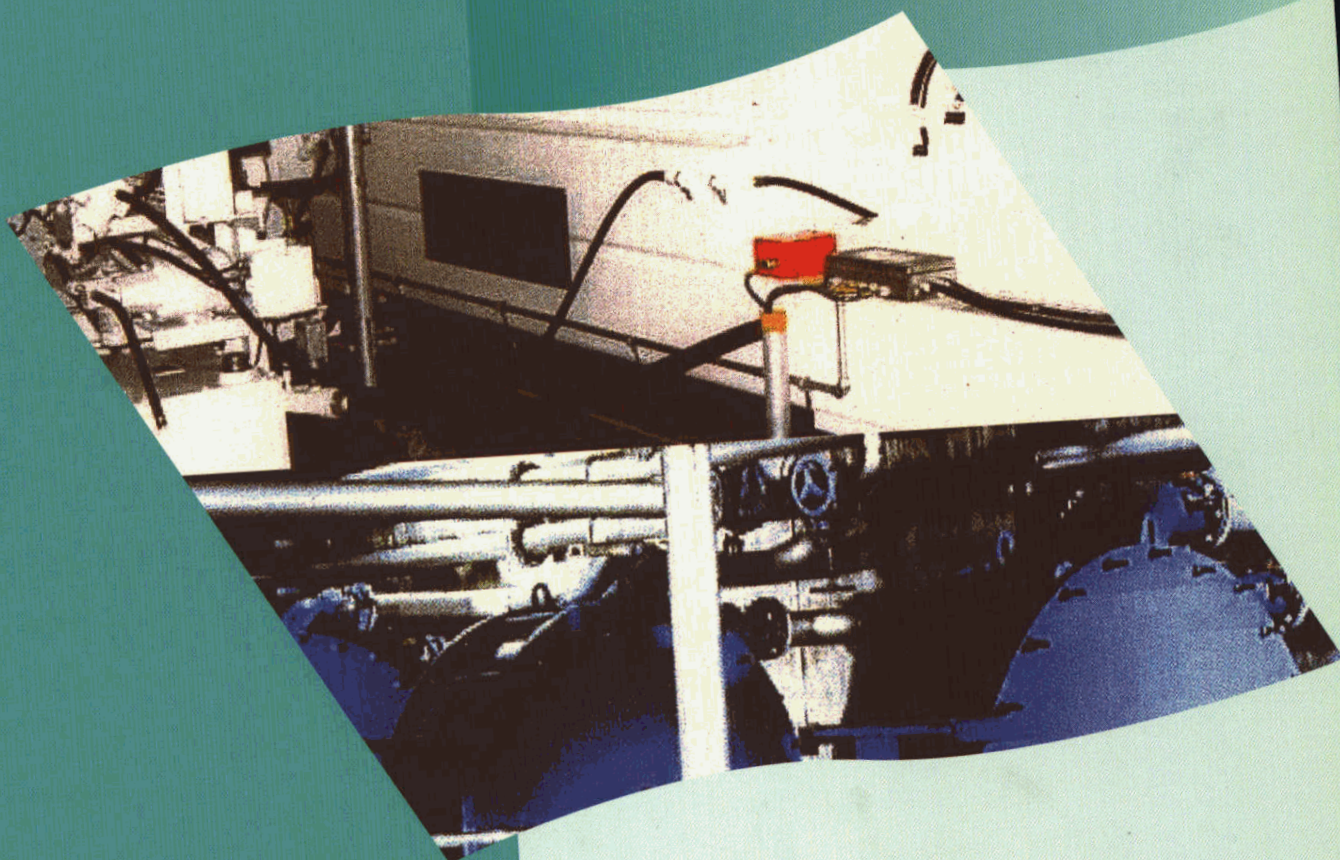


07\_Slib-PE-verwarmen

**stowa**

Richting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

**Slib- en PE-verwarmen**  
*literatuur- en praktijkonderzoek*



**2000**

**07**

**Slib- en PE-verwarmen**  
*literatuur- en praktijkonderzoek*

2000 07

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Fax 030 232 17 66  
E-mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:

*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3330 CC Zwijndrecht  
tel. 078 - 629 33 32  
fax 078 - 610 42 87  
e-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.088.x

	Ten geleide	i
	Samenvatting	ii
	Summary	v
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding en doel	1
	1.2 Leeswijzer	1
2	PROBLEEMSTELLING EN MOTIVATIE	3
	2.1 Probleemstelling	3
	2.2 Waterbinding in slib	4
3	PRAKTIJKERVARING EN LITERATUURONDERZOEK	6
	3.1 Praktijkervaring	6
	3.2 Resultaten van het literatuuronderzoek	6
4	OPZET VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK	8
	4.1 Aanpak van het onderzoek	8
	4.2 Materialen en methoden	9
	4.2.1 <i>Onderzochte slibben</i>	9
	4.2.2 <i>Monstervoorbereiding</i>	10
	4.2.3 <i>Microscopisch beeld</i>	10
	4.2.4 <i>Deeltjesgrootteverdeling</i>	11
	4.2.5 <i>Viscositeit</i>	11
	4.2.6 <i>Vet-en vetzuurbepaling</i>	12
	4.2.7 <i>Verwarmen van het slib</i>	12
	4.2.8 <i>Keuze en aanmaak van het PE</i>	13
	4.2.9 <i>Mengen van slib en PE en beoordeling van de slibvlok</i>	13
	4.2.10 <i>Mechanische ontwatering van het slib</i>	14
	4.3 Standaardisatie van de onderzoeksmethoden	15
5	RESULTATEN VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK	17
	5.1 Algemeen	17
	5.2 PE-aanmaak met en zonder verwarming van het aanmaakwater	17
	5.3 Microscopisch beeld	19
	5.4 Drogestofgehalte en asrest	20
	5.5 Deeltjesgrootteverdeling	21
	5.6 Viscositeit	21
	5.7 Vet- en vetzuurbepaling	22
	5.8 Vlokvorming en vlokstabiliteit na het toevoegen van PE	23
	5.9 Ontwaterbaarheid	23
6	EVALUATIE VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK	26
	6.1 Algemeen	26
	6.2 Onnauwkeurigheden in de analyses	26
	6.3 PE verwarmen	26
	6.4 Gegevens van de rwzi's	27
	6.5 Vlokvorming	27
	6.6 De ontwaterbaarheid van slib in relatie met de diverse parameters	28
	6.7 Voorbeeld van de kosten en baten van een praktijkinstallatie	30

7	CONCLUSIES	31
8	LITERATUUR	32

#### **Bijlagen**

1	Gegevens van de bij het onderzoeken betrokken rwzi's
2	Microscopisch beeld van de onderzochte slibben
3	Deeltjesgrootteverdeling m.b.v. laserdiffractie
4	Viscositeiten van de geteste slibben bij temperaturen van 20, 35, 50 en 70°C
5	Vlokvorming
6	Grafische weergave van de gemeten drogestofgehalten na ontwatering met een minipers
7	Relaties tussen de diverse gemeten parameters
8	Kosten-batenanalyse slibverwarming (een voorbeeld)

## Ten geleide

De exploitatiekosten van een rwzi worden voor een groot deel bepaald door de slibverwerking. Reductie van de slibverwerkingskosten kan worden bewerkstelligd door het verhogen van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en door vermindering van de benodigde hoeveelheid poly-elektrolyt (PE). Daartoe dient het contact tussen slibdeeltjes en poly-elektrolyt verbeterd te worden.

Het rapport beschrijft onderzoek waarin de verbetering van dit contact nagestreefd is door het slib, het PE en het mengsel slib/PE te verwarmen bij temperaturen tot 70 °C. De aard van de onderzochte slibben en de veranderingen in de slibben zijn daarbij vastgelegd aan de hand van een groot aantal parameters, om eventuele relevante relaties te kunnen ontdekken.

In zijn algemeenheid blijkt het verwarmen van slib *geen voor de hand liggende methode* voor het verbeteren van de ontwaterbaarheid. Verwarmen van een goed aangemaakte PE-oplossing levert geen verbetering op. Er is enige indicatie dat, wanneer vlokvorming bij hogere temperatuur beter verloopt, in de praktijk een hoger drogestofgehalte wordt verkregen na verwarmen.

Het onderzoek werd door het bestuur van de STOWA opgedragen aan DHV Water b.v. (projectteam bestaande uit ir. R.J. van der Kuij, ir. E. Koornneef en de heer G. Grevers [Analytico]). Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. P.C. Stamperius (voorzitter), ing. J.P. Kruissink, ir. P.J. Roeleveld en ir. J.R.A.G. Schepman. Aan het onderzoek is bijgedragen door de hoogheemraadschappen De Stichtse Rijnlanden en Delfland, het waterschap Vallei en Eem en het zuiveringschap Limburg. De STOWA is deze deelnemers en hun medewerkers bijzonder erkentelijk voor de inbreng bij dit onderzoek.

Utrecht, maart 2000

De directeur van de STOWA

ir. J.M.J. Leenen

## Samenvatting

De exploitatiekosten van een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) worden voor een groot deel bepaald door de slibverwerking. Naast de toegenomen eindverwerkings- en/of stortkosten zijn de ontwateringskosten ook gestegen als gevolg van het afgenomen drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de toegenomen hoeveelheid poly-elektrolyt (PE). Reductie van de slibverwerkingskosten kan worden bewerkstelligd door het verbeteren van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en een vermindering van de benodigde hoeveelheid PE.

Eén van de mogelijke manieren om dit te realiseren is het verbeteren van het contact tussen slibdeeltjes en vlokulpmiddel door het verwarmen van de slibstroom en/of het verwarmen van de PE-oplossing. De mogelijk betere ontwaterbaarheid en de hiermee gepaard gaande vermindering van de slibverwerkingskosten zullen echter steeds moeten worden afgewogen tegen de eventuele extra kosten voor het verwarmen van slib en het bestrijden van de geurproblematiek.

In de voorliggende rapportage is het effect van slib- en/of PE-verwarmen op de ontwaterbaarheid van slib beschreven. In eerste instantie is een literatuurstudie uitgevoerd om te achterhalen of het effect van de temperatuur op de ontwaterbaarheid van slib al ergens was gedocumenteerd. Vervolgens is een laboratoriumonderzoek uitgevoerd met 12 slibben, zowel aëroob als anaëroob gestabiliseerd. Bij deze slibben is het effect op de ontwaterbaarheid onderzocht na een temperatuurverhoging tot 35, 50 en 70 °C ten opzichte van slib van 20°C.

Van ieder slib is een groot aantal parameters bepaald om een eventuele relatie te kunnen vaststellen tussen het haalbare drogestofgehalte en de gemeten parameter en tussen de parameters onderling. De volgende parameters zijn bepaald:

- microscopisch beeld;
- drogestof- en organische stofgehalte;
- de deeltjesgrootteverdeling;
- de viscositeit bij de verschillende temperaturen;
- het vetgehalte van het slib en het aandeel vluchtige vetzuren;
- vlokvorming en vlokstabiliteit na toevoeging van PE;
- persproeven met de meest ideale combinatie van PE en slib bij 20°C;
- persproeven bij temperaturen van 35, 50 en 70°C bij gelijke PE-doseringen als bij 20°C;
- het zwevendestofgehalte van het filtraat.

Verder is van de geteste slibben de behandelingswijze op de rwzi vastgelegd en is getracht de samenstelling van het behandelde afvalwater te achterhalen. Hierbij is specifiek gekeken naar:

- de hydraulische verblijftijd in het rioelstelsel;
- de hydraulische verblijftijd in de rwzi;
- de aërobe sibleeftijd;
- de anaërobe sibleeftijd;
- het chemicaliëngebruik in de water- of sliblijn, voordat het slib wordt ontwaterd.

In tabel i is een overzicht gepresenteerd van de behaalde drogestofgehalten na verwarming van het slib (deze waarden zijn grafisch weergegeven in bijlage 6). De I en II staan voor de twee perioden, waarin gemeten is. Aan de hand van de uitgevoerde studie is duidelijk geworden dat het effect van verwarmen niet eenduidig is voor ieder slib. Het effect dient voor iedere rwzi apart te worden vastgesteld, omdat slechts bij een beperkt aantal slibben het verwarmen een positief effect heeft.

Tabel i

Resultaten van de ontwateringsexperimenten:

drogestofgehalte (%) van het met een minipers ontwaterde slib bij verschillende temperaturen

Anaëroob gestabiliseerd slib					
RWZI ↓	temperatuur →	20°C	35°C	50°C	70°C
Amersfoort I		19,2	21,8	25,7	23,9
Amersfoort II		23,6	23,0	22,3	17,6
De Bilt II		14,3	15,0	15,8	14,5
De Groote Lucht II		31,5	30,7	34,2	34,5
Ede primair II		18,7	21,3	19,9	
Ede secundair II		14,0	16,1	-	-
Houtrust I + II		37,4	37,5	37,4	34,8
Zeist I		17,7	17,1	16,8	16,4
Zeist II		17,4	18,4	19,6	16,0

Aëroob gestabiliseerd slib					
RWZI ↓	temperatuur →	20°C	35°C	50°C	70°C
Bennekom I		19,4	19,1	21,1	20,7
Bennekom II		16,8	17,8	16,9	16,7
Maastricht I		21,6	23,6	24,4	26,7
Maastricht II		20,5	21,6	21,5	18,3
Wijk bij Duurstede II		13,5	13,9	15,7	15,3
Woudenberg I		20,1	21,6	20,4	20,4
Woudenberg II		17,1	16,7	16,1	16,9
Woudenberg ingedikt I		20,2	19,8	20,6	21,7
Woudenberg ingedikt II		16,4	19,3	19,8	21,7

Op grond van het uitgevoerde onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er is vrijwel geen (goed gedocumenteerde) ervaring met het verwarmen van slib en/of PE beschikbaar.
- Het verwarmen van slib is geen algemeen toepasbare methode voor het verbeteren van de ontwaterbaarheid van slib. Bij sommige slibben levert het verwarmen wel een significante verbetering op in ontwateringsresultaten, maar bij andere slibben wordt geen effect waargenomen of zelfs een verslechtering.
- Een indicatie van de kosten laat zien dat voor een rwzi van 150.000 i.e. een verbetering van circa 3 % in drogestofgehalte nodig is om een slibverwarmingsinstallatie aan te schaffen en kostendekkend te bedrijven.
- Bij bestudering van de gemeten parameters in relatie tot de ontwaterbaarheid is geen duidelijke relatie gevonden, waarmee de ontwaterbaarheid kan worden voorspeld. Slechts voor anaërobe slibsoorten geldt dat een hoge asrest leidt tot een hoog drogestofgehalte van het ontwaterde slib.
- Bij een goed aangemaakte PE-oplossing levert verwarming van het aanmaakwater geen verbetering op.
- Het vergelijken van de viscositeit van een PE-oplossing van een praktijkinstallatie met een oplossing verkregen via een gestandaardiseerde PE-aanmaakmethode is een goede methode om de werking van PE-aanmaakapparatuur te testen.
- Het effect van slibverwarmen kan worden beoordeeld aan de hand van de vlokvorming (=snelheid van vorming, vloggrootte en vlogstabiliteit) bij verschillende temperaturen. Indien de vlokvorming bij temperatuurverhogingen beter verloopt dan bij lagere tempe-

- raturen, kan worden aangenomen dat in de praktijk ook een hoger drogestofgehalte wordt bereikt na het verwarmen. Andersom geldt dit niet.
- Het goed bijhouden van ontwateringsresultaten in relatie tot de andere gegevens van de rwzi kan leiden tot een beter inzicht in de optimalisatiemogelijkheden van de slibverwerking. Veel details van metingen gaan vooralsnog verloren, zodat het achteraf moeilijk is vast te stellen waardoor bepaalde effecten zijn veroorzaakt.



## Summary

The operating costs of a waste-water treatment plant are to a large extent determined by the sludge processing. Not only have the final processing costs and/or disposal costs increased, the dewatering costs have also increased as a consequence of the reduced solids content of the dewatered sludge and the increased quantity of polyelectrolyte (PE). Reduction of the sludge processing costs can be achieved by improvement of the solids content of the dewatered sludge and reduction of the required quantity of PE.

One of the possible ways of realizing this is to improve the contact between sludge particles and coagulant by heating the sludge stream and/or heating the PE solution. The possible improved dewaterability and the associated reduction of the sludge processing costs will, however, always have to be balanced against the possible additional costs of heating the sludge and combating any odour problems occurring.

In the present report, the effect of heating sludge and/or PE on the dewaterability of sludge is described. First a literature study was performed to ascertain whether the effect of the temperature on the dewaterability of the sludge had already been documented. Then a laboratory study was performed with 12 sludges, stabilized both aerobically and anaerobically. In these sludges, the effect on the dewaterability was studied after raising of the temperature to 35, 50 and 70°C as compared with that at 20°C.

For each sludge, a large number of parameters was determined so that any relationship between the achievable solids content and the measured parameters, and between the parameters themselves, might be ascertained. The following parameters were determined:

- Microscopic image;
- Solids and organic-matter content;
- Particle size distribution;
- Viscosity at various temperatures;
- Fat content of the sludge and proportion of volatile fatty acids;
- Flocculation and flake stability after addition of PE;
- Compaction tests with the most ideal combination of PE and sludge at 20°C;
- Compaction tests at temperatures of 35, 50 and 70°C for same PE dosage as at 20°C;
- Suspended-matter content of the filtrate.

Furthermore, the treatment method used in the waste-water treatment plant for the tested sludges was set down and efforts were made to ascertain the composition of the treated waste water. In particular the following parameters were examined:

- Hydraulic retention time in the sewer system;
- Hydraulic retention time in the waste-water treatment system;
- Aerobic sludge age;
- Anaerobic sludge age;
- Chemical use in the water or sludge line before the sludge is dewatered.

Table ii gives an overview of the solids contents achieved after heating of the sludge (these values are represented graphically in Appendix 6). The I and II stand for two periods in which the measurements were taken. On the basis of the study performed, it became clear that the effect of heating is not the same for each sludge. The effect will have to be ascertained separately for each waste-water treatment plant, since heating has a positive effect only for a limited number of sludges.

Table ii

## Results of the dewatering experiments:

Solids content (%) of the sludge dewatered with a minipress at various temperatures

Anaerobically stabilized sludge					
WWTP ↓	Temperature →	20°C	35°C	50°C	70°C
Amersfoort I		19.2	21.8	25.7	23.9
Amersfoort II		23.6	23.0	22.3	17.6
De Bilt II		14.3	15.0	15.8	14.5
De Groote Lucht II		31.5	30.7	34.2	34.5
Ede primary II		18.7	21.3	19.9	-
Ede secondary II		14.0	16.1	-	-
Houtrust I + II		37.4	37.5	37.4	34.8
Zeist I		17.7	17.1	16.8	16.4
Zeist II		17.4	18.4	19.6	16.0

Aerobically stabilized sludge					
WWTP ↓	Temperature →	20°C	35°C	50°C	70°C
Bennekom I		19.4	19.1	21.1	20.7
Bennekom II		16.8	17.8	16.9	16.7
Maastricht I		21.6	23.6	24.4	26.7
Maastricht II		20.5	21.6	21.5	18.3
Wijk bij Duurstede II		13.5	13.9	15.7	15.3
Woudenberg I		20.1	21.6	20.4	20.4
Woudenberg II		17.1	16.7	16.1	16.9
Woudenberg thickened I		20.2	19.8	20.6	21.7
Woudenberg thickened II		16.4	19.3	19.8	21.7

The following can be concluded on the basis of the research performed:

- There is virtually no information available on experience gained with heating of sludge and/or PE.
- Heating of sludges is not a general applicable method to improve the dewaterability of sludges. With some sludges, heating of the sludge yields a significant improvement in the dewatering results, whilst with other sludges, heating has no perceivable effect, or an adverse effect.
- An estimation of the costs shows that an improvement of approx. 3 % in the solids content is required for break-even point to be reached in respect of purchase and operation of a 150,000 p.e. waste-water treatment installation.
- A clear relationship between the measured parameters and the dewaterability, with which the dewaterability can be predicted, was not found. Only in the case of anaerobic sludge does a large ash residue lead to a high solids content of the dewatered sludge.
- Heating of the PE dilution water does not improve the efficiency of the PE solution in the case that the solution is prepared properly .
- Measurement of the viscosity of a PE solution from a practical installation in relation to that prepared by a standardized PE preparation method is a good way to test the function of the PE preparation equipment.
- The effect of heating on sludge can be tested by examination of flocculation (floc formation speed, size of the floc and floc stability) at different temperatures. If the flocculation at a higher temperature is better than that at lower temperatures, then it can be assumed

that in practice too, a higher solids content will be achieved after heating. The reverse principle does not apply.

- Recording of the dewatering results in relation to the other data of the waste-water treatment plant can provide a better insight into the possibilities for optimization of the sludge treatment. Many details of measurements are now lost, which makes it difficult afterwards to ascertain the causes of given effects.

# 1 INLEIDING

## 1.1 Aanleiding en doel

De exploitatiekosten van een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) worden voor een groot deel bepaald door de slibverwerking. Naast de toegenomen eindverwerkings- en/of stortkosten zijn de ontwateringskosten de laatste jaren ook flink gestegen als gevolg van het afgenomen drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de toegenomen hoeveelheid vlokhelpmiddel. De toegenomen eindverwerkings- en/of stortkosten, die in tien jaar tijd ongeveer zijn verdubbeld en nu tussen de f 100,- en f 200,- per ton slib bedragen, zijn niet direct door de schappen te beïnvloeden. Reductie van de slibverwerkingskosten door de schappen kan wel worden bewerkstelligd door het verbeteren van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib en een vermindering van de benodigde hoeveelheid PE. Hiervoor dient het ontwateringsproces te worden geoptimaliseerd.

Eén van de mogelijke procesoptimalisaties bestaat uit het verbeteren van het contact tussen slibdeeltjes en vlokhelpmiddel. Om dit te realiseren dient de activiteit van het gebruikte vlokhelpmiddel, een poly-elektrolyt (PE), gemaximaliseerd te zijn. Het verbeteren van de trefkans tussen slib- en PE-deeltjes kan worden gerealiseerd door het verwarmen van de slibstroom en/of het verwarmen van de PE-oplossing. De mogelijk betere ontwaterbaarheid resulteert in een afname van de slibverwerkingskosten en kan ontstane capaciteitsproblemen beperken. De verminderde slibverwerkingskosten zullen echter steeds moeten worden afgewogen tegen de eventuele extra kosten voor het verwarmen van slib en het bestrijden van de geurproblematiek.

In de onderhavige studie wordt het effect van slib- en/of PE-verwarmen op de ontwaterbaarheid van slib onderzocht. In eerste instantie zijn een literatuurstudie en een laboratoriumonderzoek met een zestal slibben uitgevoerd. De literatuurstudie was bedoeld om te achterhalen of het effect van de temperatuur op de ontwaterbaarheid van slib al ergens was gedocumenteerd. Tijdens het laboratoriumonderzoek is, bij zowel aëroob als anaëroob gestabiliseerd slib, het effect op de ontwaterbaarheid onderzocht van een kortstondige temperatuurverhoging tot 35, 50 en 70 °C ten opzichte van slib van 20°C. Hierbij is gekeken naar de samenstelling van het slib, de vorming van de slibvlok en het drogestofgehalte van de filterkoek. Dit onderzoek is uitgevoerd in de zomer van 1998.

Aangezien de resultaten uit het eerste laboratoriumonderzoek niet eenduidig konden worden geïnterpreteerd en/of verklaard aan de hand van de beschikbare (meet)gegevens, is een vervolgonderzoek uitgevoerd. Hierbij zijn zes extra slibben in behandeling genomen en zijn extra metingen verricht aan alle 12 de slibben. Ook is de behandelingswijze van het afvalwater en slib op de rwzi's meegenomen in de beoordeling van de ontwaterbaarheid. Dit onderzoek is uitgevoerd in de eerste helft van 1999.

## 1.2 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 zijn de achtergronden bij het onderzoek beschreven en is ingegaan op de theorie van de waterbinding;
- In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van het literatuuronderzoek samengevat;
- In hoofdstuk 4 is de opzet van het laboratoriumonderzoek beschreven en zijn de geanalyseerde parameters toegelicht;
- In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van het laboratoriumonderzoek weergegeven;

- In hoofdstuk 6 zijn de onderzoeksresultaten geëvalueerd en is een voorbeeld uitgewerkt voor het implementeren van slibverwarmen in de praktijk;
- In hoofdstuk 7 zijn de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek weergegeven.

### 2.1 Probleemstelling

Het meeste slib dat ontstaat bij de zuivering van afvalwater voldoet niet aan het Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM), zodat het slib na één of meerdere verwerkingsstappen uiteindelijk op de stortplaats terecht komt. Doordat de verwerkings- en/of stortkosten anno 1999 f 100,- tot f 200,- per ton bedragen, is een vergaande volumereductie van het te storten slib noodzakelijk om de stortkosten te minimaliseren. De belangrijkste stap in het reduceren van het slibvolume is het ontwateren van slib. Om slib te ontwateren wordt een vlokhulpmiddel toegevoegd aan slib, zodat de slibdeeltjes samenklonteren [12]. Vervolgens wordt met een ontwateringsinstallatie (centrifuge, filterpers of zeefbandpers) getracht zoveel mogelijk water af te scheiden. Dit afgescheiden water (centrifugaat of filtraat) gaat terug naar de waterlijn van de rwzi. De slibverwerkingskosten zullen de komende jaren waarschijnlijk nog verder stijgen als gevolg van het verbod op het storten van organische stoffen.

In het afgelopen decennium zijn veel rwzi's aangepast om te kunnen voldoen aan de lozingseisen voor fosfaat en stikstof. Tevens is hierbij de slibontwateringsinstallatie gemoderniseerd. De basis voor deze modernisering van de slibontwatering is gelegd door de positieve resultaten die zijn behaald met vergelijkende slibontwateringsonderzoeken op diverse locaties in Nederland in de eerste helft van de negentiger jaren. Met het toen beschikbare slib (vòòr aanpassing van de rwzi) bleek het veelal mogelijk te zijn een drogestofgehalte te bereiken van 25-30 % bij PE-doseringen van 4-8 g actief PE per kg drogestof. De hoeveelheid deeltjes, die met het centrifugaat of filtraat terug naar de rwzi ging, bleef beperkt tot 1-3 % van de invoer (drogestofafscheidingsrendement > 97 %).

Anno 1999 blijkt het behalen van een goed ontwateringsresultaat, zijnde een drogestofgehalte hoger dan 25 %, een PE-verbruik lager dan 8 g/kg ds en een drogestofafscheidingsrendement hoger dan 97 %, steeds moeilijker te zijn. Er zijn locaties waar een aëroob gestabiliseerd slib met 15 g PE/kg ds niet verder dan 21 % is te ontwateren.

Een duidelijke oorzaak voor het verslechteren van de slibontwaterbaarheid is niet zonder meer te geven. Dit is onder andere het gevolg van het feit dat nog weinig is gedocumenteerd over de slibeigenschappen in relatie tot de water- en slibbehandelingsmethoden.

Enkele mogelijke oorzaken voor de verandering van de slibsamenstelling zijn:

- het toepassen van fijnere roosters voor het verwijderen van roostergoed en het laten vervallen van voorbezinktanks, waardoor er geen goed ontwaterbaar primair slib meer aanwezig is;
- slechtere slibkwaliteit door verlaging van de belasting van de rwzi's en de vergaande verwijdering van fosfaat en stikstof uit het afvalwater;
- een betere beheersing van de processen in de waterlijn, waardoor er minder 'fines' uitspoelen met het effluent en dus in de sliblijn terecht komen.

In de praktijk is het laatste aspect al meerdere malen geconstateerd. Zowel voor de rwzi Utrecht als voor de rwzi Almere bleken de goede ontwateringsresultaten van het vergelijkend slibontwateringsonderzoek niet meer te evenaren in de praktijkinstallatie. Bij nader onderzoek bleek dat in de aangepaste/vernieuwde rwzi's minder 'fines' met het effluent wegspoelden.

Verder wordt in de praktijk de slibverwerking niet onder optimale condities bedreven. Dit is onder andere het gevolg van het feit dat er nog onvoldoende inzicht is in de processen die de ontwaterbaarheid beïnvloeden. Ook kunnen veranderingen in de slibkwaliteit onvoldoende worden gecompenseerd door automatische regelingen in de sliblijn, omdat er nog geen goed werkende regelkring beschikbaar is.

Teneinde de slibverwerkingskosten te kunnen minimaliseren dient het ontwateringsresultaat te worden verbeterd door het reduceren van het PE-verbruik en/of het verhogen van het drogestofgehalte.

De eerste stap bij het ontwateren van slib is het flocculeren van kleine slibdeeltjes tot grotere aggregaten, die zijn af te scheiden met slibontwateringsapparatuur [12]. Hiervoor is een intensief contact nodig tussen slib- en PE-deeltjes. Verbeteren van het contact tussen slib- en PE-deeltjes kan worden gerealiseerd door:

- te zorgen voor een maximale strekking van de PE-deeltjes (= goed aanmaken van PE-oplossing);
- het goed mengen van het slib en de PE-oplossing.  
Dit aspect verdient met name aandacht bij het ontwerp van de ontwateringsinstallatie en is onder andere afhankelijk van het te ontwateren slib, het type ontwateringsinstallatie en het type PE;
- het verwarmen van het slib en/of de PE-oplossing.  
Afhankelijk van de temperatuur kunnen hier twee zaken mee worden bereikt, te weten:
  - het sneller bewegen van de deeltjes, zodat de kans toeneemt dat deeltjes elkaar treffen;
  - het deformeren van de slibvlokken, zodat het contactoppervlak toeneemt en ingesloten water vrijkomt.

Bij mesofiele temperaturen (tot circa 35°C) zal vooral het eerste aspect een belangrijke bijdrage leveren aan de verbetering van het contact tussen PE en slibdeeltjes. Bij hogere temperaturen (>50° C) is het tweede aspect van belang.

## 2.2 Waterbinding in slib

Slib is een mengsel van vaste deeltjes en water. Het aanwezige water kan echter op verschillende manieren in het slib aanwezig zijn, namelijk als:

- vrij water;
- gebonden/ingesloten water (=capillair en geadsorbeerd water);
- intracellulair water.

Het vrije water heeft geen of een zeer geringe binding met de vaste stof en vult vooral de ruimte tussen de slibvlokken. Ook het water dat in de holtes van de slibvlok aanwezig is behoort hiertoe. Een slibvlok is hierbij gedefinieerd als een skelet van (slib)deeltjes gevormd door aggregatie van anorganische en organische deeltjes.

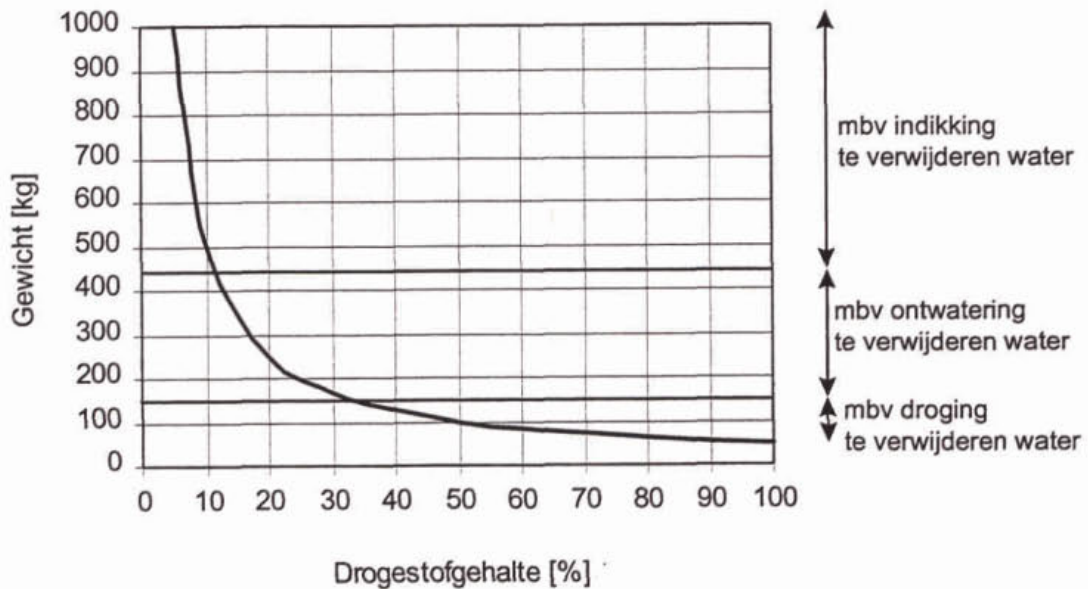
Gebonden water is het water dat een hydratatielaag rond het skelet van deeltjes vormt. Deze hydratatielaag wordt gevormd door sorptie aan specifieke plaatsen, in poriën en capillairen. Een derde vorm van water in slib is het intracellulaire water. Dit water komt vrij als de cellen open worden gebroken. In afbeelding 1 is grafisch de gewichtsreductie versus het drogestofgehalte weergegeven van één kubieke meter water met een drogestofgehalte van 5 %. In dit voorbeeld heeft het slib, na verwijdering van water door indikking, een drogestofgehalte van circa 12 %. Na verwijdering van water in ontwateringsapparatuur is het drogestofgehalte 35 %. In het handboek slibontwatering (STOWA 98-38) [12] is de waterbinding in slibvlokken meer in detail beschreven.

Bij ontwatering van slib kan in principe al het vrije water verwijderd worden. Het uiteindelijke drogestofgehalte bedraagt dan 66 % [12]. Bij thermische behandeling van slib neemt de hoeveelheid gebonden water af door deformatie van de slibvlok. Bij hogere temperaturen worden celmembranen vernietigd, waardoor intracellulair water vrijkomt. Bij een kortdurende verwarming van het slib tot ongeveer 70°C zal met name de hoeveelheid ingesloten vrij water afne-

men. Bij hoogthermische processen (vanaf circa 150°C, zie ook § 3.3) speelt ook het vrijkomen van gebonden en intracellulair water een rol.

De rol van PE staat ook beschreven in het handboek slibontwatering [12]. In het kort komt het neer op het feit dat de oppervlaktelading van een PE-deeltje een (waterstof)brug vormt met de oppervlaktelading van de slibdeeltjes. De structuur van de slibvlokken wordt hierdoor veranderd, zodat het aandeel ingesloten water groter wordt.

**Afbeelding 1**  
Gewichtsreductie versus drogestofgehalte bij verwijdering van water uit het slib (1 m<sup>3</sup> à 5 % DS)





### 3.1 Praktijkervaring

In 1991 is bij een vergelijkend slibontwateringsonderzoek voor de provincie Utrecht op de rwzi Nieuwegein de eerste ervaring opgedaan met het toepassen van een verwarmde PE-oplossing. Eén van de bij het onderzoek betrokken centrifuges bleek te zijn uitgerust met een PE-aanmaakinstallatie waarvan de menger onvoldoende mengenergie leverde, zodat er nauwelijks een homogene PE-oplossing kon worden aangemaakt. Door bij de aanmaak over te stappen van drinkwater van ca. 10°C naar verwarmd water van ca. 30°C bleek het, onder verder gelijke omstandigheden, wel mogelijk te zijn een homogene PE-oplossing aan te maken. De werking van de niet goed functionerende PE-aanmaakinstallatie kon hiermee aanzienlijk worden verbeterd (zo'n 15% afname van de PE-dosering). Aangezien destijds de gebruikte PE-hoeveelheden beperkt waren wogen de mogelijke besparingen niet op tegen de benodigde investeringen voor de aanvoer van warm water naar de PE-installatie.

Met het ontwateren van warm slib (tot circa 35°C) zijn bij diverse water- en zuiveringsschappen positieve ervaringen bekend. Op diverse rwzi's is namelijk een verbeterd resultaat bereikt bij het ontwateren van slib direct uit de gistingstank(s). Dit komt in de praktijk onder andere voor indien de buffer- of na-indikkingstank(s) tijdelijk buiten gebruik zijn. Dit is veelal een bevinding van de bedrijfsvoerders en niet/nauwelijks onderbouwd met een gefundeerd onderzoek. Het direct uit de gistingstanks ontwateren wordt overigens in de praktijk nog maar zelden toegepast, omdat daarbij de slibtoevoer ten behoeve van het ontwateringsproces moeilijker continu is te sturen. Dit heeft onder andere te maken met het gevaar van het te ver leegtrekken van de gistingstank, zodat de kans dat er lucht (zuurstof) in de gistingstanks terecht komt wordt vergroot.

Op de rwzi Kralingseveer zijn in de zomer van 1994 enkele inleidende testen uitgevoerd met het verhogen van de temperatuur van het slib voorafgaand aan een ontwatering met een centrifuge. Met behulp van een warmtewisselaar kon de temperatuur van het slib tot 55°C worden verhoogd. Dit leverde 0,5-1,5 % extra droge stof op ten opzichte van de testen zonder slibverwarming. De andere parameters, zoals de PE-aanmaak, het slibdebiet en de centrifuge-instellingen, waren tijdens de testen met en zonder slibverwarming identiek.

### 3.2 Resultaten van het literatuuronderzoek

Teneinde de gedocumenteerde ervaringen te inventariseren is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierbij is met name gelet op de slibontwateringseigenschappen na het verhogen van de temperatuur van het te ontwateren slib en/of vlokhulpmiddel. Met behulp van o.a. Aqualine is gezocht op de volgende trefwoorden:

- sludge;
- sludge treatment;
- dewatering;
- dehydrating;
- thickening;
- polyelectrolyte(s);
- (high) temperature(s).

Dit heeft geresulteerd in 30 literatuurverwijzingen waarvan er 11 bruikbaar bleken te zijn.

In een publicatie van een leverancier van warmtewisselaars [1] wordt melding gemaakt van experimenten uitgevoerd in de Verenigde Staten waarbij het slib voorafgaand aan de ontwatering

ring wordt verwarmd. Bij verhoging van de temperatuur van 30°C naar 60°C treedt een verhoging van het drogestofgehalte op van 4% bij gebruik van een zeebandpers. Bij ontwatering van secundair slib met een centrifuge treedt een verhoging van het drogestofgehalte op met 6%. De betere ontwatering bij temperaturen hoger dan 55°C wordt toegeschreven aan de sterk gereduceerde viscositeit en aan het oplossen van vetten en oliën. Bij navraag bij de leverancier is naar voren gekomen dat de betere resultaten niet zonder meer kunnen worden vertaald naar de Nederlandse situatie, omdat de slibontwatering in de Verenigde Staten in veel gevallen minder is geoptimaliseerd dan in Nederland.

In Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland is op praktijkschaal veel ervaring opgedaan met het verwarmen van slib tot 70°C of hoger met als doel het (pre)pasteuriseren van het slib [6]. Uit contact met medewerkers van water- en zuiveringsschappen en met leveranciers van ontwateringsapparatuur is vernomen dat door het verwarmen de ontwaterbaarheid van het slib verbetert. Evenals in de literatuur zijn zowel bij medewerkers van zuiveringen als bij leveranciers van apparatuur geen duidelijke gegevens van het verbeterde ontwateringseffect of de centraat- of filtraatvervuiling beschreven.

Er is veel gedetailleerde informatie beschikbaar over thermische behandeling van slib bij een combinatie van hogere temperaturen en drukken. Bekende processen zijn bijvoorbeeld het Zimpro-, Zimmerman-, Porteus-, en Vertechproces. Deze processen worden bedreven bij temperaturen van ongeveer 150 tot 260°C, drukken van circa 10 tot 120 bar en een verblijftijd van 15 tot 40 minuten. Eventueel wordt lucht of zuurstof in het proces gebracht. Bij deze processen vindt naast een temperatuurstijging ook een omzetting van organische stof plaats, waardoor de verhouding anorganisch/organisch materiaal van het slib verandert. Een hoger anorganisch gehalte in het slib leidt over het algemeen tot een betere ontwaterbaarheid. Bij de processen waarbij hoge temperaturen en drukken worden gebruikt, worden de slibvlokken en organismen gedeformeerd en komt intracellulair materiaal vrij. Het bij de ontwatering vrijkomende filtraat of centraat van dit slib heeft een hoge verontreinigingsgraad. Verder worden deze processen over het algemeen gekenmerkt door geurproblemen, een hoge arbeidsintensiteit en relatief hoge kosten [3, 4, 8, 9, 10, 13].

Door Katsiris en Kouzeli-Katziri [7] wordt een experiment gerapporteerd waarbij slib verwarmd is tot 130°C gedurende 30 tot 60 minuten. Hierbij worden eiwitten, koolwaterstoffen en vetten gehydrolyseerd en worden de colloïdale eigenschappen vernietigd. Hierdoor komt het gebonden water vrij. Zowel bij verwarming van actief slib als uitgegist slib wordt een afname van het gebonden water van ongeveer 30% gerapporteerd.

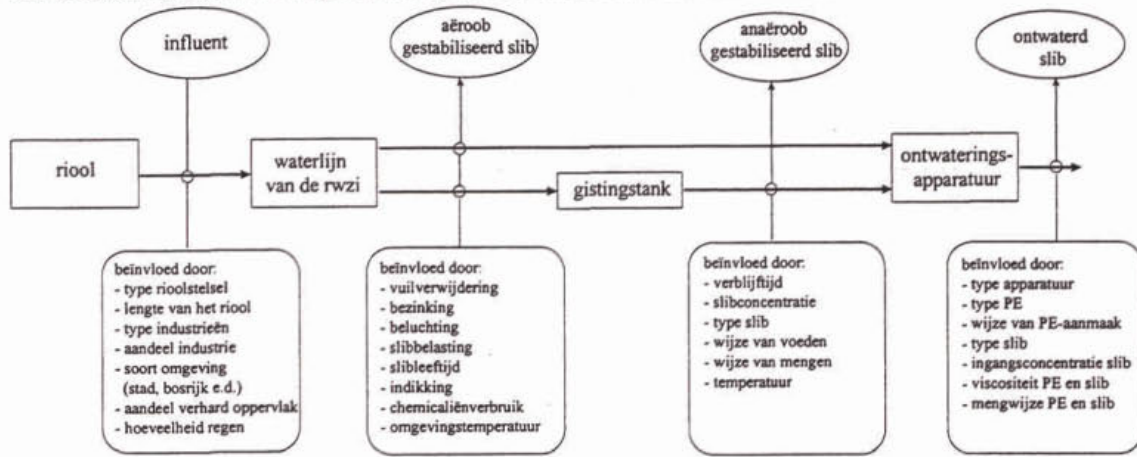
Reimann [11] meldt dat een reductie van de hoeveelheid benodigd vlokhelpmiddel mogelijk is door thermische structuurverandering van het slib. Verder wordt als voordeel van thermische conditionering de verbeterde ontwaterbaarheid vermeld. Als nadeel wordt ook hier het vrijkomen van organisch opgelost materiaal genoemd. Uit de experimenten uitgevoerd bij 30 (onverwarmd), 120 en 170°C blijkt dat bij thermisch behandeld slib relatief meer organisch vlokmiddel nodig is om dezelfde afscheidingsgraad (CZV en zwevende stof) in het filtraat te realiseren als bij onbehandeld slib. De effecten die optreden bij deze processen zijn echter niet representatief voor de effecten die optreden bij kortstondige slibverwarming tot 35, 50 of 70°C.

Over het effect van een kortstondige temperatuurbehandeling tot ca. 70°C is dus geen uitgebreide literatuur beschikbaar. In principe bestaan de veranderingen in het slib uit de stolling van eiwitten bij 45 tot 50°C en uit de splitsing van koolwaterstoffen en het oplossen van vetten bij 65 tot 75°C [2].

## 4.1 Aanpak van het onderzoek

Zowel uit de praktijk als uit de theorie is bekend dat de ontwaterbaarheid van slib door veel parameters wordt beïnvloed. Dit is schematisch weergegeven in afbeelding 2. Door al deze parameters wordt het uiteindelijk te ontwateren slib gevormd. Door één van de parameters te variëren, namelijk de temperatuur van het slib, is geprobeerd de ontwaterbaarheid van slib te veranderen.

Afbeelding 2  
Schematisch overzicht van de parameters, die de ontwaterbaarheid beïnvloeden



Om het effect van slib- en/of PE-verwarmen op het ontwateringsresultaat of het PE-verbruik te onderzoeken is een laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd in twee delen. In eerste instantie is een onderzoek uitgevoerd met zes slibben op een zestal parameters (drogestof, organische stof, microscopisch beeld, viscositeit, vervuilingsgraad van het filtraat en soort PE) om vast te stellen of de mogelijke verbetering van de ontwaterbaarheid op grond van de gemeten parameters te verklaren zou zijn. Doordat de resultaten van de eerste testperiode niet verklaard konden worden aan de hand van de tot dan toe verzamelde gegevens is een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Hiervoor zijn zes extra slibben in het onderzoek betrokken en is het aantal te onderzoeken parameters uitgebreid. In de voorliggende rapportage zijn de opzet, de beschrijving van de gebruikte methoden en de resultaten (zie hoofdstuk 5) van de beide onderzoeken gecombineerd weergegeven.

Bij iedere slibsoort is gestreefd de metingen zoveel mogelijk op één dag uit te voeren. Daar waar dit niet mogelijk bleek te zijn, is het slib bewaard tot de volgende dag, waarbij anaëroob slib in een gesloten vat is bewaard en aëroob slib in een vat met beluchtingselement. Ook zijn de volgende dag herhalingsmetingen uitgevoerd om te verifiëren of het slib nog dezelfde eigenschappen als op de voorgaande dag had.

Per slibsoort is het volgende bepaald:

- microscopisch beeld;
- drogestof- en organische stofgehalte;
- de deeltjesgrootteverdeling;
- de viscositeit bij de verschillende temperaturen;
- het vetgehalte van het slib en het aandeel vluchtige vetzuren;
- vlokvorming en vlokstabiliteit na toevoeging van PE;

- persproeven met de meest ideale combinatie van PE en slib bij 20°C;
- persproeven bij temperaturen van 35, 50 en 70°C bij gelijke PE-doseringen als bij 20°C;
- het zwevendestofgehalte van het filtraat.

Verder is van de geteste slibben de behandelingswijze op de rwzi vastgelegd en is getracht de samenstelling van het behandelde afvalwater te achterhalen. Hierbij is specifiek gekeken naar:

- de hydraulische verblijftijd in het rioolstelsel;
- de hydraulische verblijftijd in de rwzi;
- de aërobe sibleeftijd;
- de anaërobe sibleeftijd;
- het chemicaliëngebruik in de water- of sliblijn, voordat het slib wordt ontwaterd.

Aangezien de aanmaak van PE en de menging van PE met slib zeer gevoelig zijn voor de gebruikte methode is voorafgaand aan de eigenlijke testen, eerst onderzoek verricht om te komen tot een standaard aanmaak- en mengmethode (zie § 4.3 en § 5.2).

Het testen van de ontwaterbaarheid van het slib is eerst bij 20°C uitgevoerd m.b.v. een minipers (zie § 4.2.10). Deze meting gold als referentiemeting. Na de referentiemeting is een deel van het slib verwarmd tot de gewenste temperatuur van 35, 50 of 70°C. Bij iedere temperatuur is vervolgens de ontwateringsgraad vastgesteld op dezelfde wijze als bij 20°C. Alle metingen zijn minimaal in duplo uitgevoerd. Indien het resultaat van de meting twijfelachtig was zijn extra metingen verricht.

## 4.2 Materialen en methoden

### 4.2.1 Onderzochte slibben

In eerste instantie is uitgegaan van zes verschillende slibben, zowel anaëroob als aëroob gestabiliseerd. De keuze van deze zes geteste slibben is gemaakt op basis van het feit dat de slibben al vaker op labschaal zijn getest, zodat een vergelijking met de resultaten uit het verleden mogelijk was. Later zijn hier extra slibben aan toegevoegd ter verificatie van de resultaten. Bij de keuze van de tweede serie slibben is gekozen voor slibben, waarvan bepaalde eigenschappen overeenstemden met de al eerder geteste slibben (o.a. de slibbelasting en de aërobe en anaërobe sibleeftijd). In tabel 1 zijn alle onderzochte slibben weergegeven in alfabetische volgorde van de rwzi's. Tevens zijn enkele specifieke kenmerken van de rwzi's genoemd. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen met meer gegevens van de rwzi's en de geteste slibben, als gemiddelde waarden over 1997 (of 1998 indien beschikbaar). Bij sommige van de in tabel 1 genoemde rwzi's staan meerdere slibsoorten genoemd. Zo zijn van de rwzi's Amersfoort, Houtrust en Zeist ook testen uitgevoerd met het mengsel van primair en secundair slib dat in de gistingstank wordt gepompt. Het secundaire en primaire slib van Ede wordt separaat vergist en is daarom separaat getest (de rwzi Ede is een BioDeniPho-installatie). Met het slib van Woudenberg zijn testen uitgevoerd met zowel vers (ingedikt) slib uit de AT als met ingedikt slib uit de indikkers.

**Tabel 1**  
**Onderzochte slibben**

rwzi	slibbelasting	aërobe slibleeftijd	anaërobe slibleeftijd	geteste soort slib
	[kg BZV/kg DS.d]	[d]	[d]	
Amersfoort	0,05	14	23	anaëroob gestabiliseerd mengsel primair + secundair
Bennekom	0,03	25		aëroob gestabiliseerd
Boscherveld (Maastricht)	0,03	27		aëroob gestabiliseerd
De Bilt	0,10	11	30	anaëroob gestabiliseerd
De Groote Lucht (Vlaardingen)	0,03	17	19	anaëroob gestabiliseerd
Ede	0,03		23	anaëroob gest. primair slib anaëroob gest. surplus slib
		31	34	
Houtrust (Den Haag)	0,43	3,2	29	anaëroob gestabiliseerd mengsel secundair + primair
Rhenen	0,06	26		aëroob gestabiliseerd
Wijk bij Duurstede	0,05	22		aëroob gestabiliseerd
Woudenberg	0,02	33		aëroob gestabiliseerd ingedikt aëroob gestabiliseerd
Zeist	0,05	24	47	anaëroob gestabiliseerd mengsel secundair + primair

#### 4.2.2 *Monstervoorbereiding*

Om verstopping van het verwarmingselement te voorkomen zijn de grove delen uit de slibmonsters verwijderd met behulp van een zeef met een poriegrootte van 2,8 mm. Na het zeven is van de verschillende slibben het drogestofgehalte bepaald. Indien het drogestofgehalte hoger bleek te zijn dan 25 - 30 g/l is het drogestofgehalte gecorrigeerd door het slib te verdunnen met drinkwater. De reden voor deze verdunning is dat bij hogere drogestofgehaltenes het mengsel van PE en slib een viskeuze massa vormt, waardoor het mengen hiervan niet goed reproduceerbaar kan worden uitgevoerd. Om te verifiëren of het verdunnen van slib effect had op het uiteindelijk ontwateringsresultaat, is ook het onverdunde slib behandeld (hiervoor is echter de menging van PE en slib aangepast). Indien bleek dat er geen significante verschillen waren tussen de verdunde en onverdunde slibmonsters is met de verdunde monsters verder geëxperimenteerd. Indien er wel verschillen waren geconstateerd, diende het mengen van dik slib apart te worden gestandaardiseerd. Dit is echter niet voorgekomen. De secundaire slibben van Bennekom en Woudenberg zijn voorafgaand aan de experimenten gravitair ingedikt om een hoger drogestofgehalte te verkrijgen.

Voorafgaand aan de experimenten is het drogestofgehalte van het slib in een sneldroger globaal bepaald, zodat de testen dezelfde dag konden worden uitgevoerd. Tevens is een drogestof- en een organischestofbepaling uitgevoerd volgens de geldende NEN-normen (6620/6621).

#### 4.2.3 *Microscopisch beeld*

De onderzochte slibben zijn microscopisch beoordeeld volgens een door TNO gestandaardiseerde methode [14]. Hierbij wordt de vlok beoordeeld op de volgende punten:

- mate van bezinking en helderheid van de bovenstaande vloeistof;
- vlok morfologie.  
Per type vlok wordt aangegeven of deze compact of open is en hoe groot de vlok is (klein/middel/groot);
- draadvormende bacteriën.  
Aantal soorten en hoeveelheid per soort;
- protozoa/metazoa.  
Aantal soorten en hoeveelheid per soort;
- diverse kenmerken.  
Aantal losse cellen, vezels, monoculturen en bijzondere organismen.

Deze methode is ontwikkeld voor de beoordeling van actiefslibsystemen. De beoordeling van anaëroob gestabiliseerd slib is hiermee niet goed uit te voeren. Aangezien een algemeen toepasbare karakterisering van anaëroob slib nog niet beschikbaar is, is getracht met de karakterisering voor actiefslib het anaërobe slib te karakteriseren.

#### 4.2.4 *Deeltjesgrootteverdeling*

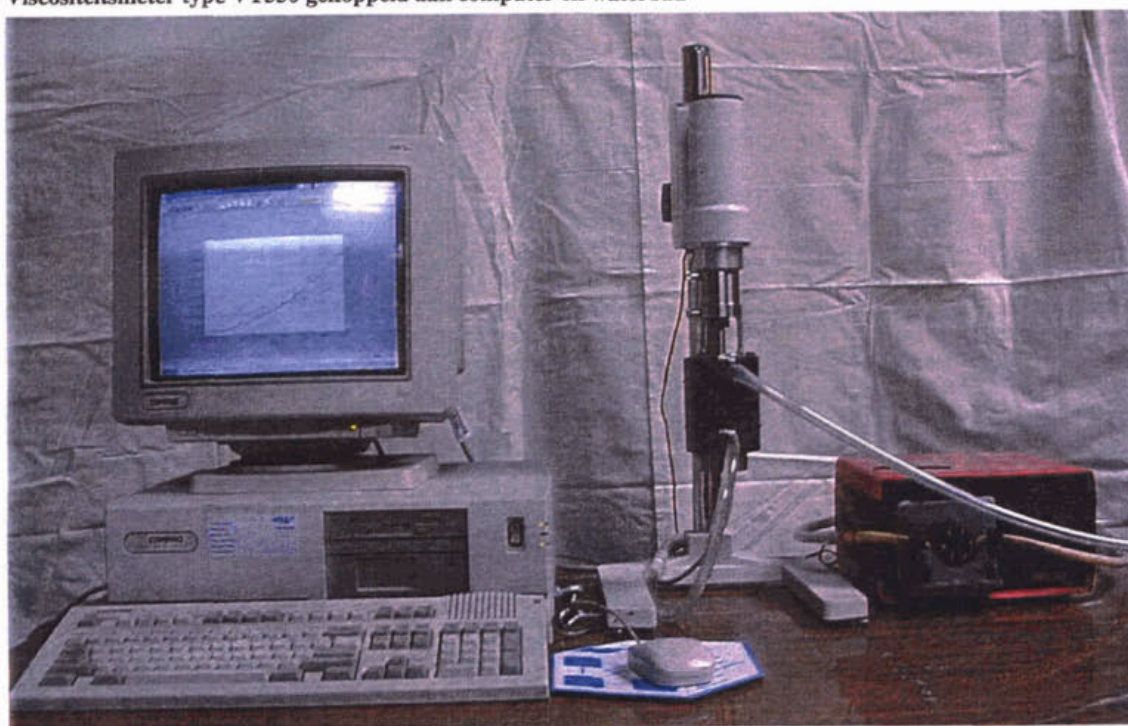
Van alle slibben is de deeltjesgrootteverdeling gemeten met behulp van een Malvern laserdiffractieapparaat, type mastersizer X/E/1000. De metingen zijn in triplo uitgevoerd bij een brandpuntsafstand van 300 mm. Bij de aanwezigheid van veel kleine deeltjes (slib van de rwzi Houtrust) is ook met een brandpuntsafstand van 100 mm gemeten. Voor aanvang van de test is het apparaat geijkt door de leverancier. Bij een brandpuntsafstand van 300 mm wordt de verstrooiing van laserlicht gemeten met 32 cirkelvormige detectoren. Hierbij kunnen deeltjes worden gemeten van 1,32 tot 600 nm.

#### 4.2.5 *Viscositeit*

Van de verschillende slibben is de viscositeit bij de vier temperaturen bepaald met behulp van een Haake viscositeitsmeter type VT550 (zie afbeelding 3). Hierbij is gebruikt gemaakt van de meetcel MV2P, bedoeld om viscositeiten van matig tot sterk viskeuze oplossingen te bepalen. Om tijdens de meting de juiste temperatuur te handhaven is de viscositeitsmeter voorzien van een mantel, die op een waterbad is aangesloten. Ook is de viscositeitsmeter gekoppeld aan een computer, zodat de gegevens direct in een speciaal verwerkingsprogramma konden worden opgeslagen.

Na het verwarmen van het slib is een kleine hoeveelheid ongeflocculeerd slib gebruikt voor de viscositeitsbepaling. Voor alle slibben is hiertoe in 300 seconden de afschuifsnelheid ( $\dot{\gamma}$  in  $s^{-1}$ ) van 0 tot 700 verhoogd, waarbij de afschuifspanning ( $\tau$ ) is gemeten. Uit deze waarden kan de viscositeit ( $\eta$ ) worden bepaald, aangezien deze gelijk is aan de quotiënt van de afschuifspanning en de afschuifsnelheid. De minimale viscositeit die gemeten kan worden is ca. 4 mPas.

Afbeelding 3  
Viscositeitsmeter type VT550 gekoppeld aan computer en waterbad



#### 4.2.6 *Vet- en vetzuurbepaling*

De vet- en vetzuurbepaling is uitgevoerd door het STER-lab Analytico te Barneveld. Tijdens de eerste serie metingen bleek dat het meten van vetten en vetzuren in slib niet met een standaard-procedure mogelijk was. Voor het meten van zowel vetten als vetzuren is een aparte voorbe-handeling nodig. Nadat de meetmethode was geoptimaliseerd zijn het vet en vetzuurgehalte van alle slibben bepaald.

##### ***Vetzuren***

In principe kunnen de vetzuren volgens NEN 6682 titrimetrisch gemeten worden. Hiervoor is echter een heldere vloeistof nodig, omdat grote hoeveelheden zwevende stof de meting storen. Alle slibben zijn daarom voorafgaand aan de meting gedurende één uur gecentrifugeerd bij 4200 tpm met een MSE centrifuge, type GF8 met 'swing-out' rotor voor 4 x 1l.

##### ***Vetten***

De standaard procedure voor het meten van de vetconcentratie is door het monster te schudden met petroleum-ether. Aangezien bij de onbehandelde slibben de diversiteit in deeltjesgrootte en de concentratie van het slib de meting sterk verstoorden, zijn voorafgaand aan de bepaling alle monsters verdund tot ongeveer 1 g/l en gedurende 20 minuten gehomogeniseerd met behulp van een staafmixer.

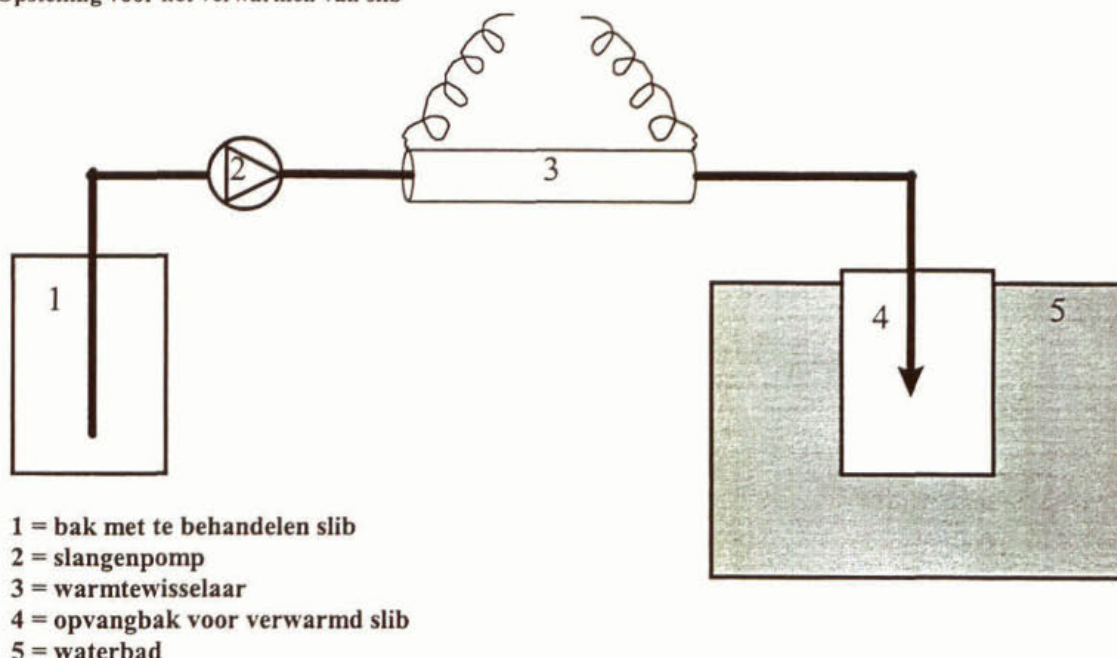
Bij de vetbepaling zijn twee fracties te onderscheiden, namelijk het vrije vet en het totaal extraheerbare vet. Het laatstgenoemde wordt verkregen door voorafgaand aan het schudden met petroleumether het monster te koken met natronloog.

#### 4.2.7 *Verwarmen van het slib*

Voor het verwarmen van het slib is gebruik gemaakt van een doorstroomverwarmingselement. Dit verwarmingselement bestond uit een hol pijpje met een inwendige diameter van 3 mm en een lengte van 400 mm met daaromheen een elektrisch verwarmingselement (zie afbeelding 4). Het slib is met behulp van een slangenpomp door het verwarmingselement gepompt. Door het variëren van het debiet door het verwarmingselement is de uitgaande slibtemperatuur ingesteld. Het verwarmde slib is vervolgens opgevangen in een bekglas dat in een waterbad stond met

dezelfde temperatuur als het verwarmde slib. Voor iedere test is deze behandeling herhaald. Ook bij 20°C is het slib door het verwarmingselement gepompt om zodoende het eventuele effect van pompen uit te sluiten.

**Afbeelding 4**  
Opstelling voor het verwarmen van slib



#### 4.2.8 Keuze en aanmaak van het PE

Om het aantal experimenten te beperken is gezocht naar een PE, dat bij vrijwel alle slibben een goede vlokvorming te zien gaf. Hiervoor was het nodig de beoordeling van de vlokvorming te standaardiseren (zie § 4.3). Met het PE Zetag 78FS40 van Ciba (voorheen Allied Colloids) bleek bij alle onderzochte slibben een matige tot goede vlok gevormd te kunnen worden. Indien de vlokvorming met het PE Zetag 78FS40 matig was is naast een andere dosering [g actief PE/kg ds] ook een ander type PE toegepast, te weten SD 2065 en/of SD 2081 van Cytec.

Bij de testen is gestreefd naar het gebruik van een optimaal aangemaakte PE-oplossing. Bij een dergelijke PE-oplossing zijn de polymeerketens homogeen verdeeld en maximaal gestrekt [12]. De viscositeit van deze oplossing is dan in principe maximaal. De gebruikte PE-oplossing is met een concentratie van 0,25% actieve stof aangemaakt door 1 g ruw PE toe te voegen aan 200 ml leidingwater. Dit mengsel is vervolgens in een monsterpot gedurende twee uur in een schudmachine geplaatst, zodat een homogene oplossing ontstond. Door controle op de viscositeit is vastgesteld of de PE-oplossing optimaal was aangemaakt.

In het onderzoek is in eerste instantie van een dosering van 12 g actief PE/kg ds uitgegaan. Hier is van afgeweken indien er geen goede vlok werd gevormd of indien een duidelijke overdosering werd geconstateerd.

#### 4.2.9 Mengen van slib en PE en beoordeling van de slibvlok

Voor het uitvlokken van de verschillende slibben is aan een slibmonster (met ca. 5 g slibdrogestof) een PE-oplossing gedoseerd. Dit monster is in een jartest-apparaat (Phipps and Bird) 15 s geroerd bij 200 tpm en 60 s bij 45 tpm. Deze methode is voorafgaand aan het onderzoek gestandaardiseerd (zie § 4.3).



De tijdens het mengen gevormde vlokken zijn optisch beoordeeld op vloggrootte en vlokstabiliteit. De vloggrootte is beoordeeld op een relatieve schaal van zeer klein (ca. 0,3 mm) tot zeer groot (> 2 cm). De vlokstabiliteit is beoordeeld van zwak tot stevig, waarbij een zwakke vlok is gedefinieerd als een vlok die bij 5 s extra roeren bij 200 rpm uit elkaar valt. Een stevige vlok is gedefinieerd als een vlok die bij 10 s extra roeren bij 200 rpm niet uit elkaar valt. De vloggrootte en de vlokstabiliteit zijn beoordeeld op een schaal van 1 t/m 5, waarbij 1 een kleine onstabiele vlok is en 5 een grote stevige vlok.

Verder is rekening gehouden met het feit dat de vlokvorming bij slib afhankelijk is van de PE-dosering. In geval de vlokstabiliteit bij diverse roersnelheden werd beoordeeld als zwak, is onderzocht of een andere PE-dosering en/of een ander type PE een betere vlok opleverde.

#### 4.2.10 *Mechanische ontwatering van het slib*

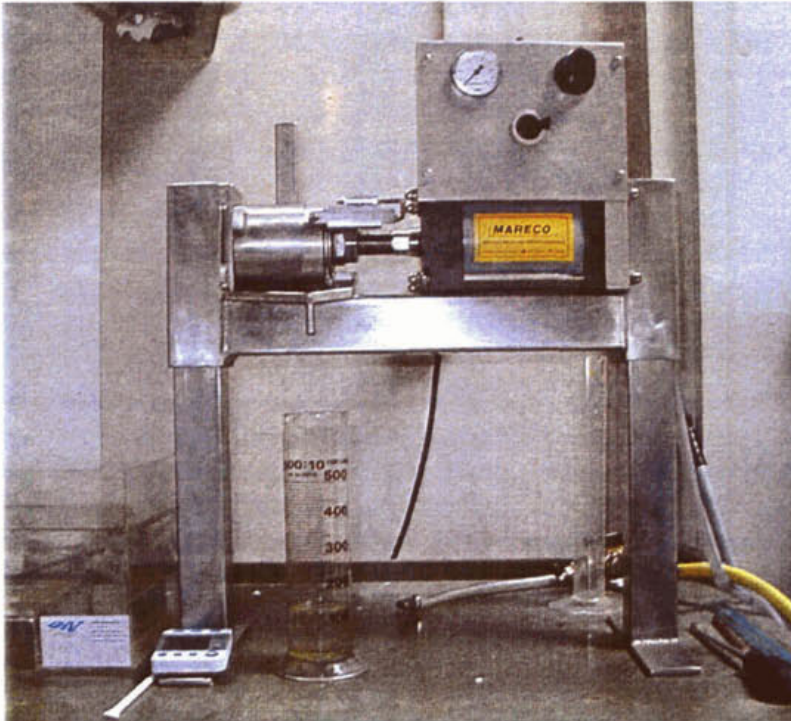
Na vorming van een matig tot stevige vlok zijn de ontwateringseigenschappen beoordeeld. Als eerste is de voorontwatering beoordeeld, zijnde de gravitaire ontwatering van een uitgevlokte hoeveelheid slib-PE-mengsel op een stuk filterdoek, zonder dat hierbij een externe kracht wordt uitgeoefend. De beoordeling van de voorontwatering loopt van zeer slecht tot zeer goed. Bij een goede voorontwatering loopt 60 % van het aanwezige water binnen één minuut door het filterdoek en is het filtraat helder. Bij een slechte voorontwatering loopt er vrijwel geen water door het filterdoek en/of is het filtraat troebel.

Voor het beoordelen van de (voor)ontwateringseigenschappen is gebruik gemaakt van een laboratoriumschaal ontwateringspers, type Mareco (zie afbeelding 5). Met deze pers kunnen slibmonsters tot 250 ml op ontwateringseigenschappen worden getest. Het slibmonster wordt tijdens de voorontwatering in een rond filterhuis (diameter 7,5 cm) geschonken, waarbij de onderzijde van het filterhuis bestaat uit een filterdoek (Industri-Textil Job E3264 FM). Het filterdoek wordt ondersteund door steungaas en een profielschijf voor de afvoer van het filtraat. Nadat de voorontwatering is afgerond, wordt aan de bovenzijde van het filterhuis ook een stuk filterdoek, een steungaas en een profielschijf aangebracht. Het filterhuis wordt vervolgens gekanteld, waarna met behulp van een zuiger de beide profielschijven naar elkaar worden toe geperst.

Met de pers kan het slib worden ontwaterd met een persdruk van maximaal 10 bar. De pers is voorzien van een persdrukregelaar en een regelaar voor de snelheid van de zuiger. Bij de uitgevoerde experimenten zijn een persdruk van 7 bar een perstijd van 5 minuten aangehouden, zodat onderling vergelijkbare resultaten werden verkregen. De slibontwateringsexperimenten zijn in duplo of triplo uitgevoerd. Gedurende de mechanische ontwatering is het filtraat visueel beoordeeld op de aanwezigheid van zwevende stof. Verder is het ontwaterde slib beoordeeld op het kleven aan het filterdoek.

Doordat bij het gebruik van de minipers regelmatig een kleine hoeveelheid slib via de kieren in de minipers uit het filterhuis werden geperst en de ontwateringstesten herhaald zijn indien de filtraatvervuiling groot was, is het zwevendestofgehalte van het filtraat niet verder bij dit onderzoek gekwantificeerd.

Afbeelding 5  
Mareco ontwateringspers



#### 4.3 Standaardisatie van de onderzoeksmethoden

Voordat de eigenlijke slibverwarmingstesten werden uitgevoerd is eerst met een drietal slibben de meetmethode geoptimaliseerd, zodat de gebruikte methoden voor mengen, verwarmen en ontwateren reproduceerbaar en met voldoende nauwkeurigheid konden worden uitgevoerd.

Voorafgaand aan de experimenten is daarom met het slib van Amersfoort en het slib van Woudenberg een viertal verschillende PE's getest (Zetag 78FS40, Zetag 66, Cytec SD2065 en Cytec SD2081) en onderzocht in hoeverre de verschillende PE's de vlokvorming en vlokstabiliteit beïnvloedden. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat met Zetag 78FS40 de beste resultaten konden worden behaald.

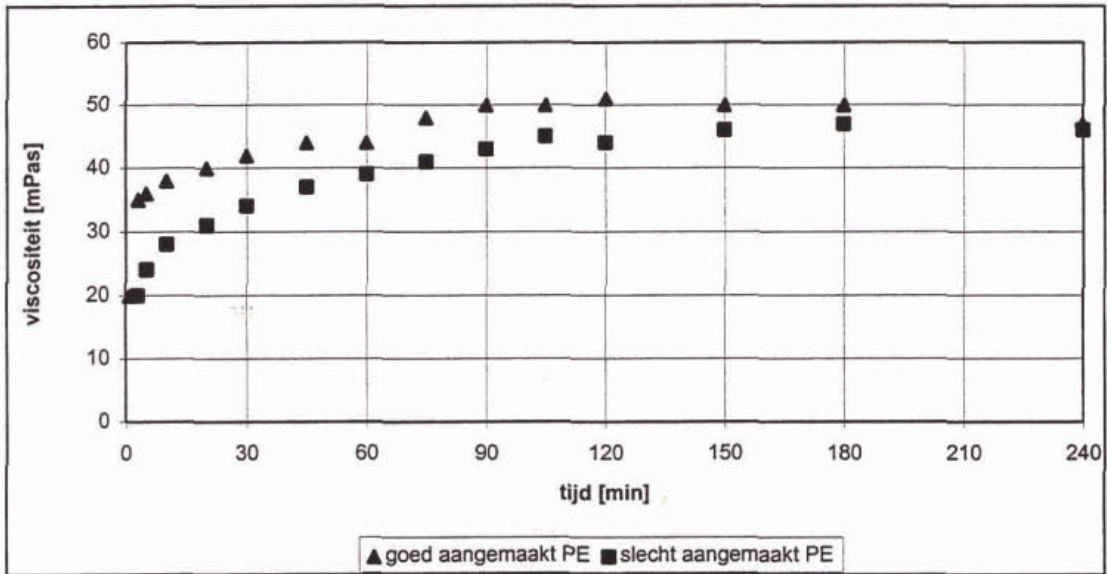
Tijdens het testen van de PE-typen is tevens de invloed van de PE-dosering op de vlokvorming en de ontwaterbaarheid van het slib onderzocht. Hierbij is gestreefd naar een dosering, die bij alle slibben een goed ontwateringsresultaat gaf. Getest zijn doseringen van 8, 10, 12 en 14 g actief PE/kg drogestof. Van deze doseringen bleek de dosering van 12 g actief PE/kg DS het beste resultaat te geven. In principe zijn alle testen hier verder mee uitgevoerd, behalve daar waar een slechte vlokvorming werd gevonden en er geen verbetering kon worden gerealiseerd met het aanpassen van de roersnelheid.

Indien de standaard werkwijze geen goede slibvlokken opleverde zijn in eerste instantie de mengtijden aangepast om daarna de PE-dosering aan te passen en als laatste een ander PE te testen.

Voor de aanmaak van de PE-oplossing is de optimale schudtijd in de schudmachine bepaald door bij verschillende schudtijden de viscositeit van de oplossing te meten. Bij een langere schudtijden neemt in eerste instantie de viscositeit toe. Vervolgens volgt een stabilisatie bij de maximale viscositeit, uiteindelijk gevolgd door een afname van de viscositeit door het breken van de polymeerketens. Uit eerder uitgevoerde experimenten is naar voren gekomen dat onder de gegeven omstandigheden een schudtijd van twee uur een maximaal actief PE oplevert (zie afbeelding 6).

Afbeelding 6

Voorbeeld van een goed en een slecht aangemaakt PE bij 20°C (concentratie is 2 g actief PE/l)



Afgezien van de standaardisatie van de onderzoeksmethoden was het vaststellen van de invloed van een al of niet verwarmd PE de eerste onderzoeksparameter. Indien namelijk zou blijken dat het verwarmen van PE een positief of negatief effect zou hebben op het uiteindelijke ontwateringsresultaat, dan zou hierdoor het aantal metingen sterk worden beïnvloed.

De invloed van het verwarmen van PE is op grond van het voorgaande voornamelijk getest met het PE Zetag 78FS40. Het PE is aangemaakt bij 16, 20, 25, 30 en 35°C in een concentratie van 2,5 g actief PE/l. Hierna zijn de ontwateringstesten uitgevoerd met het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Woudenberg en uitgegiste slib van de rwzi Amersfoort, zowel bij een slibtemperatuur van 20°C als bij 35°C. Ook is de viscositeit vergeleken met de eerder uitgevoerde metingen om de PE-aanmaak te standaardiseren.

De ontwaterbaarheid bij de diverse instellingen/temperaturen is zodanig uitgevoerd dat de resultaten vergeleken kon worden met het referentie slib-PE-mengsel (= de resultaten bij 20°C na optimalisatie van de vlokvorming en de menging). De metingen zijn dus niet bedoeld om als absolute waarde te dienen voor hetgeen in de praktijk met ontwateringsapparatuur is te realiseren, maar maken slechts een onderlinge vergelijking van het ontwateringsresultaat mogelijk.

## 5 RESULTATEN VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK

### 5.1 Algemeen

In het voorliggende hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van het laboratoriumonderzoek dat is uitgevoerd in de zomer van 1998 en de eerste helft van 1999. De in § 4.1 genoemde onderzoeksaspecten zijn in dit hoofdstuk per onderwerp gepresenteerd in separate paragrafen. De vergelijking van de verschillende aspecten onderling wordt in hoofdstuk 6 gepresenteerd.

De weergegeven resultaten van de verrichte metingen aan de verschillende slib/PE-mengsels zijn voor zover mogelijk gemiddelde waarden over de beide meetperioden. In sommige situaties wijken de resultaten tussen de beide meetperioden dermate af van elkaar dat beide resultaten zijn weergegeven. De optredende verschillen kunnen niet worden verklaard aan de hand van verschillen in de monsternamen, omdat de monsters op identieke wijze zijn genomen in de beide perioden. Tevens zijn de slibgegevens gecontroleerd aan de hand van de op de rwzi's aanwezige gegevens, zodat de representativiteit van de monsters is gewaarborgd. De seizoensinvloeden zijn niet specifiek onderzocht. Er kan daarom niet worden aangegeven of de verschillen hierdoor volledig verklaard kunnen worden.

### 5.2 PE-aanmaak met en zonder verwarming van het aanmaakwater

Om de invloed van het verwarmen van het aanmaakwater van PE te onderzoeken is een aantal activiteiten verricht zoals in paragraaf 4.2 en 4.3 zijn genoemd. Omdat uit voorbereidende experimenten is gebleken dat het PE Zetag 78FS40 van Ciba op alle geteste slibben een bevredigend resultaat opleverde, is dit PE gebruikt om de invloed van verwarming van het PE-aanmaakwater te testen.

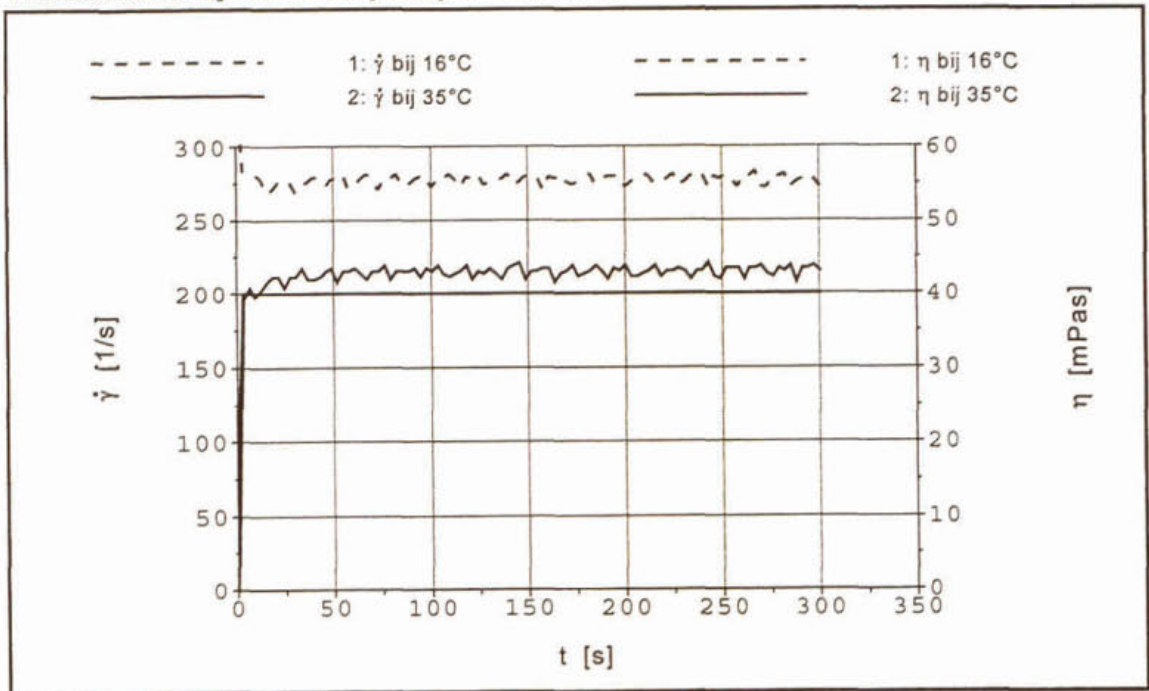
Op basis van de vlokvorming en het ontwateringsresultaat konden er geen verschillen worden waargenomen tussen de testen van de bij verschillende temperaturen aangemaakte PE's. Dit betekent dat bij alle temperaturen gewerkt is met een optimaal aangemaakte PE-oplossing. Met deze test is aangetoond dat het verwarmen van een optimaal aangemaakte PE-oplossing geen bijdrage levert aan het ontwateringsresultaat. De slibverwarmingstesten zijn verder uitgevoerd met een PE-oplossing die is aangemaakt bij 20°C.

Naast bestudering van de vlokvorming en de ontwateringseigenschappen met de bij verschillende temperaturen aangemaakte PE-oplossing, is de viscositeit van de PE-oplossing bepaald. In afbeelding 7 is de viscositeit van twee PE-oplossingen versus de afschuifsnelheid weergegeven gedurende 5 minuten. De PE-oplossingen zijn aangemaakt bij 16°C en bij 35°C; de afschuifsnelheid bedraagt 200/s. De onderbroken fluctuerende lijn is de viscositeit bij 16°C, de ononderbroken fluctuerende lijn de viscositeit bij 35°C. Zoals uit de grafiek blijkt is de viscositeit in de tijd zeer constant. Het verschil tussen de twee lijnen is het effect van de temperatuur op de viscositeit. Bij het laten afkoelen van de PE-oplossing van 35°C tot 16°C is het verloop identiek aan het verloop van de oplossing die direct bij 16°C is aangemaakt.

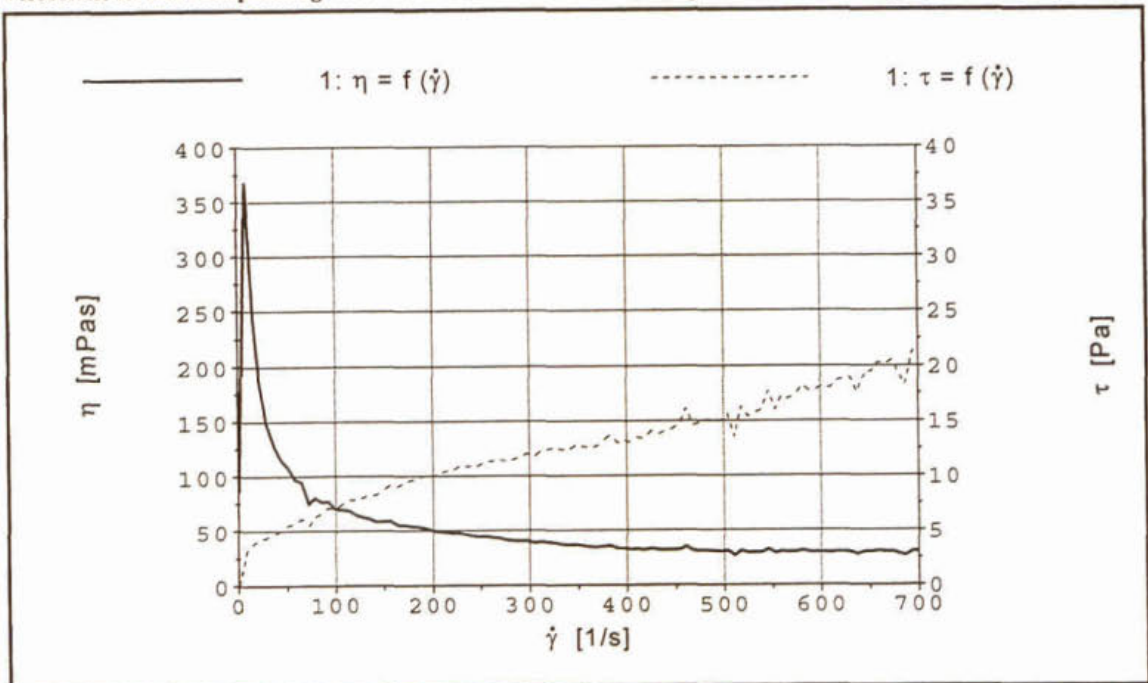
Behalve de temperatuur is ook de concentratie van de PE-oplossing van belang voor een optimale menging van slib en PE. Van het PE Zetag 78FS40 is daarom de viscositeit bepaald van acht PE-oplossingen met concentraties oplopend van 0,5 tot 6,2 g actief PE/l. Van iedere oplossing is de viscositeit bepaald bij een oplopende afschuifsnelheid van 0 tot 700/s. Het resultaat van de viscositeitsmeting bij 2,5 g actief PE/l is weergegeven in afbeelding 8. In afbeelding 9 zijn de resultaten samengevat van de viscositeiten van de verschillende PE-oplossingen bij een afschuifsnelheid van 50/s en 200/s. Ook is in de afbeelding de

'aanlooppeik' weergegeven, zijnde de piek in de viscositeit die ontstaat bij het overwinnen van de afschuifspanning voordat de PE-oplossing gaat stromen.

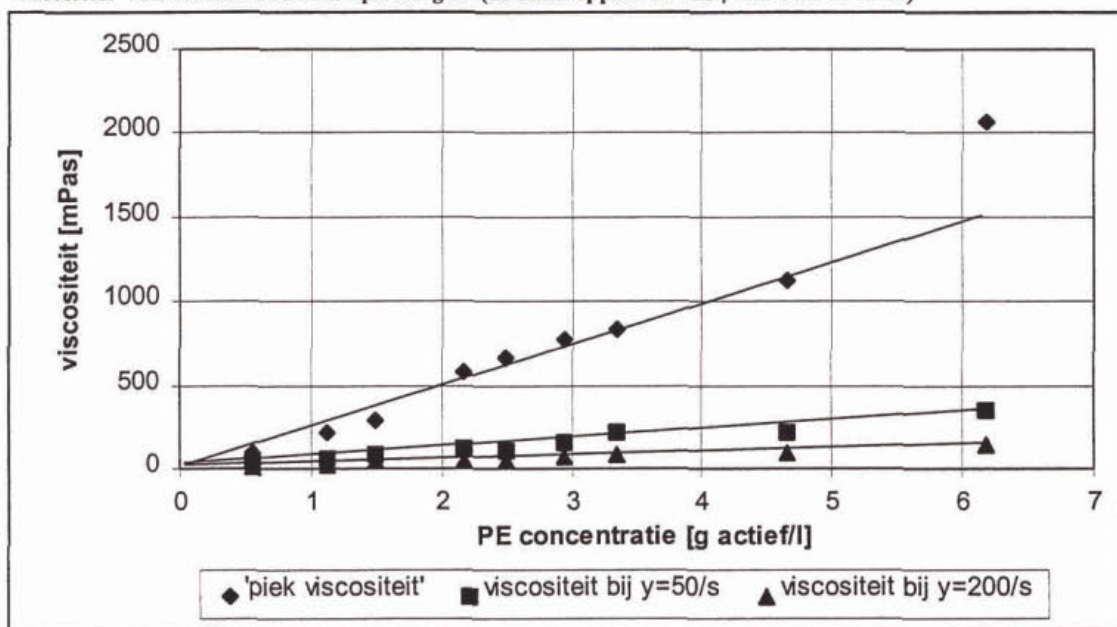
Afbeelding 7  
Viscositeit van PE bij 16 en 35°C bij een optimale aanmaak



Afbeelding 8  
Viscositeit en afschuifspanning versus de afschuifsnelheid van een geconcentreerd PE (2,5 g actief/l) bij 20°C



Afbeelding 9  
Viscositeit van verschillende PE-oplossingen (de aanlooppeik en een  $\dot{\gamma}$  van 50/s en 200/s)



Zoals uit de afbeelding 8 blijkt, is bij een afschuifsnelheid van 10/s de viscositeit 370 mPas. Bij een afschuifsnelheid van 50/s en 200/s is de viscositeit respectievelijk 110 en 50 mPas.

Zoals uit afbeelding 9 blijkt, neemt bij toenemende concentratie van de PE-oplossing de viscositeit toe. Bij een concentratie van 6,2 g actief PE/l (en hoger) stijgt de 'aanlooppeik' van de viscositeit meer dan lineair. Bij een afschuifsnelheid van 50 en 200/s neemt de viscositeit lineair toe bij toenemende concentratie van de PE-oplossing.

Aan de hand van de in afbeeldingen gepresenteerde gegevens kan worden geconcludeerd dat met een viscositeitsmeter kan worden vastgesteld of een PE-oplossing goed is aangemaakt. Hiervoor dient de viscositeit van de PE-oplossing te worden vergeleken met de gepresenteerde waarden. Als de viscositeit van een PE-oplossing lager is dan de gepresenteerde waarde en/of grote fluctuaties vertoont is de PE-oplossing niet optimaal aangemaakt.

### 5.3 Microscopisch beeld

De slibben die zijn gebruikt voor de ontwateringsexperimenten zijn ook microscopisch beoordeeld, zoals beschreven is in paragraaf 4.2.3. De gedetailleerde resultaten van deze beoordeling zijn weergegeven in bijlage 2. Uit de microscopische beoordeling zijn geen aanwijzingen gekomen dat één van de slibben sterk afwijkt ten opzichte van de andere slibben. Er kan dus vooralsnog geen oordeel worden gegeven of bepaalde kenmerken de ontwaterbaarheid positief of negatief beïnvloeden. Wel is duidelijk geworden dat het beoordelen van anaëroob gestabiliseerd slib aan de hand het microscopisch beeld nauwelijks mogelijk is, omdat er geen goede beschrijving is van de organismen en structuren in het anaërobe slib binnen de huidige beoordelingsmethode. Slechts indien zowel het ingaande slib van de anaërobe gisting als het uitgeste slib naast elkaar worden beoordeeld is een beperkte beoordeling mogelijk, omdat dan een aantal structuren in het anaërobe slib kunnen worden herkend (zoals bijv. vezels).

## 5.4 Drogestofgehalte en asrest

De drogestofgehaltenes en de asresten van de onderzochte slibben zijn weergegeven in tabel 2. Het drogestofgehalte na verdunning of indikking geeft aan met welk drogestofgehalte de testen zijn uitgevoerd. De metingen zijn het gemiddelde van twee slibmonsters die met een tussenpoos van ongeveer 2 maanden zijn genomen. Indien de afwijking in de asrest van de twee slibmonsters meer dan 2% bedroeg zijn beide metingen weergegeven. In de tabel is bij de kolom met asresten tussen haakjes het jaargemiddelde gehalte gemeld, zoals dit in bijlage 1 is weergegeven. Bij bestudering van de door de waterkwaliteitbeheerders opgegeven getallen dient rekening te worden gehouden met het feit dat de jaargemiddelden over het algemeen zijn gebaseerd op een beperkt aantal metingen (6-15) en dat de fluctuaties in de metingen niet zijn opgegeven.

Bij bestudering van de tabel en de gegevens uit bijlage 1 vallen de volgende aspecten op:

- bij het geteste slib van de rwzi's De Bilt, Houtrust en Wijk bij Duurstede is de asrest 5 tot 7% lager dan het jaargemiddelde;
- het geteste slib van de rwzi De Groote Lucht had een beduidend hogere asrest dan het jaargemiddelde, namelijk 11% hoger;
- bij het slib van de rwzi's Zeist, Bosscherveld en Woudenberg komen grote schommelingen voor in de asresten. Van de rwzi Zeist is bekend dat dit onder andere te maken heeft met de schommelingen in de aanvoer van primair slib naar de gisting en de hierdoor ontstane schommelingen in verblijftijd in de gisting.

**Tabel 2**  
**Drogestofgehalte en asrest**

rwzi	slibsoort	drogestofgehalte oorspronkelijk monster [g/l]	drogestofgehalte na verdunning of indikking [g/l]	asrest [% van ds]
Amersfoort	mengsel primair + secundair anaëroob gestabiliseerd	26,6	26,6	-
		22,1	22,1	41,0 (43)
De Bilt	anaëroob gestabiliseerd	18,6	18,6	34,2 (39)
De Groote Lucht	anaëroob gestabiliseerd	46,7	23,4	58,7 (48)
Ede primair	anaëroob gestabiliseerd	41,9	20,9	39,7 (38)
Ede secundair	anaëroob gestabiliseerd	51,4	25,7	32,4 (29)
Houtrust (Den Haag)	mengsel primair + secundair anaëroob gestabiliseerd	51,5	17,2	-
		46,7	23,3	46,8 (54)
Zeist	mengsel primair + secundair anaëroob gestabiliseerd anaëroob gestabiliseerd	50,2	25,1	25,9
		33,6	16,8	42,1 (35)
		32,2	16,1	36,6 (35)
Bennekom	aëroob gestabiliseerd	3,9	13,0	26,4 (27)
Bosscherveld (Maastricht)	aëroob gestabiliseerd aëroob gestabiliseerd	53,2	26,6	50,2 (44)
		30,1	15,1	36,6 (44)
Rhenen	aëroob gestabiliseerd	19,1	19,1	25,2 (26)
Wijk bij Duurstede	aëroob gestabiliseerd	36,1	18,0	26,6 (33)
Woudenberg	aëroob gestabiliseerd	4,4	14,0	41,9 (34)
	aëroob gestabiliseerd (ingedikt)	55,0	14,1	-
	aëroob gestabiliseerd	6,1	12,2	35,3 (34)
	aëroob gestabiliseerd (ingedikt)	37,4	18,7	30,5

## 5.5 Deeltjesgrootteverdeling

Zoals in paragraaf 4.2.4 is gemeld is van alle slibben de deeltjesgrootteverdeling gemeten. De gemiddelde waarden van de metingen zijn in tabel 3 opgesomd. De vier kolommen met getallen geven het volgende aan (van links naar rechts):

- 10 % van de deeltjes is kleiner dan de genoemde waarde;
- 50 % van de deeltjes is kleiner dan de genoemde waarde (= gemiddelde deeltjesgrootte);
- 90 % van de deeltjes is kleiner dan de genoemde waarde;
- het specifieke oppervlak van de deeltjes.

Twee voorbeelden van de met het laserdiffractie-apparaat gegenereerde resultaten zijn opgenomen in bijlage 3. Het betreft de meting van het slib van de rwzi Houtrust bij een brandpuntsafstand van 100 en van 300 mm.

**Tabel 3**  
Deeltjesgrootteverdeling van de diverse slibben

rwzi	stabilisatie	10 % < x [µm]	50 % < x [µm]	90 % < x [µm]	specifiek oppervlak [m <sup>2</sup> /g]
Amersfoort	anaëroob	12,7	44,6	136,5	0,21
De Bilt	anaëroob	16,8	61,0	211,9	0,16
De Groote Lucht	anaëroob	11,1	56,3	219,9	0,21
Ede secundair	anaëroob	11,1	37,0	101,6	0,27
Ede primair	anaëroob	10,1	32,7	139,8	0,25
Houtrust	anaëroob	9,6	26,7	83,6	0,32
Houtrust (100 mm)	anaëroob	8,6	25,4	65,6	0,40
Zeist	anaëroob	22,5	93,4	334,9	0,13
Bennekom	aëroob	21,0	74,8	312,2	0,15
Bossherveld	aëroob	40,5	151,5	371,0	0,09
Rhenen	aëroob	16,5	64,8	232,6	0,17
Wijk bij Duurstede	aëroob	24,0	105,8	282,1	0,13
Woudenberg	aëroob	22,5	74,3	216,7	0,15

Bij de interpretatie van de gegevens van de deeltjesgrootteverdeling vallen de volgende aspecten op:

- de gemiddelde deeltjesgrootte van de anaërobe slibben is kleiner dan bij de aërobe slibben. Uitzondering hierbij is het slib van de rwzi Zeist (dat overigens ook slecht ontwaterbaar was in de praktijk en op het lab als gevolg van de korte verblijftijden in de gisting ten tijde van het onderzoek);
- de gemiddelde deeltjesgrootte van het slib van de rwzi's Bossherveld en Wijk bij Duurstede is ten opzichte van de andere aërobe slibben groot;
- het verschil in de twee metingen van het slib van de rwzi Houtrust heeft te maken met de gevoeligheid van de apparatuur bij de verschillende brandpuntsafstanden. In principe is de nauwkeurigheid groter bij een kleine brandpuntsafstand.

## 5.6 Viscositeit

Van alle slibben is de viscositeit ( $\eta$ ) gemeten bij de vier temperaturen, zoals genoemd in paragraaf 4.2.5. Tijdens de meting bleek dat de viscositeit van de slibben bij 70°C nauwelijks te meten was, omdat de viscositeit van de slibben lager was dan de onderste meetgrens van de viscositeitsmeter (ca 4 mPas). Alleen de viscositeit van het slib van Bossherveld kon worden



gemeten bij 70°C. De resultaten van de metingen zijn samengevat in de tabel van bijlage 4. Naast de rwzi en het soort slib zijn de volgende gegevens in de tabel genoemd:

- de temperatuur waarbij gemeten is;
- het drogestofgehalte van het gemeten slib;
- de afschuifsnelheid ( $\gamma$ ), waarbij de viscositeit minimaal is;
- de minimale viscositeit;
- de hoogste waarde van de viscositeit bij het doorlopen van de afschuifsnelheid tussen de 200/s tot het maximum van 700/s;
- de hoogte van de viscositeit bij aanvang van het experiment (=aanlooppiek).

In bijlage 4 is het viscositeitsverloop te zien van het slib van de rwzi Bosscherveld bij de vier temperaturen, waarbij gemeten is.

Opvallende aspecten bij de viscositeitsmeting zijn:

- het verhogen van de temperatuur tot ca. 50°C heeft op de slibben vrijwel geen effect op de viscositeit;
- bij verhoging van de temperatuur tot 70°C is de viscositeit van alle slibben structureel lager dan bij 20, 35 en 50°C en zelfs kleiner dan de onderste meetgrens van ca. 4 mPas;
- bij vrijwel alle slibben is het viscositeitsverloop in grote lijnen gelijk. Bij een toenemende afschuifsnelheid moet eerst een bepaalde afschuifspanning ( $\tau$ ) worden overwonnen, voordat het slib gaat stromen. Een vloeistof met een dergelijk gedrag kan worden gekenmerkt als een Bingham-vloeistof. Vervolgens stijgt de afschuifspanning vrijwel lineair bij een toenemende afschuifsnelheid totdat een punt wordt bereikt waarna de toename van de afschuifspanning sneller per tijdseenheid stijgt bij een toenemende afschuifsnelheid dan daarvoor. Voor het slib van de rwzi Bosscherveld geldt dat het knikpunt bij een temperatuur van 20°C ligt bij een afschuifsnelheid van ca. 500/s.
- het onregelmatige verloop van de viscositeitscurves wordt veroorzaakt door de inhomogeniteit van het slibmonster. Bij niet gezeefde slibmonster (zie § 4.2.2) was het effect van grove deeltjes aanzienlijk groter.

## 5.7 Vet- en vetzuurbepaling

Het vetzuurgehalte, het vrije vet en het totaal extraheerbare vet zijn van alle slibben gemeten volgens de in paragraaf 4.2.6. genoemde methoden. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in tabel 5.

De kleur en de inhomogeniteit van de slibmonsters zorgden aanvankelijk voor grote problemen bij de analyses. Na een voorbehandeling van de monsters (zie § 4.2.6) bleek het uiteindelijk mogelijk te zijn de vet- en vetzuurgehalten betrouwbaar te meten. Tijdens de metingen is tevens gebleken dat de vet- en vetzuuranalyses zo snel mogelijk na het nemen van de monsters moeten plaatsvinden, omdat anders de vetzuurgehalten snel oplopen.

Bij bestudering van tabel 5 blijkt het volgende:

- het vrije vetgehalte is bij de aëroob gestabiliseerde slibben over het algemeen hoger dan bij de anaëroob gestabiliseerde slibben. Dit verschil is bij het gehalte aan extraheerbaar vet minder duidelijk;
- het vetzuurgehalte van het slib van de rwzi's Bennekom en Woudenberg is erg laag ten opzichte van het vetzuurgehalte van de andere drie rwzi's met een aërobe slibstabilisatie. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat het slib van de rwzi's Woudenberg en Bennekom uit de aëratietank komen, terwijl de andere slibben eerst (deels) zijn ingedikt in indikkers.

**Tabel 4**  
**Vet- en vetzuurgehaltes van de onderzochte slibben**

rwzi	stabilisatie	vluchtige vetzuren als Hac [mg/l]	vrij vet [mg/l]	extraheerbaar vet [mg/l]
Amersfoort	anaëroob	100	380	980
De Bilt	anaëroob	72	580	1020
De Groote Lucht	anaëroob	56	800	1100
Ede secundair	anaëroob	520	520	1400
Ede primair	anaëroob	130	1320	2200
Houtrust	anaëroob	130	1760	1920
Zeist	anaëroob	91	1240	1840
Bennekom	aëroob	17	1000	1000
Bossherveld	aëroob	410	1480	1480
Rhenen	aëroob	550	1720	1720
Wijk bij Duurstede	aëroob	270	1720	1720
Woudenberg	aëroob	18	1500	1500

## 5.8 Vlokvorming en vlokstabiliteit na het toevoegen van PE

De vlokvorming is beoordeeld nadat de PE-oplossing bij het slib is gevoegd en op standaard wijze is geroerd (zie § 4.2.9). Bij een goede vlokvorming werden alle slibdeeltjes in een compacte vlok opgenomen en ontstond er een heldere vloeistof. Deze scheiding van slibvlokken en water verliep tijdens de periode dat er langzaam werd geroerd.

Indien geen goede vlokvorming kon worden gerealiseerd, zijn de metingen herhaald onder andere omstandigheden net zolang totdat er wel een (goede) vlokvorming optrad. In bijlage 5 is een tabel opgenomen met de resultaten van de vlokvorming bij de verschillende temperaturen en de voor de ontwatering gebruikte PE-doseringen.

Tijdens de testen zijn de volgende aspecten opgevallen:

- op de goed ontwaterbare slibben (van de rwzi's Houtrust en De Groote Lucht) heeft de temperatuur nauwelijks invloed op de vlokvorming;
- bij de anaëroob gestabiliseerde slibben van Amersfoort, De Bilt, Ede (secundair) en Zeist heeft verhoging van de temperatuur een duidelijk negatieve invloed op de vlokvorming. Bij het anaëroob gestabiliseerde secundaire slib van Ede bleek zelfs na aanpassing van de PE-dosering en de mengtijden geen goed ontwaterbare vlok gevormd te kunnen worden;
- bij de aëroob gestabiliseerde slibben van de rwzi's Bennekom, Bossherveld, Rhenen en Wijk bij Duurstede heeft een verhoging van de temperatuur van het slib een positieve invloed op de vlokvorming. Bij het slib van de rwzi Woudenberg (niet uit indikker) is het omgekeerde waargenomen;
- het slib van de rwzi Bossherveld gaf bij een dosering van 10 g actief PE/kg ds een beter resultaat dan bij 12 g PE/kg ds;
- bij een verhoging van de temperatuur naar 70°C wordt bij de meeste slibben de waterige fractie troebeler. Het toevoegen van meer PE leverde slechts zelden een verbetering op.

## 5.9 Ontwaterbaarheid

Een maat voor de ontwaterbaarheid van de verschillende slibben is het drogestofgehalte van de filterkoek (zie § 4.2.10 en 4.3). In tabel 5 zijn de ontwateringsresultaten van de verschillende

experimenten weergegeven. Deze resultaten zijn grafisch weergegeven in bijlage 6. De weergegeven drogestofgehalten zijn gemiddelden van de uitgevoerde metingen (3 tot 6 metingen per slib). De afwijking ten opzichte van het gemiddelde is niet weergegeven, maar is ongeveer 0,6 % absoluut (zie ook paragraaf 6.2). Bij een aantal slibben zijn twee waarden opgegeven als gevolg van de verschillende resultaten van de beide meetperiodes (I=voorjaar/zomer 1998 en II=winter 98/99). Om aan te geven welke slibben alleen in de tweede periode zijn gemeten, is de periodecodering bij alle slibben aangegeven.

**Tabel 5**  
**Resultaten van de ontwateringsexperimenten: drogestofgehalte (%) van de filterkoek bij verschillende temperaturen**

Anaëroob gestabiliseerd slib					
RWZI ↓	temperatuur →	20°C	35°C	50°C	70°C
Amersfoort I		19,2	21,8	25,7	23,9
Amersfoort II		23,6	23,0	22,3	17,6
De Bilt II		14,3	15,0	15,8	14,5
De Groote Lucht II		31,5	30,7	34,2	34,5
Ede primair II		18,7	21,3	19,9	
Ede secundair II		14,0	16,1	-	-
Houtrust I + II		37,4	37,5	37,4	34,8
Zeist I		17,7	17,1	16,8	16,4
Zeist II		17,4	18,4	19,6	16,0

Aëroob gestabiliseerd slib					
RWZI ↓	temperatuur →	20°C	35°C	50°C	70°C
Bennekom I		19,4	19,1	21,1	20,7
Bennekom II		16,8	17,8	16,9	16,7
Maastricht I		21,6	23,6	24,4	26,7
Maastricht II		20,5	21,6	21,5	18,3
Wijk bij Duurstede II		13,5	13,9	15,7	15,3
Woudenberg I		20,1	21,6	20,4	20,4
Woudenberg II		17,1	16,7	16,1	16,9
Woudenberg ingedikt I		20,2	19,8	20,6	21,7
Woudenberg ingedikt II		16,4	19,3	19,8	21,7

Ongestabiliseerd slib (mengsel primair en secundair slib)					
RWZI ↓	temperatuur →	20°C	35°C	50°C	70°C
Amersfoort prim+sec I		25,7	25,1	26,9	29,7
Zeist prim + sec I		14,7	14,7	16,5	19,2

Bij bestudering van de resultaten vallen de volgende aspecten op:

- de resultaten zijn bij de zomer(I) en winter (II) periode per slib verschillend. De ontwaterbaarheid van de slibben wordt dus sterk beïnvloed door andere factoren, bijvoorbeeld seizoensgebonden factoren;
- het nog te vergisten slibmengsel van de rwzi Amersfoort is beter ontwaterbaar dan het uitgegiste slib;
- het uitgegiste slib van de rwzi Amersfoort is in de tweede periode bij 20 en 35°C beter ontwaterbaar dan in periode I. Het uitgegiste slib was in periode I anders van samenstelling dan in de tweede periode. Dit is veroorzaakt doordat oud slib uit bufferbakken van

een andere rwzi in de gisting van de rwzi Amersfoort is gepompt. Het positieve effect van een temperatuurverhoging in de eerste periode is niet aangetoond in de tweede periode. Wel is in beide periodes naar voren gekomen dat een temperatuurverhoging tot 70°C een nadelig effect heeft op de ontwaterbaarheid;

- het slib van de rwzi De Bilt is slechts eenmaal gemeten. Hieruit komt naar voren dat een verbetering van ca. 1,5 % in drogestofgehalte kan worden bereikt bij een temperatuurverhoging van 20 naar 50°C;
- het slib van de rwzi De Groote Lucht is ook eenmaal gemeten. Hieruit is naar voren gekomen dat het slib (zeer) goed ontwaterbaar is (dit is overigens in de praktijk bevestigd aan de hand van een vergelijkend slibontwateringsonderzoek met twee centrifuges in 1998). Het verhogen van de temperatuur tot 50 (of 70)°C levert een verbetering van het drogestofgehalte van ca. 3 % op;
- het primaire en secundaire slib van de rwzi Ede wordt apart vergist. Beide slibben blijken echter moeilijk ontwaterbaar te zijn, zeker na het verhogen van de temperatuur tot boven de 35°C. Of dit specifiek is voor slib van BioDeniPho installaties zoals in Ede, is niet bekend omdat er geen andere slibsoorten van dergelijke installaties zijn onderzocht. In tegenstelling tot de algemene opvatting dat uitgegist primair slib goed ontwaterbaar is, is het uitgegiste primaire slib van de rwzi Ede niet goed ontwaterbaar;
- het slib van de rwzi Houtrust is tweemaal gemeten en beide malen bleek het resultaat hetzelfde te zijn. Het verwarmen van het slib van de rwzi Houtrust resulteert niet in een hoger drogestofgehalte van het ontwaterde slib;
- van de rwzi Zeist is het uitgegiste slib in beide periodes gemeten en is het te vergisten mengsel in de eerste periode gemeten. In tegenstelling tot het slib van de rwzi Amersfoort is het mengsel van primair en secundair slib van de rwzi Zeist minder goed ontwaterbaar dan het uitgegiste slib. Bij het nog te vergisten mengsel is er een duidelijk effect van de temperatuurverhoging te zien (4,5 % hoger drogestofgehalte bij verhoging van de temperatuur tot 70°C). In de tweede meetperiode is er een positief effect bij verhoging van de temperatuur. Dit is in de eerste periode niet geconstateerd.
- zowel voor het slib van de rwzi Bennekom als het slib van de rwzi Bosscherveld geldt dat het slib in de winterperiode (II) minder goed ontwaterbaar is dan in de zomerperiode (I). Het positieve temperatuureffect in de eerste periode is in de tweede periode niet waargenomen;
- het slib van de rwzi Rhenen is alleen in de winterperiode gemeten. Bij 70°C bleek ontwateren niet mogelijk te zijn;
- zowel voor het slib uit de aëratietank als het slib uit de indikker van de rwzi Woudenberg geldt dat het in de zomerperiode beter was te ontwateren dan in de winterperiode. Ook is de invloed van de temperatuur beperkt. Het slib uit de indikker was in de eerste periode min of meer tot hetzelfde drogestofgehalte ontwaterbaar als het slib uit de aëratietank. In de winterperiode heeft de temperatuurverhoging wel effect op het slib uit de indikker en niet op het vers ingedikte slib.

### 6.1 Algemeen

Zoals in hoofdstuk 4 al is aangegeven wordt de ontwaterbaarheid van slib door veel parameters beïnvloed. Door één van deze parameters te variëren, namelijk de temperatuur van het slib, is geprobeerd de ontwaterbaarheid van slib te veranderen. Dit proces is gevolgd aan de hand van een groot aantal parameters die in hoofdstuk 4 zijn toegelicht en waarvan de resultaten in hoofdstuk 5 zijn weergegeven.

Om uit te zoeken of het verwarmen van slib en/of PE werkelijk een verbetering is en om de randvoorwaarden vast te stellen voor het implementeren van deze mogelijkheid op rwzi's, is in eerste instantie met een zestal slibsoorten onderzoek uitgevoerd op labschaal. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de slibben niet allemaal gelijk reageren op het verwarmen. Op basis van een beperkt aantal in beschouwing genomen parameters konden de verschillen tussen de slibben niet worden verklaard. Het onderzoek is daarop uitgebreid met een zestal extra slibben en extra parameters.

Aan de hand van de in het voorgaande hoofdstuk gepresenteerde resultaten van alle metingen tezamen, blijkt dat het effect van het verwarmen van slib niet eenduidig is te verklaren op basis van de gemeten parameters. Om een mogelijke verklaring te vinden voor de gevonden waarden zijn de gemeten parameters onderling vergeleken.

Alvorens in te gaan op de onderlinge relaties is in de volgende paragrafen eerst een aantal algemene aspecten behandeld, zoals de onnauwkeurigheid en gevoeligheid van de meetgegevens tijdens het onderzoek, het warm aanmaken van een PE-oplossing, de aangeleverde gegevens van de rwzi's en de vlokvorming.

### 6.2 Onnauwkeurigheden in de analyses

Bij het bepalen van de waarde van een parameter dient rekening te worden gehouden met het feit dat fouten in de analyses kunnen worden gemaakt. Hierbij worden zowel systematische als willekeurige fouten onderscheiden. Systematische fouten worden veroorzaakt door de meetmethode zelf. Ieder meetapparaat bezit een bepaalde gevoeligheid ten aanzien van de te meten grootte. Indien een meetwaarde de ondergrens van het bereik van de meter nadert zal de systematische fout groter zijn dan in de situatie dat de waarde van de te meten grootte ruim boven de gevoeligheid ligt van het apparaat.

Willekeurige fouten worden o.a. veroorzaakt door de variaties in omgevingsfactoren en het niet nauwkeurig werken. Een voorbeeld hiervan is het nemen van een monster uit een vat. Indien een vat niet goed is geschud bij het nemen van een monster, zal door het mogelijk niet homogeen zijn van de inhoud een fout in de meting worden veroorzaakt.

Tijdens het onderzoek is getracht de fouten zoveel mogelijk te beperken, maar het is niet uit te sluiten dat er fouten in de analyses zijn gemaakt. Aangezien er met steekmonsters is gewerkt, is de eerste willekeurige fout al geïntroduceerd. Door het herhalen van de handelingen en het middelen van de resultaten is gestreefd naar een zo hoog mogelijke nauwkeurigheid.

### 6.3 PE verwarmen

Uit de praktijk is bekend dat de aanmaak van PE van groot belang is voor de werking ervan en daarmee ook voor de werking van de ontwateringsinstallatie. Zoals uit paragraaf 5.2 blijkt is de in paragraaf 4.2.8 en 4.3 gevolgde methode voor de aanmaak van PE geschikt om een stabiele PE-oplossing te maken, waarvan de viscositeit in de tijd constant is. Ook is gebleken dat het

warm aanmaken van een PE-oplossing niet zinvol is, indien de aanmaakprocedure al zodanig is, dat een stabiele PE-oplossing wordt verkregen.

Door de gevolgde procedure en het standaardiseren van de PE-aanmaak is een methode ontstaan, die het mogelijk maakt om bestaande PE-aanmaakapparatuur te testen op hun werking. Om een PE-aanmaakinstallatie te testen dient onder ideale condities een PE-oplossing te worden aangemaakt. De viscositeit van deze ideaal aangemaakte oplossing is in vergelijking met de viscositeit van het monster uit de te testen installatie een maat voor de werking van de PE-aanmaakinstallatie.

Bij gebruik van een viscositeitsmeter om de aanmaak van een PE-oplossing te testen dient rekening te worden gehouden met feit dat de viscositeit sterk temperatuurafhankelijk is. Ook dient voor ieder PE te worden vastgesteld bij welke afschuifsnelheid moet worden gemeten.

#### 6.4 Gegevens van de rwzi's

Bij het tweede deel van het uitgevoerde onderzoek is getracht inzicht te krijgen in de gegevens van de bij het onderzoek betrokken rwzi's en de behaalde ontwateringsresultaten (zie bijlage 1). Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de wijze waarop de resultaten beschikbaar zijn zich nauwelijks lenen voor een goede bestudering van de eventuele relaties die bestaan tussen de verschillende parameters. Vanwege het feit dat in de aëratietanks en in de eventuele gistingstanks lange sibleeftijden/verblijftijden voorkomen, dient bij bestudering van de gegevens rekening te worden gehouden met de maanden vòòr de meetdag(en). Op veel rwzi's worden de gegevens nog handmatig bijgehouden, waarna de gegevens (samengevat) worden verwerkt. Veel details van metingen gaan hierdoor verloren, zodat het achteraf moeilijk is vast te stellen wat wanneer heeft plaatsgevonden.

Zoals in tabel 2, paragraaf 5.4 is te zien komen grote variaties voor in de voor het onderzoek gebruikte steekmonsters en de jaarlijks gemiddelde waarden, maar ook in twee opeenvolgende waarden van steekmonsters. De oorzaak hiervan is niet te achterhalen, zonder (alle) afzonderlijke meetgegevens te verwerken. Bij het uitvoeren van slibstudies zou eerst moeten worden nagegaan tot in welk detail gegevens en resultaten nodig zijn over de werking van de rwzi's en of deze ook voorhanden zijn.

#### 6.5 Vlokvorming

Snelle vlokvorming en een grote stabiliteit zijn cruciaal voor een goede ontwaterbaarheid. Als de vlokvorming slecht verloopt en/of een stabiele vlok wordt nauwelijks gevormd, zal de ontwatering van het slib niet goed verlopen. Deze redenering kan echter niet zonder meer worden omgedraaid. Een slechte ontwatering betekent niet automatisch een slechte vlokvorming en/of een nauwelijks stabiele vlok. Zo is de vlokvorming van het slib van de rwzi De Bilt bij 20 en 35°C erg goed, maar is het slib erg slecht ontwaterbaar (§ 5.9).

Bij de slibben waar een betere vlokvorming wordt waargenomen bij een hogere temperatuur, wordt ook een betere ontwaterbaarheid waargenomen (anaëroob gestabiliseerd slib van de rwzi De Grootte Lucht, aëroob gestabiliseerd slib rwzi Maastricht en ingedikt slib van de rwzi Woudenberg). Andersom geldt dat bij een hogere temperatuur en een slechtere vlokvorming het drogestofgehalte van de slibkoek afneemt.

Dit betekent dat aan de hand van de vlokvorming bij verschillende temperaturen al een eerste indicatie kan worden verkregen op de vraag of het verwarmen van het slib een positieve bijdrage levert aan de ontwaterbaarheid. Als de vlokvorming duidelijk verbetert, kan worden aangenomen dat het drogestofgehalte van het ontwaterde slib ook zal verbeteren. Indien de vlokvor-

ming bij hogere temperaturen duidelijk slechter verloopt dan bij lagere temperaturen kan worden aangenomen dat het verwarmen van het slib niet zinvol is. Bij die rwzi's, waarvan de vlokvorming tijdens de temperatuurverhoging nauwelijks verandert, zal met behulp van ontwateringstesten de verbetering van ontwaterbaarheid moeten worden vastgesteld.

Aan de hand van de vlokvorming is het dus mogelijk om op een relatief eenvoudige wijze vast te stellen of het verhogen van de temperatuur een positieve bijdrage levert aan de ontwaterbaarheid van slib. Het verbeteren van de vlokvorming is echter geen randvoorwaarde waaraan moet worden voldaan om bij hogere temperaturen een beter ontwaterbaar slib te realiseren.

De vlokvorming wordt beïnvloed door het type PE, de aanmaak van de PE-oplossing en het mengen van het slib met de PE-oplossing. Door het hanteren van een gestandaardiseerde methode, zoals beschreven in hoofdstuk 4, kunnen de effecten op de vlokvorming van deze parameters worden getest.

## 6.6 De ontwaterbaarheid van slib in relatie met de diverse parameters

Voor ieder slib bestaat een relatie tussen het asgehalte en het drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Deze relatie was/is echter niet zonder meer te gebruiken om verschillende slibben met elkaar te vergelijken. In deze paragraaf is getracht de resultaten van de diverse metingen in relatie te brengen met de ontwaterbaarheid van slib teneinde een verklaring te vinden voor de gemeten effecten. Met de meetgegevens zijn vele combinaties van parameters te maken, waarbij de onderlinge relatie kan worden vastgesteld. Van de vele mogelijke combinaties van parameters zijn de volgende relaties nader in beschouwing genomen:

- drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de asrest;
- drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de aërobe en anaërobe slibleeftijd;
- drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de deeltjesgrootte;
- drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de totaal extraheerbare hoeveelheid vet;
- slibbelasting versus de deeltjesgrootte;
- slibleeftijd versus de deeltjesgrootte;
- viscositeit versus de deeltjesgrootte;
- viscositeit versus de asrest;
- viscositeit versus de concentratie van het in behandeling genomen slib.

Deze negen relaties zijn in bijlage 7 grafisch weergegeven. Bij de weergave van de grafieken is uitgegaan van de resultaten bij 20°C en is er een onderscheid gemaakt in de resultaten van de aërobe en anaërobe slibben.

### *Drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de asrest*

Tussen drogestofgehalte en asgehalte bestaat voor de anaërobe slibben een duidelijke relatie. Voor de aërobe slibben is deze relatie er niet.

### *Drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de aërobe en anaërobe slibleeftijd*

Tussen drogestofgehalte van het ontwaterde slib en de aërobe en anaërobe slibleeftijd is geen duidelijke relatie geconstateerd. Met de nodige voorzichtigheid kan worden gesteld dat een hogere aërobe slibleeftijd een gunstig effect heeft op de ontwaterbaarheid.

### *Drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de deeltjesgrootte*

De derde grafiek in bijlage 7 laat zien dat de deeltjesgrootte niet van invloed is op het realiseren van een hoger drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Wel blijkt uit de grafiek dat de gemiddelde deeltjesdiameter van anaëroob gestabiliseerd slib over het algemeen kleiner is dan die van aëroob gestabiliseerd slib. Het (van tevoren) verkleinen van de slibdeeltjes levert geen beter ontwaterbaar slib op.

### ***Drogestofgehalte van het ontwaterde slib versus de totaal extraheerbare hoeveelheid vet***

Op basis van de gegevens, zoals in de vierde grafiek van bijlage 7 zijn weergegeven, is er geen relatie tussen het totaal extraheerbare vetgehalte van slib en het drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Dit geldt ook voor het vrije vet en het vetzuurgehalte. Deze uitkomst komt niet overeen met de door velen geaccepteerde gedachte dat hogere vetgehalten leiden tot lagere drogestofgehalten van het ontwaterde slib.

### ***Slibbelasting versus deeltjesgrootte***

Er is geen relatie tussen de deeltjesgrootte en de slibbelasting, zoals uit de vijfde figuur van bijlage 7 blijkt. De veronderstelling dat (ultra)laagbelaste systemen grotere deeltjes hebben door de meer open vlokstructuur dan hoogbelaste, kan niet worden bevestigd op basis van de in dit onderzoek vergaarde gegevens.

### ***Slibleeftijd versus deeltjesgrootte***

In de zesde grafiek staan alle aërobe en anaërobe slibleeftijden uitgezet tegen de deeltjesgrootte. Ook hier is geen duidelijke relatie waarneembaar tussen de beide parameters. Langere slibleeftijden en daarmee een verdergaande mineralisatie betekent dus niet dat er kleinere deeltjes worden gevormd.

### ***Viscositeit versus deeltjesgrootte***

Voor het aëroob en in mindere mate voor het anaëroob gestabiliseerde slib geldt dat er een zekere relatie bestaat tussen de deeltjesgrootte en de viscositeit. Op grond van het beperkt aantal metingen kunnen hier echter geen harde conclusies aan worden verbonden.

### ***Viscositeit versus asrest***

Voor zowel het aërobe als het anaërobe slib geldt dat de anorganische fractie van de slibdeeltjes niet bepalend is voor de viscositeit.

### ***Viscositeit versus concentratie van het in behandeling genomen slib***

Afgezien van de deeltjesgrootte kan worden verwacht dat ook de concentratie van het slib van belang is voor de viscositeit. Uit grafiek 9 kan dit verband echter niet worden afgeleid. Tot ca. 30 g/l speelt de slibconcentratie geen rol bij de viscositeitsbepaling.

### ***Drogestof versus microscopisch beeld (niet afgebeeld)***

De relatie ontwaterbaarheid en microscopisch beeld is op grond van de beperkte informatie niet vast te stellen. Ook het effect op een slibvlok na verwarming kon niet worden voorspeld op basis van een microscopische beoordeling. Wel lijkt het aantal losse cellen bij hogere temperaturen toe te nemen.

Op grond van de gegeven relaties blijkt dat slechts tussen het drogestofgehalte en de asrest bij anaërobe slibben een duidelijk verband bestaat. Alle andere combinaties van parameters geven geen eenduidig beeld, zodat niet kan worden geconcludeerd dat er een (duidelijk) verband tussen twee parameters bestaat.

Uit het voorgaande blijkt dat het vaststellen van de relaties niet mogelijk is op basis van enkele steekmonsters bij diverse slibben. Ondanks het feit dat de er grote zorg is besteed aan individuele monsters en dat de metingen zorgvuldig zijn geanalyseerd op fouten en onnauwkeurigheden, blijken er per soort slib grote verschillen voor te komen tussen de steekmonsters uit de verschillende perioden. Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan worden vastgesteld dat het verwarmen van slib geen eenduidige verbetering van de ontwaterbaarheid geeft. Voor ieder slib dient een eventuele verbetering apart te worden vastgesteld. Hierbij dienen meerdere



(steek)monsters te worden getest. Indien uit vlokformings- en ontwateringstesten naar voren is gekomen dat het verwarmen van slib een positief effect heeft op het ontwateringsresultaat, zal met een kosten-batenanalyse moeten worden aangetoond dat met het verwarmen van slib een reductie van de slibontwateringskosten mogelijk is. In de volgende paragraaf is een voorbeeld uitgewerkt.

## **6.7 Voorbeeld van de kosten en baten van een praktijkinstallatie**

In bijlage 8 is een voorbeeld uitgewerkt voor een rwzi van 150.000 i.e., waarbij is uitgegaan van een eenvoudige losstaande warmtewisselaar voor het verwarmen van slib. Aan de hand van de opgesomde uitgangspunten en benodigde onderdelen is een globale berekening gemaakt voor de investeringen en besparingen bij het verwarmen van slib.

Zoals uit bijlage 8 blijkt is bij een rwzi van 150.000 i.e. een permanente verbetering van het drogestofgehalte nodig van circa 3 % om de kosten voor een verwarmingsinstallatie terug te verdienen binnen een periode van 10 jaar. Een dergelijke verbetering van het drogestofgehalte zal slechts bij enkele rwzi's kunnen worden gerealiseerd met behulp van het verwarmen van slib. In de berekening is geen rekening gehouden met het bestrijden van de eventuele geurproblemen, die kunnen ontstaan bij het verwarmen van slib.

Zoals in de inleiding is beschreven was de doelstelling van de studie het testen van het effect van slib- en/of PE-verwarmen op de ontwaterbaarheid van slib. Aan de hand van een literatuurstudie en laboratoriumtesten met 12 verschillende slibben is duidelijk geworden dat het effect van verwarmen niet eenduidig is voor ieder slib. Het effect dient voor iedere rwzi apart te worden vastgesteld, omdat slechts bij een beperkt aantal slibben het verwarmen een positief effect heeft. Op grond van het uitgevoerde onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er is vrijwel geen (goed gedocumenteerde) ervaring met het verwarmen van slib en/of PE beschikbaar.
- Het verwarmen van slib is geen algemeen toepasbare methode voor het verbeteren van de ontwaterbaarheid van slib. Bij sommige slibben levert het verwarmen wel een significante verbetering op in ontwateringsresultaten, maar bij andere slibben wordt geen effect waargenomen of zelfs een verslechtering.
- Een indicatie van de kosten laat zien dat voor een rwzi van 150.000 i.e. een verbetering van circa 3 % in drogestofgehalte nodig is om een slibverwarmingsinstallatie aan te schaffen en kostendekkend te bedienen. Hierbij is voor slibtransport en verwerking gerekend met NLG 150,- per ton slib en is geen rekening gehouden met geurbestrijdingsmaatregelen.
- Bij bestudering van de gemeten parameters in relatie tot de ontwaterbaarheid is geen duidelijke relatie gevonden, waarmee de ontwaterbaarheid kan worden voorspeld. Slechts voor anaërobe slibsoorten geldt dat een hoge asrest leidt tot een hoog drogestofgehalte van het ontwaterde slib.
- Een goed aangemaakte PE-oplossing (bij omgevingstemperatuur) heeft dezelfde viscositeit en is even effectief als een PE-oplossing die is aangemaakt bij hogere temperaturen (maximaal 35°C) en afgekoeld tot omgevingstemperatuur. Bij een goede aanmaak is dus geen verwarming van de PE-oplossing nodig. Het warm aanmaken van een PE-oplossing kan wel zinvol zijn bij een niet goed werkende PE-aanmaakinstallatie, zodat (een deel van) de slechte aanmaak teniet wordt gedaan door het beter oplossen van het PE in warm water.
- Het vergelijken van de viscositeit van een PE-oplossing van een praktijkinstallatie met een oplossing verkregen via een gestandaardiseerde PE-aanmaakmethode is een goede methode om de werking van PE-aanmaakapparatuur te testen.
- Het effect van slibverwarmen kan worden beoordeeld aan de hand van de vlokvorming (=snelheid van vorming, vloggrootte en vlokstabiliteit) bij verschillende temperaturen. Indien de vlokvorming bij temperatuurverhogingen beter verloopt dan bij lagere temperaturen, kan worden aangenomen dat in de praktijk ook een hoger drogestofgehalte wordt bereikt na het verwarmen. Andersom geldt dit niet.
- Het goed bijhouden van ontwateringsresultaten in relatie tot de andere gegevens van de rwzi kan leiden tot een beter inzicht in de optimalisatiemogelijkheden van de slibverwerking. Veel details van metingen gaan vooralsnog verloren, zodat het achteraf moeilijk is vast te stellen waardoor bepaalde effecten zijn veroorzaakt.

- [1] Anoniem, Facility uses spiral heat exchanger for four percent increase in cake solids, *Water Engineering & Management*, 1997
- [2] Buysch, H.P., Eindickung von thermisch behandeltem Klärschlamm, Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen sowie von flüssigen bis festen Sonderabfällen unter Berücksichtigung von neuen Forschungsergebnissen und Erfahrungsberichten installierter Anlagen, *Gewässerschutz Wasser Abwasser*, 21, 1976
- [3] EPA, *Sludge Treatment and Disposal*, vol 1, 1978.
- [4] Friedman, A.A., et al, Characteristics of residues from wet air oxidation of anaerobic sludges, *Journal WPCF*, vol. 60 no. 11, pp 1971-1978, 1988.
- [5] Herwijn, A.J.M., Slibkarakterisering en slib-water binding, cursus slibverwerking Stichting Postacademisch Onderwijs en Gezondheidstechniek en Milieutechnologie, 1992
- [6] Huber, J., Mihalyfy, E., Experiences with the pre-pasteurisation of sewage sludge with heat recovery, *Sewage sludge stabilisation and disinfection*, 1984.
- [7] Katsiris, N., Kouzeli-Katziri, A., Bound water content of biological sludges in relation to filtration and dewatering, *Wat. Res.*, vol 21, no.11, pp 1319-1327, 1987.
- [8] Kaufhold, W., Erfahrungen mit der hochtermischen Schlammkonditionierung nach den Porteus-verfahren in Kläranlagen mittlerer Grösse, *Korrespondenz Abwasser* 30, 1983 nr. 11, 828-836, 835-836.
- [9] M'Coy, W.S. et al, *Centrifuge Considerations*, *Water Environment & Technology*, 1994.
- [10] Parkman, C.B.E., Hindmarch, G.N., *Wigan sludge process designs analysis*, 1974
- [11] Reimann, D., Einfluss von Schlammwärmung und organischer Flockmittelzugabe auf TS en CSB im Faulschlammzentrifugat, *Korrespondenz Abwasser*, 3/1983.
- [12] STOWA 98-38, *Handboek slibontwatering*, 1998.
- [13] Tiessens, M., Zellem, J. Van, Nassschlammverbrennung nach dem Zimmerman Verfahren, Überlegungen zur Wahl und Netriebsserfahrungen auf der Kläranlage Apeldoorn/Niederlande Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen sowie von flüssigen bis festen Sonderabfällen unter Berücksichtigung von neuen Forschungsergebnissen und Erfahrungsberichten installierter Anlagen, *Gewässerschutz Wasser Abwasser*, 21, 1976
- [14] Eikelboom, D.H., *Procesbewaking door microscopisch slibonderzoek*, TNO-MEP-R 99/057, 1999.



RWZI	Ontwerp (ie) [Q/136]	Belasting (ie) [Q/136]	Roostervuil [ton/j]	Zand [ton/j]	Primair slib		Spuislib	
					[ds%]	[ton ds/j]	[ds%]	[ton ds/j]
Amersfoort	171.000	164.641			3,5	1.857	4,6	2.133
Bennekom	22.000	17.329					3,3	766
Boscherveld	132.900	122.488					1,5	1.896
De Bilt	91.000	69.253	18	40	3,9	1.014	2,4	477
De Groote Lucht	415.000	306.600			(PS+SS) 3.0	1.765	(PS+SS) 3.0	1.825
Ede primair	300.000	199.616			6,2	2.405		
Ede secundair	300.000	199.616					0,6	1.821
Houtrust	1.700.000	1.610.000	612 m3	327 m3	(PS+SS) 6.6	11.572	(PS+SS) 6.6	5.928
Rhenen	46.000	51.077	18	52			2,4	489
Wijk bij Duurstede	33.000	31.826	34	65			3,6	373
Woudenberg	60.000	35.737					2,8	534
Zeist	99.000	82.685	40	45	3,0	653	1,8	375

RWZI	slibbelasting [kg BZV/kg DS.d]	Slibleeftijd (aer) [d]	SVI [ml/g]	Gloeirest [% ds]	Slibgisting verbliftijd [d]	Slibontwatering		
						toevoer [ds%]	afvoer [ds%]	Gloeirest [%ds]
Amersfoort	0,050	14	111	35	23	2,4	23,0	43
Bennekom	0,030	25	98	27				
Boscherveld	0,029	27	63	44		1,5	22,8	42
De Bilt	0,100	11	160	27	30	3,2	19,0	39
De Groote Lucht	0,028	17	80	35	19	3,0	21,0	48
Ede primair					23	6,2	10,6	38
Ede secundair	0,030	31	130	27	34	0,6	6,9	29
Houtrust	0,430	3,2	124	25	29	4,6	27,9	54
Rhenen	0,060	26	135	26				
Wijk bij Duurstede	0,050	22	129	33		3,6	21,6	26
Woudenberg	0,020	33	99	34				
Zeist	0,050	24	165	23	23	3,0	18,9	35

RWZI	Defosfatering				
	FeCl <sub>3</sub> [ton/j]	FeSO <sub>4</sub> ·7aq [ton/j]	FeClSO <sub>4</sub> [ton/j]	Al [kg/j]	Me/P [mol/mol]
Amersfoort	696				3,50
Bennekom					
Boscherveld		112			
De Bilt	111				
De Groote Lucht	213				
Ede primair					
Ede secundair	31			3.910	0,04
Houtrust			10.462		
Rhenen					
Wijk bij Duurstede					
Woudenberg					
Zeist				2.473	0,10

RWZI	Flocculanten					
	precipitatie		slibindikking		slibontwatering	
	[kg actief/j]	[g/m3]	[kg actief/j]	[g/kg ds]	[kg actief/j]	[g/kg ds]
Amersfoort			14.725	6,9	31.000	10,2
Bennekom						
Boscherveld					24.100	12,7
De Bilt	336	0,08	2.100	5,4	9.128	6,1
De Groote Lucht					34.000	9,5
Ede primair			2.552	2,0		
Ede secundair						
Houtrust	70.000		36.163		62.900	3,4
Rhenen			70	0,1		
Wijk bij Duurstede			450	1,2		
Woudenberg						
Zeist			3.792	10,1	4.224	7,0

BIJLAGE 2 MICROSCOPISCH BEELD VAN DE ONDERZOCCHTE SLIBBEN

RWZI slibsoort	Bennekom aëroob gestabiliseerd	Boscherveld aëroob gestabiliseerd	Rhenen aëroob gestabiliseerd	Wijk bij Duurstede aëroob gestabiliseerd	Woudenberg aëroob gestabiliseerd	Woudenberg aëroob gestabiliseerd (ingedikt)
<b>vlokmorfologie</b>						
- structuur (1) / grootte						
* stevig, afgeronde vlok	compact 1 / middel-groot					compact 1 / klein-middel
* stevige, onregelmatige vlok	open 1 / klein-middel				open 1 / klein-middel	compact 1 / klein-middel
* stevig, met rafelige rand						open 1, compact 1 / klein
* losse, afgeronde vlok	open 2, compact 1 / klein-middel	open 1 / klein-middel	open 1 / zeer klein	open 1 / klein-middel	open 2, compact 1 / klein-middel	
* losse, onregelmatige vlok		goed	goed	goed	goed	goed
- bezinking	matig	helder	helder	helder	helder	helder
- troebeling vloeistof						
<b>micro-organismen</b>						
- draadvormende bacterien (2)	1 (2 soorten)	2 (2 soorten)	2 (3 soorten)	1 (2 soorten)	0-1	1-2
- protozoa-metozoa (3)	1-2 (4 soorten)				0-1	1
* ciliaten	1-2	1	1	1		1
* nematoden						
* rotiferen	1					1
* schaalamoeben					1	1
- flagellaten						
- spirocheten	1					
- spirillen	1					
- schimmels						
<b>diverse kenmerken (4)</b>						
- losse cellen	1	1	1	1	1	
- vezels	0-1				0-1	
- monoculturen	0-1				0-1	1
- diversiteit	groot	matig	matig	matig	groot	groot
<b>opmerkingen</b>						

(1) schaal 0-3 = geen tot honderden cellen per beeld veld

(2) schaal 0-5 = geen tot zeer veel draden

(3) schaal 0-3 = geen tot tientallen cellen per preparaat

(4) schaal 0-3 = geen tot tientallen per preparaat

RWZI	Amersfoort	Amersfoort	Amersfoort	Zeist	Zeist	Zeist
slibsoort	anaëroob gestabiliseerd	primair	aëroob gestabiliseerd	anaëroob gestabiliseerd	primair	aëroob gestabiliseerd
<b>vlokmorfologie</b>						
- structuur (1) / grootte						
* stevig, afgeronde vlok	compact 1 / klein-middel		compact 1 / klein-middel		compact 1 / klein-middel	compact 1 / klein-middel
* stevige, onregelmatige vlok		open 1 / klein	open 1 / klein-middel	open 1 / klein-middel		
* stevig, met rafelige rand			compact 1 / klein-middel		compact 1 / klein	compact 1 / klein
* losse, afgeronde vlok						open 1, compact 1 / klein
* losse, onregelmatige vlok	open 1, compact 1 / klein-middel	open 2, compact 1 / klein	open 2, compact 1 / klein-middel	open 2, compact 1 / klein-middel	open 1, compact 1 / klein-middel	open 1, compact 1 / klein-middel
- bezinking	goed	matig	redelijk	slecht	slecht	slecht
- troebeling vloeistof	licht troebel	troebel	helder	-	-	troebel
<b>micro-organismen</b>						
- draadvormende bacterien (2)		0-1	0-1	0-1		1
- protozoa-metozoa (3)						
* ciliaten		1	2	0-1		1
* nematoden			0-1		0-1	1
* rotteren			1			1
* schaalamoeben		1	2	2	2	1
- flagellaten						
- spirocheten						
- spirlen						
- schimmels						
<b>diverse kenmerken (4)</b>						
- losse cellen		1	1	1		
- vezels	2				2	
- monoculturen						
- diversiteit	matig	matig	groot	matig	matig	groot
<b>opmerkingen</b>						

- (1) schaal 0-3 = geen tot honderden cellen per beeld veld  
(2) schaal 0-5 = geen tot zeer veel draden  
(3) schaal 0-3 = geen tot tientallen cellen per preparaat  
(4) schaal 0-3 = geen tot tientallen per preparaat

# MALVERN Instruments SB.8B

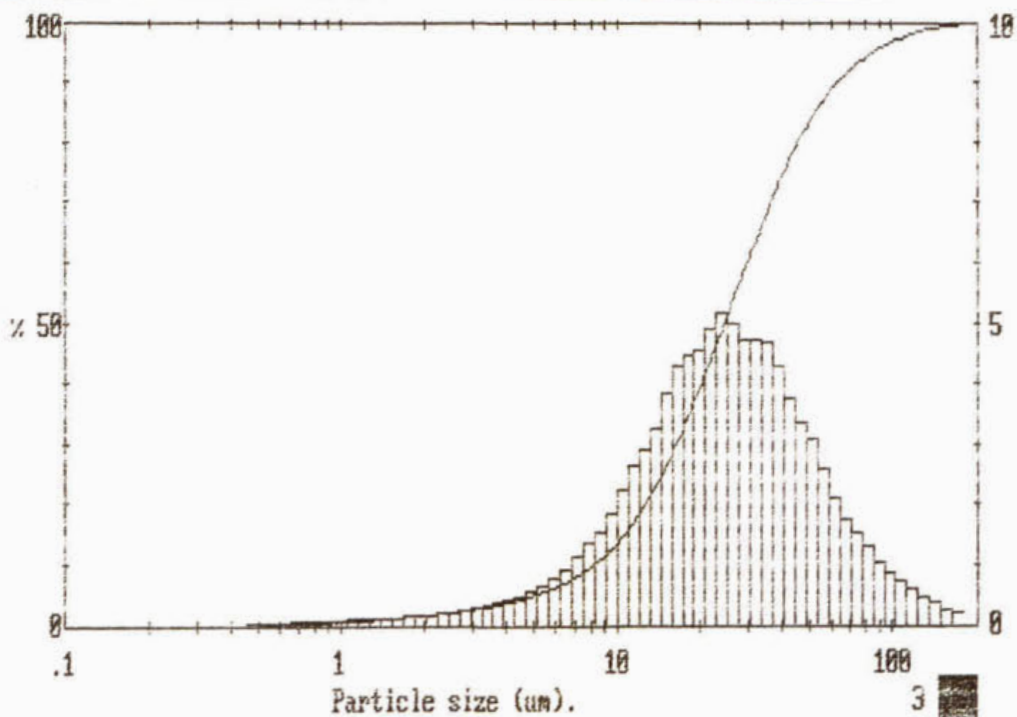
Reticle s/n 294 ,Mastersizer-E s/n 7007 ,Alfa Laval Maarsse  
 Houtrust, uitgegist slib

Dispersant : kraanwater  
 Additives : None  
 Ultrasound : None  
 Pump speed : 1000  
 Stir speed : 1000  
 Notes : None

Voorbeeld bij brandpuntsafstand van 100 nm (Houtrust slib)

7007 stnd lhw510m

Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				39.4	9.5	32.3	64.7	3.95	0.7	3.27	3.1	2.24
				32.3	9.7	26.7	54.9	3.27	0.6	2.70	2.5	D[4,3]
				26.7	10.5	22.0	44.5	2.70	0.5	2.23	2.0	31.49µm
				22.0	9.4	18.2	35.1	2.23	0.4	1.84	1.6	
180	0.5	149	99.5	18.2	8.7	15.1	26.4	1.84	0.3	1.52	1.3	D[3,2]
149	0.9	123	95.6	15.1	8.7	12.4	19.7	1.52	0.3	1.26	1.0	12.99µm
123	1.5	103	97.1	12.4	5.3	10.3	14.4	1.26	0.2	1.04	0.8	
102	2.1	83.9	95.0	10.3	3.7	8.48	10.6	1.04	0.2	0.86	0.6	D[2,1]
83.9	3.1	59.3	92.0	8.48	2.7	7.01	7.9	0.86	0.2	0.71	0.4	52.77µm
59.3	4.2	47.3	87.8	7.01	1.8	5.79	6.1	0.71	0.1	0.59	0.3	
47.3	5.1	39.1	81.7	5.79	1.3	4.79	4.8	0.59	0.1	0.48	0.1	D[1,0.1]
	7.5		74.1	4.79	1.0	3.95	3.8	0.48	0.1	0.20	0.0	8.15µm
Source = :Sample				Beam length = 2.2 mm				Model indep				D[1,0.5] 24.38µm
Focal length = 100 mm				Residual = 1.761 %				Value Conc. = 0.0448%				
Presentation = stnd				Obscuration = 0.2002				Sp.S.A 0.4197 m <sup>2</sup> /ga.				



Alfa Laval



# MALVERN Instruments SE.9B

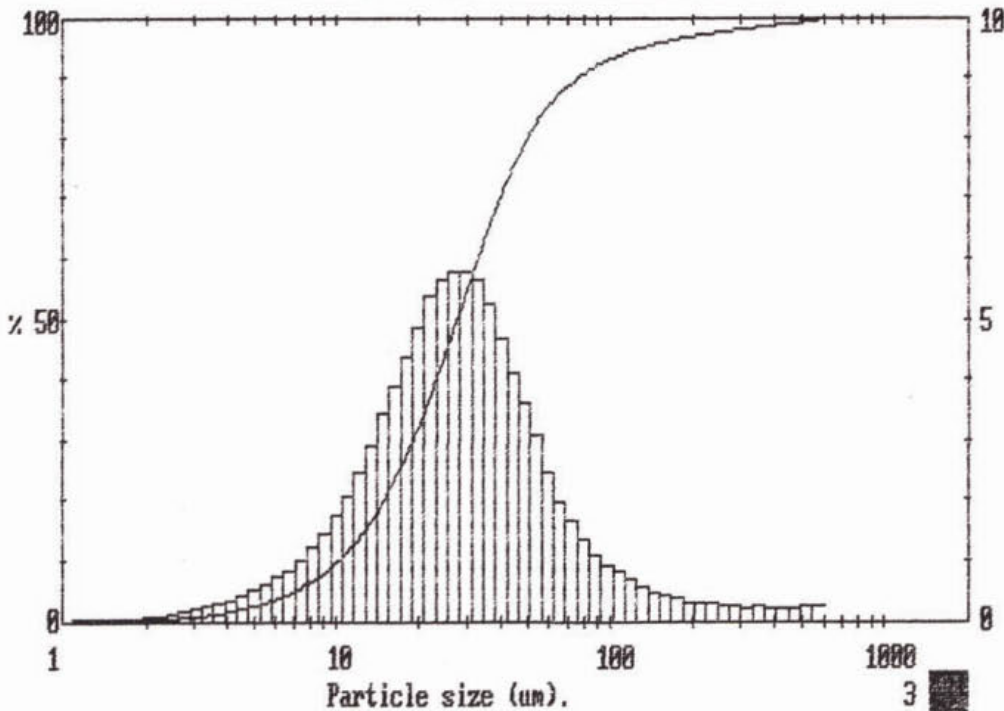
Reticle s/n 294 ,Mastersizer-E s/n 7007 ,Alfa Laval Maarsen  
Houtrust, slib

Dispersant : kraanwater  
Additives : None  
Ultrasound : None  
Pump speed : 5  
Stir speed : 2  
Notes : None

Voorbeeld bij brandpuntsafstand van 300 nm (Houtrust slib)

7007 stnd lhw510a

Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				124	1.5	101	93.4	11.6	3.8	9.48	8.7	2.38
				101	2.1	83.3	91.4	9.48	2.7	7.78	6.1	D[4,3]
				83.3	3.1	68.3	88.3	7.78	1.9	6.39	4.2	43.67µm
				68.3	4.5	56.1	83.8	6.39	1.4	5.24	2.9	
500	0.6	492	99.4	56.1	6.8	46.0	77.0	5.24	1.0	4.30	1.9	D[3,2]
492	0.5	404	99.0	46.0	8.8	37.8	68.2	4.30	0.7	3.53	1.2	19.01µm
404	0.5	332	98.5	37.8	11.0	31.0	57.2	3.53	0.4	2.90	0.8	
332	0.5	272	98.0	31.0	11.6	25.5	45.6	2.90	0.3	2.38	0.5	D[V, 0.9]
272	0.6	224	97.4	25.5	11.1	20.9	34.6	2.38	0.2	1.95	0.3	75.54µm
224	0.6	183	96.8	20.9	9.3	17.1	25.3	1.95	0.1	1.60	0.2	
183	0.8	151	96.0	17.1	7.3	14.1	18.0	1.60	0.1	1.32	0.1	D[V, 0.1]
151	1.1	124	95.0	14.1	5.4	11.6	12.6	1.32	0.1	0.50	0.0	10.20µm
Source = :Sample				Beam length = 2.2 mm				Model indp				D[V, 0.5] 27.44µm
Focal length = 300 mm				Residual = 0.858 %				Volume Conc. = 0.0593%				
Presentation = stnd				Obscuration = 0.1940				Sp. S.A 0.2870 m <sup>2</sup> /gm.				
				Volume distribution								



Alfa Laval

Viscositeit van de verschillende slibsoorten bij verschillende temperaturen

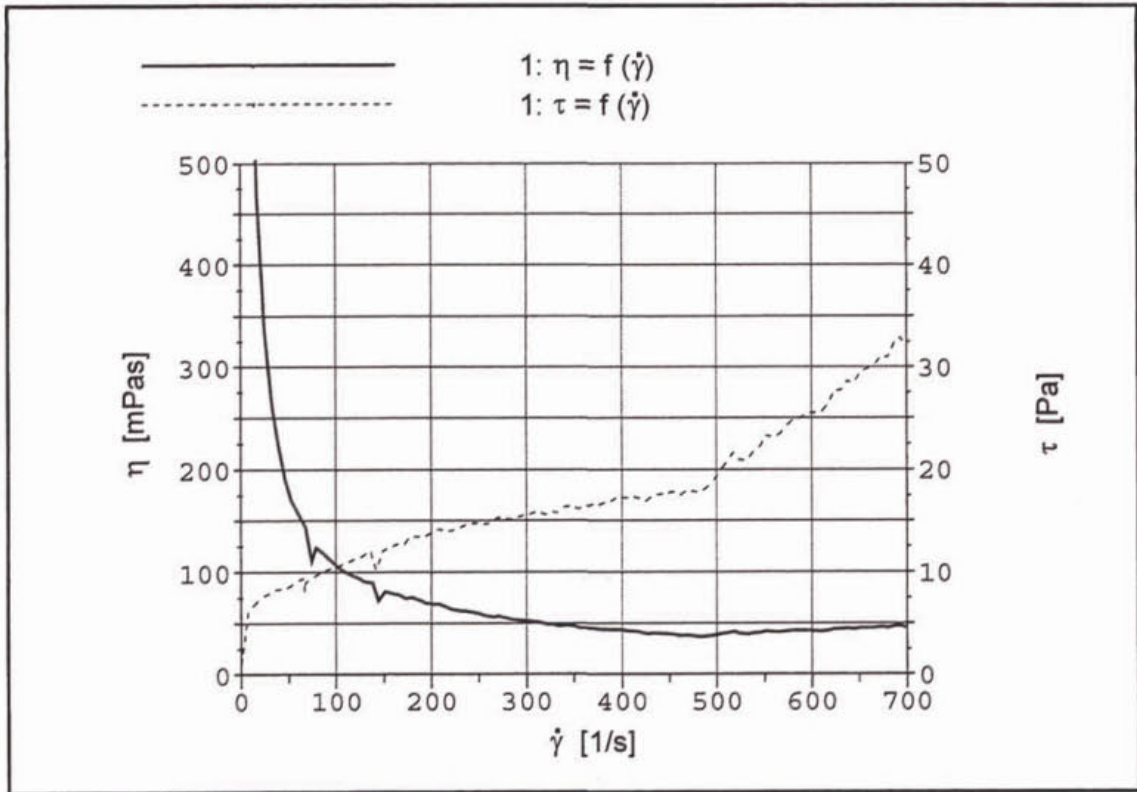
rwzi's met een anaerobe slibstabilisatie

rwzi	soort slib	temperatuur	DS-gehalte	$\gamma$ bij minimale $\eta$	minimale $\eta$	$\eta$ range	aanlooppiek
		[°C]	[g/l]	[1/s]	[mPa.s]	bij $\gamma$ van ca. 200 - 700 [1/s] [mPa.s]	[mPa.s]
Amersfoort	mengsel PS+SS	20	26,6	190	12	27	50
		35	26,6	150	10	27	50
		50	26,6	150	8	27	-
Amersfoort	uitgegist	20	22,1	180	10	25	140
		35	22,1	200	12	27	120
		50	22,1	180	12	25	80
De Bilt	uitgegist	20	18,6	225	14	25	87
		35	18,6	160	9	25	93
		50	18,6	140	8	24	48
De Groote Lucht	uitgegist	20	23,4	250	14	25	180
		35	23,4	240	16	30	130
		50	23,4	240	16	30	190
Ede	uitgegist PS	20	20,9	300	20	31	275
		35	20,9	350	25	37	340
		50	20,9	350	20	32	300
Ede	uitgegist SS	20	25,7	275	23	33	200
		35	25,7	225	21	30	650
Houtrust	mengsel PS+SS	35	17,2	300	17	28	250
		50	17,2	300	17	27	330
Houtrust	uitgegist	20	23,3	300	19	30	170
		35	23,3	300	19	30	230
		50	23,3	200	13	25	90
Zeist	mengsel PS+SS	20	25,1	300	21	31	220
		35	25,1	275	18	31	260
		50	25,1	250	17	30	270
Zeist	uitgegist	20	16.8/16.1	325/400	24/26	38/38	280/550
		35	16.8/16.1	300/400	22/27	39/39	260/450
		50	16.8/16.1	300/330	22/25	36/35	320/430

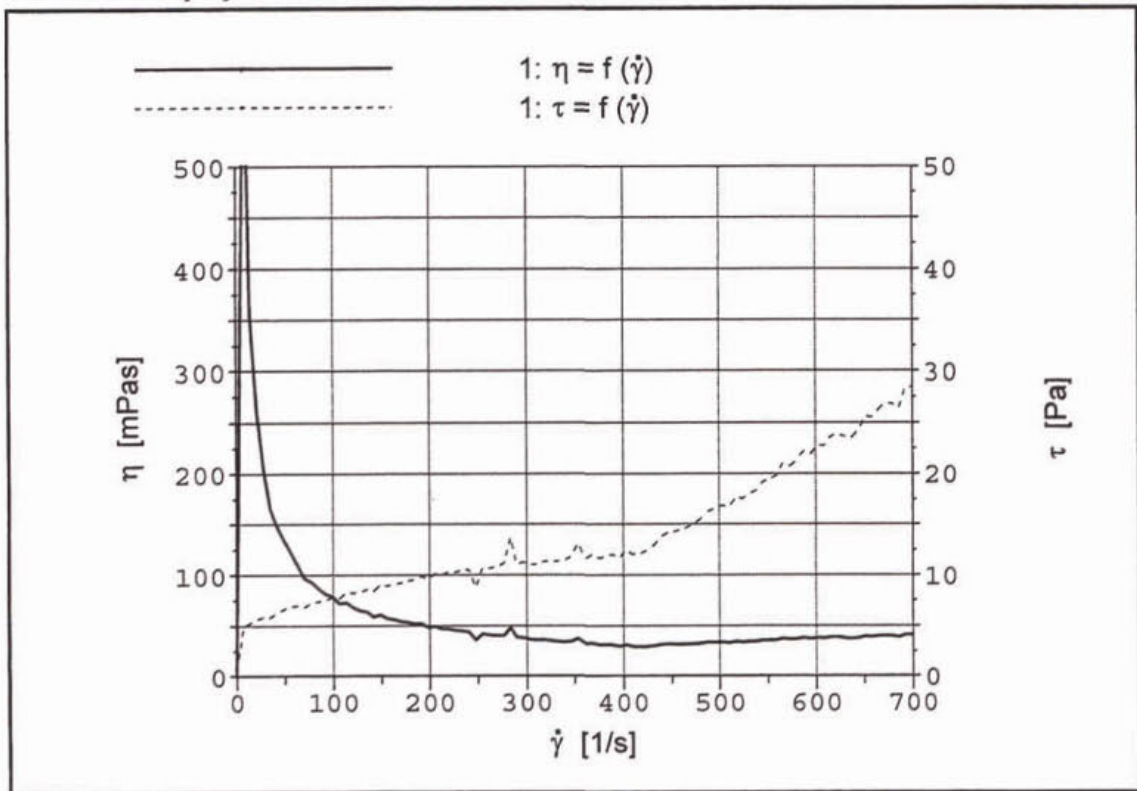
rwzi's met een simultaan aerobe slibstabilisatie

rwzi	soort slib	temperatuur	DS-gehalte	$\gamma$ bij minimale $\eta$	minimale $\eta$	$\eta$ range	aanlooppiek
		[°C]	[g/l]	[1/s]	[mPa.s]	bij $\gamma$ van ca. 200 - 700 [1/s] [mPa.s]	[mPa.s]
Bennekom	aerob gestab.	20	11.9/12.9	100/150	7/10,5	25	60
		35	11.9/12.9	100/150	7/10,5	25	54
		50	11,9	100	8	26	64
Bosscherveld	aerob gestab.	20	15,1	500	37	46	1400
		35	15,1	400	30	40	650
		50	15,1	350	26	39	500
Rhenen	aerob gestab.	20	19,1	320	21	30	375
		35	19,1	320	20	30	430
		50	19,1	250	16,5	26	250
Wijk bij Duurstede	aerob gestab.	20	18	300	19	34	155
		35	18	250	16	33	145
		50	18	225	16,5	32	175
Woudenberg	aerob gestab.	20	12,2	90	7	25	65
		35	12,2	100	7	26	61
		50	12,2	95	5,5	28	61
Woudenberg	ingedikt aerob	20	18,7	125	6,5	27	38
		35	18,7	100	6	27	47
		50	18,7	100	5	30	58

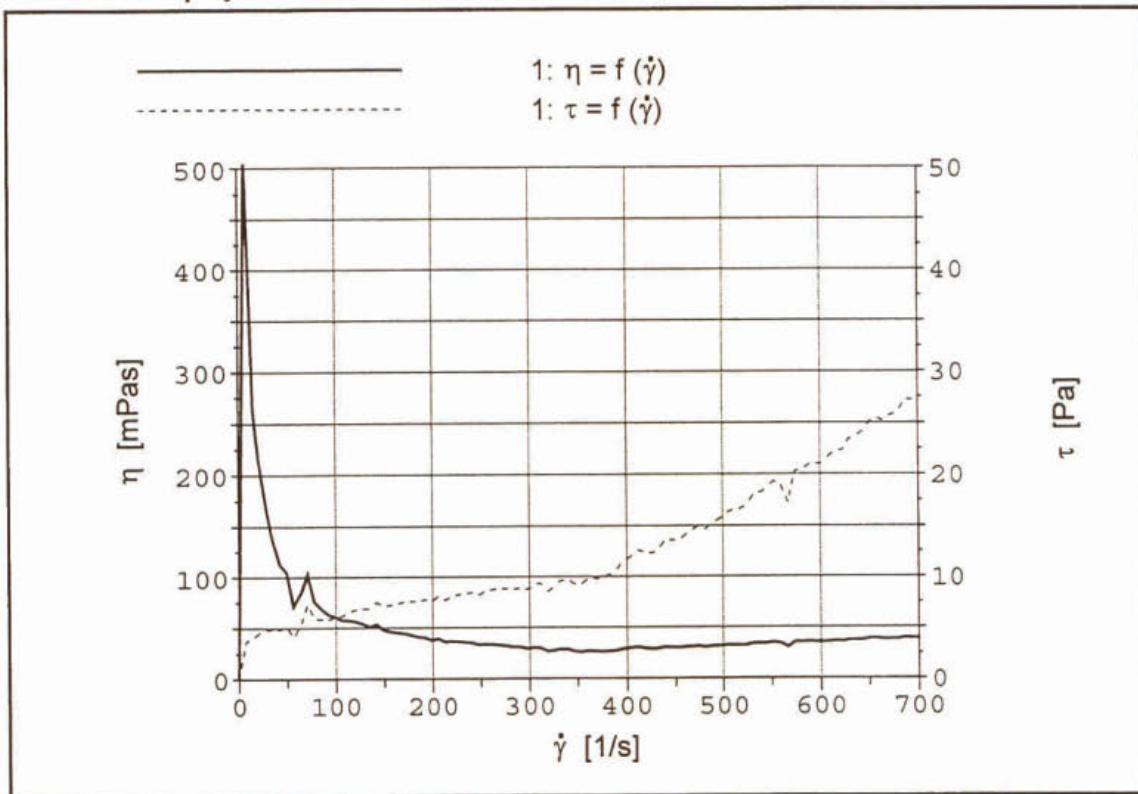
Viscositeitsverloop bij 20°C van het slib van de rwzi Bosscherveld



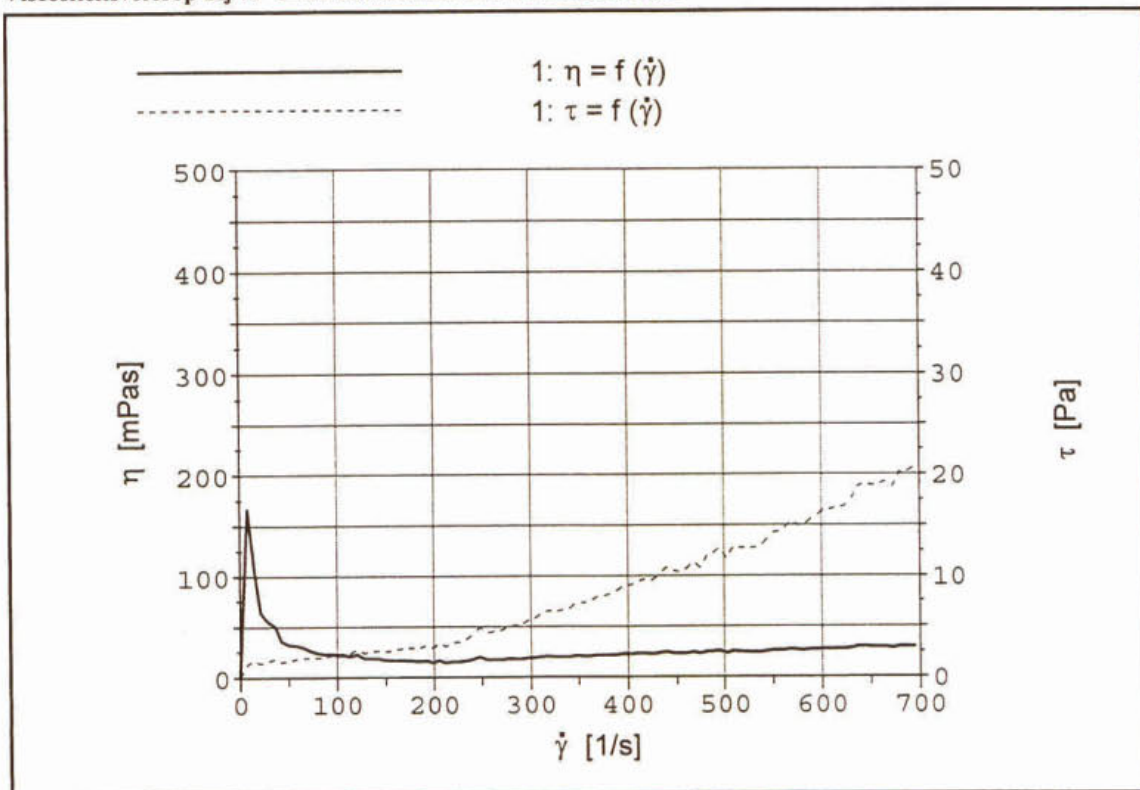
Viscositeitsverloop bij 35°C van het slib van de rwzi Bosscherveld



Viscositeitsverloop bij 50°C van het slib van de rwzi Bosscherveld



Viscositeitsverloop bij 70°C van het slib van de rwzi Bosscherveld

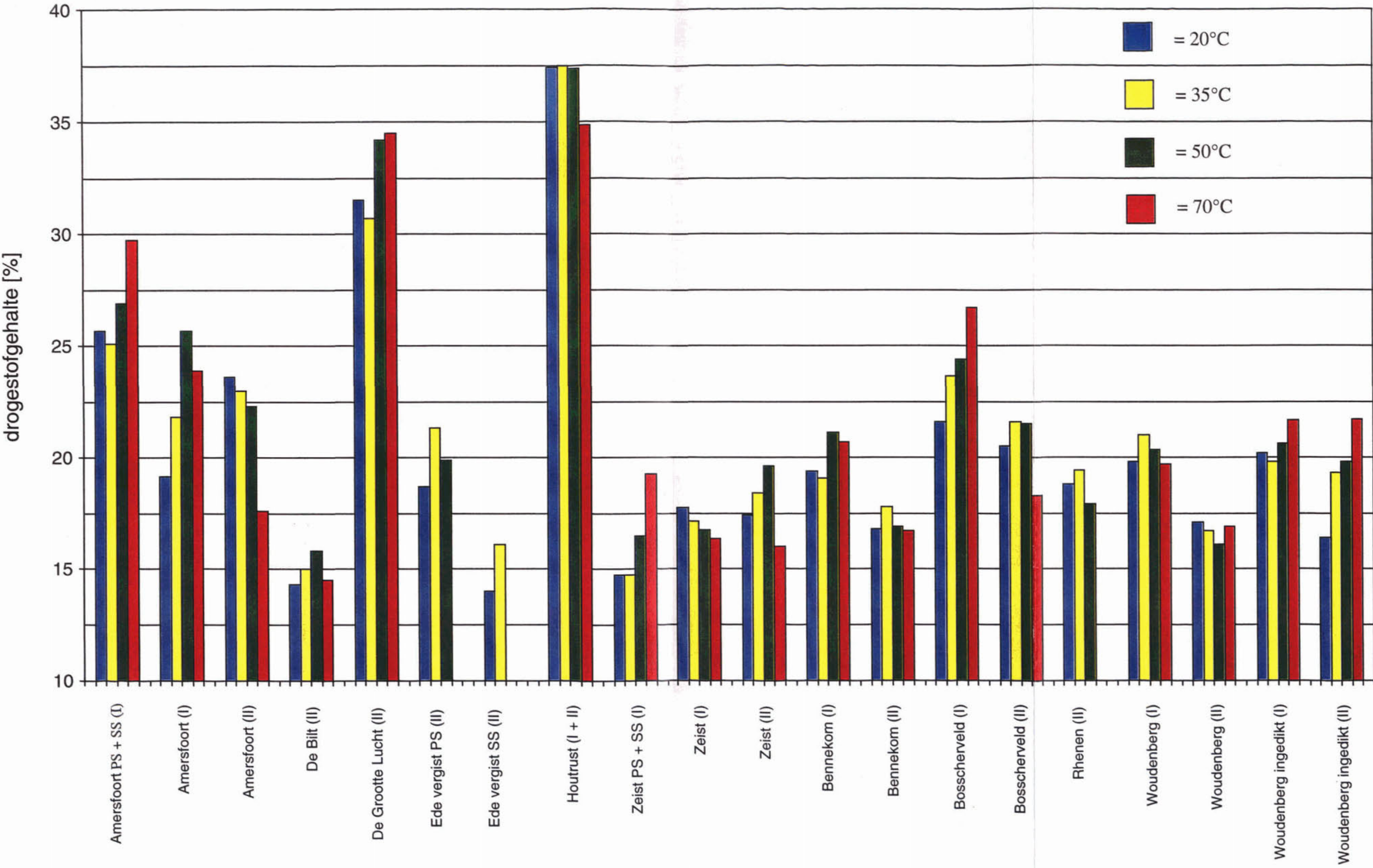


De grootte en stabiliteit van de gevormde slibvlokken

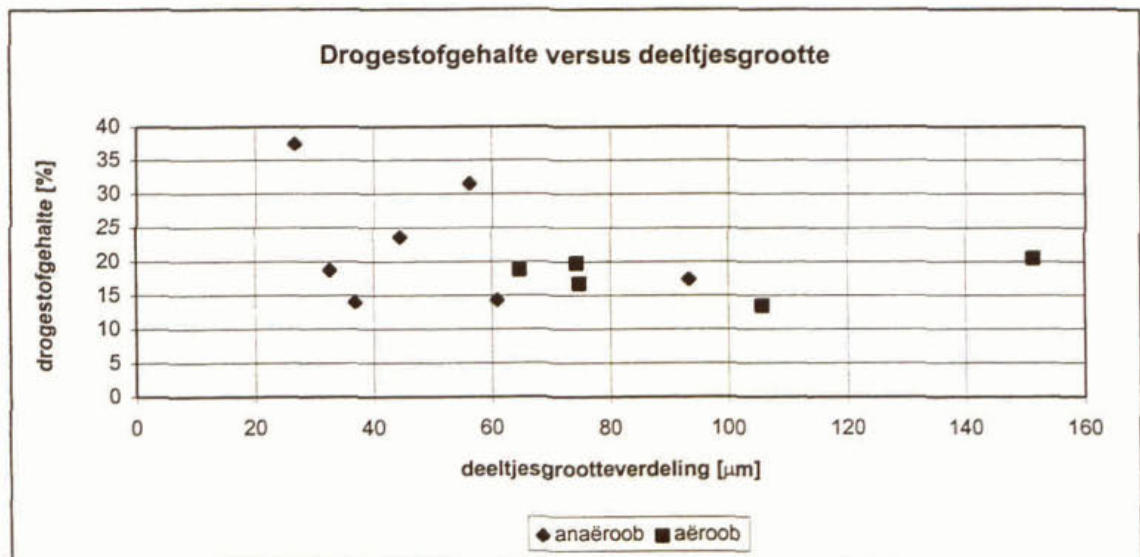
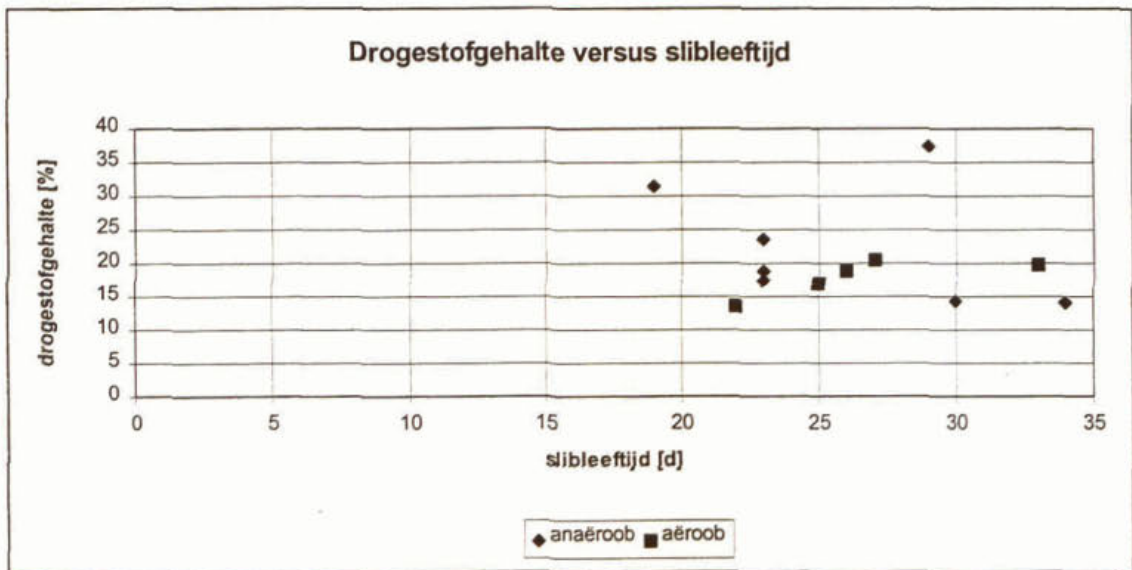
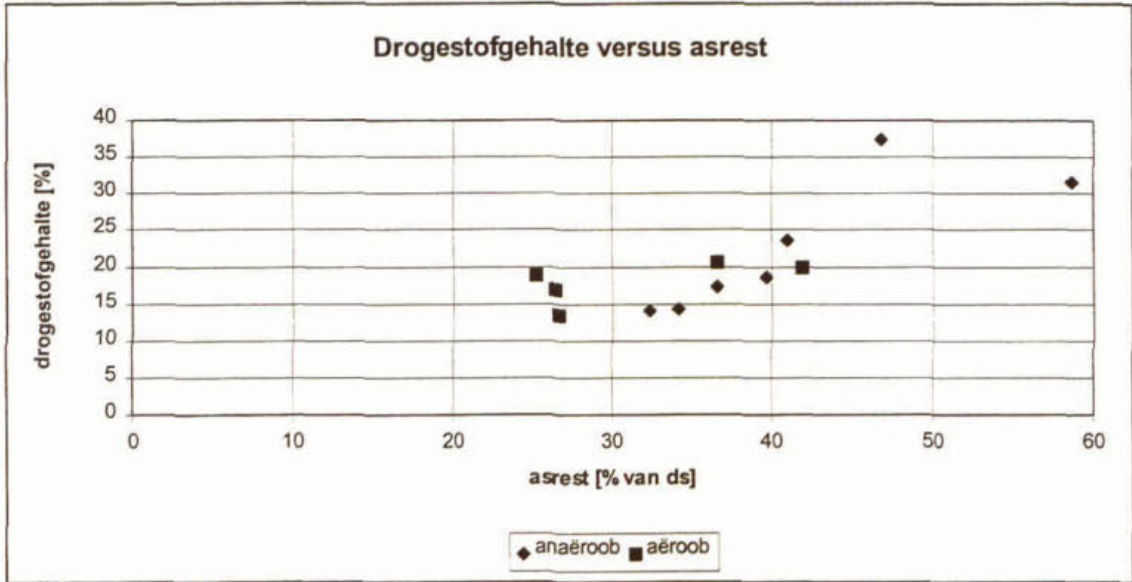
rwzi	slibsoort	temperatuur [°C]	PE-dosering [g act. PE/kg ds]	vlokvorming*
Amersfoort	anaëroob gestabiliseerd	20	12	4
		35	12	4
		50	12	3
		70	15	2
De Bilt	anaëroob gestabiliseerd	20	12	5
		35	12	5
		50	12	4
		70	12	3
De Groote Lucht	anaëroob gestabiliseerd	20	12	5
		35	12	4
		50	12	5
		70	12	5
Ede primair	anaëroob gestabiliseerd	20	12	3
		35	12	4
		50	12	4
		70	15	2
Ede secundair	anaëroob gestabiliseerd	20	16	3
		35	16	2
		50	17	1
		70	19	1
Houtrust (Den Haag)	anaëroob gestabiliseerd	20	12	4
		35	12	4
		50	12	4
		70	12	4
Zeist	anaëroob gestabiliseerd	20	12	5
		35	12	4
		50	12	3
		70	12	2
Bennekom	aëroob gestabiliseerd	20	12	3
		35	12	4
		50	12	4
		70	12	4
Bosscherveld (Maastricht)	aëroob gestabiliseerd	20	10	3
		35	10	3
		50	10	4
		70	10	4
Rhenen	aëroob gestabiliseerd	20	12	2
		35	12	3
		50	12	4
		70	12	2
Wijk bij Duurstede	aëroob gestabiliseerd	20	12	2
		35	12	3
		50	12	4
		70	12	3
Woudenberg	aëroob gestabiliseerd	20	12	4
		35	12	3
		50	13	2
		70	17	3
	aëroob gestabiliseerd (ingedikt)	20	12	3
		35	12	4
		50	12	4
		70	12	4

\* = beoordeling van de vloggrootte en de vlogstabiliteit (§ 4.2.9), waarbij 1 een kleine onstabiele vlok is en 5 een grote stevige vlok.

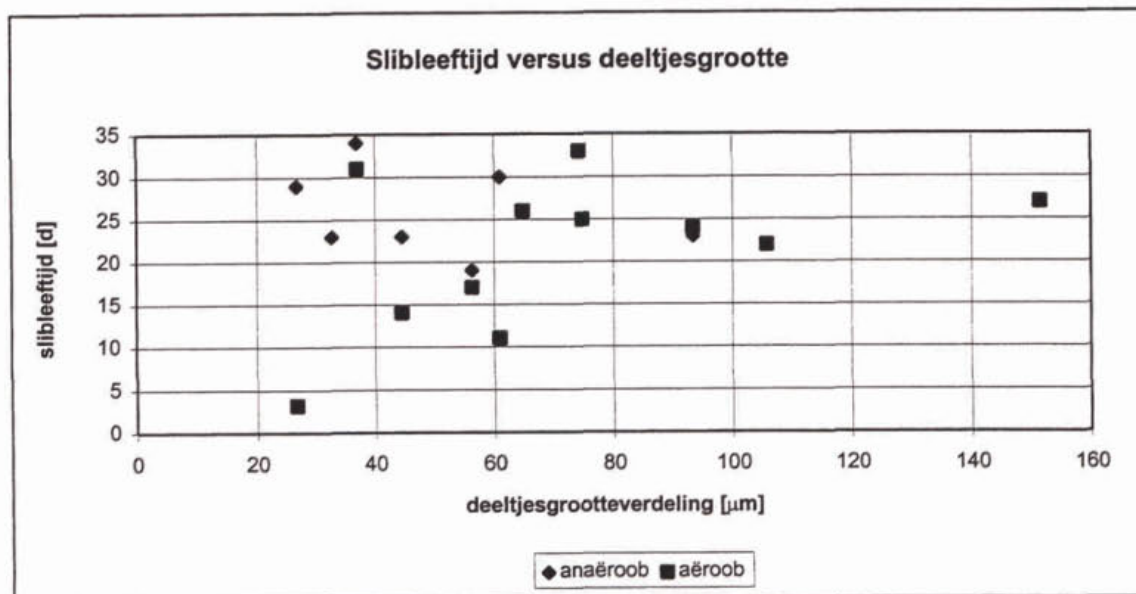
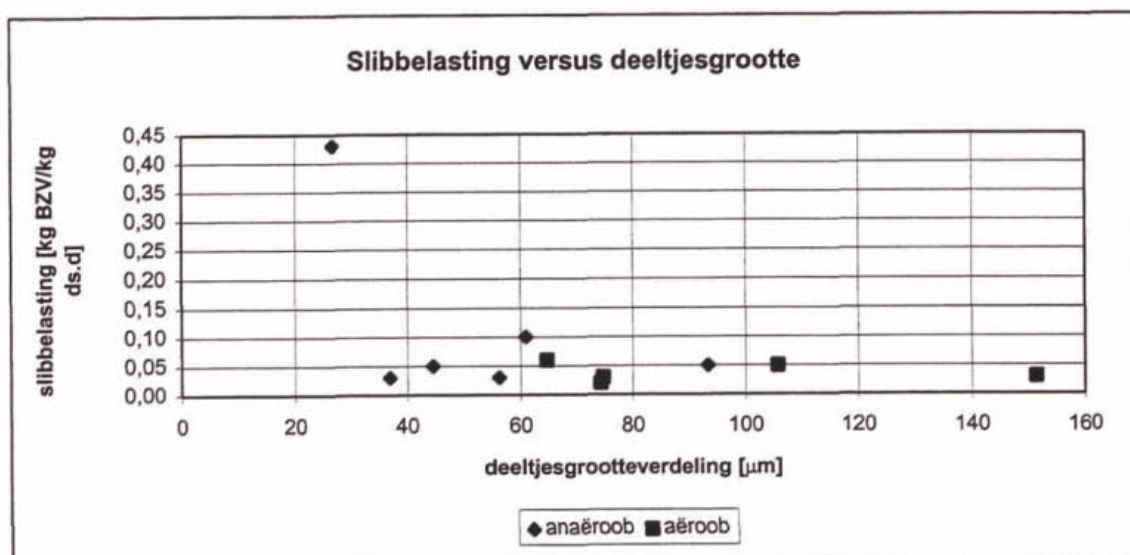
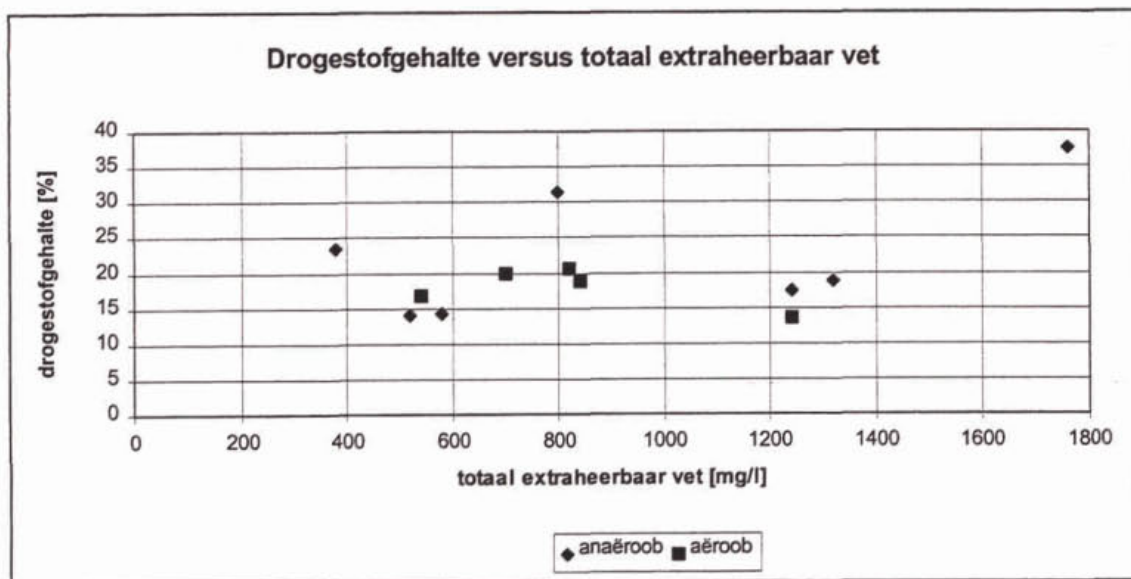
Het drogestofgehalte van de verschillende slibben bij 20, 35, 50 en 70°C

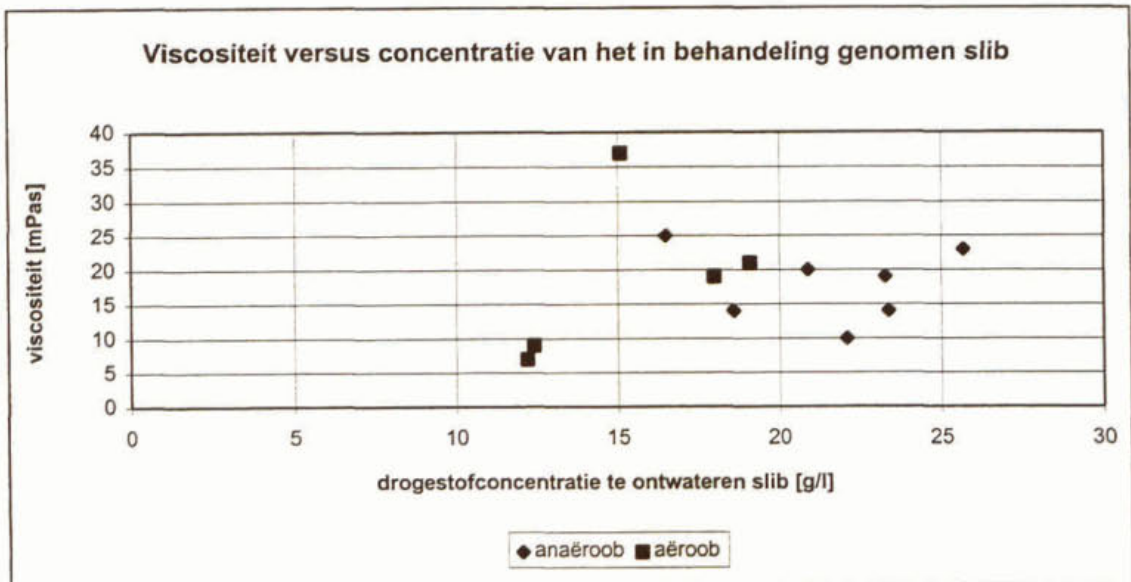
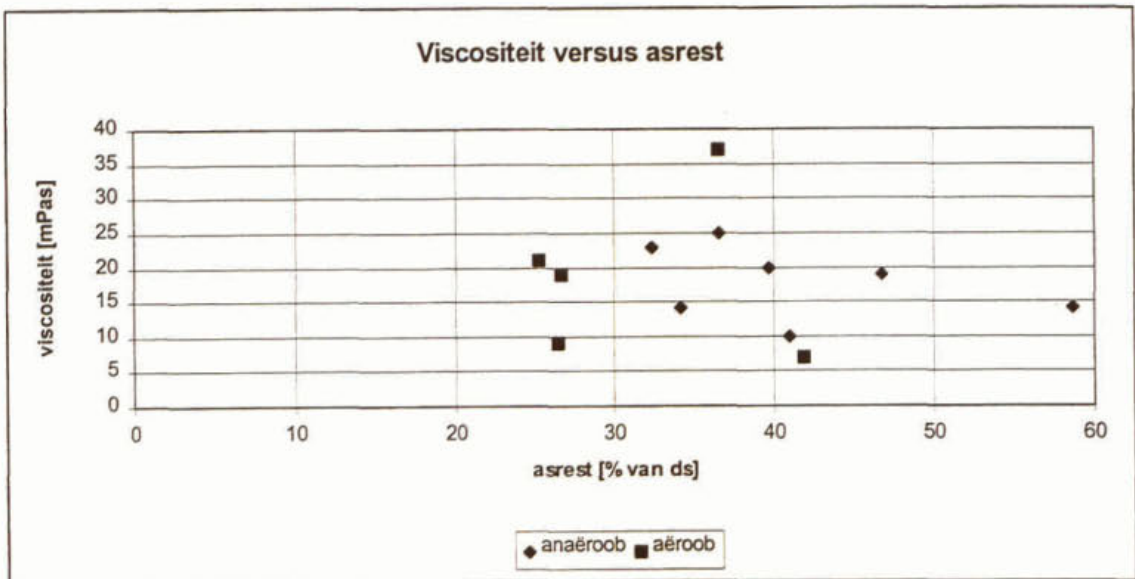
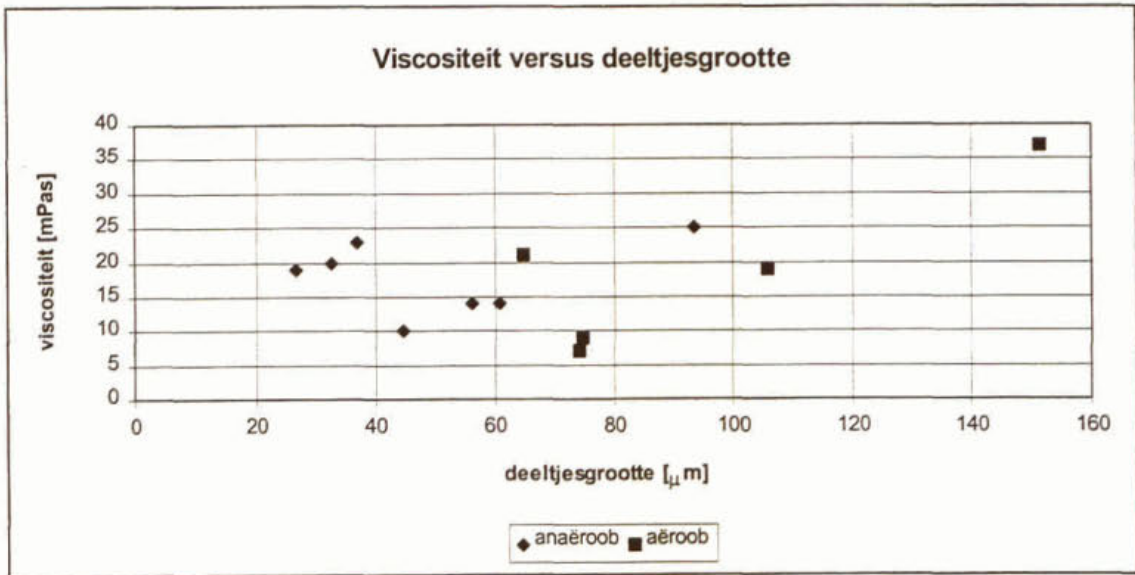


**BIJLAGE 7      RELATIES TUSSEN DE DIVERSE GEMETEN PARAMETERS**









**BIJLAGE 8**

**KOSTEN-BATENANALYSE SLIBVERWARMING  
(EEN VOORBEELD)**

**Kosten-batenanalyse**

Parameter	waarde	eenheid
<b>Beschrijving van de voorbeeld installatie</b>		
Grootte van de installatie	150.000	i.e.
Slibproductie	2.500	ton ds/j
Slibverwerkingskosten (inclusief transport en afzet)	150,-	NLG
Drogestofgehalte van het te ontwateren slib	5,0	%
Drogestofgehalte van het ontwaterde slib voor aanpassing	21,0	%
Drogestofgehalte van het ontwaterde slib na aanpassing	24,0	%
<b>Benodigde onderdelen voor verwarming slib</b>		
warmtewisselaars	2	
heater	1	
schakelkast	1	
slibtoevoerpomp	1	
flowmeter	1	
drukmeters	4	
thermometers	4	
leidingwerk	1	
montage	1	
<b>Investeringskosten voor de genoemde rwzi</b>		
Onderdelen incl. montage en advieskosten	190.000,-	NLG
<b>Exploitatiekosten</b>		
Kosten toe te voeren warmte à NLG 0,16/kWh	181.700,-	NLG
Bediening en onderhoud	7.500,-	NLG
Afschrijving en rente (afschrijving 10 jaar, rente 5 %)	24.500,-	NLG
	-----	
<b>Totale jaarlijkse kosten</b>	<b>213.700,-</b>	<b>NLG</b>
<b>Besparingen</b>		
1.488 ton per jaar à NLG 150,-	223.200,-	NLG
<b>Netto resultaat</b>		
besparingen per jaar	9.500,-	NLG

