

EFFICIENTIE POLYMEERGEBRUIK SLIBONTWATERING



RAPPORT

2014

08

EFFICIËNTIE POLYMEERGEBRUIK SLIBONTWATERING

RAPPORT

2014

08

ISBN 978.90.5773.627.8



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING
Leon Korving (Aiforo)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Marlies Verhoeven (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden)
Dirk Koot (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Alex Veltman (Waternet)
Marcel Baars (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpernerwaard)
Marko Sas (Waterschap Scheldestromen)
Marga Heijmans-Asseldonk (Waterschap Aa en Maas)
Hans Reith (Waterschap Vechtstromen)
Yede Van Der Kooij (Wetterskip Fryslân)
Cora Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2014-08
ISBN 978.90.5773.627.8

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

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

TEN GELEIDE

De waterschappen willen in 2020 minstens 40% van het energieverbruik zelf opwekken. In de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (2008), Klimaatakkoord (2010), Lokale Klimaatagenda (2011) Green Deal (2011), Ketenakkoord Fosfaat en recentelijk het SER Energieakkoord (2013) zijn beleidsmatige afspraken gemaakt over energie- en fosfaatterugwinning. Grondstoffenterugwinning, energie- en kostenbesparing zijn belangrijke uitdagingen voor de toekomst.

De eindontwatering van zuiveringsslib gebeurt in Nederland vooral met centrifuges, zeefbandpersen en kamerfilterpersen. Deze technieken kenmerken zich door het gebruik van chemicaliën (polymeer). Dat levert een grote kostenpost op. In dit kader zijn de waterschappen voortdurend op zoek naar mogelijkheden om efficiënter om te gaan met polymeren met behoud van het ontwateringsresultaat.

Eerder onderzoek door de STOWA in 2012 laat zien dat het ontwateren van slib steeds meer moeite kost. Dit uit zich vooral in een toename van het polymeer gebruik voor het ontwateren van slib. Deels heeft dit te maken met ontwikkelingen zoals een toename van het gebruik van biologisch defosfateren al dan niet in combinatie met ondersteuning van chemische precipitatie. Anderzijds liet het onderzoek ook zien dat aandacht voor de bedrijfsvoering van de slibontwatering van belang is om de ontwatering zo effectief mogelijk te laten verlopen. Het huidige onderzoek gaat in op een deelaspect van de ontwatering van slib, namelijk de effectieve aanmaak en rijping van polymeren.

Met de resultaten van dit onderzoek kunnen zuiveringsbeheerders het gebruik van polymeren bij slibontwatering optimaliseren en chemicaliën en kosten besparen.

SAMENVATTING

Eerder onderzoek door de STOWA¹ in 2012 laat zien dat het ontwateren van slib steeds meer moeite kost. Dit uit zich vooral in een toename van het polymeer gebruik voor het ontwateren van slib. Deels heeft dit te maken met ontwikkelingen zoals een toename van het gebruik van biologisch defosfateren al dan niet in combinatie met ondersteuning van chemische precipitatie. Anderzijds liet dit onderzoek ook zien dat aandacht voor de bedrijfsvoering van de slibontwatering van belang is om de ontwatering zo effectief mogelijk te laten verlopen.

Het huidige onderzoek gaat in op een deelaspect van de ontwatering van slib, namelijk de effectieve aanmaak en rijping van een bepaald polymeer. Ook andere aspecten van de bedrijfsvoering zoals instellingen van de ontwateringsmachine en de invloed van de slibsamenstelling op het ontwateringsresultaat zijn van belang, maar vormen geen onderwerp van deze studie. Vanwege de grote invloed van de polymeerdosering op de ontwaterbaarheid van slib is het namelijk van belang om eerst zeker te stellen dat het polymeer goed wordt ingezet voordat andere invloeden onderzocht kunnen worden. Op deze manier kan de invloed van een onjuist gebruik van het polymeer uitgesloten worden en kan vervolgens de invloed van de andere factoren onderzocht worden.

Voor dit onderzoek is er op vijf ontwateringslocaties onderzoek gedaan naar de aanmaak en inzet van het polymeer. Het onderzoek bestond uit drie hoofdonderdelen:

- 1 Karakterisering van polymeren;
- 2 Beoordelen van de aanmaak en rijping van het polymeer in de praktijk installatie;
- 3 Vergelijking van de theoretische ontwaterbaarheid met de praktische ontwaterbaarheid.

KARAKTERISERING VAN POLYMEREN

Voor het eerste deel van het onderzoek zijn eigenschappen van elf verschillende polymeren op laboratoriumschaal onderzocht bij standaardcondities zodat de eigenschappen onderling vergelijkbaar waren. Dit onderzoek toont aan dat meting van viscositeit en ladingdichtheid van polymeren uitvoerbaar is en het mogelijk maakt om polymeren van elkaar te onderscheiden en de kwaliteit van de polymeren vast te stellen. De meeste variatie is gevonden in de viscositeit en dus molecuulgewicht en structuur van de polymeren. Deze parameter is eenvoudig te bepalen en daarom het meest aangewezen als controle parameter voor de bewaking van de kwaliteit van polymeren.

RIJPING EN AANMAAK

In het tweede deel van het onderzoek zijn de resultaten van rijpingsproeven op laboratoriumschaal vergeleken met de eigenschappen van het aangemaakte polymeer uit de praktijkinstallaties. Dit deel van het onderzoek laat zien dat het zoutgehalte van het aanmaakwater grote invloed heeft op de viscositeit van het polymeeroplossing. Voor de locatie Beverwijk werd bij gebruik van effluent bijvoorbeeld een viscositeit van 219 mPa.s gevonden terwijl de viscositeit bij gebruik van leidingwater 435 mPa.s bedroeg. Binnen de scope van het onderzoek kon niet onderzocht worden of deze lagere viscositeit ook leidt tot een lagere effectiviteit van het polymeer. De lagere viscositeit toont echter wel aan dat het polymeer in zouter water minder gestrekt is.

1 STOWA, "Trends in slibontwatering", 2012. Rapport nummer 2012-46, 978.90.5773.577.6

Verder laat het onderzoek zien dat bij alle locaties het polymeer volledig gerijpt is en dat langere verblijftijden niet leiden tot verdere rijping van het polymeer. Dit komt overeen met de resultaten van de laboratoriumproeven die aantoonde dat de rijping van alle onderzochte polymeren binnen 20 minuten volledig was. Sommige polymeren bereikten zelfs binnen enkele minuten de maximale rijping.

Het onderzoek laat ook zien dat vooral de initiële menging van water en polymeer de maximale viscositeit en dus rijping bepaalt. Als deze initiële menging onvoldoende is kan dit niet gecompenseerd worden door langere rijpingstijden. Een vergelijking tussen de resultaten van de laboratoriumproeven en de praktijkinstallaties laat zien dat bij drie van onderzochte locaties de menging minder goed is dan bij de laboratoriumproeven kon worden gerealiseerd. Dit wijst er op dat bij deze locaties een verbetering van de menging mogelijk is. De eerder beschreven invloed van het zoutgehalte op de rijping van het polymeer lijkt ook het sterkst bij de initiële menging van polymeer en water en is minder sterk bij het naverdunnen van een eenmaal aangemaakte polymeeroplossing.

Bij drie van de vijf onderzoekslocaties week de concentratie van de polymeeroplossing 10-20% af van de ingestelde concentratie door afwijkingen in de debietmeting van het ruwe polymeer of instellingen van de doseerpomp. Het betrof hier structurele afwijkingen, de variatie in de concentratie was namelijk beperkt tot 1-2%.

Bij twee van de vijf onderzoekslocaties werden wel sterke variaties in de concentraties gemeten. Bij de locatie Kralingseveer was dit terug te voeren op een onvoldoende menging van polymeer en water in de aanmaaktank waardoor lagen met verschillende concentraties polymeer in de tank ontstonden. Hierdoor varieerde de viscositeit in de tank tussen 400 en 750 mPa.s. Bij de locatie Amsterdam West was de sterke variatie terug te voeren op het feit dat de voorraadtank gevoed werd met twee verschillende aanmaakinstallaties waardoor de viscositeit in de tank tussen 400 en 460 mPa.s schommelde.

Dit onderzoek laat zien dat de viscositeit een bruikbare parameter is voor de beoordeling van de polymeer aanmaak. De meting is eenvoudig uitvoerbaar en geeft direct een meetresultaat dat goed reproduceerbaar is. De meting heeft bovendien een relatie met belangrijke eigenschappen van het polymeer, namelijk molecuulgewicht en molecuulstructuur. De meting heeft echter ook zijn beperkingen en daarom is het belangrijk deze meting op een goede manier in te zetten. Ter ondersteuning hiervoor is in dit rapport een protocol opgenomen voor het gebruik van deze meting voor de beoordeling van de effectiviteit van de eigen polymeer-aanmaak en eventueel het volgen van de kwaliteit van het ingekochte polymeer.

ONTWATERINGSPRESTATIE

Bij alle vijf onderzoekslocaties zijn monsters genomen van het te ontwateren slib om de theoretische ontwaterbaarheid experimenteel vast te stellen. Met behulp van een thermogravimische analyse is het gehalte aan vrij water in deze monsters bepaald. Duits onderzoek laat zien dat dit gehalte een goede maat is voor het droge stof gehalte dat in de praktijk kan worden gehaald. Verder is het polymeergebruik ingeschat door titratie met het gebruikte polymeer totdat alle lading in het slib is geneutraliseerd. Bovendien is een inschatting gemaakt van de stabiliteit van de verkregen vlokken en deze stabiliteit is vertaald naar een extra polymeer verbruik.

Dit onderzoek laat zien dat het droge stof gehalte dat in de praktijk wordt gehaald bij vier van de vijf onderzoekslocaties 3-5 %ds lager is dan het theoretisch haalbare droge stof gehalte. Bij drie van de vijf onderzoekslocaties was bovendien het polymeerverbruik 7 to 14 g actief PE/kg ds hoger dan het theoretische verbruik. Bij de drie locaties met een hoog polymeerverbruik en een laag droge stof gehalte zijn ook afwijkingen geconstateerd in de polymeer aanmaak.

Zo bleek op de locatie Beverwijk de gebruikte waterkwaliteit veel invloed te hebben op de viscositeit van de polymeeroplossing en bij de locatie Kralingseveer werden zeer grote variaties in de viscositeit van de polymeeroplossing gemeten door een slechte menging van polymeer en water. Bij beide locaties gaf het gekozen polymeer ook instabiele vlokken. Ook voor de locatie Amsterdam West werden relatief sterke variaties in de polymeerconcentratie gemeten en waren er aanwijzingen dat de menging van polymeer en water beter kan. Deze bevindingen kunnen de gevonden afwijkingen in de ontwaterbaarheid wellicht verklaren.

Opvallend is wel dat de samenstelling van de vijf onderzochte slibmonsters afwijkt van de dataset van het Duitse onderzoek. In verhouding tot het gemeten gehalte aan vrij water was het organische stof gehalte relatief veel hoger. Dit wijst er op dat er een verschil is in samenstelling tussen Nederlands en Duits slib. Dit verschil kan ook betekenen dat voor Nederlands slib de relatie tussen het gehalte aan vrij water en de maximale ontwaterbaarheid anders ligt dan voor Duits slib. Het is aan te bevelen hier nader onderzoek naar te doen.

CONCLUSIE

Het huidige onderzoek laat zien dat aandacht voor de aanmaak van de polymeer oplossing nodig is. Het onderzoek toonde aan dat afwijkingen in de aanmaakconcentratie vaak voorkomen en dat de menging van polymeer en water op een goede manier moet gebeuren. Verder heeft ook de waterkwaliteit invloed op de kwaliteit van de polymeeroplossing. Aanbevolen wordt dat waterschappen aandacht besteden aan de goede werking van de aanmaak installatie. Als hulpmiddel is in dit rapport een protocol opgenomen aan de hand waarvan waterschappen de goede werking van hun aanmaakinstallatie kunnen controleren.

DE STOWA IN HET KORT

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

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

EFFICIËNTIE POLYMEERGEBRUIK SLIBONTWATERING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	OPZET EN WERKWIJZE	2
2.1	Opzet van het onderzoek	2
2.2	Meetopzetten en -apparatuur	3
2.2.1	Meetopzet rijpingsproeven	3
2.2.2	Viscositeitsmeting	4
2.2.3	Streaming current en ladingdichtheid	4
2.3	Ontwaterbaarheid slibmonsters	5
2.3.1	Thermo-gravische analyse	5
2.3.2	Polymeerverbruik	7
2.4	Beschrijving ontwateringslocaties	8
2.4.1	Slibontwatering Den Bosch	8
2.4.2	Slibontwatering Beverwijk	9
2.4.3	Slibontwatering Amsterdam West	10
2.4.4	Slibontwatering Kralingseveer	10
2.4.5	Slibontwatering Hengelo	22
3	RESULTATEN	13
3.1	Proeven rijping polymeer	13
3.1.1	Vergelijking polymeereigenschappen	13
3.1.2	Invloed concentratie	15
3.1.3	Invloed waterkwaliteit	16
3.2	Praktijkgegevens polymeeraanmaak	17
3.2.1	Slibontwatering Den Bosch	17
3.2.2	Slibontwatering Beverwijk	18
3.2.3	Slibontwatering Amsterdam West	19
3.2.4	Slibontwatering Kralingseveer	21
3.2.5	Slibontwatering Hengelo	25

3.3	Beoordeling slibontwaterbaarheid	29
3.3.1	Inleiding	29
3.3.2	Praktische ontwaterbaarheid	29
3.3.3	Slibkarakterisering	29
3.3.4	Resultaten ontwateringstesten	30
3.3.5	Vergelijking praktijk en experiment	30
4	DISCUSSIE	32
4.1	Karakterisering polymeer	32
4.2	Invloed waterkwaliteit	34
4.3	Aanmaak in de praktijkinstallaties	34
4.3.1	Aanmaakconcentratie	34
4.3.2	Rijping	35
4.4	Relatie met ontwaterbaarheid	37
4.5	Protocol beoordeling polymeeraanmaak	39
5	CONCLUSIES	42
6	AANBEVELINGEN	45
	BIJLAGEN	
	Bijlage 1: Onderzoeksrapportage Klaranlagen Beratung Kopp	46

1

INLEIDING

Dit onderzoek richtte zich op de effectieve inzet van polymeer² bij het ontwateren van zuiveringsslib. Dit polymeer wordt gebruikt om het slib te flocculeren zodat het slib beter ontwaterbaar wordt. Eerder STOWA onderzoek³ heeft laten zien dat er steeds meer polymeer nodig is voor het ontwateren van slib. Deels heeft dit te maken met ontwikkelingen zoals het gebruik van biologisch defosfateren. Anderzijds liet dit onderzoek ook zien dat goede aandacht voor de bedrijfsvoering van de slibontwatering van belang is om de ontwatering zo effectief mogelijk te laten verlopen.

Het ontwateringsresultaat (droge stof gehalte en polymeerverbruik) wordt bepaald door drie factoren:

- 1 Keuze en aanmaak van het polymeer;
- 2 Aard en samenstelling van het slib;
- 3 Instellingen van de ontwateringsmachine.

Dit onderzoek beperkt zich tot de kwaliteit van het ingekochte polymeer en de goede aanmaak van dit polymeer en gaat dus niet of beperkt in op de invloed van de slibsamenstelling of de instellingen van de ontwateringsmachine. De gedachte hierachter dat het belangrijk is om eerst zeker te stellen dat het gebruikte polymeer goed ingezet wordt, voordat conclusies kunnen worden getrokken over de andere invloeden op de ontwatering van het slib.

- 2 Waar in dit rapport gesproken wordt over polymeer, wordt eigenlijk poly-elektrolyt (afkorting: PE) bedoeld. Een poly-elektrolyt is een elektrisch geladen polymeer dat gebruikt wordt om de lading van de slibvlokken te neutraliseren en zo vlokvorming te bevorderen. In de praktijk wordt vaak de term “polymeer” gebruikt en daarom wordt deze term ook in dit rapport aangehouden.
- 3 STOWA, “Trends in slibontwatering”, 2012. Rapport nummer 2012-46, 978.90.5773.577.6

2

OPZET EN WERKWIJZE

2.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Voor dit onderzoek is er voor gekozen om bij vijf ontwateringslocaties onderzoek te doen naar de aanmaak en inzet van het polymeer. De keuze voor het aantal van vijf ontwateringslocaties is praktisch tot stand gekomen. Dit aantal is voldoende om een goede indruk te krijgen van eventuele aandachtspunten. Dit kleine aantal onderzoekslocaties beperkt wel de mogelijkheid om algemene conclusies te trekken voor alle ontwateringslocaties in Nederland. Alle onderzochte ontwateringslocaties gebruiken centrifuges voor de ontwatering van slib. Hiervoor is gekozen om onderlinge vergelijking tussen de locaties mogelijk te maken.

Het onderzoek bestaat uit drie hoofdonderdelen:

- 1 vergelijking van polymeer eigenschappen;
- 2 beoordelen van de aanmaak en rijping van het polymeer in de praktijk installatie;
- 3 vergelijking van de theoretische ontwaterbaarheid met de praktische ontwaterbaarheid.

Voor het eerste deel van het onderzoek zijn in totaal 11 verschillende polymeren op laboratorium schaal onderzocht. Hierbij zijn deze polymeren op laboratorium schaal volgens een standaard methode aangemaakt bij een standaard concentratie en met dezelfde waterkwaliteit. Van deze polymeeroplossingen zijn de volgende eigenschappen bepaald zodat de polymeren onderling vergeleken kunnen worden:

- 1 viscositeit;
- 2 geleidbaarheid;
- 3 ladingdichtheid.

Het tweede deel van het onderzoek is begonnen met laboratoriumproeven waarbij dezelfde concentratie en waterkwaliteit als in de praktijkinstallatie wordt gehanteerd. De eigenschappen van de in het laboratorium aangemaakte polymeeroplossing zijn vervolgens vergeleken met de eigenschappen van monsters van de polymeeroplossing uit de praktijkinstallatie.

Tenslotte is onderzocht hoe goed het ontwateringsresultaat (uitgedrukt in droge stof gehalte en polymeerverbruik) van de praktijkinstallatie in de buurt komt van de theoretische ontwaterbaarheid. Hiertoe zijn slibmonsters genomen van het te ontwateren slib en deze monsters zijn vervolgens in Duitsland onderzocht door Klaranlagen Beratung Kopp in Duitsland met een methode die zij vaker hebben toegepast om de theoretische ontwaterbaarheid van slibmonsters vast te stellen. Hiervoor gebruiken zij een thermogravische bepaling van het vrije water gehalte in het slib en een titratie van het slib met polymeer om het theoretische polymeer gebruik vast te stellen. In aanvulling op dit onderzoek zijn ook op de ontwateringslocaties regelmatig monsters genomen van het centraat. Van dit centraat is de lading (streaming voltage) en ladingdichtheid bepaald om eventuele onder- of overdoseringen van polymeer te kunnen vaststellen.

2.2 MEETOPZETTEN EN -APPARATUUR

2.2.1 MEETOPZET RIJPINGSPROEVEN

De proeven voor de rijping van het polymeer werden alle met een standaardmeetopstelling uitgevoerd. Deze meetopstelling bestond uit de volgende apparatuur:

- WITEG HS-30-D bovenroerder met vast, geregeld toerental van 200-3000 rpm, maximaal in te brengen roervermogen: 75 W;
- IKA roerder: 4 bladige propeller, R1342, diameter 5 cm;
- Bekerglas, 400 ml, diameter 8 cm.

AFBEELDING 1 TESTOPSTELLING VOOR RIJPINGSPROEVEN OP LABORATORIUMSCHAAL



AFBEELDING 2 LAMY BLACK ONE VISCOSITEITSMETER



Voor het aanmaken van het polymeer werd steeds de volgende procedure gevolgd.

- 1 300 ml verdunningswater werd afgemeten met een maatcilinder en overgedaan in het beker-glas. Het verdunningswater was afhankelijk van het doel van de proef. Voor onderlinge verge-lijking van polymeren is steeds kraanwater (herkomst Breda) gebruikt. Voor vergelijking met de praktijkinstallatie is steeds hetzelfde aanmaakwater als in de praktijkinstallatie gebruikt.
- 2 Met een injectiespuit van 3 ml werd een bepaalde hoeveelheid polymeer afgemeten. De spuit werd voor en na de dosering gewogen om het gewicht van het gedoseerde polymeer te meten.
- 3 De bovenroerder werd ingesteld op 1200 toeren. Op $t=0$ werd het polymeer met de injectie-spuit gedoseerd in de vortex die veroorzaakt werd door het roeren.
- 4 Na 1 minuut werd het toerental verlaagd naar 600 toeren.
- 5 Op zekere tijdstippen werd de proef onderbroken voor het uitvoeren van een meting van de viscositeit en geleidbaarheid. Deze onderbrekingen duurden 1 tot 2 minuten.
- 6 De proeven werden volgehouden tot er geen verandering van de viscositeit meer waarneem-baar was. De meeste proeven werden 45 minuten volgehouden. Bij vrijwel alle proeven was

na 10-15 minuten al de maximale viscositeit bereikt. Voor vergelijking van de resultaten zijn steeds de waarden van de viscositeit en geleidbaarheid na 30 minuten gebruikt. De metingen van de ladingdichtheid vonden steeds plaats na afloop van de proef (dus meestal na 45 minuten).

2.2.2 VISCOSITEITSMETING

Voor de meting van de viscositeit van het aangemaakte polymeer werd een “Black One” viscositeitsmeter gebruikt die gehuurd werd van Inven uit Breda. Deze meter kan viscositeit meten tussen 20 en $180 \cdot 10^6$ mPa.s.

Voor het uitvoeren van een meting werd de viscositeit bepaald door de spindel in het beker-glas met polymeer te laten zakken. De viscositeit werd bepaald bij een toerental van 100 rpm en met een ASTM 2 spindel. De metingen werden steeds in hetzelfde type beker-glas (400 ml) uitgevoerd.

De norm NEN-EN-ISO-2555 (juni 1999) beschrijft de procedure voor het bepalen van de viscositeit van een polymere emulsie met dit soort meetmethoden. Ondanks deze norm blijft de meting van de viscositeit enigszins afhankelijk van de gekozen meetmethode en condities van de meting (zoals toerental, type spindel). Dit geldt zeker als de viscositeit van de te meten vloeistof afhangt van de opgelegde afschuifspanning (niet-Newtoniaans gedrag). De viscositeit waarden die in dit rapport worden gerapporteerd zijn onderling vergelijkbaar omdat zij allen met dezelfde methode zijn bepaald. Bovendien laat dit rapport zien dat de waterkwaliteit invloed heeft op de viscositeit. Bij vergelijking van de waarden uit dit rapport met waarden uit andere bronnen moet hier rekening mee worden gehouden.

2.2.3 STREAMING CURRENT EN LADINGDICHTHEID

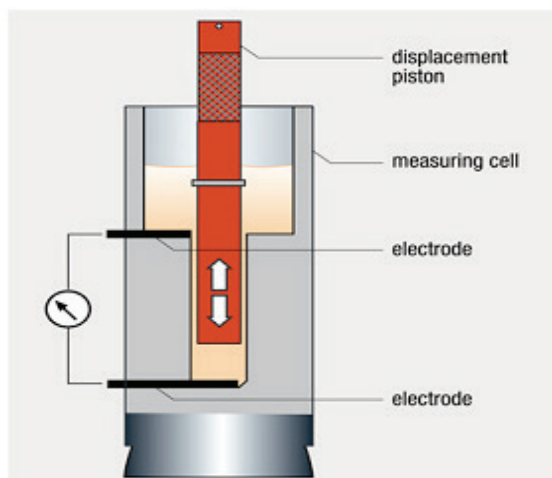
Voor het meten van de lading van het aangemaakte polymeer werd een BTG Müttek PCD-04 “streaming current” meter gebruikt. De meter geeft een meetwaarde van de potentiaal van de lading in een oplossing. De ladingsterkte wordt bepaald door titratie met een poly-elektrolyt van een bekende en tegenovergestelde potentiaal. Optioneel kan de meter ook gebruikt worden om het iso-elektrisch punt en de relatie tussen streaming potential en pH te bepalen. Deze mogelijkheid werd bij de proeven niet gebruikt.

Voor een meting wordt een monster met een volume van 10 ml overgebracht in de meetcel. Na inschakeling van het apparaat gaat een zuiger oscilleren in de meetcel. Deze oscillatie zorgt voor een hoge stroomsnelheid in de meetcel. Geladen polymeer materiaal hecht aan de zuiger en wordt door de heen en weer gaande beweging gescheiden van de tegenionen in de oplossing. Hierdoor ontstaat een potentiaalverschil en een kleine stroom, ook wel “streaming current” genoemd. Twee elektroden in de cel meten dit potentiaal verschil en geven het weer op de display. De ladingdichtheid kan bepaald worden door de lading weg te titreren met een titrant waarvan de lading tegengesteld is aan de lading van het monster. Het verbruik aan titrant totdat de potentiaal 0 mV is, is een maat voor de ladingdichtheid van het monster.

Voor het bepalen van de lading van het aangemaakte polymeer werd de polymeeroplossing verdund door 2 ml van het aangemaakte polymeer af te meten met een injectiespuit van 3 ml en dit te verdunnen met 200 ml kraanwater (herkomst: Breda). Van het verdunde monster werd 10 ml afgemeten met een injectiespuit van 10 ml en overgebracht in de meetcel. De potentiaal van de streaming current werd na ca. 1-2 minuten meten genoteerd en daarna werd de titratie gestart. Voor de titratie werd het automatische programma van het apparaat

gebruikt. De titrant is een tegengesteld geladen poly-elektrolyt oplossing met een bekende ladingconcentratie van 0,001 equivalenten/l. Na elke meting werd de meetcel grondig gereinigd met de meegeleverde reinigingsvloeistof en demi-water.

AFBEELDING 3 SCHEMATISCHE WEERGAVE MEETCEL PCD 04



AFBEELDING 4 LADINGMETER BTG MUTEK PCD 04

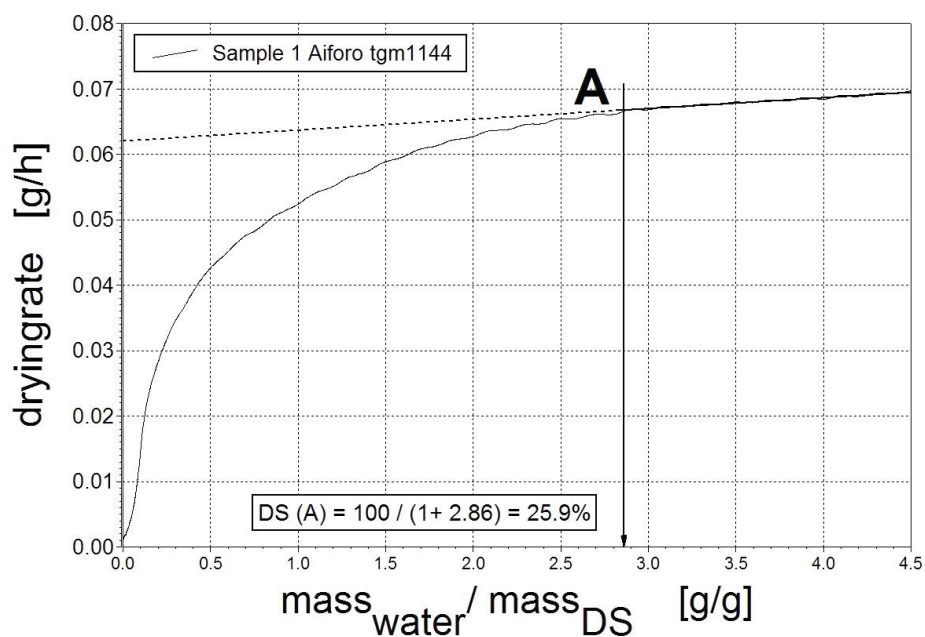


2.3 ONTWATERBAARHEID SLIBMONSTERS

2.3.1 THERMO-GRAVISCHE ANALYSE

Een methode voor de bepaling van het gehalte aan vrij water in een slibmonster is een thermo-gravische analyse (Afbeelding 5). Hierbij wordt het slibmonster zeer langzaam gedroogd. Zolang er vrij water in het monster aanwezig is verloopt de droging lineair in de tijd als functie van de verhouding water tot droge stof in het monster. Als het vrije water op is, is er meer energie nodig voor het verwijderen van het water en neemt de droogsnelheid sterk af (punt A).

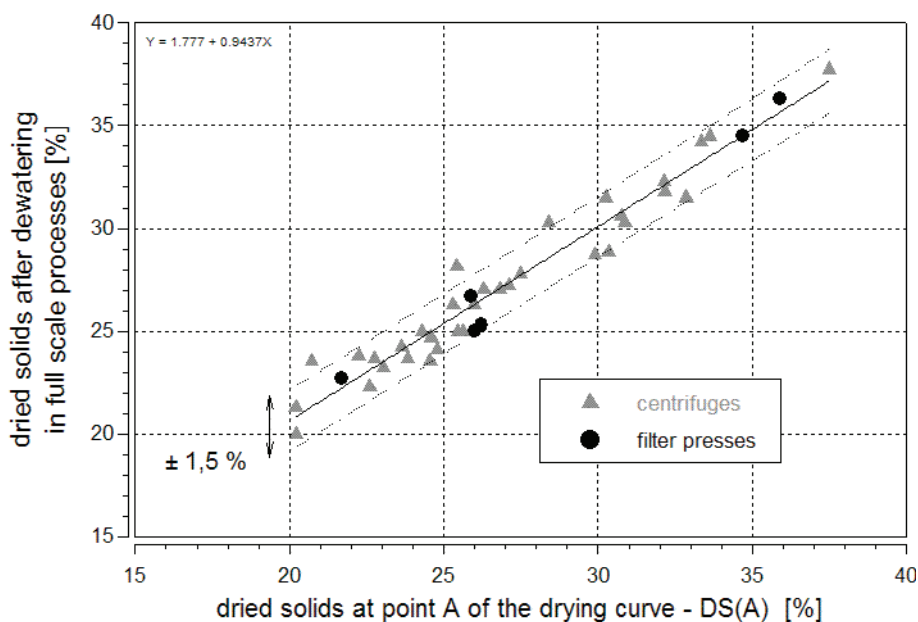
AFBEELDING 5 DROOGCURVE VOOR THERMOGRAVISCHE ANALYSE VAN HET SLIBMONSTER VAN DE LOCATIE DEN BOSCH. OP PUNT A NEEMT DE DROOGSNELHEID AF EN OP DIT PUNT IS ALLE VRIJE WATER VERDAMPT



Het gehalte aan vrij water dat zo bepaald wordt correleert goed met het ontwateringsresultaat dat op praktijkschaal bereikt wordt met verschillende ontwateringsapparatuur. Het droge stofgehalte op punt A wordt gedefinieerd als DS(A). Onderzoek door de TU Braunschweig⁴ liet zien dat deze parameter voor een groot aantal slibmonsters een goede voorspelling geeft van het eind droge stof gehalte dat op praktijkschaal in centrifuges werd gehaald (Afbeelding 6). Ook voor monsters die op praktijkschaal met filterpersen werden ontwaterd bleek deze correlatie stand te houden.

AFBEELDING 6

VERBAND TUSSEN PRAKTISCHE ONTWATERBAARHEID EN EXPERIMENTEEL BEPAALDE ONTWATERBAARHEID MET BEHULP VAN EEN THERMOGRAVISCHE ANALYSE VOOR DUITSE INSTALLATIES



De praktische uitvoering van deze test is een aandachtspunt, omdat de kalibratie van de methode nauw komt. De droogsnelheid is bepalend voor het eindresultaat en daarom moet deze zodanig gekozen worden dat de methode reproduceerbaar is. De thermogravische bepalingen werden daarom in Duitsland uitgevoerd door Klaranlagen Beratung Kopp die veel ervaring heeft met het uitvoeren van deze analyses. De bepalingen voor dit onderzoek zijn op dezelfde manier uitgevoerd als de bepalingen in Afbeelding 6 en kunnen daardoor vergeleken worden met de Duitse resultaten.

AFBEELDING 7

TEST OPSTELLING VOOR BEPALEN POLYMEERGEBRUIK VAN EEN SLIBMONSTER DOOR METING VAN DE "STREAMING POTENTIAL",
FOTO: KLARANLAGEN BERATUNG KOPP

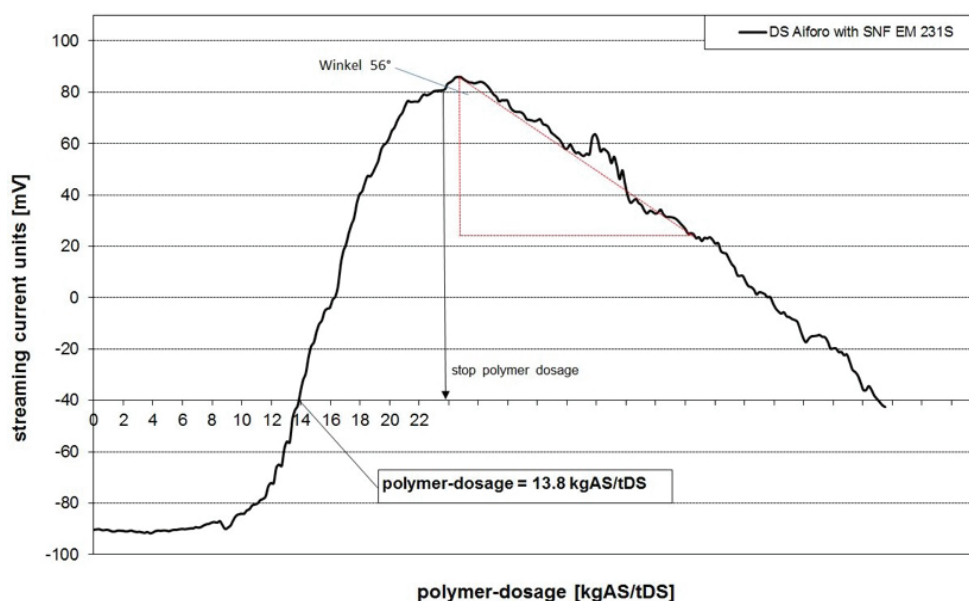


- 4 Prediction of full-scale dewatering results of sewage sludges by the physical water distribution. J. Kopp, N. Dichtl. 2001, Water Science and Technology, pp. Vol 43 No 11 pp 135-143.

2.3.2 POLYMEERVERBRUIK

De vlokken in rwzi-slib zijn negatief geladen vanwege de negatief geladen extracellulaire polymeer structuren (EPS) tussen de vlokken⁵. Door deze lading stoten de vlokken elkaar af. Door de dosering van een positief geladen polymeer wordt deze lading geneutraliseerd en kunnen de slibvlokken groeien, waardoor het makkelijker wordt om het vrije water uit het slib te verwijderen. In theorie groeien de vlokken het beste als de lading van de vlokken neutraal is waardoor de vlokken elkaar niet meer afstoten. Deze lading is te meten door de “streaming potential” van het slib te meten zoals beschreven in paragraaf 2.2.3. Vervolgens kan aan het slibmonster polymeer toegevoegd worden totdat de lading van het slib geneutraliseerd is. De hoeveelheid polymeer die hiervoor nodig is, is de minimale polymeedosering voor het verkrijgen van een goed ontwateringsresultaat. Een voorbeeld van een dergelijke titratiecurve is te zien in Afbeelding 8.

AFBEELDING 8 VERLOOP VAN DE “STREAMING POTENTIAL” VAN HET SLIBMONSTER VAN RWZI BEVERWIJK BIJ TITRATIE VAN HET SLIB MET SNF EM 231S. ZODRA EEN POSITIEVE POTENTIAAL IS VERKREGEN WORDT DE DOSERING STOPGEZET. DE AFNAME VAN DE POTENTIAAL IS EEN MAAT VOOR DE VLOKSTERKTE. NB VANWEGE DE GEVOELIGHEID VAN DE STREAMING CURRENT METER IS BIJ DE PROEVEN DOOR KBK DE NULWAARDE OP -40 MV GEZET, MET ANDERE WOORDEN BIJ -40 MV IS DE LADING VAN DE VLOKKEN NEUTRAAL (DUS 0 MV)



Naast deze functie van neutralisatie van de lading moet het polymeer ervoor zorgen dat de vlokken stevig zijn en bestand zijn tegen afschuifspanningen. Als de vlokken te makkelijk kapot gaan heeft dit een negatieve invloed op het ontwateringsresultaat. Om de vlokstabiliteit te testen wordt de titratie met het polymeer enige tijd doorgezet nadat alle lading is geneutraliseerd. Op dat moment is er sprake van een overmaat aan positief geladen polymeer en is de “streaming potential” positief. Na enige tijd wordt de polymeer dosering stopgezet en vervolgens wordt de ontwikkeling van de spanning gevolgd terwijl het slib geroerd wordt. Als de vlokken niet stevig zijn zullen zij hierdoor uitelkaar vallen, waardoor negatief geladen deeltjes uit de vlok vrijkomen. Hierdoor daalt de streaming potential.

⁵ Zie voor een verdere toelichting op de lading van slibvlokken ook paragraaf 2.4.3 van het STOWA rapport “Trends in slibontwatering”, nr. 2012-46.

TABEL 1

EXTRA POLYMEERGEBRUIK VOOR VLOKSTABILITEIT ALS FUNCTIE VAN DE SNELHEID VAN AFNAME VAN DE "STREAMING POTENTIAL"

Afname van potentiaal (hoek in °)	Extra polymeerverbruik (g actief/kg ds)
<40	Polymeer is niet geschikt
40-45	4,0
45-50	3,5
50-55	3,0
55-60	2,5
60-65	2,0
65-70	1,5
70-75	1,0
75-80	0,5
>80	0,0

De snelheid van de daling van de potentiaal is een maat voor de vlokstabiliteit. Tabel 1 geeft een overzicht van het extra polymeerverbruik zoals dat door Klaranlagen Beratung Kopp wordt gehanteerd. Deze inschatting van het extra polymeerverbruik is ontstaan op basis van ervaringsgegevens en is methode bepaald. De intensiteit van roeren bepaalt immers mede de snelheid van afname van de potentiaal.

2.4 BESCHRIJVING ONTWATERINGSLOCATIES

2.4.1 SLIBONTWATERING DEN BOSCH

Op de slibontwatering Den Bosch werd op het moment van de proeven het polymeer SNF EM 803 gebruikt. Dit polymeer wordt aangemaakt tot een stamoplossing met een concentratie van 0,46% actief. De aanmaakinstallatie bestaat uit een kleine DMU-tank met een inhoud van 25 liter. In deze tank wordt het ruwe polymeer gemengd met aanmaakwater door een roerder met een opgesteld vermogen van 1,5 kW en 850 omwentelingen per minuut. De verblijftijd in deze tank is uiterst kort (minder dan een minuut) en het aangemaakte polymeer loopt over in een ongeroerde tank met een bruto volume van 1400 liter. Uit de tank wordt continu aangemaakt polymeer afgenomen en bij laag niveau in de tank wordt nieuw polymeer aangemaakt en bijgevuld tot aan de hoog niveau schakelaar. Hierdoor varieert het netto volume in de tank tussen 750 en 1100 liter. Gedurende de proeven werd ongeveer 2000 l/h polymeer afgenomen zodat de verblijftijd in de tank varieerde tussen 22 en 34 minuten.

Voor de aanmaak van het polymeer wordt Diezewater gebruikt dat gefilterd wordt op 1,5 mm. Dit Diezewater wordt voorverwarmd tot een temperatuur van 25-30 °C. Het aangemaakte polymeer wordt niet naverdund voordat het gevoed wordt aan de Alfa Laval centrifuge.

Het te ontwateren slib is voornamelijk afkomstig van de rwzi Den Bosch. Op deze rwzi wordt biologisch gedefosfateerd. Daarnaast beschikt de rwzi over chemische preprecipitatie bij de voorbezinktanks. Het spui slib wordt vergist en met een concentratie van ongeveer 2,5% ds gevoed aan de centrifuge.

De installatie wordt volcontinu bedreven gedurende 7 dagen per week. De proeven zijn uitgevoerd op 3 en 4 juni 2013. In de nacht van 3 op 4 juni was de centrifuge uitgevallen en op 4 juni is deze 's ochtends om 8:30 uur weer opgestart. De slibmonsters zijn genomen op 4 juni tussen 11:30 en 12:00 uur toen de centrifuge al weer geruime tijd stabiel draaide.

Zowel het debiet van het Diezewater als van het pure polymeer wordt continu gemeten en ingeregeld op de ingestelde waarde in de aanmaakinstallatie. Regelmatig worden de debiet meters gecontroleerd. Naast de droge kalibratie wordt de debietmeter van de PE door weging gecontroleerd.

AFBEELDING 9 SLIBONTWATERING DEN BOSCH. LINKS POLYMEERAANMAAK TANK, MIDDEN VOORVERWARMING AANMAAKWATER POLYMEER, RECHTS ONTWATERINGSCENTRIFUGE



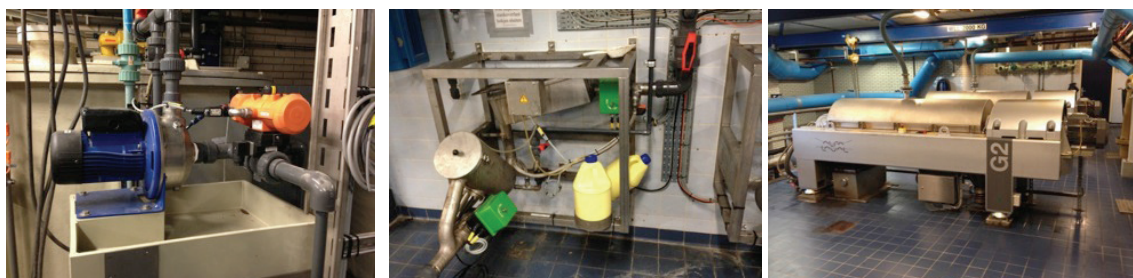
2.4.2 SLIBONTWATERING BEVERWIJK

Op de slibontwatering Beverwijk werd op het moment van de proeven het polymeer SNF EM 231 S gebruikt. Dit polymeer wordt aangemaakt tot een stamoplossing met een concentratie van 0,4 tot 0,44 gew% actief. De aanmaakinstallatie bestaat uit een kleine mengpomp (vermogen 0,37 kW) waarin het polymeer en aanmaakwater worden gemengd. Het gemengde polymeer wordt vervolgens gevoed aan een geroerde voorraadtank met een bruto volume van 2000 liter. De roerder op de voorraadtank heeft een vermogen van 1,1 kW. Gedurende de proeven werd ongeveer 5800 l/h aan polymeer afgenomen. De verblijftijd van het polymeer in de tank bedraagt derhalve maximaal 21 minuten, maar zal in de praktijk lager zijn doordat het netto volume in de tank geringer is dan 2000 liter. Voor de aanmaak van het polymeer wordt bedrijfswater ingezet. Dit is gefilterd effluent van de rioolwaterzuivering. De stamoplossing wordt niet naverdund.

Het te ontwateren slib is afkomstig van de rwzi Beverwijk en enkele andere zuiveringen. Het slib is afkomstig van biologisch defosfaterende rwzi's en wordt in Beverwijk vergist bij een droge stof gehalte van ongeveer 3,6 % ds. De installatie wordt volcontinu bedreven gedurende 7 dagen per week. De proeven zijn uitgevoerd op 10 en 11 juni 2013. In de nacht van 10 op 11 juni was de centrifuge uitgevallen. Deze is om 10:15 uur weer opgestart. De slibmonsters zijn genomen tussen 12:10 en 12:40 uur toen de centrifuge weer stabiel draaide.

Voor de regeling van de centrifuges wordt gebruik gemaakt van een Octopus-regeling. Als onderdeel van deze regeling wordt de troebelheid van het centraat gemeten en op basis daarvan de polymeerdosering bijgesteld. Tijdens de proeven is deze regeling buiten werking gezet en is een vaste polymeerdosering (in g/kg ds) gehanteerd.

AFBEELDING 10 SLIBONTWATERING BEVERWIJK. LINKS: POLYMEERAANMAAK TANK MET VOORAAN POLYMEERMENGPOMP, MIDDEN: MEETINSTALLATIE TROEBELHEID CENTRAAT, RECHTS ONTWATERINGSCENTRIFUGES



2.4.3 SLIBONTWATERING AMSTERDAM WEST

Op de slibontwatering Amsterdam West werd op het moment van de proeven het polymeer Kemira SD-2081 gebruikt. Dit polymeer wordt aangemaakt tot een stamoplossing met een concentratie van 0,5 gew% actief. Het ruwe polymeer wordt in twee tijdelijke mengeenheden gemengd met het aanmaakwater en gevoed aan een gemeenschappelijke ongeroerde voorraadtank. Vanaf deze voorraadtank wordt het polymeer gevoed aan de centrifuges.

Voor het indikken van het slib wordt hetzelfde polymeer gebruikt. Dit polymeer wordt aangemaakt in twee verschillende tanks die elk voorzien zijn van een DMU mengeenheid. De tanks zijn ongeroerd en worden afwisselend gebruikt om het polymeer te voeden aan de bandindikkers. Om eventuele verschillen in rijping tussen de twee soorten van mixers te onderzoeken zijn ook polymeermonsters van deze tanks genomen.

Voor het aanmaken van de stamoplossing wordt industriewater gebruikt. Dit is geen effluent maar een lagere kwaliteit leidingwater. De stamoplossing wordt voor dosering aan de centrifuges nog naverdund tot een concentratie van 0,2%. Hiervoor wordt bedrijfswater (effluent) gebruikt.

Het te ontwateren slib is voornamelijk afkomstig van de rwzi Amsterdam West. Op de zuivering wordt het slib biologisch gedefosfateerd. Voor ontwatering wordt het slib vergist bij een droge stof gehalte van 3,6 % ds. De installatie wordt volcontinu bedreven gedurende 7 dagen per week. De proeven zijn op 17 en 18 juni 2013 uitgevoerd. De slibmonsters zijn op 18 juni tussen 8:15 en 8:45 uur genomen.

AFBEELDING 11 SLIBONTWATERING AMSTERDAM WEST. LINKS: POLYMEERTANK VOOR SLIBINDIKKERS MET RECHTS DE DMU-UNIT VOOR DE INITIËLE MENGING VAN POLYMEER EN WATER, MIDDEN: TWEE MENG INSTALLATIES VOOR MENGING POLYMEER EN WATER VOOR DE CENTRIFUGES, RECHTS: ONTWATERINGSCENTRIFUGES



2.4.4 SLIBONTWATERING KRALINGSEVEER

Op de slibontwatering Kralingseveer werd op het moment van de proeven het polymeer Kemira SD-2081 gebruikt. Dit polymeer wordt in een 2-tank systeem aangemaakt tot een concentratie van 0,4% actief. De locatie beschikt over 2 centrifuges die elk hun eigen 2-tank systeem

hebben. Elk systeem bestaat uit 2 tanks met een inhoud van 2000 liter. De stamoplossing wordt afwisselend aangemaakt in één van de twee tanks. Een eenmaal aangemaakte tank wordt helemaal tot de bodem geleegd en daarna wordt overgeschakeld op de andere tank. De lege tank wordt vervolgens weer gevuld met nieuw aangemaakt polymeer en wacht daarna tot de andere tank leeg is. De menging van ruw polymeer en aanmaakwater gebeurt boven op de tank in een mengpijp waar het ruwe polymeer en het aanmaakwater bij elkaar komen. Bij het aanmaken van een nieuwe stamoplossing wordt de tank echter eerst gevuld met 600 liter aanmaakwater. Daarna wordt gedurende 13 minuten polymeer en water tegelijk gevoed en uiteindelijk wordt de tank afgevuurd met aanmaakwater tot 2000 liter. De tanks zijn voorzien van roerders met een vermogen van 0,75 kW. Als aanmaakwater wordt gefilterd effluent gebruikt.

Het aangemaakte polymeer wordt naverdund met effluent tot een concentratie van ongeveer 0,2% actief voordat het gevoed wordt aan de centrifuges.

Het te ontwateren slib is afkomstig van de rwzi Kralingseveer en zes andere zuiveringen van Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpernerwaard. Op deze zuivering wordt biologisch gedefosfateerd. Voor ontwatering wordt het slib nog vergist bij een concentratie van ongeveer 3,4% ds.

De centrifuge op Kralingseveer wordt normaal volcontinu bedreven. In de weekenden draait de centrifuge door totdat de slibvoorraad op. Normaal is centrifuge 1 in bedrijf en wordt centrifuge 2 alleen bijgenomen als de voorraden slib toenemen. De proeven zijn uitgevoerd op 29 en 30 juni 2013. Op maandagochtend was de centrifuge uit bedrijf en deze is 's ochtends rond 9:00 uur opgestart. Op dinsdagochtend is rond 10:00 uur ook centrifuge 2 opgestart. Op dat moment is de belasting van centrifuge 1 teruggenomen van 21 naar 17 m³/h. De slibmonsters zijn genomen rond 11:00 uur toen de centrifuge stabiel draaide.

AFBEELDING 12 SLIBONTWATERING KRALINGSVEER. LINKS: POLYMEERAAANMAAKTANK VOOR CENTRIFUGE 2, MIDDEN: MENGPIJP VOOR POLYMEER EN WATER, RECHTS: ROERDER IN VOORRAAD TANK



2.4.5 SLIBONTWATERING HENGLO

Op de slibontwatering Hengelo werd op het moment van de proeven het polymeer BASF 9048FS gebruikt. Dit polymeer wordt eerst aangemaakt tot een stamoplossing met een concentratie van 0,8 gew% actief. Het polymeer wordt aangemaakt in een DMU mengvat met een volume van 56 liter. Het opgenomen vermogen van de roerder is tijdens de proeven gemeten en bedroeg 1,3 kW. De roerder is een driebladige propellor roerder met een diameter van 176 mm (Afbeelding 13). Het toerental van de roerder is in bedrijf gemeten en bedroeg 960 rpm, waardoor de tipsnelheid van de roerder 8,8 m/s bedraagt. Tijdens de proeven werd polymeer aangemaakt met een debiet van 5500 l/h, waardoor de verblijftijd in het DMU vat minder dan een minuut bedroeg. Voor het aanmaken van het polymeer wordt gebroken leidingwater (bedrijfswater) gebruikt.

Het aangemaakte polymeer loopt vanuit het DMU vat over in een grotere voorraadtank met een bruto volume van 4500 liter. Als de voorraad in de tank zakt tot 2000 liter wordt de DMU unit ingeschakeld en deze vult het vat dan tot een niveau van 3500 liter. De tank wordt geroerd met een roerder die draait met een toerental van 300 rpm. Deze roerder heeft een diameter van 520 mm en heeft daardoor een tipsnelheid van 8,2 m/s. De roerder had een opgenomen vermogen van 1,3 kW. Bij een niveau van 2500 liter schakelt de roerder uit.

Afname van de stamoplossing gebeurt batchgewijs afhankelijk van het niveau in de naverdunningstank. Bij laag niveau in deze tank wordt de naverdunning gestart en wordt de naverdunningstank gevuld. De naverdunning vindt plaats met gefilterd effluent (proceswater) en brengt de concentratie terug tot 0,27 gew% actief. Afname van het naverdunde polymeer vindt continu plaats zodra de centrifuge in bedrijf is. Tijdens de proeven werd gemiddeld 3400 l/h aan naverdund polymeer afgenomen. Dit betekent dat gemiddeld 1100 l/h stamoplossing wordt afgenomen. De verblijftijd in de tank voor de stamoplossing bedraagt daarmee 110 tot 190 minuten.

Het te ontwateren slib is voornamelijk afkomstig van de rwzi Hengelo, maar hier worden ook slibben van andere rwzi's verwerkt. Het betreft voornamelijk slib dat biologisch gedefosfateerd wordt. Op de rwzi Hengelo wordt al het slib vergist bij een droge stof gehalte van ongeveer 3,0 % ds.

De centrifuge op Hengelo wordt normaal volcontinu bedreven. In de weekenden draait de centrifuge door totdat de slibvoorraad op. De proeven zijn uitgevoerd op 5 en 6 augustus 2013. Op maandagochtend was de centrifuge uit bedrijf en deze is 's ochtends rond 10:00 uur opgestart. Op dinsdagochtend zijn tussen 9:00 en 9:30 uur slibmonsters genomen.

AFBEELDING 13 SLIBONTWATERING HENGelo. LINKS: VOORRAADTANKS STAMOPLOSSING POLYMEER (RECHTS) EN NAVERDUND POLYMEER (LINKS), MIDDEN: ROERDER IN DMU MENGINSTALLATIE, RECHTS: ONTWERINGS-CENTRIFUGE.



3

RESULTATEN

3.1 PROEVEN RIJPING POLYMEER

3.1.1 VERGELIJKING POLYMEEREIGENSCHAPPEN

Van 11 polymeren is door laboratoriumproeven de rijping bepaald. Deze polymeren zijn allen aangemaakt met dezelfde waterkwaliteit (leidingwater Breda) en dezelfde concentratie ruw polymeer (1% oplossing) zodat de polymeren onderling vergeleken kunnen worden. Doordat de verschillende polymeren verschillende activiteiten hebben varieerden de concentraties op basis van actief polymeer tussen 0,42% en 0,50%. Tabel 2 geeft een overzicht van de resultaten voor de verschillende polymeren. De gegevens zijn gebaseerd op duplo bepalingen, met uitzondering van de polymeren SNF 3101 en Kemira C82080. Per proef is de ladingdichtheid in duplo bepaald zodat per polymeer in totaal 4 waarden voor de ladingdichtheid werden verkregen. Voor de viscositeit werd een gemiddelde standaard afwijking gevonden van 3% van de meetwaarde. Voor de toename van de geleidbaarheid was de gemiddelde standaardafwijking 6% en voor de ladingdichtheid 5%.

TABEL 2

VERGELIJKING POLYMEEREIGENSCHAPPEN (GEGEVENS VAN 1% OPLOSSING OP BASIS VAN RUW POLYMEER)

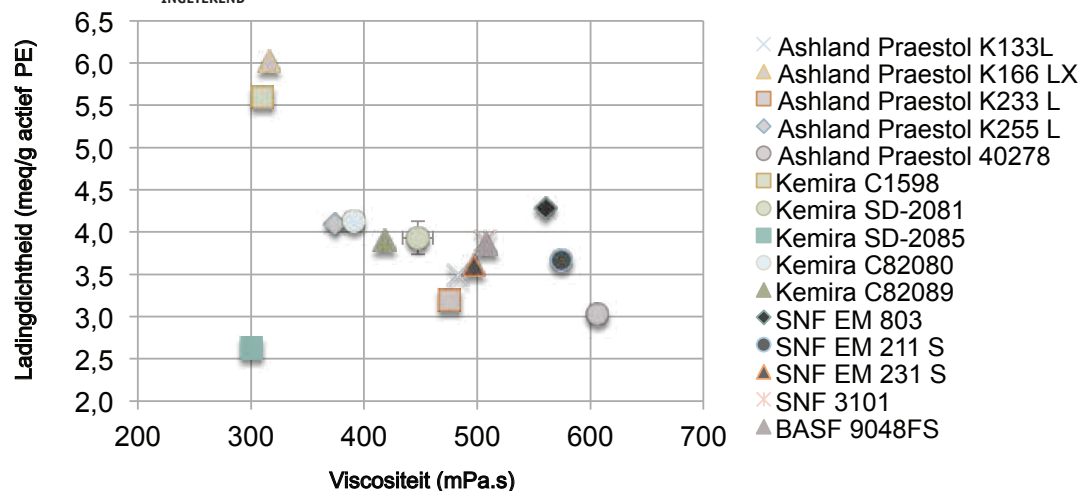
Polymeer	Activiteit	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g actief)
Ashland Praestol K133L	46%	483	719	3,5
Ashland Praestol K166 LX	42%	316	728	6,0
Ashland Praestol 40278	48%	606	787	3,0
BASF 9048FS	48%	508	826	3,9
Kemira C82080	46%	391	791	4,1
Kemira SD-2081	42%	448	642	3,9
Kemira SD-2085	46%	300	661	2,6
SNF EM 211 S	45%	575	631	3,7
SNF EM 231 S	49%	497	634	3,6
SNF EM 803	45%	561	655	4,3
SNF 3101	45%	507	873	3,9

Afbeelding 14 geeft de resultaten grafisch weer voor de eigenschappen viscositeit en ladingdichtheid en Afbeelding 15 voor de eigenschappen viscositeit en geleidbaarheid. In de afbeeldingen zijn ook indicatieve resultaten opgenomen voor vier polymeren die eerder door Aiforo voor een onderzoek bij Waterschap Scheldestromen zijn onderzocht.

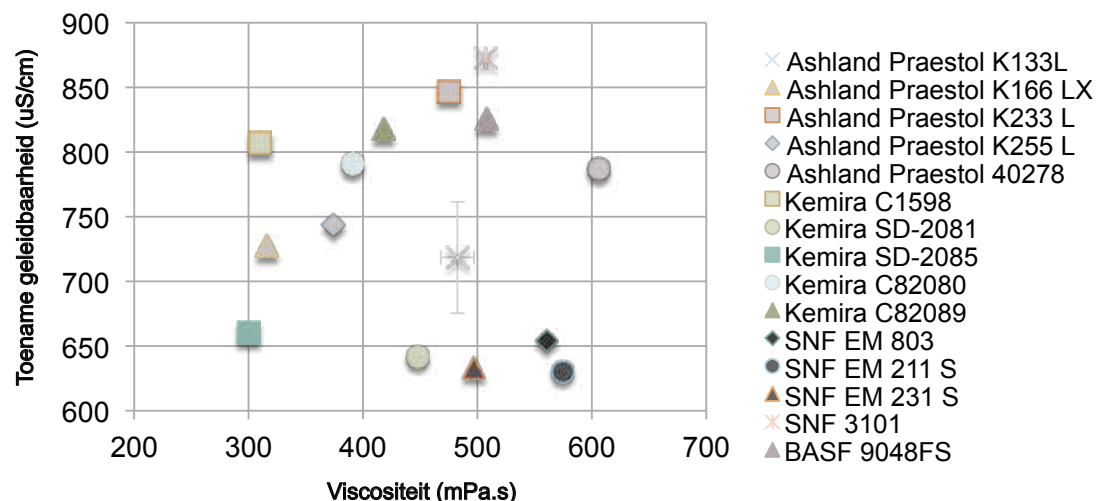
De kostprijs van de onderzochte polymeren ligt tussen 3,3 tot 4,4 euro/kg actief product (exclusief BTW). Er werd geen duidelijk verband gevonden tussen de kostprijs van het product en viscositeit of ladingdichtheid. Waarschijnlijk zijn andere invloeden als het moment van de aanschaf en concurrentie in een aanbesteding van meer belang.

Sommige leveranciers rapporteren in hun algemene informatie over hun producten ook waarden voor de viscositeit van hun product. In de meeste gevallen blijft deze informatie beperkt tot de bulk viscositeit van het ruwe, onverdunde product. Soms worden ook waarden gegeven van de aangemaakte oplossingen. Deze waarden kunnen verschillen van de waarden uit dit onderzoek, hoewel de grootte orde overeen moet komen. Verschillen kunnen ontstaan door de gebruikte waterkwaliteit en meetmethode⁶. Vergelijkingen met viscositeitswaarden uit andere bronnen zijn om deze reden maar beperkt mogelijk.

AFBEELDING 14 VERGELIJKING LADINGDICHTHEID EN VISCOSITEIT VAN VERSCHILLENDE POLYMEREN (1% OPLOSSING O.B.V. RUW POLYMEER IN KRAANWATER). VOOR 1 PUNT (KEMIRA SD-2081) IS DE GEMIDDELTE STANDAARDDEVIATIE VOOR DE BEPALING VAN DE VISCOSITEIT EN GELEIDBAARHEID INGETEKEND



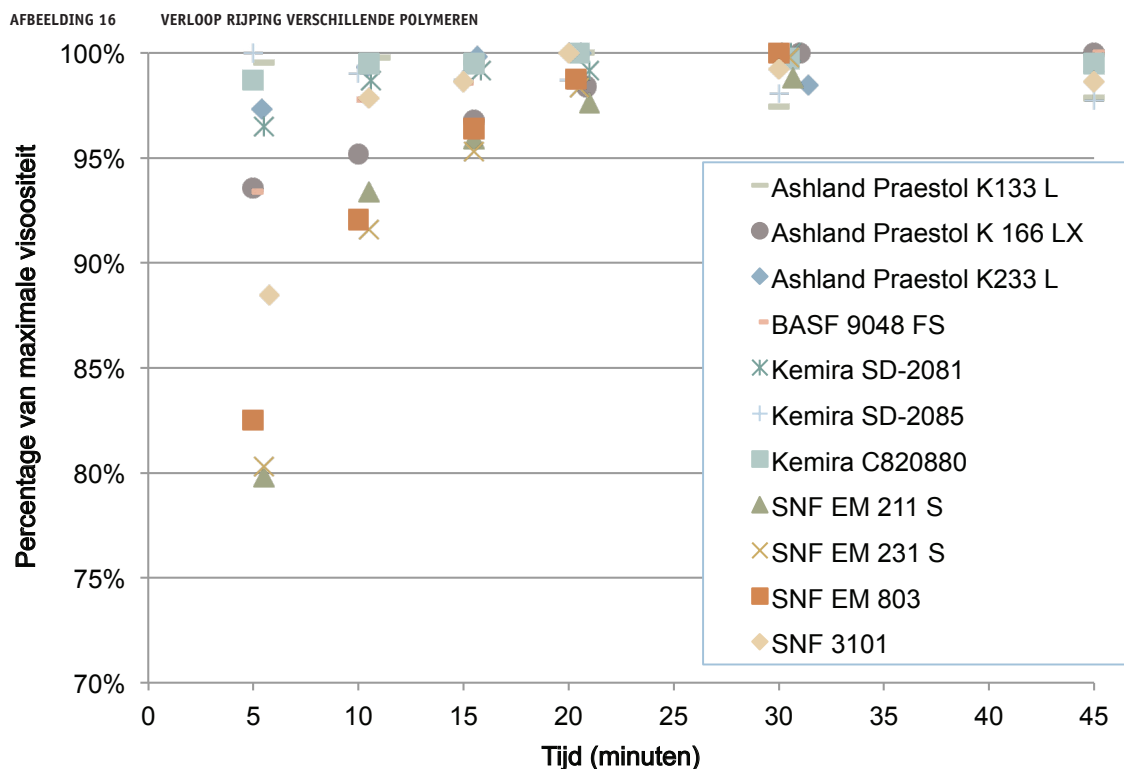
AFBEELDING 15 VERGELIJKING VISCOSITEIT EN TOENAME GELEIDBAARHEID VAN VERSCHILLENDE POLYMEREN (1% OPLOSSING O.B.V. RUW POLYMEER IN KRAANWATER). VOOR 1 PUNT (PRAESTOL K133L) IS DE GEMIDDELTE STANDAARDDEVIATIE VOOR DE BEPALING VAN DE VISCOSITEIT EN GELEIDBAARHEID INGETEKEND



De afbeeldingen laat zien dat de meeste polymeren een ladingdichtheid hebben tussen 3,5 en 4 meq/g actief PE. Deze polymeren verschillen wel veel in de viscositeit van de verkregen oplossing. Een hoge ladingdichtheid blijkt niet altijd samen te vallen met een hoge toename van de geleidbaarheid. De toename van de geleidbaarheid van de oplossing is derhalve geen goede maat voor de lading van het polymeer. Kennelijk bevat de polymeeroplossing ook andere zouten dan alleen het geladen polymeer en zijn tegenionen.

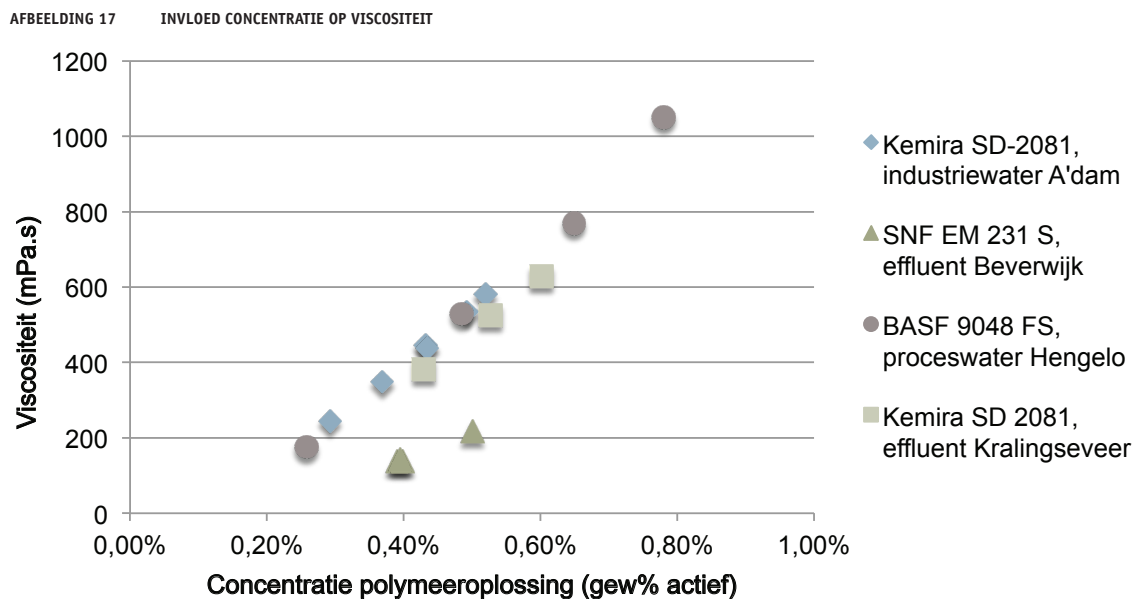
⁶ De meting van de viscositeit is methode bepaald. De gekozen meetmethode en uitvoering ervan kunnen invloed hebben op het resultaat van de meting. Dit geldt zeker als de viscositeit van de te meten vloeistof afhangt van de opgelegde afschuifspanning (niet-Newtoniaans gedrag). Zie ook paragraaf 2.2.2.

Afbeelding 16 vergelijkt de rijping van de verschillende polymeren. De figuur laat zien dat alle polymeren na 15 minuten meer dan 95% van de maximale viscositeit hebben bereikt. Vijf van de polymeren hebben dit al na 5 minuten bereikt. Met name de SNF polymeren hebben een iets langere tijd nodig dan de andere polymeren. Deze rijping zal overigens nog steeds snel genoeg zijn voor de meeste installaties.



3.1.2 INVLOED CONCENTRATIE

De invloed van de concentratie op de viscositeit is bij de laboratoriumproeven onderzocht. Afbeelding 17 geeft de resultaten voor enkele van de proeven. Binnen het onderzochte bereik werden voor alle polymeren lineaire positieve verbanden gevonden tussen concentratie en viscositeit met hoge correlatiecoëfficiënten (>0,99).



3.1.3 INVLOED WATERKWALITEIT

Tabel 3 en Afbeelding 18 laten de invloed zien van de verschillende waterkwaliteiten op de eigenschappen van het aangemaakte polymeer. De waarden in de tabel zijn steeds vergeleken bij vergelijkbare concentraties actief polymeer.

TABEL 3 INVLOED WATERKWALITEIT OP EIGENSCHAPPEN AANGEMAAKT POLYMEER, RESULTATEN LABORATORIUMPROEVEN

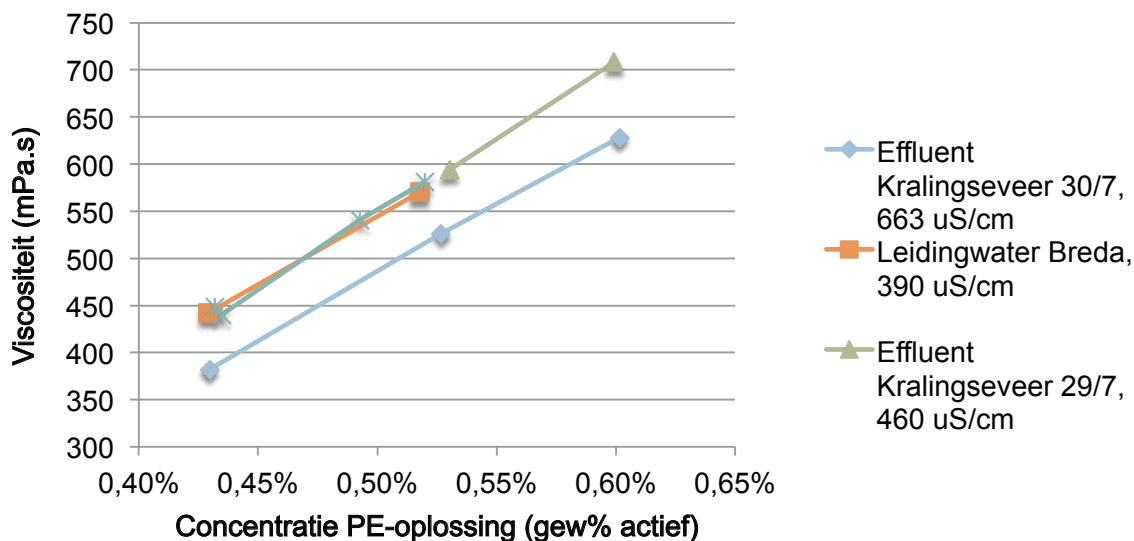
Watertype	Geleidbaarheid aanmaakwater ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Viscositeit ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	Δ Geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ladingdichtheid (meq/g)
Den Bosch, SNF EM 803				
Effluent	925	405	605	4,1
Diezewater	428	531	636	4,3
Leidingwater Breda	358	561	655	4,3
Beverwijk, SNF EM 231 S				
Aangezouten kraanwater Breda	1725	213	565	3,6
Bedrijfswater (effluent)	1250	219	505	3,7
Leidingwater Beverwijk	500	433	570	3,9
Leidingwater Breda	389	497	634	3,6
Amsterdam West, Kemira SD-2081				
Industriewater Amsterdam	508	444	661	4,0
Leidingwater Breda	405	449	688	4,0
Gedemineraliseerd water	0	708	1040	3,8
Hengelo, BASF 9048FS				
Leidingwater Hengelo	314	176	459	-
Leidingwater Hengelo 33% en 67%	735	128	438	-
Effluent Hengelo				

De resultaten tonen aan dat het zoutgehalte van het water grote invloed heeft op de viscositeit van de polymeer oplossing. Zouter water leidt tot een lagere viscositeit. Bij de proeven in Beverwijk valt de viscositeit van de polymeeroplossing erg laag uit doordat het water dat gebruikt wordt (gefilterd effluent) relatief zout is. Bij de locatie Kralingseveer leidt een verandering van de geleidbaarheid van het aanmaakwater van 460 tot 663 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tot een 12% lagere van de viscositeit van het aangemaakte polymeer (Afbeelding 18).

Dat het zoutgehalte hier een belangrijke rol speelt wordt bevestigd doordat ook het aanzouten van kraanwater leidt tot een duidelijk lagere viscositeit van het polymeer. Omgekeerd wordt met gedemineraliseerd water juist een fors hogere viscositeit gekregen. Opvallend is verder ook dat bij gebruik van gedemineraliseerd water de geleidbaarheid sterker toeneemt dan bij gebruik van gewoon water. Waarschijnlijk onttrekt het gedemineraliseerde water meer ionen uit de omgeving van het polymeer dan gewoon water.

Anderzijds laat Afbeelding 18 zien dat de verschillen in de geleidbaarheid in de range van 390-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ weinig invloed hebben op de viscositeit van de aangemaakte oplossing. Dit kan betekenen dat ook het type zout invloed heeft op de ontwikkeling van de viscositeit.

AFBEELDING 18 INVLOED WATERKWALITEIT OP VISCOSITEIT, RESULTATEN VOOR KEMIRA SD-2081, RESULTATEN LABORATORIUMPROEVEN



3.2 PRAKTIJKGEGEVENS POLYMEERAANMAAK

3.2.1 SLIBONTWATERING DEN BOSCH

Op 3 en 4 juni 2013 zijn monsters van het aangemaakte polymeer genomen uit de aanmaak installatie op de slibontwatering Den Bosch. De monsters zijn steeds genomen uit de bodem afsluiter van de tank. De onderstaande tabel geeft de resultaten van de metingen aan deze monsters en vergelijkt deze met de resultaten van de laboratoriumproeven.

TABEL 4 RESULTATEN KWALITEITSMETINGEN VAN AANGEMAAKT POLYMEER (SNF EM 803) UIT AANMAAKINSTALLATIE DEN BOSCH EN LABORATORIUMPROEVEN

Datum en tijd	Concentratie (gew% PE)	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Monster uit praktijkinstallatie				
3/6 9:40		(30°C) 418	565	4,6
3/6 15:50		493	-	4,6
4/6 8:55		(23°C) 500	725	4,6
4/6 14:10		(30°C) 492	645	4,4
Gemiddeld praktijk	0,46%	(495)* 476	645	4,6
Standaard Deviatie		(4)* 39	80	0,1
Laboratoriumproeven				
P1, 3/6	0,46%	(22°C) 520	605	4,3
P3, 3/6	0,46%	(22°C) 523	655	4,4
P7, 4/6	0,47%	(22°C) 560	650	
P8, 4/6	0,46%	(23°C) 519	635	
Gemiddeld laboratoriumproeven	0,46%	531	636	4,3
Standaard Deviatie	0,01%	20	23	0,1

* Waarde zonder eerste monster: dit monster was van na het weekend en betrof oud polymeer.

Volgens de gegevens van Waterschap Aa en Maas wordt in de praktijkinstallatie een polymeer-oplossing gemaakt met een concentratie van 0,46%. Voor de aanmaak van de oplossing wordt water uit de Dieze gebruikt. Op laboratoriumschaal is de rijping van het gebruikte polymeer nagebootst in vier laboratoriumproeven met vergelijkbare concentraties en hetzelfde water. De laboratoriumproeven laten een hogere viscositeit zien terwijl de monsters uit de praktijk-

installatie juist een hogere geleidbaarheid en ladingdichtheid vertonen. Dit laatste zou er op kunnen wijzen dat de concentratie in de praktijkinstallatie hoger is dan de aangenomen waarde van 0,46%. De lagere viscositeit in de praktijkinstallatie kan wijzen op een onvoldoende rijping van het polymeer in vergelijking met de laboratoriumproeven.

De locatie Den Bosch is bijzonder omdat het aanmaakwater hier voorverwarmd wordt. Hierdoor is de temperatuur van de aangemaakte polymeer oplossing hoger en kan de viscositeit hierdoor lager uitvallen. De metingen van de viscositeit zijn echter bij verschillende temperaturen (zie tabel 4) uitgevoerd en deze temperatuurverschillen lijken geen grote invloed te hebben op de meetwaarde. Het aantal meetpunten is echter beperkt zodat deze invloed niet met zekerheid kan worden uitgesloten.

3.2.2 SLIBONTWATERING BEVERWIJK

Op 10 en 11 juni 2013 zijn monsters genomen van het aangemaakte polymeer uit de aanmaak installatie op de slibontwatering Beverwijk. De monsters zijn steeds genomen uit de bodem afsluiter van de tank. De onderstaande tabel geeft de resultaten van deze metingen. De monsters zijn steeds genomen uit de bodem afsluiter van de tank. De onderstaande tabel geeft de resultaten van de metingen aan deze monsters en vergelijkt deze met de resultaten van de laboratoriumproeven.

TABEL 5 RESULTATEN KWALITEITSMETINGEN VAN AANGEMAAKT POLYMEER (SNF EM 231 S) UIT AANMAAKINSTALLATIE BEVERWIJK EN LABORATORIUMPROEVEN

Datum en tijd	Concentratie (gew% PE)	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Monster uit praktijkinstallatie				
10/6 10:20		185	405	3,4
10/6 14:20 (laag niveau)		184	-	3,6
10/6 15:05 (hoog niveau)		179	305	-
11/6 9:15 (hoog niveau)		186	545	-
11/6 16:45		177	545	-
Gemiddeld praktijk	0,44%	182	450	3,5
Standaard Deviatie		4	117	0,1
Laboratoriumproeven				
P11	0,50%	218	505	3,7
P12	0,39%	138	380	3,5
P14	0,40%	138	350	3,5
P16	0,40%	144	376	3,5
Interpolatie laboratoriumproeven	0,44%	171	423	3,5

De gegevens van de procesbesturing van de polymeeraanmaak lieten zien dat bij het aanmaken van het polymeer 5800 l/h water wordt gedoseerd en 47 kg/h ruw polymeer (49% actief). Dit betekent dat de polymeeroplossing een concentratie moet hebben van 0,39%. In de weken na de uitvoering van de proeven is de massaflowmeter van de polymeerdosering tweemaal gecontroleerd door deze uit te literen. Hierbij bleek dat de aanwijzing van massaflowmeter 10-12% lager was dan de daadwerkelijke flow. De werkelijke polymeerconcentratie wordt daarom ingeschat op 0,44%.

De resultaten van de laboratoriumproeven zijn vergeleken met de resultaten van de praktijkinstallatie door te interpoleren tussen de resultaten voor een concentratie van 0,4% en 0,5%. Deze resultaten laten zien dat de viscositeit en de geleidbaarheid van het polymeer in de

praktijkinstallatie iets hoger is dan op basis van de laboratoriumproeven wordt ingeschat. Dit kan er op wijzen dat de rijping in de praktijkinstallatie beter is dan bij de laboratoriumproeven. Het verschil kan ook veroorzaakt worden door concentratieverschillen. Als aangenomen wordt dat de concentratie in de praktijkinstallatie 0,45% is, zijn de resultaten volledig vergelijkbaar. Dit komt overeen met een afwijking van de massaflowmeter van 14% (in plaats van de geconstateerde 10-12%).

3.2.3 SLIBONTWATERING AMSTERDAM WEST

Op 17 en 18 juni zijn monsters genomen van het aangemaakte polymeer uit de aanmaakinstallaties op de slibontwatering van Amsterdam West. Bij deze slibontwatering werd hetzelfde polymeer ook gebruikt voor de bandindikers, maar met een ander soort aanmaakinstallatie. Om het verschil in aanmaakinstallatie te onderzoeken werden daarom monsters genomen van zowel het voor de centrifuges aangemaakte polymeer als van het polymeer dat gebruikt werd op de bandindikers. De monsters werden steeds genomen uit een afsluiter in de pers van de voedingspomp naar respectievelijk centrifuge 2 dan wel bandindikker 5 (SSI5). Omdat de bandindikers wisselend gevoed worden uit 2 verschillende aanmaaktanks is steeds ook onderscheid gemaakt in de tank waaruit het polymeer naar de bandindikers werd gevoed.

Tabel 6 vat de resultaten van de bepalingen op de praktijkmonsters samen.

TABEL 6

RESULTATEN KWALITEITSMETINGEN VAN AANGEMAAKT POLYMEER (KEMIRA SD-2081) UIT AANMAAKINSTALLATIE AMSTERDAM WEST EN LABORATORIUMPROEVEN

Datum en tijd	Concentratie (gew% PE)	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Monsters uit praktijkinstallatie – voeding centrifuge 2				
17/6 9:20		440	633	3,7
17/6 11:55		401	608	3,7
17/6 14:40		465	716	3,5
18/6 9:42		463	593	3,5
18/6 11:37		457	698	-
18/6 14:40		454	663	-
Gemiddeld Centrifuge	0,5%	447	652	3,6
Standaard deviatie		24	49	0,1
Monsters uit praktijkinstallatie – voedingbandinkkers uit tank 1				
17/6 14:45		510	758	4,3
18/6 9:40		510	776	4,3
18/6 14:45		519	741	-
Gem. Bandindikker, tank 1	0,42%	513	758	4,3
Standaard deviatie		5	18	0,1
Monsters uit praktijkinstallatie – voedingbandinkkers uit tank 2				
17/6 12:05		419	623	4,4
18/6 11:05		428	577	4,4
18/6 15:45		426	661	-
Gem. Bandindikker, tank 2	0,42%	424	620	4,4
Standaard deviatie		5	42	0,02

De viscositeit van het aangemaakte polymeer voor de centrifuges blijkt sterker te variëren dan de viscositeit in de tanks voor de bandindikers. Het polymeer voor de centrifuges wordt aangemaakt met twee verschillende aanmaakeenheden die beide voeden naar dezelfde tank.

De variaties in de viscositeit worden waarschijnlijk veroorzaakt doordat beide aanmaakeenheden niet exact dezelfde concentratie aanmaken.

Volgens opgave van de bedrijfsvoering van Waternet wordt het polymeer naar de centrifuge aangemaakt met een concentratie van 0,50% en het polymeer naar de bandindikkers met een concentratie van 0,42%. Het polymeer voor de bandindikkers uit tank 1 blijkt echter een hogere viscositeit te hebben dan het polymeer voor de centrifuges. Bovendien bleek het polymeer voor de bandindikkers uit tank 2 fors te verschillen van het polymeer uit tank 2.

Deze verschillen kunnen veroorzaakt worden door concentratieverschillen dan wel verschillen in de rijping van het polymeer. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen is door Waternet van een aantal monsters het CZV-gehalte gemeten. Tabel 7 vat de resultaten samen.

TABEL 7

RESULTATEN CZV-BEPALINGEN OP VIER POLYMEERMONSTERS

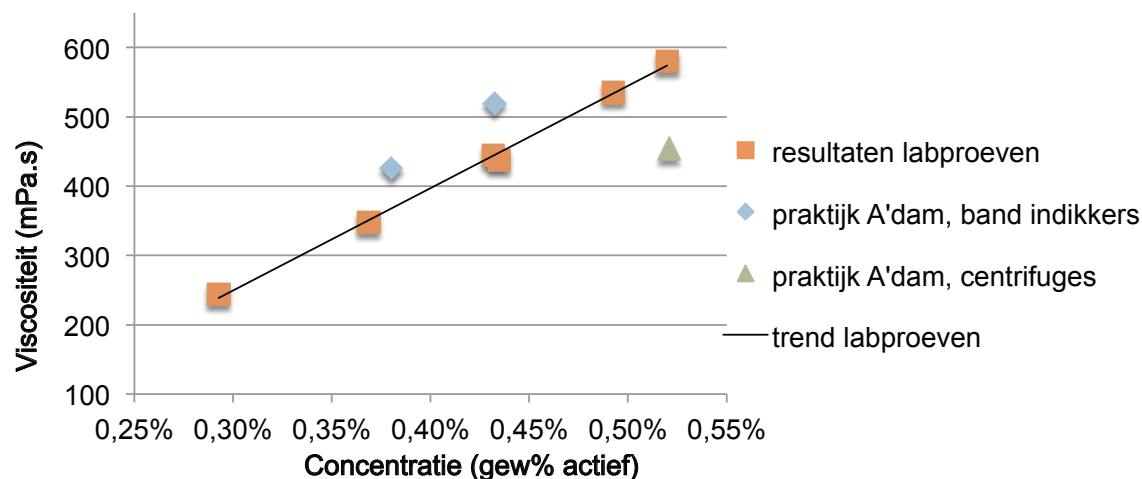
Monster	CZV (mg/l)	Concentratie (% actief)	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)
PE laboratoriumproef P29, 18/6	8420	0,49%	541	1210
PE Centrifuge, 18/6 14:40	8900	(*) 0,52%	454	1190
PE Bandindikker, tank 1, 18/6 14:45	7390	(*) 0,43%	519	1268
PE Bandindikker, tank 2, 18/6 15:45	6500	(*) 0,38%	426	1188

* Berekend op basis van de concentratie van de laboratoriumproef en naar rato van de CZV-concentratie

De CZV-bepalingen van de monsters zijn gebruikt om de concentratie in de verschillende monsters terug te rekenen. Van het monster van de laboratoriumproef is immers de concentratie bekend zodat een relatie is te leggen tussen de CZV concentratie en polymeerconcentratie in de oplossing. De resultaten van de CZV-bepalingen bevestigen dat er een verschil in concentratie is tussen de tanks van de bandindikkers. De concentratie in tank 1 is 3% hoger dan de verwachte waarde, terwijl de concentratie in tank 2 juist 10% lager is dan verwacht.

AFBEELDING 19

VERGELIJKING VISCOSITEIT LABORATORIUM MONSTERS EN PRAKTIJKMONSTERS ALS FUNCTIE VAN DE CONCENTRATIE



De verschillen in concentratie kunnen de verschillen in viscositeit tussen de verschillende monsters niet volledig verklaren. Afbeelding 19 en Tabel 8 vergelijken de gegevens van de praktijkmonsters met de resultaten van de laboratoriumproeven. Deze vergelijking laat zien dat de viscositeit van het polymeer uit de bandindikkers hoger is dan met de laboratorium-

proeven wordt bereikt bij vergelijkbare concentraties. De resultaten van beide tanks zijn ook consistent met elkaar: de helling tussen beide monsters is vergelijkbaar met de helling van de laboratoriumproeven. Verder is ook de ladingdichtheid van deze monsters hoger dan van de laboratoriumproeven. Dit wijst erop dat de rijping in de praktijk installatie beter is dan met de laboratoriumproeven kan worden bereikt.

TABEL 8

VERGELIJKING KWALITEIT PE UIT PRAKTIJKINSTALLATIE AMSTERDAM WEST MET RESULTATEN LABORATORIUMPROEVEN

Monster	Concentratie (gew% PE)	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Polymeer voor centrifuges				
Praktijk	0,52%	447	652	3,6
Resultaat laboratoriumproeven	0,52%	575	768	4,0
Polymeer bandindikers, tank 1				
Praktijk	0,43%	513	758	4,3
Resultaat laboratoriumproeven	0,43%	445	680	4,0
Polymeer bandindikers, tank 2				
Praktijk	0,38%	424	620	4,4
Resultaat laboratoriumproeven	0,38%	368	628	4,0

De viscositeit van het polymeer voor de centrifuges is juist duidelijk lager dan verwacht mag worden op basis van de laboratoriumproeven. Dit zou betekenen dat de rijping van het polymeer onvoldoende is. De ontwikkeling van de viscositeit van enkele praktijkmonsters is bij de proeven enige tijd gevolgd maar verbeterde niet in de loop van de tijd. Dit bevestigt eerdere bevindingen dat vooral een goede initiële menging van polymeer en water van belang is om een goede rijping te krijgen. In de gebruikte installatie gebeurt dit kennelijk onvoldoende.

Een andere verklaring voor de lage viscositeit van het polymeer van de centrifuges is te vinden in de plaats van monsternamen. Het polymeer kon alleen bemonsterd worden in de pers van de voedingspompen. Doordat in Amsterdam West de centrifuges relatief ver van de polymeer-aanmaak staan is de druk op dit punt relatief hoog (ca. 5 bar). Bij de monsternamen van het polymeer moet de afsluiter daardoor flink geknepen blijven waardoor het risico bestaat dat het polymeer bloot staat aan hoge afschuifkrachten. Hierdoor kan het polymeer beschadigd raken met een lagere viscositeit tot gevolg.

3.2.4 SLIBONTWATERING KRALINGSEVEER

Op 29 en 30 juli zijn monsters genomen uit de installaties voor de aanmaak van polymeer op de slibontwatering Kralingseveer. Op deze locatie zijn twee sets van twee tanks beschikbaar voor de aanmaak van polymeer. Tijdens het bezoek werd vooral polymeer afgenomen uit tank A3720. Deze tank bestaat uit twee compartimenten van waaruit wisselend gevoed wordt aan centrifuge 1. De tweede tank (A3770) heeft een vergelijkbare opzet en voedt centrifuge 2. Deze tweede tank was alleen de tweede dag kort in bedrijf, waardoor hiervan minder monsters zijn genomen.

De viscositeit en de geleidbaarheid van de monsters uit praktijkinstallatie bleek sterk te variëren. Vanwege deze sterke variatie zijn er extra veel monsters genomen uit de praktijkinstallatie om de oorzaak te achterhalen. Uiteindelijk blijkt de variatie in de kwaliteit van het monster samen te hangen met het niveau in de tank: hoe lager het niveau, hoe groter de kans op een viskeuzer monster.

TABEL 9

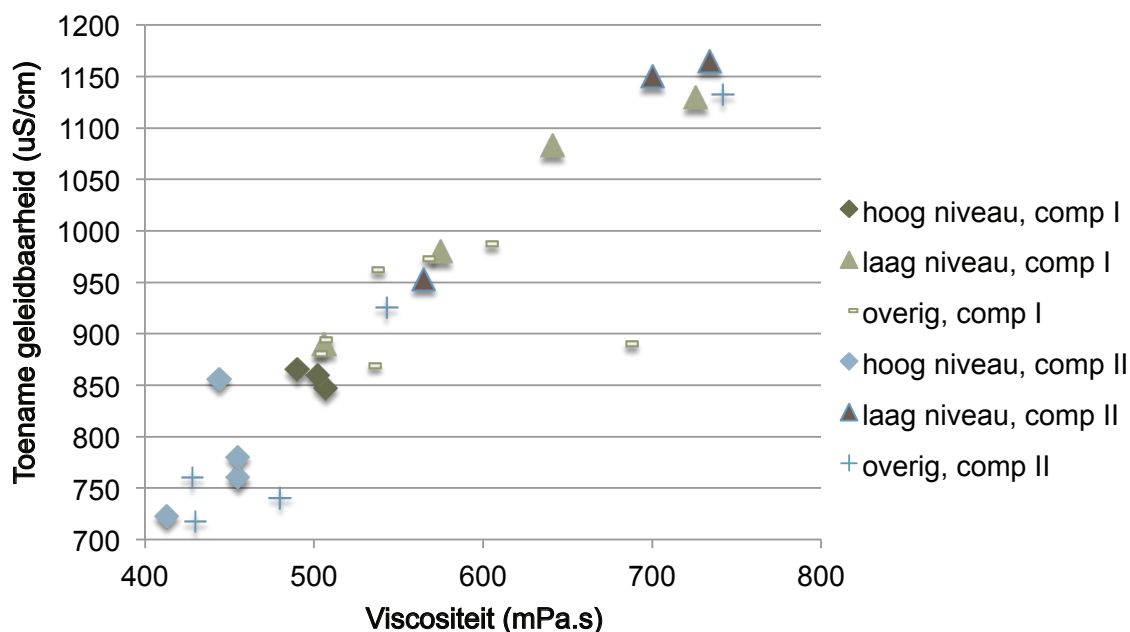
RESULTATEN MONSTERNAME POLYMEER UIT PRAKTIJKINSTALLATIE

Omschrijving	#monsters	Viscositeit (mPa.s)	Δ Geleidbaarheid (μ S/cm)
Tank A3720, compartiment I			
Gemiddeld	14	562	936
Standaard deviatie		75	87
Monsters bij hoog niveau	3	500	857
Standaard deviatie		9	9
Monsters bij laag niveau	3	602	1000
Standaard deviatie		94	107
Tank A3720, compartiment II			
Gemiddeld	12	532	888
Standaard deviatie		120	167
Monsters bij hoog niveau	4	442	780
Standaard deviatie		20	56
Monsters bij laag niveau	3	666	1089
Standaard deviatie		89	118
Tank A3770, compartiment I			
Gemiddeld	9	493	1087
Standaard deviatie		33	304

Tabel 9 vat de resultaten van de bepalingen op de monsters uit de praktijkinstallatie samen. Om een beter beeld te krijgen bij de spreiding in de meetresultaten zijn deze in Afbeelding 20 grafisch weergegeven.

AFBEELDING 20

GRAFISCHE WEERGAVE SPREIDING IN POLYMEEREIGENSCHAPPEN PRAKTIJKINSTALLATIE



Om de invloed van het niveau in de tank verder te onderzoeken zijn voor beide compartimenten van tank A3720 en voor compartiment I van tank A3770 gedurende een cyclus regelmatig monsters genomen terwijl er polymeer uit de tank werd afgenomen. Afbeelding 22 laat zien dat in tank A3720 de viscositeit ongeveer 10-15 minuten voor het eind van de cyclus begint op te lopen. De toename was daarbij voor het compartiment II hoger dan voor compartiment I. In de andere tank (A3770) werd geen toename van de viscositeit geconstateerd. Voor de

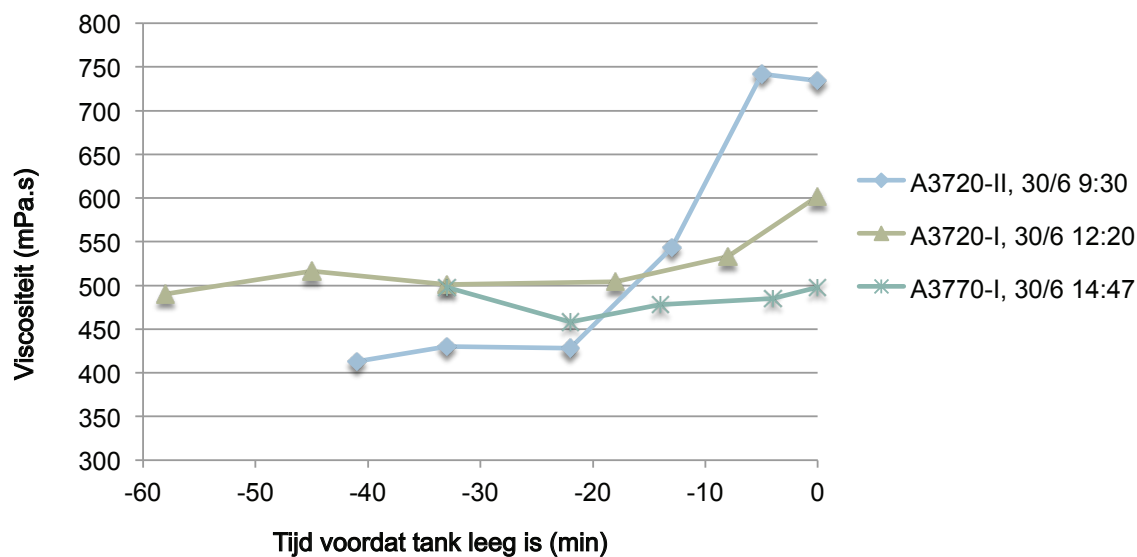
monsternamen van deze tank was er enige tijd geen afname geweest uit de tank. Mogelijk had de roerder in de tank daardoor meer tijd om de tank te homogeniseren.

AFBEELDING 21 NIVEAU IN DE TANK A3720 II WAARBIJ DE VISCOSITEIT BEGINT OP TE LOPEN



Een onvolledige rijping van het polymeer was niet de oorzaak van deze toename in de viscositeit. Dit bleek uit het feit dat de viscositeit van monsters genomen aan het begin van de cyclus niet verder meer toenam ook al werden deze enige tijd weggezet.

AFBEELDING 22 ONTWIKKELING VISCOSITEIT GEDURENDE EEN AFNAME CYCLUS IN DE PRAKTIJKINSTALLATIE (MONSTERNAMEN IN PERS VOEDINGSPOMP NAAR CENTRIFUGE)



De variatie van de viscositeit in de tank is waarschijnlijk toe te schrijven aan een onvolledige menging in de tank. Bij het aanmaken van nieuw polymeer wordt de tank eerst gevuld met 600 liter water. Daarna wordt gedurende 13 minuten tegelijk ruw polymeer en water toegevoegd en tenslotte wordt de tank verder afgevuurd tot 2000 liter. Hierdoor ontstaat er waarschijnlijk verschillende lagen in de tank met verschillende concentraties. Om deze hypothese te testen is van een aantal monsters het CZV-gehalte bepaald om zo verschillen in viscositeit door concentratie of onvolledige rijping te kunnen vaststellen. Om een relatie te kunnen leggen tussen de CZV-concentratie en de polymeerconcentratie is ook het CZV bepaald van een monster van één van de laboratoriumproeven. Tabel 10 laat zien dat een

hogere viscositeit in het monster inderdaad overeenkomt met een hogere concentratie in het monster.

TABEL 10

RESULTATEN CZV-BEPALINGEN OP VIJF POLYMEERMONSTERS, LOCATIE KRALINGSEVEER

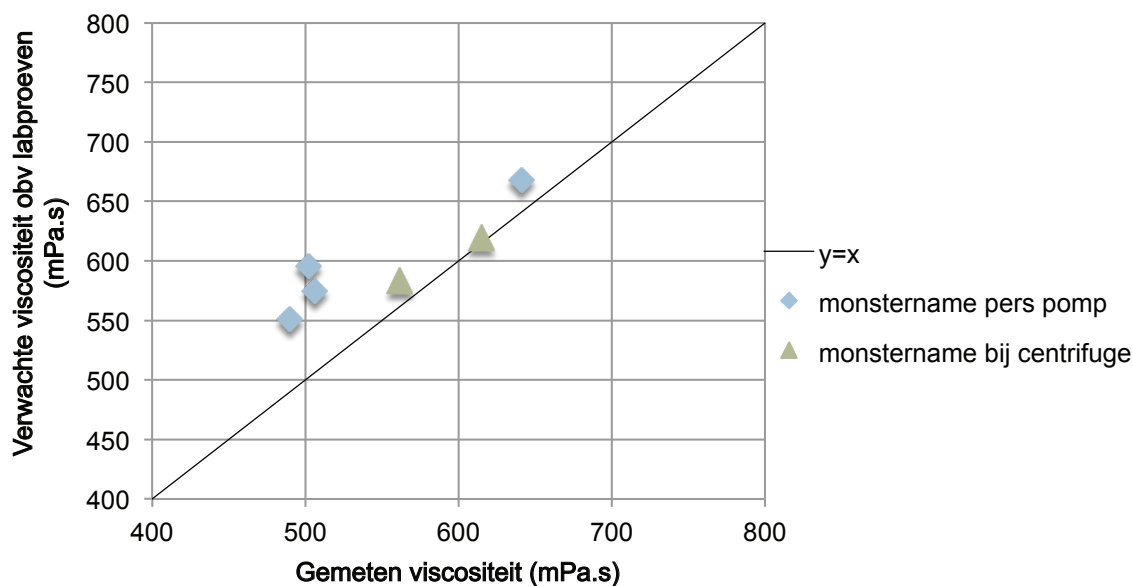
Monster	CZV (mg/l)	Concentratie (% actief)	Viscositeit (mPa.s)	Δ Geleidbaarheid (μ S/cm)
A3770-I, 29/7 15:30, volle tank	13580	(*) 0,53%	502	860
A3770-I, 29/7 15:55, lege tank	13260	(*) 0,52%	506	890
A3770-I, 30/7 11:30, volle tank	13980	(*) 0,55%	490	863
A3770-I, 29/7 12:20, lege tank	16060	(*) 0,63%	641	1081
Laboratoriumproef P40	15400	0,60%	628	1031

* Berekend op basis van de concentratie van de laboratoriumproef en naar rato van de CZV-concentratie

Omdat voor deze monsters de concentratie bekend is, zijn deze te vergelijken met de viscositeit die verkregen wordt met een laboratoriumproef bij dezelfde concentratie. Deze verwachte viscositeit kan dan vergeleken worden met de daadwerkelijk gemeten viscositeit. Afbeelding 23 laat zien dat de verwachte viscositeit significant hoger is dan de gemeten viscositeit van de monsters uit de praktijkinstallatie. Dit kan er op wijzen op dat de rijping in deze monsters niet volledig is.

AFBEELDING 23

VERGELIJKING VAN DE VISCOSITEIT VAN MONSTERS UIT DE PRAKTIJKINSTALLATIE MET DE VERWACHTE VISCOSITEIT OP BASIS VAN DE LABORATORIUMPROEVEN



De lagere viscositeit kan ook hier echter het gevolg zijn van de wijze van monsternamen. De meeste monsters zijn genomen in de pers van de pomp die de voeding aan de centrifuge verzorgt. Gedurende de proeven zijn ook enkele monsters van het aangemaakte polymeer genomen op een punt dicht bij de centrifuge en verder weg van de pomp. Op deze plaats was de druk in de leiding minder groot en hoefde de afsluiter minder ver geknepen te blijven om een monster te kunnen nemen. De monsters die op dit punt genomen werden bleken een hogere viscositeit te hebben. De monsters werden echter altijd genomen nadat een monster bij de pomp was genomen. Omdat de viscositeit in de tank bij afname langzaam blijkt toe te nemen kan deze hogere viscositeit ook veroorzaakt zijn door variaties in de tank. Van twee monsters op dit tweede monsterpunt is daarom ook het CZV-gehalte bepaald om dit aspect uit te kunnen sluiten. De resultaten van deze monsters zijn ook verwerkt in Afbeelding 23.

Voor deze twee monsters blijkt de viscositeit beter overeen te komen met de waarde van de laboratoriumproeven.

3.2.5 SLIBONTWATERING HENGLO

Op 5 en 6 augustus 2013 zijn proeven uitgevoerd op de slibontwatering van Hengelo. Op deze locatie wordt het polymeer eerst aangemaakt in een stamoplossing met proceswater (gebroken leidingwater). Deze stamoplossing wordt vervolgens naverdund met bedrijfswater (gefilterd effluent). Bijzonder is dat het naverdunde polymeer wordt gebufferd in een buffertank voordat het gevoed wordt naar de centrifuge.

Tabel 11 geeft de resultaten van de bepalingen van de kwaliteit van de polymeermonsters van de stamoplossing in de aanmaakinstallatie in Hengelo. De variatie in de kwaliteit van de stamoplossing is klein (standaard deviatie: 2%).

TABEL 11

RESULTATEN KWALITEITSMETINGEN VAN AANGEMAAKT POLYMEER (BASF 9048 FS) UIT AANMAAKINSTALLATIE HENGLO, STAMOPLOSSING

Datum en tijd	Viscositeit (mPa.s)	Δ Geleidbaarheid (μ S/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Stamoplossing			
5/8 09:40	1000	1236	
5/8 10:10	987	1238	
5/8 14:55	981	1068	
5/8 15:15	985		
5/8 15:37	949	1166	
5/8 16:16	979		
6/8 08:35	977	1191	
6/8 09:08	1029	1169	
6/8 10:48	1000	1171	
6/8 10:57	1000	1166	
6/8 11:05	1018	1185	
6/8 13:10	1020	1198	3,9
Gemiddeld	994	1179	3,9
Standaard deviatie	22	47	

Tabel 12 laat zien dat ook de variatie van kwaliteit van het naverdunde polymeer in de buffertank klein is (standaard deviatie: 3%). Wel wordt er veel variatie gevonden in de kwaliteit van het polymeer in monsters die direct na de naverdunningsinstallatie zijn genomen voordat het de buffertank in gaat. Gemiddeld is de viscositeit gelijk aan die in de naverdunningstank, maar de schommelingen rond het gemiddelde zijn groot (standaard deviatie: 23%). Deze variatie worden in de buffertank kennelijk goed uitgevlakt. Mogelijk speelt hier ook de monsternamen een rol doordat bij het nemen van een monster de persdruk van de naverdunningseenheid beïnvloed wordt en daarmee ook de verhouding polymeer en water.

TABEL 12

RESULTATEN KWALITEITSMETINGEN VAN AANGEMAAKT POLYMEER (BASF 9048 FS) UIT AANMAAKINSTALLATIE HENGLO, NAVERDUND POLYMEER

Datum en tijd	Viscositeit (mPa.s)	ΔGeleidbaarheid (μS/cm)	Ladingdichtheid (meq/g)
Naverdund polymeer (bodem tank)			
5/8 13:35	148	1074	
5/8 13:55	155	1073	
5/8 14:10	152	1076	
5/8 15:34	160	1052	
5/8 15:55	154	1066	
5/8 16:08	154	1077	
6/8 09:05	159	1128	
6/8 10:55	160		
6/8 11:12	156	1113	
6/8 13:17	158		
6/8 13:46	150	1098	
6/8 14:07	157	1122	4,0
Gemiddeld	155	1088	4,0
Standaard deviatie	4	26	
Naverdund polymeer, direct na naverdunning			
5/8 15:27	200	1084	
5/8 15:44	100		
5/8 15:52	169	1062	
6/8 13:30	128		
6/8 13:40	120		
6/8 14:36	159	1105	
6/8 14:46	189	1143	
6/8 14:53	178	1084	
Gemiddeld	155	1096	
Standaard deviatie	36	31	

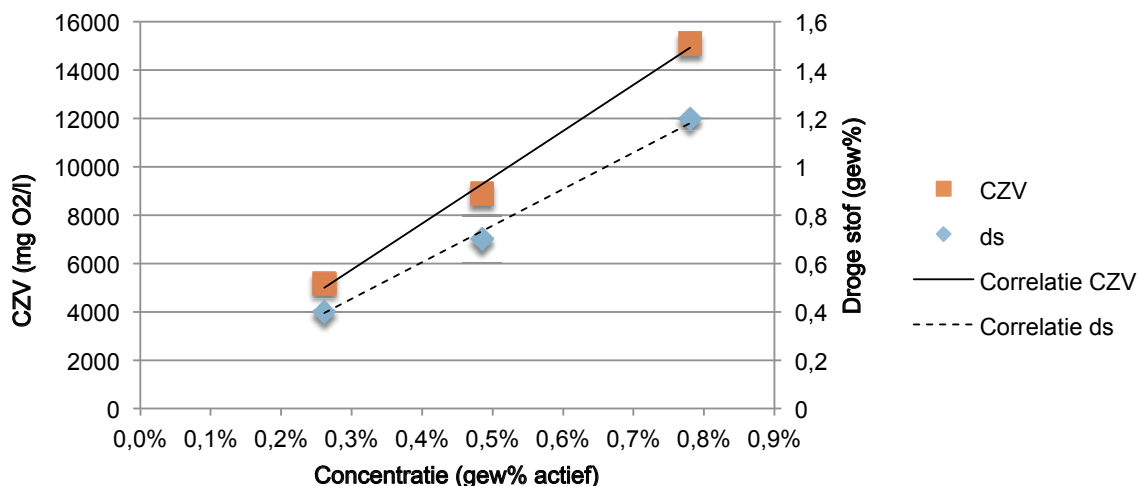
Volgens de procesgegevens van de installatie wordt de stamoplossing aangemaakt met een concentratie van 0,81% actief polymeer. Deze stamoplossing wordt aangemaakt met proceswater (gebroken leidingwater). De stamoplossing wordt vervolgens naverdund met bedrijfswater (gefilterd effluent) tot een concentratie van 0,27%. Ter controle van deze gegevens is van een aantal monsters het droge stof gehalte en het CZV-gehalte gedaan. Om een relatie te kunnen leggen met de polymeerconcentratie is ook van een aantal laboratoriummonsters met een bekende concentratie droge stof en CZV bepaald. Afbeelding 24 geeft de resultaten voor de laboratoriummonsters. Zowel de droge stof bepaling als de CZV concentratie vertonen een goede correlatie met de concentratie van de laboratoriummonsters. Deze correlaties zijn vervolgens gebruikt om de concentraties van enkele praktijkmonsters te bepalen. De resultaten hiervan zijn opgenomen in Tabel 13.

TABEL 13

RESULTATEN ANALYSES VOOR BEPALING CONCENTRATIE IN ENKELE PRAKTIJKMONSTERS

Monster	Droge stof (gew%)	CZV (mg O ₂ /l)	PE-concentratie Obv Ds%	Obv CZV	Viscositeit (mPa.s)
Stamoplossing, 6/6 8:30 uur	1,1%	11.220	0,72%	0,58%	977
Stamoplossing, 6/6 11:23, overloop DMU	1,1%	13.090	0,72%	0,68%	982
Naverdunde oplossing, 6/6 9:05	0,4%	4600	0,26%	0,24%	159
Naverdunde oplossing, 6/6 13:40, pers naverdunner	0,3%	3570	0,20%	0,19%	120

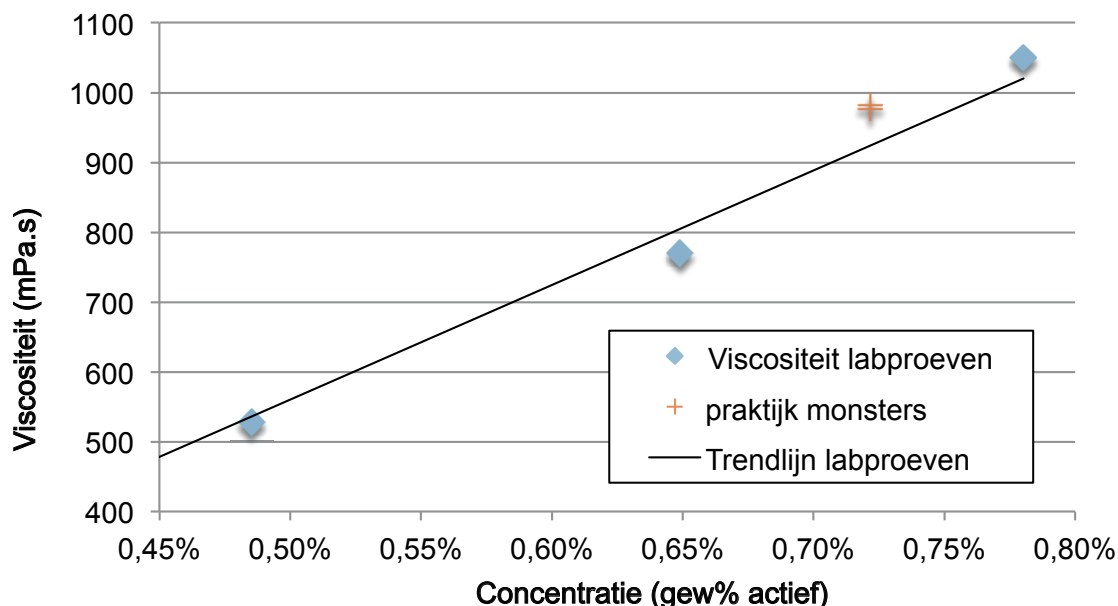
AFBEELDING 24 CORRELATIE TUSSEN DROGE STOF, CZV EN DE CONCENTRATIE POLYMEER IN MONSTERS VAN DE LABORATORIUMPROEVEN



De resultaten bevestigen dat de eerder waargenomen variatie in de viscositeit van monsters uit de pers van de naverdunner het gevolg is van variaties in de concentratie van de oplossing. Met name voor de stamoplossing zijn er duidelijke verschillen tussen de resultaten van de CZV-bepaling en de droge stof bepaling. De resultaten van de droge stof bepaling lijken daarbij het beste over een te komen met de bepalingen van de viscositeit en de verwachte concentratie van 0,81%. Voor de verdere interpretatie van de resultaten is daarom concentratie op basis van de droge stof bepaling aangehouden.

Afbeelding 25 vergelijkt de viscositeit van de praktijkmonsters van stamoplossing met de resultaten van de laboratoriumproeven. Hierbij is de concentratie gehanteerd die gebaseerd is op de droge stof bepalingen van deze twee monsters. De viscositeit blijkt goed overeen te komen met de resultaten van de laboratoriumproeven.

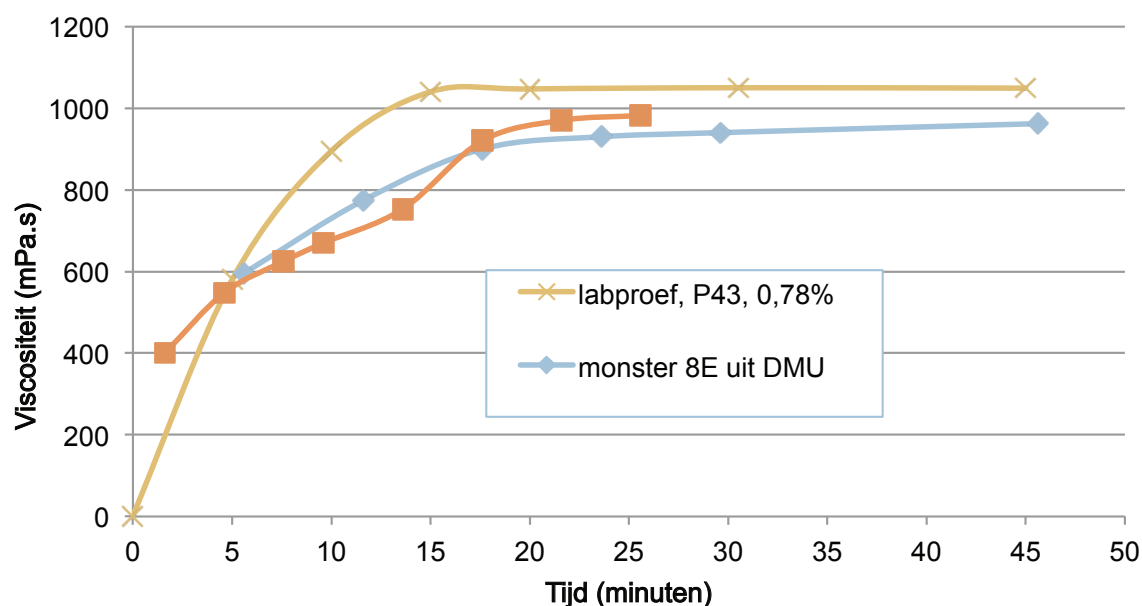
AFBEELDING 25 VERGELIJKING VISCOSITEIT PRAKTIJKMONSTERS MET RESULTATEN LABORATORIUMPROEVEN



Tweemaal is een monster geschept uit de overloop van de DMU-eenheid voor de eerste menging van polymeer en aanmaakwater. De verblijftijd in de DMU-eenheid is ongeveer 36 seconden zodat de rijping van het polymeer op dat moment nog niet gereed was. Van deze monsters is de ontwikkeling van de viscositeit gevolgd en vergeleken met de resultaten van

een laboratoriumproef met ongeveer dezelfde concentratie (Afbeelding 26). De snelheid van (na)rijping blijkt vergelijkbaar en is na ongeveer 20 minuten maximaal. De viscositeit van het laboratoriummonster valt iets hoger uit omdat de concentratie iets hoger is.

AFBEELDING 26 ONTWIKKELING RIJPING VAN AANGEMAAKT POLYMEER UIT DMU-MENGER



Tenslotte is ook de kwaliteit van de naverdunde polymeeroplossing vergeleken met de resultaten van de laboratoriumproeven. Deze vergelijking wordt bemoeilijkt doordat de naverdunning plaatsvindt met een andere waterkwaliteit. Om een goede vergelijking te maken is daarom ook een laboratoriumproef uitgevoerd met een mengsel van proceswater, dat gebruikt wordt voor het aanmaken van de stamoplossing en bedrijfswater, dat gebruikt wordt voor het naverdunnen. Opvallend genoeg wordt met dit mengsel een lagere viscositeit gevonden dan in de praktijkinstallatie wordt gemeten (Tabel 14). Daarom is ook een praktijkmonster van de stamoplossing genomen en dit monster is vervolgens op laboratoriumschaal naverdund. Achteraf blijkt de concentratie van dit monster lager uit te vallen dan de andere monsters. Toch lijkt ook zo een hogere viscositeit gekregen te worden dan verwacht zou worden als het monster meteen met bedrijfswater wordt aangemaakt. Dit kan betekenen dat de kwaliteit van het water vooral van belang is voor de eerste, initiële rijping van het monster. Als een eenmaal gerijpt monster daarna wordt naverdund, is de waterkwaliteit nog wel van invloed, maar lijkt een eventueel negatief effect geringer.

TABEL 14 VERGELIJKING VISCOSITEIT NAVERDUND POLYMEER MET LABORATORIUMPROEVEN

Monster	Concentratie (gew% actief)	Viscositeit (mPa.s)
Laboratorium, leidingwater	0,26%	176
Laboratorium, 1/3 leidingwater, 2/3 effluent	0,26%	128
Praktijkmonster uit naverdunningstank	0,24%	159
Praktijkmonster stamomoplossing, naverdund in laboratorium	0,20%	120

3.3 BEOORDELING SLIBONTWATERBAARHEID

3.3.1 INLEIDING

De volgende paragrafen beschrijven de resultaten van de analyses van Kläranlage Beratung Kopp voor de bepaling van de maximale ontwaterbaarheid en het theoretische polymeerverbruik. De volledige rapportage van deze analyses zijn opgenomen in bijlage I. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste resultaten van deze analyses samengevat.

3.3.2 PRAKTISCHE ONTWATERBAARHEID

De onderstaande tabel geeft de prestatie van de praktijkinstallatie op de dag dat de slibmonsters zijn genomen voor karakterisering van de maximale ontwaterbaarheid. Bij de bepaling van het polymeergebruik is steeds uitgegaan van de daadwerkelijke polymeer concentratie in de aanmaaktank zoals die bleek uit de eerder beschreven proeven.

Op de slibontwateringen zijn ook monsters genomen van het centraat uit de centrifuges om de streaming potential van het centraat te bepalen. Ook is door titratie bepaald hoeveel lading nodig is om deze spanning tot nul te reduceren.

Een positieve lading in het centraat wijst op een overdosering van polymeer. Bij vrijwel alle locaties werd een negatieve lading gemeten. Deze lading was het grootst op de locaties Den Bosch en Hengelo. Op de locaties Beverwijk en Amsterdam West was de lading het geringst. Bij Beverwijk lagen de lading en de spanning rondom het nulpunt.

TABEL 15 PRAKTIJKGEGEVENS SLIBONTWATERINGEN

Omschrijving	Eenheid	Den Bosch	Beverwijk	Amsterdam West	Kralingseveer	Hengelo
Droge stof voor ontwatering	gew%	2,5	3,6	3,6	3,4	3,0
Droge stof slibkoek	gew%	26,2	22,0	21,3	22,5	22,0
Polymeerverbruik	g actief/kg ds	16	30	19	20	12
Centraat:						
Streaming potential	mV	-142	-2	-105	-62	-120
Lading	ueq/l	-491	22	-50	-200	-407

3.3.3 SLIBKARAKTERISERING

Tabel 16 geeft de resultaten van de bepalingen op de slibmonsters. Het droge stof gehalte in de monsters komt goed overeen met de droge stof bepaling van het in te dikken slib door de waterschappen. Alle monsters hebben een relatief hoge fosfaatconcentratie. Met name de hogere geleidbaarheid van het monster van Beverwijk valt op. Bij deze locatie bleek ook de geleidbaarheid in het effluent hoger dan bij de andere locaties.

TABEL 16 RESULTATEN BEPALINGEN OP DE SLIBMONSTERS DOOR KBK

Omschrijving	Eenheid	Den Bosch	Beverwijk	Amsterdam West	Kralingseveer	Hengelo
Droge stof	gew%	2,5	3,3	3,7	3,4	3,0
Organische stof	% van d.s.	63,3	69,7	68,1	68,0	64,9
Fosfaat	mg P/l	237	220	352	417	210
pH	-	7,1	7,5	7,1	7,2	7,3
Geleidbaarheid	mS/cm	6,68	9,98	7,76	6,81	7,33

3.3.4 RESULTATEN ONTWATERINGSTESTEN

Tabel 17 geeft de resultaten van de ontwateringstesten voor de verschillende slibmonsters. De waarde DS(A) wordt bepaald met een thermogravische analyse waarbij het monster langzaam wordt gedroogd. De waarde DS(A) is het moment waarop de droogsnelheid begint te vertragen⁷. Dit is het moment dat alle vrije water verdampt is en het gebonden water begint te verdampen. Doordat de verdampingsenergie van dit water hoger ligt, vertraagt de droogsnelheid.

Het polymeerverbruik wordt bepaald door het slibmonster te titreren met het polymeer dat ook in de praktijkinstallatie wordt gebruikt (zie Afbeelding 8 voor een voorbeeld). Deze titratie vindt plaats totdat alle lading in het monster geneutraliseerd is. Deze lading wordt gemeten met een streaming potential meter. Nadat alle lading in het slibmonster is geneutraliseerd wordt nog een overmaat aan polymeer toegevoegd. Daarna wordt vastgesteld hoe stabiel de slibvlokken zijn door het monster te blijven roeren en de streaming potential te meten. Door afbraak van de vlokken komt lading vrij en neemt de streaming potential af. De snelheid waarmee dit gebeurt is een maat voor de vlokstabiliteit. Op basis van ervaringscijfers wordt een extra polymeerdosering ingeschat om te compenseren voor de vlokstabiliteit.

In bijlage I is de volledige rapportage van Klaranlagen Beratung Kopp opgenomen. Hierin zijn ook de droogcurves en de curves voor de polymeertitratie van elk monster terug te vinden.

De proeven laten zien dat de experimentele ontwaterbaarheid van de vijf monsters elkaar niet erg veel ontloopt. De maximale ontwaterbaarheid voor de monsters wordt op basis van deze bepalingen ingeschat op 24,5 tot 25,9 % droge stof. De titratie met polymeer laat zien dat het slib van Beverwijk en Den Bosch de hoogste lading heeft en daardoor theoretisch het meeste polymeer vraagt. Voor Beverwijk en Amsterdam West blijken de gevormde vlokken het minst stabiel, terwijl het polymeer voor Hengelo juist stevige vlokken geeft die moeilijk kapot gaan.

TABEL 17 RESULTATEN BEPALINGEN ONTWATERBAARHEID

Omschrijving	Eenheid	Den Bosch	Beverwijk	Amsterdam West	Kralingseveer	Hengelo
Droge stof na centrifugeren (1000 g)	gew%	10,3	10,2	10,0	9,5	9,6
DS(A)	gew%	25,9	24,9	24,5	24,4	25,8
PE verbruik voor ladingneutralisatie	g actief/kg ds	12,8	13,8	9,4	10,9	11,0
Extra PE verbruik voor vlokstabiliteit	g actief/kg ds	1,8	2,5	2,5	1,3	0,0
Totaal PE-verbruik	g actief/kg ds	14,6	16,3	11,9	12,2	11,0

3.3.5 VERGELIJKING PRAKTIJK EN EXPERIMENT

Tabel 18 vergelijkt de resultaten van de experimentele bepalingen van de ontwaterbaarheid met de daadwerkelijke prestatie van de praktijkinstallatie.

Afbeelding 27 geeft het verband tussen de experimentele DS(A) waarde en de praktische ontwaterbaarheid van een groot aantal Duitse ontwateringslocaties. De praktische ontwaterbaarheid blijkt bij deze locaties met een nauwkeurigheid van $\pm 1,5$ % overeen te komen met de experimentele ontwaterbaarheid. In de figuur zijn ook de resultaten van de onderzochte ontwateringslocaties weergegeven. De praktische ontwaterbaarheid van vier van de vijf locaties blijft duidelijk achter bij de experimenteel bepaalde maximale ontwaterbaarheid. Alleen op de locatie Den Bosch komt het resultaat van de praktijkinstallatie goed overeen met de experimenteel bepaalde ontwaterbaarheid.

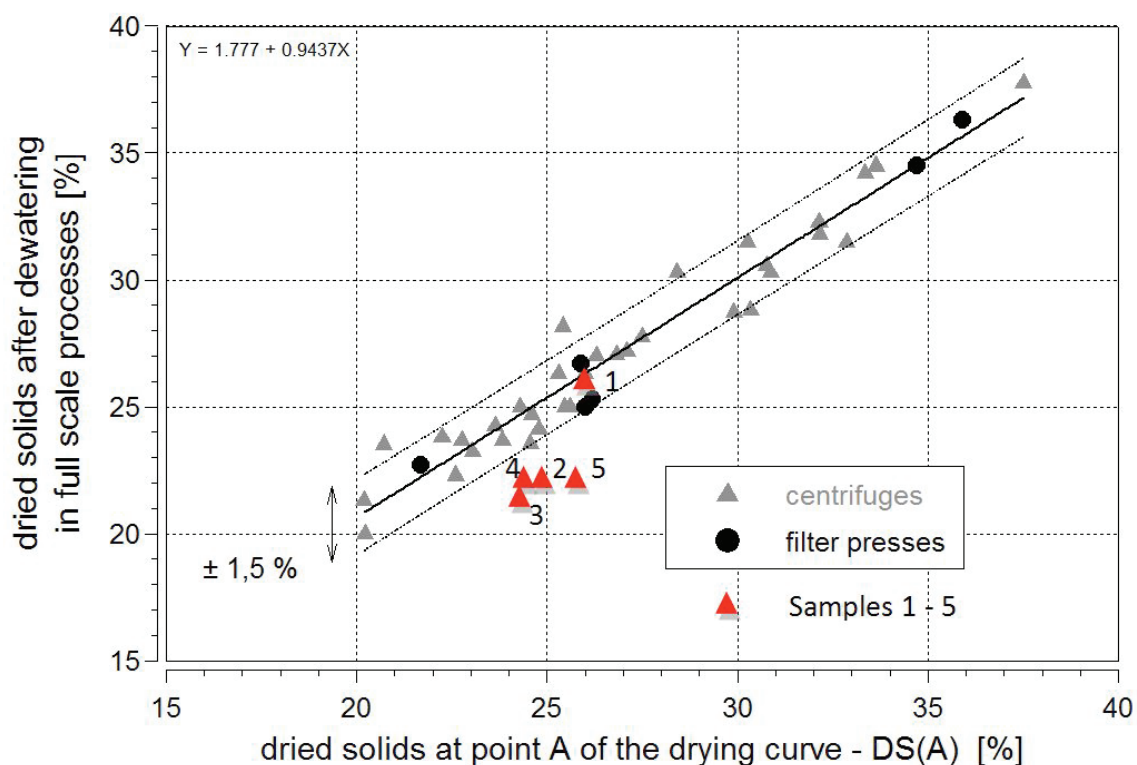
⁷ De A in de afkorting DS(A) is geen afkorting en geeft alleen dat in de droogcurve bij punt A de droogsnelheid begint af te nemen.

Voor drie van de vijf locaties is er ook een groot verschil te constateren tussen het experimenteel bepaalde polymeergebruik en de het praktische verbruik. Voor de locaties Den Bosch en Hengelo komt het experimentele polymeerverbruik goed overeen met het praktische verbruik.

TABEL 18 VERGELIJKING PRAKTIJKGEGEVENS MET EXPERIMENTELE KENTALLEN VOOR DE ONTWATERBAARHEID

Omschrijving	Eenheid	Den Bosch	Beverwijk	Amsterdam West	Kralingseveer	Hengelo
DS(A)	gew%	25,9	24,9	24,5	24,4	25,8
Droge stof slibkoek	gew%	26,2	22,0	21,3	22,5	22,0
Experimenteel PE verbruik	g actief/kg ds	15	16	12	12	11
Praktisch PE verbruik	g actief/kg ds	16	30	19	20	12

AFBEELDING 27 VERBAND TUSSEN EXPERIMENTELE ONTWATERBAARHEID, DS(A), MET PRESTATIE VAN DE PRAKTIJKINSTALLATIE. DE RODE, GENUMMERDE DRIEHOEKEN BETREFFEN DE RESULTATEN VAN DE 5 ONDERZOCHE SLIBONTWATERINGEN (1: DEN BOSCH, 2: BEVERWIJK, 3: AMSTERDAM WEST, 4: KRALINGSEVEER, 5: HENGELLO). DE OVERIGE GEGEVENS BETREFFEN DUITSE ONTWATERINGSLOKATIES



4

DISCUSSIE

4.1 KARAKTERISERING POLYMEER

De werking van een polymeer op de ontwaterbaarheid van slib wordt bepaald door drie factoren:

- de dichtheid van de lading op het polymeer;
- de lengte van het polymeer;
- de structuur van het polymeer.

In dit onderzoek zijn voor een elftal polymeer oplossingen de viscositeit, de ladingdichtheid en de geleidbaarheid bepaald. De resultaten hiervan zijn beschreven in paragraaf 3.1.1. Deze eigenschappen zeggen alle iets over de bovengenoemde factoren.

De **viscositeit** van een polymeer oplossing zegt bijvoorbeeld iets over het molecuulgewicht en meer in het bijzonder de lengte en de structuur van het polymeer. De eigenschap is echter wel concentratie-afhankelijk en daarom is het nodig de bepaling steeds bij een vaste concentratie uit te voeren om de viscositeit te kunnen vergelijken. In theorie is het mogelijk om met behulp van een verdunningsreeks een zogenaamde “intrinsieke” viscositeit te bepalen die onafhankelijk is van de concentratie. Deze “intrinsieke” viscositeit wordt dan verkregen door te extrapoleren naar een oneindige verdunning van de oplossing. De verhouding van de viscositeit bij oneindige verdunning ten opzichte van de viscositeit van het oplosmiddel is de “intrinsieke” viscositeit. Deze parameter wordt gebruikt om polymeren te karakteriseren en heeft een directe relatie met het molecuulgewicht. Hiervoor is in dit onderzoek niet gekozen omdat dit de bepaling complexer zou maken en daardoor minder goed praktisch bruikbaar.

De **geleidbaarheid** van de polymeer oplossing is in principe ook een maat voor de lading van het polymeer. De lading van het polymeer moet immers geneutraliseerd worden door tegenionen in de oplossing. Hoe meer lading het polymeer heeft hoe meer tegenionen. Bij het verdunnen van het polymeer verhogen deze ionen en het polymeer de geleidbaarheid van de oplossing. Deze toename van de geleidbaarheid is dus een maat voor de lading van het polymeer. De onverdunde polymeer oplossing kan echter ook andere zouten bevatten die leiden tot een verhoging van de geleidbaarheid. Dit bemoeilijkt de vergelijking tussen polymeren. Verder blijkt de meting van de geleidbaarheid onnauwkeurig te zijn, waarschijnlijk door het sterk viskeuze karakter van de oplossingen. Bij verschillende metingen na elkaar worden namelijk verschillende waarden voor de geleidbaarheid gevonden. Door deze onnauwkeurigheid is de spreiding in de resultaten groot in vergelijking met de verschillen in geleidbaarheid tussen de polymeren. De geleidbaarheid van de oplossing is daarom niet zo'n geschikte methode voor het karakteriseren van een polymeer.

De **lading** van een polymeer is directer te meten met behulp van een streaming voltage meter. De streaming voltage ontstaat doordat de lading van het polymeer gescheiden wordt van de

lading van de tegen-ionen in de oplossing. Door titratie met een polymeer met een tegengestelde en bekende lading kan bepaald worden wanneer de streaming voltage tot nul gereduceerd is: op dat moment is alle lading geneutraliseerd. Op deze manier kan teruggerekend worden hoe groot de lading van het onbekende polymeer was. Op deze manier is de lading van een tiental polymeren bepaald.

ONDSCHIEDEND VERMOGEN

Dit onderzoek laat zien dat de combinatie van viscositeit en ladingdichtheid het mogelijk maakt om onderscheid te maken tussen de verschillende polymeren (Afbeelding 14). De meeste onderzochte polymeren hebben een lading tussen 3,0 - 4,5 meq/g actief PE, waarbij er ook enkele uitschieters naar onder en boven zijn. De variatie in de viscositeit van de poly-elektrolyten blijkt groter en ligt tussen 300 en 600 mPa.s voor een 1% oplossing (ruw polymeer) en in leidingwater (Breda).

RELATIE MET PRESTATIE

Of een hogere viscositeit of ladingdichtheid ook gunstiger is voor de prestatie van het polymeer kan met dit onderzoek niet vastgesteld worden. Dit hangt af van de doelstellingen die men nastreeft bij het ontwateren van het slib en de interactie van het polymeer met het slib. Polymeren met een hoge molecuulgrootte en dus viscositeit kunnen leiden tot een lager polymeergebruik omdat zij makkelijker in staat zijn vlokken te binden door brugvorming. Dergelijke polymeren kunnen echter een minder gunstig effect hebben op het maximaal bereikbare droge stof gehalte doordat dergelijke polymeren door hun lengte niet alle lading in de slibvlokken neutraliseren, waardoor deze lading lijdt tot afstoting tussen de vlokken tijdens de expressie-fase. Voor een maximaal droge stof gehalte kan daarom een hoge lading in combinatie met kortere ketens gunstiger zijn.

Daarnaast is ook de structuur van het polymeer van belang op de prestatie van het polymeer. Sommige polymeren zijn sterk vertakte of hebben een netachtige structuur en zullen zich om die reden anders gedragen. De viscositeit van het polymeer zal ook door deze eigenschappen beïnvloed worden, maar de relatieve invloed ten opzichte van de molecuulgrootte is onzeker.

SAMENVATTEND

Karakterisering van een polymeer door viscositeit en ladingdichtheid kan geen voorspelling geven van de prestatie van een polymeer. Wel kan een dergelijke karakterisering inzicht geven in verschillen tussen polymeren en daarmee verschillen in resultaat verklaren. Verder kan deze wijze van karakterisering dienen als kwaliteitscontrole van het ingekochte polymeer. Viscositeit en ladingdichtheid hebben immers een duidelijke relatie met de prestatie bepalende eigenschappen van een polymeer en zijn met een voldoende mate van nauwkeurigheid te bepalen.

Een regelmatige bepaling (bijvoorbeeld wekelijks) van de viscositeit van een standaard oplossing van ruw polymeer is eenvoudig uit te voeren. De bepaling van de ladingdichtheid van een polymeer is gecompliceerder en vergt duurdere apparatuur en is meer geschikt voor een centrale uitvoering door waterschapslaboratoria. Zie ook paragraaf 4.5 voor een beschrijving van een methode waarbij bepaling van de viscositeit gebruikt kan worden als kwaliteitscontrole van het ingekochte polymeer.

4.2 INVLOED WATERKWALITEIT

Voor gebruik moet het polymeer aangemaakt worden in een stamoplossing met een concentratie van 0,3-0,5 gew% actief polymeer. Dit onderzoek laat zien (zie paragraaf 3.1.3) dat de kwaliteit van het water dat gebruikt wordt voor het maken van deze stamoplossing grote invloed heeft op de viscositeit van deze stamoplossing. Bij een toenemend zout gehalte van het water blijkt de viscositeit sterk af te nemen. Deze afname in viscositeit is te verklaren uit een verminderde strekking van het polymeer in een zoutere oplossing. Normaal gesproken zal een polymeer een natuurlijke neiging hebben om zich in water te strekken doordat de lading van eigen geladen groepen op het polymeer elkaar afstoot. In water met veel ionen zal de lading van het polymeer makkelijk ionen aan trekken, waardoor de eigen lading van het polymeer afgeschermd wordt. De drijvende kracht voor het strekken van het polymeer neemt hierdoor af.

Op de locatie Beverwijk was het effect van het hogere zoutgehalte op de viscositeit van het polymeer het sterkst merkbaar. Op deze locatie wordt effluent gebruikt voor het aanmaken van het polymeer. Dit water heeft een hoge geleidbaarheid van 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hierdoor is de viscositeit van de aangemaakte oplossing maar 219 mPa.s. Als hetzelfde polymeer aangemaakt wordt met leidingwater wordt bij dezelfde concentratie een viscositeit van 433 mPa.s gekregen. Dit verschil in viscositeit is opvallend en vormt mogelijk een verklaring voor het hoge verbruik aan polymeer op deze locatie. Aangezien een hogere viscositeit betekent dat het polymeer beter gestrekt is, lijkt het aannemelijk dat het polymeer beter functioneert als het later gemengd wordt met slib. Deze relatie is binnen dit onderzoek echter niet onderzocht en het is dus ook niet zeker dat dit ook inderdaad het geval is. Naar aanleiding van dit onderzoek zal het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier wel onderzoeken of aanmaken van het polymeer met leidingwater tot betere prestaties leidt. Oriënterende proeven door het Hoogheemraadschap laten vooralsnog weinig invloed zien, zodat mogelijk de waterkwaliteit van het slib toch bepalender is. In ieder geval wijzen deze resultaten er op dat waterschappen alert moeten zijn op veranderingen in het zoutgehalte van het water dat zij gebruiken voor de aanmaak van hun polymeer, zeker als men effluent gebruikt voor het aanmaken van het polymeer. Met name in winterperiodes kan het zoutgehalte van het effluent door strooizout significant toenemen.

Een andere interessante invloed werd waargenomen bij de proeven op de locatie Hengelo. De resultaten van deze locatie wijzen erop dat de invloed van het zoutgehalte het sterkst is tijdens de initiële menging van polymeer en water. Als het polymeer eenmaal verdund is dan heeft naverdunnen met een zouter water een kleiner effect dan als het polymeer in 1 keer aangemaakt met een mengsel van zout en minder zout water.

4.3 AANMAAK IN DE PRAKTIJKINSTALLATIES

Voor dit onderzoek is op vijf ontwateringslocaties de werking van de polymeeraanmaak voor de slibontwatering onderzocht. Bij Waternet is tevens aandacht besteed aan de werking van de polymeeraanmaak voor de bandindikkers.

4.3.1 AANMAAKCONCENTRATIE

Bij een aantal locaties bleek de concentratie van de aangemaakte polymeeroplossing af te wijken van de verwachte concentratie of was er sprake van een variatie in de aanmaakconcentratie van het aangemaakte polymeer.

Meting van de viscositeit van de polymeeroplossing bleek een effectief middel om deze afwijkingen aan te tonen. De proeven op laboratoriumschaal worden uitgevoerd met een bekende concentratie en de viscositeit van de verkregen oplossing moet dan overeen komen met de viscositeit van de praktijk oplossing. Met name bij de locatie Beverwijk en Amsterdam West werden er verschillen in viscositeit waargenomen tussen de praktijkmonsters en de laboratoriummonsters. Bij beide locaties was dit terug te voeren op afwijkingen in de aanmaakconcentratie door afwijkingen in flowmeters of instellingen van de doseerpompen. De geconstateerde afwijkingen bedroegen 10-20% van de verwachte waarde.

Naast dergelijke structurele afwijkingen is ook de variatie in de concentratie een aandachtspunt. De metingen laten zien dat normaal gesproken deze variatie beperkt is tot 1-2%. In sommige situaties was deze variatie duidelijk groter. Voor de locatie Kralingseveer werd bijvoorbeeld aangetoond dat er bij de aanmaak van polymeer sprake was van concentratieverschillen met afwijkingen in de standaarddeviatie tot 23%. Ook voor de locatie Amsterdam West konden variaties tot 5% in de concentratie worden aangetoond die te herleiden zijn op het gebruik van twee verschillende aanmaakinstallaties die dezelfde tank voedden. Hierdoor slingerde de viscositeit steeds tussen twee uiterste waarden met een verschil van 15% tussen de hoogste en de laagste waarde.

TABEL 19

VARIABILITEIT IN KWALITEIT POLYMEERAAANMAAK

Monster	Gemiddelde viscositeit	Standaard Deviatie	
	(mPa.s)	(mPa.s)	(%)
Den Bosch	495	4	1%
Beverwijk	182	4	2%
Amsterdam – centrifuges	447	24	5%
Amsterdam – bandindikker, tank 1	513	5	1%
Amsterdam – bandindikker, tank 2	424	5	1%
Kralingseveer, A3720, compartiment I	562	75	13%
Kralingseveer, A3720, compartiment II	532	120	23%
Hengelo	994	22	2%

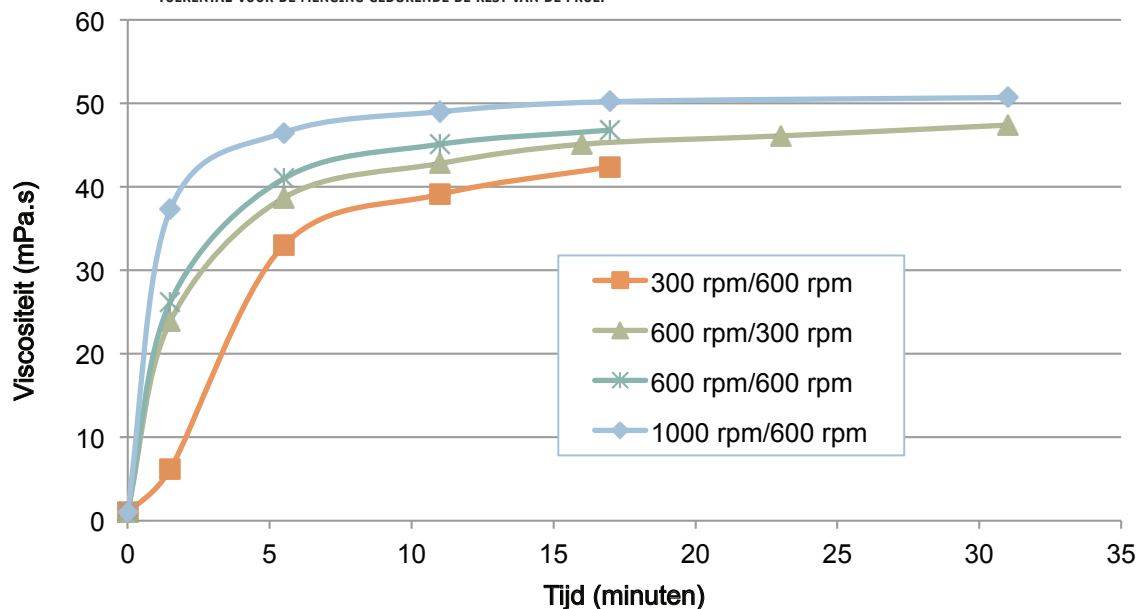
Het is wel van belang aan te tonen dat de verschillen in viscositeit niet het gevolg zijn van variaties in waterkwaliteit dan wel inadequate menging/rijping van het polymeer (zie ook 4.3.2). De meting van de viscositeit van het polymeer kan dienen als een eerste indicatie die vervolgens moet worden opgevolgd door concentratie-bepalingen in het laboratorium van bijvoorbeeld het CZV-gehalte of het droge stof gehalte van het aangemaakte polymeer. Het voordeel van de viscositeitsmeting is dat het een goedkope meting is die een directe terugkoppeling geeft.

4.3.2 RIJPING

Bij geen van de ontwateringslocaties zijn aanwijzingen gevonden dat de rijpingstijd onvoldoende was en dat verdere rijping van de aangemaakte polymeeroplossing nodig is. Bij alle locaties zijn van monsters van het aangemaakte polymeer de viscositeit en ladingdichtheid bepaald direct na monsternamen en na enige uren na monsternamen. Deze bepalingen lieten geen wezenlijke verschillen zien in kwaliteit. Bij twee ontwateringslocaties (Den Bosch, Beverwijk) werd wel een vrij korte verblijftijd bepaald van 20-30 minuten. De rijpingsproeven op laboratoriumschaal lieten zien dat een rijpingstijd van 10-20 minuten ook bij de meeste vloeibare polymeren nodig blijft. Daarom is voor deze locaties een risico dat bij een hoog gebruik van polymeeroplossing de rijping onvolledig is. Laboratoriumproeven lieten ook zien dat sommige polymeren sneller rijpen dan andere polymeren. Als er dus sprake is van een kleine verblijftijd, is het aan te bevelen polymeren te selecteren met een snelle rijping.

Naast tijd voor de rijping is de initiële menging van polymeer en water van groot belang voor een goede rijping van het polymeer. Afbeelding 28 geeft de resultaten van eerdere proeven bij Waterschap Scheldestromen⁸ waarbij de invloed van de roersnelheid op de rijping is onderzocht. Deze proeven laten zien dat vooral de initiële menging bepalend is voor het verloop van de viscositeit. Als deze eerste menging onvoldoende is heeft een sterkere menging bij het vervolg weinig meerwaarde.

AFBEELDING 28 INVLOED ROERSNELHEID OP RIJPING POLYMEER OPLOSSING. IN LEGENDA HET TOERENTAL VOOR DE EERSTE MINUUT VAN DE PROEF EN HET TOERENTAL VOOR DE MENGING GEDURENDE DE REST VAN DE PROEF



De goede werking van de menging van polymeer en water kan gecontroleerd worden door de viscositeit van het polymeer uit de praktijkinstallatie te vergelijken met de viscositeit van een polymeeroplossing met dezelfde concentratie die op laboratoriumschaal volgens een vaste methode is aangemaakt. Deze vergelijking is ook in dit onderzoek op alle locaties uitgevoerd, maar werd bemoeilijkt doordat de afwijkingen in de concentratie van de praktijkoplossingen groter was dan verwacht: de concentratie bleek vaak af te wijken van de aangenomen waarde. Hierdoor moeten de resultaten gecorrigeerd worden voor de verschillen in concentratie om de resultaten te kunnen vergelijken, waardoor de vergelijking minder nauwkeurig wordt.

Het onderzoek laat zien dat bij twee van de zes onderzochte menginstallaties de viscositeit van de polymeeroplossing uit de praktijk vergelijkbaar was met de resultaten van de laboratoriumproeven. Het betreft hier de locaties Beverwijk en Hengelo. Bij de locatie Beverwijk wordt polymeer en water gemengd in een mengpomp en bij de locatie Hengelo in een klein, intensief geroerd mengvat (DMU-eenheid).

Bij drie van de zes onderzochte menginstallaties was de viscositeit van de praktijkinstallatie lager dan de viscositeit van de laboratoriumproeven. Het betreft hier de locaties Den Bosch, Amsterdam West mengsysteem centrifuges en Kralingseveer. Bij de locatie Den Bosch wordt een DMU-eenheid gebruikt, bij Kralingseveer wordt het polymeer gemengd in een soort statische menger en in Amsterdam West wordt polymeer en water gemengd in mengpompen.

⁸ Korving, L.D., "Viscositeit, geleidbaarheid en ladingsdichtheid als maat voor de rijping van polymeer", Studie in opdracht van Waterschap Scheldestromen, Aiforo rapport nr. AP12008-AR-01, 13 maart 2013.

Bij één locatie, het mengsysteem voor de bandindikker in Amsterdam West, was de viscositeit van de praktijkinstallatie hoger dan verwacht werd op basis van de laboratoriumproeven. Dit mengsysteem is gebaseerd op een intensief geroerd mengvat (DMU-eenheid).

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de proefopzet voor de laboratoriumproeven een goede referentie is voor het vaststellen van de effectiviteit van het mengsysteem. Als de viscositeit van de polymeeroplossing in de praktijkinstallatie gelijk of groter is dan de viscositeit van de laboratoriumproef kan geconcludeerd worden dat de menging voldoende is. Als de viscositeit lager is dan bij de laboratoriumproef is er mogelijk ruimte voor verbetering.

De resultaten laten geen conclusie toe over het beste mengsysteem voor de menging van polymeer en water. Hiervoor is de steekproef te beperkt en zijn de resultaten te divers.

4.4 RELATIE MET ONTWATERBAARHEID

Het ontwateringsresultaat (droge stof gehalte en polymeerverbruik) wordt bepaald door drie factoren:

- Keuze en inzet van het polymeer (poly-elektrolyet);
- Aard en samenstelling van het slib;
- Instellingen van de ontwateringsmachine.

Dit onderzoek beperkt zich tot de keuze en inzet van het polymeer en heeft zich niet gericht op de andere twee factoren. Wel is onderzocht in hoeverre de prestatie van de praktijkinstallatie overeenkomt met de theoretische verwachtingen. Hiertoe is met behulp van standaardproeven onderzocht welke mate van ontwatering verwacht mag worden en welk polymeerverbruik hier bij hoort. Hiervoor is gebruik gemaakt van een proefopzet die in Duitsland vaker wordt gehanteerd door Klaranlagen Beratung Kopp (zie ook 2.3 voor een uitgebreide toelichting). Daarnaast is door bepalingen van de lading van het centraat onderzocht of er mogelijk sprake was van een overdosering van polymeer.

Het onderzoek laat zien dat bij vier van de vijf ontwateringslocaties de praktische ontwaterbaarheid achterblijft bij de theoretische ontwaterbaarheid (zie Tabel 18 in paragraaf 3.3.5). Dit verschil lag significant buiten de bandbreedte die normaal wordt gevonden bij slibontwateringen in Duitsland. Het polymeerverbruik was bovendien bij drie van de vijf lokaties fors hoger dan het theoretische polymeerverbruik. Deze resultaten suggereren dat er ruimte is voor verbetering bij deze lokaties. Bij drie lokaties werden ook afwijkingen in de polymeer aanmaak gevonden.

Bij de locatie Beverwijk speelt de waterkwaliteit mogelijk een rol in de kwaliteit van het aangemaakte polymeer. Bovendien bleek de polymeerconcentratie hoger te zijn dan werd aangenomen. De lading van het centraat was hier ook het minst negatief en soms iets positief, wat er op wijst dat er in verhouding tot de andere locaties meer polymeer wordt gedoseerd.

Bij de locatie Kralingseveer werden grote variaties in de polymeerconcentratie aangetoond. Deze variaties in concentratie maken het moeilijk om een ideale polymeer dosering te vinden voor de ontwatering. Bovendien is de menging van polymeer en water op deze locatie niet ideaal.

Voor beide locaties is ook de keuze van het polymeer een aandachtspunt. De laboratoriumproeven laten zien dat met de huidige polymeerkeuze relatief instabiele slibvlokken worden verkregen die makkelijk kapot gaan.

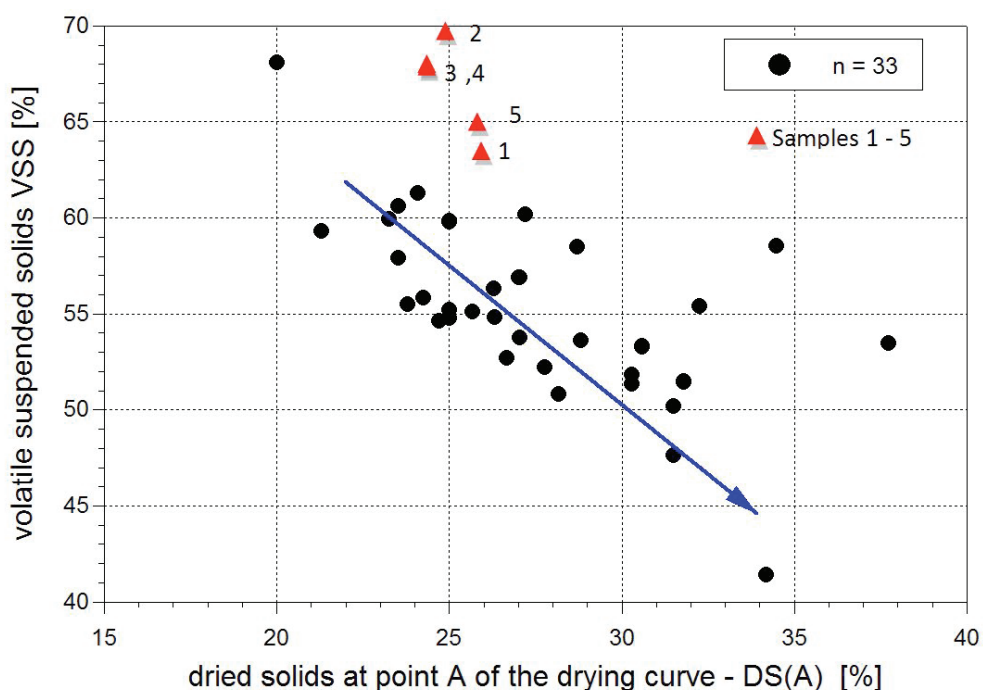
Voor de locatie Amsterdam West toonde het onderzoek aan dat ook hier de polymeerconcentratie varieert doordat twee verschillende mengsystemen voeden op dezelfde tank. Hierdoor wordt een nauwkeurige afstelling van de polymeerdosering bemoeilijkt. Verder blijkt de rijping van het polymeer met de (tijdelijke) mengsystemen minder goed dan bijvoorbeeld wordt bereikt met de DMU-mengsystemen die gebruikt worden voor het aanmaken van het polymeer voor de bandindikers.

Binnen de scope van dit onderzoek kan niet aangetoond worden of de geconstateerde afwijkingen ook daadwerkelijk een verklaring zijn voor afwijkingen tussen de theoretische en praktische ontwaterbaarheid. De afwijkingen zijn wel zo danig dat het aan te bevelen is deze op te lossen om in ieder geval deze invloed uit te sluiten.

KANTTEKENING

Er is een belangrijke kanttekening bij de vergelijking met de Duitse ontwateringsresultaten te plaatsen. De onderzochte slibben hebben in vergelijking met de dataset die beschikbaar is bij Klaranlagen Beratung Kopp namelijk wel een uitzonderlijke samenstelling. Zo is het gehalte organische stof in verhouding tot de theoretische ontwaterbaarheid relatief hoog (Afbeelding 29). Ook het fosfaat gehalte in het slibwater is aan de hoge kant (Tabel 16).

AFBEELDING 29 VERGELIJKING ONTWATERBAARHEID EN ORGANISCHE STOF VAN DE SLIBMONSTERS UIT DIT ONDERZOEK (RODE DRIEHOEKEN, 1: DEN BOSCH, 2: BEVERWIJK, 3: AMSTERDAM WEST, 4: KRALINGSEVEER, 5: HENGLO) EN RESULTATEN VAN DUITSE SLIBMONSTERS. BRON: KLARANLAGEN BERATUNG KOPP



Dit verschil wordt mogelijk verklaard doordat de onderzochte slibmonsters allen afkomstig zijn van installaties waar biologisch wordt gedefosfateerd. De afwijkende samenstelling laat wel zien dat voorzichtigheid nodig is in het vergelijken van de resultaten van de onderzochte slibmonsters met de ontwateringsresultaten van Duitse slibben.

4.5 PROTOCOL BEOORDELING POLYMEERAAANMAAK

Op basis van de resultaten en ervaringen van dit onderzoek wordt in deze paragraaf een voorstel gedaan voor een protocol op basis waarvan waterschappen de goede werking van hun polymeeraanmaak kunnen controleren.

In dit protocol is een belangrijke rol weggelegd voor het gebruik van viscositeit als maat voor de kwaliteit van het aangemaakte polymeer. Het voordeel van een meting van de viscositeit is dat het een relatief simpele en goedkope meting is die direct een meetresultaat geeft zodat de bedrijfsvoerder afwijkingen snel kan herkennen. Bovendien heeft de viscositeit een directe relatie met het molecuulgewicht en de structuur van het gebruikte polymeer. Deze eigenschappen hebben weer een directe relatie met de werking van het polymeer. Dit onderzoek laat ook zien dat het een parameter is waarmee verschillende polymeersoorten van elkaar onderscheiden kunnen worden.

Tegelijkertijd heeft de meting van de viscositeit als kwaliteitsparameter ook zijn beperkingen:

- De lading van het polymeer is ook een belangrijke parameter voor de kwaliteit van het polymeer. De meting van de lading is ingewikkelder en duurder en leent zich daarom minder voor regelmatige controles. Eventueel zou dit door een centraal waterschapslaboratorium kunnen worden opgepakt.
- De viscositeit van de polymeer oplossing is afhankelijk van verschillende factoren: 1. de concentratie, 2 de gebruikte waterkwaliteit en 3. de goede menging van polymeer en water. Bij de beoordeling van verschillen in de viscositeit moeten deze factoren meegenomen worden. Het voorgestelde protocol houdt hier zo goed mogelijk rekening mee.
- Een hogere viscositeit duidt op een betere rijping van het polymeer. In dit onderzoek is echter niet onderzocht of een polymeer met een hogere viscositeit (bijvoorbeeld door gebruik te maken van minder zout water) ook daadwerkelijk leidt tot een beter ontwateringsresultaat.
- De bepaling van de viscositeit is methode-afhankelijk doordat de viscositeit van de polymeeroplossing afhankelijk is van de opgelegde afschuifspanning (niet-Newtoniaans gedrag). De meting moet dus steeds op dezelfde manier worden uitgevoerd.

Op basis van de resultaten van het huidige onderzoek wordt de volgende aanpak voor de kwaliteitscontrole van de polymeer aanmaak voorgesteld. Afbeelding 30 geeft een schematische samenvatting van deze aanpak.

INITIËLE CONTROLE POLYMEER AANMAAK

- 1 Maak een referentie
 - a Maak 3 polymeer oplossingen op laboratoriumschaal aan bij 3 verschillende concentraties rondom de concentratie van de praktijkinstallatie. Maak hiervoor gebruik van een bovenroerder die 1 minuut op 1200 rpm draait en daarna minimaal 30 minuten op 600 rpm. Gebruik dezelfde waterkwaliteit als in de praktijkinstallatie en bepaal de geleidbaarheid van het gebruikte water.
 - b Meet de viscositeit van deze oplossingen na 30 minuten rijping en bepaal het gehalte droge stof en/of de CZV-concentratie⁹. Controleer de lineariteit.

⁹ Hiervoor kunnen cuvetten testen of de standaard laboratoriummethoden worden gebruikt. Het gaat vooral om de relatieve verschillen en niet om de absolute waarde. De CZV-concentratie van een oplossing met 0,5% actief PE zal liggen in de range van 8 – 14 g O₂/l afhankelijk van het type polymeer.

- 2 Controleer de concentratie van het aangemaakte polymeer uit de praktijkinstallatie
 - a Neem 3 monsters van aangemaakt polymeer uit de praktijkinstallatie, meet de viscositeit en bepaal het gehalte droge stof en/of de CZV-concentratie.
 - b Bepaal de concentratie in de praktijkinstallatie door de resultaten voor het droge stof gehalte en/of CZV gehalte te vergelijken met de referentie. Vergelijk deze concentratie met de verwachte concentratie. Als de afwijking groter is dan 5% controleer dan de flowmeter en/of de pompinstellingen voor de polymeerdosering.
- 3 Controleer de effectiviteit van de menging van polymeer en aanmaakwater
 - a Vergelijk de viscositeit van het aangemaakte polymeer uit de praktijkinstallatie met de viscositeit van een in het laboratorium aangemaakt monster met dezelfde concentratie (zie 1a). Als de viscositeit van het praktijkmonster meer dan 5% lager is dan de viscositeit van de laboratoriumproef is er reden voor vervolgonderzoek naar de menging van polymeer en water.
- 4 Controleer de variabiliteit in de polymeeraanmaak
 - a Neem minimaal 10 monsters aangemaakt polymeer uit de praktijkinstallatie verspreid over 2 dagen en bepaald de viscositeit van deze monsters.
 - b De standaard deviatie van deze monsters moet kleiner zijn dan 5%. Als de variatie groter is dan is er reden voor vervolgonderzoek naar de oorzaak van deze variatie. Controleer als eerste of de waterkwaliteit veranderd is (door vergelijking met de oorspronkelijke geleidbaarheid, 1a).

KWALITEITSBORGING POLYMEER AANMAAK

- 5 Periodieke vervolgcontrole
 - a Controleer regelmatig (initieel wekelijks, later maandelijks) de viscositeit van de aangemaakte polymeer oplossing. Ook een in-line meting van de viscositeit is te overwegen.
 - b Als de viscositeit een grote variatie vertoont of een trend naar boven of beneden controleer dan in volgorde van prioriteit:
 - I variaties in de kwaliteit (geleidbaarheid) van het aanmaakwater;
 - II de aanmaakconcentratie;
 - III de goede menging van polymeer en water;
 - IV afwijkingen in de kwaliteit van het ingekochte polymeer (zie ook 6 en 7).

BEWAKING KWALITEIT INGEKOCHT POLYMEER

- 6 Maak een referentie (eenmalig)
 - a Maak 3 polymeer oplossingen op laboratoriumschaal aan bij dezelfde concentratie. Maak hiervoor gebruik van een bovenroerder die 1 minuut op 1200 rpm draait en daarna minimaal 30 minuten op 600 rpm. Gebruik hiervoor kraanwater of deminwater.
 - b Meet de viscositeit van deze oplossingen na 30 minuten rijping en bepaal het gemiddelde.
- 7 Periodieke controle van het polymeer.
 - a Neem regelmatig (bijvoorbeeld maandelijks) een monster van het ruwe polymeer en maak een polymeer oplossing aan met dezelfde concentratie als de referentie (stap 6a). Gebruik hiervoor hetzelfde water als bij 6.
 - b Meet de viscositeit van het aangemaakte polymeer en vergelijk dit met de referentie (T-toets). Neem bij afwijkingen contact op met de leverancier.

AFBEELDING 30 SAMENVATTEND SCHEMA PROTOCOL CONTROLE POLYMEERAAANMAAK

Initiële controle

1. Maak een referentie	- Labproef - Verschillende bekende concentraties - Zelfde water als praktijk - Viscositeit, droge stof, CZV
2. Controleer concentratie PE in praktijk	- Vergelijk droge stof en/of CZV van praktijkmonster met resultaten referentie
3. Controleer effectiviteit menging PE & water	- Vergelijk viscositeit van praktijkmonster met referentie
4. Controleer variabiliteit in aanmaak	- Controleer variatie in viscositeit van een serie praktijkmonsters.

Kwaliteitsborging polymeeraanmaak

5. Vervolgcontroles	- Bepaal regelmatig de viscositeit van het aangemaakte polymeer - vergelijk deze met de referentie en neem actie bij grote afwijkingen
---------------------	---

Kwaliteitscontrole ruw polymeer

6. Maak een referentie	- Labproef met kraanwater of deminwater - Triplo - Bij vaste concentratie - Bepaal viscositeit
7. Periodieke controle	- Periodieke herhaling - Vergelijk met referentie (T-toets) - Neem contact op met de leverancier bij significante afwijkingen.

5

CONCLUSIES

Bij vijf ontwateringslocaties is onderzoek gedaan naar de aanmaak en kwaliteit van het polymeer voor de ontwatering van zuiveringsslib. Daarbij is de kwaliteit van in totaal elf verschillende polymeren met elkaar vergeleken en is vervolgens voor vijf ontwateringslocaties onderzocht hoe de aanmaak van polymeer in de praktijk functioneert. Verder is voor deze vijf locaties onderzocht hoe de theoretische ontwaterbaarheid zich verhoudt tot het praktische ontwateringsresultaat op die vijf locaties. Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken.

VERGELIJKING POLYMEREN

- 1 De elf onderzochte polymeren onderscheiden zich in viscositeit en ladingdichtheid. De bepaling van deze eigenschappen maakt het mogelijk om verschillen en veranderingen in kwaliteit van het polymeer te volgen. De grootste verschillen zijn geconstateerd in de viscositeit van de polymeren. Deze parameter is daarom het meest geschikt voor het onderscheiden van polymeren en controle van de kwaliteit. Deze parameter is bovendien het eenvoudigst te bepalen.
- 2 De scope van dit onderzoek maakt het niet mogelijk om conclusies te trekken over de beste eigenschappen van een polymeer in relatie tot de prestatie van het polymeer. De keuze van het beste polymeer is te afhankelijk van de slibkwaliteit en de doelstellingen van het waterschap.

RIJPING VAN POLYMEER

- 3 De kwaliteit, in het bijzonder het zoutgehalte, van het gebruikte water voor de aanmaak van de polymeer oplossing heeft grote invloed op de viscositeit van de verkregen polymeer oplossing. Zouter water geeft een lagere viscositeit.

Op de locatie Beverwijk wordt bijvoorbeeld effluent gebruikt voor het aanmaken van de polymeer oplossing. Dit water heeft een geleidbaarheid van 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en hiermee werd een viscositeit verkregen van 219 mPa.s, terwijl de inzet van leidingwater met een geleidbaarheid van 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ een viscositeit gaf van 435 mPa.s..

Deze verschillen in viscositeit duiden op een betere strekking van het polymeer en dus rijping in minder zout water. Binnen het kader van dit onderzoek kon niet worden onderzocht of de keuze van een andere waterkwaliteit voor de aanmaak van het water ook leidt tot een beter ontwateringsresultaat.

- 4 De initiële menging van polymeer en water is bepalend voor de kwaliteit van het aangemaakte polymeer. Als deze eerste menging van polymeer en water onvoldoende intensief is kan dit later niet gecompenseerd worden door menging of langere rijping.

De invloed van de waterkwaliteit (conclusie 3) op de rijping lijkt het sterkst bij de initiële menging van polymeer. De invloed van het zoutgehalte bij naverdunning van een eenmaal aangemaakt polymeer lijkt geringer dan bij de initiële menging, maar nog wel aanwezig,

- 5 Alle onderzochte polymeren bereikten de maximale viscositeit binnen 20 minuten rijping. Enkele polymeersoorten vertoonden al binnen 5 minuten een maximale viscositeit.

EFFECTIVITEIT VAN DE PRAKTIJKINSTALLATIES VOOR POLYMEERAANMAAK

- 6 Bij drie van de vijf onderzochte praktijkinstallaties week de concentratie van de aangemaakte polymeeroplossing 10-20% af van de verwachte concentratie. Deze afwijkingen werden veroorzaakt door afwijkingen in flowmeters of pompinstellingen voor de dosering van ruw polymeer. De goede bewaking van de polymeerconcentratie is derhalve een belangrijk aandachtspunt.
- 7 Bij twee van de vijf onderzochte praktijkinstallaties werden variaties in de polymeerconcentratie gevonden. Bij één locatie werden variaties tot wel 23% (standaarddeviatie) geconstateerd door een slechte menging van polymeer en water in de aanmaak tank. Bij de andere locatie werden variaties van 5% (standaarddeviatie) gevonden doordat de polymeeraanmaak werd uitgevoerd door twee verschillende aanmaakinstallaties. De andere onderzochte praktijkinstallaties laten zien dat bij een goede uitvoering van de menging de variatie in de concentratie beperkt kan blijven tot 1-2% (standaarddeviatie).
- 8 Bij alle onderzochte praktijkinstallaties was de rijping volledig. De laboratoriumproeven lieten zien dat voor alle onderzochte polymeren de rijping na 20 minuten volledig is. Bij alle locaties was de verblijftijd in de aanmaaktank langer dan 20 minuten. Bij sommige locaties was echter weinig reserve in de verblijftijd beschikbaar zodat de volledige rijping bij grote afname van polymeeroplossing in gevaar kan komen.
- 9 Bij drie van de vijf onderzochte praktijkinstallaties was de viscositeit van het polymeer uit de praktijkinstallatie lager dan met laboratoriumproeven verkregen kon worden. Dit wijst er op dat bij deze installaties de menging van polymeer en water effectiever kan plaatsvinden.
- 10 De meting van de viscositeit blijkt een bruikbaar middel voor de beoordeling van de polymeeraanmaak. De meting is eenvoudig uitvoerbaar en geeft direct een meetresultaat die goed reproduceerbaar is. De meting heeft bovendien een directe relatie met een belangrijke eigenschap van het polymeer, namelijk molecuulgewicht en molecuulstructuur.

ONTWATERINGSPRESTATIE IN RELATIE TOT DE THEORETISCHE ONTWATERBAARHEID

- 11 Bij vier van de vijf ontwateringslocaties wordt een significant lager droge stof gehalte gehaald dan theoretisch op basis van een thermogravische analyse verwacht mag worden. Het praktische droge stof gehalte lag 3-5 %ds lager dan de theoretisch haalbare waarde.
- 12 Bij drie van de vijf ontwateringslocaties wordt een significant hogere polymeerdosering toegepast dan theoretisch nodig is. Het polymeerverbruik ligt bij deze locaties 7 tot 14 kg actief/kg droge stof hoger dan de theoretische waarde.
- 13 Bij de drie ontwateringslocaties met een hogere polymeerdosering zijn ook afwijkingen gevonden in de polymeeraanmaak. Deze afwijkingen hebben alle een verschillend karakter,

De locatie Beverwijk had de grootste afwijking en hier werd een sterke negatieve invloed geconstateerd van de waterkwaliteit op de viscositeit van het aangemaakte polymeer. Bovendien gaf het gebruikte polymeer relatief instabiele slibvlokken.

Bij de locatie Kralingseveer was de menging van polymeer en aanmaakwater onvoldoende waardoor grote concentratieverschillen in de aanmaaktank werden gevonden. Bovendien werd hierdoor niet de maximale rijping bereikt.

Bij de locatie Amsterdam West werden variaties in de polymeerconcentratie geconstateerd doordat de voorraadtank gevoed wordt door twee verschillende aanmaakinstallaties. Hierdoor verschilde de hoogste waarden meer dan 15% van de laagste waarden. Bovendien lijkt de menging in deze aanmaakinstallaties onvoldoende: de verkregen viscositeit was ongeveer 23% lager dan met laboratoriumproeven kon worden verkregen bij dezelfde concentratie.

Deze afwijkingen vormen mogelijk een verklaring voor de afwijkingen in ontwateringsresultaat ten opzichte van het theoretische ontwateringsresultaat. De scope van het onderzoek liet echter niet toe dit ook daadwerkelijk aan te tonen.

- 14 De samenstelling van de vijf onderzochte slibmonsters wijken af van de waarden in de dataset die zijn gebruikt voor de vergelijking van de theoretische ontwaterbaarheid met de praktische ontwaterbaarheid. Voor Duitse slibmonsters komt de theoretische ontwaterbaarheid (bepaald door een thermogravische analyse) met een nauwkeurigheid van 1,5 %ds overeen met de praktische ontwaterbaarheid. Bij dezelfde theoretische ontwaterbaarheid is het organische stof gehalte van de Nederlandse monsters echter significant hoger dan voor de Duitse monsters. Om deze reden moet voorzichtig om gegaan worden met conclusies ten aanzien van de maximale ontwaterbaarheid van de Nederlandse monsters.

6

AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan.

- 1 Aanbevolen wordt dat waterschappen controleren dat de aanmaak van polymeer in hun installaties goed gebeurt. De belangrijkste aandachtspunten daarbij zijn:
 - Zijn er afwijkingen in de concentratie waarmee de oplossing wordt aangemaakt;
 - Is de menging van polymeer en water voldoende;
 - Ga na of de waterkwaliteit invloed heeft op de kwaliteit van het aangemaakte polymeer.
- 2 Het gebruik van viscositeitsmetingen voor de controle van polymeeraanmaak wordt aanbevolen. Daarbij moet wel gerealiseerd worden dat deze metingen ook beperkingen heeft. Daarom is in dit rapport een voorstel opgenomen voor een protocol op basis waarvan de goede werking van de aanmaak kan worden gecontroleerd.
- 3 Veel installaties gebruiken effluent voor het aanmaken van polymeer. Dit onderzoek laat zien dat als dit effluent zoutig is dat hierdoor de viscositeit van de aangemaakte polymeeroplossing lager wordt. Dit kan een negatief hebben op de effectiviteit van het polymeer en dient daarom nader onderzocht te worden.
- 4 Het gebruik van een thermogravische bepaling van de ontwaterbaarheid van slib kan bruikbaar zijn als benchmark om te onderzoeken of verbeteringen in ontwaterbaarheid haalbaar zijn. Daarbij is het wel aan te bevelen dat deze methode uitgebreider getest wordt op Nederlands slib om de toepasbaarheid voor de Nederlandse situatie beter vast te stellen.
- 5 Het gebruik van een polymeertitratie om het theoretische polymeerverbruik te bepalen kan bruikbaar zijn als benchmark. Bij de locaties waarbij het praktische polymeerverbruik hoger lag dan het theoretische verbruik zijn ook afwijkingen in de polymeeraanmaak geconstateerd.

Dewaterability of Sewage Sludge Samples for AIFORO (NL)



August 2013

Hintere Str. 10
D-38268 Lengede

Tel. +49-5174-922 043
Mobil +49-171-4964 066
Fax +49-5174-922 045
Email: jk@kbkopp.de
WWW: www.kbkopp.de

Bankverbindung:
Commerzbank
KTO: 253 188 400
BLZ: 270 800 60



1. Background

According to your assignment the dewaterability of five sewage sludge samples from AIFORO were investigated by KBKopp.

The following services were offered:

- determination of water distribution in the sludge sample with thermogravimetric measurements
- characterization of the floc-structure (microscopical analysis)
- prediction of the full scale dewatering results with the water distribution
- definition of the polymer dosage on the basis of lab tests
- compilation of a report on the test results

The samples arrived in Germany between 5th June 2013 and 7th August 2013, the laboratory tests were carried out directly after the arrival. The samples were received about 24 hours after sampling.

The dewaterability of the investigated sludge samples is assessed on the basis of the recorded measuring values.

2. Dewatering Results

The main results of the investigation are shown in tables 1 – 5.

Table 1: Results for sample Aiforo 1 (WWTP Den Bosch) dated June 5th 2013

Parameter	Index	Value	Parameter	Index	Value
Dried Solids (DS)	%	2.48	pH	-	7.14
Volatile Solids (VSS)	%	63.3	el. Conductivity	mS/cm	6.68
DS(A) of sludge	%	25.9	Polymer demand (pd) SNF EM 803 (45%AS)	kgAS/tDS	12.8
DS after centrifugation 1000g	%	10.3	Extra polymer dosage for low shear stability	kgAS/tDS	+1.8
PO ₄ -P sludge liquor	mg/l	237	Overall polymer de- mand SNF EM 803	kgAS/tDS	14.6



Table 2: Results for sample Aiforo 2 (WWTP Beverwijk) dated June 12th 2013

Parameter	Index	Value	Parameter	Index	Value
Dried Solids (DS)	%	3.34	pH	-	7.51
Volatile Solids (VSS)	%	69.7	el. Conductivity	mS/cm	9.98
DS(A) of sludge	%	24.9	Polymer demand (pd) SNF EM 231S (49%AS)	kgAS/tDS	13.8
DS after centrifugation 1000g	%	10.2	Extra polymer dosage for low shear stability	kgAS/tDS	2.5
PO ₄ -P sludge liquor	mg/l	220	Overall polymer de- mand SNF EM 231S	kgAS/tDS	16.3

Table 3: Results for sample Aiforo 3 (WWTP Amsterdam West)
dated June 19th 2013

Parameter	Index	Value	Parameter	Index	Value
Dried Solids (DS)	%	3.65	pH	-	7.13
Volatile Solids (VSS)	%	68.1	el. Conductivity	mS/cm	7.76
DS(A) of sludge	%	24.5	Polymer demand (pd) Kemira SD-2081 (42%AS)	kgAS/tDS	9.4
DS after centrifugation 1000g	%	10.0	Extra polymer dosage for low shear stability	kgAS/tDS	+2.5
PO ₄ -P sludge liquor	mg/l	352	Overall polymer de- mand Kemira SD-2081	kgAS/tDS	11.9

Table 4: Results for sample Aiforo 4 (WWTP Kralingseveer) dated July 30th 2013

Parameter	Index	Value	Parameter	Index	Value
Dried Solids (DS)	%	3.38	pH	-	7.19
Volatile Solids (VSS)	%	68.0	el. Conductivity	mS/cm	6.81
DS(A) of sludge	%	24.4	Polymer demand (pd) Kemira SD-2081 (42%AS)	kgAS/tDS	10.9
DS after centrifugation 1000g	%	9.5	Extra polymer dosage for low shear stability	kgAS/tDS	1.3
PO ₄ -P sludge liquor	mg/l	417	Overall polymer de- mand Kemira SD-2081	kgAS/tDS	12.2



Table 5: Results for sample Aiforo 5 (WWTP Hengelo) dated August 6th 2013

Parameter	Index	Value	Parameter	Index	Value
Dried Solids (DS)	%	2.99	pH	-	7.3
Volatile Solids (VSS)	%	64.9	el. Conductivity	mS/cm	7.33
DS(A) of sludge	%	25.8	Polymer demand (pd) Zetag 9048FS (~46%AS)	kgAS/tDS	11.0
DS after centrifugation 1000g	%	9.6	Extra polymer dosage for low shear stability	kgAS/tDS	0.0
PO ₄ -P sludge liquor	mg/l	210	Overall polymer de- mand Zetag 9048	kgAS/tDS	12.0

3. Materials and Methods

▪ Samples and products:

Five different Sludge samples were taken by AIFORO at different wastewater treatment plants in the Netherlands. The samples were analysed by Kläranlagen Beratung Kopp in Germany.

▪ Dewatering parameters:

The following parameters were used to characterise the dewaterability of sludge samples. The parameters will be described in the following:

- (a) Dried Solids (DS) and Volatile Suspended Solids (VSS)
- (b) Water distribution of the sludge samples
- (c) Polymer-demand

(a) Dried Solids (DS) and Volatile Suspended Solids (VSS)

A large fraction of sludge is water. To determine the solids content the sample has to be dried at 105°C. The total solids content can be calculated by the equation

$$DS = (m_{dm} / m_{sl}) * 100 \quad [\%]$$

whereas DS means dried solids, m_{dm} is dried matter and m_{sl} is mass of the sludge suspension. There are various abbreviations for the dried solids, for example SS for suspended solids.



The volatile solids describe the organic solids content. For measurement the dried sample will be glowing at 550°C. This parameter is used basically for controlling of stabilisation and the biogas production. The volatile solids content can be calculated by the equation

$$VSS = [1 - (m_{gr} / m_{dm})] * 100 \quad [\%]$$

whereas VS means volatile solids and m_{gr} residues is mass after burning. The residues are inorganic minerals and sand.

(b) Water Distribution of the sludge samples

Achieved total solids concentration of the sludge cake depends on the distribution of water types in the sludge, since only the share of free water can be separated during mechanical dewatering.

The various types of water in sewage sludge are mainly distinguished by the type and the intensity of their physical bonding to the solids. The bonding forces counteract the steam pressure of the water molecules, thus decreasing the steam pressure [1]. That means the higher the bonding forces, the lower the steam pressure. To explain this clearly the bonding forces can be understood as an attraction between the sludge particles and the adsorbed water molecules. In a sewage sludge suspension four different types of water can be distinguished according to their physical bonding to the sludge particles. These are (Fig. 1):

- free water , which is not bound to the particles
- interstitial water, which is bound by capillary forces between the sludge flocs
- surface water, which is bound by adhesive forces and
- intracellular water

The free water content represents the largest part in sewage sludge. The water moves freely between the individual sludge particles, is not adsorbed by them, not bound to them and is not influenced by capillary forces. This type of water can be separated mechanically, for example by centrifugal forces or filtration.

The interstitial water is kept in the interstice of the sludge particles and micro organisms in the sludge floc. This water is bound physically by active capillary forces.

The surface water covers the entire surface of the sludge particles in several layers of water molecules and is bound by adsorptive and adhesive forces. The surface water is physically bound to the particles and cannot move freely.

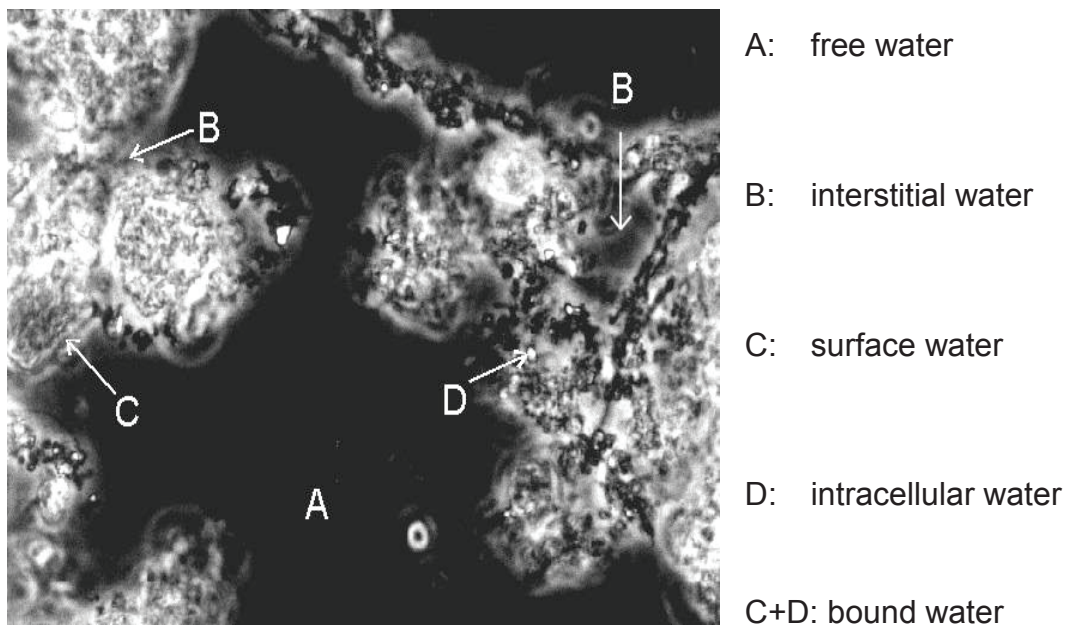


Fig 1: Water distribution in a sewage sludge floc

The intracellular water contains the water in cells and water of hydration. Intracellular water can only be determined together with the surface water and is often called bound water content [2].

Bound water is the smallest water content, has the strongest physical-chemical bonding to the particles and can only be removed thermally. It must be taken into account that the term "bound water" is not clearly defined and differs according to the used method of measuring [3].

For the measuring of water distribution thermo-gravimetric and dilatometric laboratory tests [4, 5] are used. At the Technical University of Braunschweig those methods were adjusted and calibrated from the consultant, so that a direct statement can be made concerning the maximum suspended solid content in the sludge cake after mechanical dewatering in centrifuges and filter-presses [6].

For thermo-gravimetric measurements the sludge sample is dried at constant conditions (air flow, temperature of 35°C). The water distribution can be derived from the curve of the drying rate in dependence on the moisture content ($\text{mass}_{\text{water}}/\text{mass}_{\text{DS}}$) of the sample. In order to differentiate the corresponding amounts of water, before drying the sample is thickened in a laboratory beaker centrifuge at 1000 x g for 30 min. The drying procedure has to take place very slowly, because otherwise a distinction of the various types of water on the basis of the drying curve is not possible anymore because of the high energy input. To dry one sample with the mass of nearly 1 gram we need approximately 18 hours.

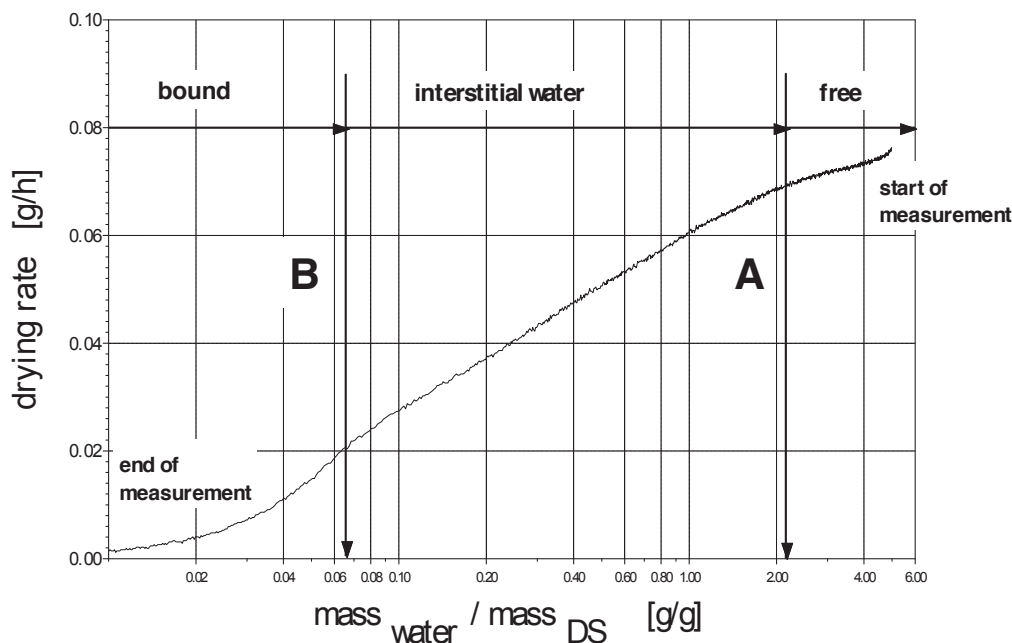


Fig. 2: drying curve of a digested sewage sludge for a logarithmic abscissa as an example from digested sludge sample WWTP Hildesheim Germany

Fig. 2 shows the drying curve of a digested sewage sludge sample. Chronologically seen, the drying curve starts at the top right-hand corner with high moisture content ($\text{mass}_{\text{water}}/\text{mass}_{\text{DS}}$) and ends, when all water has dried from the sample. Two critical points A and B can be seen on the drying curve. Point A marks the end of the free water content and point B the end of the interstitial water.

The most interesting fact for mechanical dewatering is the exact determination of the free water content, which means point A of the drying curve. Therefore it is useful, to plot the drying curve with an arithmetical scale (Fig. 3). As long as there is free water in the sludge sample, the drying rate is linear. Here the drying rate is described by the weight loss of

the sludge for each time unit. At point A the drying rate decreases, because of the capillary bonding of the interstitial water to the sludge and the calculated tangent does not describe the curve anymore. The solid content of the sludge DS (A) can be derived from the moisture content of the sample.

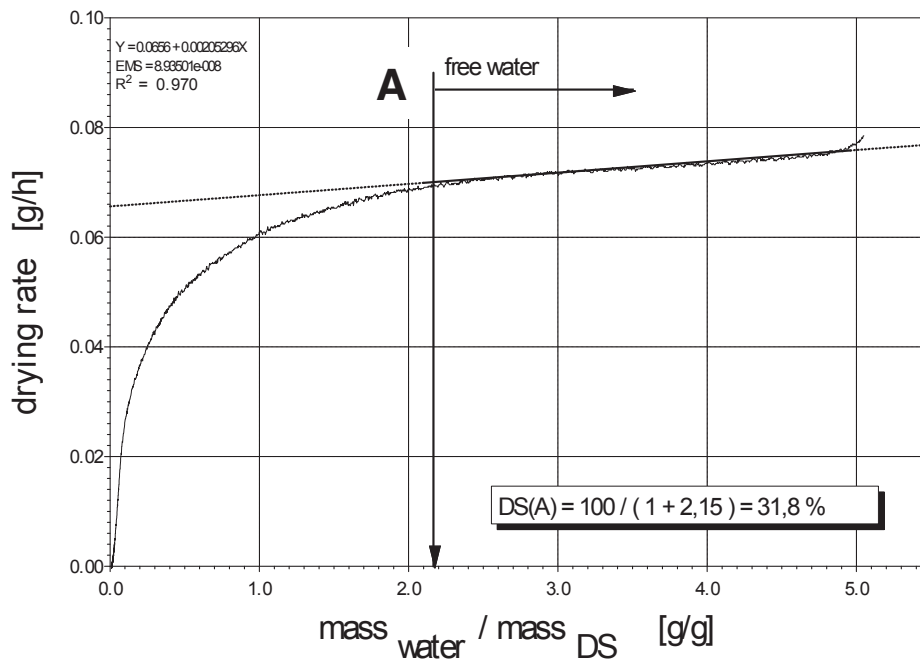


Fig. 3: Drying curve of a digested sewage sludge for an arithmetical abscissa as an example from digested sludge sample WWTP Hildesheim Germany

A calibration of the drying instrument is necessary before an exact evaluation of the free water content can take place. After these a prediction of full scale dewatering results is possible. Table 6 presents the water distribution, the polymer-demand, the Dried Solids (DS) and the ignition loss (VSS) of 58 anaerobically and 15 aerobically digested sewage sludges.

Due to the present state of the art in science and technology, mechanical dewatering processes can only remove the free water content (w_{free}) from sludge. This water content is calculated with the drying instrument. The solids content in the sludge cake, which would exist after removal of the free water content, is derived as the parameter DS(A). The solids content at point A – DS(A) is therefore the maximum solids content in the sludge cake, which can be achieved with mechanical dewatering. Fig. 4 compares the DS(A) of digested sewage sludges calculated using the drying

instrument (in other words, the DS after separating the free water content) with the dewatering results obtained with full- scale centrifuges and filter-presses. The accuracy of the thermogravimetric measurement lies at about $\pm 1.5\%$ DS, thus giving an exact prediction of the solids content after dewatering.

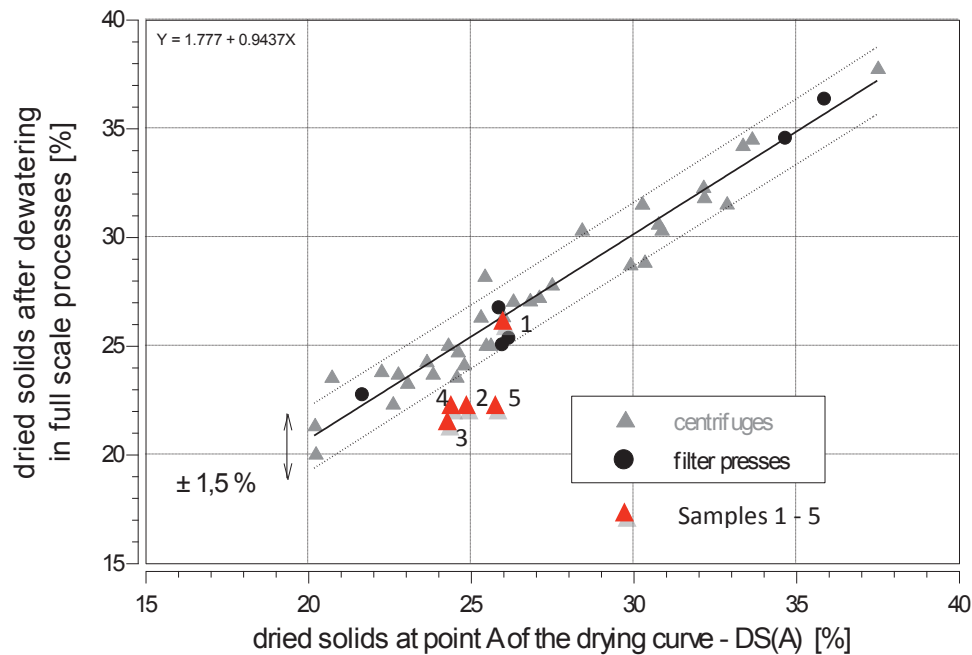


Fig. 4: Correlation between DS(A) - solids content at point A of the drying curve in dependence on the solids contents after dewatering in full scale centrifuges and filter presses

Table 6: Water distribution for municipal sewage sludge

Sludge	DS [%]	VSS [%]	Polymer [g/kg]	DS _{dewat} [%]	DS(A) [%]	m(A) [g/g]	W _{free} [*] [%]	W _{inter} [*] [%]	W _{bound} [*] [%]
Anaerobically digested sludges (n=58)									
Mean	2.8	55	7.7	26.3	27.7	2.6	91.7	7.5	0.8
Min	0.9	41	4.5	19.6	20.0	4.0	87.6	4.5	0.1
Max	5.9	68	13.3	37.5	37.7	1.7	94.9	11.6	1.3
Aerobically digested sludges (n=15)									
Mean	2.6	66	5.9	21.4	22.8	3.4	89.4	9.6	1.1
Min	1.5	61	2.0	15.3	16.4	5.1	84.2	7.4	0.5
Max	5.5	78	10.0	26.7	27.0	2.7	91.7	13.9	2.0

*= percent values are related to 3% SS of the sludge suspensions

The volatile suspended solids content represents the organic part of a sewage sludge, and is the parameter most often used to characterize the dewaterability of sludge. The higher the amount of organic compounds in a sludge, the lower the density of the sludge particles. In addition, more water is bound, since the contact angle of organic particles is smaller than that of inorganic particles thus binding more water by means of capillary forces. That means that sludges with a high volatile suspended solids content (VSS) are in general more difficult to dewater. Fig. 5 illustrates how the solids content after separation of the free water content DS(A) is affected by the volatile suspended solids content. One detects a general trend whereby the dewatering result improves with decreasing volatile solids content. The measured values are so scattered, however, that the dewatering result of sludges cannot be determined from the volatile suspended solids content alone.

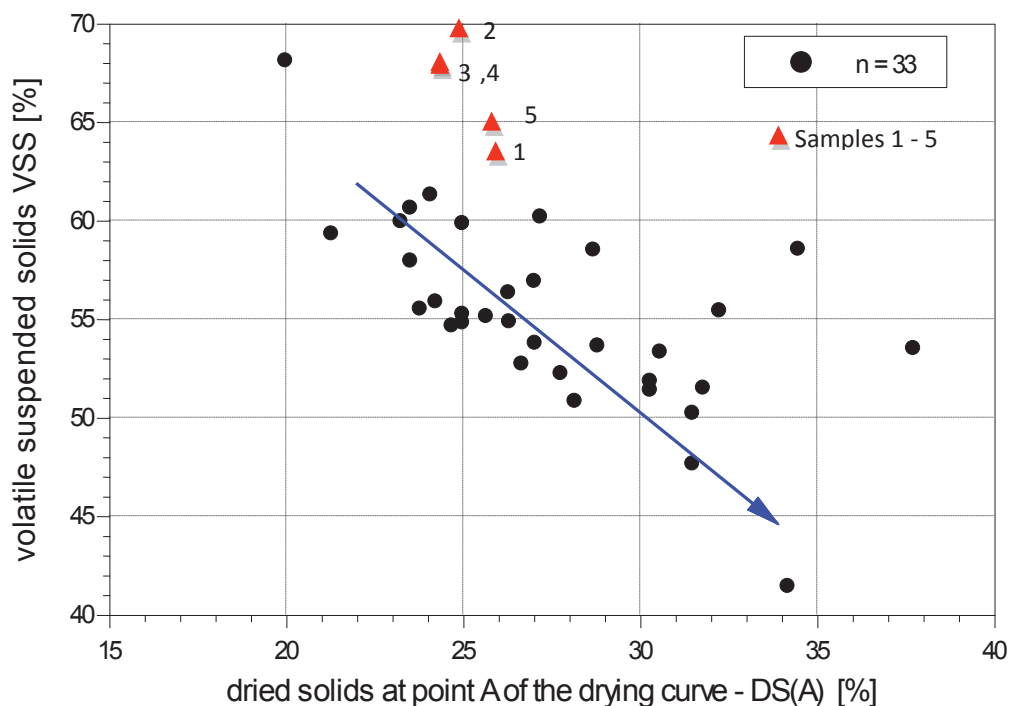


Fig.5. Dependency of parameter DS(A) on volatile suspended solids for municipal digested sludges

(c) Polymer-demand

Conditioning before dewatering enhances water removal and improves solid capture. The most typical conditioning systems use inorganic chemicals and organic polymers. During conditioning the sludge

coagulates because of the addition of cationic polymers for example and the release of free water is accelerated.

It is possible to use the streaming potential for determination of the polymer demand. An optimum polymer dose is reached, when no electrostatic repulsive forces affect the sludge particles anymore and the value of the streaming potential in the sample amounts to 0 mV Fig. 6 shows the measurement unit and Fig. 7 an example for the measurement results.

Polymer-demand is basically determined by the anionic surface charge of the sludge particles [8]. The sludge surface charge on the other hand is determined by the entire surface area and the charge carriers. Exopolysaccharides (EPS) and other exopolymers contain a highly negative surface charge [9]. EPS are very voluminous and bind a lot of water because of their strong polarity. By staining the EPS it can be shown, that when excess sludge is concerned, the entire surface area of the sludge particles is covered with a gel-like slime. The amount of EPS is basically responsible for the polymer demand of a sludge.



Fig. 6: measurement unit SCD

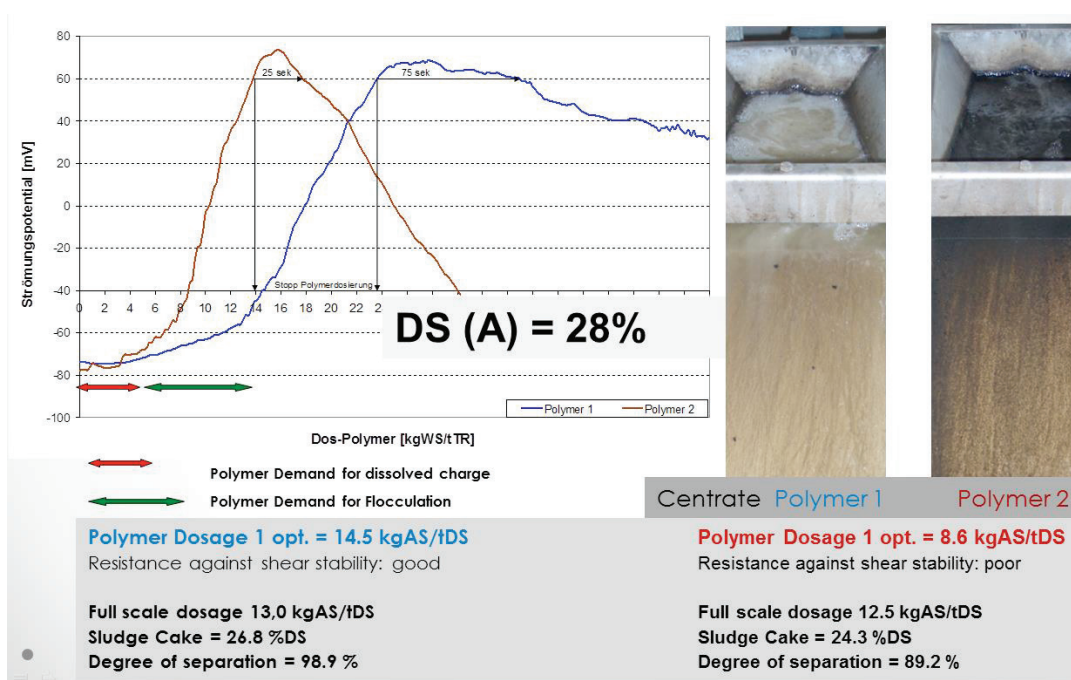


Fig. 7: polymer titration curve for a polymer with high and with low shearing stability

4. Evaluation of the dewatering results

The dried solids from the sample 1-5 amounted from 2.5 % (sample 1) to 3.7 %DS (sample 3) and the volatile suspended solids from 63.3% (sample 1) to 69.7 % (sample 2). With an increasing amount of organic compounds the dewaterability of the sewage sludge decreases. On the other hand with increasing amount of precipitants, especially ferric- or aluminium chlorides the amount of chemical bound water increase and the max dewatering result decreases.

To determine the max. mechanical dewatering result, the free water content was measured by thermo-gravimetric tests. The solid content DS(A) - at point A of the drying curve marks the max. mechanical dewatering result.

In Table 7 the results of all five samples are arranged for easier comparison.



Table 7: measured parameters for samples AIFORO 1-5

SAMPLE AIFORO No.	1	2	3	4	5
DS [%]	2,5	3,3	3,7	3,4	3,0
VSS [%]	63,3	69,7	68,1	68,0	64,9
DS(A) [%]	25,9	24,9	24,5	24,4	25,8
full scale dewatering result DS dewatered [%]	26,2	22,0	21,3	22,0	22,0
Polymer Demand for compensation of negative surface charge [kgAS/tDS]	12,8	13,8	9,4	10,9	11,0
Extra Polymer Dosage for low shear stability	1,8	2,5	2,5	1,3	0,0
Overall Polymer Demand [kgAS/tDS]	14,6	16,3	11,9	12,2	11,0
Polymer consumption full scale [kgAS/tDS]	15,5	27,0	19,0	20,0	12,5
PO ₄ -P [mg/l]	237	220	352	417	210
pH [-]	7,1	7,5	7,1	7,2	7,3
el. LF[mS/cm]	6,68	9,98	7,76	6,81	7,33

1 = WWTP den Bosch

2 = WWTP Beverwijk

3 = WWTP Amsterdam West

4 = WWTP Kralingseveer

5 = WWTP Hengelo

For example fig. 8 shows the drying curve of the tested sludge sample 1 (WWTP den Bosch). The max. mechanical dewatering DS(A) result from this sample is 25.9 % DS in the sludge cake. The accuracy of the thermogravimetric measurement lies at about ± 1.5 % DS, this means that the sludge sample1 is adequately dewatered when a result of 24.5 % is reached in the sludge cake. The degree of separation during the dewatering process should always be better than 95% (to achieve 98 % degree of separation is better in order to keep the back load for the WWTP by centrate water as small as possible).

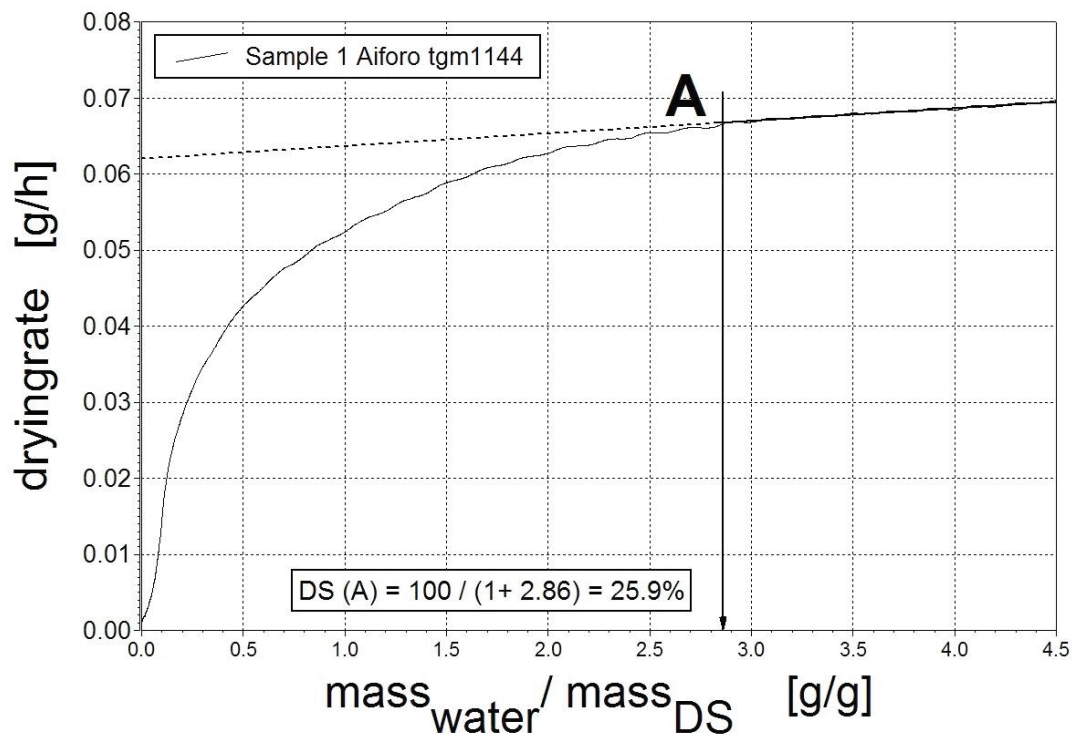


Fig. 8: Drying curve from sludge sample AIFORO 1 (WWTP Den Bosch, 5th June 2013)

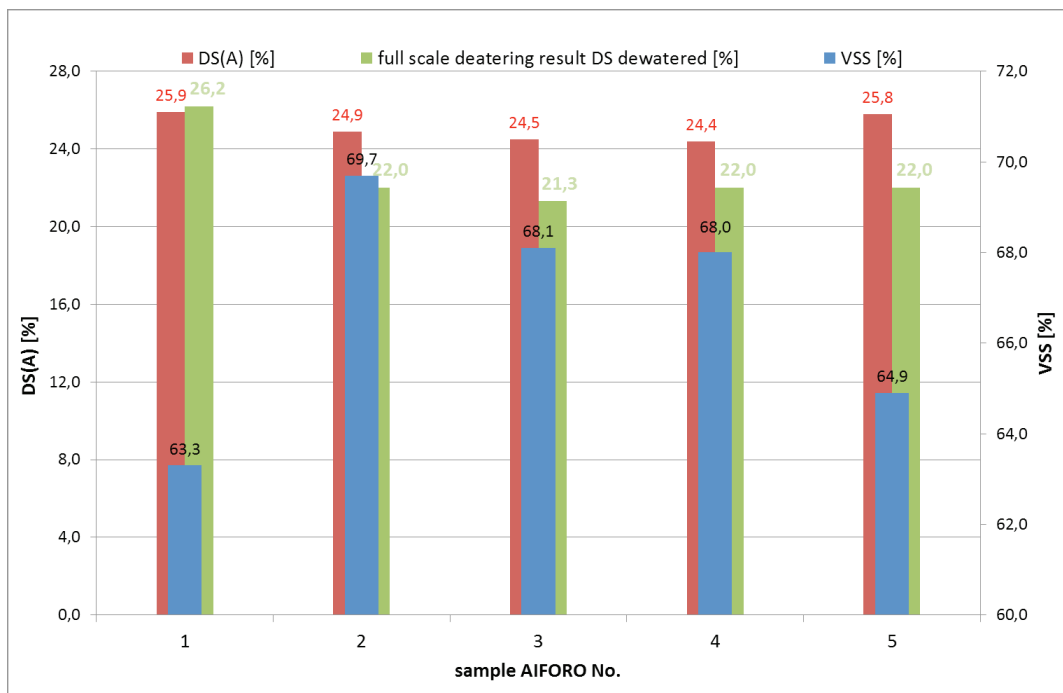


Fig. 9: DS(A) sample AIFORO 1 - 5 (max. dewaterability of the sludge samples)



The other drying curves are arranged at the end of the expertise. In fig. 9 DS(A) results are shown together with the VSS of the samples. It is obvious, that there is no clear correlation between those parameters.

The dewaterability of the sludge samples lied between DS(A) = 24.4 % (sample 4, Kranlingseveer) and DS(A) = 25.8 % (sample 1, den Bosch). The full scale results of the WWTP. The full scale dewatering results (fig. 9) show, that only the decanter of WWTP den Bosch provided an optimal dewatering result close to the measured DS(A).

The four other WWTP also use decanters for dewatering. They all did not reach an optimal dewatering result but ~ 1-2 % points below the measured DS(A). The accuracy of the measurement of ± 1.5 % is already regarded.

Polymer-conditioning increases the velocity of sludge water release. On the other hand the max. dewatering result DS(A) achievable in full scale centrifuges or filter presses is independent from the polymer dosage and the polymer product, since these processes can only remove the free water content (w_{free}) from sludge [12]. The retention time of the sludge in a centrifuge however is that short, that optimum dewatering results can only be reached at an optimum velocity of the water release from the sludge respectively at an optimum polymer-conditioning.

Annotation:

For the polymer tests all products were prepared assuming that an active substance (AS) content of 50% was existent. After completion of the tests the real AS contents of the products were handed in and the results and titration lines up to a value of + 80 mV (stop polymer titration) were corrected by applying a factor. E.g., old AS content 50 %, real AS Content = 45% the factor is $45/50 = 0.9$. All values given in the text, diagrams and tables are already corrected.

When using the polymer type SNF EM 803 with 45% active substance content, the polymer-demand of the sludge sample AIFORO 1 was 12.8 g / kg DS to neutralize the anionic surface charge of the sludge.

The polymer titration for the polymer product was stopped at a SCU (streaming current units) of about + 80 mV.

The following part of the curves show the characteristic resistance of the sludge flocs against shear-stress. For sample 1 with polymer SNF EM 803

it was moderate. Especially for decanters a high resistance against shear stress is needed to achieve an optimal dewatering result.

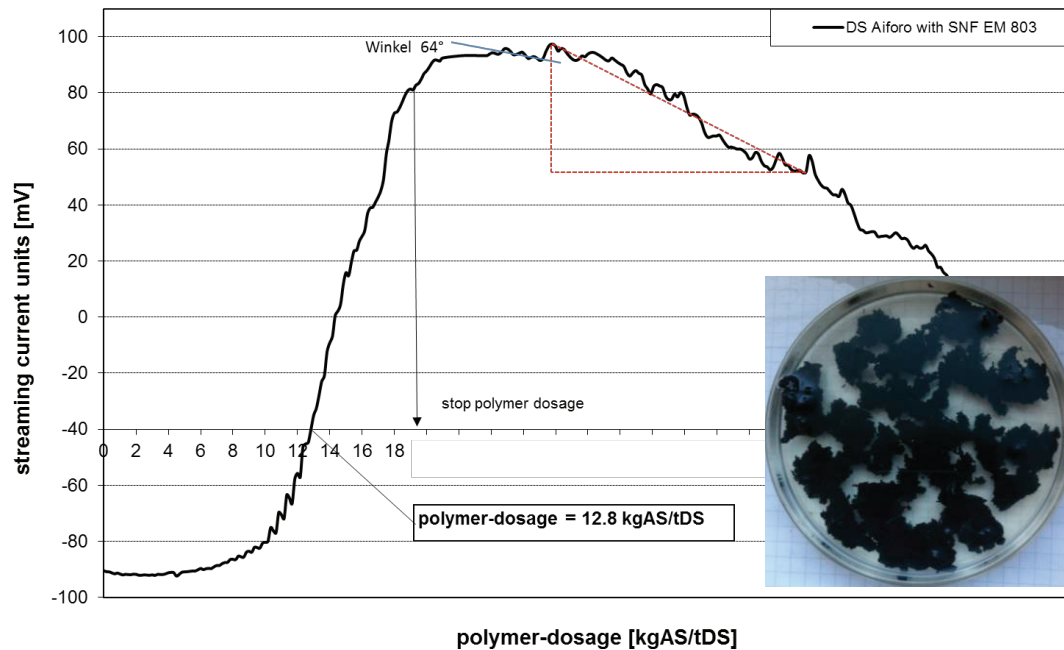


Fig. 10: SCD measurement for DS Aiforo Sample 1 (WWTP Den Bosch) with Polymer sample SNF EM 803

The extra dosage to compensate the moderate shear stability for an angle of 64° is + 2.0 kgAS/tDS. I.e., at least 12.8 + 1.8 = 14.6 kgAS/tDS are needed to compensate the moderate stability of the sludge flocs.

Criteria shear stability of the conditioned sludge flocs in relation to the angle of the titration curve (particular factor was applied on this data, too)

angle	< 40 °	not recommended for decanter
angle	< 45° > 40°	+ 4,0 kgAS/tDS
angle	< 50° > 45°	+ 3,5 kgAS/tDS
angle	< 55° > 50°	+ 3,0 kgAS/tDS
angle	< 60° > 55°	+ 2,5 kgAS/tDS
angle	< 65° > 60°	+ 2,0 kgAS/tDS
angle	< 70° > 65°	+ 1,5 kgAS/tDS
angle	< 75° > 70°	+ 1,0 kgAS/tDS
angle	< 80° > 75°	+ 0,5 kgAS/tDS
angle	>80°	polymer extra dosage 0,0 kgAS/tDS

If decanters are chosen for the dewatering of the sludge samples always a polymer type with high shear stability are recommended to achieve an adequate dewatering result and degree of separation. In some cases the use of iron salt (e.g. FeCl_3) with 1-2 l FeCl_3/m^3 sludge and a dwell time of 12 h before dewatering may be useful to achieve better dewatering and conditioning results.

An optimal product was chosen for sludge sample AIFORO 5. The sample was conditioned with BASF Zetag 9048FS and needed no extra dosage of polymer due to the stable conditioned sludge flocs.

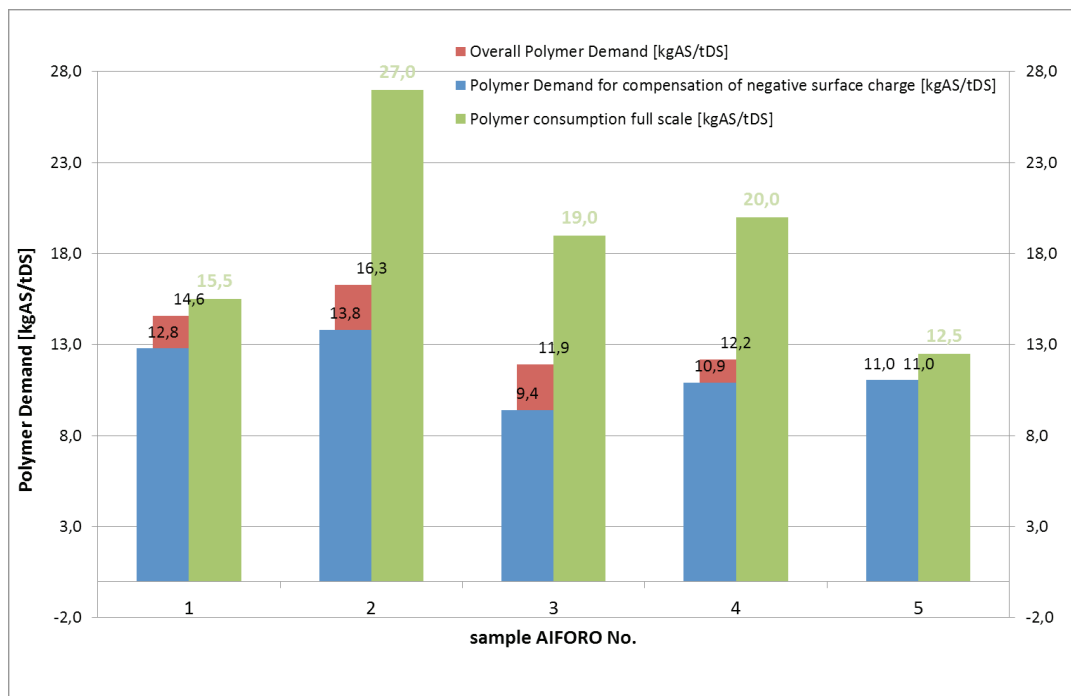


Fig. 11: results for samples AIFORO 1-5

The full scale polymer consumption is also displayed in fig. 11. The consumptions for WWTP 1 (den Bosch) and WWTP 5 (Hengelo) are within the measured range. For WWTP Beverwijk, Amsterdam West and Kralingseveer the full scale consumption lies above the lab scale results.

It is recommended to check the preparation of the polymer solution in situ. In some cases an inappropriate preparation or too old solutions might be a reason for high polymer consumption.

The electrical conductivity of the sludge samples lied between 6.7 mS/cm (sample 1) and 9.98 mS/cm (sample 2), which are normal values for municipal anaerobic digested sludges. With electrical conductivities above 10 mS/cm, the cationic charge of the polymer could

not be completely active and the conditioning might be impaired. Sample two had a noticeable electrical conductivity of ~ 10 mS/cm.

The polymer consumption during the full-scale dewatering tests should be adjusted to optimize the discharge of the centrifuges. The use of process water or groundwater decreases the polymer charge due to the fact that ferric-ions destroy the polymer charge.

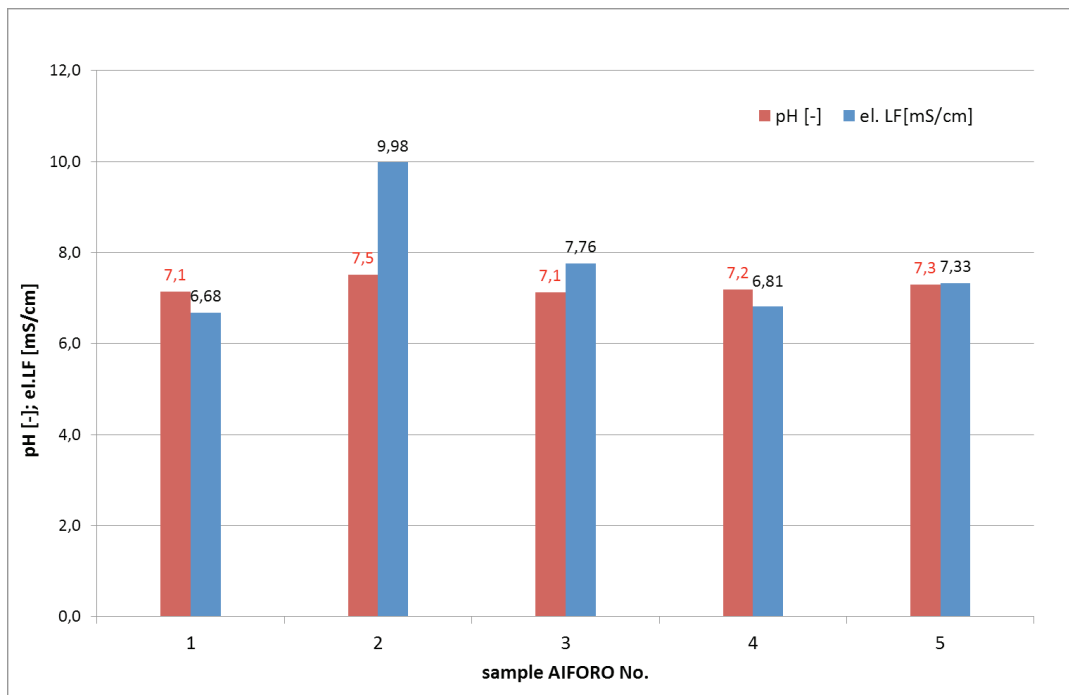


Fig. 12: results for samples AIFORO 1-5 (pH and el. Conductivity)

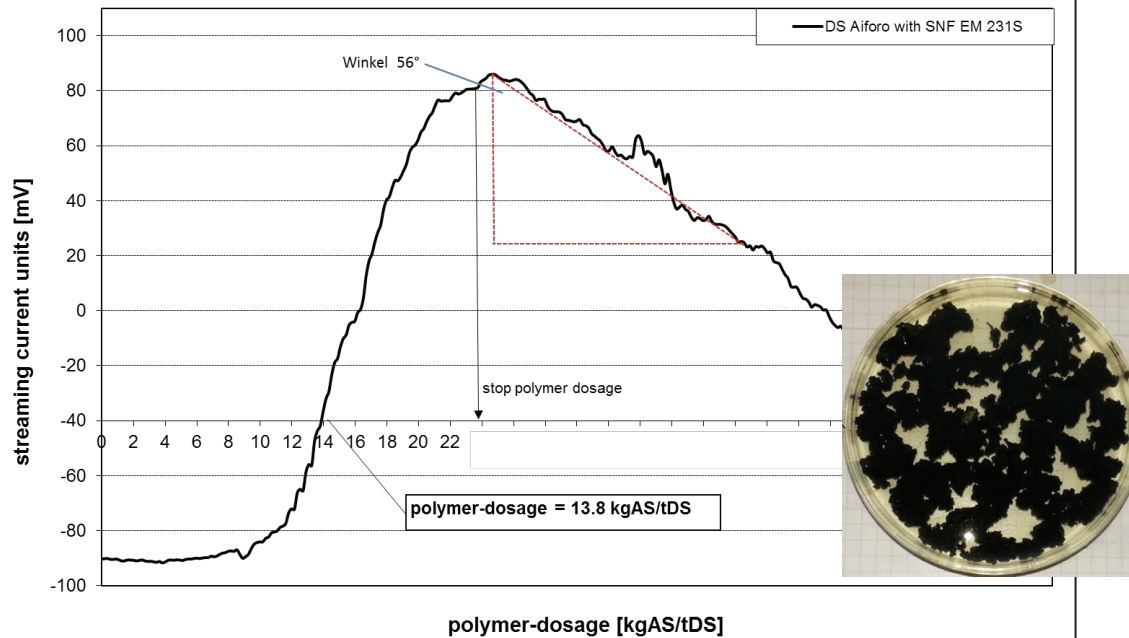


Fig. 13: SCD measurement for DS Aiforo Sample 2 (WWTP Beverwijk) with Polymer sample SNF EM 231S

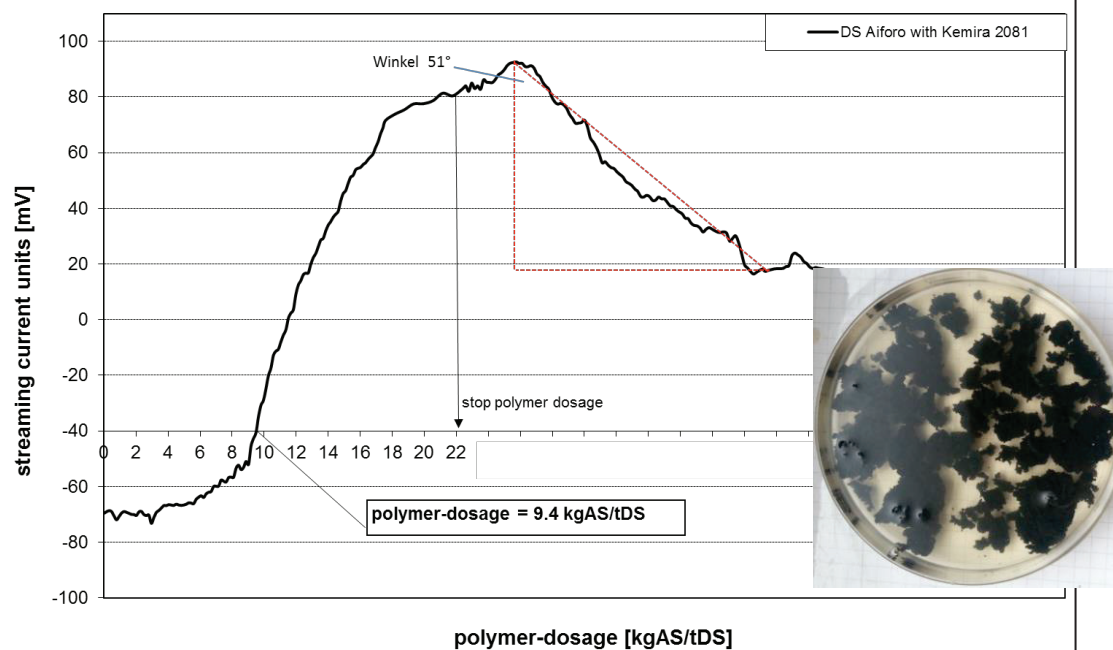


Fig. 14: SCD measurement for DS Aiforo Sample 3 (WWTP Amsterdam West) with Polymer sample Kemira SD-2081

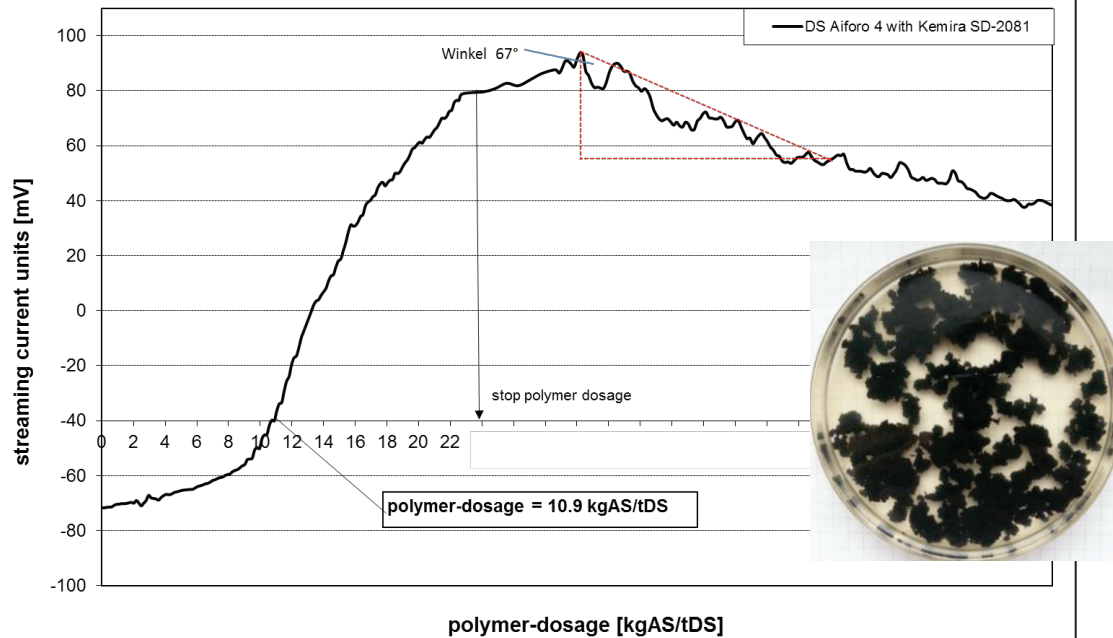


Fig. 15: SCD measurement for DS Aiforo Sample 4 (WWTP Kralingseveer) with Polymer sample Kemira SD-2081

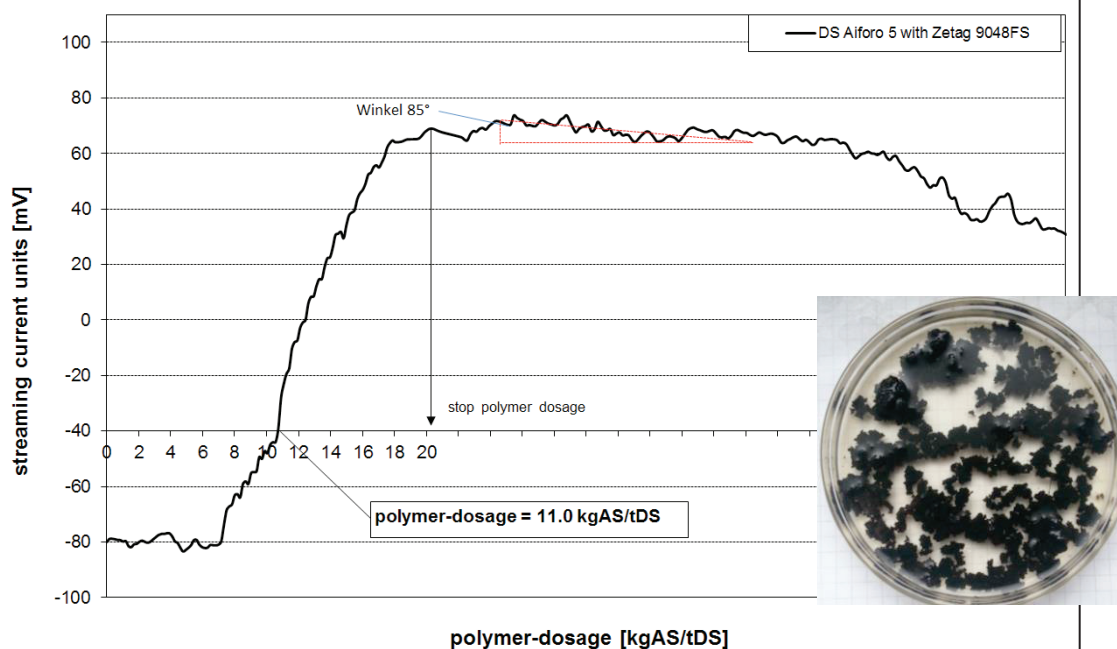


Fig. 16: SCD measurement for DS Aiforo Sample 5 (WWTP Hengelo) with Polymer sample Zetag 9048FS

In fig. 19 the floc structure of the sewage sludge samples are displayed. The sludge structure consists of small and mostly medium sized not compact, gel-like particles. The amount of colloids is high compared to an anaerobically digested sludge. A high amount of colloids also arises the polymer demand. Some filaments and also some inorganic particles (probable struvite) can be seen in fig. 17. The phosphate concentration in the sludge liquor was determined between 210 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$ (sample 5, Hengelo) and 417 mg $\text{PO}_4\text{-P / l}$ (sample 4, Kralingseveer) which all are very high values, compared to other municipal anaerobical digested sludges.

Very often the dewaterability of a sewage sludge is directly influenced by the phosphate concentration, because the water binding capacity of the EPS structures gains with rising phosphate concentration in the sludge (fig. 18). In the investigated samples AIFORO 1 – 5 the dewaterability is good compared to the high concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ in sludge liquor.

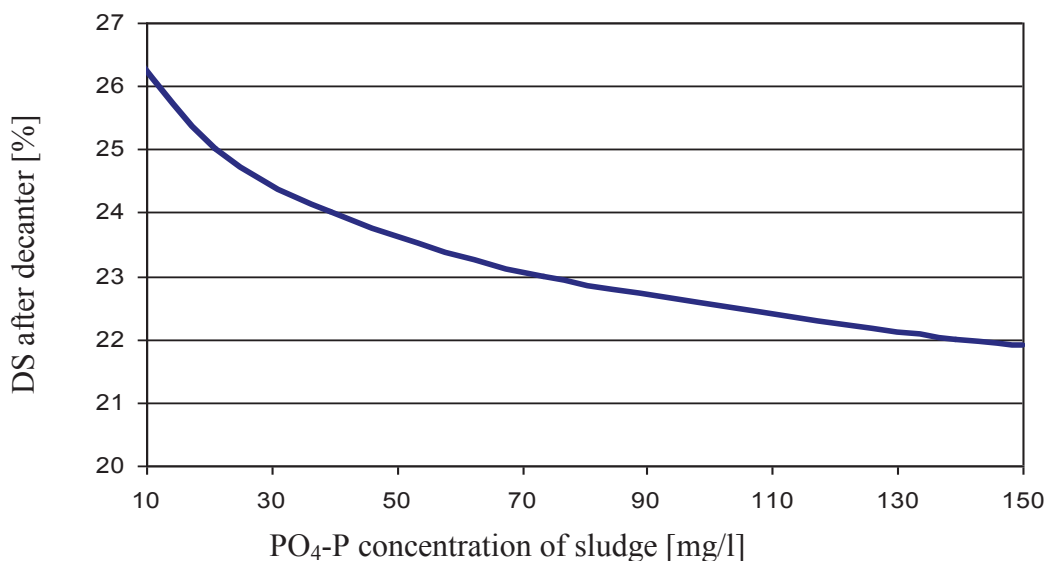


Fig. 17: DS after decanter in relation to the sludge $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration [Ewert, PCS Hamburg]

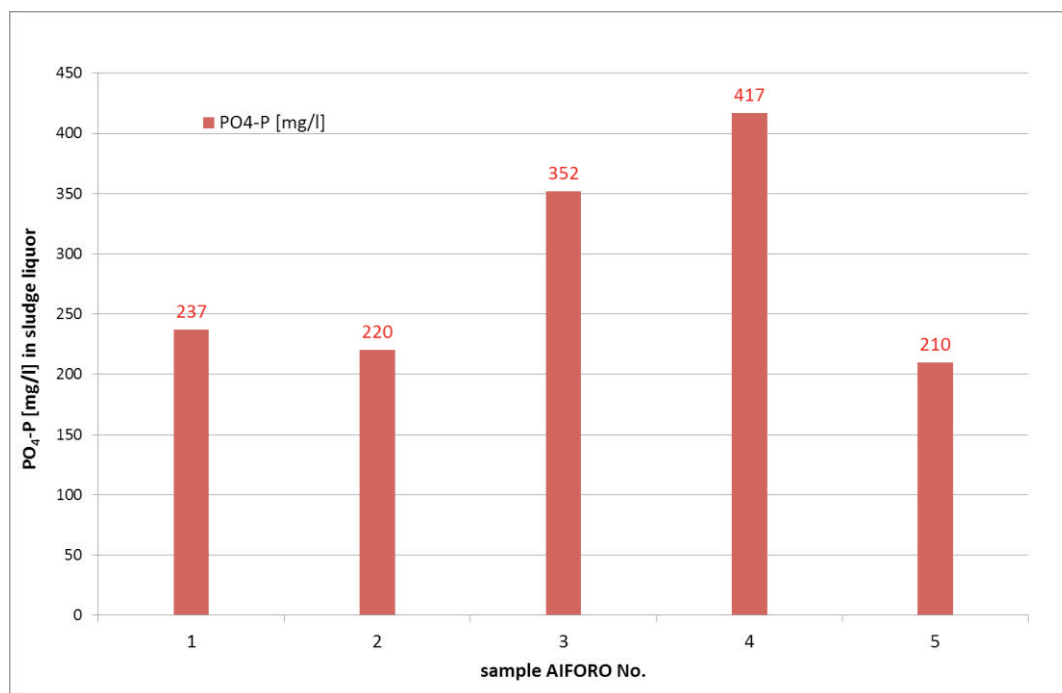


Fig. 18: PO₄-P concentration in sludge liquor AIFORO sample 1 - 5

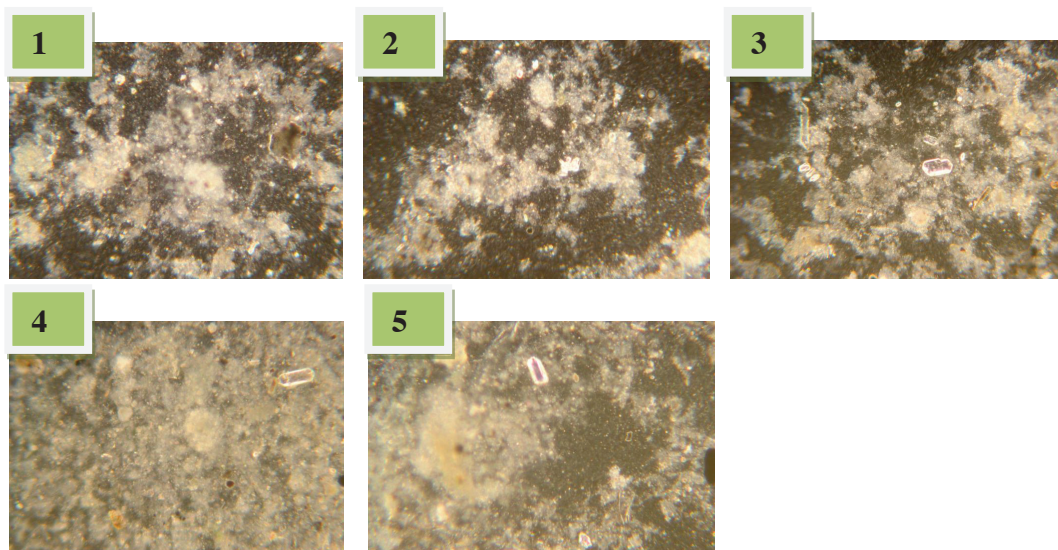


Fig. 19: Floc structure of the Sludge samples AIFORO 1 – 5 June 2013 - August 2013 (extension ~ 100 times)



5. Conclusions

The dewaterability of five digested sludge samples from AIFORO was investigated in the time period from 5th June 2013 to 6th August 2013.

The measurements of the water distribution and the free water content was used to predict the max. mechanical dewatering result.

The current max. mechanical dewatering result DS(A) lied between 24.4% DS (sample 4, Kranlingseveer) and 25.9 % DS (sample 1, den Bosch). Table 8 shows all measured parameters for the investigated samples.

Table 8: measured parameters for samples AIFORO 1-5

SAMPLE AIFORO No.	1	2	3	4	5
DS [%]	2,5	3,3	3,7	3,4	3,0
VSS [%]	63,3	69,7	68,1	68,0	64,9
DS(A) [%]	25,9	24,9	24,5	24,4	25,8
full scale dewatering result DS dewatered [%]	26,2	22,0	21,3	22,0	22,0
Polymer Demand for compensation of negative surface charge [kgAS/tDS]	12,8	13,8	9,4	10,9	11,0
Extra Polymer Dosage for low shear stability	1,8	2,5	2,5	1,3	0,0
Overall Polymer Demand [kgAS/tDS]	14,6	16,3	11,9	12,2	11,0
Polymer consumption full scale [kgAS/tDS]	15,5	27,0	19,0	20,0	12,5
PO ₄ -P [mg/l]	237	220	352	417	210
pH [-]	7,1	7,5	7,1	7,2	7,3
el. LF[mS/cm]	6,68	9,98	7,76	6,81	7,33

1 = WWTP den Bosch

2 = WWTP Beverwijk

3 = WWTP Amsterdam West

4 = WWTP Kralingseveer

5 = WWTP Hengelo

For all samples there is no clear correlation between the DS(A) and the VSS (organic component of the sludge). Very often the dewaterability of a sewage sludge is directly influenced by the phosphate concentration, because the water binding capacity of the EPS structures gains with rising phosphate concentration in the sludge. In the investigated samples AIFORO 1 – 5 the dewaterability is good, compared to the high concentration of PO₄-P in sludge liquor which lied between 210 mg PO₄-P / l (sample 5, Hengelo) and 417 mg PO₄-P / l (sample 4,



Kralingseveer). To improve the dewaterability of the sludges (especially sample 2 = Winterswijk and sample 4 = Kranlingseveer) it is reasonable to test the AirPrex treatment due to the very high concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ in these sludges. KBKopp can offer such investigations in lab scale on demand.

Only with an adequate and optimal prepared polymer product the conditioning of the sludge will provide good dewatering results. Therefore the polymer consumption during the full-scale dewatering tests should be adjusted to optimize the discharge of the centrifuges. The degree of separation should always be better than 98% (at least 95%).

For all five measurements four different liquid cationic polymer samples were used. The resistance of the conditioned sludge flocs against shear-stress was moderate (e.g. sample 3, Amsterdam West) to very high (e.g. sample 5, Hengelo). Especially for decanters a high resistance against shear stress is needed to achieve an optimal dewatering result. To compensate the moderate shear stability of a polymer it was in all cases (except of sample 5) necessary to dose some extra polymer solution to form stable flocs in addition to the measured dosage to balance the anionic surface charge of the sludges. The full scale polymer consumptions for WWTP 1 (den Bosch) and WWTP 5 (Hengelo) were within the measured range. For WWTP Beverwijk, Amsterdam West and Kralingseveer the full scale consumption lies far above the lab scale results.

It is recommended to check the preparation of the polymer solution in situ. In some cases an inappropriate preparation or too old solutions might be a reason for high polymer consumption.

In general, if decanters are used, it is recommended to use a polymer type with a high resistance against shear stress to achieve an adequate dewatering result and degree of separation. In some cases, the use of iron salt (e.g. FeCl_3) with 1-2 l FeCl_3/m^3 sludge and a dwell time of 12 h before dewatering could help to optimize the dewaterability.

Lengede, August 26th 2013

Dr.-Ing. J. Kopp

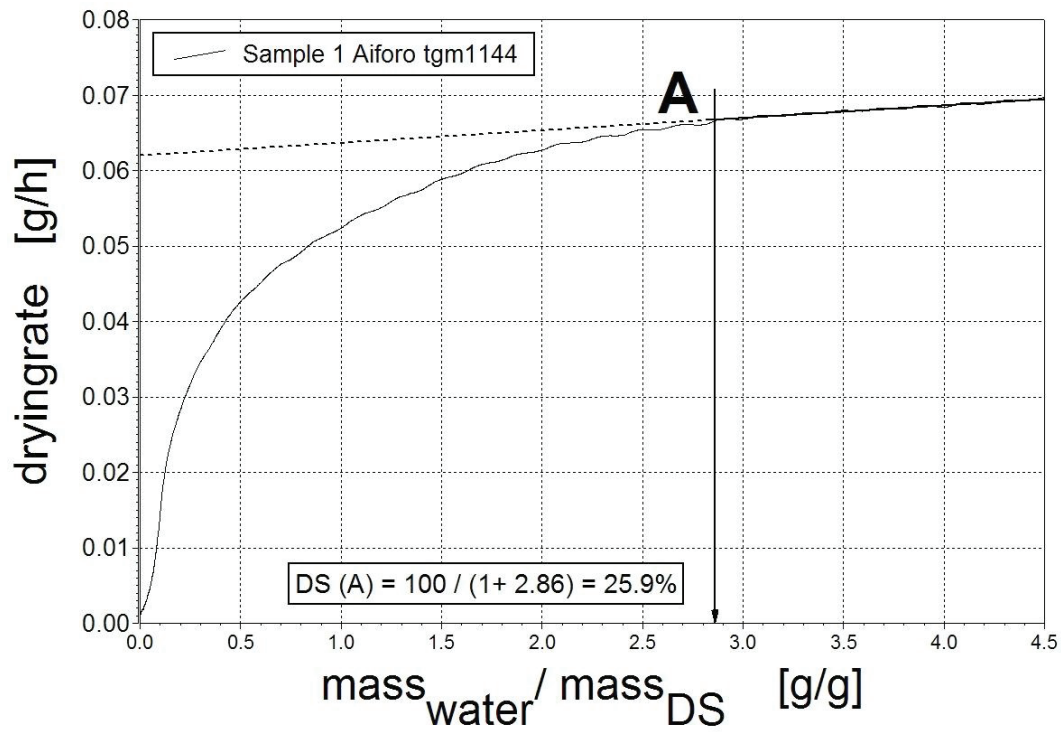


6. Literature

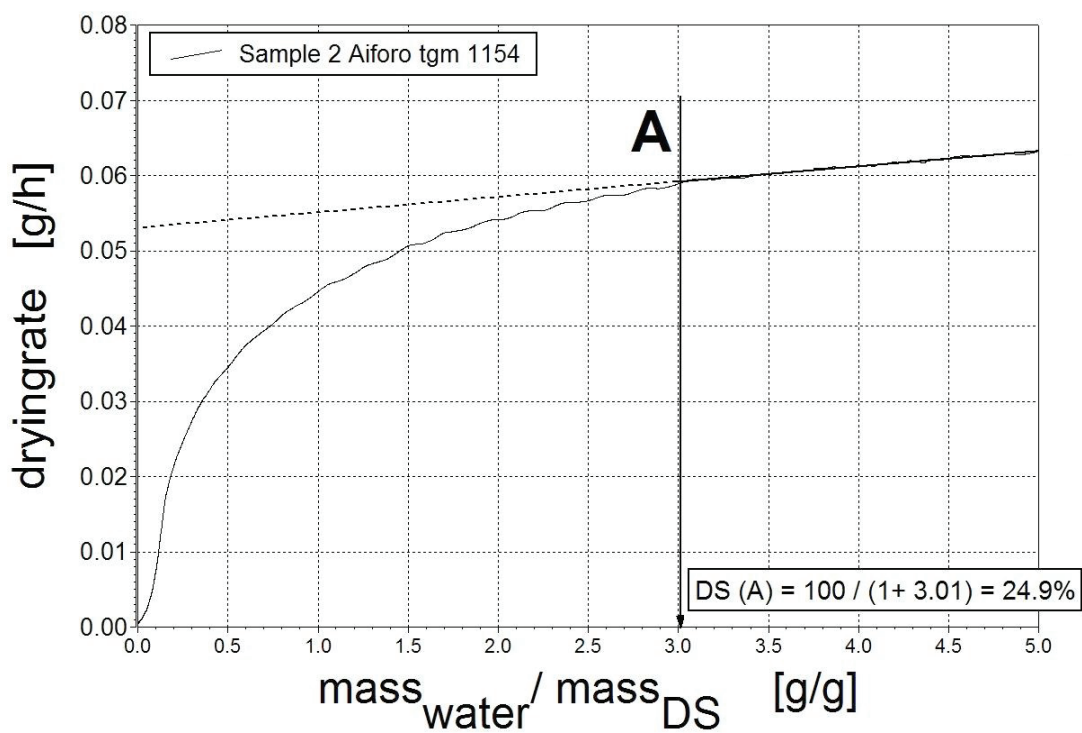
- [1] Lück, W. (1964), „Feuchtigkeit: Grundlagen - Messen - Regeln“, Verlag R. Oldenbourg, München - Wien
- [2] Smith, J. K., Vessilind, P. A., (1995), Dilatometric Measurement of Bound Water in Wastewater Sludge, *Wat. Res.*, Vol. 29, No. 12, pp. 2621-2626
- [3] Vessilind, P.A., (1997), What is Bound Water and how does Bound Water affects Sludge Dewaterability?, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 36(11), pp. 87-91
- [4] Jones, E.V. Gortner, R. A. (1932), Free and Bound Water in Elastic and Non-elastic Gels, *J. Phys. Chem.*, Vol. 37, pp. 387
- [5] Smollen, M. (1987), Categories of Moisture and Dewatering Characteristics of Sewage Sludge, *Proceedings of the 4th World Filtration Congress, Ostend, Belgium, 22-25.04.1987*, pp. 1435-1441
- [6] Kopp, J., Dichtl, N. (2001) Prediction of full-scale dewatering of sewage sludge by thermogravimetric measurement of the water distribution, *Water Science and Technology* Vol 42 No 9 pp 141-149
- [7] ATV-Merkblatt M-366, 2000, Maschinelle Schlamm entwässerung
- [8] Domenico, P. et. al. (1989), Quantitative extraction and purification of exopolysaccharides from *Klebsiella pneumoniae*, *J. Microbiol. Methods*, 9, 211-219
- [9] Herbert, D. et. al. (1971), Chemical analysis of microbial cells , In: Norris, J. R.; Ribbons, D. W. (Hrsg.). *Methods in Microbiology*. Volume 5 B, Academic Press, London, New York, 209-344
- [10] Bahrs, D. (1978), Konditionieren von Abwässerschlamm durch Gefrieren, Ph.D. thesis, Technical University of Braunschweig
- [11] Kopp, J., Dichtl, N. (2001), Influence of the free water content on the dewaterability of sewage sludges, proceedings of „sludge management entering the 3rd Millenium“, 25-28 March 2001 Taipei – Taiwan, pp. 270-275
- [12] DWA-M383 (2008), Kennwerte der Klärschlamm entwässerung (Performance Indicators of Sludge Dewatering), In: DWA-Regelwerk (DWA Standards), Hennef, Germany



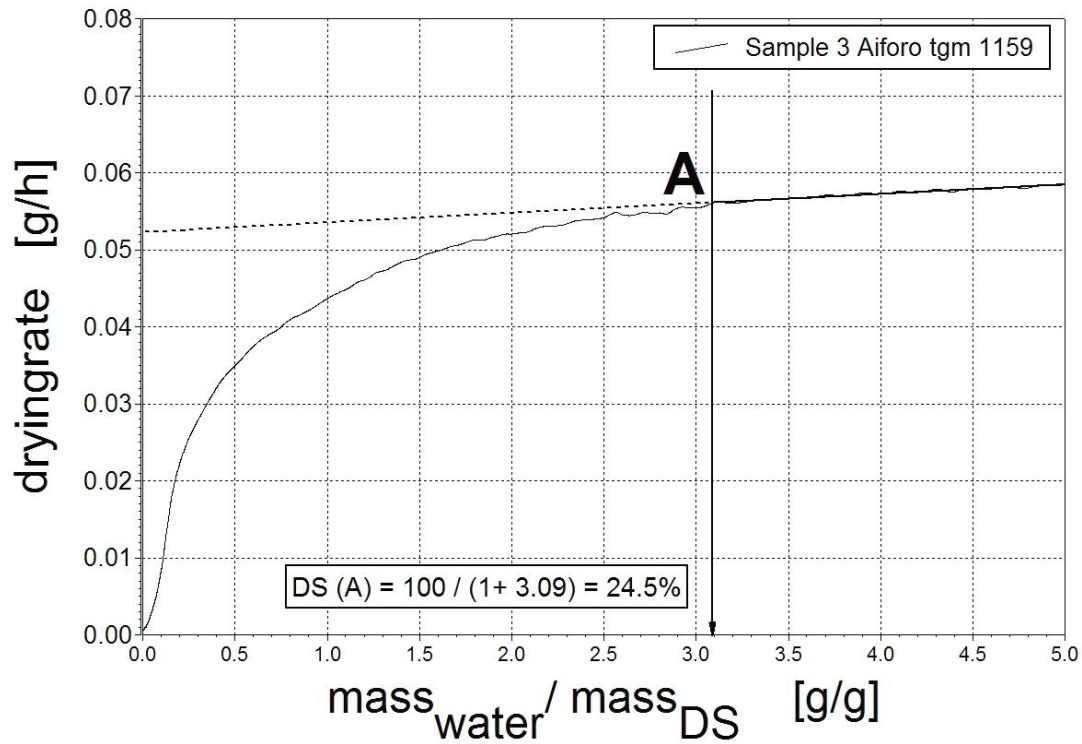
Appendix: drying curves of sludge samples AIFORO 1 - 5



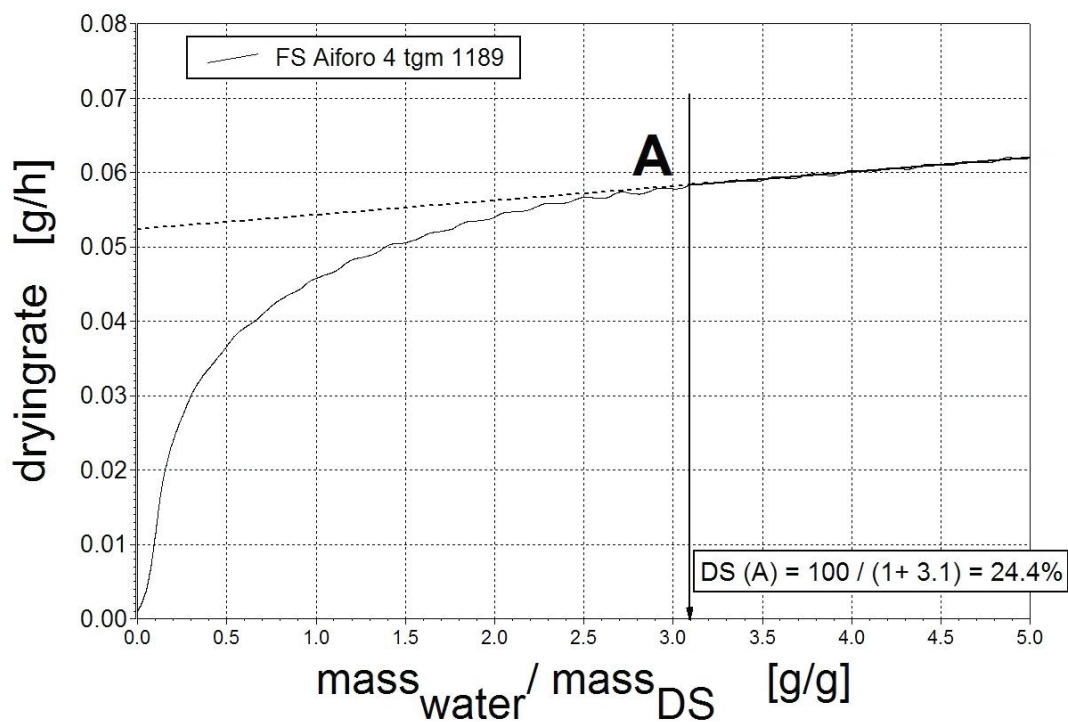
Sample 1: WWTP Den Bosch



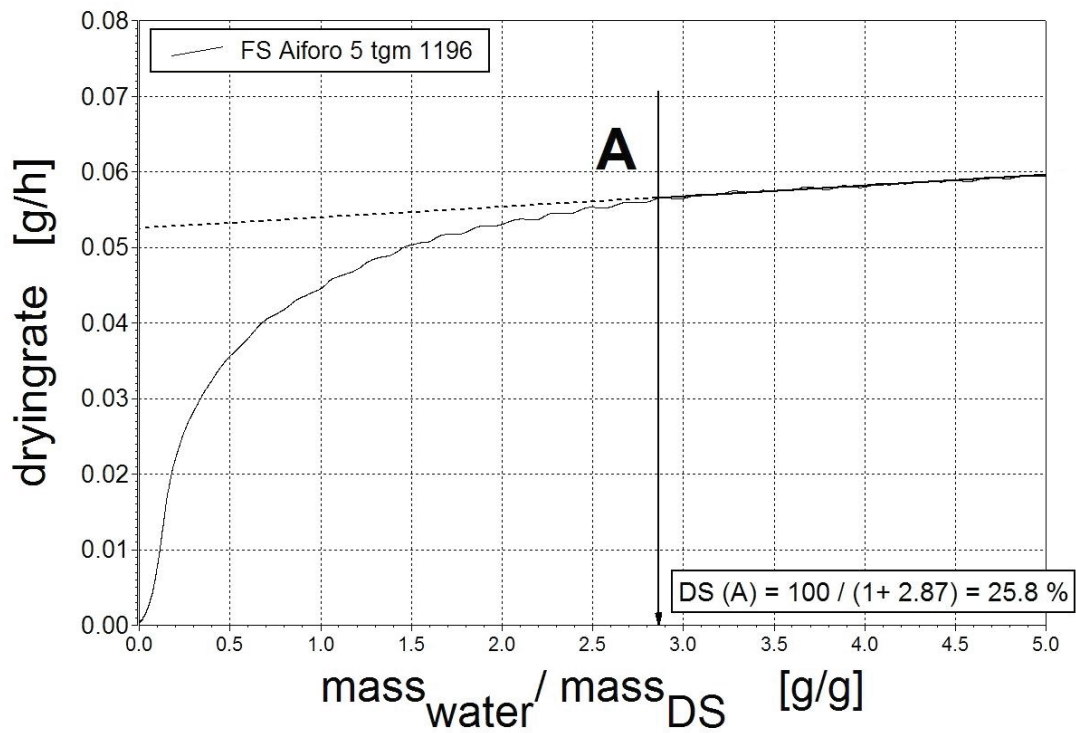
Sample 2: WWTP Beverwijk



Sample 3: WWTP Amsterdam West



Sample 4: WWTP Kralingseveer

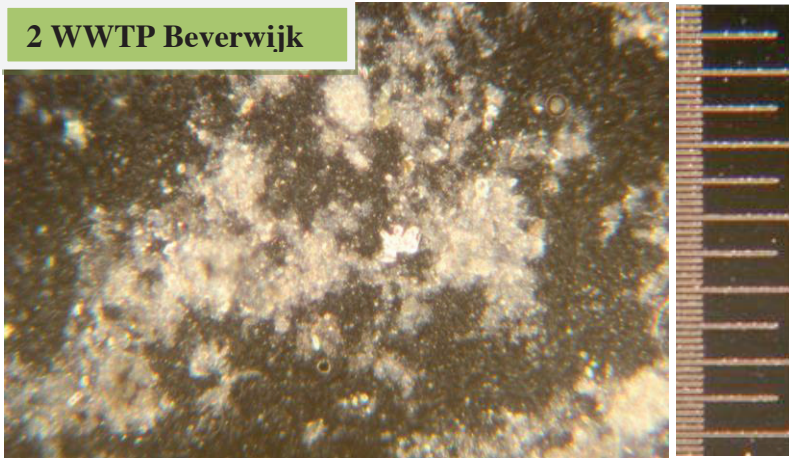


Sample 5: WWTP Hengelo

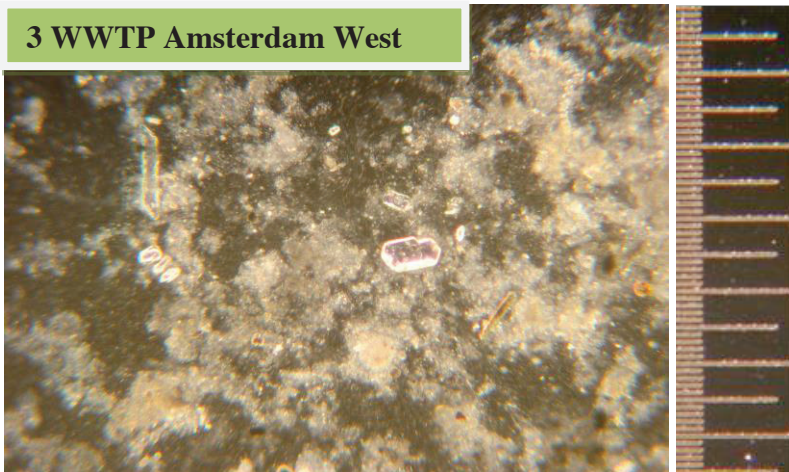
Microscopic pictures of the floc structure (magnification ~ 100 times in darkfield)



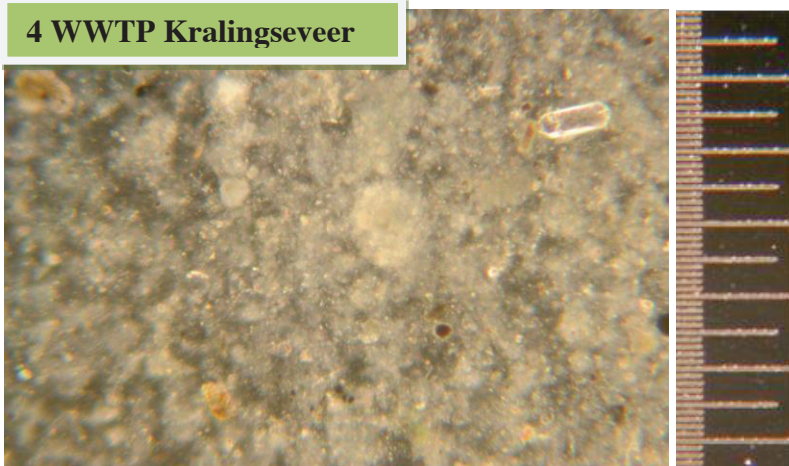
2 WWTP Beverwijk



3 WWTP Amsterdam West



4 WWTP Kralingseveer



5 WWTP Hengelo

