 12 bar het ingedikte slib door een venturivormige nozzle te pompen. Om voldoende effect te bereiken wordt de te verwerken hoeveelheid met een circulatie factor van 3 over de nozzle gepompt. De cavitatie ontstaat in de keel van de venturi en wordt gedurende een bepaalde afstand in stand gehouden. De vorm van de toegepaste nozzle is in onderstaande figuur zichtbaar gemaakt.

FIGUUR 16 NOZZLE WAARIN HYDRODYNAMISCHE SLIBDESINTEGRATIE OPTREEDT



Een directe vergelijking met ultrasound op basis van bijvoorbeeld belgrootte tijdens cavitatie is niet mogelijk. Ook een directe vergelijking met de toegepaste intensiteit levert beperkingen op. Via de totale energietoevoer is wel een vergelijking mogelijk. Hierbij is het een voordeel dat de benodigde energie voor deze vorm van cavitatie-opwekking relatief eenvoudig via berekening valt te verifiëren uit de combinatie van debiet en toegepaste opvoerhoogte (druk).

De overige vergelijking kan het beste plaats vinden aan de hand van resultaten van praktijkinstallaties.

# 7

## CONCLUSIES

Slibdesintegratie is een marktrijpe technologie, die op praktijkschaal heeft bewezen de volgende positieve effecten op een RWZI te kunnen realiseren:

- Slibreductie;
- Verhogen biogasopbrengst;
- Schuimbestrijding;
- Verbeterde ontwatering.

De meeste van de gerealiseerde installaties worden ingezet voor de verbetering van de vergisting door desintegratie van secundair slib. Daarnaast wordt met een klein aantal installaties een verbeterde vergisting gerealiseerd door behandeling van het primair/secundair slibmengsel of uitgestort slib. Meestal wordt een deelstroom van 20 tot 70% behandeld, met als resultaten een stijging van de afbraak van organisch materiaal met gemiddeld 25 tot 35% en eenzelfde toename van de gasproductie. Als totale bandbreedte voor extra afbraak en gasproductie wordt 2 tot 50% genoemd. Door de desintegratie kan het drogestofgehalte in de slibkoek met 10% toenemen, uitgaande van een drogestofgehalte zonder desintegratie in de grootteorde 20-40% komt dit neer op een absolute toename van 2-4%.

Een andere toepassing van slibdesintegratie is in de waterlijn, waarbij door de desintegratie van retourslib een slibreductie van circa 20% mogelijk is.

Mogelijke nadelige effecten van desintegratie zijn verhoogde retourbelasting, toename van de concentraties in het effluent, extra C-bron nodig voor denitrificatie, extra PE-verbruik en extra energieverbruik. Metingen aan het centraat na vergisting laten de volgende invloed zien op de concentraties stikstof, fosfaat en CZV:

- De concentratie opgelost stikstof neemt toe met toenemende afbraak van organisch materiaal, waarbij de extra hoeveelheid stikstof in het algemeen iets lager blijft dan de extra afbraak;
- De concentratie fosfaat kan iets toenemen, maar ligt duidelijk lager dan de toename van de afbraak;
- De hoeveelheid opgelost CZV kan in dezelfde mate toenemen als de afbraak organisch materiaal, maar de experimenten laten een grote spreiding zien waardoor het effect lastig vooraf te voorspellen is.

De specifieke energie-input varieert van 0,02-0,05 kWh/kg ds bij recente toepassingen van hydrodynamische en ultrasone desintegratie tot 0,3-10 kWh/kg bij (lab)experimenten met uiteenlopende technieken<sup>2</sup>. In het eerste geval is de energieopbrengst uit extra gasproductie groter dan het extra energieverbruik, waardoor netto energie wordt geproduceerd, maar in het tweede geval niet.

Voor grootschalige desintegratie van secundair slib voor vergisting zijn ultrasoon geluid en hydrodynamische homogenisatie momenteel de meest toegepaste technieken. Er zijn respectievelijk 30 en 11 referenties van praktijktoepassingen, waarbij goede prestaties en betrouw-

baarheid worden gerapporteerd tegen een terugverdientijd van enkele jaren. Ook lysaatcentrifuge en verwarmen hebben zich op praktijkschaal bewezen voor deze toepassing met circa 10 referenties per techniek. Minpunten van deze laatste twee technieken ten opzichte van ultrasone en hydrodynamische desintegratie, zijn de geringere slibreductie (lysaatcentrifuge), lagere bedrijfszekerheid (verwarmen) en hoge kosten (verwarmen).

Voor de desintegratie van retourslib heeft alleen de behandeling met ozon een groot aantal referenties, vooral in Japan. Desondanks lijkt het kostenniveau per vermeden ton slibkoek aanzienlijk hoger dan voor ultrasone en hydrodynamische desintegratie.

De belangrijkste parameters voor de financiële haalbaarheid van slibdesintegratie zijn de verwijderingskosten voor het slib, het drogestofgehalte na ontwatering en de stijging van de afbraak. Desintegratie kan eventueel leiden tot extra polymeerverbruik voor ontwatering en extra C-bron en zuurstofverbruik voor stikstofverwijdering, maar deze kostenposten zijn relatief klein. Ook de opbrengsten van extra elektriciteitsopwekking uit biogas zijn klein ten opzichte van de mogelijke besparingen op slibverwijdering.

De terugverdientijd voor een slibdesintegratie-unit ligt momenteel rond de 4 tot 8 jaar, inclusief de extra investeringen voor randvoorzieningen. Leveranciers noemen terugverdientijden van 2 tot 4 jaar, maar dat is zonder randvoorzieningen. Deze terugverdientijden zijn slechts gemiddelde waarden. In de praktijk moet rekening worden gehouden met de lokale omstandigheden die van invloed zijn op de rentabiliteit, zoals het plaatsen van een buffer, uitbreiding van de warmtekrachtenheid, het drogestofgehalte van het slib, verblijftijd in de gisting, de grootte van de te behandelen stroom en de mogelijkheid om secundair slib apart te behandelen.

Kijkend naar het aantal verkochte installaties, dat nu ongeveer 10 stuks per jaar is, kan geconcludeerd worden dat slibdesintegratie zich nog in de beginfase van de ontwikkeling bevindt. Naar verwachting zal door de verdere ontwikkeling van desintegratietechnologieën de haalbaarheid steeds gunstiger worden.

# 8

## AANBEVELINGEN

Specifieke aandachtspunten die uit het literatuuronderzoek komen zijn:

- De aantoonbaarheid van de te verwachten resultaten;  
Dit is bij verschillende installaties een moeilijk punt gebleken doordat verschillende interpretaties van gevonden effecten mogelijk bleek. Dit onderstreept de noodzaak om in twee parallele lijnen het effect te onderzoeken.
- Vermijden van potentiële verstorende omstandigheden;  
Bij de tijdelijke uitval van apparatuur door bijvoorbeeld verstoppingen is het niet mogelijk om eenduidig het effect van desintegratie te bepalen.

## 9

## LITERATUUR

- 1 Abraham, K., Kepp, U. (2003) Commissioning and re-design of a "Class A" thermal hydrolysis facility for pre-treatment of primary and secondary sludge prior to anaerobic digestion, WEFTEC 2003
- 2 Barjenbruch, M., Kopplow, O. (2003) Enzymatic, mechanical and thermal pre-treatment of surplus sludge, *Advances in environmental research* 7, 715-720
- 3 Bhirud, U., Gogate, P., Wilhelm, A., Pandit, A. (2004) Ultrasonic bath with longitudinal vibrations: a novel configuration for efficient wastewater treatment, *Ultrasonics sonochemistry* 11, 143-147
- 4 Boehler, M., Siegrist, H. (2003) Partial ozonation of activated sludge to reduce excess sludge, improve denitrification and control scumming and bulking, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 47-54o
- 5 Brown, J.P., Clark, P., Hogan, F. (2003) Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion at Orange County sanitation district, Weftec Conference 2003
- 6 Cartmell, E., Clay, S., Smith, R., Withey, S. (?) Application of mechanical pre-treatments for improving the digestibility of waste activated sludge
- 7 Déléris, S., Larose, A., Geaugey, V., Lebrun, T. (2003) Innovative strategies for the reduction of sludge production in activated sludge plant: Biolysis O and Biolysis E, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 55-61
- 8 Diehm, B., Setzer, T., Kapp, H. (2004) Desintegration von Rücklaufschlamm zur Verbesserung der Denitrifikation, *KA-Abwasser, Abfall* (51) 4, 396-403
- 9 Eastman J.A. en Ferguson J.F. (1981) Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion, *JWPCF*, 53(3), 352-366
- 10 Eder, B. en Günthert F.W. (2003) Klärschlamminimierung dutch Zellaufschluss mit Ultraschall, *KA-Abwasser, Abfall* (50) 3, 333-342
- 11 Forschungszentrum Karlsruhe (2003) Senkung der Schlammbehandlungs- und Schlamm Entsorgungskosten durch Klärschlamm desintegration auf der Kläranlage Rosswein
- 12 Goel, R., Komatsu, K., Yasui, H., Harada, H. (2003) Process performance and change in sludge characteristics during anaerobic digestion of sewage sludge with ozonation, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 153-160
- 13 Gogate, P., Pandit, A. (2005) A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future, *Ultrasonics Sonochemistry* 12, 21-27
- 14 Grönroos, A., Kyllönen, H., Korpjärvi, K., Pirkonen, P., Paavola, T., Jokela, J., Rintala, J. (2005) Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion, *Ultrasonics Sonochemistry* 12, 115-120
- 15 Hogan F.M., Mormede S., Clark P.B. en Crane M.J. (2003) Enhanced anaerobic digestion using ultrasound



- 16 Jung, M., Weise, Th.H.G.G., Wittenberg, M., Mueller, J.A., Dichtl, N. (2001) Sludge desintegration by electrical shock waves, International Conference on Pulsed Power Applications, Gelsenkirchen
- 17 Kim, H., Kim, M., Kho H., Jung, Y., Sung, N. (2004) Enhanced disintegration of excess sludge by dual frequency sonication and recovery of external carbon source for BNR process, Marrakesh conference
- 18 Koners, U., Toepfl, S., Heinz, V., Camacho, P., Ginestet, P., Knorr, D. (2004) Applicability of PEF technique to wastewater and sludge fractions, WIRES
- 19 Kopp, J., Dichtl, N. (1998) Konditionierungs- und Entwässerungsverhalten von aufgeschlossenen und gefaulten Schlämmen, Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig, Heft 61, 245-252
- 20 Kopplow, O., Barjenbruch, M., Heinz, V. (2003) Sludge pre-treatment with pulsed electric fields, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 553-559
- 21 Kunz, P. en Wagner, S. (1994), Ergebnisse und Perspektiven aus Untersuchungen zur Klärschlamm-desintegration, AWT-Abwassertechnik, 1, 50-57
- 22 Kunz P., (1998) Behandlung von Schlamm, Vogel Buchverlag Wuerzburg, ISBN 3-8023-1704-1
- 23 Kunz, P., Woerne, D., (1998) Nachweis der biologischen Verfügbarkeit von Klärschlamm mittels Rührwerkskugelmühle im Rahmen einer gezielten Denitrifikation, Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig 61
- 24 Malina J.F. en Pholand F.G. (1992) Water quality management library volume 7: design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. Technomic Publishing Company, Lancaster, USA
- 25 Müller, J. (1996) Mechanischer Klärschlammaufschluss, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TU Braunschweig
- 26 Mueller J. e.a. (2000), Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlamm-desintegration, 1. Arbeitsbericht der ATV/DVWK Arbeitsgruppe AK-1.6 "Klärschlamm-desintegration", Korrespondenz Abwasser 47, 4, 570-576
- 27 Mueller J. (2000), Desintegration an a key step in sewage sludge treatment, Water Science and Technology, Vol 41 No 8, 123-130
- 28 Mueller J. e.a. (2001), Verfahrensvergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlamm-desintegration, 2. Arbeitsbericht der ATV/DVWK Arbeitsgruppe AK-1.6 "Klärschlamm-desintegration", Korrespondenz Abwasser 48, 3, 393-400
- 29 Müller, J. (2001) Developments and applications of sludge pretreatment processes, Weftec 2001
- 30 Müller, J. e.a. (2003) Thermische, chemische und biochemische Desintegrationsverfahren, 3. Arbeitsbericht der ATV/DVWK Arbeitsgruppe AK-1.6 "Klärschlamm-desintegration" Korrespondenz Abwasser 50, 6
- 31 Müller, J. e.a. (2005) Wirtschaftlicher und betrieblicher Vergleich verschiedener Verfahren zur Klärschlamm-desintegration, 4. Arbeitsbericht der ATV/DVWK Arbeitsgruppe AK-1.6 "Klärschlamm-desintegration" Korrespondenz Abwasser 52, 2
- 32 Müller, J., Winter, A., Strünkmann, G., (2003) Investigation and Assessment of sludge pre-treatment processes, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 137-144
- 33 Nickel K. (2002), Intensivierung der anaeroben Klärschlammstabilisierung durch vorgeschalteten Ultraschall, Dissertation TU Hamburg-Harburg

- 34 Nickel K., Neis U. (2003), Klärschlamm-desintegration- Überblick über verschiedene Verfahren, 15. Kolloquium und Fortbildungskurs zur Abwasserwirtschaft, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering, 41:91-106
- 35 Nickel K., Neis U. (2003), Desintegration von Klärschlamm- eine wirtschaftliche Alternative? 15. Kolloquium und Fortbildungskurs zur Abwasserwirtschaft, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering, 41:91-106
- 36 Onyeche, T.I. en Sievers, M. (2004) Economical minimisation of sludge through the increased production of biogas, Marrakesh conference
- 37 Onyeche, T., Schäfer, O., Bormann, H., Schröder, C., Sievers, M. (2002) Ultrasonic cell disruption of stabilised sludge with subsequent anaerobic digestion, *Ultrasonics* 40, 31-35
- 38 Patent nr. DE 198 42 005 C2
- 39 Pincince, A.B. en Borgatti, D.R. (2003) Full-scale evaluation of the effect of disintegration of biomass on secondary treatment, WEFTEC 2003
- 40 Rewcastle, M., Taylor, T., Churchley, J., Lebrun, T., Perrin, D. (2004) Full-scale trial of Degremont's Biolysis'0 sludge minimisation technology on an activated sludge plant in the UK, 9th European Biosolids and Biowastes Conference
- 41 Roediger H., Roediger M. en Kapp H. (1990), Anaerobe alkalische Schlammfäulung, 4. Auflage, Oldenbourg Verlag, Muenchen
- 42 Rosenwinkel, K.-H., Wendler, D., Gaul, T. (2002) Gross- und labortechnische Untersuchungen zur Schaumbehandlung, in: Tagungsband der *Microthrix parvicella* – Tagung, Betriebserfahrungen und neue Ansätze aus der Forschung zur Bekämpfung von Blähschlamm verursacht durch *Microthrix parvicella*, ISAH Universität Hannover
- 43 Salhi, m., Déléris, S., Debellefontaine, H., Ginestet, P., Paul, E. (2003) More insights into the understanding of reduction of excess sludge production by ozone, IWA Conference Wastewater sludge as a resource, 39-46
- 44 Sangave, P., Pandit, A. (2004) Ultrasound pre-treatment for enhanced biodegradability of the distillery wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry* 11, 197-203
- 45 Scheminski, A. (2001), Teiloxidation von Faulschlämmen mit Ozon, Dissertation, Schriftenreihe des Institutes für Bioverfahrenstechnik der Technischen Universität Braunschweig, 11
- 46 Schmelz, K, Müller, J. (2004) Klärschlamm-desintegration zur Verbesserung der Fäulung – Ergebnisse grosstechnischer Parallelversuche, *Korrespondenz Abwasser* 51, 6, 632-641
- 47 Schmid, A. (2004) Cavitation selector for reducing the bulking sludge phenomenon, Marrakesh conference
- 48 Schmitt, W. (2004) Collective experience of the CROWN sludge disintegration system for carbon release for improved biological treatment
- 49 Sievers, M., Ried, A., Koll, R. (2004) Sludge treatment by ozonation – evaluation of full-scale results, *Water Science & Technology* vol 49, 4, 247-253
- 50 Watanabe, T., Zeng, D., Cho, K., Kuroda, M. (2004) A novel sludge disintegration treatment by simultaneous use of ultrasonic and electrochemical processes, Marrakesh conference
- 51 Ways of Innovation for the Reduction of Excess Sludge, Project of the 5th Framework Programme of the European Union, [www.cirsee-eu-wires.com](http://www.cirsee-eu-wires.com)

- 52 Wuensch B., Heine W., Neis U. (2002) Combating bulking sludge with ultrasound, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering 35
- 53 Winter A. (2003), Desintegrationsverfahren zur Intensivierung der Schlammfäulung – grosstechnische Vergleiche, Dissertation TU Braunschweig
- 54 Yasui, H., Komatsu, K., Goel, R., Noike, T. (2003) Full-scale application of anaerobic digestion process with partial ozonation of digested sludge
- 55 Yin, X., Han, P., Lu, X., Wang, Y. (2004) A review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment, Ultrasonic Sonochemistry 11, 337-348
- 56 Yoon, S., Kim, H., Lee, S. (2004) Incorporation of ultrasonic cell disintegration into a membrane bioreactor for zero sludge production, Process Biochemistry 39, 1923-1929

## BIJLAGE 1

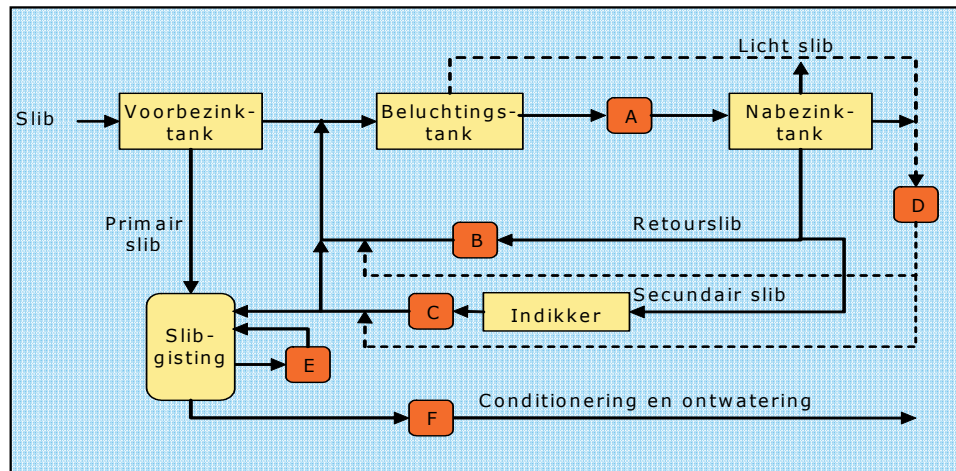
# INZETSTRATEGIEËN SLIBDESINTEGRATIE

In de demonstratie wordt slibdesintegratie ingezet voor de behandeling van ingedikt secundair slib voor de vergisting. Theoretisch gezien kan slibdesintegratie ook op andere plaatsen in het zuiveringsproces een positief effect hebben. In figuur 17 zijn deze inzetmogelijkheden aangegeven (17).

NB de gekozen strategie komt overeen met positie C in de figuur.

FIGUUR 17

OVERZICHT TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN SLIBDESINTEGRATIE (BEWERKT NAAR REFERENTIE 3)



Bij de behandeling van retourslib en surplusslib (B,C) worden de slibvlokken en bacteriecellen afgebroken, waardoor de celinhoud beter toegankelijk is voor biologische afbraak. Dit geldt zowel voor de aërobe als anaërobe afbraak. Daarnaast kan het vrijkomende organische materiaal dienen als koolstofbron voor de stikstofverwijdering. Door de vermindering van de hoeveelheid surplusslib neemt de concentratie van anorganische slibdeeltjes zoals fosfaat en metalen toe.

Bij de desintegratie van licht slib (A, B, C, D) worden draadvormige structuren afgebroken. Dit kan een aantal effecten hebben:

- o De bezinkingseigenschappen van het slib verbeteren
- o Schuimvorming wordt bestreden
- o De Slib-Volume-Index wordt verbeterd.

Het desintegreren van vergist slib (E,F) heeft als doel het verbeteren van de biologische afbraak respectievelijk de ontwatering. Ter verbetering van de afbraak wordt een deel van de inhoud van de vergistingstank door een desintegratie-eenheid geleid en vervolgens terug in de vergisting gebracht. Hierbij moet er rekening mee worden gehouden dat ook een deel van de anaërobe bacteriën wordt afgebroken en daardoor afsterft. Ter verbetering van de ontwatering wordt een deel van het vergist slib behandeld en daarna weer vermengd met het onbehandeld slib. Het doel is een voor de ontwatering optimale deeltjesgrootteverdeling te realiseren en het daardoor minimaliseren van het gebruik van hulpstoffen en verhogen van uiteindelijk drogestofgehalte.

In de figuur is de behandeling van primair slib niet opgenomen, omdat uit onderzoek is gebleken dat dit vrijwel geen effect heeft op de ontsluitingsgraad van het slib (23) en daardoor nauwelijks bijdraagt aan een verbeterde bedrijfsvoering van de zuivering.

## BIJLAGE 2

# LEVERANCIERSINFORMATIE

Voor desintegratie op basis van ultrasoon of hydrodynamische desintegratie zijn de volgende 4 leveranciers actief op de Europese markt: Biogest, IWE.tec, Ultrawaves en Sonico. In dit hoofdstuk worden de apparatuur en referenties van deze leveranciers besproken, waarvoor gebruik is gemaakt van de door hun beschikbaar gestelde informatie.

## BIOGEST

Biogest wordt in Nederland vertegenwoordigd door AQA HydraSep. Biogest heeft een mechanische slibdesintegratie methode op de markt gebracht, de zogenaamde CROWN desintegrator. Dit systeem is als volgt opgebouwd:

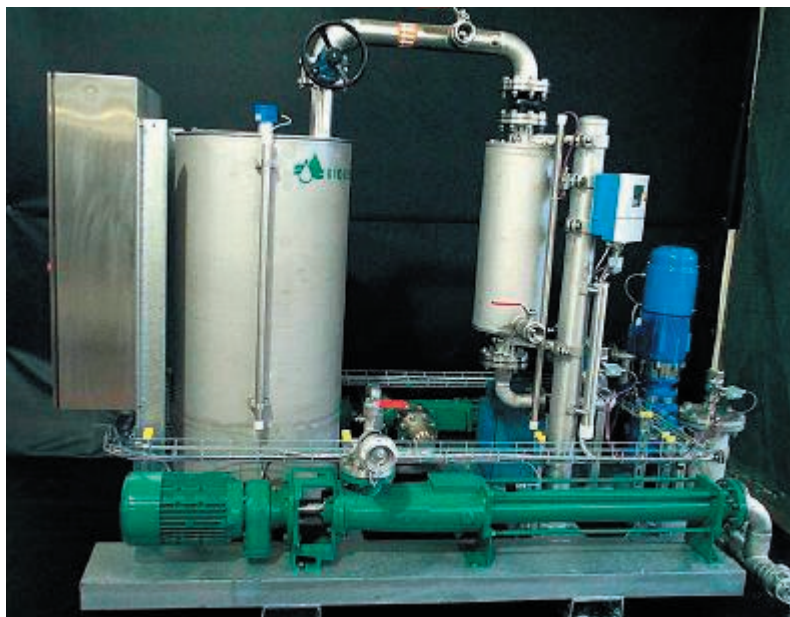
- een homogenisator waarmee de deeltjesgrootte en -verdeling van het slib wordt aangepast, de suspensie wordt gehomogeniseerd en eventuele vaste slibdelen worden verkleind
- een excentrische wormpomp (monopomp) waarmee een constante druk van 12 bar wordt opgebouwd en het slib wordt rondgepompt
- de desintegrator zelf, wat een nozzle is waar met 12 bar het slib doorheen wordt gepompt
- monopomp voor afvoer van het slib.

Biogest kiest in de meeste toepassingen voor deelstroombehandeling. Deze inzet is niet gepatenteerd, zoals bijvoorbeeld IWE.tec heeft gedaan voor de deelstroombehandeling met ultrasoon, maar Biogest is tot nu toe de enige leverancier van deze technologie.

Een typerende uitvoering van het systeem is weergegeven in figuur 18

FIGUUR 18

HYDRODYNAMISCHE SLIBDESINTEGRATIE BIOGEST



De leverancier heeft de volgende referenties (tot en met januari 2005):

**KLEINERE INSTALLATIES (- 60.000 I.E.):**

RWZI Taunusstein (2002), 30.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Ginsheim (2003), 32.000 i.e., verbeterde vergisting en C-bron rwzi  
 RWZI Oppenheim (2004), 22.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Münchwilen (2005), 32.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Didcot (2005), 25.000 i.e., verbeterde vergisting

**MIDDELGROTE INSTALLATIES (60.000 I.E. – 200.000 I.E.)**

RWZI Schwedt/Oder (2003), 68.000 i.e., verbeterde vergisting en C-bron rwzi  
 RWZI Gifhorn (2003), 70.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Meissen (2003), 105.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Ingelheim (2002), 200.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Speyer (2004), 98.000 i.e., verbeterde vergisting

**GROTE INSTALLATIES (200.000 I.E. - )**

RWZI Wiesbaden (2003), 355.000 i.e., verbeterde vergisting en C-bron rwzi  
 RWZI Stockholm-Käpalla (2003), 750.000 i.e., verbeterde vergisting  
 Wiesbaden (2005) industriële zuivering  
 RWZI Bremerhafen (2005), 300.000 i.e., verbeterde vergisting

Zoals blijkt uit de referentielijst, wordt het Biogest-systeem sinds 2002 op praktijkschaal toegepast. Daarbij heeft Biogest ook op grote installaties (750.000 i.e.) bewezen goede resultaten te kunnen leveren.

Naast toepassing voor verbeterde vergisting, heeft Biogest ook ervaring op een drietal locaties met de inzet van gedesintegreerd slib als C-bron voor het actief-slib systeem. De ervaringen zijn te kort om over de resultaten van deze laatste toepassing een gefundeerd oordeel te kunnen vormen, maar vooralsnog lijken de resultaten hoopgevend.

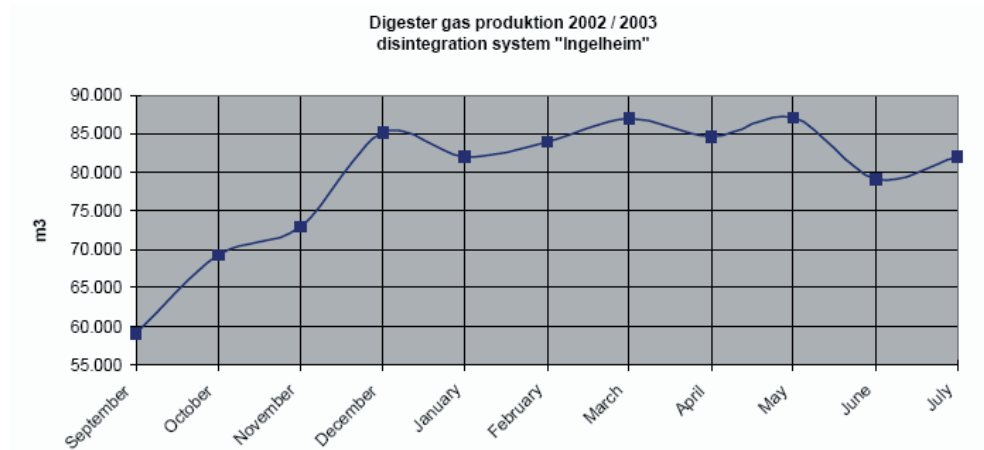
Het aantal onderzoeken naar de prestaties van hydrodynamische slibdesintegratie is beperkt en vooral uitgevoerd door de leverancier bij potentiële klanten. De gerapporteerde prestaties zijn:

- Toename van afbraak organisch materiaal in de vergisting met 15% tot 50%
- Toename van droge stof gehalte na ontwatering van 36 % naar 40%
- Slibreductie na ontwatering 27%.

Ter illustratie zijn hieronder de resultaten gegeven van Biogest op RWZI Ingelheim, waar de desintegratie in december 2002 in gebruik is genomen. Op de zuivering wordt slib van een farmaceutische fabriek meevergist, deze stroom is 7 m<sup>3</sup>/h. De desintegratie-unit heeft een geïnstalleerd vermogen van 16 kW, waarvan 6,6 kW wordt opgenomen voor de behandeling.

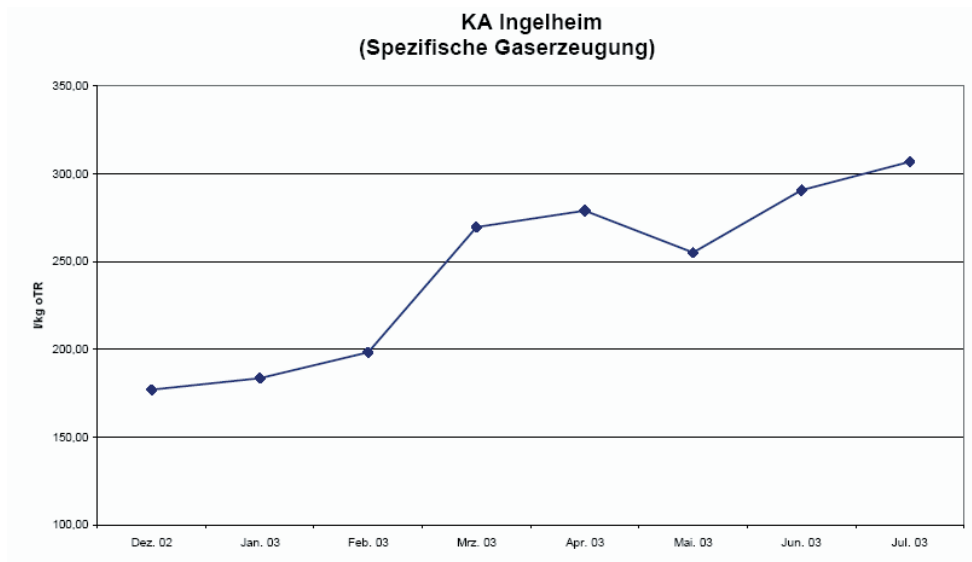
FIGUUR 19

BIOGASPRODUCTIE VOOR EN NA INSTALLATIE VAN SLIBDESINTEGRATIE OP RWZI INGELHEIM



FIGUUR 20

SPECIFIEKE GASPRODUCTIE OP RWZI INGELHEIM



### IWE.TEC

IWE.tec is een joint-venture van de Duitse bedrijven IWE (ingenieursbureau), Dr. Hielscher (producent van ultrasound apparatuur) en het Fraunhofer instituut KTS (de Duitse tegenhanger van TNO). Dit instituut voert een uitvoerige veldtest uit en combineert de resultaten met de beschikbare gegevens van het slib op de rwzi en de reeds opgedane ervaringen. Op grond van deze resultaten geeft IWE.tec harde garanties af voor de te verwachten resultaten. Het ultrasound-principe wordt ingebouwd in de bestaande sliblijn en bestaat uit een buffer gevolgd door de sonotrodes waarmee met een hoge frequentie (ultrasone golven) het zuiverings-slib gedesintegreerd wordt. Een typerende uitvoeringsvorm is weergegeven in figuur 21. Voor de opbouw van de installaties maakt IWE-tec gebruik van een aantal standaard sonotrodes. Op dit moment zijn deze beschikbaar in de capaciteiten 0,25 kW, 0,5kW, 1,0 kW, 2,0 kW, 4,0 kW, 8,0 kW, 12,0 kW en 16,0 kW. Voor slibdesintegratie zijn vooral de eenheden van 1,0 – 4,0 kW van belang. Afhankelijk van de resultaten uit de proeven wordt een op maat gesneden installatie ontworpen.



IWE.tec heeft de deelstroombehandeling van surplusslib met ultrasoongeluid gepatenteerd (38) en noemt in het patent de behandeling van bij voorkeur 30% van het surplusslib. De meeste installaties die door IWE.tec zijn geleverd worden op deze wijze ingezet. Winter (52) heeft grootschalige experimenten uitgevoerd naar deelstroombehandeling van surplus slib met een ultrasone installatie van IWE.tec. Hierbij is de specifieke biogasopbrengst (liter biogas per aan de vergisting toegevoerde kilogram organische droge stof) gemeten bij variatie van de hoeveelheid behandeld surplusslib. Zij vindt een toename van de specifieke biogasopbrengst bij een toenemende hoeveelheid behandeld slib totdat 50% van de stroom surplusslib is behandeld. Bij behandeling van een groter deel van het surplusslib neemt de biogasproductie nauwelijks verder toe.

FIGUUR 21

ULTRASOUND SLIBDESINTEGRATIE IWE-TEC, RWZI RUESSELHIEM, 80.000 I.E., 5\* 2 KW



IWE-tec heeft de volgende referenties (tot januari 2005):

**Kleinere installaties (- 60.000 i.e.):**

RWZI Friedberg (2003), 36.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering en voorkomen schuimvorming in vergister

RWZI Darmstadt-Süd (2002), 40.000 i.e., voorkomen schuimvorming

RWZI Darmstadt -Süd (2000), 40.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI Kriftel (2003), 49.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

RWZI Kitzbühel, Oostenrijk (2002), 50.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

RWZI Donrath (2004), 40.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

RWZI Merzig (2004), 60.000 i.e., verbeterde vergisting

**Middelgrote installaties (60.000 i.e. – 200.000 i.e.)**

RWZI Rüsselsheim (2001), 80.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

RWZI Greifswald (2003), 90.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

RWZI Saarlouis (2002), 90.000 i.e., voorkomen schuimvorming

RWZI Saarlouis (2001), 90.000 i.e., C-bron rwzi (?) en verbeterde ontwatering

RWZI Detmold (2000), 95.000 i.e., verbeterde vergisting  
 RWZI Saarbrücken (2003), 200.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Greifswald (2003), 90.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Thunersee (2004), 135.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Moers-Gerdt (2004), 185.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Rheinhausen (2004), 175.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Land van Cuijk (2004), 175.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

Grote installaties (200.000 i.e. - )

RWZI Meran, Italië. (2003), 210.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Darmstadt (2000), 240.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Wiesbaden (2002), 360.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering  
 RWZI Mannheim (2001), 650.000 i.e., verbeterde vergisting en ontwatering

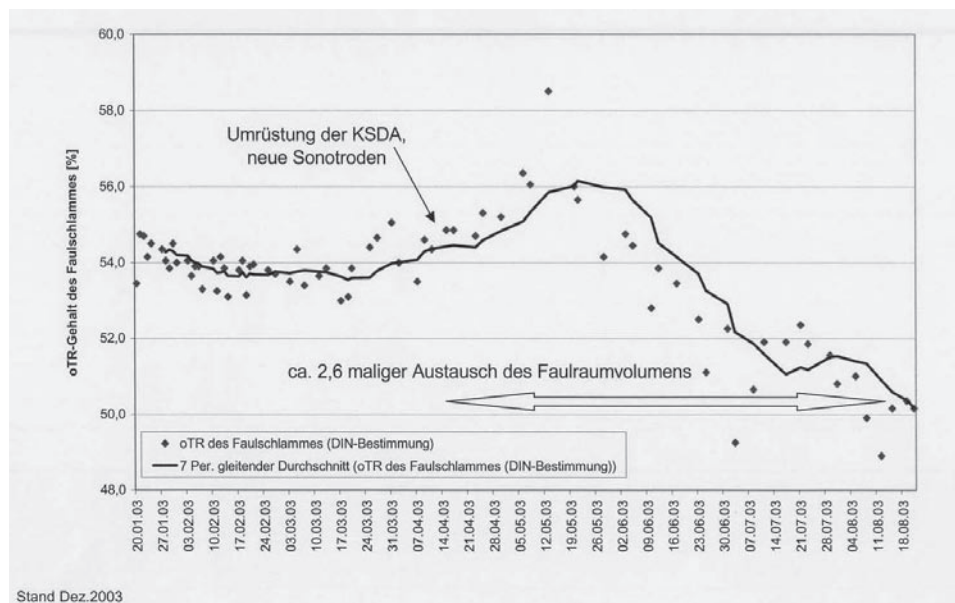
Zoals blijkt uit de referentielijst, wordt het IWE.tec-systeem sinds 2000 op praktijkschaal toegepast. Daarbij heeft IWE.tec ook op grote installaties (650.000 i.e.) bewezen goede resultaten te kunnen leveren, zowel voor de verhoging van de gasopbrengst als voor de verbetering van de ontwateringseigenschappen. De toepassingen zijn vooral gericht op verbeterde vergisting en ontwatering, waarbij ook het voorkomen van schuimvorming in de vergister van belang is.

Van de demonstratie op RWZI Mannheim zijn hieronder een paar resultaten weergegeven. De demonstratie bestond uit de deelstroombehandeling van secundair slib voor vergisting, waarbij de volgende resultaten zijn behaald:

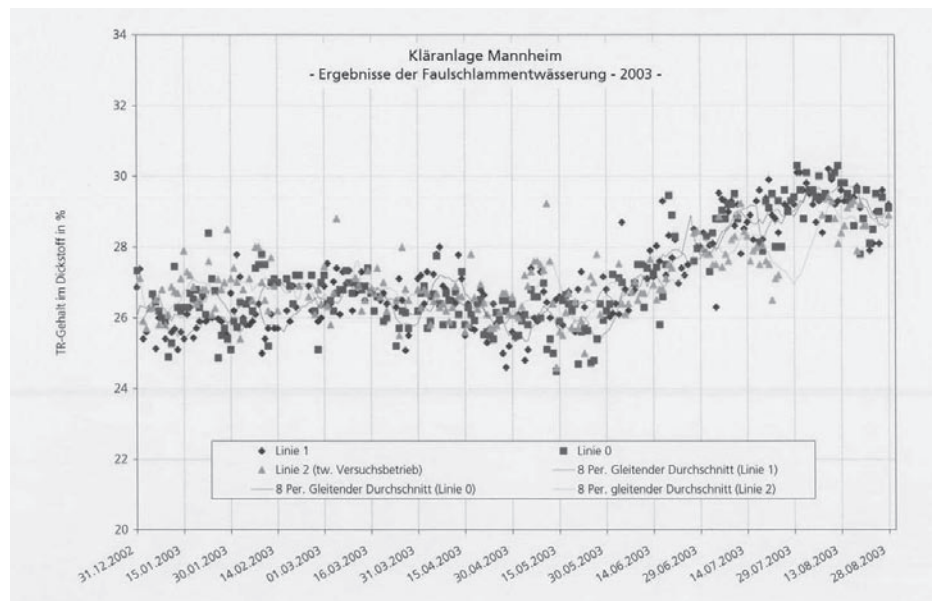
- 25% meer biogasproductie
- 20% meer afbraak organisch materiaal
- 10% hoger drogestof gehalte na ontwatering
- 11,5% minder zuiveringsslib
- 500.000 euro besparing op bedrijfskosten in 2003

FIGUUR 22

AFBRAAK ORGANISCHE STOF OP RWZI MANNHEIM



FIGUUR 23 ONTWATERING ZUIVERINGSSLIB OP RWZI MANNHEIM



### ULTRAWAVES

Ultrawaves wordt in Nederland vertegenwoordigd door Solis Engineering. Ultrawaves is ontstaan als spin-off van het wetenschappelijk werk van de Technische Universiteit Hamburg-Harburg. Ze maakt gebruik van sonotrodes van de firma Sonotronic GmbH. Ultrawaves maakt gebruik van een standaard module waarin 5 sonotrodes in serie zijn geschakeld. Als sonotrode wordt standaard een unit met een aansluitvermogen van 2 kW toegepast. Het in de praktijk opgenomen vermogen bedraagt circa 1 kW per sonotrode, dus 5 kW per module. Volgens opgaaf van Ultrawaves kan één unit 1 – 1,5 m<sup>3</sup>/h aan slib verwerken. Voor het droge stof gehalte wordt een optimum (maximum) van 6% DS aangehouden.

In de navolgende figuren wordt een indruk gegeven van de vormgeving van de sonotrodes zoals door Ultrawaves toegepast en de wijze waarop de twee modules in Bamberg zijn opgesteld.

FIGUUR 24 SONOTRODE ULTRAWAVES , 2 KW GEINSTALLEERD VERMOGEN



FIGUUR 25

OPSTELLING ULTRAWAVES MODULES (2 STUKS) IN BAMBERG, 230.000 I.E.



De leverancier heeft de volgende referenties (tot en met januari 2005):

Kleinere installaties (- 60.000 i.e.):

RWZI Meldorf (2004) 20.000 i.e., verbeterde vergisting en voorkomen schuimvorming  
 Proefinstallaties op tien locaties.

Middelgrote installaties (60.000 i.e. – 200.000 i.e.)

Alleen proefinstallaties op een zestal locaties.

Grote installaties (200.000 i.e. - )

RWZI Bamberg (2004), 230.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI Zeist (2005) 70.000 i.e., verbeterde vergisting

En een tweetal proefinstallaties op locatie.

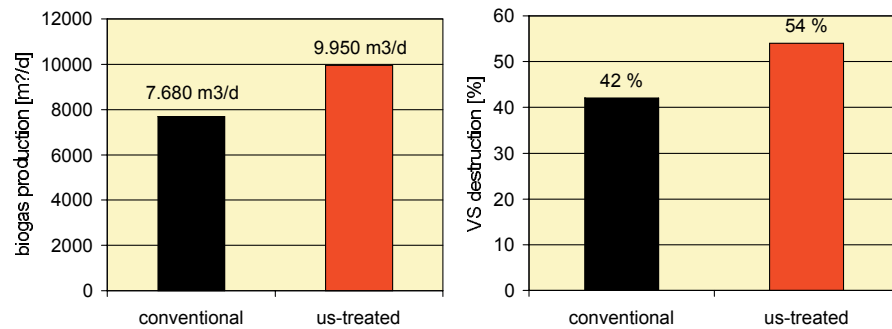
Het systeem van Ultrawaves wordt sinds enkele jaren toegepast, van zeer kleine tot relatief grote schaal (tot 300.000 i.e.). Daarbij is naast verbetering van de vergisting ook aërobe slibstabilisering (C-bron voor rwzi) een belangrijke toepassing. De ervaringen zijn te kort om over de resultaten deze laatste toepassing een gefundeerd oordeel te kunnen vormen, maar vooralsnog lijken de resultaten hoopgevend.

Ter illustratie van de mogelijke prestaties van het systeem zijn hieronder de resultaten gegeven van de demonstratie op RWZI Bamberg. Deze zuivering is ontworpen voor 230.000 i.e. maar heeft een actuele belasting van 280.000 i.e. Doel van slibdesintegratie is het vergroten van de verwerkingscapaciteit van de zuivering, zodat de bouw van een nieuwe gistingstank kan worden voorkomen. Tijdens de vier maanden testperiode zijn de volgende resultaten gemeten:

- 30% meer biogasproductie
- Toename afbraak organisch materiaal van 42% naar 54%

FIGUUR 26

BIOGASPRODUCTIE (M<sup>3</sup>/DAG) EN AFBRAAK ORGANISCHE STOF IN CONVENTIONELE SITUATIE EN NA BEHANDELING MET ULTRASOON GELUID OP RWZI BAMBERGEN



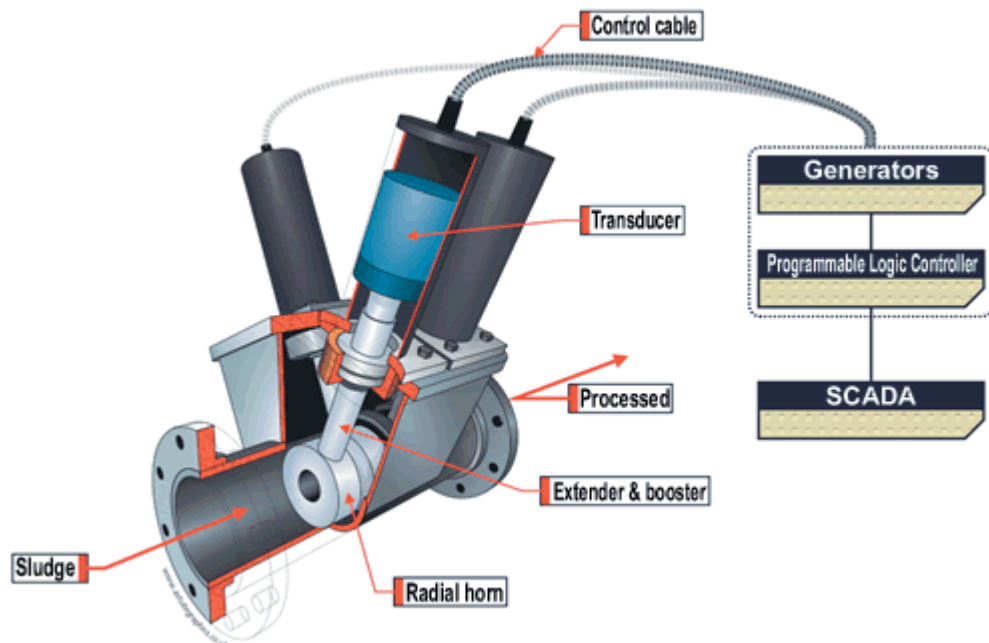
### SONICO

Sonico is een joint-venture van de bedrijven Atkins plc en Purac Ltd. De slibdesintegratie op basis van ultrasoon geluid wordt vermarkt onder de naam Sonix. De sonotrodes hebben de vorm van doughnuts en kunnen zowel horizontaal als verticaal in de pijpleiding worden geplaatst. Het slib stroomt door en langs de sonotrodes. Een typische uitvoering van Sonix is de V5 reactor met 5 titanium stacks naast elkaar zijn geplaatst, zie figuur. Een standaard V5 kan 189 m<sup>3</sup> tot 208 m<sup>3</sup> slib behandelen per 24 uur. Om grotere slibstromen te behandelen worden meerdere eenheden parallel ingezet. Het geïnstalleerd vermogen per eenheid is 30 kW, waarvan 6-12 kW wordt opgenomen door het slib. De drukval over de eenheid bedraagt circa 0,2 bar.

Sonico gaat uit van volstroombehandeling: de volledige stroom secundair slib wordt door de desintegratie-unit geleid. Een praktisch gevolg hiervan is dat de unit relatief groot moet zijn, maar gezien het groeiende aantal verkopen lijkt de apparatuur van Sonico desondanks concurrerend met andere installaties.

FIGUUR 27

SONIX ULTRASOUND DESINTEGRATIE-EENHEID VAN SONICO



Sonico heeft de volgende referenties (tot en met januari 2005):

Middelgrote installaties (60.000 i.e. – 200.000 i.e.)

RWZI Kavlinge, Zweden (2002), 100.000 i.e., behandeling van retourslib

RWZI Boras, Zweden (2004), 100.000 i.e., verbeterde vergisting en vermindering schuimvorming

Grote installaties (200.000 i.e. - )

RWZI Perth, Australië (2003), 700.000 i.e., verbeterde vergisting en vermindering schuimvorming

RWZI Cotton Valley, Groot-Brittannië (2004), 300.000 i.e., Verbeterde vergisting

RWZI Ulu Pandan, Indonesië (2004), 237.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI Mangere, Nieuw Zeeland (2005), 800.000 i.e., verbeterde vergisting en vermindering schuimvorming

Daarnaast heeft Sonico full-scale demonstraties uitgevoerd op de volgende locaties:

RWZI Avonmouth (12 maanden test in 2001 en 2002) 1.200.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI Orange County (5 maanden test in 2002) 1.700.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI Tilbury, Groot-Brittannië (2003), behandeling van retourslib

RWZI Edmonton, Canada (2003), vermindering schuimvorming

RWZI T City, Japan (14 maanden test in 2003 en 2004), verbeterde vergisting

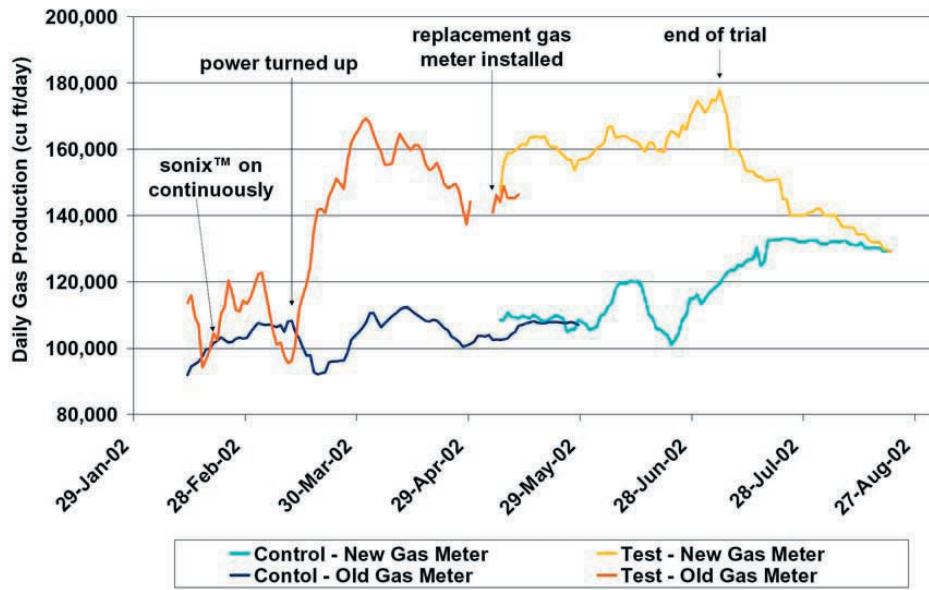
RWZI Mansfield (5 maanden test in 2003) 150.000 i.e., verbeterde vergisting

RWZI City of Riverside, Verenigde Staten (2004), verbeterde vergisting

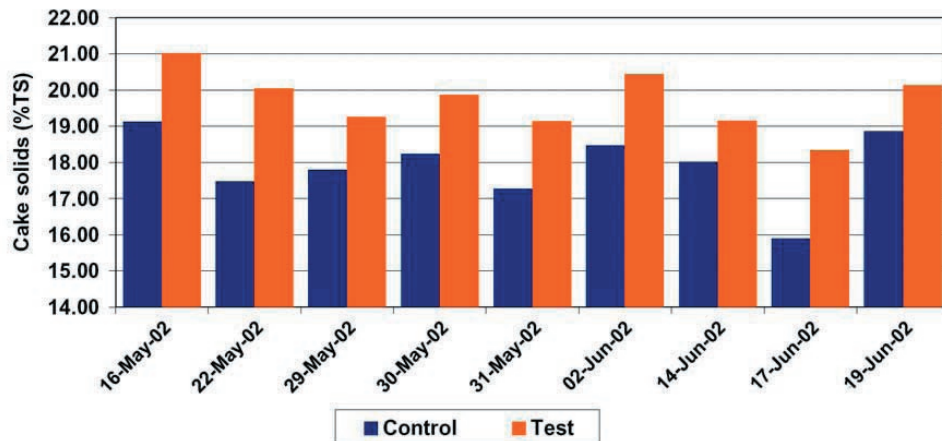
Van de demonstratie in Orange County zijn hieronder een aantal resultaten weergegeven. Voor de demonstratie is gebruik gemaakt van twee parallelle vergisters die onder identieke condities draaiden. Het secundair slib naar de test digester werd behandeld met ultrasoon geluid en in de control digester werd onbehandeld slib vergist. De voeding bestond voor 60% - 65% uit surplus slib. Tijdens de demonstratie zijn de volgende resultaten behaald:

- 50% meer biogasproductie
- 50% meer afbraak organisch materiaal
- drogestof gehalte na ontwatering van 17,9% naar 19,7% bij gelijke PE-dosering.
- Beschikbaarheid installatie 98,9%
- Terugverdientijd circa 2 jaar

FIGUUR 28 BIOGAS PRODUCTIE IN DE VERGISTING NA DESINTEGRATIE (TEST, BOVENSTE LIJN) EN IN DE VERGISTING ZONDER DESINTEGRATIE (CONTROL, ONDERSTE LIJN). BRON: DEMONSTRATIE VAN SONIX OP RWZI ORANGE COUNTY



FIGUUR 29 DROGE STOF GEHALTE IN VERGIST EN ONTWATERD SLIB NA DESINTEGRATIE (TEST) EN ZONDER DESINTEGRATIE (CONTROL) BRON: DEMONSTRATIE VAN SONIX OP RWZI ORANGE COUNTY



## BIJLAGE 3

## DESINTEGRATIETECHNIEKEN

**MECHANISCH***Ultrasoon geluid*

De werking van ultrasone desintegratie berust op het opwekken van cavitatie in het slib. De energie uit ultrasone geluidsgolven wordt overgedragen op het slib waardoor zich bellen vormen. Als voldoende energie wordt toegevoerd, groeien de bellen tot ze instabiel worden en imploderen, waardoor lokale een hoge temperatuur en druk ontstaat. Door deze effecten wordt het slib gedesintegreerd.

*Hydrodynamische desintegratie*

Bij hydrodynamische slibdesintegratie wordt het slib op druk gebracht en daarna door een vernauwing heen geperst. Dit is een venturi-achtige nozzle. Bij het passeren van de nozzle ondergaat het slib een zeer sterke verandering in snelheid en druk, waardoor er cavitatie optreedt en het slib desintegreert.

*Vermalen*

Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van vermalers, maar voor slibdesintegratie lijkt de kogelmolen het beste resultaat te geven. Dit is een ronddraaiend vat met daarin kleine kogels. Tijdens het ronddraaien worden de slibcellen gedesintegreerd door centrifugaal krachten en de krachten van de ronddraaiende kogels.

*Elektrische pulsen*

Met korte maar krachtige elektrische pulsen worden schokgolven opgewekt tussen twee elektrodes die in een slecht geleidend medium zijn geplaatst. Deze schokgolven worden doorgegeven aan het slib rondom het elektrodensysteem en de schuifkrachten die daarbij optreden veroorzaken desintegratie van slibdeeltjes.

*Lysat centrifuge*

Het proces vindt plaats in de zogenaamde “lysate feature”, die is geïntegreerd in het achterste deel van de centrifuge. De snij/maal bewerking in dit onderdeel leidt tot desintegratie van het slib. Overigens heeft ook een centrifuge zonder de lysaat-feature een zeker desintegratie-effect.

*Botsing onder hoge snelheid*

Het slib wordt onder hoge druk door een nozzle naar buiten geperst. Het verschil met hydrodynamische desintegratie is de vorm van de nozzle, omdat bij hoge druk homogenisatie de vrije uitstroom uit de nozzle belemmert wordt door een vlakke plaat die er direct achter is geplaatst. Bij het botsen van het slib op die plaat ontstaat cavitatie en mechanische beschadiging van cellen en treedt desintegratie op.

**CHEMISCH***Ozon*



Dit proces gebruikt ozon om het slib gedeeltelijk te oxideren. Grote slibvlokken worden door hydrolyse omgezet in kleinere, biologisch beter afbreekbare deeltjes en celwanden worden afgebroken. Het ozon wordt op locatie geproduceerd uit lucht of zuurstof.

#### *Zure hydrolyse*

In plaats van ozon kunnen ook zuren gebruikt worden om slibdeeltjes te hydrolyseren. Zure hydrolyse wordt vaak gecombineerd met verwarming van het slib om de effectiviteit van de desintegratie te vergroten. Dit proces is gericht op het produceren van koolstof voor de aerobe zuivering en is dus niet van toepassing voor de demonstratie.

#### *Alkalische hydrolyse*

Bij alkalische hydrolyse wordt het slib afgebroken door de pH te verhogen met natronloog, eventueel in combinatie met een hogere temperatuur. Dit proces is gericht op het produceren van koolstof voor de aerobe zuivering en is dus niet van toepassing voor de demonstratie.

#### *Natte oxidatie*

De combinatie van zuurstof met hoge druk en temperatuur leidt tot oxidatie van de organische componenten in het slib. Er kan zowel zuiver zuurstof als lucht gebruikt worden als zuurstofbron.

### **THERMISCH**

#### *Verwarmen*

Het proces is gebaseerd op het kraken van cellen bij hogere temperatuur. Het slib wordt opgewarmd met warmtewisselaars of door het injecteren van stoom. Indien beschikbaar kan gebruik worden gemaakt van restwarmte op de locatie. Het effect van verhitten af van de gebruikte temperatuur en de tijdsduur.

#### *Vriesdooien*

Door het achtereenvolgens bevriezen en ontdooien van het slib verandert de vlokstructuur. Hierdoor wordt het organisch materiaal beter beschikbaar voor biologische afbraak en verbeteren de ontwateringseigenschappen van het slib.

### **BIOLOGISCH**

#### *Enzymen*

Enzymen katalyseren de afbraak van de celwand en dragen zo bij aan desintegratie van het slib. Bij het extern toevoegen van enzymen aan het slib wordt vaak gebruik gemaakt van een enzymcomplex. In de intracellulaire vloeistof van de bacteriën in secundair slib zitten ook enzymen die vrijkomen bij mechanische desintegratie. De afbraak van slib door deze enzymen heet autolyse.

#### *Schimmels*

In een bioreactor wordt het slib afgebroken door schimmelculturen. In tegenstelling tot de andere, relatief snelle desintegratietechnieken is hiervoor een verblijf nodig van enkele dagen. De schimmelculturen worden apart gekweekt in een bioreactor op de locatie.

#### *Wormen*

Wormen kunnen worden ingezet om de slibstructuren af te breken. Daarbij groeit de populatie wormen, die als proteïne-rijk bijproduct afgezet zouden kunnen worden. Een voorwaarde hiervoor is dat de wormen niet te veel verontreinigd zijn met bijvoorbeeld zware metalen.