

stowa

TRENDS IN SLIBONTWATERING



RAPPORT

2012
46



TRENDS IN SLIBONTWATERING

RAPPORT

2012

46

ISBN 978.90.5773.577.6



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jo Nieuwlands, Waterschap Scheldestromen
Marcel Baars, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Peter van Dijk, Waterschap De Dommel
Marc Vermeulen, Waterschap Rivierenland
Alex Meindersma, Waterschap Velt en Vecht
Cora Uijterlinde, STOWA

PROJECTUITVOERING

Leon Korving, Aiforo

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-46

ISBN 978.90.5773.577.6

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

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

SAMENVATTING

De aanleiding voor dit onderzoek was de gedeelde ervaring bij waterschappen dat het ontwateren van slib steeds meer moeite kost. Deze ervaring werd ondersteund door gegevens uit de bedrijfsvergelijking van de waterschappen waaruit een flinke toename van het polymeergebruik voor de ontwatering bleek.

In het kader van dit onderzoek is dieper ingegaan op de ontwikkelingen op het gebied van de ontwatering van slib. Aan de hand van een literatuur onderzoek is onderzocht welke handvatten het wetenschappelijk onderzoek biedt bij het begrijpen van de factoren die van invloed zijn op het ontwateren van slib. Daarna zijn de ontwikkelingen in Nederland met betrekking tot de ontwatering van slib in beeld gebracht aan de hand van landelijke data en detail onderzoek bij zes waterschappen. Dit onderzoek is gecombineerd met aandacht voor ontwikkelingen in de bedrijfsvoering van de ontwatering.

Het onderzoek bevestigt het beeld dat de waterschappen steeds meer polymeer nodig hebben voor het ontwateren van het slib uit de rioolwaterzuiveringen. Door de inzet van meer polymeer slaagt men er wel in om het droge stof gehalte van de slibkoek constant te houden. Vanaf 2008 is er bij veel slibontwateringen een sterke toename te zien van het polymeergebruik per ton slib, hoewel er ook voor die tijd sprake is van een langzame stijging. Bij de onderzochte waterschappen was het polymeerverbruik in 2010 20% hoger dan in 2007. Dit komt overeen met het landelijke beeld uit de bedrijfsvergelijking waarbij het verbruik in 2009 19% hoger was dan in 2006. Deze toename van het polymeergebruik komt overeen met 2,5 miljoen euro aan extra jaarlijkse kosten voor alle waterschappen samen, terwijl de slibhoeveelheden in de afgelopen jaren vrij stabiel zijn.

ONTWATERINGSPRESTATIE IN RELATIE TOT PROCESKEUZES

Centrifuges produceren momenteel een slibkoek met een gemiddeld droge stof gehalte van 23-24% bij een polymeerverbruik van 13-15 g PE actief/kg droge stof. Zeefbandpersen leveren gemiddeld een nattere slibkoek (droge stof gehalte 19-21% droge stof) bij een lager polymeerverbruik (8-9 g PE actief/kg droge stof). Filterpersen geven een droge stof gehalte dat vergelijkbaar is met centrifuges. Gegevens over het bijbehorende polymeerverbruik zijn niet eenduidig. In sommige situaties is het verbruik lager dan bij zeefbandpersen, soms juist vergelijkbaar met centrifuges.

Vergisting van slib blijkt ongunstig voor de ontwaterbaarheid van slib en het bijbehorend polymeerverbruik. De gegevens uit het onderzoek betreffen een beperkte dataset, maar wijzen erop dat het polymeerverbruik door de vergisting van slib met meer dan 50% kan toenemen. Deze conclusie wordt ondersteund door literatuuronderzoek dat laat zien dat de vergisting van slib leidt tot meer colloïdaal eiwit in het slib waardoor meer polymeer nodig is voor de ontwatering. De onderzochte gegevens van de waterschappen bevestigen dit beeld, hoewel de onderbouwing lastig bleek door de sterke invloed van het meevergisten van primair slib op het ontwateringsresultaat van gegist slib.

Het ontwateren van slib van biologische fosfaatverwijdering kost 20-40% meer polymeer dan het ontwateren van slib van chemische fosfaatverwijdering. Dit hogere polymeerverbruik zorgt wel dat er geen groot verschil is in droge stof gehalte van de ontwaterde slibkoek in

vergelijking tot slib van een chemische fosfaatverwijdering. Er werd geen duidelijk verband gevonden tussen de mate van ijzerdosering, het fosfaatgehalte van de slibkoek of het fosfaatgehalte in het centraat. Dit suggereert dat het gehalte aan vrij fosfaat in het slib niet de verklaring is voor de verschillen in ontwaterbaarheid.

De invoering van verdergaande stikstofverwijdering bleek bij een flink aantal locaties samen te vallen met een verslechtering van het ontwateringsresultaat. Dit leidde meestal tot een lagere droge stofgehalte van de slibkoek (0,5-1,5 %punt). Het effect op het polymeerverbruik beperkte zich meestal tot maximaal 10%.

TRENDS IN PROCESKEUZES

In de afgelopen tien jaar zijn er weinig veranderingen geweest in de keuzes voor ontwateringsmethoden. De relatieve marktaandeelen van de verschillende methoden van ontwatering blijven min of meer gelijk. Bij geen van de methoden is er sprake van een sterke afname van het droge stof gehalte van de slibkoek. Wel is er bij alle methoden vanaf 2007 een toename van het polymeer gebruik.

Van 2008 tot en met 2010 neemt het aandeel vergist slib toe van 57% tot 62%. Deze toename wordt vooral veroorzaakt door een toename van de verwerking van extern slib op centrale ontwateringslocaties. Er is geen groot verschil te zien in de ontwaterbaarheid van slib bij locaties die gegist slib verwerken en locaties die ongegist slib verwerken. Bij beide locaties is er sprake van een toename van het polymeerverbruik rond 2007.

Vanaf 2006 neemt het slibvolume afkomstig van volledige biologische fosfaatverwijdering iets af, maar vanaf 2007 is er juist wel een forse toename van rioolwaterzuiveringen dat biologische fosfaatverwijdering ondersteunt met chemische fosfaatverwijdering. Het aandeel slib van deze zuiveringen neemt in korte tijd toe van 20% in 2006 tot 50% in 2010. Deze verandering gaat ten koste van rioolwaterzuiveringen die volledig chemisch defosfateren. Deze forse verandering kan een verklaring geven voor het landelijke beeld dat er meer polymeer nodig is voor de ontwatering van het slib. Niettemin laat het onderzoek zien dat ook bij zuiveringen met chemische fosfaatverwijdering het polymeerverbruik toenam, zodat ook andere invloeden van belang zijn.

In de periode van 2003 – 2006 blijken veel zuiveringen te zijn uitgerust met aanvullende stikstofverwijdering, meestal een vorm van denitrificatie. Deze maatregelen leidden bij een groot aantal locaties tot slechtere ontwateringslocaties. Deze maatregelen werden dus enkele jaren voorafgaand aan de sterkste stijging van het polymeerverbruik ingevoerd. Toch kunnen deze maatregelen invloed gehad hebben op de latere toename doordat men soms pas na 1-2 jaar lijkt te reageren op de verandering door een keuze voor een ander polymeer.

TRENDS IN DE BEDRIJFSVOERING

Het onderzoek laat zien dat er in de bedrijfsvoering van de slibontwatering nauwelijks nieuwe kennis is of nieuwe technieken zijn geïntroduceerd. Doorgevoerde verbeteringen betreffen vooral optimalisaties van bestaande machines of bijvoorbeeld het zorgen voor meer stabiliteit in bedrijfsvoering. Nieuwe vormen van procesregeling of methoden voor de karakterisering van de ontwaterbaarheid van slib worden nauwelijks toegepast. Ook is weinig kennis beschikbaar over het gebruikte polymeer, de benodigde rijpingstijd en de relatie met de eigenschappen van het te ontwateren slib.

De bedrijfsvoerders zijn wel betrokken en actief bezig met de optimalisatie van de bestaande apparatuur. Deze betrokkenheid is volgens de bedrijfsvoerders zelf van groot belang voor het halen van een goede ontwateringsprestatie. Daarentegen is er bij veel waterschappen wel een trend zichtbaar dat er minder tijd beschikbaar is voor het bedrijven van de slibontwatering en het analyseren van prestaties, hetgeen zijn weerslag kan hebben op de ontwateringsprestatie.

Eén van de belangrijkste trends in de bedrijfsvoering is de invoering van de gezamenlijke (Europese) aanbesteding van polymeer. Vanaf 2000 zijn enkele waterschappen hier voorzichtig mee begonnen en in de loop van de tijd hebben meer waterschappen zich hierbij aangesloten. In 2008 is gestart met een geheel nieuwe opzet van de aanbesteding en groeide het aantal waterschappen dat meedeed bij de aanbesteding van 5 naar 14 waterschappen. Vanuit de praktijk worden er door de bedrijfsvoerders vraagtekens gesteld over de effectiviteit van deze aanbesteding.

Het onderzoek laat zien dat de keuze van het polymeer grote invloed kan hebben op de ontwateringsprestaties. In het onderzoek is diverse malen geconstateerd dat veranderingen van polymeer leiden tot andere ontwateringsprestaties, zowel ten goede als ten slechte. De juiste keuze van het polymeer is dan ook van belang voor het halen van een goed ontwateringsresultaat.

Bij de keuze van het polymeer is het van belang een goede afweging te maken tussen de kosten van het verbruik en het te behalen ontwateringsresultaat. Er blijkt bij de waterschappen een sterke focus op het bereiken van een zo droog mogelijke slibkoek, maar niet in alle situaties wegen de kosten van het extra polymeerverbruik op tegen de drogere slibkoek. Dit geldt in het bijzonder voor centrifuges die al een hoog polymeerverbruik hebben. Daarnaast is het droge stof gehalte bij sommige type eindverwerkers (bijvoorbeeld monoverbranding) van minder groot belang, doordat de slibdroging relatief goedkoop met restwarmte plaatsvindt.

TRENDS IN KENNISONTWIKKELING

Het literatuur onderzoek laat zien dat er in de afgelopen 10 jaar veel aandacht is besteed aan de invloed van EPS op de flocculeerbaarheid en ontwaterbaarheid van het slib. Dit onderzoek mist echter een goede vertaling naar de praktijk doordat gebruik gemaakt wordt van laboratoriumtesten (CST, SRF) die geen grote voorspellende waarden hebben voor het ontwateringsresultaat op praktijkschaal. Een goed inzicht in de relatie tussen proceskeuzes (gisting, fosfaatverwijdering, stikstofverwijdering) in de zuivering ontbreekt. Er is bijvoorbeeld geen enkel onderzoek gevonden dat een verklaring geeft voor de slechtere ontwaterbaarheid van slib van zuiveringen met een biologische defosfatering. Het onderzoek laat wel zien dat de eiwitten in het EPS van slib een belangrijke rol spelen bij de ontwaterbaarheid. De oplosbare en colloïdale eiwitten hebben vooral veel invloed op het polymeerverbruik. Het niet oplosbare deel heeft vooral invloed op de maximale ontwaterbaarheid.

Enkele van de gevonden onderzoeken leggen wel de relatie met de praktijkschaal. Zo laat onderzoek van de TU Braunschweig zien dat een thermo-gravimetrische bepaling van het vrije water in slib een goede voorspellende waarde kan hebben voor het ontwateringsresultaat op praktijkschaal. Onderzoeken van de universiteit van Gent geven interessante informatie over enerzijds de invloed van polymeereigenschappen op de ontwatering en anderzijds invloeden op de activiteit van het polymeer bij de aanmaak ervan in de praktijk.

Het literatuur onderzoek laat verder zien dat kennis van rheologie van belang is om de processen die een rol spelen bij de ontwatering van slib te begrijpen. Het hogere polymeerverbruik van centrifuges in vergelijking tot zeebandpersen kan bijvoorbeeld verklaard worden door de grotere krachten waar het slib in centrifuges aan wordt blootgesteld. Metingen van de viscositeit van slib blijken ook te correleren met het maximaal haalbare droge stof gehalte en recenter onderzoek laat zien dat een zogenaamd rheogram van het slib informatie kan geven over de optimale polymeerdosering. Vooralsnog zijn dit soort metingen echter nog niet vertaald naar praktische hulpmiddelen.

CONCLUSIES

Het onderzoek bevestigt het beeld dat het ontwateren van slib steeds moeilijker wordt. Dit uit zich vooral in een hoger polymeerverbruik terwijl het bereikte ontwateringsresultaat (droge stof gehalte) min of meer gelijk blijft. Vanaf 2002 neemt het verbruik langzaam toe, maar de grootste stijging begint in 2008.

Rond 2008 is er sprake van diverse ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op het polymeerverbruik. Zo wordt hieraan voorafgaand van 2003-2006 op veel zuiveringen aanvullende stikstofverwijdering geïntroduceerd. Vanaf 2007 groeit het aantal zuiveringen dat biologische fosfaatverwijdering gebruikt plots sterk. Daarnaast is er vanaf 2008 een toename te zien van de hoeveelheid slib die centraal wordt vergist en ontwaterd. In 2008 starten veel waterschappen ook voor het eerst met de Europese aanbesteding van hun polymeren.

De grootste verandering vanaf 2008 is de toename van het gebruik van biologische fosfaatverwijdering met ondersteuning van chemische fosfaatverwijdering. Het onderzoek laat zien dat dergelijke zuiveringen gemiddeld 20-40% meer polymeer gebruiken en deze groei vormt dan ook een aannemelijke verklaring voor de toename van het polymeergebruik vanaf 2008. Niettemin is er ook een forse toename van het polymeerverbruik geconstateerd bij zuiveringen met chemische defosfatering, zodat dit niet de enige verklaring kan zijn. Het onderzoek heeft laten zien dat ook de vergisting van slib en de invoering van stikstofverwijdering een negatief effect hebben op het ontwateringsresultaat.

Bij veel waterschappen krijgt de inzet van polymeer minder aandacht dan het bereiken van een zo droog mogelijke slibkoek. Daarnaast is er bij veel waterschappen een trend te zien dat de aandacht voor de slibontwatering vermindert doordat de bedrijfsvoerders minder tijd beschikbaar hebben voor analyse van de prestaties van de slibontwatering. Deze afstand wordt nog verder vergroot door de nieuwe manier van aanbesteding van het polymeer. Hierdoor zijn de bedrijfsvoerders minder betrokken bij de selectie van het polymeer en door de grotere prijsdruk is er bij de leveranciers minder ruimte voor maatwerk en service.

Het onderzoek laat zien dat er in de praktijk nauwelijks gebruik wordt gemaakt van theoretische kennis van de ontwatering van slib. De optimalisatie van de ontwatering vindt plaats op basis van ervaring en uitproberen. Dit komt ook doordat het fundamentele onderzoek tot nu toe weinig concrete hulpmiddelen heeft opgeleverd die bruikbaar zijn in de praktijk. De belangrijkste oorzaak lijkt het ontbreken van een goede interactie tussen onderzoek en de praktijk. Niettemin biedt het literatuuronderzoek handvatten die gebruikt kunnen worden om de prestatie van de slibontwatering te verbeteren. De grootste kansen liggen in de ontwikkeling en verspreiding van kennis over de werking en inzet van polymeren in relatie tot de slibkwaliteit.

AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt dat waterschappen bij de bedrijfsvoering van de slibontwatering meer aandacht besteden aan en kennis ontwikkelen over de aanmaak van polymeer en de interactie tussen polymeer en het eigen slib. Hierdoor ontstaat er zo objectief mogelijke informatie die gebruikt kan worden voor de optimalisatie van de eigen installatie en de selectie van het polymeer. Hierdoor wordt het ontwateringsproces minder afhankelijk van de kennis van individuen binnen het waterschap en informatie van leveranciers. In het rapport is een aantal aanbevelingen gedaan waarmee waterschappen kunnen onderzoeken of de eigen polymeeraanmaak optimaal functioneert. Daarnaast zijn aanbevelingen opgenomen voor onderzoek naar de relatie tussen de keuze van het polymeer in relatie tot de eigen slibkwaliteit. Het is raadzaam deze methoden in een vervolgonderzoek verder te testen en zo standaard methoden te ontwikkelen die overgenomen kunnen worden door andere waterschappen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

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

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

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

TRENDS IN SLIBONTWATERING

INHOUD

	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	THEORIE EN LITERATUUR	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Water en slibbinding	2
2.3	Karakterisering van de ontwaterbaarheid	4
2.4	Invloeden op de ontwaterbaarheid van slib	6
2.4.1	Extracellulair polymeer (EPS)	6
2.4.2	Deeltjesgrootte	6
2.4.3	Oppervlakte eigenschappen van de vlok	7
2.4.4	De rol van kationen	8
2.4.5	Ammonium	8
2.4.6	Kalium	9
2.4.7	Fosfaat	9
2.5	Rheologie en slibontwatering	9
2.5.1	Invloed viscositeit van het slib op de ontwaterbaarheid	9
2.5.2	Invloed van afschuifspanningen bij de ontwatering	11
2.6	Gebruik en dosering van polymeer	12
2.6.1	Inleiding	12
2.6.2	Type polymeren	12
2.6.3	Polymeer aanmaak	13
2.6.4	Kwaliteitscontrole van het polymeer	13
2.6.5	Interactie tussen polymeer en slib	14
2.7	Ontwikkelingen in de procesregeling	15
2.8	Ontwikkelingen in de bedrijfsvoering	16
2.8.1	Optimalisatie van de bedrijfsvoering	16
2.8.2	Aanbesteding aankoop polymeer	17
2.8.3	Nieuwe technieken	18
3	ERVARINGEN MET SLIBONTWATERING IN DE PRAKTIJK	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Landelijke data	19

3.2.1	Herkomst en beschikbaarheid van data	19
3.2.2	Resultaat per ontwateringsmethode	19
3.2.3	Invloed slibgisting	22
3.2.4	Invloed fosfaatverwijdering	24
3.2.5	Invloed stikstofverwijdering	26
3.3	Detail onderzoek waterschappen	28
3.3.1	Inleiding	28
3.3.2	Ontwateringsmethode	29
3.3.3	Invloed slibgisting en voorbezinking	30
3.3.4	Invloed fosfaat en fosfaatverwijdering	33
3.3.5	Invloed struvietvorming en magnesium	36
3.3.6	Invloed stikstof en stikstofverwijdering	39
3.3.7	Invloed polymeer	41
3.3.8	Seizoenseffecten	43
3.3.9	Relatie met slib volume index	45
3.3.10	Droge stof gehalte voor ontwatering	46
3.4	Bedrijfsvoering van de slibontwatering	46
3.4.1	Inleiding	46
3.4.2	Meting en controle van de ontwatering	47
3.4.3	Ervaringen met automatische metingen	48
3.4.4	Bewaking van de prestatie	49
3.4.5	Verbeterprojecten	49
3.4.6	Slibkarakterisering en polymeerkeuze	51
3.4.7	Polymeer ontvangst en opslag	52
3.4.8	Polymeer aanmaak en dosering	53
3.4.9	Bediening van de ontwatering	55
3.4.10	Training en opleiding	57
3.4.11	Belangrijkste invloed op ontwateringsresultaat	57
4	DISCUSSIE	59
4.1	Aanleiding van het onderzoek	59
4.2	Ontwateringsresultaat in relatie tot polymeergebruik	59
4.3	Literatuuronderzoek	61
4.3.1	Invloed slibsamenstelling	61
4.3.2	Gebruik en dosering van polymeer	63
4.3.3	Procesregeling en bedrijfsvoering	63
4.4	Trends op de rioolwaterzuiveringen	64
4.5	Ervaringen in de bedrijfsvoering	66
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	68
5.1	Conclusies	68
5.1.1	Ontwateringsprestatie in relatie tot proceskeuzes	68
5.1.2	Trends in proceskeuzes	69
5.1.3	Trends in de bedrijfsvoering	69
5.1.4	Trends in kennisontwikkeling	70
5.1.5	Afweging	71
5.2	Aanbevelingen	72
6	LITERATUUR	75
	BIJLAGEN	
1	CORRELATIES TUSSEN ONTWATERINGSPRESTATIE EN PROCES KENTALLEN	79
2	RESULTATEN VERKENNENDE PROEVEN RIJPING POLYMEER	101

1

INLEIDING

Het slib uit de rioolwaterzuivering wordt momenteel zo ver als mogelijk ontwaterd met behulp van zeefbandpersen, centrifuges of filterpersen. Het ontwaterde slib bevat nog steeds maar 20-30% droge stof en dus nog heel veel water. Dit wateraandeel bemoeilijkt de inzet van slib als energiedrager en verhoogt de kosten voor slibtransport. Bovendien zijn er veel kosten gemoeid met het ontwateren van het slib. Het is daarom interessant om deze ontwatering te verbeteren.

Tegelijkertijd zijn er signalen bij de waterschappen dat de ontwaterbaarheid van slib in de laatste jaren steeds slechter wordt. Tot nu toe uit zich dit vooral in een toename van het polymerverbruik bij de ontwatering van het slib, terwijl het gemiddelde droge stof gehalte in het afgevoerde slib licht afneemt. Door de toename van het PE-verbruik gaven de waterschappen in 2009 naar schatting 2,5 miljoen euro/jaar meer uit aan chemicaliën voor het ontwateren van het slib in vergelijking met 2006. Dit is een toename van 19%.

De oorzaak van deze verslechtering van de ontwaterbaarheid is tot nu toe niet helder. Vaak wordt deze verslechtering toegeschreven aan de toename van het gebruik van biologische defosfatering. Andere belangrijke invloedsfactoren zijn de mate van gisting van het slib, het soort ontwateringsmachine, de mate van toezicht op kwaliteit van de ontwatering en de kwaliteit en het type van het gebruikte poly-electrolyt (PE). Tot nu toe is er geen analyse beschikbaar die de slechtere ontwaterbaarheid van het slib onderbouwt en verklaart.

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek dat tot doel heeft een beeld te geven van de trends op het gebied van de ontwatering van slib in de afgelopen 10 jaar. Het onderzoek dient als basis voor nader onderzoek naar mogelijkheden de ontwatering van slib te verbeteren. Het onderzoek is gebaseerd op literatuur onderzoek (hoofdstuk 2), een analyse van de beschikbare data en een inventarisatie van ervaringen uit de bedrijfsvoering van slibontwatering (hoofdstuk 3). De resultaten van het onderzoek worden in hoofdstuk 4 besproken en samengevat waarna in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen volgen.

2

THEORIE EN LITERATUUR

2.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van een literatuur onderzoek naar aspecten die samenhangen met het ontwateren van zuiveringsslib. Het literatuuronderzoek heeft zich geconcentreerd op literatuur die in de laatste 10 jaar is gepubliceerd. In de wetenschappelijke literatuur is gezocht met Google Scholar. Daarnaast is de Hydrotheek van STOWA geraadpleegd.

Dit hoofdstuk beschrijft vooral de nieuwe ontwikkelingen en inzichten van de laatste 10 jaar en is niet bedoeld om een algemene inleiding te geven op de ontwatering van zuiveringsslib. Voor een dergelijke inleiding wordt verwezen naar het Handboek Slibontwatering (1).

2.2 WATER EN SLIBBINDING

Het water in het slib is op verschillende manieren gebonden. De sterkte van de binding bepaalt hoe goed het water van het slib is te scheiden. Meestal wordt het in het slib aanwezige water ingedeeld in vier groepen (1), (2), (3).

- **Vrij water:** dit water bevindt zich tussen de slibvlokken, is niet gebonden en eenvoudig te verwijderen.
- **Interstitieel water:** dit water bevindt zich in de kleine ruimtes tussen de slibvlokken en is gebonden door capillaire krachten.
- **Oppervlakte water,** ook wel colloïdaal gebonden water: dit is water dat gebonden is aan het oppervlak van de vlok. Dit water is gebonden door adsorptiekrachten aan het oppervlak. Ook water dat chemisch gebonden is in het extracellulaire polymeer (EPS) wordt meestal gezien als oppervlakte water.
- **Chemisch gebonden water:** dit water bevindt zich in de celmassa, is chemisch gebonden en alleen te verwijderen door thermische droging.

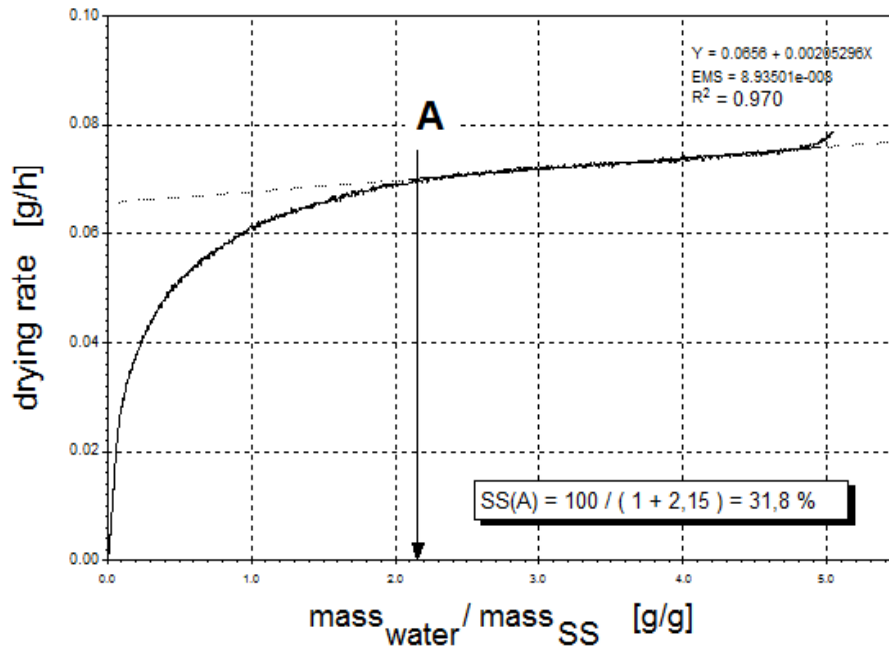
Het chemisch gebonden water vormt maar een klein onderdeel van het totale water. Een slibmonster met een droge stof gehalte van 3% droge stof bevat 97% water. Van dit totale monster is maar 0,5-1% chemisch gebonden water (2), ofwel 0,2-0,3 g/g droge stof. Een andere referentie (3) schat dit wat hoger in, ongeveer 1 g/g droge stof. Het aandeel chemisch gebonden water kan bepaald worden met methoden waarbij het monster bevroren wordt. Het gebonden water zal niet bevriezen en van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt bij deze bepaling.

De bepaling van het gebonden water is van gering belang omdat het maar een klein aandeel is van het totale water. Het interstitieel water vormt een groter aandeel van het te ontwateren slib (5-12% van het totale monster bij een droge stof gehalte van 3%) en is bepalend voor het maximaal bereikbare eind droge stof gehalte. Het interstitiële, chemisch gebonden en oppervlakte water worden vaak samen genomen en gebonden water genoemd. Alleen het vrije water kan door mechanische ontwatering worden verwijderd.

Een interessante methode voor de bepaling van het gehalte aan vrij water in een slibmonster is een thermo-gravimetrische analyse (Figuur 1). 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 plots sterk af (punt A).

FIGUUR 1

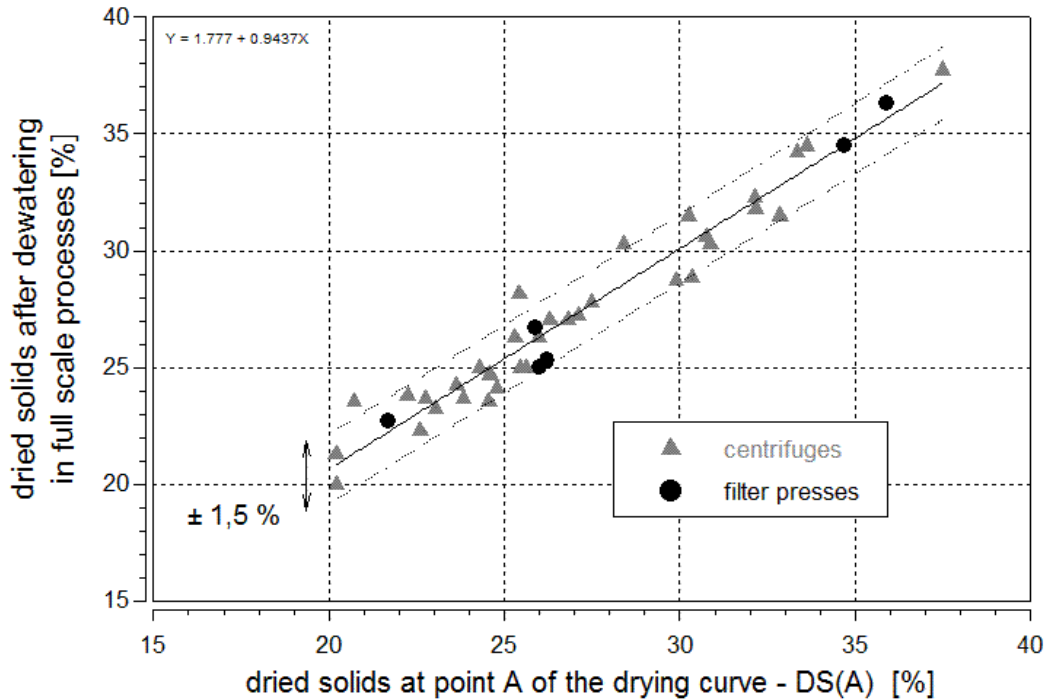
DROOGCURVE VAN EEN SLIBMONSTER VOOR DE BEPALING VAN HET GEHALTE AAN VRIJ WATER (2)



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 SS_A . Onderzoek door de TU Braunschweig (2) (4) 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 (Figuur 2). Ook voor monsters die op praktijkschaal met filterpersen werden ontwaterd bleek deze correlatie stand te houden.

De praktische toepasbaarheid 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. Meer hier over is in referenties (2) en (4) te vinden.

FIGUUR 2

CORRELATIE TUSSEN THERMO-GRAVIMETRISCHE BEPALING VAN HET GEHALTE AAN VRIJ WATER (SS_x) EN RESULTAAT OP PRAKTIJSCHAAL (2)

2.3 KARAKTERISERING VAN DE ONTWATERBAARHEID

Op praktijkschaal zijn de volgende parameters van belang voor de karakterisering van het ontwateringsresultaat:

- Droge stof gehalte van de ontwaterde slibkoek;
- Het polymeerverbruik;
- De kwaliteit van het centraat of filtraat.

In de literatuur worden deze paramters maar beperkt gebruikt. Meestal wordt de ontwaterbaarheid van het slib gekarakteriseerd met de Capillary Suction Time (CST) of de Specific Resistance to Filtration (SRF). Alleen in sommige situaties wordt ook het droge stof gehalte van de koek gerapporteerd en vrijwel nooit wordt er in gegaan op de kwaliteit van het filtraat. CST en SRF zeggen in feite vooral iets over de snelheid van filtratie en niet over het maximaal haalbare droge stof gehalte van de slibkoek.

Vanwege het belang van de SRF in de literatuur wordt eerst ingegaan op de achtergronden van deze parameter. Om een suspensie te filteren wordt er een druk opgelegd op de vloeistof om de vloeistof door een filtermedium te dwingen. Hierdoor ontstaat er boven het filtermedium een koek die zelf ook weerstand biedt tegen de filtratie. De weerstand tegen de filtratie wordt uiteindelijk vooral bepaald door de koek en minder door het oorspronkelijke filter. Deze weerstand neemt in de tijd toe. Hierbij ontstaat er een lineair verband tussen de tijdsduur van de filtratie (t) en het kwadraat van het geproduceerde filtraat volume (V):

$$t = SRF * V^2$$

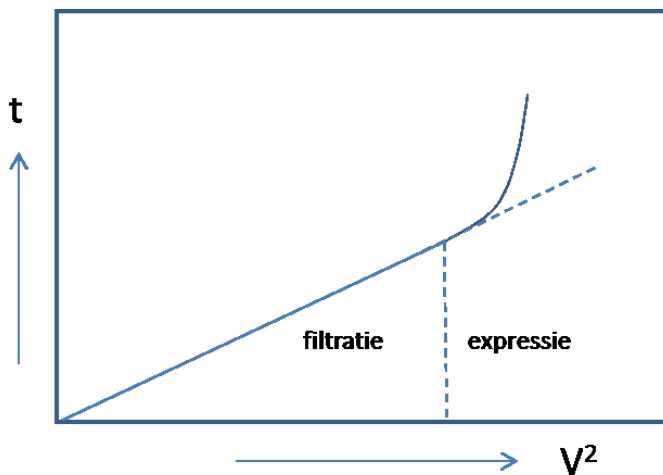
De helling van dit lineaire verband komt overeen met de specifieke filtratieweerstand (SRF). Volgens de theorie is de SRF onafhankelijk van de uitgangconcentratie en alleen afhankelijk van de opgelegde druk.

Op een gegeven moment is het volume boven het filtermedium volledig gevuld door de opgebouwde filterkoek en begint de expressie fase waarbij de filterkoek verder uitgeperst wordt. Dit moment is herkenbaar doordat dan de productie van filtraat sterk af neemt als functie van de tijd. Figuur 3 geeft de ontwikkeling van filtraatproductie als functie van de tijd schematisch weer.

Deze voorstelling van het filtratieproces blijkt nuttig voor een groot aantal filtratieprocessen. Voor de filtratie van zuiveringsslib is deze voorstelling niet altijd even goed bruikbaar. Bij veel slibsoorten is er nauwelijks sprake van een filtratiefase waardoor de bepaling van de SRF onbetrouwbaar wordt (5).

FIGUUR 3

VERLOOP VAN EEN KLASIEK FILTRATIEPROCES



Dit is waarschijnlijk ook de reden dat vaak gebruik wordt gemaakt van de eenvoudiger te bepalen CST. Bij de CST bepaling wordt een bepaalde hoeveelheid van het slibmonster in een cilinder gedaan die op een filtreerpapier rust. De cilinder is van onder open en er wordt gemeten hoe snel het filtraat van het slibmonster een bepaalde afstand op het filtreerpapier aflegt. Bij een dergelijke proef wordt er geen druk opgelegd op de suspensie zodat de CST vooral aangeeft hoe goed het vrije water uit het slibmonster kan weglopen. De CST is sterk afhankelijk van het droge stof gehalte van de te filteren suspensie.

In het Handboek Slibontwatering (1) worden nog enkele andere technieken genoemd om de ontwaterbaarheid van slib te karakteriseren. In de onderzochte literatuur wordt geen van deze technieken genoemd of gebruikt. In het Handboek Slibontwatering wordt in het bijzonder de Filtratie-Expressie cel (FE-cel) genoemd als een interessante techniek voor de karakterisering van het slib. Met de FE-cel wordt in feite de filtratieweerstand (SRF) en de droge stof van de slibkoek na expressie bepaald. Bovendien kan het relatieve belang van de filtratie en de expressiefase worden bepaald. In de gevonden literatuur wordt geen enkele keer gerefereerd aan de filtratie-expressie cel als meetmethode. Meestal wordt gerapporteerd dat de SRF is bepaald en in sommige gevallen wordt ook het eind droge stof gehalte gerapporteerd.

In sommige onderzoeken wordt het eind droge stof gehalte bepaald door het monster te centrifugeren in een labcentrifuge. Het ontwateringsresultaat dat hiermee bereikt wordt is sterk afhankelijk van de kracht waar de centrifugatie mee wordt uitgevoerd (6) (7) (8). Ook blijkt het resultaat niet altijd even goed te correleren met het resultaat op praktijkschaal (7).

In de afgelopen jaren zijn er bij enkele waterschappen ervaringen opgedaan met een zogenaamde mini-filterpers van het merk Mareco. Deze pers is gebruikt in STOWA onderzoeken naar de invloed van het verwarmen van polymeer op het ontwateringsresultaat (9) en bij de beoordeling van de resultaten van ultrasone slibdesintegratie op het ontwateringsresultaat (10). Door waterschap Brabantse Delta is in 2006 een uitgebreider onderzoek gedaan naar de vergelijkbaarheid van de resultaten van deze filterpers en de resultaten van zeefband pers. Deze resultaten laten zien dat als de proefcondities (persdruk, dikte filterkoek, perstijd) zorgvuldig gedefinieerd worden dat dan een goede reproduceerbaarheid van de praktijkomstandigheden mogelijk is (11).

2.4 INVLOEDEN OP DE ONTWATERBAARHEID VAN SLIB

2.4.1 EXTRACELLULAIR POLYMEER (EPS)

Slibvlokken bestaan uit een complex mengsel van cellen die bij elkaar worden gehouden door polymeren, ook wel extracellulair polymere substantie genoemd, kortweg EPS. De exacte functie van deze polymeren is niet geheel bekend. Vermoedelijk speelt EPS een belangrijke rol bij de ontwaterbaarheid van slib en in de laatste jaren zijn er diverse onderzoeken gepubliceerd die nader ingaan op de rol van EPS bij de ontwaterbaarheid. Er zijn verschillende methoden voor de bepaling van het EPS-gehalte en de samenstelling van het EPS (12) (13). Het resultaat is vaak afhankelijk van de gebruikte methode.

Extracellulair polymeer bestaat voornamelijk uit eiwitten (45-55%), humusachtige bestanddelen (30-33%) en koolhydraten (10%) (12). Deze verdeling wordt min of meer bevestigd door andere bronnen (6) (14). Het gehalte aan EPS heeft meestal een positief effect op de flocculeerbaarheid van slib en de resulterende slib volume index (SVI). Aan de andere kant rapporteren de meeste auteurs dat een toename van het gehalte aan EPS een negatieve invloed heeft op de ontwaterbaarheid van slib (12) (13). Een goede bezinkbaarheid van slib hoeft dus niet samen te gaan met een goede ontwaterbaarheid van het slib.

De relatie tussen het EPS gehalte en de ontwaterbaarheid van slib is niet altijd eenduidig. Soms wordt juist een verbetering van de ontwaterbaarheid geconstateerd bij een toename van het EPS-gehalte. Het is daarom beter om te kijken naar het type EPS in het slib. Eiwitten in het EPS kunnen water sterk binden en een hoog eiwit gehalte in slib lijkt daarom te correleren met een slechtere ontwaterbaarheid. Een toename van het gehalte aan koolhydraten verbetert juist de ontwaterbaarheid. Verder is het van belang om onderscheid te maken tussen extraheerbaar/oplosbaar EPS en gebonden EPS. Onderzoek laat zien dat vooral het oplosbaar deel van het EPS van invloed is op de filtratiesnelheid en het polymeerverbruik (6) (15). Het onoplosbare EPS heeft voornamelijk invloed op het gehalte aan gebonden water en zal de grootste invloed hebben op het droge stof gehalte van de filterkoek.

2.4.2 DEELTJESGROOTTE

De deeltjesgrootte verdeling in slib kan worden bepaald door laserdiffractie. De onderstaande tabel geeft de deeltjesgrootte van verschillende soorten slib. Tabel 1 laat zien dat secundair slib van oorsprong grotere deeltjes bevat dan primair slib. Door gisting neemt de deeltjesgrootte verdeling af, waarbij het gehalte aan primair slib dat meevertigt wordt invloed heeft op de gemiddelde deeltjesgrootte verdeling na vergisting.

Kleine deeltjes hebben een groter oppervlakte en kunnen daardoor in principe meer water binden. De vorm van de vlok speelt hierbij echter ook een rol. De verschillende bronnen spreken elkaar op dit punt tegen. Zo wordt er in het ene geval (6) een sterke correlatie gevonden tussen de vlogkrootte en het gehalte aan gebonden water (grotere vlokken, meer gebonden water). In een ander geval (14) is er vrijwel geen correlatie tussen vlogkrootte en het droge stof gehalte van de koek. In dit onderzoek wordt wel een grote correlatie gevonden tussen de mate van dispersie van de deeltjes en het droge stof gehalte van de koek. De mate van dispersie werd hierbij bepaald door het monster te centrifugeren en daarna de troebelheid te meten van het supernatant. De mate van dispersie is dan de verhouding droge stof in het supernatant ten opzicht van de totale droge stof in het monster. Hiermee wordt in feite het gehalte aan zeer fijne deeltjes bepaald.

TABEL 1

DEELTJESGROOTTE SLIBSOORTEN

Slibsoort	Deeltjes grootte (μm)	
	Bron (14)	Bron (16)
Primair slib	53	22-32
Secundair slib	125 \pm 109	110-140
Mesofiel gegist slib	51 \pm 21	30-70
Mesofiel gegist slib na thermische hydrolyse	31	-

Deze kleinere deeltjes kunnen ervoor zorgen dat de filterkoek bij filtratie snel dichtslaat ("blinding"). Dit heeft een negatief effect op de filtratiesnelheid, maar kan een positief effect hebben het droge stof gehalte van de slibkoek (14). Recent onderzoek (15) bevestigt het belang van fijn colloïdaal materiaal op de filtratieweerstand en droge stof van slibkoek. Dit onderzoek laat zien dat dit fijne colloïdale materiaal vooral bestaat uit eiwitrijk materiaal. De concentratie van deze colloïdale deeltjes hebben ook een grote invloed op het polymeerverbruik dat nodig is voor een goede ontwatering. Dit zelfde onderzoek laat zien dat de vergisting van slib resulteert in een forse toename van colloïdale, eiwitrijke deeltjes met een negatief effect op het polymeerverbruik en de filtratieweerstand.

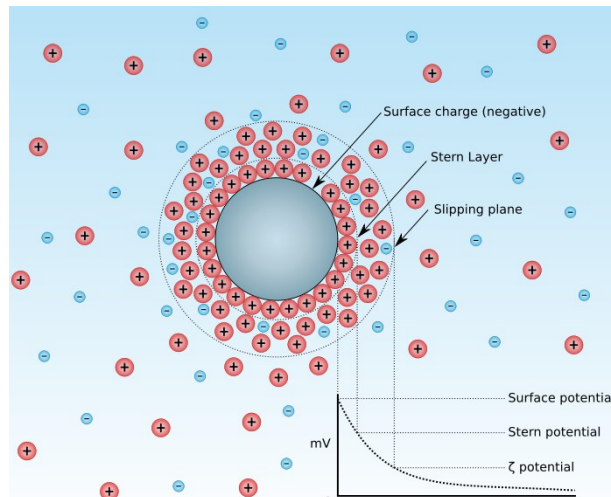
2.4.3 OPPERVLAKTE EIGENSCHAPPEN VAN DE VLOK

De belangrijkste oppervlakte eigenschappen van een slibvlok zijn de hydrofobiciteit (waterafstotendheid) en de lading. Beide eigenschappen hebben een belangrijke invloed op de ontwaterbaarheid. De oppervlaktelading wordt uitgedrukt als de elektrische potentiaal op het oppervlak van de vlok. Deze lading trekt ionen uit de vloeistof aan die de lading neutraliseren waardoor er een dubbellaag ontstaat. De zeta-potentiaal is de resulterende lading op het grensvlak van de dubbellaag. De verhouding tussen de zeta-potentiaal en de oppervlakte lading wordt dus bepaald door de invloed die het vloeistofmedium heeft op de dubbellaag rondom de vlok.

De literatuur laat zien dat de oppervlaktelading en zeta-potentiaal van de slibvlokken vrijwel altijd negatief zijn en bepaald worden door het EPS-gehalte van de vlok, hoewel ook hier de resultaten elkaar soms tegenspreken (6) (13) (14) (18). Vooral het gehalte aan eiwitten en humus bestanddelen lijkt de lading van het oppervlak te bepalen, terwijl het aandeel koolhydraten minder invloed heeft op de lading. Een hogere lading correleert met een slechtere ontwaterbaarheid.

FIGUUR 4

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN OPPERVLAKTELADING EN ZETAPOTENTIAAL (17)



Ook de hydrofobiciteit van het oppervlak speelt een rol bij de ontwaterbaarheid. Hoge waarden voor de hydrofobiciteit van het oppervlak zorgen voor een hoge filtratieweerstand, maar opvallend genoeg tegelijk ook voor een hoog gehalte aan gebonden water (6). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat hydrofobe vlokken makkelijker grotere deeltjes vormen die dan wel veel water insluiten.

2.4.4 DE ROL VAN KATIONEN

De aanwezigheid van meerwaardige metallische kationen zoals Ca, Mg, Fe en Al heeft een positief effect op de ontwaterbaarheid van slib (6) (19) (20). Het positieve effect van deze ionen wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat zij een brugfunctie vervullen bij het binden van de negatief geladen polymeren in de slibvlokken. Van deze ionen wordt Ca gezien als de belangrijkste factor. Hogere Ca-concentraties in het slib kunnen er ook voor zorgen dat er minder polymeer nodig is bij de ontwatering van het slib (20).

Verder zijn er aanwijzingen dat calcium een belangrijke rol speelt in de ontwaterbaarheid van slib na anaerobe vergisting (19). Een hoog gehalte aan calcium in het slib voor vergisting kan mogelijk voorkomen dat polysachariden in het slib in oplossing gaan en daarmee een bijdrage leveren aan een verslechtering van de ontwaterbaarheid.

2.4.5 AMMONIUM

Een hoger ammonium gehalte in slib lijkt een negatieve invloed te hebben op de ontwaterbaarheid van slib (19). Onderzoek aan industrieel slib liet zien dat het gehalte aan ammonium een grotere invloed had dan het magnesium gehalte in het zelfde slib. Het hogere ammonium gehalte correleerde met een toename van het gehalte aan oplosbare eiwitten in oplossing.

Het kan zijn dat de verslechtering dus vooral veroorzaakt wordt door deze toename aan oplosbare eiwitten en dat het hogere ammonium gehalte hier een gevolg van is. Verschillende bronnen rapporteren dat oplosbare eiwitten een negatieve invloed hebben op de ontwaterbaarheid van slib (6) (15). Een andere theorie is dat het ammonium calcium verdringt in de EPS-structuur, waardoor de bindende werking van het calcium verloren gaat (19).

2.4.6 KALIUM

Ook voor kalium wordt gerapporteerd dat hogere concentraties een negatieve invloed hebben op de ontwaterbaarheid van slib (19). In dit geval zou er sprake zijn van een optimale kalium concentratie. Het kalium gehalte moet niet te laag zijn omdat het beschikbaar moet zijn als nutriënt voor de celmassa. Als er echter te veel kalium in de oplossing aanwezig is heeft dit negatieve effecten op de ontwaterbaarheid van het slib.

De optimale kalium concentratie ligt rond 0,25-0,5 meq/l. Boven een concentratie van 2 meq/l was in dit onderzoek de invloed zeer negatief op de ontwaterbaarheid. Een goede verklaring voor dit effect ontbreekt, hoewel ook hier, net als bij ammonium, de toename van het kalium gehalte correleerde met een toename van het gehalte aan oplosbare eiwitten in het slib.

2.4.7 FOSFAAT

Bij onderzoeken door Waterschap Velt en Vecht (21) en Waternet (22) met de vorming van struviet in het slib is een positief effect bereikt op de ontwaterbaarheid van het slib. Deze verbetering wordt daarbij veelal toegeschreven aan de verlaging van de fosfaatconcentratie in het slib die hiermee wordt bereikt.

Om hier meer onderbouwing aan te geven is in de literatuur expliciet gezocht naar de invloed van fosfaat op de ontwaterbaarheid van slib. Hierover is echter vrijwel geen onderzoek gevonden. In een DWA Merkblatt (7) wordt wel genoemd dat fosfaat een belangrijke rol kan spelen, maar hierbij wordt slechts gerefereerd aan literatuur die in algemene zin ingaat op de rol van fosfaat bij de waterbinding in bijvoorbeeld vlees.

Er is geen onderzoek gevonden die duidelijk onderbouwt welke rol fosfaat speelt bij de ontwatering van slib. Wel is een onderzoek gevonden die laat zien dat fosfaat in hoge concentraties aanwezig kan zijn in de EPS van biologische defosfaterend slib (23). De celclusters in dit slib, inclusief het EPS, bevatten een fosfaatconcentratie van 51-65%, terwijl de EPS om de cellen heen een fosfaatconcentratie van 16-37% bevatte. Dit geeft in ieder geval aan dat fosfaat een rol kan spelen bij het gedrag van EPS bij de ontwaterbaarheid van slib. Verder wordt in de literatuur (18) melding gemaakt van een verlaging van de hydrofobiciteit van slibvlokken door hogere fosfaatconcentraties. Andere bronnen (6) relateren een hoge hydrofobiciteit weer met een slechtere ontwaterbaarheid van het slib.

2.5 RHEOLOGIE EN SLIBONTWATERING

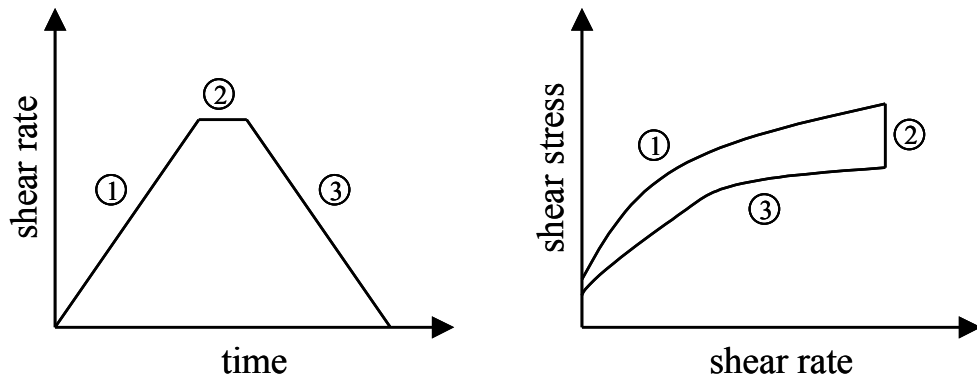
Bij de ontwatering van zuiveringsslib speelt de rheologie een essentiële rol. De rheologie beschijft de vervormingen van materialen als gevolg van opgelegde spanningen. Voor vloeistoffen is de viscositeit een bekende maat hiervoor. Door de ontwikkeling van nauwkeurigere viscositeitsmetingen lijken zich hier nieuwe inzichten te ontwikkelen die kunnen helpen bij de sturing en beoordeling van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib.

2.5.1 INVLOED VISCOSITEIT VAN HET SLIB OP DE ONTWATERBAARHEID

Al in een onderzoek van 2004 (6) werd een relatie gevonden tussen de gemeten viscositeit van het slibmonster en de ontwaterbaarheid. Zowel een hogere CST als een hoger gehalte aan gebonden water correleerde in dit onderzoek met een hogere viscositeit van het te ontwateren slibmonster.

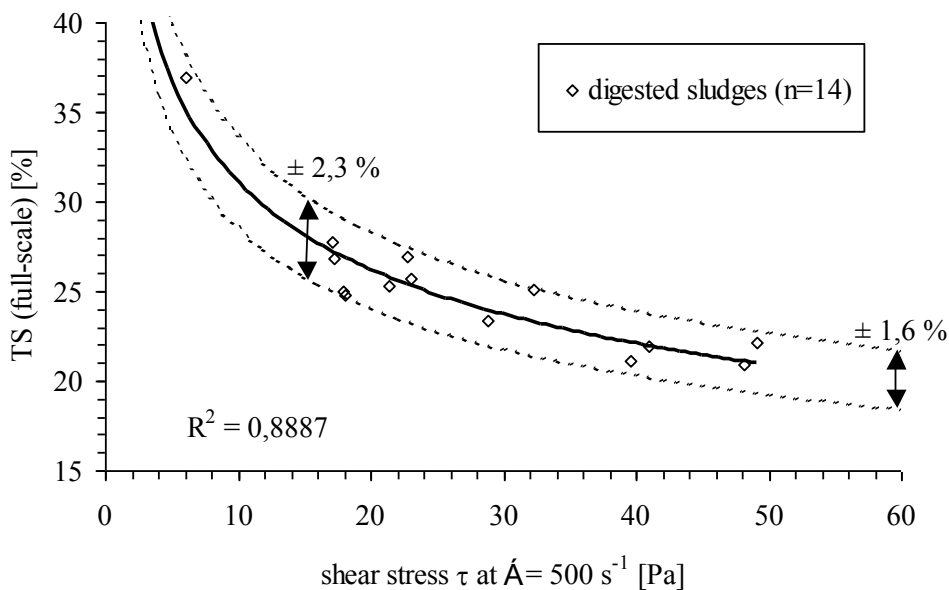
Slib gedraagt zich bij de bepaling van de viscositeit niet als een Newtoniaanse vloeistof. Bij het meten van de viscositeit is het opgelegde snelheidsverschil dan ook belangrijk voor de resulterende afschuifspanning. Figuur 4 laat het verloop zien van een typische proef met slib. Wanneer men in een viscositeitsmeting de snelheid (shear rate) laat oplopen (lijn 1) zal de resulterende afschuifspanning eerst lineair oplopen. Op een gegeven moment gaan de polymeren in het slib zich ordenen en neemt de afschuifspanning nog maar weinig toe. Wanneer het snelheidsverschil enige tijd gelijk gehouden wordt (lijn 2) zal de afschuifspanning zelfs dalen. Als een vloeistof dit gedrag vertoont noemt men het een thixotropische of pseudoplastische vloeistof. Tenslotte wordt bij afnemende snelheidsverschillen (lijn 3) een andere spanning gemeten als bij de toename van het snelheidsverschil.

FIGUUR 5 VERLOOP VAN DE AFSCUIFSPANNING BIJ SLIB ALS FUNCTIE VAN HET OPGEGEGDE SNELHEIDSGRADIËNT (SHEAR RATE) (8)



De gemeten viscositeit op de overgang van lijn 2 naar 3 blijkt goed te correleren met het ontwateringsresultaat in centrifuges op praktijkschaal (8). In dit onderzoek uit 2007 werd de viscositeit van 14 verschillende vergiste slibmonsters gemeten bij een droge stof gehalte van 5%. De resultaten kwamen met een nauwkeurigheid van $\pm 2,3\%$ overeen met de resultaten in de praktijk (Figuur 6). In dit onderzoek werden vergelijkbare correlaties gevonden met het ontwateringsresultaat door labcentrifuges en het gehalte aan gebonden water bepaald met een thermogravische bepaling (zie ook paragraaf 2.2). Ook bleek de viscositeit een voorspellende waarde te hebben voor de SVI.

FIGUUR 6 RELATIE TUSSEN VISCOSITEIT VAN SLIB EN ONTWATERINGSRESULTAAT OP PRAKTIJKSCHAAL (8)



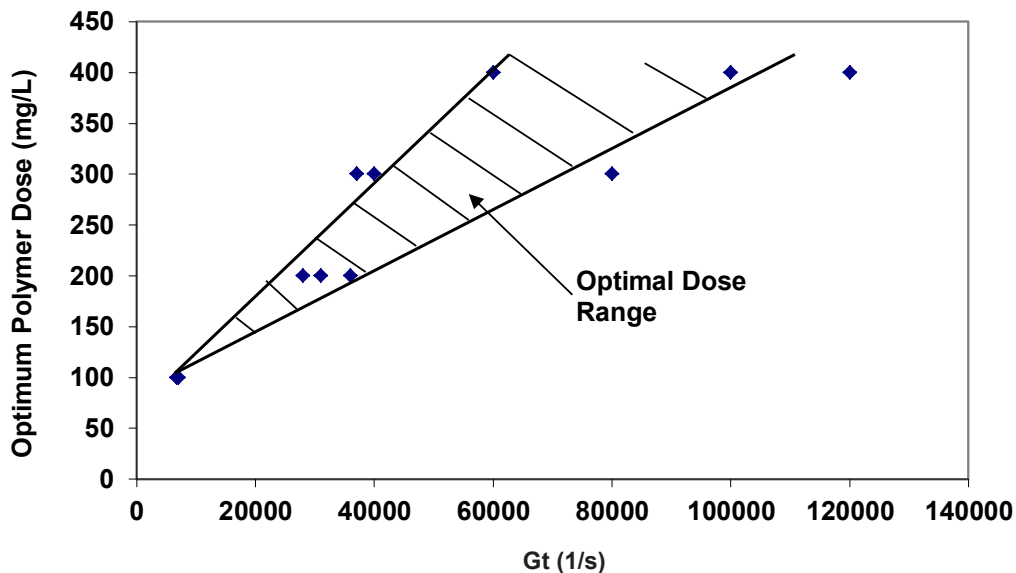
In een ander onderzoek (24) werd de viscositeit op een iets ander manier bepaald. Hierbij werd het slib blootgesteld aan een range aan amplitude veranderingen in een viscometer. Bij bepaalde amplitudes werd dan een constante spanning gemeten, de “yield stress”. De yield stress bleek een goede correlatie te hebben met de droge stof gehalte van de slibkoek die in een filterpers op labschaal werd geproduceerd. Ook bleek deze goed te correleren met de kwaliteit van het verkregen filtraat.

2.5.2 INVLOED VAN AFSCHUIFSPANNINGEN BIJ DE ONTWATERING

De afschuifspanningen bij de ontwatering van het slib spelen een rol bij het polymeerverbruik dat nodig is voor de ontwatering. In centrifuges ondergaat het slib grotere afschuifspanningen waardoor er meer polymeer nodig blijkt om een zelfde eindresultaat te halen (3). Dit wordt geïllustreerd door Figuur 7. Op de x-as in de figuur is het product weergegeven van de snelheidsgradient G (in $1/s$) en de tijdsduur t van de gradient (in s). Bij ontwatering in centrifuges wordt het slib typisch blootgesteld aan Gt waarden van 100.000 - 120.000, terwijl de ontwatering in bandfilterpersen plaatsvindt bij Gt waarden van 10.000 en in kamerfilterpersen bij 30.000. De hogere afschuifspanningen in centrifuges maken wel een hogere gehalte aan droge stof in de slibkoek mogelijk.

FIGUUR 7

INVLOED VAN AFSCHUIFSPANNING OP HET POLYMEERVERBRUIK (3)



Ook ander onderzoek (24) toont aan dat slib dat langer blootgesteld werd aan afschuifspanningen meer polymeer nodig heeft om tot een optimaal ontwateringsresultaat te komen. Met zogenaamde rheogrammen lijkt het zelfs mogelijk om een onder of overdosering van het polymeer te herkennen (25) (26) (27). Bij een rheogram wordt in een viscositeitsmeter de weerstand van het slib tegen draaiing van de slibvloeistof gemeten als functie van de tijd. Het rheogram gaf ook informatie of het monster blootgesteld was aan veel of weinig afschuifspanningen. Hierdoor zou het in potentie mogelijk worden om met dergelijke rheogrammen de menging van slib en polymeer te beoordelen en te bekijken of wrijving in pijpen of bochten niet de oorzaak zijn van een overmatig polymeer verbruik. Al veel eerder heeft men dit in Nederland ook kunnen aantonen met een FE-cel (28), maar wellicht dat de bepaling met een rheometer eenvoudiger en goedkoper is.

2.6 GEBRUIK EN DOSERING VAN POLYMEER

2.6.1 INLEIDING

Deze paragrafen gaan verder in op de rol van het polymeer bij de slibontwatering. Eerst wordt een algemene introductie gegeven op polymeertypen en het gebruik ervan. Daarbij wordt ook aandacht gegeven aan de mogelijkheden die er zijn om de kwaliteit en de aanmaak van het polymeer te controleren. Ten slotte wordt ingegaan op de rol van het polymeer bij de ontwatering van het slib.

In de literatuur werden weinig referenties gevonden die ingaan op de selectie van het polymeer en de aanmaak van het polymeer. Deze paragrafen leunen daarom zwaar op referentie (29). Deze referentie geeft een voorproef van de inhoud van Merkblatt DWA M-350 "Aufbereitung von Flockungshilfsmitteln zur Schlammbehandlung" van de Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). Naar verwachting wordt dit Merkblatt in de loop van 2012 definitief gepubliceerd.

Voor een algemene inleiding op het gebruik en de inzet van polymeer wordt ook hier weer verwezen naar het Handboek Slibontwatering (1).

2.6.2 TYPE POLYMEREN

De meest gebruikte polymeren bestaan uit een polyacrylamide dat met geladen copolymeren wordt gepolymeriseerd. Omdat de slibvlokken normaal gesproken negatief geladen zijn worden meestal kationisch geladen copolymeren gebruikt. Het meest gebruikte copolymeer is dimethylaminoethylacrylaat (29) (30) dat met een esterbinding aan het hoofdpolymeer vastzit.

De werking van de verschillende polymeren onderscheidt zich vooral door de ladingsdichtheid en molecuulgewicht (30). Daarnaast kan ook de structuur van het polymeer invloed hebben. Sommige polymeren zijn sterk lineair, anderen juist vertakt. Het polymeer kan ook zo sterk vertakt zijn dat er een soort netstructuur ontstaat.

Het molecuulgewicht van polymeren kan variëren tussen 10^4 en 10^8 g/mol. De viscositeit van de verkregen polymeeroplossing is hoger bij grote molecuulgewichten. De ladingsdichtheid van een polymeer kan variëren tussen de 20-70%. Door een titratie met een ander geladen polymeer kan de lading bepaald worden: ladingtitratie. Een andere indicatie voor de ladingsdichtheid kan worden gekregen door de "streaming current" te bepalen, dit is stroom die ontstaat in een bewegende, geladen vloeistof.

Het polymeer kan in vaste vorm worden aangeleverd, maar dit is niet meer zo gebruikelijk omdat vloeibare polymeren veel gebruiksvriendelijker zijn. Vaste polymeren worden meestal alleen nog gebruikt bij grotere installaties omdat de extra moeite van de aanmaak dan opweegt tegen de lagere kosten van het polymeer. De vloeibare polymeren kunnen een dispersie zijn van polymeer in olie of een emulsie van polymeer, olie en water. De laatste tijd wordt er steeds meer gebruik gemaakt van emulsies omdat hiermee eventuele waterbezwaarlijke aspecten van de gebruikte olie worden verminderd.

2.6.3 POLYMEER AANMAAK

Het polymeer dient voor gebruik aangemaakt te worden met water zodat de polymeerketens zich volledig kunnen strekken. Meestal wordt een stamoplossing gemaakt met een concentratie van 0,5-1% actief polymeer. Het voordeel van een hogere concentratie van de stamoplossing is dat de werkzaamheid van het polymeer hierdoor langer behouden blijft. Bij de dosering in het slib wordt deze oplossing vaak nog verder naverdund tot een concentratie van 0,01% tot 0,3%.

Meestal wordt een rijpingstijd van ongeveer 30-45 minuten aanbevolen voor het polymeer (29). De rijpingstijd kan afhankelijk zijn van de temperatuur: bij lagere temperaturen is de benodigde rijpingstijd hoger. Te hoge temperaturen (>35°C) moeten vermeden worden om destabilisatie van het polymeer te voorkomen. De rijpingstijd van een polymeer kan in het laboratorium gevolgd worden door de geleidbaarheid en de viscositeit van de oplossing als functie van de tijd te volgen. Door het strekken van het polymeer neemt de geleidbaarheid langzaam toe doordat de tegenionen van het polymeer langzaam in oplossing gaan. Zodra het polymeer volledig gestrekt is neemt de geleidbaarheid niet meer toe. Ook de viscositeit van de polymeer oplossing is te gebruiken voor de beoordeling van de rijpingstijd. Het verloop van de viscositeit is hierbij enigszins afhankelijk van het type polymeer. Bij sommige polymeren stijgt de viscositeit eerst om daarna af te nemen tot een constante waarde door hydrolyse van het polymeer. Bij andere polymeren zal de viscositeit langzaam stijgen tot een constante waarde. Zodra een constante waarde is bereikt is de rijping voltooid.

Het water dat gebruikt wordt voor het aanmaken van de polymeeroplossing kan invloed hebben op de kwaliteit van de oplossing. In lagere concentraties kunnen anionen (nitraat, sulfaat) al invloed hebben (29). Ook de concentratie aan kationen (Ca, Mg, Fe) dient niet te hoog te zijn. Zwevend stof moet vermeden worden. Bij een pH van ongeveer 5 zijn polymeeroplossingen het meest stabiel. Bij een pH groter dan 7 kan hydrolyse van het polymeer sneller tot kwaliteitsvermindering leiden. Onderzoek door de Universiteit van Gent (30) laat zien dat de concentratie van de polymeeroplossing een grote invloed heeft op de hydrolyse snelheid: meer verdunde oplossingen laten een snellere hydrolyse zien. Verder moet de verblijftijd van de verdunde oplossing ook niet te lang zijn. Al na 3 uur kan de ladingsdichtheid door hydrolyse al tot 50%-75% van de originele waarde zijn afgenomen. Na 1-2 dagen is niet meer dan 20-40% van de originele lading over. De hydrolyse kan effectief tegengegaan worden door het aanzuren van de polymeer oplossing tot pH 4,5 met zoutzuur of azijnzuur. Een bijkomend voordeel kan zijn dat hierdoor de benodigde rijpingstijd afneemt. Proeven op praktijkschaal in België laten zien dat aanzuring van de polymeeroplossing kan leiden tot betere ontwateringsresultaten bij een gelijk polymeergebruik. De kosten van de aanzuring bedroegen een fractie (1%) van de kosten van het polymeer.

Kortsluitstromen bij het aanmaken van het polymeer kunnen ervoor zorgen dat niet alle polymeer goed is gerijpt. Kortsluitstromen kunnen door toevoegen van een kleurstof aan de oplossing gevonden worden.

2.6.4 KWALITEITSCONTROLE VAN HET POLYMEER

Aangezien de kwaliteit van het polymeer van invloed kan zijn op de werking en het verbruik, kan het interessant zijn om regelmatig de kwaliteit van het polymeer zelf en de aanmaak ervan te controleren. Daarom wordt aanbevolen om bij elke geleverde vracht een monster van 500 g te nemen en dit monster koel en donker te bewaren. Bij problemen bij de ontwatering kan dit monster gebruikt worden voor verdere controles.

De kwaliteit van het geleverde polymeer kan bepaald worden met de volgende methoden:

- Vaststellen van de viscositeit bij een vaste polymeer concentratie en na een vaste rijping. De viscositeit is een goede maat voor het polymeer gewicht.
- Bepaling van de toename van de geleidbaarheid bij een vaste concentratie. Hierdoor wordt een indruk gekregen van de ladingsdichtheid van het polymeer.
- Colloïd titratie of bepaling van de “streaming current”, de electrophoretische mobiliteit. Hiermee wordt een indruk gekregen van de ladingsdichtheid van het polymeer.

Daarnaast is het ook raadzaam om regelmatig de kwaliteit van de aangemaakte oplossing te controleren. Controles die uitgevoerd kunnen worden zijn:

- Viscositeit;
- Geleidbaarheid;
- Droge stof gehalte.

Afwijkingen in één van deze parameters kunnen een indicatie zijn van een afwijkende dosering of polymeerkwaliteit.

2.6.5 INTERACTIE TUSSEN POLYMEER EN SLIB

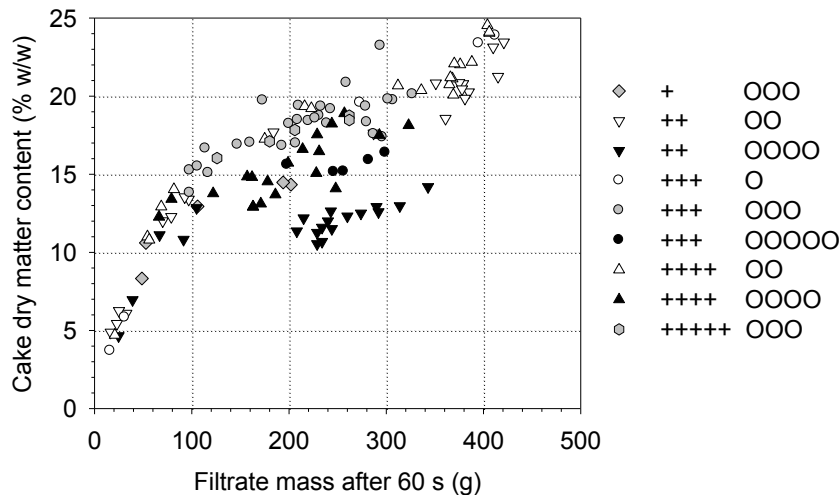
In hoofdlijnen zijn er twee manieren waarop het polymeer helpt bij het uitvlokken van slib: *brugvorming* en *ladingneutralisatie*. Door de lange ketens van het polymeer kan het polymeer zich op meerdere vlokken tegelijk hechten en bruggen vormen tussen de vlokken. Dit is waarschijnlijk het belangrijkste mechanisme bij polymeren met een hoge molecuulmassa. Bij polymeren met een middelmatige of lage molecuulmassa is ladingneutralisatie een belangrijker mechanisme.

Onderzoek (30) laat zien dat polymeren met een hoge molecuulmassa al bij lage concentraties in staat zijn om vlokken te maken. Een nadeel van deze vlokken is dat zij vrij fragiel van structuur zijn en dat daardoor in het begin van de vlokfase al heel veel water wordt ingevangen dat tijdens de filtratiefase niet verwijderd wordt. Polymeren met een lagere molecuulmassa vergen een hogere dosering om tot een optimaal vlokresultaat te komen. Hierbij ontstaan er echter compactere vlokken die in de expressie-fase ook nog eens beter uit te persen zijn doordat alle lading in de vlokken beter geneutraliseerd is. Dit blijkt ook uit het feit dat deze koeken bij wegnemen van de druk veel minder ver terugveren dan koeken waarbij dit niet gebeurt is. Het belang van een goede en snelle vlokvorming blijkt uit Figuur 8. Dit is het resultaat van een onderzoek waarbij veel verschillende polymeren zijn getest. De polymeren onderscheiden zich in molecuulgewicht (hoe hoger hoe meer rondjes) en in ladingsdichtheid (meer lading, meer plussen). Deze figuur laat zien dat als er na 60 seconden veel filtraat gevormd is, dat er dan ook kans is op een hoog droge stof gehalte. De zwarte punten in de grafiek zijn polymeren met een hoog molecuulgehalte en deze vallen een beetje buiten de trend. Deze polymeren geven wel een snelle en goede vlok, maar vangen daarbij veel water in die in de expressiefase moeilijk is te verwijderen.

Hetzelfde onderzoek laat zien dat een hogere ladingsdichtheid van een polymeer normaal gesproken gunstig is voor de werking ervan. Deze hogere ladingsdichtheid blijkt het meest van belang tijdens de expressiefase. Een polymeer met een hoog molecuulgewicht kan daarom toch bij lage doseringen een redelijk droge stof gehalte van de slibkoek bereiken, zolang de ladingsdichtheid maar hoog genoeg is.

FIGUUR 8

RELATIE TUSSEN FILTRAATPRODUCTIE NA 60 SECONDEN EN DROGE STOF VAN DE KOEK. (30)



Zoals algemeen bekend is er een optimale polymeer dosering. Het polymeer zorgt immers voor de neutralisatie van de lading van de slibvlokken. Te hoge doseringen leiden er toe dat de lading op de slibvlokken omslaat, waardoor de vlokken elkaar gaan afstoten. Meestal wordt de optimale dosering bepaald door het slib met verschillende concentraties polymeer uit te vlokken en daarna de CST van het slib te bepalen (3) (31). Algemeen wordt aangenomen dat de optimale dosering overeenkomt met het punt dat de zeta-potentiaal van het slib ongeveer neutraal is.

Een juiste polymeerdosering is nodig om een goed ontwateringsresultaat te krijgen. Een goede keuze van polymeer en bijbehorende dosering kan er voor zorgen dat het vrije water in het slib tijdens de filtratie of centrifugatie eenvoudig tussen de slibvlokken kan weglipen. Het polymeer heeft echter maar een heel geringe invloed op het maximaal haalbare droge stof gehalte van de slibkoek. Onderzoek met thermo-gravimetrische analyses liet bijvoorbeeld zien dat het gehalte aan vrij water niet beïnvloed werd door een onder of overdosering van polymeer (2).

2.7 ONTWIKKELINGEN IN DE PROCESREGELING

In 1999 is in een STOWA onderzoek (32) een aantal nieuwe technieken voor de regeling van de slibontwatering in de praktijk getest. De meeste technieken betreffen droge stof of troebelheidsmeters. Daarnaast werd er ook een meter getest die de “streaming current” van het centraat meet als maat voor de zeta-potentiaal. Dit onderzoek liet zien dat een aantal continue droge stof metingen goed bruikbaar was, maar dat sommige moeite hadden met de omschakeling tussen gegist (zwart) slib en aeroob (bruin) slib. De meting van droge stof of troebelheid in het centraat bleek uiterst moeilijk. De “streaming current” meting bleek een overdosering van polymeer goed te kunnen meten, maar had moeite om een overdosering aan polymeer te meten.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn er in 2002 testen uitgevoerd met een regelsysteem voor een centrifuge waarbij gebruik gemaakt werd van continue droge stof meters en een bewaking van de troebelheid van het centraat (33). Aangezien de troebelheid van het centraat moeilijk meetbaar bleek werd dit signaal via een “fuzzy” regeling meegenomen. De resultaten met de proef waren succesvol en leidden tot een verlaging van het PE-gebruik. De aanschaf van de regeleenheid vergde toen een investering van 60.000 tot 105.000 euro en

was daarmee aan de hoge kant. De in dit STOWA onderzoek ontwikkelde regeleenheid is door Alfa Laval daarna verder ontwikkeld en wordt nog steeds vermarkt onder de naam OCTOPUS. Toch lijken de kosten van het systeem een brede toepassing in Nederland in de weg te staan.

In de literatuur werden weinig nieuwe referenties gevonden voor nieuwe regelsystemen voor het regelen van de slibontwatering. Een mogelijk alternatief voor de bewaking van de kwaliteit van het centraat is het meten van de viscositeit. Onderzoek (34) (35) uit 2003 laat zien dat de optimale polymeerdosering overeenkomt met een minimum in de viscositeit van het centraat. Bij een te lage dosering is het centraat troebel en daardoor viskeuzer. Bij een te hoge polymeerdosering neemt de viscositeit weer toe door de aanwezigheid van polymeer in het centraat. Voor de meting is een zeer gevoelige viscositeitsmeter nodig die betrouwbaar kan meten in het bereik van 1-3 cP. Voor onderzoek op praktijkschaal (35) werd een on-line viscositeitsmeting getest. Deze testen lieten zien dat het minimum in de viscositeit vrij goed overeen kwam met het minimum in de polymeerdosering. Wel kon de droge stof van de koek op dat moment nog net iets verbeterd worden door de dosering net iets verder te verhogen. Voor de proeven werd gebruik gemaakt van een rotatie viscositeitsmeting. Deze meter bleek erg gevoelig voor het debiet door de meter en moest regelmatig worden schoongemaakt. De auteurs verwachtten dat dergelijke problemen minder belangrijk zouden zijn met nieuwere viscositeitsmetingen die werken met een vibratieprincipe.

Meer recent rapporteren enkele bronnen (25), (36) dat ook gewerkt wordt aan het meten van de viscositeit van het te ontwateren van slib om zo de polymeerdosering te sturen. Het meetprincipe maakt gebruik van rheogrammen van slibmonsters die bij gebruik van een polymeer duidelijk anders zijn dan bij onbehandeld slib. De resultaten zijn gebruikt om op praktijkschaal de ontwatering van het slib te verbeteren, maar nog niet geïntegreerd in een continue regeling.

2.8 ONTWIKKELINGEN IN DE BEDRIJFSVOERING

Deze paragraaf geeft een overzicht van de ontwikkelingen die hebben plaats gevonden in de bedrijfsvoering van de slibontwatering aan de hand van samenvattingen van artikelen die zijn gepubliceerd in Neerslag in de afgelopen 10 jaar.

2.8.1 OPTIMALISATIE VAN DE BEDRIJFSVOERING

In een artikel van 2003 (38) wordt gerapporteerd dat het toenmalige Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden sinds 1998 bezig is geweest met een verbeterprogramma voor de slibontwatering. Hierbij heeft men gebruik gemaakt van de FE-cel voor de bepaling van de slibeigenschappen op zes locaties. Per locatie werd een projectteam ingesteld om de prestatie van de slibontwatering te verbeteren. Op Sluisjesdijk verhoogde men het droge stof gehalte van de slibkoek door diverse aanpassingen aan de centrifuge (andere schroef, installatie remmotor, nieuwe regeling voor de verschiltoeren en aanpassen van het vloeistofpeil in de trommel). Ook in Dordrecht realiseerde men vergelijkbare verbeteringen en kon het droge stof gehalte worden verhoogd van 22 naar 27%. Verder werd de inzet en aanbesteding van mobiele slibontwateringen verbeterd. In totaal kon men hierdoor 1,4 miljoen euro/jaar besparen.

In 2006 installeerde Waterschap Velt en Vecht een nieuwe membraanfilterpers die betere resultaten haalde dan de oude filterpers (38). Bij de nieuwe pers hoeft men geen ijzer meer te doseren. Opvallend is de melding van het gebruik van een Floccmaster waarmee men de kwaliteit van de vlok kan meten en zo ook de polymeerdosering kan regelen.

In dat zelfde jaar wordt ook gerapporteerd over de optimalisatie van de werking van de kamerfilterpers op de rwzi Nijmegen van Waterschap Rivierenland (39). Door een nieuwe aanmaak van polymeer en een verbeterde menging van slib en polymeer kon men volgens het artikel het verbruik sterk terugdringen. Het artikel onderbouwt deze stelling verder niet. Bovendien installeerde men een nieuwe regeling die de vulling van de kamers in de pers optimaliseerde. Opvallend aan de nieuwe polymeerdosering was het Polymix-systeem waardoor geen rijpingstijd van het polymeer meer nodig zou zijn. In de praktijk blijkt er nog wel een voorraad tank na het Polymix systeem te zijn zodat er toch nog enige rijping is. Overigens blijkt de geclaimde afname van het polymeerverbruik niet duidelijk uit de gegevens die in het kader van deze STOWA studie voor deze zuivering zijn onderzocht.

In 2009 wordt gerapporteerd over verbeteringen bij de slibontwatering op de rwzi Katwijk (40). Door een combinatie van maatregelen nam volgens het artikel het energie- en polymeerverbruik duidelijk af. Bij deze centrifuge kon dit bereikt worden door een constanter en hogere droge stof gehalte te voeden, de instellingen op de centrifuge te verbeteren en te kiezen voor een ander polymeer.

Bovenstaande voorbeelden laten zien dat het mogelijk is de prestatie van de slibontwatering te verbeteren met extra aandacht voor keuze en aanmaak van polymeer, maar vooral ook van de instellingen en bedrijfsvoering van het ontwateringsapparaat.

2.8.2 AANBESTEDING AANKOOP POLYMEER

Een belangrijke verandering in de afgelopen jaren is de manier waarop het polymeer wordt ingekocht. Vanaf 2000 ontstaat er een trend dat waterschappen deze inkoop steeds meer formeel gaan aanbesteden en gezamenlijk gaan inkopen. In eerste instantie organiseerde elk waterschap zijn eigen aanbesteding (zie bijvoorbeeld (41)). Maar al in 2000 begonnen vijf waterschappen om gezamenlijk het polymeer in te kopen omdat er grote verschillen bleken te zijn in de prijzen die zij betaalden (42). In eerste instantie werd alleen een minimum-eis gesteld aan het droge stof gehalte waar de leverancier aan moest voldoen. De leverancier die die minimum-eis haalde en de goedkoopste was won de aanbesteding. Omdat alle ontwateringen in 1 perceel werden aanbesteed ontstond er een probleem als een leverancier niet kon voldoen aan de garantie-eisen op één rwzi. Op dat moment moest alles opnieuw worden aanbesteed. Door de manier van aanbesteden was er nauwelijks een prikkel voor de leveranciers om een uitzonderlijke prestatie te realiseren. Daarom werd in de daaropvolgende aanbesteding een bonus ingesteld die de leveranciers konden halen als zij betere prestaties haalden dan gegarandeerd. Dit zorgde wel voor veel extra administratie en discussie over verantwoordelijkheden (wie mag wanneer wat veranderen). Bovendien werd de bonus nauwelijks uitgekeerd.

In 2008 werd vervolgens mede op verzoek van de leveranciers de aanbesteding helemaal omgegooid. Doordat in de eerdere aanbesteding vooral werd geselecteerd op prijs kon dit de ontwikkeling van nieuwe, betere polymeren remmen. Daarom werd in 2008 overgegaan op het organiseren van mini-competities en werd de opdracht gegund op basis van de “Economisch Meest Voordelige Inschrijving”, ofwel EMVI. Bij deze ontwikkeling sloten zich nog eens 9 waterschappen aan. De aanbesteding werd verdeeld in een perceel per waterschap. Per perceel kregen de inschrijvers de kans om laboratoriumproeven van een slibmonster en hun eigen ervaring een aanbieding te doen. Met de zeven meest economische aanbieders per perceel werd een raamovereenkomst aangeboden. Vervolgens werden in een tweede deel van de procedure deze zeven leveranciers uitgenodigd om mee te doen aan een praktijkproef. Bij deze praktijkproef krijgt de als beste gerankte leverancier de kans om zijn aanbieding waar

te maken gedurende een praktijkproef van 5 dagen. Als dit niet lukt mag de volgende leverancier aantonen dat hij wel zijn aanbieding kan waarmaken. Als de leverancier zijn aanbieding waarmaakt wordt met hem een leveringsovereenkomst gesloten. Door eerst te kiezen voor een raamcontract kan vervolgens eenvoudig afscheid genomen worden van een leverancier als hij in de loop van tijd niet voldoet aan de eisen van het contract. Op dat moment kan zonder nieuwe Europese aanbesteding de daarna beste leverancier van de raamovereenkomst uitgenodigd worden.

2.8.3 NIEUWE TECHNIEKEN

In de afgelopen jaren is er weinig gerapporteerd over experimenten met geheel nieuwe ontwateringstechnieken. In 2008 zijn er proeven uitgevoerd op de rwzi Nijmegen met het Kemicond-principe (43). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde Fenton-reactie waarbij door reactie van tweewaardig ijzer en waterstofperoxide hydroxyl radicalen ontstaan. Deze radicalen oxideren het slib waardoor de ontwaterbaarheid sterk toeneemt. Deze reactie dient wel plaats te vinden bij een pH van 4-5 zodat het nodig is om naast waterstofperoxide ook zwavelzuur te doseren. Het ijzer hoeft niet gedoseerd te worden omdat het al in het slib aanwezig is. De proeven op Nijmegen lieten zien dat de droge stof van de slibkoek toenam van 26% naar 35%. Bovendien nam het gebruik aan polymeer af met 35%. Hier staat dan wel het verbruik van waterstofperoxide en zwavelzuur tegenover. Door een sterke stijging van de prijzen van deze chemicaliën is het in Nijmegen uiteindelijk niet tot een definitieve toepassing gekomen. Zeer recent zijn er proeven bij Waternet en Velt en Vecht uitgevoerd met de vorming van struviet in het slib door toevoeging van magnesium (21) (22). Hierdoor nam de ontwaterbaarheid van het slib significant toe. Als mogelijke verklaring wordt vaak de verlaging van de fosfaatconcentratie genoemd. Andere mogelijke verklaringen zijn de vorming van harde struviet deeltjes die de filterbaarheid verbeteren of de toevoeging van tweewaardige kationen in de vorm van magnesium.

Verder is er in de laatste jaren ook veel aandacht geweest voor slibdestructietechnieken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ultrageluid (10) of van temperatuur en druk: thermische drukhydrolyse (44). Beide technieken worden vooral getest vanwege hun effect op de slibgisting, maar hebben naar verwachting ook een effect op de slibontwatering. In 2006 en 2007 zijn proeven uitgevoerd met de toepassing van ultrageluid op de rwzi's Bath, Enschede en Nieuwgraaf. Bij alle drie de zuiveringen kon geen significant effect aangetoond worden van de toepassing van ultrageluid op het ontwateringsresultaat met de destijds toegepaste technieken. Het principe van thermische hydrolyse is al veel langer bekend en werd in feite al jarenlang toegepast in enkele ZIMPRO-installatie's in Nederland. Bij deze installatie werd een droge stofgehalte van ongeveer 50% gehaald. Bij de ZIMPRO wordt de thermische hydrolyse vooral ingezet voor de verbetering van de ontwatering van het slib. Dit vergt veel energie en de kosten ervan wegen niet op tegen de verbetering van de ontwatering. Daarom is de laatste ZIMPRO (in Nieuwveer) in 2012 uit bedrijf genomen en vervangen door een slibgisting in combinatie met een klassieke ontwatering. Momenteel wordt thermische hydrolyse vooral ingezet als voorbehandeling voor de gisting om zo de biogasproductie te stimuleren en tegelijkertijd de ontwatering van het slib te verbeteren. In Nederland zijn de eerste testen met dit principe uitgevoerd op de rwzi's Hoensbroek en Venlo. Hierbij was er een toename van het droge stofgehalte van de koek te zien van 21,4 naar 31% (44). Helaas zijn nog geen kentallen gepubliceerd over de effecten op het polymeerverbruik, maar deze zullen in de eerste praktijkinstallaties worden vastgesteld. De eerste berichten wijzen op een hoger verbruik dan normaal.

3

ERVARINGEN MET SLIBONTWATERING IN DE PRAKTIJK

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van onderzoek naar de trends in de ontwatering van slib in de praktijk. Het hoofdstuk begint met een analyse van landelijke data uit de database van het CBS en gegevens van de bedrijfsvergelijkingen van de waterschappen uit 2006 en 2009. Om deze landelijke data te verifiëren en aan te vullen is in een detailonderzoek dieper ingegaan op de ontwikkelingen bij een achttal waterschappen. Tenslotte wordt ingegaan op trends in de bedrijfsvoering van de slibontwateringen aan de hand van interviews met een aantal ervaren bedrijfsvoerders en een aan de waterschappen rondgestuurde vragenlijst over de bedrijfsvoering.

3.2 LANDELIJKE DATA

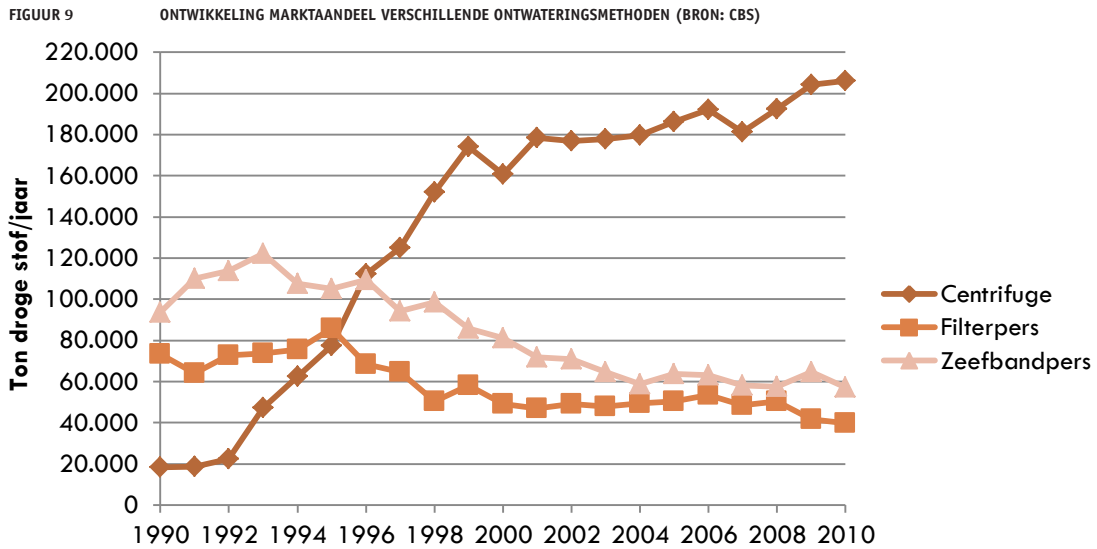
3.2.1 HERKOMST EN BESCHIKBAARHEID VAN DATA

De gegevens in de volgende paragrafen zijn gebaseerd op data die door het CBS voor dit onderzoek ter beschikking is gesteld en uit gegevens van de bedrijfsvergelijking. Door het CBS zijn data van 1990 tot en met 2010 ter beschikking gesteld waarin voor alle rwzi's met een slibontwatering het ontwateringsresultaat (droge stof gehalte van de slibkoek) is te vinden. Per rwzi is opgegeven welke ontwateringsmethode men gebruikt, of er een vorm van aanvullende P en N-verwijdering is en of het slib gestabiliseerd wordt. Ook is per rwzi aangegeven hoeveel extern slib op deze rwzi wordt ontwaterd. Van dit slib is de herkomst niet bekend.

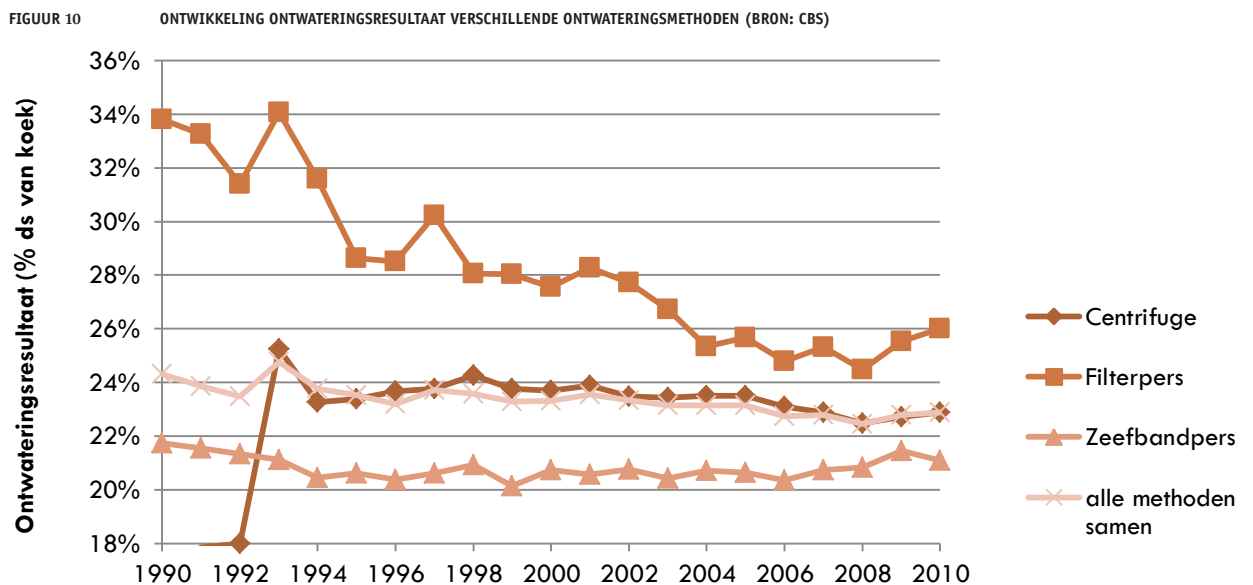
Verder is gebruik gemaakt van de databestanden van de bedrijfsvergelijking voor 2006 en 2009. Oudere databestanden bleken moeilijk toegankelijk te zijn en zijn daarom in deze studie niet gebruikt. In de bedrijfsvergelijking worden sommige gegevens per slibontwatering gerapporteerd, maar cijfers over het droge stof gehalte van de slibkoek, polymeerverbruik en energieverbruik voor de slibontwatering worden alleen per waterschap gerapporteerd.

3.2.2 RESULTAAT PER ONTWATERINGSMETHODE

In de jaren negentig is er sprake geweest van een forse toename van de hoeveelheid slib die met ontwateringsapparatuur werd behandeld. Deze toename is een gevolg van de verschuiving van het gebruik van slib in de landbouw naar verbranding van het slib al dan niet met compostering of slibdroging als voorbehandeling. Hierbij werden voornamelijk centrifuges ingezet zoals blijkt uit de forse toename van het slibvolume dat met centrifuges wordt ontwaterd in de periode tot 2000. Vanaf 2000 stabiliseren de marktaandeelen van de verschillende ontwateringsmethoden zich min of meer. Het aandeel dat met centrifuges ontwaterd wordt neemt sinds 2005 nog wel iets toe. Het aandeel dat met filterpersen ontwaterd wordt is vanaf 2004 stabiel.

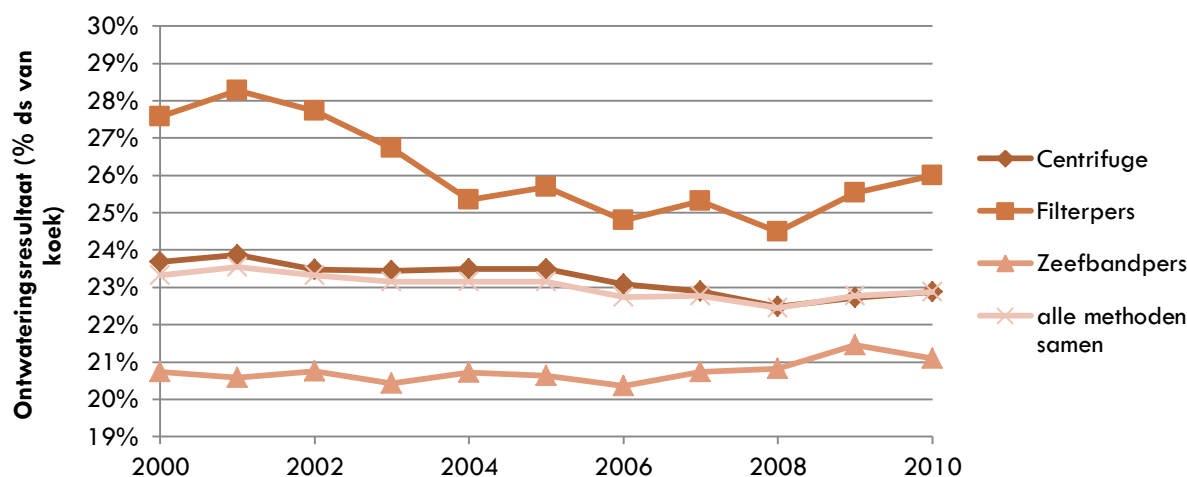


Figuur 10 laat zien hoe het ontwateringsresultaat van de verschillende methoden zich heeft ontwikkeld in de laatste twee decennia. Zoals bekend geven filterpersen het beste ontwateringsresultaat. Centrifuges geven weer een beter resultaat dan zeefbandpersen. Vooral bij de filterpersen is er een forse afname van het ontwateringsresultaat. Dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt doordat steeds minder vaak kalk werd gebruikt als hulpmiddel bij de ontwatering. Dit gebruik was vooral van belang bij toepassing van het slib in de landbouw.



Figuur 11 vergroot de ontwikkelingen van de laatste 10 jaar. De figuur laat zien dat het ontwateringsresultaat van de centrifuges vanaf 2005 is gaan dalen van 23,5% in 2005 tot een minimum van 22,5% in 2008. Vanaf dit jaar is er weer sprake van een lichte stijging in het ontwateringsresultaat. Het resultaat van de zeefbandpersen is relatief stabiel gebleven en is vanaf 2008 juist wat verbeterd. De gemiddelde resultaten voor heel Nederland vertonen een vergelijkbaar beeld als die van de centrifuges, waarschijnlijk door het grote marktaandeel van deze centrifuges bij het ontwateren van slib in Nederland.

FIGUUR 11 ONTWATERINGSRESULTAAT ONTWATERINGSMETHODEN 2000-2010 (BRON: CBS)



In de laatste jaren is er dus sprake van een lichte afname van het ontwateringsresultaat. In 2000 was het droge stof gehalte van de slibkoek gemiddeld nog 23,5%, terwijl deze in 2010 is gedaald tot gemiddeld 22,9%. Hierdoor wordt per ton droge stof ongeveer 3% meer slibkoek geproduceerd. Deze afname lijkt vooral veroorzaakt te zijn door een afname van ontwateringsresultaten bij centrifuges. De gemiddelde ontwateringsresultaten bij zeefbandpersen nemen juist toe.

De ontwateringsresultaten laten weliswaar een lichte afname zien, maar toch is deze afname relatief beperkt. Dit past niet bij het algemene beeld dat er leeft dat het steeds moeilijker wordt om het slib te ontwateren. Hier breekt zich op dat in de CBS data geen gegevens over het polymeergebruik zijn opgenomen. Dit verbruik wordt wel geregistreerd in de Bedrijfsvergelijking van de Waterschappen. De resultaten van deze Bedrijfsvergelijking voor slibontwatering zijn opgenomen in Tabel 2. Deze gegevens bevestigen het beeld van de CBS-data dat het ontwateringsresultaat min of meer gelijk is gebleven. Daarentegen is er een duidelijke stijgende lijn te zien in het polymeerverbruik. Hier komt duidelijk naar voren dat het ontwateren van slib kennelijk steeds moeilijker wordt. Alleen ten koste van een hoger polymeergebruik kan men een vergelijkbaar ontwateringsresultaat bereiken.

TABEL 2 KENTALLEN SLIBONTWATERING UIT BEDRIJFSVERGELIJKING

Gemiddeld NL	Eenheid	1999	2002	2006	2009
Droge stof in slib	% van slibkoek	23,4	23,6	23,2	22,8
Polymeerverbruik	g/kg droge stof	7,8	8,3	9,5	11,3
Energieverbruik	kWh/kg ds	0,13	0,12	0,12	0,10

De gegevens in de benchmark worden alleen per waterschap gerapporteerd zodat ontwikkelingen niet per slibontwatering kunnen worden gevolgd. Dit maakt het moeilijk om de gegevens uit te splitsen naar ontwateringsmethode, doordat bij een aantal waterschappen verschillende ontwateringsmethoden in gebruik zijn. Tabel 3 verzamelt de prestaties per ontwateringsmethode, waarbij alleen data van waterschappen is gebruikt waarbij meer dan 80% van het slib met één ontwateringsmethode werd ontwaterd. Er blijken weinig waterschappen te zijn die voornamelijk met zeefbandpersen ontwateren. De kentallen voor zeefbandpersen zijn daarom gebaseerd op data van slechts één waterschap. De laatste kolom bevat de resultaten van de overige waterschappen die verschillende ontwateringsmethoden gebruiken.

In deze categorie ontwaterd het merendeel (51%) met zeefbandpersen. Daarnaast wordt 35% van het slib in deze categorie ontwaterd door centrifuges en 14% door filterpersen.

TABEL 3 KENTALLEN SLIBONTWATERING PER ONTWATERINGSMETHODE (DATA UIT BEDRIJFSVERGELIJKINGEN 2006 & 2009)

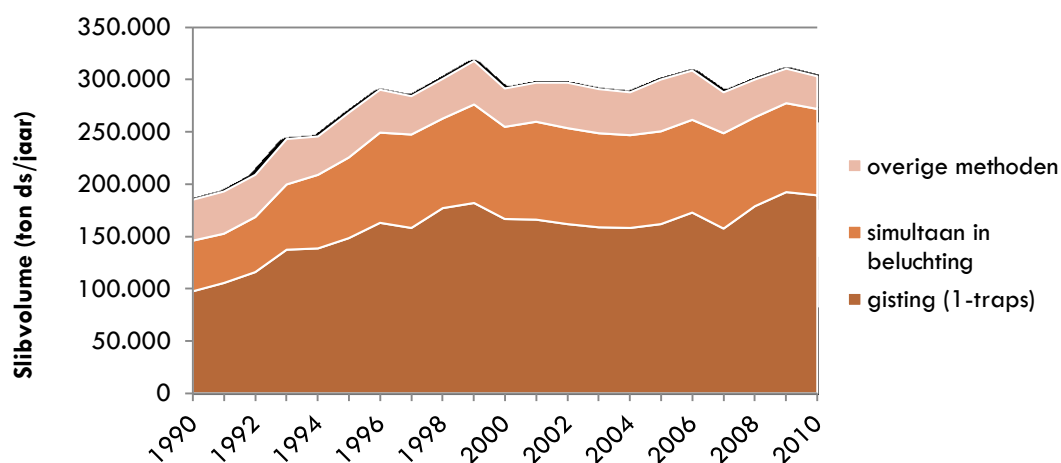
Kental	Eenheid	Centrifuge	Zeefbandpers	Filterpers	Gemengd
Aantal datapunten	#	20	2	9	15
Droge stof in slib	% van slibkoek	23,5%	23,3%	24,3%	22,7%
Polymeerverbruik	g PE/kg ds	13	9	6	9
Energieverbruik	kWh/kg ds	122	87	65	120
Fe-verbruik	g Fe/kg ds	0,3	0	2,6	2,0
Kosten chemicaliën slibontwatering	€/kg PE & Fe	4,9	5,1	2,1	4,6
	€/kg ds	65	52	55	48

Tabel 3 bevestigt het beeld dat centrifuges meer polymeer gebruiken dan zeefbandpersen. Ook het energieverbruik is duidelijk hoger. Centrifuges halen echter wel een hoger droge stof gehalte in de slibkoek. Dit blijkt duidelijker uit de data van het CBS dan data van de benchmark. De data van de bedrijfsvergelijking is voor zeefbandpersen beperkt bruikbaar doordat maar weinig waterschappen vooral zeefbandpersen gebruiken. In de “gemengde” categorie bevinden zich vooral zeefbandpersen en het ontwateringsresultaat is hier wel duidelijk lager dan bij de centrifuges. Opvallend is het relatief hoge energieverbruik in deze “gemengde” categorie. Dit hoge energieverbruik wordt vooral bepaald door één waterschap met een thermische ontwatering (ZIMPRO). Zonder de gegevens van dit waterschap bedraagt het energieverbruik voor deze categorie 102 kWh/ton ds. Op de overige kentallen heeft dit waterschap geen bijzondere grote invloed.

3.2.3 INVLOED SLIBGISTING

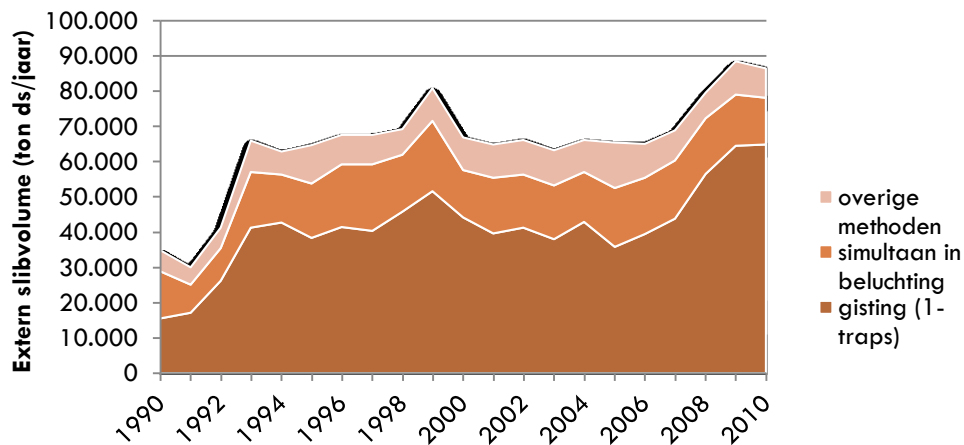
Figuur 12 laat de ontwikkeling zien van de methoden voor slibstabilisatie vanaf 1990. In de periode van 1990 tot en met 2000 is er een flinke groei geweest van het aantal rioolwaterzuiveringen dat uitgerust werd met een slibgisting. Dit werd mede veroorzaakt door de verschuiving van toepassen van slib in de landbouw naar thermische verwerkingsmethoden. In 2000 werd 57% van alle slib behandeld in een slibgisting. Vanaf 2008 is er een lichte toename te zien in de toepassing van slibgisting. In 2010 werd 62% van alle slib behandeld in een slibgisting.

FIGUUR 12 ONTWIKKELING METHODEN VOOR SLIBSTABILISATIE (BRON: CBS)



Figuur 13 laat zien dat de toename van slibgisting vanaf 2008 samen valt met een toename in de verwerking van extern slib op een centrale ontwatering. In de periode van 2000 tot en met 2007 werd gemiddeld 33% extern slib verwerkt op een centrale rwzi met slibgisting. In 2009 en 2010 is dit toegenomen tot 51% extern slib. Deze cijfers laten zien dat er vanaf 2008 een sterke trend ontstaat om meer slib centraal te vergisten en te ontwateren.

FIGUUR 13 TOEVOER VAN EXTERN SLIB NAAR CENTRALE SLIBONTWATERING, UITGESPLITST NAAR METHODE VAN SLIBSTABILISATIE OP DE CENTRALE RWZI (BRON: CBS)



Tabel 4 laat zien welke invloed slibgisting heeft op het ontwateringsresultaat van het slib. De droge stofgehalten zijn gewogen gemiddelden. De gegevens zijn beperkt tot centrifuges en zeefbandpersen als ontwateringsmethode. Voor filterpersen zijn er namelijk te weinig onderscheidende gegevens beschikbaar: filterpersen ontwateren vooral gegist slib. De gegevens laten zien dat met gegist slib een beter ontwateringsresultaat wordt behaald dan met aeroob gestabiliseerd slib. Deze verbetering in ontwatering kan veroorzaakt worden door de slibgisting, maar kan ook liggen aan het feit dat juist vooral rioolwaterzuiveringen met een voorbezinking uitgerust zijn met een slibgisting. Het hogere gehalte aan primair slib op deze zuiveringen kan immers ook een verklaring geven voor het betere ontwateringsresultaat. De beschikbare gegevens laten helaas niet toe om ook dit aspect te onderzoeken.

De eerder waargenomen daling in het ontwateringsresultaat van de centrifuges blijkt vooral bij rioolwaterzuiveringen met een slibgisting. Daarom is onderzocht of deze afname te verklaren is door een toename in de verwerking van extern slib. Hiertoe is de data gefilterd op rioolwaterzuiveringen die minder dan 30% vreemd slib verwerken. Deze rioolwaterzuiveringen laten een vergelijkbare daling zien in het ontwateringsresultaat. De verwerking van meer extern slib op de zuivering geeft dus geen verklaring voor het slechtere ontwateringsresultaat van centrifuges op rioolwaterzuiveringen met een slibgisting. Opvallend genoeg is een dergelijke daling van het ontwateringsresultaat niet zichtbaar als het slib ontwaterd wordt met zeefbandpersen.

TABEL 4 EFFECT METHODE VAN SLIBSTABILISATIE OP ONTWATERINGSRESULTAAT (BRON: CBS)

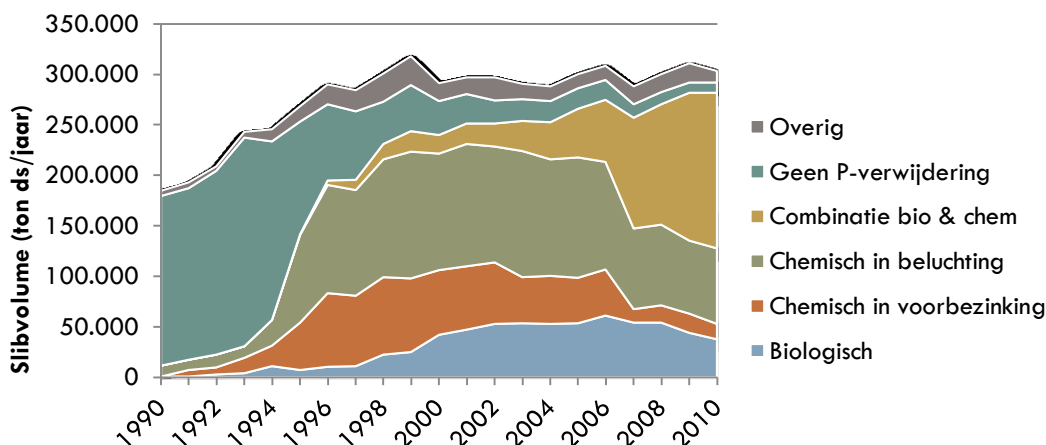
Ontwatering	Slibstabilisatie	Ontwateringsresultaat (% ds van koek)		
		1996-2000	2001-2005	2006-2010
centrifuge	alle data	23,8%	23,6%	22,8%
	1-trap warme gisting	25,1%	24,7%	23,5%
	Simultaan in beluchting	21,8%	21,7%	21,6%
	Overige	23,7%	24,1%	23,1%
zeefband	alle data	20,6%	20,6%	20,9%
	1-trap warme gisting	22,2%	21,9%	21,9%
	Simultaan in beluchting	18,6%	19,0%	18,8%
	Overige	21,1%	22,5%	21,8%

De gegevens van het CBS bevatten geen cijfers over het polymeerverbruik. Op basis van de gegevens van de bedrijfsvergelijking van 2006 en 2009 is onderzocht of er een relatie is te leggen tussen de methode van slibstabilisatie en het polymeerverbruik. Doordat de gegevens van het polymeerverbruik alleen op waterschapsniveau beschikbaar is, konden op basis van deze gegevens geen conclusies worden getrokken.

3.2.4 INVLOED FOSFAATVERWIJDERING

De toepassing van aanvullende fosfaatverwijdering in de rioolwaterzuivering vertoonde rond 1995 zijn grootste groei (Figuur 14). Vanaf 2000 beschikken de meeste zuiveringen over een aanvullende fosfaatverwijdering. In eerste instantie gebeurt dit vooral chemisch door precipitatie van het fosfaat met ijzer- of aluminiumzouten. Deze zouten werden zowel in de voorbezinking als in de beluchting gedoseerd. In de laatste jaren vindt deze dosering vooral nog plaats in de beluchting. In de periode van 1995 tot en met 2005 is het aandeel slib van biologische fosfaatverwijdering langzaam toegenomen tot een maximum van 20% van de totale slibproductie in 2006. Vanaf dit jaar daalt het aandeel volledige biologische fosfaatverwijdering weer. Deze afname valt wel samen met een forse toename van slib uit zuiveringen die een combinatie van chemische en biologische fosfaatverwijdering hanteren. In een korte periode groeit dit aandeel van 20% in 2006 tot 51% in 2010.

FIGUUR 14 ONTWIKKELING TOEPASSING TECHNIEKEN VOOR FOSFAATVERWIJDERING (BRON: CBS)



Ook voor de methode van fosfaatverwijdering is onderzocht of er een effect is te zien op het ontwateringsresultaat (Tabel 5). De gegevens zijn ook hier beperkt tot centrifuges en zeefbandpersen als ontwateringsmethode. Voor filterpersen zijn er te weinig onderscheidende gegevens beschikbaar. De zuiveringen die het slib met filterpersen ontwateren maken vooral gebruik van chemische fosfaatverwijdering of een combinatie van biologische en chemische fosfaatverwijdering. Ook hier is de invloed van het mee-ontwateren van extern slib onderzocht. De conclusies veranderen niet wanneer de analyse beperkt wordt tot zuiveringen die maximaal 30% extern slib verwerken.

De analyse van de data laat zien dat het ontwateringsresultaat voor een zuivering die biologisch defosfateert niet significant verschilt van een zuivering die de biologische fosfaatverwijdering ondersteunt door chemische precipitatie. Een zuivering die vooral chemisch precipiteert geeft gemiddeld genomen een iets beter ontwateringsresultaat, hoewel het verschil beperkt is tot 0,5-0,7 %punt.

TABEL 5 INVLOED METHODE VAN FOSFAATVERWIJDERING OP ONTWATERINGSRESULTAAT (BRON: CBS)

Ontwatering	P-verwijdering	Ontwateringsresultaat (% ds van koek)		
		1996-2000	2001-2005	2006-2010
centrifuge	alle data	23,8%	23,6%	22,8%
	Biologisch	22,3%	23,0%	22,3%
	Combinatie biologisch & chemisch	22,9%	22,6%	22,6%
	Chemisch in beluchting	22,8%	23,2%	23,0%
	Chemisch in voorbezinking	25,7%	25,8%	26,3%
zeefband	alle data	20,6%	20,6%	20,9%
	Biologisch	19,6%	20,4%	19,1%
	Combinatie biologisch & chemisch	20,1%	20,0%	20,4%
	Chemisch in beluchting	20,9%	20,5%	20,9%
	Chemisch in voorbezinking	24,0%	24,5%	24,6%

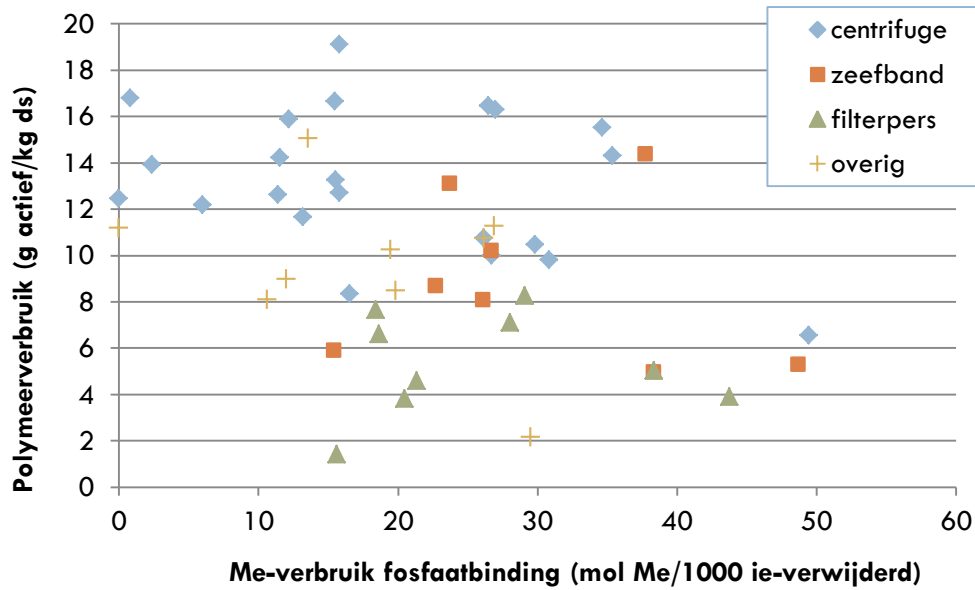
Bij geen van de technieken voor fosfaatbinding is een duidelijke afname te zien in het ontwateringsresultaat. Wanneer alle data samengenomen worden is er voor centrifuges wel een afname te zien van het ontwateringsresultaat. Omdat er geen gegevens zijn over het polymeergebruik kan niet met zekerheid gezegd worden dat slib van biologische fosfaatverwijdering slechter ontwatert dan slib van chemische fosfaatverwijdering. De gegevens over het ontwateringsresultaat wijzen hier in ieder geval niet op.

Opvallend is het betere ontwateringsresultaat van slib waarbij de fosfaatverwijdering in de voorbezinking plaatsvindt. Dit betere ontwateringsresultaat zal vooral toe te schrijven zijn aan de primair slib productie op deze zuiveringen. Er is ook onderzocht of met deze data de invloed van gisting op de ontwatering van primair slib kon worden bepaald. Vrijwel alle zuiveringen met een voorbezinking blijken echter ook te beschikken over een gisting.

Ook de gegevens van de bedrijfsvergelijking zijn geanalyseerd op een mogelijke invloed van type fosfaatverwijdering op het ontwateringsresultaat. De gegevens zijn alleen op waterschapsniveau bekeken omdat data over polymeerverbruik ook alleen maar op waterschapsniveau beschikbaar was. Er kon geen correlatie worden gevonden tussen de metaaldosering (mol Me/ie verwijderd) en het polymeerverbruik of ontwateringsresultaat (Figuur 15).

FIGUUR 15

CORRELATIE TUSSEN METAALVERBRUIK VOOR FOSFAATBINDING EN POLYMEERGEbruik (GEMIDDELDEN PER WATERSCHAP, BRON: BEDRIJFSVERGELIJKING)

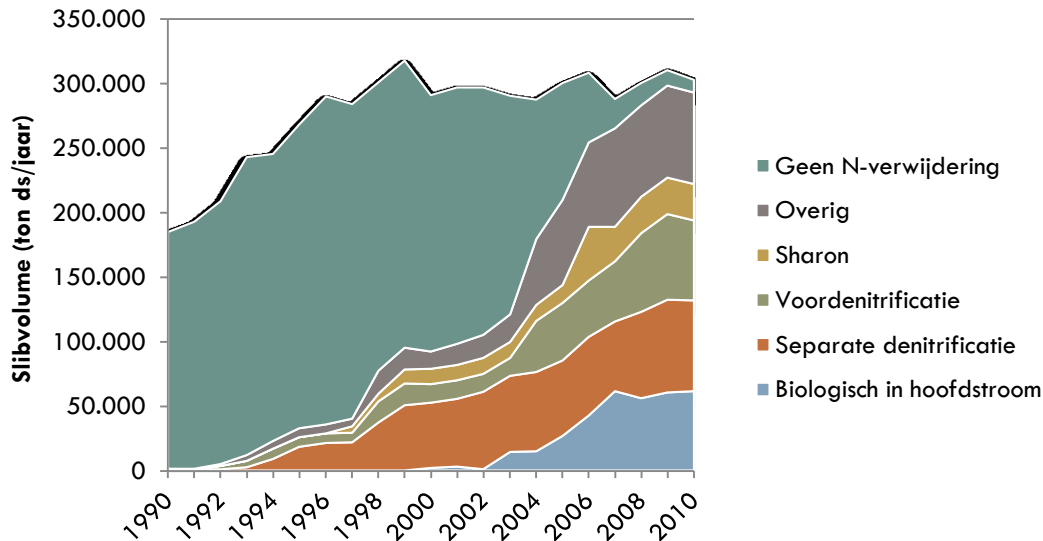


3.2.5 INVLOED STIKSTOFVERWIJDERING

De invoering van aanvullende stikstofverwijdering op de rioolwaterzuivering volgt pas na de invoering van verdergaande fosfaatverwijdering halverwege de jaren 90. Volgens de gegevens van het CBS ligt de piek van invoering in de periode 2003-2006 (Figuur 16). Het CBS rapporteert een verscheidenheid aan technieken voor stikstofverwijdering die veelal vooral betrekking hebben op denitrificatie in actief slib systemen.

FIGUUR 16

ONTWIKKELING TOEPASSING TECHNIEKEN VOOR STIKSTOFVERWIJDERING (BRON: CBS)



Ook hier is onderzocht of de invoering van aanvullende stikstofverwijdering een effect heeft gehad op het ontwateringsresultaat (Tabel 6). De gegevens laten geen duidelijke invloed zien op het ontwateringsresultaat. In de CBS database is een grote verscheidenheid aan technieken voor stikstofverwijdering opgenomen. De definities van de genoemde technieken zijn onduidelijk en lijken elkaar soms te overlappen. Daarom zijn de gegevens niet verder uitgesplitst naar techniek.

TABEL 6 INVLOED METHODE VAN STIKSTOFVERWIJDERING OP ONTWATERINGSRESULTAAT (BRON: CBS)

Ontwatering	N-verwijdering	Ontwateringsresultaat (% ds van koek)		
		1996-2000	2001-2005	2006-2010
centrifuge	alle data	23,8%	23,6%	22,8%
	Geen aanvullende N-verwijdering	24,0%	23,6%	22,1%
	Wel aanvullende N-verwijdering	23,3%	23,5%	22,8%
zeefband	alle data	20,6%	20,6%	20,9%
	Geen aanvullende N-verwijdering	20,8%	21,0%	21,4%
	Wel aanvullende N-verwijdering	19,9%	20,5%	20,8%

Wel is in de data gezocht naar slibontwateringen waar stikstofverwijdering is ingevoerd zonder dat er in de 3 jaar er voor of er na andere wijzigingen zijn doorgevoerd. Dit leverde een bestand op van 24 slibontwateringen. Vervolgens is onderzocht of de invoering van de stikstofverwijdering een effect heeft gehad op het ontwateringsresultaat (Tabel 7). Bij het merendeel van de slibontwateringen lijkt de invoering van stikstofverwijdering te leiden tot een slechter ontwateringsresultaat. Vanwege dit resultaat zijn ter controle meer gegevens van 16 van deze slibontwateringen opgevraagd bij een aantal waterschappen. Deze nadere analyse laat zien dat de gegevens van het CBS voor 7 van deze ontwateringen onjuist zijn en dat er geen vorm van stikstofverwijdering is ingevoerd op de desbetreffende zuivering. Bij de andere 9 ontwateringen was wel een vorm van stikstofverwijdering geïntroduceerd, maar week het jaar van invoering enkele jaren af van het jaar uit de CBS database. Paragraaf 3.3.6 gaat nader op de resultaten voor deze 9 ontwateringen.

TABEL 7 EFFECT INVOERING STIKSTOFVERWIJDERING OP ONTWATERINGSRESULTAAT: VERANDERING IN ONTWATERINGSRESULTAAT 3 JAAR VOOR EN NA INVOERING STIKSTOFVERWIJDERING (BRON: CBS)

Verandering in ontwateringsresultaat	Aantal SOI's
Afname 1,0-2,0 %punt	10
Afname 0,5-1,0 %punt	6
Afname 0,0-0,5 %punt	7
Toename met 0,0 -1,0 %punt	1
Totaal	23

3.3 DETAIL ONDERZOEK WATERSCHAPPEN

3.3.1 INLEIDING

Voor zes waterschappen is een detailonderzoek gedaan naar de ontwateringsresultaten over de afgelopen 10 jaar. Doel van dit onderzoek was om voor deze waterschappen nauwkeuriger in beeld te brengen of er relaties kunnen worden gelegd tussen ontwikkelingen op de rioolwaterzuivering en het ontwateringsresultaat. Voor deze analyse zijn gegevens over de ontwatering opgevraagd bij de volgende 6 waterschappen:

- Waterschap De Dommel;
- Waterschap Groot Salland;
- Waterschap Rivierenland;
- Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard;
- Waterschap Scheldestromen;
- Waterschap Velt en Vecht.

Bij elk waterschap zijn de ontwikkelingen binnen het waterschap besproken met een technoloog en bedrijfsvoerder van het waterschap. Voor elk waterschap is op deze manier onderzocht welke verklaringen te vinden zijn voor veranderingen in polymeergebruik. Ook is gezocht naar relaties tussen de ontwateringsprestatie en procesvariabelen. Een overzicht van de onderzochte correlaties is opgenomen in bijlage 1.

Daarnaast zijn aanvullend nog gegevens opgevraagd bij de volgende waterschappen:

- Waterschap Brabantse Delta;
- Waterschap Rijn en IJssel.

Voor deze twee waterschappen is de analyse minder uitgebreid en lag de focus vooral op de mogelijke invloed van de invoering van stikstofverwijdering op het ontwateringsresultaat.

In het kader van dit onderzoek zijn gegevens geanalyseerd van 20 slibontwateringen. Van deze 20 ontwateringen was één ontwatering in 2010 niet meer actief zodat deze niet in alle overzichten voorkomt. De 19 ontwateringen die in 2010 wel actief waren ontwateren samen 75.800 ton droge stof/jaar. Dit is circa 24% van het totale slibvolume van Nederland. De samenstelling van de dataset is representatief voor wat betreft de belangrijkste proceskeuzes voor de bedrijfsvoering van de rioolwaterzuivering en slibontwatering (Tabel 8).

TABEL 8 VERGELIJKING ONDERZOCHE DATASET EN GEMIDDELDE NEDERLAND

	Nederland (bedrijfsvergelijking 2009)	Onderzochte SOI's
Type fosfaatverwijdering		
Chemische defosfatering	32%	40%
Biologische defosfatering (incl. ondersteunende chemische defosfatering)	78%	60%
Slibstabilisatie		
Gisting	56%	67%
Aerobe stabilisatie	44%	33%
Slibontwatering		
Centrifuges	60%	56%
Zeefbandpersen	23%	26%
Filterpersen	17%	18%

3.3.2 ONTWATERINGSMETHODE

Het detail onderzoek bevestigt het beeld dat centrifuges een beter ontwateringsresultaat geven ten koste van een hoger polymeergebruik (Tabel 9). Deze prestaties komen goed overeen met het landelijke beeld uit de bedrijfsvergelijking. De onderzochte locaties met filterpersen laten wel een relatief hoog polymeerverbruik zien. Bij één locatie is dit verbruik in 2011 fors gedaald door met een magnesiumdosering struviet te laten ontstaan voor de ontwatering.

TABEL 9

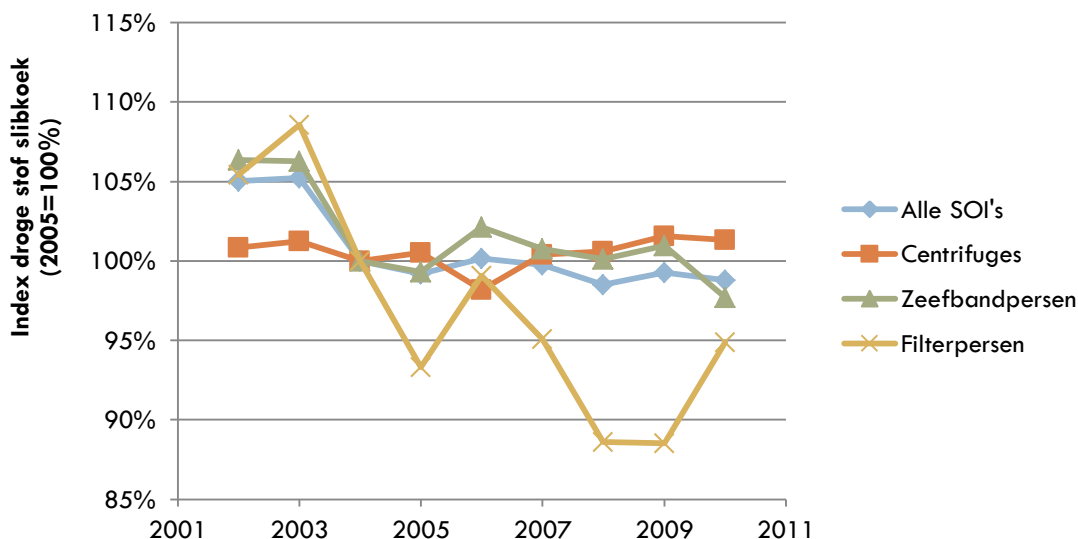
GEMIDDELDE PRESTATIE ONDERZOCHE LOCATIES UITGESPLITST NAAR ONTWATERINGSMETHODE

Ontwateringsmethode (data 2010)	# locaties	Ontwateringsresultaat (% ds)	Polymeerverbruik (g actief/kg ds)
Centrifuges	8	24,0	15,0
Zeefbandpersen	8	19,4	8,0
Filterpersen	3	24,4	14,6

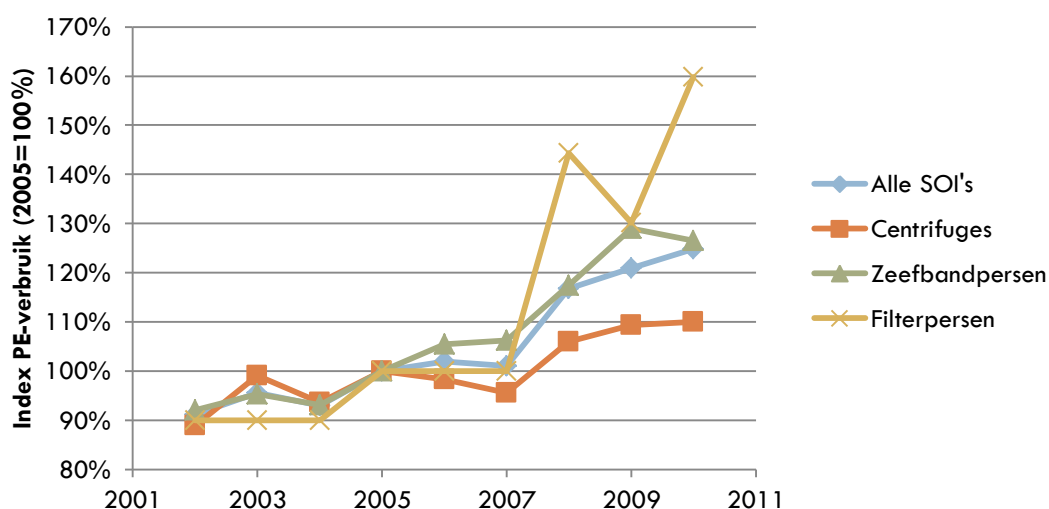
Figuur 17 en Figuur 18 laten het verloop zien van de prestatie van de slibontwateringen in de afgelopen jaren. De figuren zijn gebaseerd op een indexscore waarbij de prestatie (droge stof gehalte, polymeerverbruik) in 2005 op 100% is gesteld. De index geeft de relatieve ontwikkeling weer in de prestatie ten opzichte van 2005. Deze gegevens bevestigen het landelijke beeld dat het ontwateringsresultaat (droge stof gehalte slibkoek) redelijk stabiel is gebleven. Vooral de locaties met zeefbandpersen en filterpersen vertonen een lichte afname van het ontwateringsresultaat. Het polymeerverbruik laat wel een sterke ontwikkeling zien. In de periode van 2002 tot en met 2007 neemt het verbruik langzaam toe. Vanaf 2008-2009 neemt het gemiddelde verbruik plots flink toe. Het meest uitgesproken is dit bij locaties met zeefbandpersen en filterpersen, maar ook bij locaties met centrifuges is er een duidelijke toename van het verbruik. Deze toename van het verbruik is te constateren bij 11 van de 20 locaties. Bij 8 andere locaties blijft het polymeerverbruik min of meer constant en 1 locatie is in 2008 buiten bedrijf gesteld.

FIGUUR 17

ONTWIKKELING DROGE STOF GEHALTE VOOR DE ONDERZOCHE ONTWATERINGEN. TOTAAL EN PER ONTWATERINGSMETHODE. GEMIDDELDEN VAN DE INDEX PER LOCATIE (2004=100%)



FIGUUR 18 ONTWIKKELING POLYMEERVERBRUIK VOOR DE ONDERZOCHE ONTWATERINGEN, TOTAAL EN PER ONTWATERINGSMETHODE, GEMIDDELDEN VAN DE INDEX PER LOCATIE (2005=100%)



3.3.3 INVLOED SLIBGISTING EN VOORBEZINKING

Van de onderzochte slibontwateringen zijn er 12 voorzien van een slibgisting. De ontwateringen met een slibgisting laten een beter ontwateringsresultaat zien dan de ontwateringen zonder een slibgisting (Tabel 10). De gisting heeft minder effect op het polymeerverbruik: het polymeerverbruik is maar licht hoger bij ontwateringen met een gisting.

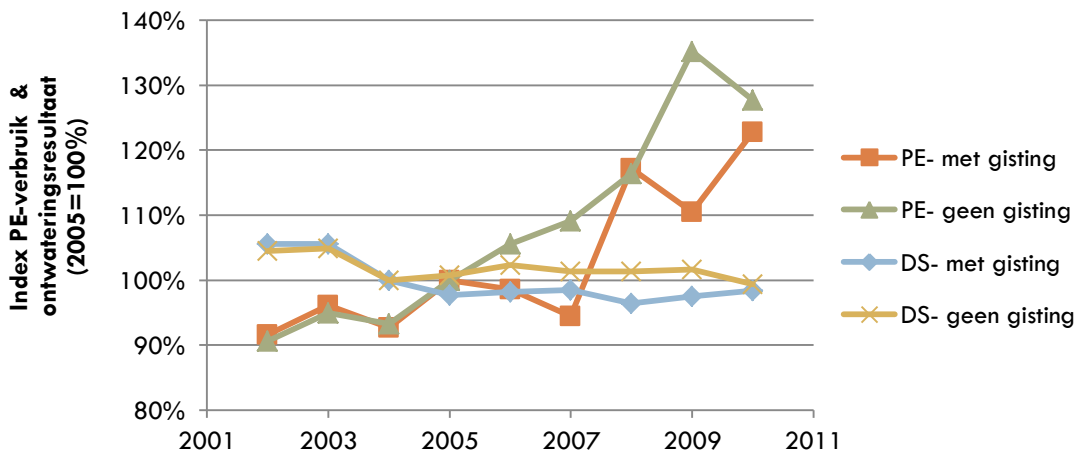
TABEL 10 GEMIDDELD PRESTATIE ONDERZOCHE LOCATIES UITGESPLITST NAAR ONTWATERINGSMETHODE EN METHODE VAN SLIBSTABILISATIE

Ontwateringsmethode (data 2010)	Slibstabilisatie	Voorbezinking	# locaties	Ontwateringsresultaat (% ds)	Polymeerverbruik (g actief/kg ds)
Centrifuges	Alle data		8	24,0	15,0
	Gisting	Wel	5	24,9	15,3
	Geen gisting	Geen	2	20,7	16,4
	Geen gisting	Wel	1	25,9	10,7
Zeefbandpersen	Alle data		8	19,4	8,0
	Gisting	Wel	4	20,4	8,9
	Geen gisting	Geen	3	17,4	8,0
	Geen gisting	Wel	1	21,0	4,6
Filterpersen	Gisting	Wel	3	24,4	14,6

Het effect van een gisting op het ontwateringsresultaat kan echter evengoed verklaard worden door de aanwezigheid van een voorbezinking op de ontwateringslocatie. Alle ontwateringen met een slibgisting waren namelijk ook voorzien van een voorbezinking. Er waren twee ontwateringen met een voorbezinking zonder slibgisting. Deze ontwateringen vertonen een hoger droge stof gehalte en een flink lager polymeerverbruik dan de locaties met een gisting in combinatie met een voorbezinking. Dit suggereert dat het vooral de aanwezigheid van primair slib is die zorgt voor het betere ontwateringsresultaat van vergist slib. De vergisting van het slib zorgt dan eerder voor een verslechtering van het ontwateringsresultaat. Op basis van deze informatie is het moeilijk om deze conclusie hard te stellen, maar het beeld past wel bij resultaten van Duits onderzoek (7) dat laat zien dat de aanwezigheid van primair slib veel invloed heeft op de ontwaterbaarheid van slib en dat vergisting de ontwaterbaarheid van primair en secundair slib vermindert.

FIGUUR 19

ONTWIKKELING ONTWERINGSRESULTAAT (DS) EN POLYMEERVERBRUIK (PE) VOOR INSTALLATIES MET EN ZONDER SLIBGISTING. GEMIDDELDEN VAN DE INDEX PER LOCATIE (2005=100%)

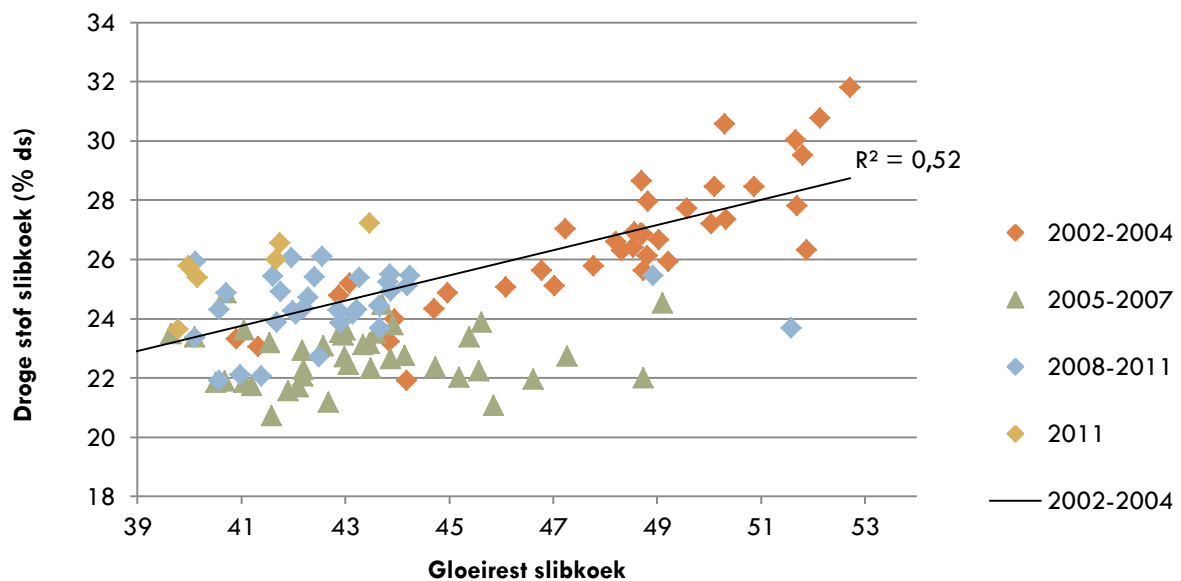


Figuur 19 laat de relatieve ontwikkeling zien van het ontwateringsresultaat en polymeerverbruik voor ontwateringen met en zonder slibgisting. De forse toename van het polymeerverbruik vindt plaats bij beide type ontwateringen. Deze toename start wat later bij de ontwateringen met een slibgisting, maar komt daarna snel op een vergelijkbaar hoog niveau. Ook voor het ontwateringsresultaat is er geen groot verschil in ontwikkeling tussen ontwateringen met en zonder slibgisting. Veranderingen in de vergistbaarheid van het slib lijken geen verklaring voor de forse toename van het polymeerverbruik.

Voor een aantal locaties was er voldoende goede data beschikbaar om nader onderzoek te doen naar mogelijke relaties tussen de bedrijfsvoering van de slibgisting en het ontwateringsresultaat. Zo is bij vijf locaties een mogelijk verband tussen het aandeel primair slib naar de gisting en de ontwaterbaarheid onderzocht. In geen van de gevallen werd een duidelijke correlatie gevonden tussen het aandeel primair slib, polymeerverbruik of droge stofgehalte van de slibkoek. Eerder werd geconstateerd dat de aanwezigheid van primair slib waarschijnlijk wel invloed heeft, maar kennelijk is het exacte aandeel aan primair slib van minder belang.

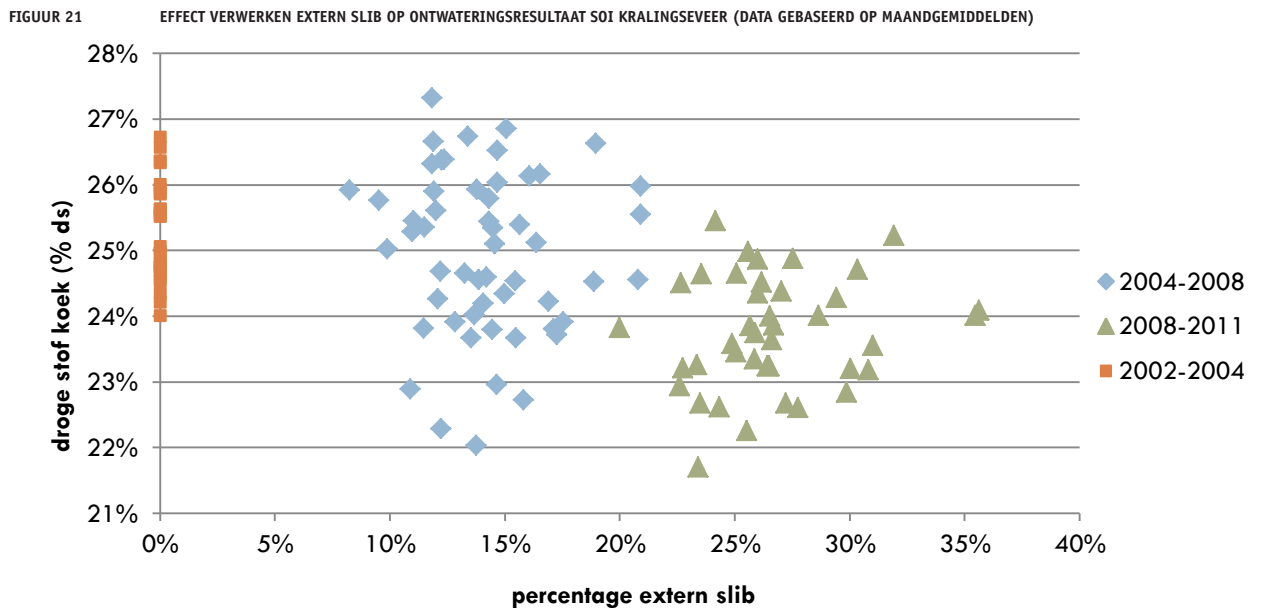
FIGUUR 20

CORRELATIE TUSSEN GLOEIEST VAN HET SLIB EN HET DROGE STOF GEHALTE VAN DE SLIBKOEK. DE DATA IS OPGEDEELD NAAR VIER TIJDSPERIODEN DIE SAMENVALLLEN MET POLYMEERWISSELINGEN EN/OF PROCESVERANDERINGEN (DATA GEBASEERD OP MAANDGEMIDDELDEN)



Voor twee locaties is de relatie tussen de verblijftijd in de gisting en de ontwaterbaarheid van het slib onderzocht. Voor deze locaties blijkt er nauwelijks een correlatie te zijn. Voor 12 locaties is daarnaast onderzocht of het droge stof gehalte van de koek en het polymeerverbruik correleren met de gloeirest in de slibkoek (of organische stof). Bij een paar locaties is er sprake van een lichte correlatie (R^2 tussen 0,4-0,8), terwijl er bij veel locaties juist geen correlatie is te vinden. Tussen gloeirest en polymeerverbruik blijkt nog minder verband te vinden.

Een opvallend voorbeeld van een correlatie tussen gloeirest en droge stof is weergegeven in Figuur 20. Deze figuur geeft data weer van de slibontwatering Walcheren van Waterschap Scheldestromen. De data zijn gebaseerd op maandgemiddelden en is opgedeeld in vier periodes. In de eerste periode van 2002 tot en met 2004 is er een redelijke correlatie tussen de gloeirest en droge stof van de slibkoek. In deze periode neemt de gloeirest van het slib langzaam af en tegelijk ook het ontwateringsresultaat. Rond 2004 wordt de zuivering omgebouwd van een hoog belast systeem naar een laag belast systeem en is ook biologische fosfaatverwijdering geïntroduceerd. Bovendien wordt het slib vanaf dan ingedikt met een bandindikker in plaats van een gravitaire indikker zodat het droge stof gehalte in de gisting toeneemt van 3,0 naar 3,8% ds. Na deze ingrepen verdwijnt de correlatie tussen gloeirest en droge stof volledig. Door de vele veranderingen die tegelijk zijn doorgevoerd is jammer genoeg niet te achterhalen welke maatregel de oorzaak is voor de verdwijning van de correlatie. Het voorbeeld laat wel zien dat de gloeirest in sommige situaties een grote invloed kan hebben op het ontwateringsresultaat, maar dat andere invloeden bepalender kunnen zijn.



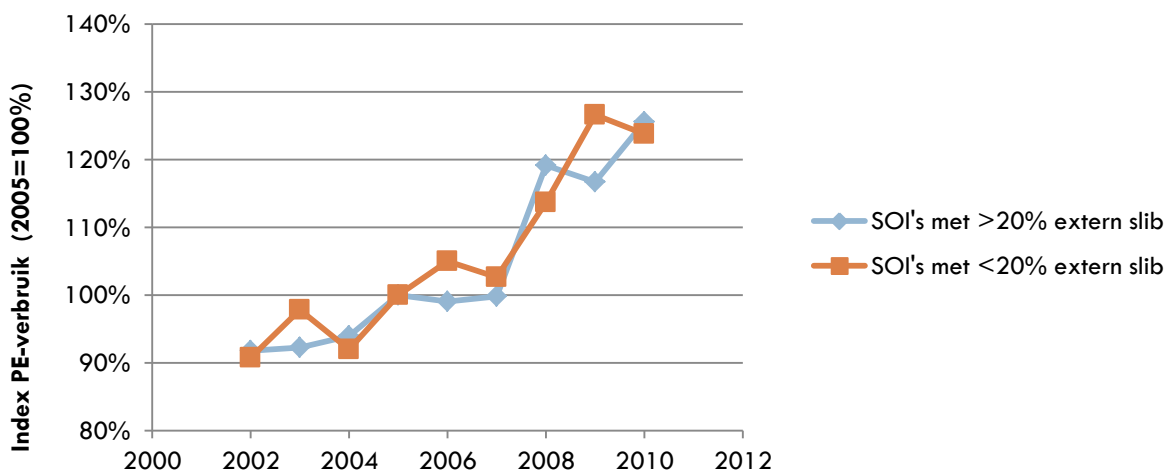
De landelijke CBS gegevens laten zien dat er vanaf 2008 een trend is om de vergisting en ontwatering van slib steeds meer te centraliseren (Figuur 13). Hierdoor wordt deze centrale gisting en ontwatering steeds verder belast met slib van andere zuiveringen. Deze trend was bij de onderzochte slibontwateringen vooral herkenbaar bij de ontwatering en gisting op rwzi Kralingseveer van Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard. In de periode van 2002 tot en met 2004 werd op deze locatie alleen het slib van de zuivering zelf ontwaterd. Vanaf 2004 wordt er ook slib van Groenedijk verwerkt. Hierdoor daalt het droge stof gehalte in de gisting van ca. 2,8 naar 2,6% en neemt de verblijftijd af van 25 naar 22 dagen. Op de oude ontwateringslocatie werd met dit externe slib een ontwateringsresultaat

bereikt van 24-25%. Dit ligt in de buurt van het resultaat van Kralingseveer en opmenging van deze slibstromen heeft weinig effect op het ontwateringsresultaat: het gemiddeld droge stof gehalte neemt af van 25,3 naar 25,0%. Wel neemt de spreiding in de data toe met vooral meer uitschieters naar beneden. Het polymeerverbruik neemt zelfs iets af: van 16,5 g actief/kg ds tot 14,9 g actief/kg ds.

Vanaf 2008 wordt er ook extern slib verwerkt van De Groote Zaag. Dit slib wordt ingedikd aangeleverd waardoor het droge stof gehalte in de gisting stijgt naar 3,2% droge stof. De verblijftijd in de gisting neemt hierdoor maar beperkt af van 22 naar 21 dagen. Met dit slib werd op De Groote Zaag een ontwateringsresultaat bereikt van 17-18%. De resultaten laten zien dat het ontwateringsresultaat op Kralingsveer afneemt door het meeverwerken van het slib van De Groote Zaag: het gemiddelde droge stof gehalte neemt af van 25,0% naar 23,8%. Om dit resultaat te bereiken neemt het polymeergebruik toe tot 16,7 g actief/kg ds, maar dit is nog steeds vergelijkbaar met het verbruik in de periode van 2002-2004.

Dit voorbeeld laat zien dat de verwerking van extern slib niet hoeft te leiden tot een verslechtering van de ontwaterbaarheid van slib. De toename van het polymeerverbruik blijkt ook niet beperkt tot slibontwateringen die veel extern slib verwerken (Figuur 22) en is even groot bij slibontwateringen die weinig extern slib verwerken. De centralisering van ontwatering en gisting lijkt daarom geen verklaring te bieden voor de forse toename in de laatste jaren.

FIGUUR 22 ONTWIKKELING POLYMEERVERBRUIK BIJ SLIBONTWATERINGEN MET VEEL EN WEINIG EXTERN SLIB



3.3.4 INVLOED FOSFAAT EN FOSFAATVERWIJDERING

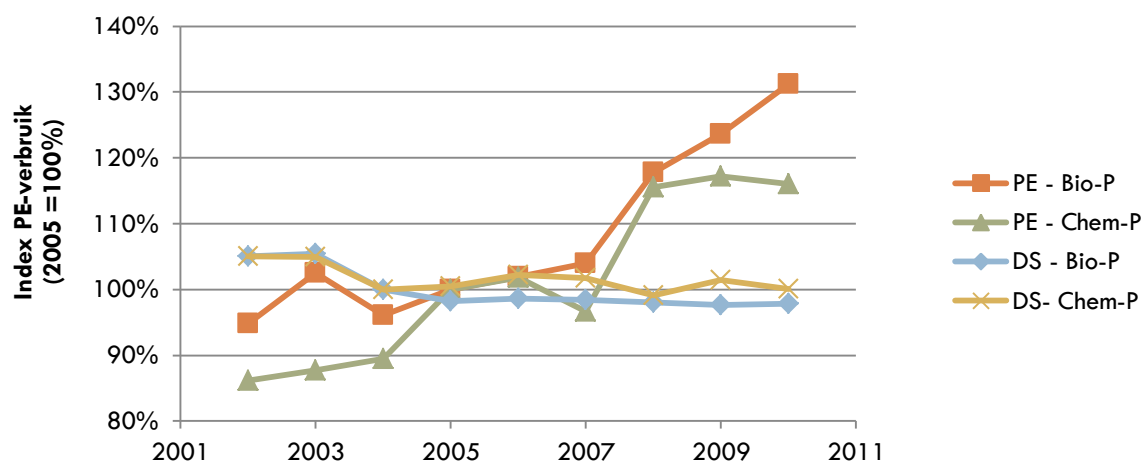
Van de onderzochte locaties ontwateren er 8 slib waarbij het fosfaat voornamelijk chemisch is vastgelegd in het slib door dosering van ijzer of aluminiumzouten. De overige 11 locaties gebruiken een biologische methode van fosfaatverwijdering, soms met enige ondersteuning van ijzer of aluminiumzouten. Tabel 11 geeft een uitsplitsing van de ontwateringsprestatie van de verschillende locaties naar ontwateringsmethode en type fosfaatverwijdering.

TABEL 11 GEMIDDELDE PRESTATIE ONDERZOCHE LOCATIES UITGESPLITST NAAR ONTWATERINGSMETHODE EN METHODE VAN FOSFAATVERWIJDERING (2010)

Ontwateringsmethode (data 2010)	P-verwijdering	# locaties	Ontwateringsresultaat (% ds)	Polymeerverbruik (g actief/kg ds)
Centrifuges	Alle data	8	24,0	15,0
	Bio-P	6	24,0	16,2
	Chemisch	2	24,0	11,5
Zeebandpersen	Alle data	8	19,4	8,0
	Bio-P	3	19,3	9,0
	Chemisch	5	19,4	7,4
Filterpersen	Alle data	3	24,4	14,6
	Bio-P	2	23,0	17,4
	Chemisch	1	27,2	9,0

De tabel laat zien dat de methode van fosfaatverwijdering gemiddeld genomen weinig invloed heeft op het droge stof gehalte van de slibkoek. Alleen bij filterpersen is er een onderscheid, maar dit betreft maar één slibontwatering. Dit geringe verschil in droge stof gehalte bevestigt het landelijk beeld dat eerder op basis van CBS cijfers werd verkregen (Tabel 5). Ontwateren van slib van een biologische fosfaatverwijdering vraagt wel een hoger polymeerverbruik. Dit verschil is bij alle drie de ontwateringstechnieken te constateren.

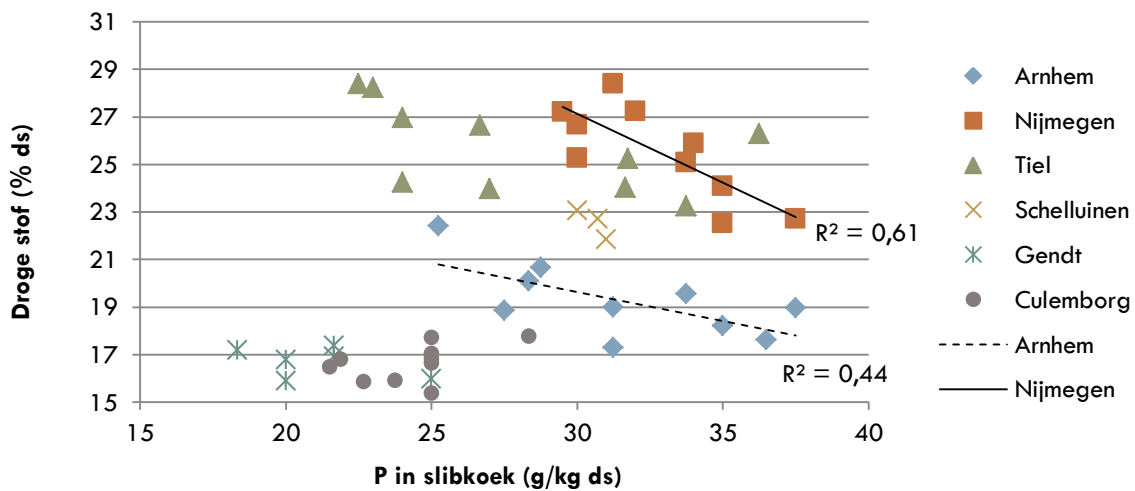
FIGUUR 23 ONTWIKKELING ONTWATERINGSRESULTAAT (DS) EN POLYMEERVERBRUIK (PE) VOOR INSTALLATIES MET BIOLOGISCHE EN CHEMISCHE FOSFAATVERWIJDERING. GEMIDDELDEN VAN DE INDEX PER LOCATIE (2005=100%)



Figuur 23 geeft de relatieve ontwikkeling weer van het ontwateringsresultaat en polymeerverbruik voor ontwateringen afhankelijk van het type fosfaatverwijdering op de zuivering. Bij beide type slibben is er sprake van een flinke toename van het polymeerverbruik. De toename van het polymeerverbruik in de laatste jaren kan daarom niet zomaar worden toegeschreven aan een toename van het aandeel biologische fosfaatverwijdering.

FIGUUR 24

CORRELATIE TUSSEN FOSFAATCONCENTRATIE IN HET SLIB EN DROGE STOF GEHAKTE VAN DE SLIBKOEK VOOR EEN AANTAL ONTWERINGEN VAN WATERSCHAP RIVIERENLAND (DATA OP BASIS VAN JAARGEMIDDELLEN)

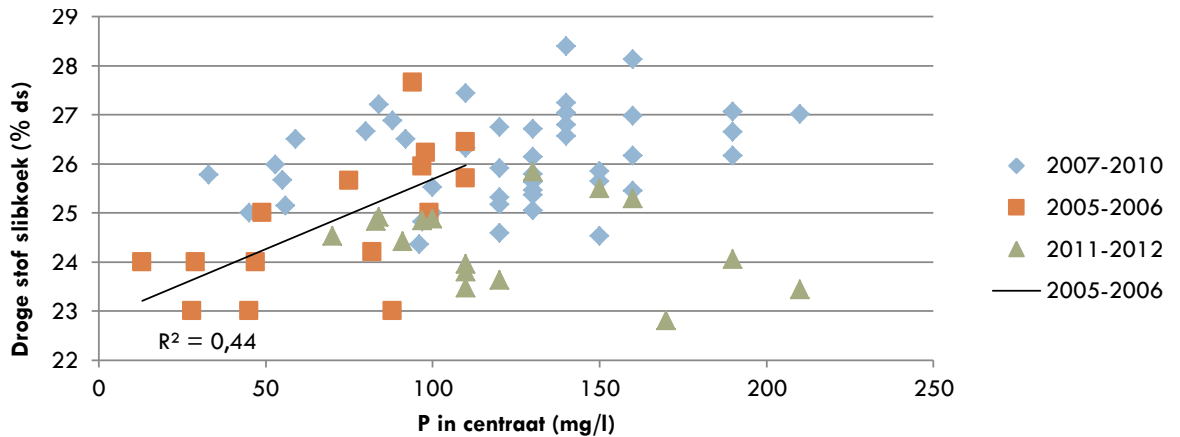


Om een eventueel verband tussen ontwateringsresultaat met fosfaatverwijdering verder te onderzoeken is bij elf slibontwateringen gezocht naar een mogelijke correlatie tussen het fosfaatgehalte in het slib en het gehalte aan droge stof in de slibkoek of het polymeergebruik. Bij de meeste locaties werd nauwelijks een correlatie gevonden (correlatiecoëfficiënten 0-0,2). Bij slechts drie locaties werd enig verband aangetroffen tussen het droge stof gehalte en het fosfaatgehalte (correlatiecoëfficiënten 0,4-0,8). Figuur 24 laat twee van deze correlaties zien voor de locaties Nijmegen en Arnhem. De figuur laat ook de resultaten zien voor een aantal andere locaties van dit waterschap. Voor de locatie Nijmegen werd een vrij sterke correlatie gevonden en voor deze locatie werd ook een even goede correlatie gevonden met het polymeergebruik (meer fosfaat, meer polymeer). Slechts bij één andere locatie werd nog een correlatie gevonden tussen polymeergebruik en de fosfaatconcentratie. Een uitzonderlijk sterk verband werd aangetroffen op de slibontwatering van Emmen. Opvallend is hier dat dit verband minder sterk wordt nadat op deze locatie struviet wordt gevormd in het slib door de dosering van magnesium (Airprex-systeem). Paragraaf 3.3.5 gaat verder in op het verband tussen struvietvorming en ontwateringsresultaat op deze locatie.

Omdat misschien vooral het oplosbare fosfaat een invloed heeft is gezocht naar een correlatie tussen de fosfaatconcentratie in het centraat of filtraat van de ontwatering. Helaas worden deze concentraties door weinig waterschappen gemeten. Bij maar vier ontwateringen was hierover informatie beschikbaar. Bij drie van de vier waterschappen was er geen correlatie te zien tussen droge stof gehalte van de slibkoek of polymeerverbruik en de fosfaatconcentratie in het centraat of filtraat. Het sterkste verband werd nog gevonden voor de slibontwatering Mierlo (Figuur 25). Deze locatie ontwaterd voornamelijk slib van de rwzi Eindhoven waar het fosfaat biologisch wordt verwijderd met beperkte ondersteuning van aluminiumzouten. Het slib wordt ongegist ontwaterd met centrifuges. Vooral in de periode van 2005 tot 2006 is er enigszins een verband met de fosfaatconcentratie in het centraat. Opvallend genoeg werden de hoogste droge stof gehalten gehaald bij hogere fosfaatconcentraties in het centraat. Vanaf 2007 wordt twee keer overgestapt op een ander polymeer en in deze periodes is er geen verband meer tussen fosfaatconcentratie en ontwateringsresultaat.

FIGUUR 25

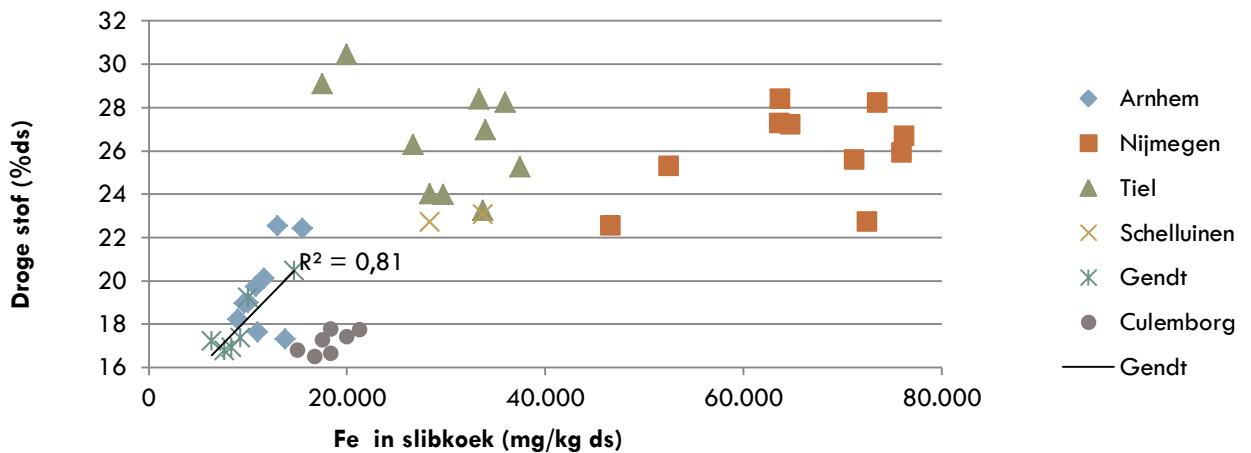
CORRELATIE TUSSEN FOSFAAT CONCENTRATIE IN HET CENTRAAT EN HET DROGE STOF GEHALTE IN DE SLIBKOEK VOOR DE SLIBONTWATERING MIERLO. DE DATA IS ONDSCHIEDEN IN 3 PERIODES WAARBIJ VERSCHILLENDE POLYMEREN WERDEN INGEZET (DATA OP BASIS VAN MAANDGEMIDDELDEN)



Ten slotte is de invloed van de ijzerconcentratie in het slib onderzocht omdat het ijzergehalte ook van invloed zal zijn op het gehalte aan vrij fosfaat. Van in totaal zeven locaties was hierover informatie. Bij slechts twee locaties werd er een duidelijk verband aangetroffen. Bij beide locaties betreft het slibben van biologische fosfaatverwijdering (ijzerconcentratie tot 20 g/kg ds). Mogelijk dat de invloed verdwijnt bij hogere ijzerconcentraties. Figuur 26 laat de verbanden zien voor zes locaties van Waterschap Rivierenland.

FIGUUR 26

CORRELATIE TUSSEN IJZERGEHALTE IN SLIB EN DROGE STOF GEHALTE VAN DE SLIBKOEK VOOR ENKELE ONTWERINGSLOCATIES VAN WATERSCHAP RIVIERENLAND (DATA OP BASIS VAN JAARGEMIDDELDEN)

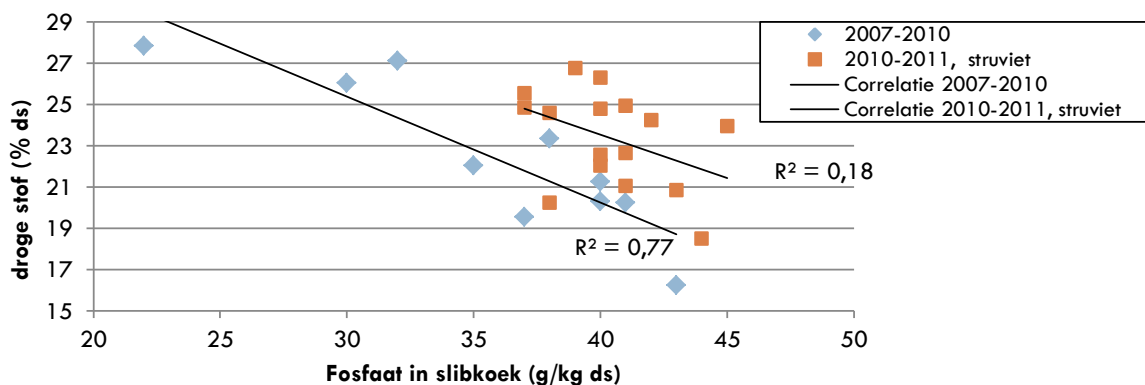


3.3.5 INVLOED STRUVIETVORMING EN MAGNESIUM

Bij de slibontwatering Emmen van waterschap Velt en Vecht wordt sinds juli 2010 magnesiumchloride gedoseerd aan het uitgegiste slib voor de ontwatering van het slib in een membraanfilterpers. Aanvankelijk gebeurde dit als proef. In februari 2011 is de doseerinstallatie verbeterd en is de proefopstelling omgezet naar een definitieve installatie. Door de dosering van magnesium wordt struviet gevormd waardoor de ontwateringseigenschappen van het slib verbeteren. Het gevormde struviet wordt niet afgescheiden maar mee ontwaterd met het slib. Oorspronkelijk werd voorafgaand aan de magnesiumdosering de pH van het slib verhoogd en het CO₂ gestript. Uiteindelijk is hier van afgezien, zonder dat dit leidde tot een hoger magnesiumverbruik.

FIGUUR 27

CORRELATIE TUSSEN FOSFAATCONCENTRATIE IN HET SLIB EN DROGE STOF GEHALTE IN DE SLIBKOEK VOOR DE SLIBONTWATERING EMMEN. VANAF 2010 WORDT STRUVIET GEVORMD IN HET TE ONTWATEREN SLIB

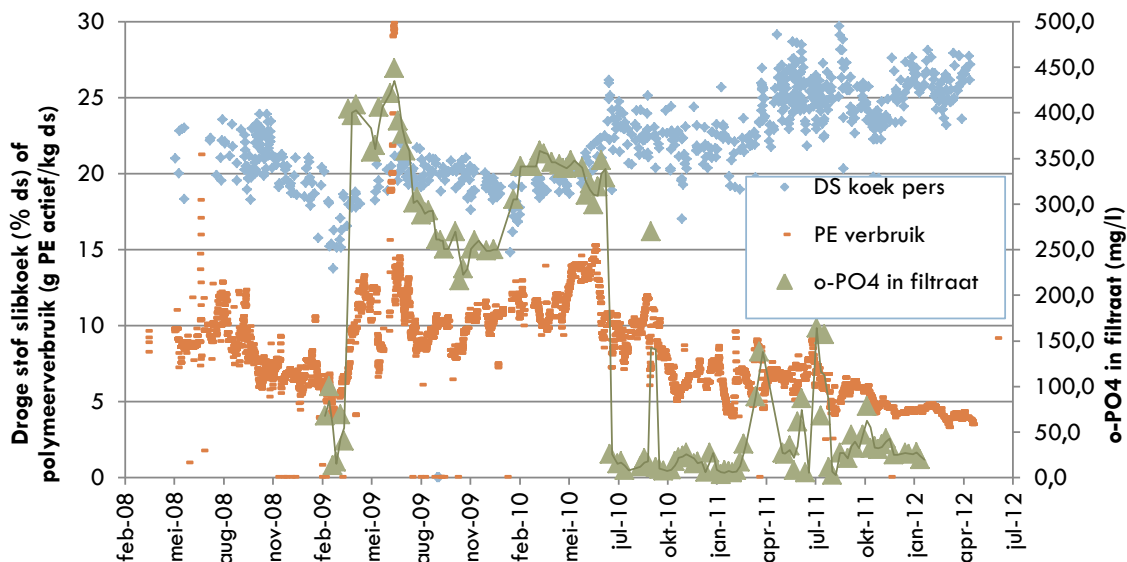


Op de slibontwatering Emmen wordt het slib van de rwzi Emmen ontwaterd in combinatie met het slib van de andere rioolwaterzuiveringen van Waterschap Velt en Vecht. Het slib van de rwzi Emmen bedraagt ongeveer de helft van het totale slibvolume. De externe slibben worden allen mee vergist in de gisting. Voor 2010 werd ook nog een groot deel van het externe slib aan de beluchting van de rwzi Emmen gevoed. Alle slibben zijn afkomstig van rioolwaterzuiveringen die biologische fosfaatverwijdering toepassen. Op de rwzi Emmen werd de fosfaatverwijdering nog ondersteund met de dosering van aluminiumzouten. Sinds de vorming van struviet wordt opgeweekt is deze dosering langzaam afgebouwd en niet meer nodig.

De verbetering van de ontwateringseigenschappen van het slib door de vorming van struviet wordt vaak toegeschreven aan de verlaging van de concentratie aan ortho-fosfaat in het slibwater (21) (22). Figuur 27 laat bijvoorbeeld zien dat er in de periode voor de vorming van het struviet een sterke correlatie bleek te zijn tussen de fosfaatconcentratie in de slibkoek en het droge stof gehalte van de slibkoek. Een dergelijk sterke correlatie is bij de andere onderzochte waterschappen niet aangetroffen (zie ook paragraaf 3.3.4). Nadat de vorming van struviet is gestart verdwijnt deze correlatie. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat vooral het vrije fosfaat een rol speelde en dat het magnesium dit vrije fosfaat vastlegt.

FIGUUR 28

RELATIE TUSSEN FOSFAATCONCENTRAAT IN FILTRAAT EN ONTWERINGSRESULTAAT VOOR SLIBONTWATERING EMMEN. VANAF JULI 2010 WORDT MAGNESIUMCHLORIDE GEDOSEERD VOOR DE FORMING VAN STRUVIET. IN FEBRUARI 2011 IS DE GISTING OPNIEUW OPGESTART EN IS DE MAGNESIUMDOSERING VERBETERD

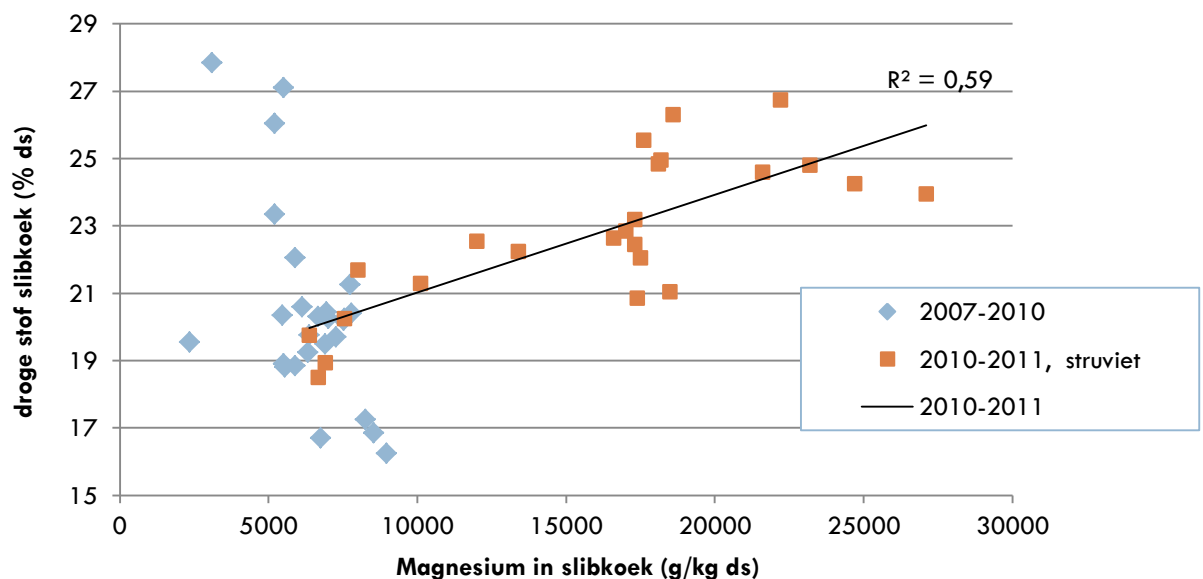


Figuur 28 laat het verloop zien van de fosfaatconcentratie in het filtraat van de filterpers vanaf begin 2009. In de figuur is ook het ontwateringsresultaat en het PE-verbruik weergegeven. De figuur laat zien dat met de invoering van de magnesiumdosering in juli 2010 de concentratie ortho-fosfaat in het filtraat heel snel gedaald is van 300-400 mg/l naar 10-30 mg/l. Vanaf dat moment is er ook een snelle stijging te zien van het droge stof gehalte van de slibkoek. Het polymeergebruik daalt niet meteen, maar vanaf dat moment is wel een dalende trend in gezet die tot april 2012 doorzet. Vanaf april 2011 is er een tweede stijging in het droge stof gehalte van de slibkoek te zien. Deze stijging gaat niet gepaard met een verdere daling van het fosfaatgehalte.

De struvietvorming leidt dus aantoonbaar tot een beter ontwateringsresultaat, maar opvallend genoeg duurt het enige maanden voordat de verbetering volledig tot uitdrukking komt. Als er een directe relatie zou zijn tussen het gehalte aan vrij ortho-fosfaat en het ontwateringsresultaat zou een snellere verbetering logischer zijn. Verder laten de data zien dat er ook begin 2009 lagere fosfaatconcentraties gemeten werden, maar dat dit toen niet tot goede ontwateringsresultaten leidde. Er is helaas geen duidelijke verklaring voor de toename van deze concentraties in maart 2009. Als de fosfaatconcentratie een sterke invloed zou hebben op de ontwatering zou er bijvoorbeeld ook bij de slibontwatering Mierlo een sterker verband moeten zijn tussen de fosfaatconcentratie in het centraat en het ontwateringsresultaat (zie Figuur 25 in paragraaf 3.3.4). De fosfaatconcentraties hebben dezelfde orde grootte en ook hier wordt voornamelijk slib ontwaterd afkomstig van biologische fosfaatverwijdering.

In de gegevens van de slibontwatering Emmen is daarom gezocht naar andere verklaringen die de verbetering van het ontwateringsresultaat kunnen verklaren. Op grond van de literatuur kunnen twee waardige kationen als calcium en magnesium invloed hebben op het ontwateringsresultaat. Figuur 29 laat zien dat er een sterke correlatie is tussen de magnesiumconcentratie in de slibkoek en het droge stof gehalte van de slibkoek in de periode dat er magnesium wordt gedoseerd.

FIGUUR 29 RELATIE TUSSEN MAGNESIUMCONCENTRATIE IN DE SLIBKOEK EN ONTWERINGSRESULTAAT VOOR SLIBONTWATERING EMMEN. DE FIGUUR LAAT DATA ZIEN VOOR DE PERIODE ZONDER STRUVIETVORMING (2007-2010) EN MET STRUVIETVORMING (2010-2011)



De magnesiumconcentratie in de slibkoek geeft daarom een betere correlatie met het ontwateringsresultaat dan de fosfaatconcentratie in het filtraat. De hogere magnesium concentraties zorgen voor een betere neutralisatie van de lading in de slibdeeltjes met als gevolg betere ontwateringsresultaten. Een alternatieve verklaring is dat de gevormde harde struviet deeltjes een soort filtratiehulp vormen die een betere afvoer van het slibwater mogelijk maken. Deze hypothesen zouden getoetst kunnen worden door de magnesiumconcentratie in het filtraat te onderzoeken. Helaas zijn hiervan geen gegevens beschikbaar. Wel is er in maart 2012 een forse toename van de magnesiumconcentratie in het secundaire slib van de rwzi Emmen gemeten (van 5 naar 12 g/kg ds). Omdat de magnesium dosering pas na de slibgisting plaatsvindt, kan deze toename het gevolg kunnen zijn van een retourbelasting van magnesium vanuit het filtraat van de slibontwatering. Dit zou betekenen dat niet alle magnesium gebonden is als struviet en dus een rol kan spelen bij het neutraliseren van de lading in de slibvlokken. In de periode dat er nog geen magnesium gedoseerd werd is de magnesium concentratie in het slib duidelijk lager en is er ook een minder duidelijk verband tussen het droge stof gehalte van de slibkoek en de magnesiumconcentratie. Als er al een correlatie is dan is deze juist tegengesteld aan de correlatie die voor de periode van magnesiumdosering wordt gevonden.

3.3.6 INVLOED STIKSTOF EN STIKSTOFVERWIJDERING

In de gegevens van het CBS is informatie opgenomen over het moment van invoering van de stikstofverwijdering en de methode van stikstofverwijdering. Op basis van deze informatie was aanvankelijk een dataset samengesteld die er op leek te wijzen dat de invoering van een vorm van stikstofverwijdering leidt tot een verslechtering van het ontwateringsresultaat. Navraag bij een aantal waterschappen leerde dat de gegevens van het CBS op dit punt niet erg betrouwbaar waren. Bij bijna de helft van de nader onderzochte zuiveringen bleek er geen vorm van stikstofverwijdering geïntroduceerd. Bij de zuiveringen waar dit wel was gebeurd bleek de datum van invoering veelal niet correct.

Op basis van de aanvullende informatie kon een kleinere dataset van negen slibontwateringen worden samengesteld van zuiveringen waarvan zeker is dat er een vorm van stikstofverwijdering is ingevoerd. Deze set is verder nog aangevuld met gegevens van de slibontwatering van Walcheren waar ook stikstofverwijdering was ingevoerd, maar wel in combinatie met biologische fosfaatverwijdering. In totaal zijn zo gegevens beschikbaar van tien slibontwateringen waar een vorm van stikstofverwijdering is ingevoerd.

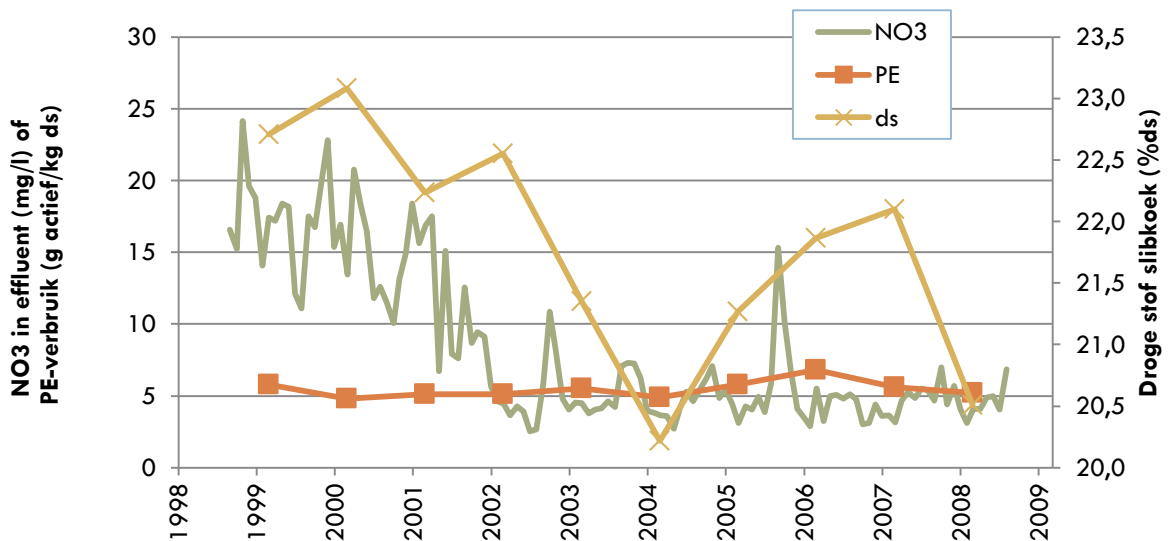
TABEL 12 EFFECT INVOERING STIKSTOFVERWIJDERING OP ONTWERINGSRESULTAAT (GEMIDDELDEN VAN 2 JAAR VOOR INVOERING MAATREGEL EN 2 JAAR NA INVOERING MAATREGEL)

Slibontwatering	Jaar	Nitrificatie/ denitrificatie	Effect op droge stof slibkoek (in % ds)			Effect op PE verbruik (g kg actief/kg ds)		
			Voor	Na	Delta	Voor	Na	Delta
Walcheren	2004	nitrificatie	27,7	24,2	-3,5	8,4	7,2	-14%
Kralingseveer	2008	denitrificatie	24,9	23,5	-1,4	13,2	15,8	20%
Tiel	2006	nitrificatie & denitrificatie	26,6	25,4	-1,2	6,0	6,0	0%
Nijmegen	2003	denitrificatie	26,1	26,8	0,7	6,6	7,2	9%
Schelluinen	2008	denitrificatie	23,1	22,9	-0,2	17,5	15,8	-10%
Gendt	2006	nitrificatie & denitrificatie	17,0	15,9	-1,1	6,8	7,5	11%
Bath	2002	denitrificatie	22,4	20,8	-1,6	5,1	5,2	2%
Dongemond	2002	denitrificatie	22,3	23,3	1,0	5,9	6,5	10%
Etten	2004	denitrificatie	21,3	20,0	-1,3	23,7	24,7	4%
Roermond	2004	denitrificatie	23,1	21,2	-1,8		Geen data	

De tabel laat zien dat er bij zeven van de tien slibontwateringen sprake was van een duidelijke verslechtering van het ontwateringsresultaat na de invoering van aanvullende stikstofverwijdering. Bij de drie slibontwateringen waar het droge stof gehalte niet afnam, was er bij twee ervan wel sprake van een toename van het polymeergebruik. Overall was er bij zes van de tien ontwateringen sprake van een toename van het polymeer gebruik. Op basis van deze gegevens lijkt de invoering van aanvullende stikstofverwijdering van invloed te zijn op het ontwateringsresultaat.

Per zuivering bekeken is een effect soms minder herkenbaar, maar wanneer alle gegevens samen genomen worden ontstaat er toch een trend. Figuur 30 geeft als voorbeeld de ontwikkeling van de ontwateringsresultaten voor de rwzi Bath. Op deze zuivering wordt begin 2002 pre-denitrificatie ingevoerd. Het effect hiervan is duidelijk te zien in de verlaging van de nitraat concentratie in het effluent. Het jaargemiddelde droge stof gehalte voor 2002 blijft dan nog op niveau, maar in de maandgemiddelden is in de tweede helft van het jaar al wel een daling te zien. In 2003 en 2004 is het ontwateringsresultaat duidelijk lager dan in de voorgaande jaren. Vanaf 2005 stijgt het droge stofgehalte weer, maar neemt ook het polymeer verbruik iets toe. Mogelijk is toen overgestapt op een ander polymeer dat beter past bij de veranderde slibeigenschappen. Een dergelijk beeld is ook bij andere slibontwateringen gezien. Na een aanvankelijke daling van het droge stof gehalte van de slibkoek, wordt dit na twee tot drie jaar verbeterd door een overstap op een ander polymeer en/of een hogere dosering (zie bijvoorbeeld ook paragraaf 3.3.7 over de invloed van polymeerwisselingen).

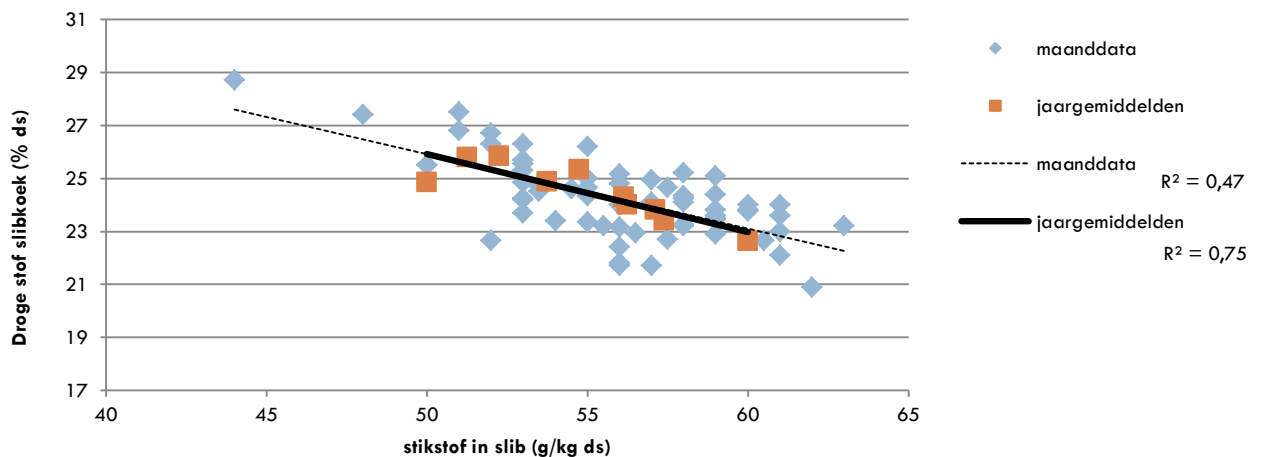
FIGUUR 30 EFFECT INVOERING DENITRIFICATIE OP DE RWZI BATH OP DE ONTWERINGSRESULTATEN VAN BATH



Verder is onderzocht of de stikstofconcentratie van het slib van invloed is op het ontwateringsresultaat. Bij elf ontwateringslocaties was informatie beschikbaar om dit te onderzoeken. Bij de meeste locaties waren de correlaties erg zwak. Bij vier locaties was er enig mate van correlatie te vinden tussen het stikstofgehalte in de slibkoek en het droge stof gehalte van de slibkoek (R^2 tussen 0,4 en 0,9). Een hoger stikstofgehalte in de slibkoek correleerde altijd met een lager droge stof gehalte. De meest uitgesproken correlatie werd gevonden voor de slibontwatering van Kralingseveer (Figuur 31). De correlatie met de jaargemiddelden is hier sterker dan de correlatie met de maandgemiddelden. Mogelijk dat dit veroorzaakt wordt door variaties in de ontwaterbaarheid door andere factoren, zoals bijvoorbeeld de invloed van het seizoen. Bij deze locatie werd ook een sterke correlatie gevonden tussen de jaargemiddelde pH

van het slib en het droge stof gehalte van de slibkoek ($R^2 = 0,74$) waarbij een hogere pH correleerde met een slechter resultaat. Op maandbasis was de correlatie hier ook vrijwel afwezig. Bij een vergelijkbaar aantal locaties (drie van de elf) werd ook een correlatie tussen polymeerverbruik en het stikstofgehalte gevonden. Bij maar één locatie viel deze samen met een correlatie tussen droge stof gehalte en stikstofgehalte. Een hoger stikstofgehalte zorgde meestal voor een hoger polymeerverbruik.

FIGUUR 31 VERBAND TUSSEN STIKSTOFCONCENTRATIE IN DE SLIBKOEK EN HET DROGE STOF GEHALTE VAN DE ONTWATERDE KOEK VOOR SLIBONTWATERING KRALINGSEVEER



Bij drie slibontwateringen was het mogelijk om een verband tussen de stikstofconcentratie in het centraat en het ontwateringsresultaat te onderzoeken. Bij geen van deze ontwateringen werd een correlatie aangetroffen.

Het onderzoek laat zien dat er voor zowel stikstof als fosfaat soms correlaties worden gevonden met het ontwateringsresultaat. Als er een correlatie is komt een hogere concentratie overeen met een slechter ontwateringsresultaat. Er worden ongeveer even vaak correlaties met fosfaat als met stikstof gevonden, maar niet altijd bij dezelfde ontwateringen. Mogelijk dat onder bepaalde condities fosfaat en/of stikstof een invloed hebben, maar dat deze invloed bij andere omstandigheden (slibtype, pH, alkaliniteit) verdwijnt of ondergeschikt raakt.

3.3.7 INVLOED POLYMEER

Het polymeer dat gebruikt wordt voor de ontwatering dient afgestemd te zijn op het soort slib dat ontwaterd moet worden. De keuze van het polymeer is meestal het resultaat van een aanbestedingsprocedure waarbij verschillende leveranciers worden uitgenodigd om testen uit te voeren met het slib en op basis daarvan een aanbieding te doen. Bij de meeste waterschappen uit het detailonderzoek leidt dit er toe dat om de twee tot drie jaar van polymeertype werd gewisseld. Als de aanbestedingen competitief en representatief zijn zouden wisselingen van polymeer niet snel tot een ander ontwateringsresultaat moeten leiden, tenzij leveranciers nieuwe polymeren ontwikkelen die steeds beter presteren. Als de aanbesteding echter gebaseerd is op een niet representatief slibmonster kan het nieuw geselecteerde polymeer juist tot een slechter resultaat leiden. Bij de waterschappen uit het detailonderzoek is daarom gekeken naar mogelijke invloeden van polymeerwisselingen op de prestatie. In deze paragraaf worden enkele voorbeelden besproken.

Het eerste voorbeeld betreft de slibontwatering Walcheren van waterschap Scheldestromen. Op de rwzi Walcheren werd in 2004 de zuivering omgebouwd van een hoog naar een laag belast systeem. Ook werd biologische fosfaatverwijdering op de zuivering geïntroduceerd. Vanaf 2005 zijn de ontwateringsresultaten duidelijk slechter dan in de periode ervoor evenals het afscheidingsrendement. Wel is het polymeergebruik dan wat lager. In 2008 wordt overgestapt op een ander type polymeer. Met de introductie van dit polymeer stijgt het droge stof gehalte in de slibkoek en het afscheidingsrendement. Dit gaat wel gepaard met een hoger polymeergebruik. In 2011 wordt weer overgestapt op een nieuw polymeer. Hierdoor neemt het droge stof gehalte van de slibkoek nog wat meer toe, ook weer gepaard met een wat hoger polymeergebruik.

TABEL 13

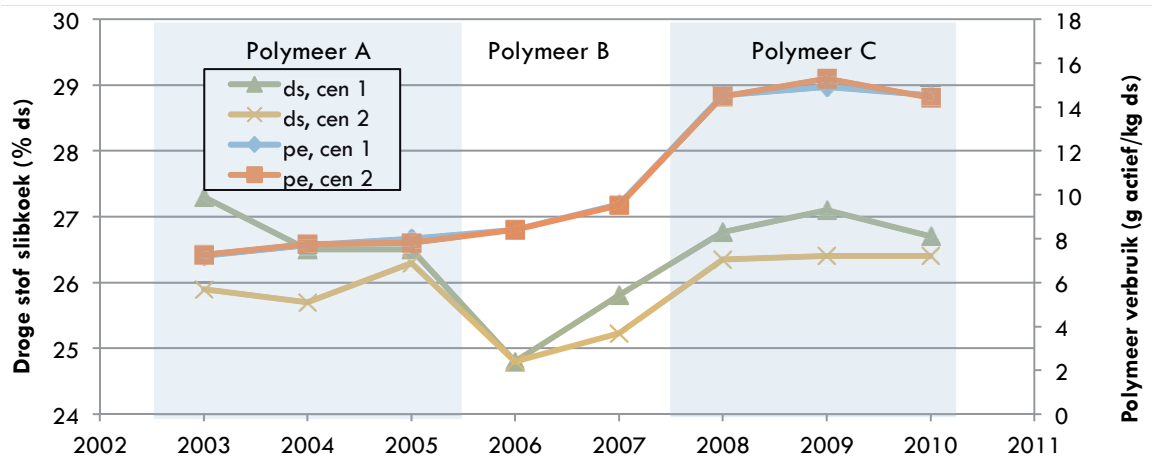
ONTWATERINGSRESULTAAT VOOR VERSCHILLENDE PERIODEN VOOR WATERSCHAP SCHELDESTROMEN. 2004: OMBOUW ZUIVERING NAAR LAGE SLIBBELASTING EN BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING. IN 2008, 2011 INTRODUCTIE ANDER POLYMEER

Periode	Droge stof gehalte (% ds)	Polymeer gebruik (g actief/kg ds)	Afscheidings-rendement (%)
Jan. 2002 – Mrt. 2005	26,7	8,2	97,5
Mrt. 2005 – Aug. 2008	22,7	6,8	95,1
Aug. 2008 – Apr. 2011	24,4	8,0	98,8
Apr. 2011 – Dec. 2011	25,8	8,8	98,2

Een vergelijkbare ontwikkeling is zichtbaar op de slibontwatering Zwolle van Waterschap Groot Salland (Figuur 32). Hier nemen de ontwateringsresultaten in 2006 sterk af wanneer overgestapt wordt op een ander polymeertype. Wel blijft het verbruik vergelijkbaar. Nadat in 2008 weer op een ander polymeer wordt overgestapt herstellen de ontwateringsresultaten zich weer tot het niveau van 2003-2005, maar wel bij een fors hoger polymeerverbruik.

FIGUUR 32

ONTWATERINGSRESULTATEN SLIBONTWATERING ZWOLLE EN OVERSTAPMOMENTEN VOOR POLYMEER



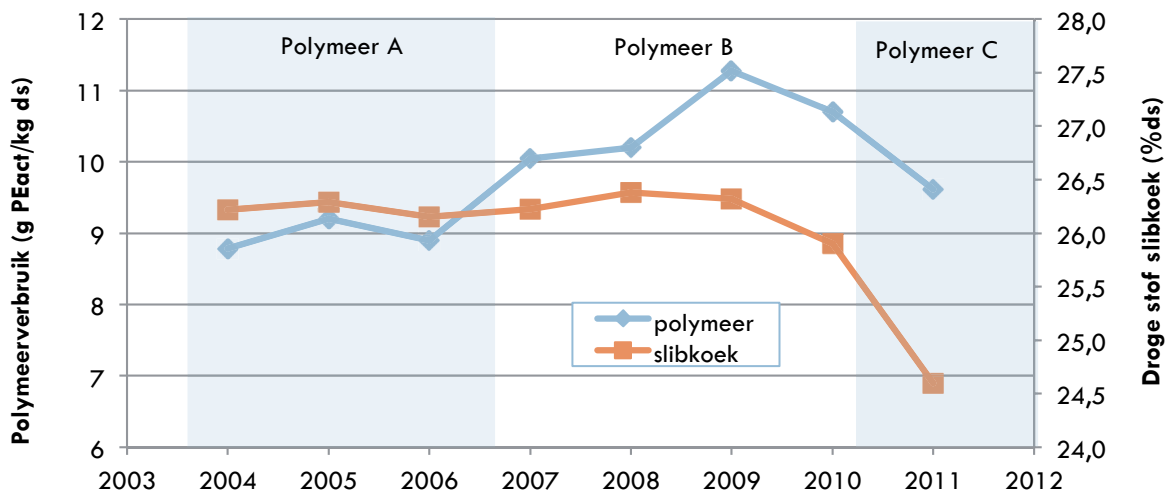
Bij dit waterschap was ook op de slibontwatering Deventer een effect merkbaar bij de overstap op een ander polymeer. In de periode van 2003-2006 werd gemiddeld een droge stof gehalte van 26,2% gehaald. In 2007 werd overgestapt op een ander polymeer en tegelijk neemt het droge stof gehalte van de slibkoek toe tot 28,2%. Daarbij bleef het polymeerverbruik gelijk op een niveau van 11 g actief/kg droge stof.

Een ander voorbeeld is de slibontwatering Mierlo (Figuur 33). Van 2004 tot en met 2006 zijn de ontwateringsresultaten stabiel. In 2007 wordt overgestapt op een ander polymeer en vanaf dat jaar is het polymeerverbruik plots duidelijk hoger dan in de jaren ervoor. De droge stof gehalten van de slibkoek blijven wel constant. In deze jaren zijn er geen andere wijzigingen doorgevoerd in de bedrijfsvoering van de slibontwatering of het type te ontwateren slib. In 2011 wordt weer op een ander polymeer overgestapt en dan is juist sprake van een forse daling van het droge stof gehalte van de slibkoek.

Bij deze voorbeelden blijken veranderingen in ontwateringsresultaten samen te vallen met momenten waarop overgestapt wordt op een ander polymeer. Dit laat zien dat de keuze van het polymeer van belang kan zijn bij het beoordelen van de ontwateringsresultaten. Dit bemoeilijkt ook het zoeken naar andere relaties die samenhangen met de slibkwaliteit omdat dergelijke relaties verstoord kunnen worden doordat overgestapt wordt op een ander polymeertype. Bij het zoeken naar verbanden met andere parameters is daarom zoveel mogelijk rekening gehouden met de overstapmomenten van het polymeer.

FIGUUR 33

ONTWATERINGSRESULTATEN SLIBONTWATERING MIERLO EN OVERSTAPMOMENTEN POLYMEER



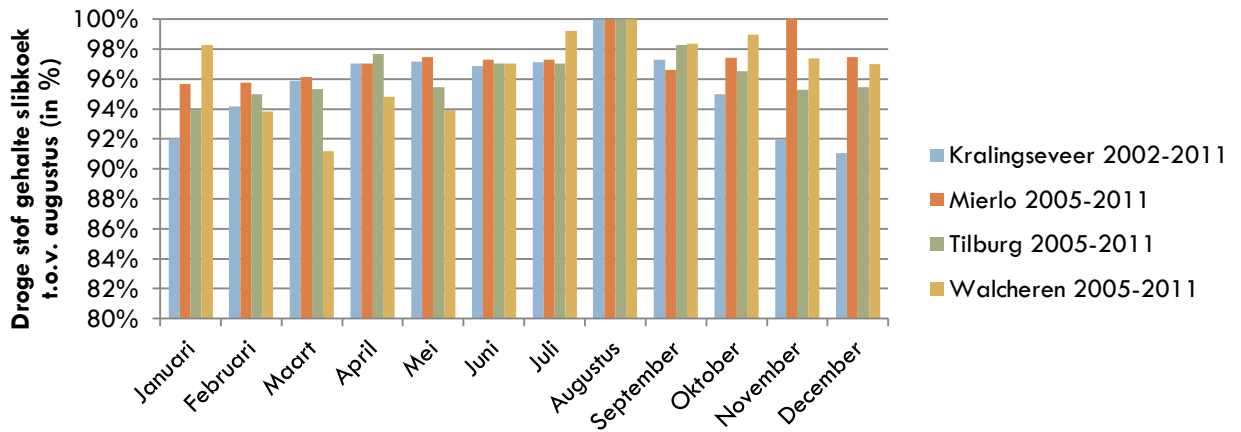
3.3.8 SEIZOENSEFFECTEN

Omdat velen ervaren dat de ontwaterbaarheid van slib samenhangt met de tijd van het jaar is ook de seizoensinvloed op de ontwaterbaarheid onderzocht. Voor vier ontwateringen was voldoende informatie beschikbaar om de invloed van de maand van het jaar op de ontwaterbaarheid te onderzoeken. Figuur 34 laat zien dat bij al deze ontwateringen gemiddeld genomen in augustus steeds het hoogste droge stof gehalte wordt gehaald. Het slechtste droge stofgehalte wordt meestal in de periode december tot april gehaald en dit droge stof gehalte is ongeveer 3 tot 9% lager dan de prestatie in augustus. Er lijkt dus wel een verband te zijn, maar dit verband is dan ook weer niet heel sterk.

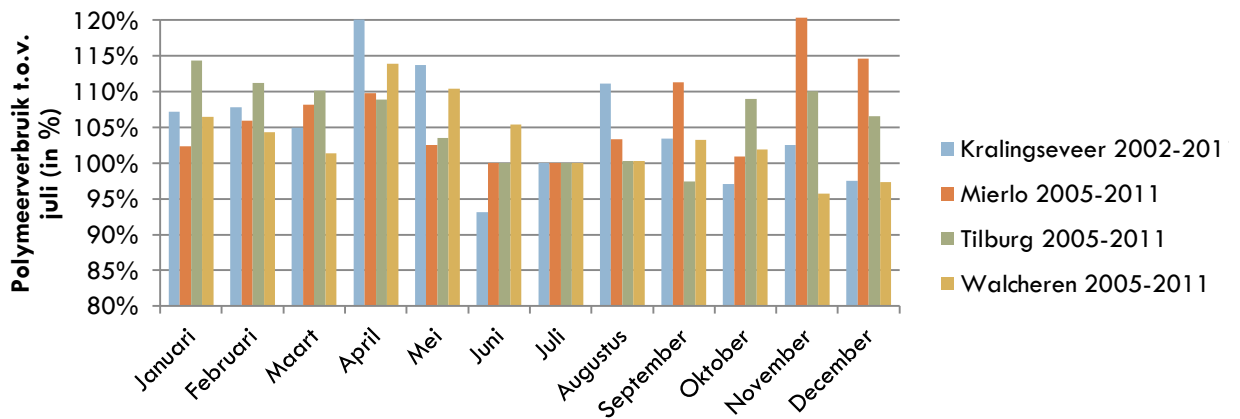
Het seizoen heeft een minder eenduidig effect op het polymeer gebruik (Figuur 35). Rond juli en augustus wordt het laagste polymeergebruik aangetroffen, maar ook in andere maanden worden vergelijkbare lage verbruiken aangetroffen, meestal in de herfst. Het moment van het hoogste polymeergebruik verschilt echter sterk per slibontwatering. Het hoogste polymeerverbruik ligt 17-25% boven het laagste verbruik en varieert daarmee sterker dan het droge stof gehalte.

Een mogelijke verklaring voor de betere ontwaterbaarheid in de zomer is een verdere aerobe stabilisatie van het slib door de hogere temperaturen in de zuivering. Om de invloed hiervan te onderzoeken is in Figuur 36 per maand de gemiddelde gloeirest van het ontwaterde slib uitgezet. De hoogste gloeirest wordt inderdaad in de maand augustus aangetroffen. Niettemin corresponderen de maanden met de laagste gloeiresten niet zo goed met lagere droge stof gehalten of hogere polymeerverbruiken. Kennelijk heeft de mate van afbraak invloed, maar zijn er nog andere belangrijke invloed factoren.

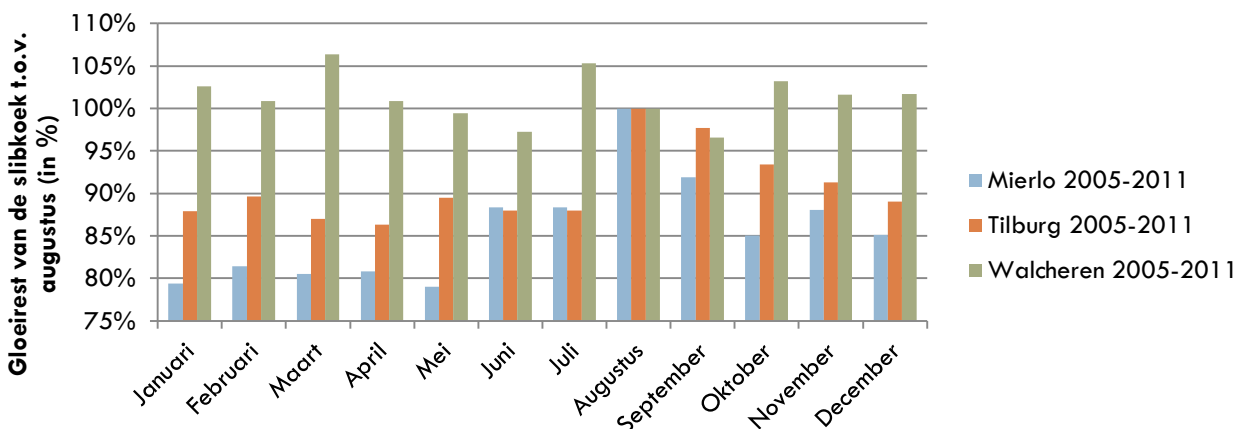
FIGUUR 34 INVLOED VAN HET SEIZOEN OP DE ONTWATERBAARHEID VAN SLIB. WEERGEGEVEN IS HET RELATIEVE DROGE STOF GEHALTE TEN OPZICHTE VAN DE MAAND AUGUSTUS



FIGUUR 35 INVLOED VAN HET SEIZOEN OP DE ONTWATERBAARHEID VAN SLIB. WEERGEGEVEN IS HET RELATIEVE POLYMEERGEBRUIK TEN OPZICHTE VAN DE MAAND JULI



FIGUUR 36 INVLOED VAN HET SEIZOEN OP DE GLOEIREST VAN HET SLIB. WEERGEGEVEN IS DE GLOEIREST IN VERHOUDING TOT DE MAAND AUGUSTUS



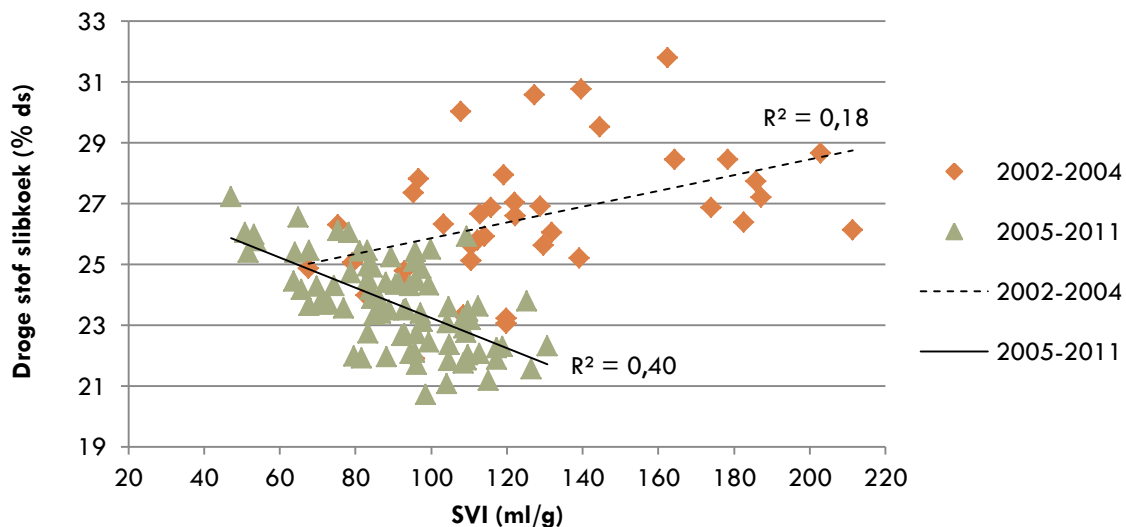
3.3.9 RELATIE MET SLIB VOLUME INDEX

De slibvolume index wordt veel gebruikt voor het volgen van de bezinkbaarheid van slib en geeft een indruk van de flocculeerbaarheid van slib. Veel van de processen die een rol spelen bij het bezinken van slib, spelen ook een rol bij het ontwateren van slib. Een belangrijk verschil is echter de expressie-fase bij het ontwateren van het slib die bij het bezinken van slib geheel ontbreekt. Niettemin zouden veranderingen in de slib volume index een goede maat kunnen zijn voor veranderingen in de ontwaterbaarheid van slib. Daarom is bij het detail onderzoek gezocht naar mogelijke relaties tussen de slibvolume index (SVI) en de ontwaterbaarheid.

Bij negen ontwateringen was hiervoor informatie beschikbaar in de ontvangen dataset. De gegevens laten zien dat de SVI een beperkte voorspellende waarde heeft voor veranderingen in de ontwaterbaarheid van slib. Bij slechts drie locaties was er enigszins een correlatie te vinden tussen droge stof gehalte of polymeergebruik. Een hogere SVI correleert dan met een lager droge stof gehalte of een hoger polymeergebruik.

FIGUUR 37

CORRELATIE TUSSEN DROGE STOF GEHALTE VAN DE SLIBKOEK EN DE SLIBVOLUME INDEX VOOR DE SLIBONTWATERING WALCHEREN.
DATA OP BASIS VAN MAANDGEMIDDELDEN



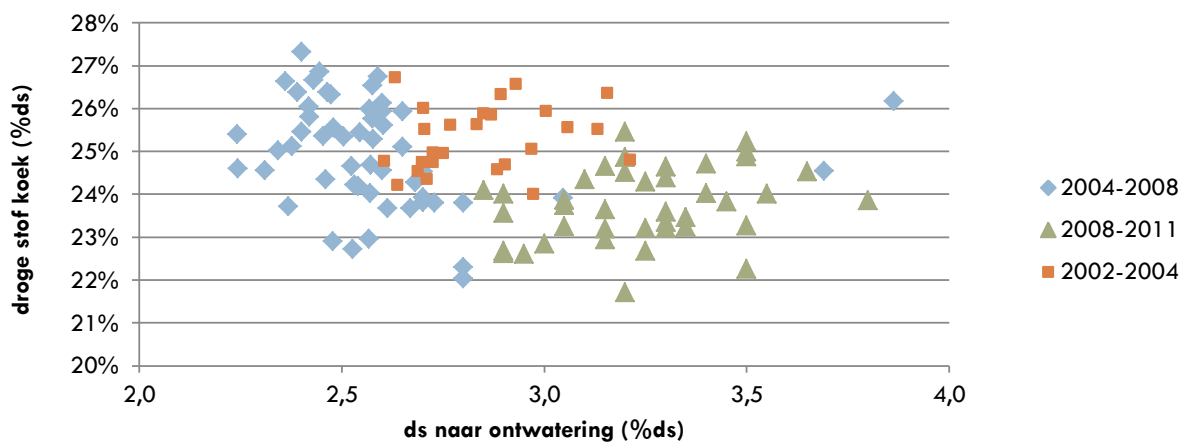
Soms wordt juist een omgekeerd verband gevonden. Een voorbeeld is de slibontwatering Walcheren van Waterschap Scheldestromen (Figuur 37). Voor de jaren 2005 tot en met 2011 correleert een lagere SVI met een beter ontwateringsresultaat. Met een correlatie-coëfficiënt van 0,4 is de correlatie niet heel sterk. In de periode voor 2005 is er een geheel andere correlatie. Hier corresponderen hogere SVI's juist met betere ontwateringsresultaten, hoewel de correlatie erg zwak is. De overgang tussen de correlaties correspondeert met de overgang van een hoog naar een laagbelast systeem en de introductie van biologische fosfaatverwijdering.

Voor de slibontwatering Walcheren is ook een mogelijk verband tussen SVI en polymeerverbruik onderzocht, maar er werd geen correlatie aangetroffen. Voor drie locaties werd een lichte mate van correlatie aangetroffen tussen PE-verbruik en polymeergebruik. Alleen voor de slibontwatering van Gendt is de correlatie ($R^2=0,76$) sterk. Hier correspondeert een hogere SVI met een hoger polymeerverbruik.

3.3.10 DROGE STOF GEHALTE VOOR ONTWATERING

Soms wordt aangenomen dat een hoger droge stof gehalte voor ontwatering de ontwatering verbetert. Daarom is onderzocht of er inderdaad een relatie is te vinden tussen het ingaande droge stof gehalte en het ontwateringsresultaat. Voor twaalf ontwateringslocaties was hierover informatie beschikbaar. De data laat zien dat het ingaande droge stof gehalte nauwelijks een voorspellende waarde heeft voor het droge stof gehalte van de ontwaterde slibkoek en/of het polymeerverbruik. Figuur 38 geeft als voorbeeld de correlatie voor de slibontwatering Kralingseveer. Op deze locatie wordt uitgestigt slib met centrifuges ontwaterd. Er is onderscheid gemaakt tussen drie perioden waarbij steeds meer extern slib werd mee ontwaterd. Door de verschillen in droge stof gehalte van het ingedikte, externe slib varieert ook het droge stof gehalte naar de slibontwatering.

FIGUUR 38 VERBAND TUSSEN DROGE STOF GEHALTE NAAR DE ONTWATERING EN HET DROGE STOF GEHALTE VAN DE ONTWATERDE SLIBKOEK VOOR SLIBONTWATERING KRALINGSEVEER. DATA OP BASIS VAN MAANDGEMIDDELDEN. ER IS ONDERSCHIED GEMAAKT IN 3 PERIODEN MET VERSCHILLENDE HOEVEELHEID EXTERN SLIB



Vooral bij de slibontwateringen van Zwolle en Deventer van Waterschap Groot Salland werden sterkere correlaties gevonden tussen het ingaande droge stof gehalte en het ontwateringsresultaat en polymeerverbruik. Door het waterschap werd zelf ook aangegeven dat zij een sterk verband ervaren. Dit sterkere verband komt volgens hen doordat zij oudere centrifuges hebben waar het ingaande droge stof gehalte een groter effect zou hebben op het ontwateringsresultaat.

3.4 BEDRIJFSVOERING VAN DE SLIBONTWATERING

3.4.1 INLEIDING

Bij de zes waterschappen die betrokken zijn bij dit onderzoek is gesproken met een ervaren bedrijfsvoerder van de slibontwatering. Uit de interviews met de bedrijfsvoerders van de zes betrokken waterschappen blijkt een grote betrokkenheid bij het bedrijven van de installatie. Drie van de bedrijfsvoerders waren verantwoordelijk voor het bedrijven van één of meer centrifuges. Twee bedrijfsvoerders waren verantwoordelijk voor een filterpers en één bedrijfsvoerder voor een bandfilterpers.

Daarnaast is een vragenlijst rondgestuurd naar alle waterschappen om informatie op te vragen over de bedrijfsvoering van de slibontwatering. In totaal is hiermee van 16 van de 23 waterschappen informatie verkregen over de bedrijfsvoering van in totaal 37 slibontwateringen. Van deze slibontwateringen ontwaterden er 24 met centrifuges, 6 met zeefbandpersen en 7 met filterpersen.

De volgende paragrafen beschrijven de resultaten van de interviews met de bedrijfsvoerder en worden daarna steeds aangevuld met de resultaten van de rondgestuurde vragenlijst.

3.4.2 METING EN CONTROLE VAN DE ONTWATERING

De bedrijfsvoerders is gevraagd welke parameters in hun ervaring het belangrijkste zijn voor de regeling van de ontwatering. De antwoorden zijn logischerwijs afhankelijk van de het type ontwatering.

Door de bedrijfsvoerders van de centrifuges wordt vooral gekeken naar het koppel van de centrifuges en de centraatkwaliteit, waarbij de centraatkwaliteit als allerbelangrijkst wordt gezien. Een troebel, zwartig centraat wijst er op dat de flocculatie niet goed loopt en dat de polymeerdosering moet worden bijgesteld. Centraat dat te wit is wijst juist op een teveel aan polymeer. Ook de mate waarin het centraat schuimt is een indicatie voor de kwaliteit van de polymeerdosering.

Eén bedrijfsvoerder wijst er op dat de centraatkwaliteit eigenlijk ook niet te goed moet zijn. Hij haalt de hoogste droge stof gehalten als het centraat net wat troebel begint te worden. Deze manier van bedrijven vergt wel extra controle en is minder geschikt voor onbemand bedrijf. Het koppel van de centrifuges is een maat voor het droge stof gehalte in de centrifuge en een te laag koppel betekent dat er niet goed ontwaterd wordt.

De bedrijfsvoerder van de bandfilterpers kijkt vooral naar het beeld van de vlokken op de ontwateringstafel. De vlok moet klein en fijn zijn om de ontwatering zo goed mogelijk te laten lopen. Ook hier wordt goed gekeken naar de kwaliteit van het filtraat.

Bij het bedienen van de filterpers zijn de lostijden een belangrijk criterium. Als de lostijden te lang zijn wijst dit op een kleverig slib, mogelijk door een te hoge dosering van polymeer. Voor Waterschap Velt en Vecht is ook de fosfaatconcentratie een belangrijke parameter geworden vanwege de struvietvorming die zij nastreven.

TABEL 14

BELANGRIJKSTE STUURPARAMETERS VOOR HET ONTWATERINGSRESULTAAT OP BASIS VAN VRAGENLIJST BIJ 16 WATERSCHAPPEN

Stuurparameter	Belang van de parameter (1 = zeer waardevol, 5 = niet nuttig)	# waterschappen die de parameter noemen
Centrifuge		
Koppel	1	11
Centraatkwaliteit	1	11
Verschiltoeren	1	9
Ingaand droge stof gehalte	2	10
Zeefband		
Persdruk	2	5
Beeld van de slibtafel	1	5
Filtraatkwaliteit	3	5
Ingaand droge stof gehalte	3	4
Filterpers		
Persdruk	2	5
Lostijden	2	5
Ingaand droge stof gehalte	2	5

De bedrijfsvoerders is ook gevraagd of zij relaties kunnen leggen tussen het ontwateringsresultaat en bijzonderheden in de bedrijfsvoering van de waterlijn. In geen van de gevallen had men hier duidelijke voorbeelden van of ervaringen mee. Soms leek dit te liggen aan het feit dat er weinig interactie was met de bedrijfsvoerders van de waterlijn. In andere gevallen was die interactie er wel, maar kon men ook dan geen voorbeelden bedenken.

Tabel 14 vat de resultaten van de vragenlijst samen. Deze resultaten bevestigen het beeld dat uit de interviews met de bedrijfsvoerders naar voren komt. Bij de bedrijfsvoering van de centrifuges kijkt men vooral naar het koppel, de centraatkwaliteit en de verschiltoeren. Bij zeefbandpersen kijkt men heel sterk naar het beeld van de vlokken op de slibtafel en de persdruk van de zeefband. Bij de filterpersen is ook de persdruk van belang, samen met de lostijden en het ingaande droge stof gehalte.

3.4.3 ERVARINGEN MET AUTOMATISCHE METINGEN

Bij de meeste waterschappen wordt het droge stof gehalte in de voeding naar de ontwatering continu gemeten. Niet alle waterschappen gebruiken deze meting ook om de polymeedosering mee bij te stellen. Bij Waterschap De Dommel gebeurt dit bijvoorbeeld niet omdat het polymeeerverbruik daar vooral bepaald wordt door de verhouding primair/secundair slib dat ontwaterd wordt en niet door het droge stof gehalte. Bij andere waterschappen is er meestal een gisting aanwezig voor de slibontwatering waardoor het droge stof gehalte niet sterk varieert.

Waterschap Velt en Vecht heeft een vlokmeter in gebruik. Met deze vlokmeter kan de operator de vlokkwaliteit zien door een glaasje op de sonde. Een optische sensor kan veranderingen in de vlokkwaliteit waarnemen en op basis daarvan de polymeedosering bijsturen. De ervaringen met dit systeem bij Waterschap Velt en Vecht zijn positief, hoewel men de meting niet gebruikt voor de directe sturing van het polymeer. De meting is wel waardevol om een trend in de ontwikkeling van de vlokstructuur waar te nemen. Waterschap Scheldestromen heeft ook een vlokmeter, maar gebruikt deze nauwelijks.

Verder voert Waterschap Velt en Vecht momenteel proeven uit met een droge stof meting van de slibkoek. Hiervan zijn nog te weinig resultaten bekend om te zeggen of dit waardevol is. Ten slotte heeft men zowel bij Waterschap De Dommel als bij Hoogheemraad Schieland en Krimpenerwaard in het verleden een centraat meting gehad die de zeta potentiaal van het centraat mat. Bij beide waterschappen waren de ervaringen niet positief. De meting bleek niet betrouwbaar door verstoppingen en luchtinslag.

Aan de hand van de rondgestuurde vragenlijst kon een beeld gekregen worden van de toepassing van inline-metingen bij de ontwatering van slib (Tabel 15). Het gebruik van een inline-meting voor de droge stof is erg populair, maar slechts de helft van de SOI's die zo'n meting hebben gebruikt deze ook in een automatische regeling. Waterschappen die de meting niet in de regeling gebruiken geven aan dat het niet nodig is omdat het droge stof gehalte uit de gisting constant is, of dat bijvoorbeeld juist veel verschillende slibsoorten worden ontwaterd. Andere inline-metingen worden maar zeer beperkt ingezet en al helemaal niet in een regeling opgenomen. Het meest wordt een troebelheidsmeting in het centraat/filtraat gebruikt. Hoewel er wel naar gevraagd werd in de vragenlijst rapporteert men geen positieve of negatieve ervaring over een dergelijke meting. Sommige waterschappen hebben in het verleden wel een zeta potentiaal meting gehad, maar gebruiken deze niet meer vanwege slechte ervaringen met de betrouwbaarheid.

TABEL 15

GEBRUIK VAN INLINE-METINGEN BIJ HET ONTWATEREN VAN SLIB OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 37 SOI'S

Gebruik inline meting	Toepassing als meting (% van SOI's)	Toepassing in regeling (% van SOI's)
Droge stof meting in voeding	57%	27%
Droge stof meting slibkoek	5%	0%
Troebelheid centraat /filtraat	11%	0%
Zeta potentiaal of streaming current centraat/filtraat	3%	0%
Vlokbeeld	5%	0%

3.4.4 BEWAKING VAN DE PRESTATIE

Bij alle waterschappen is gevraagd hoe zij de prestatie van de ontwatering volgen. De bedrijfsvoerders bepalen minimaal dagelijks de kwaliteit van de slibkoek en het polymeer verbruik. Veranderingen in de ontwaterbaarheid zullen op dit niveau in de organisatie snel opvallen. In de maand- en jaarrapportages wordt meestal alleen maar gekeken naar het droge stof gehalte van de slibkoek en nauwelijks naar het polymeerverbruik. In het algemeen wordt het droge stof gehalte van de slibkoek gezien als het belangrijkste resultaat. Als meer polymeer nodig is, wordt dat niet meteen gezien als een groot probleem. De achtergrond hiervan is dat de verwerking van de slibkoek een belangrijke kostenpost is en vooral wordt afgerekend per ton slibkoek die wordt afgevoerd. Een beter ontwateringsresultaat bespaart hierdoor direct op veel afvoer kosten. Over de gehele verwerkingsketen gezien hoeft dit echter niet het geval te zijn. Bij de monoverbranding van slib bij SNB en HVC is de droging van het slib immers relatief goedkoop door de beschikbaarheid van restwarmte. Bij SNB worden de kosten voor de aandeelhoudende waterschappen bijvoorbeeld vooral bepaald door het gehalte aan organische stof in de slibkoek. Hier leidt een verbetering van het ontwateringsresultaat tot een beperkt kosten voordeel.

Bij de meeste waterschappen is de prestatie van de slibontwatering onderwerp van het maandelijke afdelingsoverleg. In de meeste gevallen lijkt geen sprake van een duidelijke rapportage structuur waarbij de belangrijkste kentallen van de slibontwatering in een maandelijks management rapportage terecht komen.

Ook in de rondgestuurde vragenlijst is gevraagd naar de manier waarop men de prestatie van de slibontwatering volgt. De meeste waterschappen geven aan de resultaten te bewaken in interne managementrapportages en ook jaarlijks doelstellingen te formuleren ten aanzien van de prestatie. Meestal wordt de droge stofgehalte van de slibkoek genoemd. Het polymeerverbruik wordt niet altijd expliciet genoemd.

3.4.5 VERBETERPROJECTEN

Alle waterschappen is gevraagd welke verbeteringen er in de afgelopen jaren zijn doorgevoerd in de slibontwatering.

Bij vrijwel alle centrifuges is in de loop van de jaren een backdrive geïnstalleerd voor de regeling van het verschiltoerental tussen de schroef en de kom. Hierdoor wordt energie bespaard en zou volgens de leverancier ook een hoger droge stofgehalte worden bereikt. Dit laatste is in de praktijk bij geen van de waterschappen die dit hebben ingevoerd waargenomen. Bij waterschap Groot Salland heeft men eind jaren negentig veel veranderd aan de centrifuges. De centrifuges werken op een veel groter koppel dan voorgeschreven is door de oorspronkelijke leverancier, zodat men een hoger droge stof gehalte kan halen. Om dit mogelijk te maken heeft

men fors geïnvesteerd in een 3-traps planetaire tandwielkast. Verder bedrijft men de centrifuges met een slibniveau dat net boven het niveau ligt waarbij het centraat de centrifuge verlaat (men draait “negatief”). Hierdoor is er een heel dunne vloeistoflaag op het slib en dit belemmert het watertransport door de centrifuge. Daarom heeft men gaten in het lint van de schroef aangebracht om het watertransport door de centrifuge te verbeteren.

Bij waterschap Rivierenland heeft men de ervaring dat het belangrijk is om regelmatig de banden te wisselen op de zeefbandpersen (na 1-2 jaar). Deze banden moeten zo schoon mogelijk worden gehouden. Bij de filterpersen in Nijmegen was het zuren van het filterdoek erg belangrijk om een goed resultaat te blijven houden. In Nijmegen zijn ook proeven gedaan met het Kemicond-proces en een andere aanmaak van polymeer (39) (43).

Bij waterschap Scheldestromen heeft men op de bandfilterpersen op Walcheren veel geëxperimenteerd om de beste plaats voor de polymeerdosering te bepalen. Daarbij is ook goed gekeken naar een goede menging door het uittesten van mengkleppen. Ook bij waterschap Groot Salland is geëxperimenteerd met de locatie voor de polymeerdosering. Voor de slibontwatering in Zwolle bleek de beste doseerplek het doseerpunt op de centrifuge. Bij de slibontwatering in Deventer wordt het polymeer deels in de machine en deels voor de machine gedoseerd omdat dit het beste resultaat gaf. Hier maakt de mate van naverdunning van het polymeer ook veel uit. Bij Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard heeft men zelf een mengsysteem ontwikkeld voor de menging van het slib en het polymeer.

Zowel bij Waterschap Scheldestromen als bij Waterschap Groot Salland heeft men de ervaring dat het polymeer bij de opstart in de ochtend beter werkt nadat het een hele nacht heeft kunnen rijpen. Bij Waterschap Scheldestromen heeft men daarom eind 2011 proeven gedaan om de rijpingstijd te verlengen. Bij een proef van ongeveer 2 maanden werd de rijpingstijd verlengd van 138 minuten naar 364 minuten. Door de verdubbeling van de rijpingstijd daalde het polymeerverbruik van 21 g/kg ds naar 15 g/kg ds bij een constant droge stof gehalte van de koek van 26,4%. Na beëindiging van de proef nam het polymeergebruik toe tot 17,5 g/kg ds en daalde het droge stof gehalte van de koek naar 23,9%.

Bij Waterschap Velt en Vecht had men sinds de opstart van de membraanfilterpersen in 2006 problemen met het bereiken van een goed ontwateringsresultaat. Uiteindelijk heeft men vanaf 2008 dit resultaat met veel aandacht weer beter gekregen. Een van de verbeteracties betrof het realiseren van een stabiele en constante procesvoering. Een ander voorbeeld is de verwijdering van de steundoeken in de membranen omdat deze regelmatig verstopten. Het grootste effect heeft uiteindelijk de introductie van de struvietvorming gehad in 2010 (21).

Tabel 16 geeft een overzicht van alle verbeterprojecten die door de waterschappen genoemd werden in de rondgestuurde vragenlijst. Het aantal genoemde projecten is zeer divers. Het meest genoemd worden projecten die te maken hebben met de verbetering van de polymeer dosering.

TABEL 16

OVERZICHT VAN DOOR WATERSCHAPPEN UITGEVOERDE VERBETERPROJECTEN OP BASIS VAN VRAGENLIJST (16 WATERSCHAPPEN)

Overzicht van genoemde verbeterprojecten

Algemeen	Hoog slibniveau (negatief draaien)
Verbetering gisting (2x)	Gaten in ontwateringsschroef voor water transport
Invoering Octopus (2x)	Zeefbandpersen
Constant voeden (2x)	Drukplaten (zeefband)
Retourslibregeling: constantere voeding	Regelmatig wisselen banden bandfilter
Kemicond	Filterpersen
Airprex (struviet)	Regelmatig zuren filterdoeken (filterpers)
Polymeer	Steunen filterdoek verwijderd
Menging PE (4x)	Andere hulpstof bij filterpers
Nauwkeurige polymeer aanmaak (4x)	Filterpers: van platen met rillen naar noppen
Type polymeer (2x)	Verskillende filterdoeken
Locatie PE dosering (2x)	Verandering ontwatering
Overstap van poeder PE naar vloeibaar	Van membraanfilterpers naar centrifuge
Rijpingstijd polymeer	Van centrifuge naar zeefband
Drinkwater vs effluent voor PE	Van filterpers naar centrifuge
Centrifuges	Overstap van zeefband naar centrifuges
Backdrive (3x)	Nieuwe zeefbandpersen
Inspuitmodule centrifuge (BD3 cone)	Nieuwe centrifuges
Groter koppel centrifuges	

3.4.6 SLIBKARAKTERISERING EN POLYMEERKEUZE

De bezochte waterschappen is ook gevraagd of ze zelf labtesten uitvoeren om de ontwaterbaarheid van het slib te karakteriseren. Zo word in het Handboek Slibontwatering van de STOWA (1) aanbevolen om de filtreerbaarheid te meten met een filtratie-expressie cel (FE-cel). In de literatuur wordt ook veel gebruikt gemaakt van de capillary suction test (CST), labcentrifuges of het bepalen van de zeta-potentiaal. Geen van de bezochte waterschappen gebruikt zelf dergelijke methodes voor het karakteriseren van het slib. Ook in de vragenlijst is hiernaar gevraagd en maar 4 van de 16 waterschappen geven aan wel eens een FE-cel of CST test gebruikt te hebben. Meestal is dit in een ver verleden of door de leverancier van het polymeer. De waterschappen die de test wel eens gebruikt hebben geven meestal aan hier weinig toegevoegde waarde in te zien.

Selectie van het polymeer gebeurt in aanbestedingsprocedures waarbij de leveranciers zelf onderzoek doen naar het meest geschikte polymeer en bijbehorend verbruik. Gegevens die hierbij worden gegenereerd over slibkenmerken (bijvoorbeeld CST en SRF-waarden, SRF: specific resistance to filtration, zie ook paragraaf 2.3) worden niet met het waterschap gedeeld of door het waterschap opgevraagd. Optimalisatie van de dosering van het gekozen polymeer gebeurt vervolgens op praktijkschaal en niet met labproeven.

Bij de waterschappen is zelf weinig bekend over kenmerken van het gebruikte polymeer zoals molecuulgewicht of ladingsdichtheid. In vrijwel alle gevallen wordt een vloeibaar polymeer ingezet. Bij sommige waterschappen is dat een dispersie van polymeer en olie, bij andere waterschappen wordt een emulsie van polymeer, olie en water gebruikt. Sommige waterschappen melden dat zij vooral een emulsie gebruiken vanwege de waterbezwaarlijkheid van de olie (ABM-richtlijnen¹). Andere waterschappen herkennen dit probleem niet.

1 In mei 2000 is door de Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) de Algemene Beoordelingsmethodiek voor stoffen en preparaten in het kader van de uitvoering van het emissiebeleid water vastgesteld. Met de Algemene BeoordelingsMethodiek (ABM) wordt de waterbezwaarlijkheid van stoffen en preparaten op grond van hun eigenschappen ingedeeld in categorieën. Deze categorieën geven de mate van inspanning aan die wordt verlangd om de emissie naar water te saneren.

Het bovenstaande beeld wordt bevestigd door de antwoorden op vragen in de rondgestuurde de vragenlijst. Het merendeel van de slibontwateringen (68%) geeft aan een emulsie van polymeer, olie en water te gebruiken. Een kleiner aantal (19%) gebruikt een dispersie en een minderheid een vast polymeer (13).

Vrijwel geen enkele waterschap heeft informatie over ladingsdichtheid, molecuulgewicht of chemische samenstelling van het gebruikte polymeer. Slechts 3 van de 16 waterschappen kan hier informatie over geven. De informatie is dan kwalitatief van aard (hoog, zeer hoog).

3.4.7 POLYMEER ONTVANGST EN OPSLAG

Het polymeer werd bij de onderzochte locaties in bulk per vrachtwagen aangeleverd. Het volume van de opslagtanks varieerde tussen 8 tot 30 m³. In de meeste gevallen lag het volume tussen 10-15 m³. Hiermee beschikt men over een voorraad voor 2 weken tot soms wel 3 maanden slibverwerking.

De meeste waterschappen stelden geen bijzondere eisen aan de manier van aanleveren van het polymeer. Alleen Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard eist dat het polymeer warmer dan 5°C is en direct uit de fabriek wordt aangeleverd. Deze eis is gebaseerd op een slechte ervaring waarbij een lading polymeer was aangeleverd die te koud was geweest, waardoor de werking duidelijk minder was. Geen van de waterschappen voeren een kwaliteitscontrole uit op het geleverde polymeer. De meeste bedrijfsvoerders hebben echter niet de indruk dat er regelmatig een verkeerde batch polymeer wordt aangeleverd.

Geen van de bedrijfsvoerders rapporteren veel problemen met klontering van het polymeer. Bij Waterschap De Dommel heeft men wel de ervaring dat er klonterproblemen kunnen ontstaan als overgegaan wordt van een dispersie (op oliebasis) naar een emulsie (op water basis). Bij waterschap Scheldestromen verwijdert men elke vier jaar drab onderuit de polymeertank. De menging van het polymeer in de voorraadtank varieert sterk. Meestal worden roerders op de tank gebruikt, terwijl ook wel een rondpompsysteem wordt gebruikt. Sommige tanks zijn liggend opgesteld, andere staan verticaal. Bij Waterschap Groot Salland waren in eerst instantie snelle roerders opgesteld. Deze roerders worden nu alleen nog maar af en toe aangezet om het polymeer te mengen. Reden is dat men het idee heeft dat de snelle roerders de polymeerketens kunnen afbreken.

Tabel 17 vat de resultaten samen van de informatie uit de vragenlijst. Het beeld komt redelijk goed overeen met het beeld uit de interviews. Er is een grote variatie in de voorraad en de menging van het polymeer in de opslag. Er is maar één waterschap die een kwaliteitscontrole uitvoert van het ontvangen polymeer door het CZV gehalte van het polymeer te bepalen. Bij de bezochte waterschappen had men weinig problemen met klontering van het polymeer. In de vragenlijst antwoorden toch een aantal waterschappen dat zij hier wel eens problemen mee hebben gehad. De meeste problemen lijken samen te hangen met een slechte batch polymeer of door de overstap van een polymeer naar een ander polymeer.

TABEL 17

KENMERKEN EN ERVARINGEN POLYMEERONTVANGST EN –OPSLAG OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 37 SOI'S

Kenmerken polymeeraanmaak	Resultaat / Mediaan	Spreiding	Eenheid
In weken	4	2 – 12	weken
In volume	13	1 – 30	m ³
Menging			
langzame roerders	38%		% SOI's
snelle roerders	25%		% SOI's
rondpompsysteem	21%		% SOI's
geen menging	17%		% SOI's
Kwaliteitscontrole ontvangen polymeer			
Nee	15		# waterschappen
Ja	1		# waterschappen
Wijze van controle			
CZV-bepaling	1		# vermeldingen
Problemen met klontering van polymeer			
Nee	8		# waterschappen
Ja	8		# waterschappen
Genoemde oorzaken (meer oorzaken/waterschappen mogelijk)			
Relatie met PE-type/wisseling PE	6		# vermeldingen
Vocht	2		# vermeldingen
Probleem met doseerinstallatie	3		# vermeldingen

3.4.8 POLYMEER AANMAAK EN DOSERING

De eerste menging van het polymeer en water vindt bij de meeste waterschappen plaats in een compartiment met een intensieve menging. De intensiteit van menging in dit compartiment wordt niet geregeld of aangepast aan het type polymeer dat wordt opgelost. In sommige systemen (bijvoorbeeld Polymix) is deze verblijftijd niet meer dan enige seconden, bij andere systemen kan de duur van de verblijftijd oplopen tot 15-20 minuten. Vervolgens wordt het aangemaakte polymeer opgeslagen in een buffervat van waaruit de polymeer-oplossing gevoed wordt aan de ontwateringsapparatuur. Meestal wordt er niet geroerd in het buffervat. De verblijftijd in het buffervat wordt bepaald door het verbruik aan polymeer en kan variëren van 15 tot 45 minuten.

Bij geen van de bezochte waterschappen wordt nagegaan of de gehanteerde rijpingstijd voldoende is, bijvoorbeeld door meting van geleidbaarheid of viscositeit. Men neemt aan dat de rijpingstijd bij de moderne vloeibare polymeren niet meer zo van belang is. Recent onderzoek door Waterschap Scheldestromen heeft echter laten zien dat een langere rijpingstijd ook bij moderne polymeren het resultaat kan verbeteren (zie ook paragraaf 3.4.5). Ook bij Waterschap Groot Salland heeft men het gevoel dat het polymeer 's ochtends (na een nacht rijping) actiever is dan de rest van de dag.

Voor de aanmaak van het polymeer wordt vrijwel altijd gefilterd effluent gebruikt. Twee van de onderzochte ontwateringen gebruikten leidingwater. Bij één ontwatering gebeurt dit vooral omdat zij met effluent veel problemen met verstoppingen hadden. De andere ontwatering wordt binnenkort omgebouwd naar gebruik van effluent. Een aandachtspunt bij het gebruik van effluent zou kunnen zijn dat de pH in de meeste gevallen tussen 7 en 8 ligt. Het polymeer is juist stabiel onder licht zure omstandigheden. Ook kan de aanwezigheid van kationen (Ca, Mg) of anionen (nitraat, sulfaat) de effectiviteit beïnvloeden. Geen van de water-

schappen heeft echter de ervaring dat het polymeerverbruik afneemt als zij op leidingwater overstappen.

Meestal wordt het polymeer aangemaakt in een concentratie tussen 0,3 en 0,5% actief polymeer. Bij veel waterschappen wordt het polymeer daarna vlak voor de menging met het slib nog naverdund tot een concentratie van 0,1-0,3 %. De bedrijfsvoerders hebben het gevoel dat deze naverdunning weinig effect heeft op de werking van het polymeer. Alleen Waterschap Groot Salland meldt dat op de rwzi Deventer naverdunnen belangrijk is voor de goede werking. Op de rwzi Zwolle heeft de naverdunning dan weer weinig effect.

Bij de centrifuges vindt de menging vrijwel altijd plaats in de centrifuge zelf. Ook hier is de rwzi Deventer een uitzondering omdat het hier gunstig bleek om een deel van het polymeer al voor de centrifuge bij te mengen. Bij de zeefbandpersen (Walcheren, Arnhem) vindt de mening plaats in de leiding voor de zeefbandpers met een injectiesysteem met 4 doseerpunten op de omtrek van de leiding gevolgd door een mengklep. Bij Waterschap Scheldestromen heeft men de ervaring dat de mate van menging belangrijk is om het verbruik te optimaliseren.

TABEL 18

KENMERKEN POLYMEERAAANMAAK OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 37 SOI'S

Kenmerken polymeeraanmaak	Resultaat / Mediaan	Spreiding	Eenheid
Aanmaak			
Tijd intensieve menging	2	0,1 - 30	min
Tijd tussen start aanmaak en gebruik	40	10 - 240	min
Type water voor aanmaak			
Effluent	24		# SOI's
Leidingwater	7		# SOI's
Oppervlaktewater	1		# SOI's
Concentratie PE-oplossing	0,5	0,1 - 6	% pe actief
% SOI's die het PE naverdund	43%		% SOI's
Concentratie PE-oplossing bij naverdunning	0,2%	0,02 - 0,5	% pe actief
Onderzoek naar rijpingstijd			
Nee	12		# waterschappen
Ja	4		# waterschappen
Type onderzoek			
Relatie rijpingstijd en temperatuur	2		# vermeldingen
Theoretische berekening en praktijktest	1		# vermeldingen
Onderzoek verlenging rijpingstijd	1		# vermeldingen
Menging met het slib			
Wijze van menging			
mengklep	6		# SOI's
statische menger	8		# SOI's
in/voor centrifuge	15		# SOI's
doseerring	6		# SOI's
inline mixer	1		# SOI's

Tabel 18 vat de resultaten van de onder de waterschappen verspreide vragenlijst samen. Ook uit deze informatie komt naar voren dat er veel variatie is in de wijze van aanmaken van het polymeer. De tijdsduur dat het polymeer intensief gemengd wordt kan variëren van enkele tientallen secondes tot meer dan een half uur. Voor de aanmaak van de polymeeroplossing wordt voornamelijk effluent gebruikt en bij bijna de helft van de SOI's vindt nog een naverdunning plaats. Bij de aanmaak en menging vertrouwt men op volumetrische bepalingen om de mengverhouding polymeer en water in te stellen. Geen enkele waterschap noemt geavanceerdere online controles van de rijpingstijd aan de hand van bijvoorbeeld geleidbaarheid of viscositeit. Vier waterschappen hebben wel eens een controle van de rijpingstijd uitgevoerd, maar dit lijkt geen regelmatig aandachtspunt.

Om vast te stellen of de rijpingstijd van het polymeer in de praktijk een probleem is, is verkennend onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van de geleidbaarheid van de aangemaakte polymeeroplossing als maat voor de rijping van het polymeer. Een notitie over de resultaten van dit onderzoek is opgenomen in bijlage 2. In het onderzoek is op lab schaal de rijpingstijd van vijf verschillende polymeren bepaald aan de hand van de ontwikkeling van de geleidbaarheid. Vervolgens is de maximaal gemeten geleidbaarheid vergeleken met de geleidbaarheid van de polymeeroplossing in de praktijkinstallatie. Dit onderzoek laat zien dat de verschillende polymeren na 10 minuten 90-95% van de maximale geleidbaarheid bereiken. De tijdsduur voor het bereiken van de maximale geleidbaarheid verschilt sterk per polymeer en kan variëren van 10 tot 60 minuten.

Een opvallende constatering bij de proeven was dat de manier en mate van menging grote invloed had op de bereikbare maximale geleidbaarheid van de polymeeroplossing. Dit wijst erop dat het bereiken van een maximale geleidbaarheid niet betekent dat dan ook de maximale rijping is bereikt. Verder laat het onderzoek zien dat bij vier van de vijf onderzochte polymeren in het lab een hogere geleidbaarheid werd bereikt dan in de praktijkinstallatie. Dit kan er op wijzen dat in de praktijkinstallatie niet de maximale rijping wordt bereikt. Waarschijnlijk speelt de wijze van menging hierbij een belangrijk rol.

3.4.9 BEDIENING VAN DE ONTWATERING

Bij alle waterschappen is er ongeveer 1 fte in dagdienst gereserveerd voor de bediening van de slibontwatering. Per waterschap zijn er wel verschillen hoe men hun personeel inzet. Bij Waterschap Velt en Vecht en Waterschap Scheldestromen wordt de apparatuur volcontinu bedreven (24 uur/dag, 7 dagen per week). Bij de andere bezochte waterschappen wordt de ontwatering alleen op werkdagen bedreven, waarbij de apparatuur 's avonds vaak nog wel automatisch verder gaat totdat de slibbuffers leeg zijn.

Bij een aantal waterschappen is een vaste kracht verantwoordelijk voor de slibontwatering, terwijl er bij andere waterschappen een rotatie-systeem is waarbij de operators die verantwoordelijk zijn voor de slibontwatering regelmatig wisselen. Bij drie van de zes waterschappen heeft men de ervaring dat de tijd die beschikbaar is voor de bediening van de slibontwatering in de afgelopen jaren minder is geworden. Daarbij moet wel worden aangetekend dat er een trend is dat er een striktere scheiding wordt gemaakt tussen bediening en onderhoud. In het verleden had men misschien meer tijd beschikbaar voor de slibontwatering, maar moest in die tijd ook het onderhoud gebeuren. Bij twee waterschappen zijn er de afgelopen jaren juist weinig veranderingen geweest in de bezetting en organisatie van de slibontwatering. Bij Waterschap Velt en Vecht heeft men de personele inzet juist verhoogd, mede ingegeven door problemen in de bedrijfsvoering van de ontwatering.

Er ontstaat de indruk dat door de striktere functiescheiding en het gebruik van rotatiesystemen de betrokkenheid van de bedrijfsvoerders bij de optimalisatie van de ontwatering afneemt. Bij waterschap Groot Salland is men sterk van mening dat de betrokkenheid van de bedrijfsvoering essentieel is voor een goed resultaat. Een optimaal resultaat kan in hun ervaring alleen bereikt worden door veel aandacht en bijstellen van de instellingen. Dit wordt ondersteund door de ervaring bij Waterschap Rivierenland waarbij de kleinere ontwateringen nu deels onbemand worden bedreven. Bij Waterschap Velt en Vecht is men ook sterk van mening dat voldoende aandacht voor de slibontwatering nodig is om tot een goed eindresultaat te komen.

Tabel 19 en Tabel 20 vatten de resultaten samen van de vragenlijst. De antwoorden van de waterschappen laten zien dat een groot aantal slibontwateringen volcontinu draait, terwijl meestal alleen in dagdienst personeel aanwezig is. Ook de SOI's die alleen op werkdagen werken, draaien meer dan 8 uur per dag en dus ook deels onbemand. De meeste SOI's zijn dus in staat om onbemand te functioneren. Gemiddeld is er 1 fte beschikbaar in dagdienst om de SOI te bedienen. Uit de antwoorden op de vragenlijst komt naar voren dat er bij de meeste waterschappen steeds minder tijd en aandacht beschikbaar is voor het bedienen van de slibontwatering. Dit kan komen doordat men vindt dat er minder uren beschikbaar zijn voor de bediening of door de al eerder genoemde sterkere scheiding tussen onderhoud en bediening. Opvallend is wel dat de meeste waterschappen melden dat er nauwelijks wisselingen in het personeel zijn. Dit bevestigt het beeld uit de interviews waaruit naar voren kwam dat veel bedrijfsvoerders vele jaren ervaring hebben met de SOI.

TABEL 19 KENMERKEN BEDRIJFSVOERING OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 37 SOI'S

Kenmerken bedrijfsvoering	Waarde	Spreiding	Eenheid
Werknemers per SOI	1,0	0 – 7,6	# fte /SOI
Bedrijfsvoering			
Op werkdagen, meer dan 8 uur/dag	13		# SOI's
Volcontinu (7 dagen, 24 uur/dag)	15		# SOI's
Volcontinu op werkdagen	1		# SOI's
Op werkdagen, in dagdienst	5		# SOI's
Bemensing			
Alleen in dagdienst	29		# SOI's
volledig onbemand	3		# SOI's
2 ploegen dienst	2		# SOI's
niet ingevuld	3		# SOI's

TABEL 20 VERANDERINGEN IN DE BEDRIJFSVOERING OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 16 WATERSCHAPPEN

Kenmerken bedrijfsvoering	Meer	Gelijk	Minder
Scheiding onderhoud en bediening	62%	31%	8%
Uren beschikbaar voor bediening	13%	20%	67%
Wisseling personeel	40%	60%	0%
Tijd voor analyse van de prestatie	29%	29%	42%
Automatisering	43%	47%	0%

3.4.10 TRAINING EN OPLEIDING

Bij alle bezochte waterschappen gebeurt het inwerken van nieuwe medewerkers door “training-on-the-job”. Meestal hebben de medewerkers een wateropleiding (UTAZ) gevolgd, maar de informatie over slibontwatering hierin wordt als vrij beperkt gezien. In de meeste gevallen is er een werkinstructie of procesblad waarin de belangrijkste aandachtspunten zijn vastgelegd. Verder valt op dat er bij de meeste waterschappen weinig verloop in personeel is, zodat er ook geen grote behoefte is aan opleidingstrajecten. Sommige bedrijfsvoerders geven aan meer informatie en achtergronden over de ontwatering van slib wel te waarderen. Anderen zien hier juist geen meerwaarde in en geven aan dat het vak toch in de praktijk geleerd moet worden. Daarbij is het belangrijk dat er ruimte is om fouten te mogen maken. Alleen dan is er voldoende vrijheid om het beste uit de apparatuur te halen.

Het beeld bij de bezochte waterschappen wordt bevestigd door de antwoorden van de andere waterschappen in de vragenlijst. “Training-on-the-job” is verreweg de belangrijkste training, terwijl UTAZ meestal een basisvoorwaarde is. Enkele waterschappen zeggen ook een interne opleiding te hebben, waar meestal geen nadere toelichting op wordt gegeven. Bij enkele waterschappen houdt deze interne opleiding in dat de werknemer meeloopt met een ervaren bedrijfsvoerder. De externe opleiding wordt meestal ook niet nader toegelicht. Waar dit wel wordt gedaan, worden trainingen als BHV of elektrisch schakelen genoemd. Ruim een derde van de waterschappen geeft aan geen werkinstructies of procedures te hebben voor de bedrijfsvoering van de slibontwatering.

TABEL 21

TRAINING EN OPLEIDING OP BASIS VAN INFORMATIE VAN 16 WATERSCHAPPEN

Kenmerken bedrijfsvoering	Resultaat	Eenheid
Opleiding		
UTAZ	88%	% waterschappen
Training on the job	100%	% waterschappen
Interne opleiding	31%	% waterschappen
Externe opleiding	19%	% waterschappen
Aanwezigheid werkinstructies of procedures		
Ja	64%	% waterschappen
Nee	36%	% waterschappen

3.4.11 BELANGRIJKSTE INVLOED OP ONTWATERINGSRESULTAAT

In een open vraag is zowel bij de interviews als in de vragenlijst gevraagd naar wat de grootste invloed heeft op de prestatie van de slibontwatering. De vraag is bewust open gesteld om een onbevangen antwoord te krijgen. Vanwege het open karakter van de vraag zijn de antwoorden wel divers. Verreweg het vaakst wordt de aandacht en betrokkenheid van de operators genoemd als belangrijkste invloedsfactor. Daarna worden vaak aspecten genoemd die samenhangen met de slibherkomst en optimalisaties van de ontwateringsapparatuur. Als alle antwoorden gegroepeerd worden blijken antwoorden die samenhangen met bediening, slibkwaliteit en gebruikte apparatuur ongeveer even vaak genoemd te worden.

TABEL 22

**BELANGRIJKSTE INVLOED OP HET ONTWATERINGSRESULTAAT OP BASIS VAN ANTWOORDEN UIT INTERVIEWS EN VRAGENLIJST
(16 WATERSCHAPPEN)**

Belangrijkste invloed op het ontwateringsresultaat	# vermeldingen
Bediening en bedrijfsvoering	13
Aandacht/betrokkenheid operators	8
Aanbod in relatie tot capaciteit	2
Droge stof gehalte in de voeding	2
Optimalisatie automatisering	1
Slubsamenstelling en herkomst	11
Slubsamenstelling/type slib	4
Extern slib	2
Slibgisting	2
Omschakeling naar bio-P	2
Seizoen	1
Ontwateringsapparatuur en polymeer	9
PE keuze	1
PE aanmaak	1
Drukplaten 1e ontwatering (zeefband)	1
Verblijftijd in de pers	1
Slibtemperatuur	1
Menging	1
Banddruk (zeefband)	1
Vlokgrootte	1
Filterdoek (type/reiniging)	1

4

DISCUSSIE

4.1 AANLEIDING VAN HET ONDERZOEK

De directe aanleiding voor dit onderzoek was de gedeelde ervaring bij waterschappen dat het ontwateren van slib steeds meer moeite kost. Deze ervaring werd ondersteund door gegevens uit de bedrijfsvergelijking van de waterschappen waaruit een flinke toename van het polymeergebruik voor de ontwatering bleek.

In het kader van dit onderzoek is dieper ingegaan op de ontwikkelingen op het gebied van de ontwatering van slib. Allereerst is aan de hand van een literatuur onderzoek onderzocht welke handvatten het wetenschappelijk onderzoek biedt bij het begrijpen van de factoren die van invloed zijn op het ontwateren van slib. Daarna zijn de ontwikkelingen in Nederland met betrekking tot de ontwatering van slib in beeld gebracht aan de hand van landelijke data en detail onderzoek bij een aantal waterschappen. Dit onderzoek is gecombineerd met aandacht voor ontwikkelingen in de bedrijfsvoering van de ontwatering.

Dit onderzoek laat zien dat bij veel waterschappen steeds meer polymeer nodig is om hetzelfde ontwateringsresultaat te bereiken. Het ontwateringsresultaat wordt daarbij uitgedrukt als het droge stof percentage van de ontwaterde slibkoek. Gemiddeld genomen lukt het de waterschappen wel om dit eindresultaat op een constant niveau te houden, maar dit gaat vaak ten koste van een toename van het polymeergebruik van 20-50%. Uit het onderzoek komt ook naar voren dat de focus van de waterschappen vooral ligt op het bereiken van dit constante ontwateringsresultaat. De kosten voor het hogere polymeerverbruik worden meestal als ondergeschikt gezien aan de kosten van een nattere slibkoek.

In de volgende paragrafen wordt nader onderzocht in hoeverre het uitgevoerde onderzoek verklaringen kan bieden voor de beschreven ontwikkeling. Deze verkenning start eerst met een beschouwing van het relatieve belang van een drogere slibkoek versus een hoger polymeerverbruik.

4.2 ONTWATERINGSRESULTAAT IN RELATIE TOT POLYMEERGEBRUIK

Tabel 23 geeft een hypothetische berekening van de financiële effecten van een verslechtering van de ontwaterbaarheid voor een slibontwatering met een jaarlijkse capaciteit van 8.000 ton droge stof per jaar. In het voorbeeld is er van uit gegaan dat om de een of andere reden de ontwaterbaarheid van het slib afneemt ten opzichte van de nulsituatie. De bedrijfsvoerder kan deze situatie accepteren of de afname van de ontwaterbaarheid tegen gaan door meer polymeer in te zetten. Het voorbeeld is zoveel mogelijk gebaseerd op representatieve cijfers voor een ontwatering van slib met centrifuges. Voor de verwerking van slib is een tarief van 82 euro/ton slibkoek gehanteerd en voor het polymeer 4 euro/kg actief. Beide getallen zijn gebaseerd op gegevens uit de bedrijfsvergelijking van 2009.

De berekening laat zien dat het in dit voorbeeld inderdaad gunstiger is om meer polymeer in te zetten, maar dat het verschil niet erg groot is. Het blijft dus belangrijk om per situatie te bekijken of het zinvol is om meer polymeer in te zetten om het ontwateringsresultaat te handhaven.

TABEL 23 HYPOTHETISCH VOORBEELD VAN DE FINANCIËLE EFFECTEN VAN DE VERSLECHTERING VAN DE ONTWATERBAARHEID VAN SLIB

	Nul situatie	Slechter resultaat, gelijk PE	Gelijk resultaat, meer PE
Ontwateringsprestatie			
Droge stof slibkoek (%ds)	24,0%	23,0%	24,0%
Polymeerverbruik (g actief/kg ds)	13	13	16
Meerkosten in vergelijking met nulsituatie (8.000 ton ds/jaar)			
Polymeer		-	€ 96.000
Slibverwerking		€ 119.000	-
Totaal		€ 119.000	€ 96.000
Specifieke meerkosten (€/ton ds)		€ 15	€ 13

In dit voorbeeld is er van uitgegaan dat het tarief voor de slibverwerking gelijk blijft als slib met een lager droge stof gehalte wordt aangevoerd. Of dit ook daadwerkelijk het geval is zal afhangen van de relatie met de slibverwerker en het type eindverwerker. Als het slib bijvoorbeeld gecomposteerd of gedroogd wordt is natter slib snel ongunstiger voor de slibverwerker en gaat deze aanneme zonder meer op. In het geval het slib in de mono-verbrandingsinstallaties van SNB of HVC wordt verwerkt is de situatie genuanceerder. Deze installaties kunnen het nattere slib vrij eenvoudig verwerken doordat zij voldoende restwarmte over hebben om het slib te drogen. Het water aandeel in het slib veroorzaakt maar ongeveer 20% van de totale kosten voor het verwerken van slib (46). Over de gehele slibverwerkingsketen bezien zijn de kosten voor het verwerken van het nattere slib via deze route daarom maar een vijfde van de kosten in de voorbeeld berekening.

Daarnaast brengt ook het gebruik van polymeer milieueffecten met zich mee die moeten worden meegewogen in de afweging. Een kilogram polymeer vertegenwoordigt een energiewaarde van 85,6 MJ/kg droge stof (GER-waarde, zie (47)). Het extra polymeerverbruik in het voorbeeld vertegenwoordigt daarom een energiewaarde van 2.100 GJ/jaar. Het drogen van natter slib kost ook extra energie: circa 3,0 MJ/kg water, in dit voorbeeld dus ongeveer 4.300 GJ/jaar. Deze energiewaarden zijn niet helemaal vergelijkbaar doordat de energie voor het drogen nog teruggerekend zou moeten worden naar primaire energie. Deze berekening is erg afhankelijk van het type energie dat ingezet wordt voor de droging (restwarmte of aardgas). De berekening laat vooral zien dat de energie-inhoud van het extra polymeerverbruik opweegt tegen de energiekosten van de extra slibdroging, maar tegelijk ook niet verwaarloosbaar is.

In het voorbeeld is gekozen voor parameters die kenmerkend zijn voor een ontwatering met centrifuges omdat dit de meest gebruikte methode van ontwatering is. Zeefbandpersen geven gemiddeld een wat nattere slibkoek bij een lager polymeerverbruik. In een dergelijke situatie is het sneller voordelig om meer polymeer te gebruiken om het ontwateringsresultaat te handhaven.

4.3 LITERATUURONDERZOEK

4.3.1 INVLOED SLIBSAMENSTELLING

Er is uitgebreid literatuur onderzoek gedaan naar nieuwe inzichten in de laatste 10 jaar die kunnen verklaren welke parameters van invloed zijn op het ontwateringsresultaat. De onderzoekers blijken daarbij vooral te kijken naar parameters als Capillary Suction Time (CST), Specific Resistance to Filtration (SRF) en het droge stof gehalte van de ontwaterde slibkoek. Helaas hebben deze parameters geen grote voorspellende waarde voor de ontwateringsresultaten op praktijkschaal. Verder wordt maar in een beperkt aantal onderzoeken ook gekeken naar invloeden op polymeer gebruik. Vrijwel geen enkel onderzoek rapporteert ook over afscheidingsrendement. De gevonden onderzoeken kijken vooral naar de invloed van de chemische samenstelling van het slib op de eerder genoemde ontwateringskenmerken (CST, SRF en droge stof gehalte). Er wordt vaak geen relatie gelegd tussen de gevonden kenmerken van het slib en het type zuiveringsproces dat bij dit slib hoort. Een betere interactie tussen fundamenteel onderzoek naar ontwateringskenmerken van slib en de praktijksituatie kan mogelijk tot waardevollere inzichten leiden.

De gevonden literatuur laat wel duidelijk zien dat er een verschil is tussen de flocculeerbaarheid en bezinkbaarheid van slib enerzijds en de ontwaterbaarheid anderzijds. Goed flocculeerbaar slib blijkt niet altijd slib dat goed ontwatert. Een belangrijk verschil tussen bezinken en ontwateren is de expressie-fase die bij ontwateren nodig is om de laatste resten vrij water uit het slib te persen. Dit verschil verklaart waarschijnlijk ook dat er in de praktijk alleen in sommige situaties een verband is waar te nemen tussen slib volume index en het ontwateringsresultaat.

Onderzoek laat zien dat het maximaal haalbare eind droge stofgehalte vooral wordt bepaald door het vrije water in slib. Chemisch gebonden en interstitieel water kunnen met mechanische middelen niet verwijderd worden. Met een thermogravimetrische methode is dit gehalte aan vrij water te bepalen door een slibmonster langzaam te drogen en de droogsnelheid te volgen. Een dergelijke analyse kan een benchmark geven voor de praktijk door te laten zien hoe dicht men in de praktijk in de buurt komt van het theoretisch maximum. Als een dergelijke analyse regelmatig uitgevoerd wordt kan het inzicht geven in fundamentele veranderingen van de slibsamenvorming. Hierdoor kan de bedrijfsvoerder onderscheid maken tussen invloeden van de bedrijfsvoering van de ontwatering en invloeden van het slib. Helaas geeft deze analyse minder inzicht in het polymeergebruik voor de ontwatering.

Bij de ontwaterbaarheid van slib speelt de extracellulaire polymeer substantie (EPS) een belangrijke rol. Voor de ontwaterbaarheid van het slib is het van belang onderscheid te maken tussen het oplosbare en colloïdale deel van de EPS en het niet oplosbare deel. Het oplosbare en vooral het colloïdale deel van de EPS heeft vooral veel invloed op het polymeerverbruik bij de ontwatering van slib. Meer colloïdaal EPS en dan met name eiwitrijk EPS zorgt voor een grotere negatieve lading van de vlokstructuren die vervolgens door het polymeer geneutraliseerd moet worden. Eiwitten hebben hierbij een grote invloed door hun lading.

Voor het niet-oplosbare deel van de EPS is van belang voor het gedrag van het slib bij de expressie fase van het te ontwateren slib. Een groter aandeel aan koolhydraten in het EPS lijkt een positief effect te hebben op de ontwaterbaarheid, terwijl een groter aandeel aan eiwitten ook hier een negatieve invloed heeft. Bij het samenpersen van het slib zorgt de grotere lading tot afstoting van gelijke ladingen die dan steeds dichter bij elkaar komen. Hierdoor wordt het

moeilijk om de laatste beetje water uit het slib te persen. Ook de hydrofobiciteit (mate van waterafstoting) van de slibvlokken heeft een negatieve invloed. Hydrofobe vlokken hebben de neiging om elkaar snel op te zoeken en daarmee veel vrij water in te vangen.

In de gevonden literatuur wordt vervolgens weinig aandacht besteed aan de invloed die verschillende zuiveringsprocessen hebben op de EPS structuur van het te ontwateren slib. Meestal wordt daarbij alleen naar de flocculeerbaarheid/bezinkbaarheid van het slib gekeken. Wel laat onderzoek zien dat het vergisten van slib leidt tot een duidelijk groter aandeel aan colloïdaal eiwit in het slib. De vergisting van slib zou daarmee een negatieve invloed hebben op de ontwaterbaarheid van slib, terwijl er in de praktijk vaak juist van uitgegaan wordt dat het vergisten van slib de ontwaterbaarheid verbetert.

Verder kunnen kationen als Ca, Mg, Fe en Al een grote invloed hebben op de ontwaterbaarheid van slib. Hogere concentraties van deze kationen zorgen voor neutralisatie van de lading in de vlokken en daarmee voor een betere ontwaterbaarheid en polymeerverbruik van het slib. Er zijn ook aanwijzingen dat Ca invloed heeft op de ontwaterbaarheid van slib na vergisting. In principe zou de ontharding van drinkwater daarmee een negatieve invloed kunnen hebben op de ontwaterbaarheid van slib, als dit ook zou leiden tot een lager gehalte aan calcium en magnesium in het influent van de rioolwaterzuivering. Er zijn echter weinig data over hardheid van rioolwater bekend om hier een duidelijke relatie mee te kunnen leggen.

De aanwezigheid van vrije tweewaardige magnesium-ionen in het slib zouden ook een verklaring kunnen bieden voor de in de praktijk waargenomen verbetering van de ontwatering door de vorming van struviet in het te ontwateren slib. Vaak wordt deze verbetering toegeschreven aan de verlaging van het gehalte aan vrij fosfaat in het slib. In de literatuur is echter geen duidelijk onderzoek teruggevonden die een relatie legt tussen het fosfaat en de ontwaterbaarheid van slib. Wel is gevonden dat fosfaat in grote concentraties aanwezig kan zijn in EPS-structuren en dat het de hydrofobiciteit van slib kan beïnvloeden. Daarmee zou er een relatie kunnen zijn, maar deze is echter nergens aangetoond. In het detailonderzoek dat voor deze studie bij Waterschap Velt en Vecht werd uitgevoerd is een duidelijke verbetering te zien van de ontwaterbaarheid van het slib op het moment dat de struvietvorming gestart wordt. Op dat moment daalt ook de fosfaatconcentratie in het filtraat, maar in de maanden erna verbetert de ontwaterbaarheid nog verder zonder dat de fosfaatconcentratie verder daalt. De verbetering van de ontwaterbaarheid correleert wel met een toename van de magnesium concentratie in het slib. Het lijkt waarschijnlijk dat de magnesium concentratie van meer belang is dan de fosfaat concentratie.

Ammonium en kalium lijken een negatieve invloed hebben op de ontwaterbaarheid van slib. De aanwezigheid van meer ammonium en kalium correleert in het gevonden onderzoek echter met de aanwezigheid van meer eiwitrijk EPS, waarvan bekend is dat het een negatieve invloed heeft op de ontwaterbaarheid. Het onderzoek naar de invloed van deze ionen is niet heel breed opgezet en meer onderzoek is nodig om dit verband te bevestigen.

Ten slotte is er in de literatuur relatief recent onderzoek gevonden dat relaties legt tussen de viscositeit van slib en de ontwaterbaarheid ervan. Zo laat onderzoek zien dat viskeuzer slib moeilijker ontwaterbaar is en dat de viscositeit van slib een voorspellende waarde heeft voor de ontwaterbaarheid van het slib. Ander onderzoek laat zien dat viscositeitsmeters ook gebruikt zouden kunnen worden om te onderzoeken hoeveel de slibvlokken zijn blootgesteld aan afschuifspanningen en of de polymeerdosering adequaat is. Het verschil in blootstelling

aan afschuifspanningen levert ook een verklaring voor het verschillende polymeerverbruik tussen centrifuges en zeefbandpersen. Het onderzoeksveld lijkt echter nog in ontwikkeling te zijn en heeft nog niet geleid tot praktische toepassingen.

4.3.2 GEBRUIK EN DOSERING VAN POLYMEER

Er wordt weinig openbare literatuur gepubliceerd over onderzoek naar de beste manieren om het polymeer te gebruiken en te doseren. De literatuur die wel gevonden werd laat zien dat de molecuulgrootte en de ladingsdichtheid van het polymeer de grootste invloed hebben op het ontwateringsresultaat. Polymeren met een grotere molecuulgrootte leiden bij lagere doseringen al tot snelle vlokvorming, maar bieden niet altijd het hoogste droge stof gehalte omdat de snelle vlokvorming kan leiden tot het invangen van water in de vlok die later weer moeilijk te verwijderen is. Polymeren met middelmatige ketenlengtes vergen een hogere dosering, maar kunnen wel een hoger droge stof gehalte opleveren. Daarbij is ook de lading van het polymeer van belang. Een hogere ladingsdichtheid zorgt voor betere neutralisatie van de lading en daarmee tot een hoger droge stof gehalte. Dit is vooral van belang voor de expressie-fase van de ontwatering.

De keuze van het polymeer en de gehanteerde dosering zorgen vooral dat men zo dicht mogelijk in de buurt komt van het maximaal haalbare droge stof gehalte voor een bepaald type slib. Het polymeer kan de verhouding gebonden/vrij water niet beïnvloeden en daarmee ook niet het maximale ontwateringsresultaat. Door het gehalte aan vrij water te bepalen zou men dit maximale ontwateringsresultaat kunnen vaststellen. Vervolgens kan men onderzoeken hoe ver men met het gebruikte polymeer af ligt van dit ontwateringsresultaat. Zo krijgt men een indruk of het zin heeft om de polymeerdosering verder te verbeteren.

In de praktijk wordt weinig aandacht besteed aan het volgen van de kwaliteit van het ontvangen polymeer. Toch zijn er wel methoden om deze kwaliteit te volgen. Zo is de viscositeit een maat voor de molecuulgrootte en kan men door bepaling van de (toename van) de geleidbaarheid of het bepalen van de “streaming current” een indicatie krijgen van de ladingsdichtheid van het polymeer.

Bij het aanmaken van het polymeer is het van belang om te zorgen voor voldoende rijpingstijd. Dit is bij het oplossen van vaste polymeren zeker van belang, maar blijft ook bij de modernere vloeibare polymeren van belang. Het verloop van de rijping van het polymeer is vast te stellen door de geleidbaarheid of viscositeit van de oplossing te volgen. De verblijftijd van het polymeer moet ook niet te lang zijn, omdat dan het gevaar bestaat dat het polymeer gaat hydrolyseren. Een hogere pH leidt tot een snellere hydrolyse dan een lage pH. Een onderzoek in België heeft verbeteringen laten zien in de ontwaterbaarheid van slib op praktijkschaal met het aanzuren van de polymeeroplossing om hydrolyse tegen te gaan.

4.3.3 PROCESREGELING EN BEDRIJFSVOERING

In de literatuur werden weinig nieuwe mogelijkheden gevonden voor het verbeteren van de procesregeling. Rond 2002 is door STOWA onderzoek gedaan naar de zogenaamde OCTOPUS regeling waarbij ook de troebelheid van het centraat werd meegenomen in de regeling. De metingen van de viscositeit van het centraat wordt in recentere literatuur aanbevolen als een alternatief voor de bewaking van de centraatkwaliteit.

Uit publicaties in Neerslag en H₂O komen weinig nieuwe ontwikkelingen naar voren met betrekking tot het ontwateren van slib. In de meest recente publicaties wordt veel verwacht van de verbetering van de ontwaterbaarheid van slib door de invoering van thermische drukhydrolyse. De uitgevoerde proeven laten inderdaad een sterke verbetering van de ontwaterbaarheid zien. Cijfers over de invloed op het polymeerverbruik worden binnenkort hopelijk gepubliceerd. Op grond van het uitgevoerde literatuuronderzoek zou thermische hydrolyse van het slib juist kunnen leiden tot een verdere toename van het polymeergebruik doordat waarschijnlijk meer colloïdaal eiwit wordt vrij gemaakt uit het slib door de hydrolyse.

Een andere belangrijke ontwikkeling in de bedrijfsvoering is de manier waarop omgegaan wordt met de aanbesteding van het polymeergebruik. Steeds meer waterschappen gaan het polymeer gezamenlijk aanbesteden in mini-competities tussen de leveranciers.

4.4 TRENDS OP DE RIOOLWATERZUIVERINGEN

Het onderzoek laat zien dat er de laatste jaren sprake is van een sterke toename van het polymeerverbruik bij een groot aantal ontwateringslocaties. De bedrijfsvergelijking van de waterschappen laat zien dat er bij 15 van de 24 waterschappen een toename is van meer dan 20% van het specifieke polymeergebruik (kg PE/kg ds) in 2009 ten opzichte van 2006. Bij 5 waterschappen is de toename meer dan 50%. Bij maar 5 andere waterschappen is er sprake van een (lichte) afname van het polymeerverbruik.

Deze gegevens worden bevestigd door het detailonderzoek dat bij 8 waterschappen is uitgevoerd. Deze data laat zien dat het gebruik al vanaf 2001 langzaam toeneemt, maar dat deze vanaf 2008 op een groot aantal locaties opeens flink toeneemt. Daarbij blijft het behaalde droge stof gehalte van de slibkoek redelijk constant. Dit blijkt uit de data van de bedrijfsvergelijking, het CBS en het detailonderzoek van de waterschappen. Omdat de verslechtering van de ontwatering dus vooral zijn effect heeft op het polymeergebruik, zijn gegevens van het CBS en de bedrijfsvergelijking beperkt bruikbaar voor een analyse van mogelijke oorzaken. Deze data bevatten immers geen cijfers over polymeergebruik. De gegevens van de bedrijfsvergelijking geven alleen data over het polymeerverbruik per waterschap en niet per ontwateringslocatie, waardoor ook deze data alleen bruikbaar is voor het identificeren van algemene trends. Om een verklaring te vinden voor de sterke toename van het polymeergebruik vanaf 2008 is onderzocht of er rond die periode belangrijke wijzigingen in de bedrijfsvoering van de rioolwaterzuiveringen hebben plaatsgevonden.

De gegevens van het CBS laten zien dat de laatste jaren vooral het droge stof gehalte van slib ontwaterd met centrifuges wat is afgenomen, terwijl deze bij zeefbandpersen juist wat is toegenomen. De relatieve marktaandelen zijn min of meer constant. Bij de waterschappen uit het detailonderzoek is het ontwateringsresultaat van zowel centrifuges als zeefbandpersen juist constant. In het detailonderzoek was de toename in het polymeerverbruik gemiddeld hoger bij zeefbandpersen dan bij centrifuges. Bij alle ontwateringsmethoden werd een duidelijke toename geconstateerd. De slechtere ontwaterbaarheid is dus niet toe te schrijven aan één methode van ontwatering.

Vanaf 2008 laten de gegevens van het CBS een toename zien van het aandeel vergist slib dat ontwaterd wordt. Deze toename valt samen met een toename van de verwerking van extern slib op enkele centrale locaties. Opvallend is verder dat de laatste vijf jaar vooral het ontwateringsresultaat afneemt van uitgestort slib dat in centrifuges wordt ontwaterd. De gegevens

van het detailonderzoek laten echter zien dat het polymeerverbruik even hard gestegen is bij ontwateringen met gisting als zonder gisting. De gegevens laten ook zien dat het polymeergebruik vaak net zo hard gestegen is bij locaties die geen extern slib verwerken als bij locaties die veel extern slib verwerken. Wel bevestigen de gegevens de conclusies uit het literatuuronderzoek dat de vergisting van slib leidt tot een hoger polymeerverbruik. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met de invloed een voorbezinking op het ontwateringsresultaat. De aanwezigheid van primair slib verlaagt het polymeerverbruik sterk. Met de beschikbare data kan echter niet aangetoond worden dat minder primair slib ook leidt tot meer polymeerverbruik.

Vaak wordt de slechtere ontwaterbaarheid van slib toegeschreven aan een toename van het gebruik van biologische fosfaatverwijdering. De gegevens van het CBS laten zien dat het slibvolume dat afkomstig is van ontwateringen met voornamelijk biologische fosfaatverwijdering vanaf eind jaren negentig langzaam is toegenomen tot een maximum van 20% van het totale slib aandeel rond 2006. Vanaf 2007 begint dit aandeel vervolgens weer langzaam te dalen. Wel is er vanaf 2007 sprake van een sterke toename van het slibvolume dat afkomstig is van zuiveringen met een combinatie van biologische en chemische fosfaatverwijdering. Dit aandeel neemt toe van 20% in 2006 tot 51% in 2010. De data van het CBS laat zien dat slib dat afkomstig is van een biologische fosfaatverwijdering (al dan niet in combinatie met chemische ondersteuning) een iets lager droge stof gehalte heeft dan slib van een volledig chemische fosfaatverwijdering. Het verschil is echter gering (0,5-0,7 %-punt) en bij het detailonderzoek is er nauwelijks verschil in droge stof gehalte te zien. Wel laat dit detailonderzoek een significant hoger polymeergebruik zien voor slib dat (deels) biologisch wordt gedefosfateerd. Voor centrifuges was het verbruik gemiddeld 39% hoger, bij zeefbandpersen 22% en bij filterpersen zelfs 93%.

Een toename van het aandeel fosfaat dat met biologische methoden wordt vastgelegd zou daarom een mogelijke verklaring kunnen zijn voor de toename van het polymeergebruik. Toch laat het detailonderzoek zien dat er ook bij zuiveringen met volledig chemische defosfatering gemiddeld genomen sprake is van een bijna even grote toename van het polymeerverbruik. Daarmee kan biologische fosfaatverwijdering niet de enige verklaring zijn voor de toename van het polymeerverbruik.

Aangezien biologische fosfaatverwijdering sneller kan leiden tot een hogere concentratie vrij fosfaat in het slibwater, zou dit een verklaring kunnen geven voor het hogere polymeerverbruik. Het detailonderzoek laat echter zien dat er nauwelijks een correlatie is te constateren tussen het fosfaatgehalte in het centraat of filtraat en het ontwateringsresultaat. Bij een beperkt aantal ontwateringslocaties wordt een correlatie gevonden tussen de fosfaatconcentratie in het slib en het droge stof gehalte van de slibkoek. Een correlatie met het polymeerverbruik kon vrijwel nooit worden aangetoond. De oorzaak van het hogere polymeerverbruik bij biologische fosfaatverwijdering hangt daarom waarschijnlijk eerder samen met structurele veranderingen in de slibeigenschappen (bijvoorbeeld EPS) dan met de concentraties fosfaat in het slib of in het slibwater.

Voorafgaand aan de sterke groei van biologische fosfaatverwijdering vanaf 2007 is er in de CBS cijfers in de jaren 2003 - 2006 een sterke groei te zien van de invoering van aanvullende stikstofverwijdering. De verscheidenheid aan in de database vermelde technieken is groot, maar in de meeste gevallen betreft het de invoering van een vorm van denitrificatie. Soms gebeurt dit door een aanvullende regeling, soms door de introductie van voordenenitrificatie.

Een aanvankelijk analyse van de CBS data liet zien dat bij een groot aantal ontwateringen het droge stof gehalte daalde na invoering van technieken voor stikstofverwijdering. Bij controle van de gegevens bij een aantal waterschappen, bleek het moment van invoering vaak niet juist te zijn geregistreerd of waren helemaal geen maatregelen bekend. Toch werd in het detailonderzoek bij zeven slibontwateringsinstallaties een verslechtering van de slibontwatering geconstateerd rond het moment van de invoering van denitrificatie.

Deze invoering van met name denitrificatie maatregelen concentreert zich in de periode voordat de belangrijkste stijging in het polymeergebruik wordt geconstateerd. Hierdoor lijkt een relatie dus niet voor de hand te liggen. Toch wordt bij veel zuiveringen een trend geconstateerd dat eerst het ontwateringsresultaat afneemt en dat deze afname 2-3 jaar later bij overstap op een ander polymeer gecompenseerd wordt. Meestal hoort hier dan wel een hoger verbruik bij. Door deze vertraging op de toename van het polymeergebruik kunnen deze maatregelen toch een verklaring zijn voor de toename van het polymeerverbruik vanaf 2008. Een goede theoretische verklaring voor de invloed tussen de invoering van (de)nitricatie en het effect op het polymeerverbruik ontbreekt. In de literatuur werden hiervoor geen aanknopingspunten gevonden.

In het detailonderzoek is tenslotte bekeken of wisselingen in polymeer hebben geleid tot verbeteringen of verslechtingen van het ontwateringsresultaat. In het onderzoek werden diverse voorbeelden gevonden waarbij de wisseling van het polymeer samenviel met een significante verandering van het ontwateringsresultaat of polymeerverbruik. Bij sommige locaties verbeterde hierdoor het resultaat, bij andere locaties verslechterde het resultaat. Soms leek er ook sprake te zijn van een aanvankelijke verandering van de slibkwaliteit die voor een verslechtering van de resultaten zorgde. Meestal betrof dit dan een afname van het droge stof gehalte van de slibkoek. Door over te stappen op een ander polymeer kon het droge stof gehalte weer verhoogd worden. Vaak ging dit dan wel gepaard met een hogere polymeerdosering. Dit laat zien dat de keuze van het polymeer bepalend kan zijn voor het ontwateringsresultaat.

4.5 ERVARINGEN IN DE BEDRIJFSVOERING

Binnen het onderzoek zijn zes ervaren bedrijfsvoerders van zes verschillende waterschappen geïnterviewd over de ontwikkelingen in de bedrijfsvoering van de slibontwateringen binnen hun waterschap. De resultaten van dit onderzoek zijn aangevuld met antwoorden op een vragenlijst die door 10 aanvullende waterschappen is ingevuld. Op deze manier is een beeld ontstaan van de ontwikkelingen in de bedrijfsvoering bij 16 waterschappen.

Het onderzoek laat zien dat de slibontwateringen veelal bedreven worden door betrokken en ervaren personeel. Deze betrokkenheid en ervaring wordt door veel waterschappen gezien als een bepalende factor voor een zo goed mogelijk ontwateringsresultaat. Automatische metingen van bijvoorbeeld droge stof in de voeding of troebelheid van het centraat of filtraat worden weinig ingezet en vaak niet volledig vertrouwd. Zo gebruikte geen enkel waterschap een inline-meting van de centraatkwaliteit in een automatische regeling, ondanks dat STOWA onderzoek hier in 2002 goede resultaten mee had gehaald. Wel zien alle bedrijfsvoerders van centrifuges de centraatkwaliteit als één van de belangrijkste parameters om de goede werking van de centrifuge te beoordelen.

Veel bedrijfsvoerders geven echter aan dat er minder tijd beschikbaar is voor de bediening van de apparatuur. Bovendien wordt er steeds vaker een grotere scheiding tussen onderhoud en bedrijfsvoering wordt gemaakt, waardoor de informatie over ontwikkelingen in de ontwatering verspreid wordt over meer verschillende mensen. Deze ontwikkeling is strijdig met het belang dat men hecht aan de betrokkenheid van de bedrijfsvoerders.

De ervaring van de bedrijfsvoerder is meestal praktisch georiënteerd door “training-on-the-job” en het zelf uitproberen van alle knoppen waar men aan kan draaien. UTAZ is meestal een basisvoorwaarde voor een bedrijfsvoerder van de slibontwatering maar biedt voor de ontwatering van slib weinig theoretische bagage die men in de praktijk kan gebruiken. Vrijwel geen enkel waterschap meldt dat zij zelf onderzoeken hebben gedaan naar de ontwateringseigenschappen van het slib en/of het bijbehorende polymeerverbruik. Bij waterschappen die wel melden dat dit gedaan is betreft het meestal onderzoeken met een filtratie-expressie cel rond 2000.

De keuze voor het meest geschikte polymeer voor het eigen slib wordt volledig toevertrouwd aan de leveranciers. Zij krijgen slibmonsters ter beschikking om testen mee uit te voeren of mogen enige tijd proefdraaien op de ontwateringsapparatuur. Vanaf 2008 zijn steeds meer waterschappen mee gaan doen aan de Europese aanbesteding van het polymeer. De meeste bedrijfsvoerders zijn niet erg te spreken over deze ontwikkeling. Zij hebben hierdoor minder mogelijkheden om alternatieve polymeersoorten uit te proberen. Bovendien wordt de voorselectie van de leveranciers gebaseerd op incidentele slibmonsters, waarbij het niet zeker is of deze slibmonsters representatief zijn voor het slib gedurende het gehele jaar. Kennelijk komt het regelmatig voor dat een leverancier niet in staat is om zijn aanbieding waar te maken als hij na het winnen van de aanbesteding zijn prestatie op de praktijkinstallatie moet aantonen. Wanneer eenmaal een polymeer geselecteerd is voeren de waterschappen zelf geen kwaliteitscontroles uit om te controleren of zij nog steeds hetzelfde polymeer krijgt. De focus lijkt bij de ontwatering van het slib dan ook vooral te liggen op het halen van een zo droog mogelijke slibkoek. Het polymeergebruik dat daarvoor nodig is, wordt vaak als van secundair belang gezien. In interne managementrapportages is het polymeergebruik dan ook niet altijd een duidelijk aandachtspunt.

Bij de opslag en aanmaak van het polymeer wordt een grote diversiteit aan verblijftijden en mengsystemen aangetroffen. Veelal wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van vloeibare polymeren (emulsies) en nog maar weinig van polymeer in poedervorm. De meeste bedrijfsvoerders geven aan dat de rijpingstijd bij dit soort polymeren niet meer zo belangrijk is. Maar 4 van de 16 waterschappen heeft aangegeven hier onderzoek naar te hebben gedaan. Toch laat de literatuur zien dat ook hier een zekere rijping nodig is voordat het polymeer zijn volledige werking heeft. Ook onderzoek bij een waterschap en enkele oriënterende proeven met metingen van de geleidbaarheid binnen het kader van dit onderzoek laat zien dat rijping wel degelijk een aandachtspunt kan zijn. Anderzijds heeft onderzoek in België laten zien (30) dat te lange verblijftijden voorkomen moeten worden omdat dan hydrolyse van het polymeer de werking kan verminderen.

5

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

5.1 CONCLUSIES

Dit onderzoek laat zien dat de waterschappen steeds meer polymeer nodig hebben voor het ontwateren van het slib uit de rioolwaterzuiveringen. Door de inzet van meer polymeer slaagt men er wel in om het droge stof gehalte van de slibkoek constant te houden en is hierin weinig achteruitgang te constateren. Vanaf 2008 is er bij veel slibontwateringen een sterke toename te zien van het polymeergebruik, hoewel er ook voor die tijd sprake is van een langzame stijging. Bij de onderzochte waterschappen was het specifieke polymeerverbruik in 2010 20% hoger dan in 2007. Dit komt overeen met het landelijke beeld uit de bedrijfsvergelijking waarbij het verbruik in 2009 19% hoger was dan in 2006. Deze toename van het polymeergebruik komt overeen met 2,5 miljoen euro aan extra jaarlijkse kosten voor alle waterschappen samen.

5.1.1 ONTWATERINGSPRESTATIE IN RELATIE TOT PROCESKEUZES

Het onderzoek laat zien dat centrifuges gemiddeld een slibkoek produceren met een droge stofgehalte van 23-24% met een polymeerverbruik van 13-15 g PE actief/kg droge stof. Zeefbandpersen leveren gemiddeld een nattere slibkoek (droge stof gehalte 19-21% droge stof) bij een lager polymeerverbruik (8-9 g PE actief/kg droge stof). Filterpersen geven een droge stof gehalte dat vergelijkbaar is met centrifuges. De gegevens over het polymeerverbruik van filterpersen spreken elkaar tegen. De gegevens uit de Bedrijfsvergelijking wijzen op een verbruik dat lager is dan zeefbandpersen, terwijl bij de locaties uit het detailonderzoek juist verbruiken werden aangetroffen die overeenkomen met het verbruik van centrifuges.

De vergisting van slib blijkt ongunstig voor de ontwaterbaarheid van slib en het bijbehorend polymeerverbruik. Deze conclusie is gebaseerd op informatie uit het literatuuronderzoek en wordt ondersteund door resultaten van het detailonderzoek, hoewel de gebruikte dataset maar een beperkte omvang heeft. De informatie uit dit onderzoek wijst er op dat het vergisten van slib kan leiden tot een toename van het polymeerverbruik van wel 50% of meer. Op basis van geaggregeerde data lijkt vergisting vaak wel een positief effect te hebben, maar dit wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt doordat vrijwel alle zuiveringen met een slibgisting ook primair slib uit de voorbezinking meevergisten. Het onderzoek laat zien dat de aanwezigheid van primair slib leidt tot een hoger droge stof gehalte en een lager polymeerverbruik.

Het ontwateren van slib van biologische fosfaatverwijdering kost 20-40% meer polymeer dan het ontwateren van slib van chemische fosfaatverwijdering. Dit hogere polymeerverbruik zorgt er wel voor dat er geen groot verschil is in droge stof gehalte van de ontwaterde slibkoek. Er is geen duidelijk verband gevonden tussen de ijzerdosering of de ijzerconcentratie in het slib en polymeerverbruik of droge stof gehalte. Ook werd geen duidelijk verband gevonden tussen fosfaatgehalte van de slibkoek of het fosfaatgehalte in het centraat. Dit suggereert dat het gehalte aan vrij fosfaat in het slib niet de verklaring is voor de verschillen in ontwaterbaarheid.

Tenslotte laat het onderzoek zien dat de invoering van verdergaande stikstofverwijdering bij een flink aantal locaties bleek samen te vallen met een verslechtering van het ontwateringsresultaat. Dit leidde meestal tot een lagere droge stofgehalte van de slibkoek (0,5-1,5 %punt). Het effect op het polymeerverbruik beperkt zich meestal tot maximaal 10%.

5.1.2 TRENDS IN PROCESKEUZES

In de afgelopen tien jaar zijn er weinig veranderingen te zien in de keuzes voor ontwateringsmethoden. De relatieve marktaandelen van de verschillende methoden van ontwatering blijven min of meer gelijk. Bij geen van de methoden is er sprake van een sterke afname van het droge stofgehalte van de slibkoek. Wel is er bij alle methoden vanaf 2007 een toename van het polymeergebruik.

Vanaf 2008 is er een lichte toename te zien van het slibvolume dat vergist is voor ontwatering. Van 2008 tot en met 2010 neemt het aandeel vergist slib toe van 57% tot 62%. Deze toename wordt vooral veroorzaakt door een toename van de verwerking van extern slib op centrale ontwateringslocaties. Er is geen groot verschil te zien in de ontwaterbaarheid van slib bij locaties die gegist slib verwerken en locaties die ongegist slib verwerken. Bij beide type locaties is er sprake van een toename van het polymeerverbruik rond 2007.

De CBS gegevens die gebruikt zijn voor dit onderzoek laten zien dat vanaf 2006 het slibvolume afkomstig van volledige biologische fosfaatverwijdering iets afneemt. In 2007 en 2008 is er wel sprake van een forse toename van rioolwaterzuiveringen dat deels biologische fosfaatverwijdering en deels chemische fosfaatverwijdering toepast. Het aandeel slib van deze zuiveringen neemt in korte tijd toe van 20% in 2006 tot 50% in 2010. Deze verandering gaat ten koste van rioolwaterzuiveringen die volledig chemisch defosfateren. Deze forse verandering kan een verklaring geven voor het landelijke beeld dat er meer polymeer nodig is voor de ontwatering van het slib. Niettemin laat het onderzoek zien dat er ook bij zuiveringen met chemische fosfaatverwijdering een toename van het polymeerverbruik is te constateren. Dit laat zien dat ook andere invloeden van belang zijn.

In de periode van 2003 – 2006 blijken volgens data van het CBS veel zuiveringen te zijn uitgerust met aanvullende stikstofverwijdering, meestal een vorm van denitrificatie. Deze maatregelen leidden bij een groot aantal locaties tot slechtere ontwateringslocaties. Deze maatregelen werden dus enkele jaren voorafgaand aan de sterkste stijging van het polymeerverbruik ingevoerd. Toch kunnen deze maatregelen invloed gehad hebben op de latere toename doordat men soms pas na 1-2 jaar lijkt te reageren op de verandering door een keuze voor een ander polymeer. Dit polymeer herstelt dan weer het ontwateringsresultaat, maar vaak wel ten koste van een hoger verbruik.

5.1.3 TRENDS IN DE BEDRIJFSVOERING

Het onderzoek laat zien dat er in de bedrijfsvoering van de slibontwatering nauwelijks nieuwe kennis is of technieken zijn geïntroduceerd. Doorgevoerde verbeteringen betreffen vooral optimalisaties van bestaande machines of bijvoorbeeld het zorgen voor meer stabiliteit in bedrijfsvoering. Nieuwe vormen van procesregeling of methoden voor de karakterisering van de ontwaterbaarheid van slib worden nauwelijks toegepast. Ook is weinig kennis beschikbaar over het gebruikte polymeer, de benodigde rijpingstijd en de relatie met de eigenschappen van het te ontwateren slib.

De bedrijfsvoerders zijn wel betrokken en actief bezig met de optimalisatie van de bestaande apparatuur. Deze betrokkenheid is volgens de bedrijfsvoerders zelf van groot belang voor het halen van een goede ontwateringsprestatie. Daarentegen is er bij veel waterschappen wel een trend zichtbaar dat er minder tijd beschikbaar is voor het bedrijven van de slibontwatering en het analyseren van prestaties, hetgeen zijn weerslag kan hebben op de ontwateringsprestatie. Bij één van de bezochte waterschappen had men juist goede ervaringen met het betrekken van een procestechnoloog bij de verbetering van het ontwateringsproces.

Eén van de belangrijkste trends in de bedrijfsvoering is de invoering van de gezamenlijke (Europese) aanbesteding van polymeer. Vanaf 2000 zijn enkele waterschappen hier voorzichtig mee begonnen en in de loop van de tijd hebben meer waterschappen zich hierbij aangesloten. In 2008 is gestart met een geheel nieuwe opzet van de aanbesteding en groeide het aantal waterschappen dat meedeed bij de aanbesteding van 5 naar 14 waterschappen. Vanuit de praktijk worden er door de bedrijfsvoerders vraagtekens gesteld over de effectiviteit van deze aanbesteding.

Het onderzoek heeft laten zien dat de keuze van het polymeer van invloed kan zijn op de ontwateringsprestaties. In het detailonderzoek is diverse malen geconstateerd dat veranderingen van polymeer leiden tot andere ontwateringsprestaties, zowel ten goede als ten slechte. De juiste keuze van het polymeer is dan ook van belang voor het halen van een goed ontwateringsresultaat. Meer kennis over de interactie tussen het polymeer en het eigen slib kan helpen om een voorselectie te maken van polymeren die geschikt zijn voor het eigen slib. Oriënterend lab onderzoek in het kader van deze studie geeft aanwijzingen dat de rijping van het polymeer in de praktijk niet altijd volledig is.

Bij de keuze van het polymeer is het van belang een goede afweging te maken tussen de kosten van het verbruik en het te behalen ontwateringsresultaat. Uit het onderzoek komt naar voren dat er bij de waterschappen een sterke focus is op het bereiken van een zo droog mogelijke slibkoek. Het polymeerverbruik is daaraan ondergeschikt en wordt ook niet altijd nauwgezet gevolgd. Niet in alle situaties weegt het extra polymeerverbruik echter op tegen de drogere slibkoek. Dit geldt in het bijzonder voor centrifuges die al een hoog polymeerverbruik hebben. Bij zeebandpersen zal het extra polymeerverbruik meestal wel opwegen tegen de kosten van de extra afvoer van een nattere koek. Extra aandacht is nodig voor deze afweging bij waterschappen die hun slib laten verwerken bij de mono-verbrandingsinstallaties van SNB en HVC. Bij deze installaties is het drogen van natter slib relatief goedkoop door de beschikbare restwarmte, zodat het zowel financieel als energetisch gezien beter kan zijn om natter slib aan te leveren dan meer polymeer te gebruiken.

5.1.4 TRENDS IN KENNISONTWIKKELING

Het literatuur onderzoek laat zien dat er in de afgelopen 10 jaar veel aandacht is besteed aan de invloed van EPS op de flocculeerbaarheid en ontwaterbaarheid van het slib. Dit onderzoek mist echter een goede vertaling naar de praktijk doordat gebruik gemaakt wordt van laboratoriumtesten (CST, SRF) die geen grote voorspellende waarden hebben voor het ontwateringsresultaat op praktijkschaal. Bovendien wordt vooral naar de chemische kenmerken van het slib gekeken. Een goed inzicht in de relatie tussen proceskeuzes (gisting, fosfaatverwijdering, stikstofverwijdering) in de zuivering en deze chemische parameters ontbreekt. Er is bijvoorbeeld geen enkel onderzoek gevonden dat een verklaring geeft voor de slechtere ontwaterbaarheid van slib van zuiveringen met een biologische defosfatering. Het onderzoek laat wel zien dat met name de eitwitten in het EPS van slib een belangrijke rol spelen bij de ontwa-

terbaarheid. De oplosbare en colloïdale eiwitten hebben vooral veel invloed op het polymeerverbruik. Het niet oplosbare deel heeft vooral invloed op de maximale ontwaterbaarheid.

Enkele van de gevonden onderzoeken leggen wel de relatie met de praktijkschaal. Zo laat onderzoek van de TU Braunschweig (2) (4) zien dat een thermo-gravimetrische bepaling van het vrije water in slib een goede voorspellende waarde kan hebben voor het ontwateringsresultaat op praktijkschaal. Bij de ontwatering van het slib kan men met mechanische middelen alleen het vrije water verwijderen. Door dit aandeel aan vrij water te bepalen ontstaat een referentie voor de maximale ontwaterbaarheid. Dit geeft de bedrijfsvoerder inzicht in zijn eigen prestatie in verhouding tot deze maximale ontwaterbaarheid. Een regelmatige bepaling van het gehalte aan vrij water maakt het mogelijk om veranderingen in de ontwaterbaarheid van het slib te signaleren.

Twee onderzoeken van de universiteit van Gent (30) (31) geven interessante informatie over enerzijds de invloed van polymeereigenschappen op de ontwatering en anderzijds invloeden op de activiteit van het polymeer bij de aanmaak ervan in de praktijk. Dit soort onderzoek geeft meer inzicht in de interactie tussen polymeer en slibeigenschappen, waardoor de inzet van polymeren minder proefondervindelijk hoeft plaats te vinden dan nu gebeurt. Deels zal deze kennis misschien aanwezig zijn bij de leveranciers van het polymeer, maar zij zullen deze informatie niet snel openbaar maken.

Het literatuur onderzoek laat verder zien dat kennis van rheologie van belang is om de processen die een rol spelen bij de ontwatering van slib te begrijpen. De rheologie beschrijft de relatie tussen de krachten die opgelegd worden aan een vloeistof en de vervormingen die hierdoor optreden. Voor vloeistoffen wordt deze relatie uitgedrukt in de viscositeit. Voor slib is de viscositeit niet een vast getal, maar hangt deze viscositeit af van de krachten die opgelegd worden aan het slib (slib is een thixotropische vloeistof). De literatuur laat zien dat de ontwateringseigenschappen van slib sterk bepaald worden door de krachten waar het slib aan wordt blootgesteld. Het hogere polymeerverbruik van centrifuges in vergelijking tot zeefbandpersen kan bijvoorbeeld verklaard worden door de grotere krachten waar het slib in centrifuges aan wordt blootgesteld (3). Metingen van de viscositeit van slib blijken ook te correleren met het maximaal haalbare droge stof gehalte (8). Relatief recent onderzoek laat zien dat een zogenaamd rheogram van het slib informatie kan geven over de optimale polymeerdosering (24) (26) (37).

5.1.5 AFWEGING

De voorgaande paragrafen beschrijven de conclusies voor verschillende aspecten die te maken hebben met het ontwateren van zuiveringslib. Alles overwegende zijn de volgende conclusies het meest van belang.

- In de laatste jaren is er steeds meer polymeer nodig om het slib te ontwateren. Het ontwateringsresultaat blijft wel hetzelfde. Vanaf 2002 neemt het verbruik langzaam toe, maar de sterkste stijging begint in 2008.
- Rond 2008 is er sprake van diverse ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op het polymeerverbruik. Zo wordt hieraan voorafgaand van 2003-2006 op veel zuiveringen aanvullende stikstofverwijdering geïntroduceerd. Vanaf 2007 groeit het aantal zuiveringen dat biologische fosfaatverwijdering gebruikt plots sterk. Daarnaast is er vanaf 2008 een toename te zien van de hoeveelheid slib die centraal wordt vergist en ontwaterd. In 2008 starten veel waterschappen ook voor het eerst met de Europese aanbesteding van hun polymeren.

- De grootste verandering vanaf 2008 is de toename van het gebruik van biologische fosfaatverwijdering met ondersteuning van chemische fosfaatverwijdering. Het onderzoek laat zien dat dergelijke zuiveringen gemiddeld 20-40% meer polymeer gebruiken en deze groei vormt dan ook een aannemelijke verklaring voor de toename van het polymeergebruik vanaf 2008. Niettemin is er ook een forse toename van het polymeerverbruik geconstateerd bij zuiveringen met chemische defosfatering, zodat dit niet de enige verklaring kan zijn. Het onderzoek heeft laten zien dat ook de vergisting van slib en de invoering van stikstofverwijdering een negatief effect hebben op het ontwateringsresultaat.
- Bij veel waterschappen krijgt de inzet van polymeer minder aandacht dan het bereiken van een zo droog mogelijke slibkoek. Daarnaast is er bij veel waterschappen een trend te zien dat de aandacht voor de slibontwatering vermindert doordat de bedrijfsvoerders minder tijd beschikbaar hebben voor analyse van de prestaties van de slibontwatering. Deze afstand wordt nog verder vergroot door de nieuwe manier van aanbesteding van het polymeer. Hierdoor zijn de bedrijfsvoerders minder betrokken bij de selectie van het polymeer en door de grotere prijsdruk is er bij de leveranciers minder ruimte voor maatwerk en service. Vermoedelijk speelt deze vermindering van de betrokkenheid een rol bij de toename van het polymeerverbruik.
- Het onderzoek laat zien dat er in de praktijk nauwelijks gebruik wordt gemaakt van theoretische kennis van de ontwatering van slib. De optimalisatie van de ontwatering vindt plaats op basis van ervaring en uitproberen. Dit komt ook doordat het fundamentele onderzoek tot nu toe weinig concrete hulpmiddelen heeft opgeleverd die bruikbaar zijn in de praktijk. De belangrijkste oorzaak lijkt het ontbreken van een goede interactie tussen onderzoek en de praktijk. Niettemin biedt het literatuuronderzoek handvatten die gebruikt kunnen worden om de prestatie van de slibontwatering te verbeteren. De grootste kansen liggen in de ontwikkeling en verspreiding van kennis over de werking en inzet van polymeren in relatie tot de slibkwaliteit.

5.2 AANBEVELINGEN

Op grond van dit onderzoek wordt aanbevolen meer aandacht te besteden aan het toepassen en ontwikkelen van kennis, methoden en technieken om de ontwatering van slib te verbeteren. Het huidige onderzoek laat zien dat er in de ontwatering van slib de afgelopen 10 jaar weinig nieuwe ontwikkelingen zijn geweest en dat bovendien de bedrijfsvoering van de ontwateringen steeds meer op afstand komt te staan. Een beter begrip van de processen die een rol spelen kunnen naar verwachting bijdragen aan een verlaging van de kosten voor de ontwatering van slib.

Aanbevolen wordt dat waterschappen bij de bedrijfsvoering van de slibontwatering meer aandacht besteden aan en kennis ontwikkelen over de aanmaak van polymeer en de interactie tussen polymeer en het eigen slib. Hierdoor ontstaat zo objectief mogelijke informatie die gebruikt kan worden voor de optimalisatie van de eigen installatie en de selectie van het polymeer. Hierdoor wordt het ontwateringsproces minder afhankelijk van de kennis van individuen binnen het waterschap en informatie van leveranciers.

Voor de aanmaak van polymeer zijn de volgende zaken van belang.

- Vraag bij de leverancier informatie op over de eigenschappen van het gebruikte polymeer. Belangrijke eigenschappen zijn molecuulgewicht, ladingsdichtheid en chemische structuur. Meer inzicht in de eigenschappen en kenmerken van het gebruikte polymeer helpt bij het zoeken naar alternatieve polymeren die beter werken of goedkoper zijn.

- Zorg dat er voldoende verblijftijd is in relatie tot de rijpingstijd van het polymeer onder de specifieke condities van de eigen installatie (watertype, mengenergie, temperatuur). De rijpingstijd kan bepaald worden door de ontwikkeling van de geleidbaarheid van de polymeeroplossing te volgen in de tijd.
- Ga na of hydrolyse van het polymeer een rol kan spelen. Hydrolyse van het polymeer wordt bevorderd door basische omstandigheden, hogere zoutgehalten, hogere temperaturen en lage polymeerconcentraties. De invloed van hydrolyse is meetbaar door de ladingsdichtheid van de oplossing te volgen. De invloed van hydrolyse kan ook onderzocht worden door de polymeeroplossing aan te zuren tot pH 4,5 en vervolgens het effect vast te stellen op het ontwateringsresultaat. Door de aanzuring zal de hydrolyse vertraagd worden.
- Controleer of de installatie goed mengt en of er geen kortsluitstromen kunnen optreden.
- Overweeg de invoering van een eigen kwaliteitscontrole op het polymeer. Een bepaling van de viscositeit geeft een indicatie van het molecuulgewicht. De ladingsdichtheid kan bepaald worden door een zogenaamde ladingtitratie.

Om meer informatie te verzamelen over de interactie tussen polymeer en het eigen slib kunnen de volgende hulpmiddelen gebruiken.

- Overweeg een regelmatige (bijvoorbeeld 1 of 2 keer per jaar) bepaling van het gehalte aan vrij water in het eigen slib met behulp van de thermogravische analyse van het slib. Hiermee kan een indruk worden gekregen van het maximaal haalbare eindresultaat zodat duidelijk wordt hoe goed de eigen prestatie is. Bovendien kunnen zo eventuele veranderingen in de slibkwaliteit worden gevolgd.
- Onderzoek welke polymeer eigenschappen (polymeergewicht, ladingsdichtheid) gunstig zijn voor het eigen ontwateringsresultaat. Op deze manier kan bij de aanbesteding van het polymeer al een voorselectie van geschikte polymeren plaatsvinden.
- Voor zeefbandpersen blijkt een mini-filterpers onder bepaalde condities een goede voorstelling te geven van het ontwateringsresultaat op praktijkschaal. Dit maakt het mogelijk op labschaal een goede voorselectie te maken van geschikte polymeren.

Met de bovengenoemde onderzoeken is bij de waterschappen nog weinig ervaring. Daarom wordt aanbevolen om de voorgestelde onderzoeken in een vervolgonderzoek door te voeren bij één of twee ontwateringslocaties. Op deze manier kan meer duidelijkheid verkregen worden over de te gebruiken methoden en de opbrengsten hiervan. De opzet van het onderzoek en de ontwikkelde procedures kunnen dan door andere waterschappen worden overgenomen.

Voor de dagelijkse bedrijfsvoering is het verder van belang dat de waterschappen ook het polymeerverbruik meenemen in de eigen prestatie indicatoren van de slibontwatering zodat belangrijke afwijkingen in het polymeergebruik sneller worden opgemerkt. Bovendien is het raadzaam regelmatig, bijvoorbeeld elk jaar, een afweging te maken tussen de kosten van een hoger polymeerverbruik in relatie tot de kosten van een nattere slibkoek. Dit geldt in het bijzonder voor locaties waar met centrifuges wordt ontwaterd.

Dit onderzoek laat zien dat er weinig wisselwerking is tussen fundamenteel onderzoek naar het ontwateren van slib en de toepassing ervan in de praktijk. Veel fundamenteel onderzoek wordt gedaan op basis van ontwateringstesten op labschaal die slechts een beperkte voorstellende waarde hebben voor de ontwaterbaarheid van het slib op praktijkschaal. Vanuit de praktijk is er behoefte aan de volgende kennis.

- Een meetmethode die op kleine schaal een goede voorspelling geeft van de ontwaterbaarheid en bijbehorend polymeerverbruik in de praktijk.
- Inzicht in oorzaken van verschillen in ontwaterbaarheid als gevolg van de wijze van processing van de rioolwaterzuivering zoals de invloed van biologische fosfaatverwijdering, luchtinbreng, gisting en dergelijke.
- Meer inzicht in de relatie tussen slibkarakteristieken en polymeerkenmerken zodat aan de hand van deze eigenschappen een voorselectie van potentieel geschikte polymeren mogelijk is.

6

LITERATUUR

1. **STOWA.** *Handboek Slibontwatering.* 1998.
2. *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.
3. *Dewatering of Sewage Sludge.* **Novak, J.T.** 2006, *Drying Technology*, pp. 24: 1257–1262.
4. *Prediction of full-scale dewatering results by determining the water distribution of sewage sludges.* **J. Kopp, N. Dichtl.** 2000, *Water Science and Technology*, pp. Vol 42 No 9 pp 141–149.
5. *The fundamentals of wastewater sludge characterization.* **P.J. Scales, D.R. Dixon, P.J. Harbour, A.D. Stickland.** 2004, *Water Science and Technology*, Vol. 49 No. 10, pp. 67–72.
6. *Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge.* **B. Jin, B.-M. Wilén, P. Lant.** 2004, *Chemical Engineering Journal*, pp. 98, 115–126.
7. **DWA.** *Kennwerte der Klarschlammwasserung.* 2008. Merkblatt DWA-M383. 978-3-94108929-7.
8. *Rheology and Dewaterability of Municipal Sewage Sludge.* **K.Klinksieg, U.Moshage, N.Dichtl.** [red.] P.J. Laughton, R. Tyagi R.J. Le Blanc. New Brunswick : sn, 2007. pp. 149-155. Proceedings on Moving forward wastewater biosolids sustainability: technical, managerial, and public synergy..
9. **STOWA.** *Slib- en PE verwarmen.* 2000. 90.5773.088.x.
10. —. *Slibdesintegratie - eindrapportage van ervaringen met slibdesintegratie op de RWZI's Bath, Enschede en Nieuwgraaf.* 2008. 978.90.5773.409.0.
11. **Waterschap Brabantse Delta.** *Pilotscale testmethode ten behoeve van het ontwateringsgedrag van slib.* 2006. Stageverslag voor Avans Hogeschool.
12. *The role and significance of extracellular polymers in activated sludge. Part I: Literature review.* **A. Raszka, M. Chorvatovab, J. Wannerb.** 2006, *Acta hydrochim. hydrobiol.*, pp. 34, 411 – 424.
13. *Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review.* **G.-P. Sheng, H.-Q. Yu, X.-Y. Li.** 2010, *Biotechnology Advances*, pp. 28, 882–894.
14. *Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering.* **L.H. Mikkelsen, K. Keiding.** 2002, *Water Research*, Vol. 36, pp. 2451–2462.
15. *The Role of Organic Colloids in Dewatering.* **Novak, J.T.** 2010, *Drying Technology: An International Journal*, pp. 28:7, 871-876.
16. *Off-line particle size analysis of digested sludge.* **J.I. Houghton, J.E. Burgess, T. Stephenson.** 2002, *Water Research*, Vol. 36, pp. 4643–4647.
17. **Wikipedia.** Lemma in wikipedia over zetapotential. *Wikipedia.* [Online] [Citaat van: 21 Mei 2012.] http://en.wikipedia.org/wiki/Zeta_potential.

18. *Influences of Extracellular Polymeric Substances (EPS) on Flocculation, Settling and Dewatering of Activated Sludge.* **Y. Liu, H. H.P. Fang.** 2003, *Critical Reviews in Environmental*, Vol. 33:3, pp. 237-273.
19. **Murthy, S.N.** *Bioflocculation: implications for activated sludge properties and wastewater treatment.* 1998. Proefschrift Virginia Tech.
20. *Characterization of synthetic and activated sludge and conditioning with cationic polyelectrolytes.* **T.P. Nguyen, N. Hilal, N.P. Hankins, J.T. Novak.** 2008, *Desalination*, Vol. 227, pp. 103–110.
21. *Aanzienlijke kostenreductie door de vorming van struviet uit zuiveringslib.* **A. Meindertsm, E. Majoor.** 2012, *H2O*, Vol. 45 - 5, pp. 7 - 9.
22. *Terugwinnen van fosfaatkunstmest uit zuiveringslib verlaagt kosten van slibverwerking.* **A. Veltman, J. de Danschutter, C. Uijterlinde.** 2010, *H2O*, Vol. 43 - 11, pp. 4-5.
23. *The role of extracellular polymers in the removal of phosphorus from activated sludge.* **T. E. Cloete, D. J. Oosthuizen.** 2001, *Water Research*, Vol. 35, No. 15, pp. 3595–3598.
24. *Shear sensitivity of digested sludge: Comparison of methods and application in conditioning and dewatering.* **S.K. Dentel, D. Dursun.** 2009, *Water Research*, Vol. 43, pp. 4617-425.
25. *Measurement of additional shear during sludge conditioning and dewatering.* **B. Örmeci, A. Ahmad.** 2009, *Water Research*, Vol. 43, pp. 3249-3260.
26. *The effect of polymer doses and extended mixing intensity on the geometric and rheological characteristics of conditioned anaerobic digested sludge (ADS).* **Y.L. Wang, S.K. Dentel.** 2011, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 166, pp. 850–858.
27. *Transformation between flocs and aggregates in the conditioned sludge suspensions during a rotational test using a torque rheometer.* **Y.L. Wang, S.K. Dentel, R. Mahmudov.** 2011, *Powder Technology*, Vol. 208, pp. 189–194.
28. *Toepassing van de filtratie-expressiecel in de wvzi-praktijk.* **A.J.M. Herwijn, W.J. Coumans, P.M.H. Janssen, P.J.A.M. Kerkhof.** 1996, *H2O*, Vol. 29-12, pp. 346-350.
29. *Aufbereitung von Flockungshilfsmitteln zur Schlammbehandlung.* **Kopp, J.** 2011. Presentatie bij 7e DWA Klarschlammstage in Fulda, Duitsland.
30. *Influence of polyelectrolyte characteristics on pressure-driven activated sludge dewatering.* **H. Saveyn, S. Meersseman, O. Thas, P. Van der Meeren.** 2005, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, Vol. 262, pp. 40–51.
31. *Co-conditioning and dewatering of chemical sludge and waste activated sludge.* **G. R. Chang, J.C. Liu, D. J. Lee.** 2001, *Water Research*, Vol. 35 No 3, pp. 786-794.
32. **STOWA.** *Meet en regelapparatuur bij slibontwatering.* 1999. Rapport nummer 1999-26. 90.5773.076.6.
33. —. *Meet en regelapparatuur bij slibontwatering - zelf optimaliserende regelunit.* 2002. Rapport nummer 2002-43. 90.5773.201-7.
34. *Viscous behaviour of sludge centrate in response to polymer conditioning.* **D.H. Bache, E.N. Papavasilopoulos.** 2000, *Water Research*, Vol. 34 No. 1, pp. 354-358,.
35. *Centrate viscosity for continuous monitoring of polymer feed in dewatering applications.* **M.M. Abu-Orf, C.A. Walker, S.K. Dentel.** 2003, *Advances in Environmental Research*, Vol. 7, pp. 687–694.
36. *Optimization of a full-scale dewatering operation based on the rheological characteristics of wastewater sludge.* **Ormeçi, B.** 2007, *Water Research*, Vol. 41-12, pp. 1243-1252.

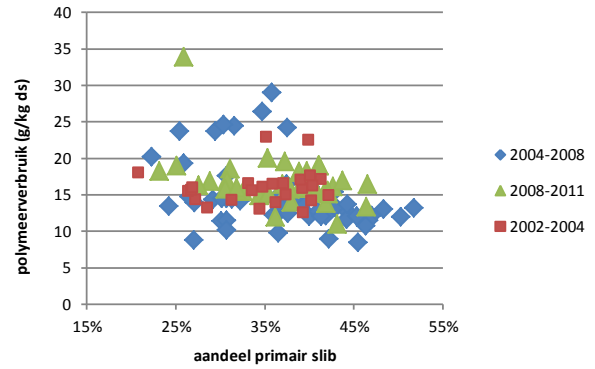
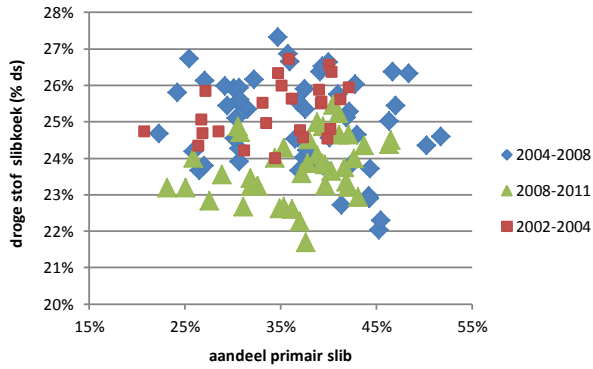
37. *Slibverwerking bij ZHEW*. **F. Besten, R. Faasen, T. Eisaoui**. 2003, Neerslag, Vol. 38-1, pp. 12-18.
38. *Nieuwe uitzonderlijk presterende slibontwatering bij waterschap Velt en Vecht*. **Vries, A. de, Horstmann, M. en Majoor, E.** 2006, Neerslag, Vol. 41-6, pp. 41 - 45.
39. *Modernisering slibontwatering rwzi Nijmegen in volle gang*. **T. Derks, W. Verstegen**. 2006, Neerslag, Vol. 41-4, pp. 42-46.
40. *Optimaliseren slibontwatering awzi Katwijk*. **Zalm, C. van der**. 2009, Vol. 44-3, pp. 50 - 53.
41. *Aanbestedingsprocedure poly-electrolyten succesvol*. **F. Geijssen, H. Oosterdijk**. 2003, Neerslag, Vol. 38-1, pp. 27-30.
42. *Polyelectroliet innovatief aanbesteed*. **Kreunen, H. en Linden, S. van der**. 2009, Neerslag, Vol. 44-6, pp. 45-49.
43. *Fenton verbetert slibontwatering*. **Piron, D.** 2008, Neerslag, Vol. 43-3, pp. 48 - 51.
44. **STOWA**. *Verkenning thermische ontsluiting*. 2011. Rapport 2011-W-03. 978.90.5773.523.3.

BIJLAGE 1

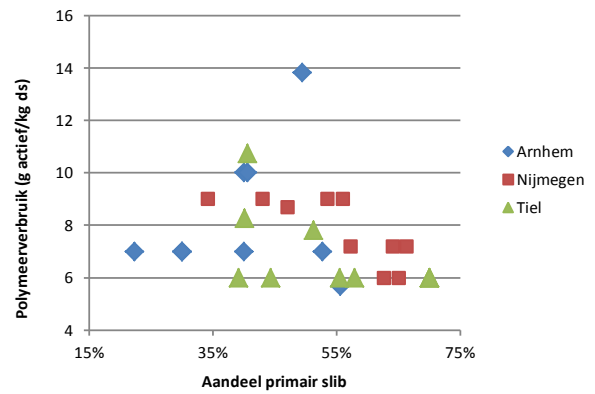
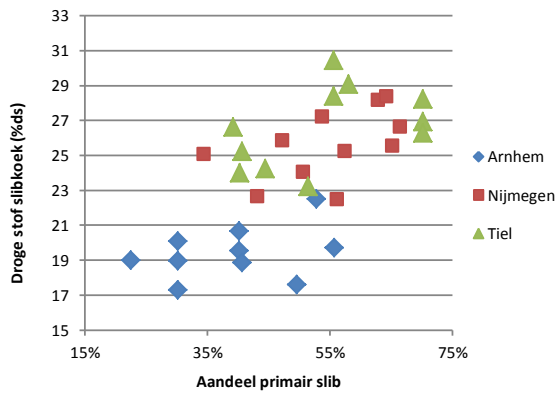
CORRELATIES TUSSEN ONTWATERINGSPRESTATIE EN PROCES KENTALLEN

CORRELATIE MET AANDEEL PRIMAIR SLIB IN DE SLIBGISTING

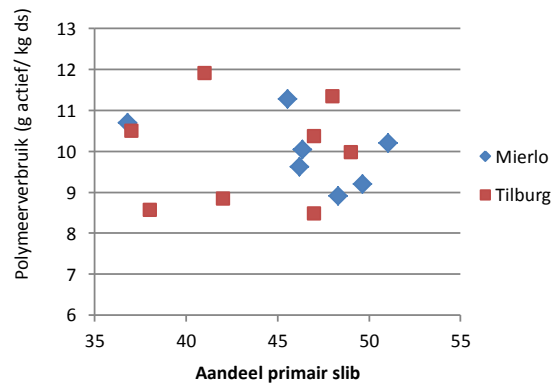
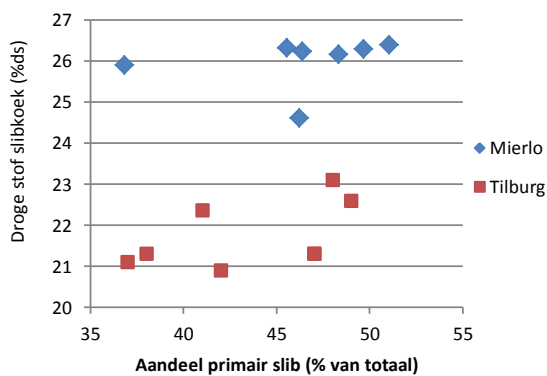
LOCATIE: HOOGHEEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER



LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL



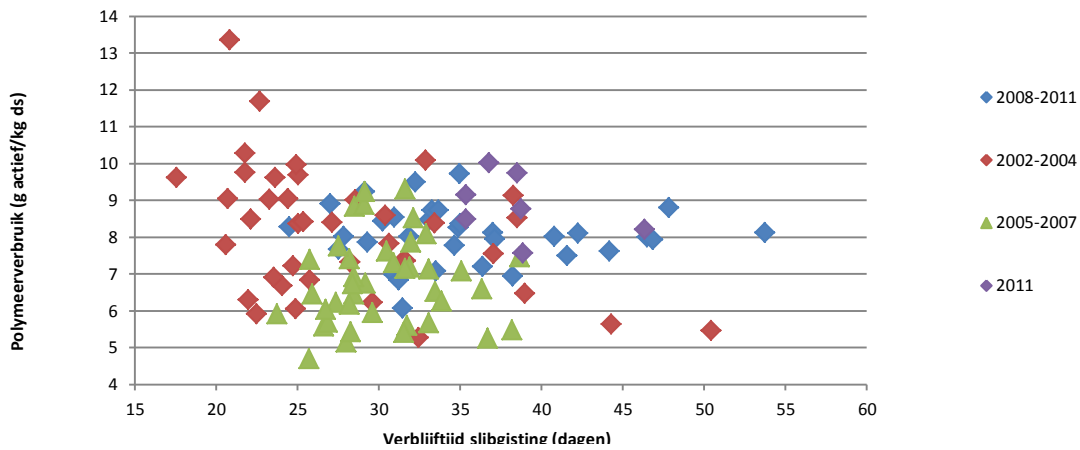
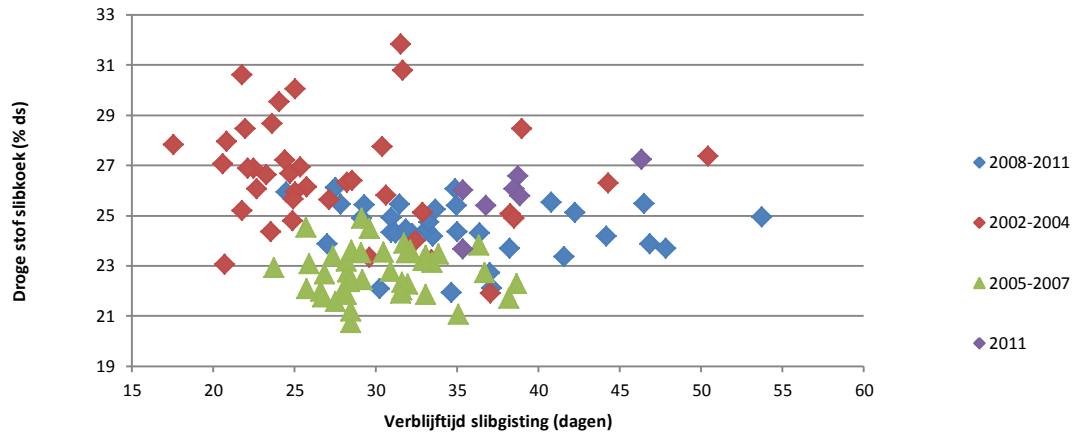
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO, TILBURG



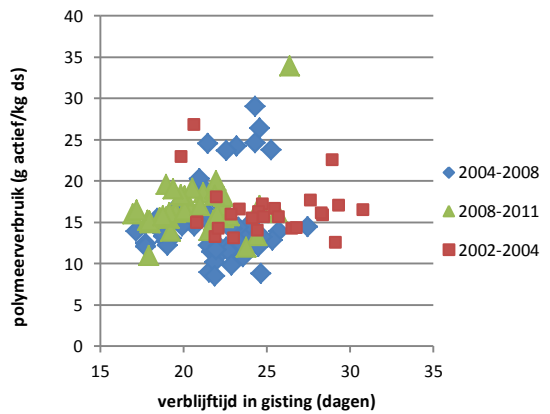
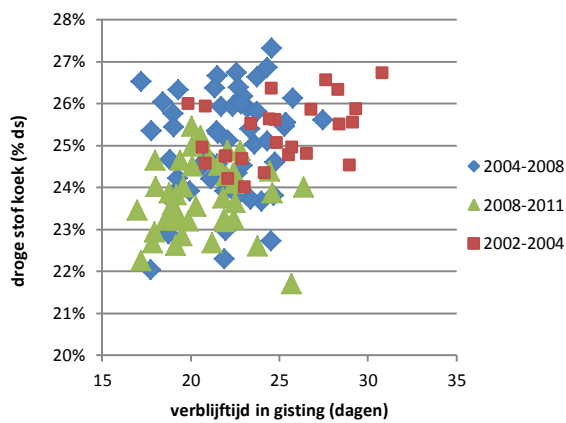
CORRELATIE MET VERBLIJFTIJD

SLIBGISTING

LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN, WALCHEREN

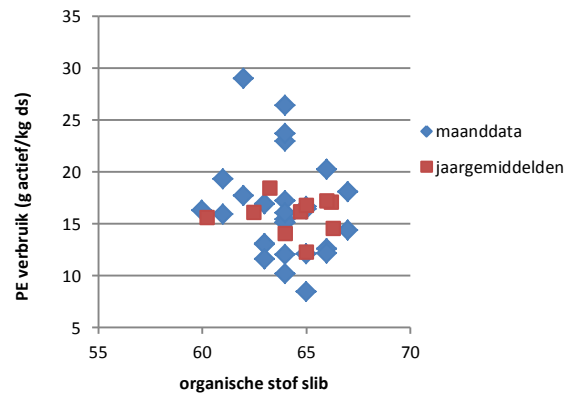
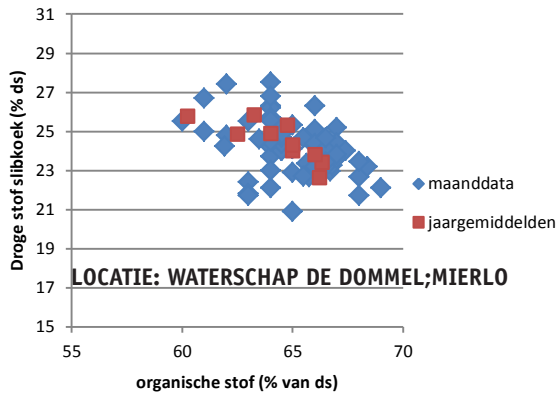


LOCATIE: HOOGHEEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER



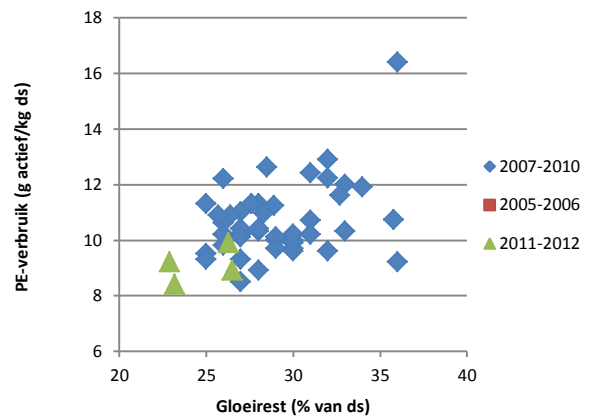
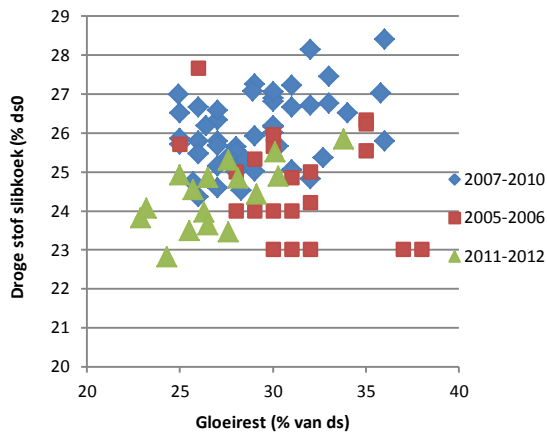
CORRELATIE MET GEHALTE ORGANISCHE STOF

LOCATIE: HOOGHEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER

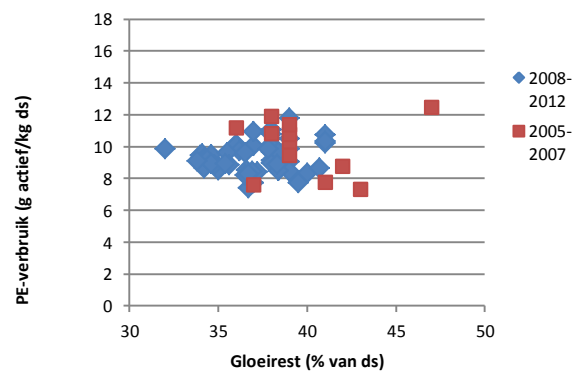
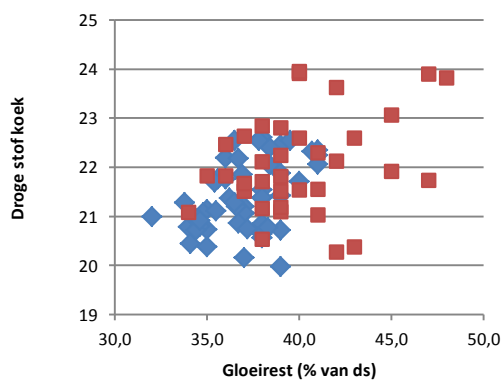


LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO

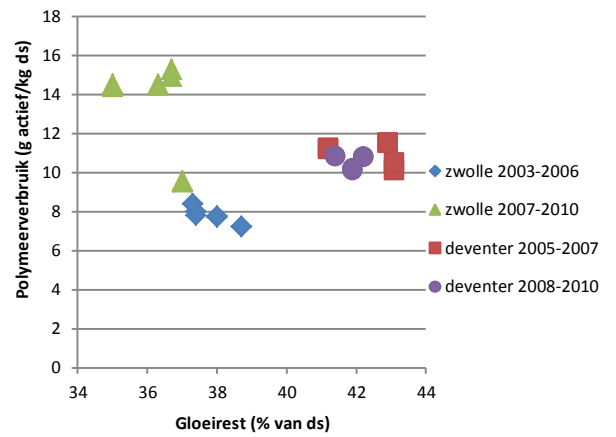
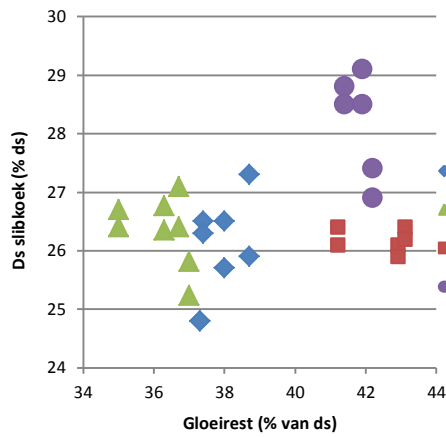
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



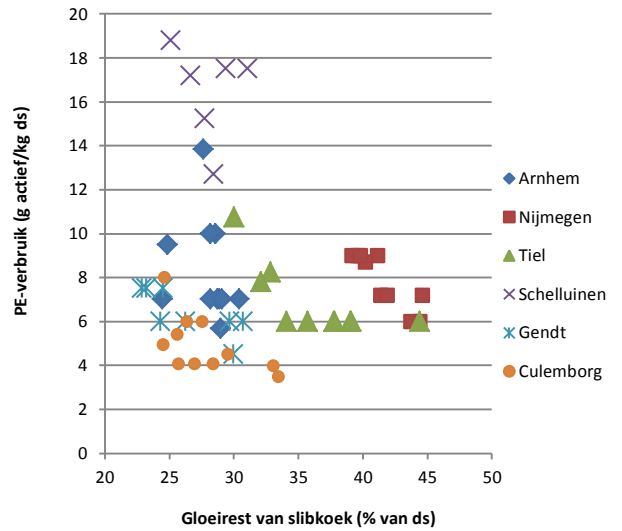
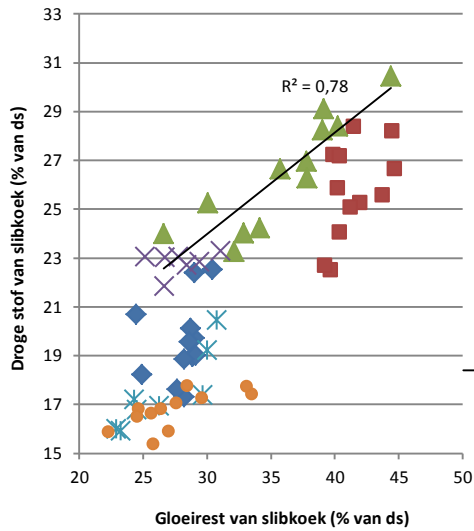
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



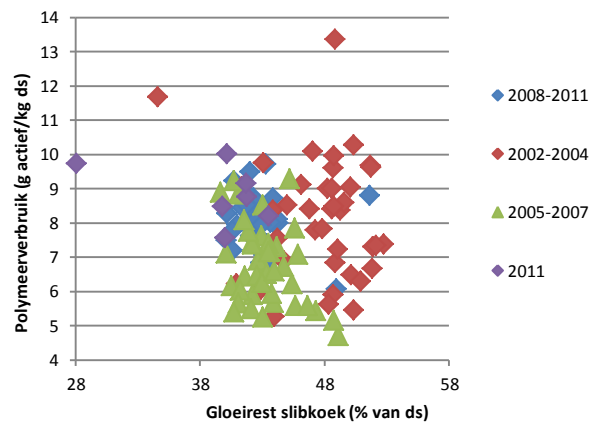
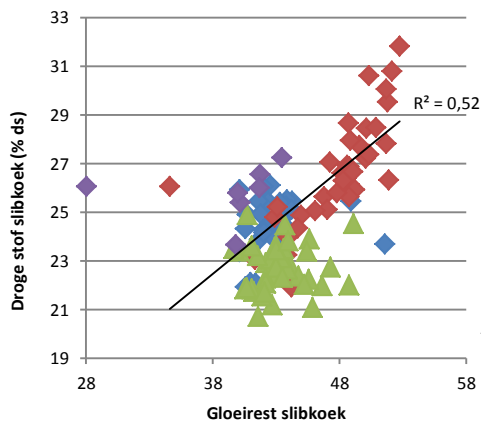
LOCATIE: WATERSCHAP GROOT SALLAND; ZWOLLE & DEVENTER

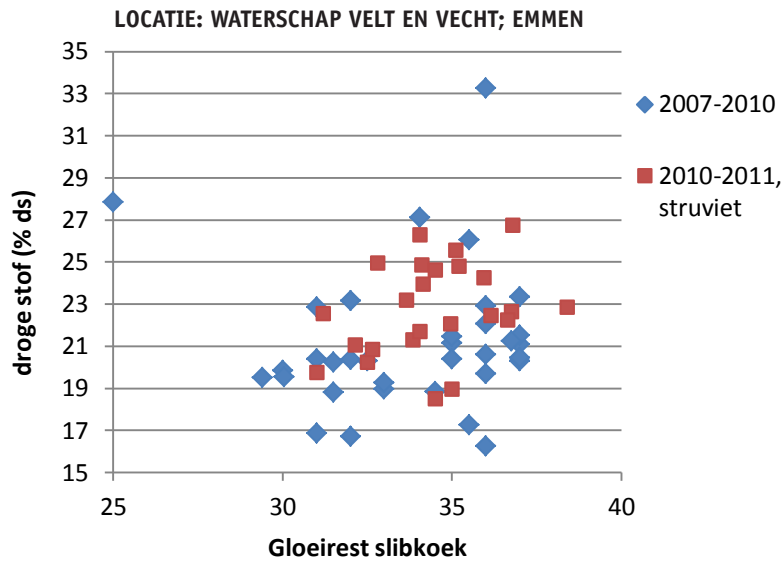


LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG



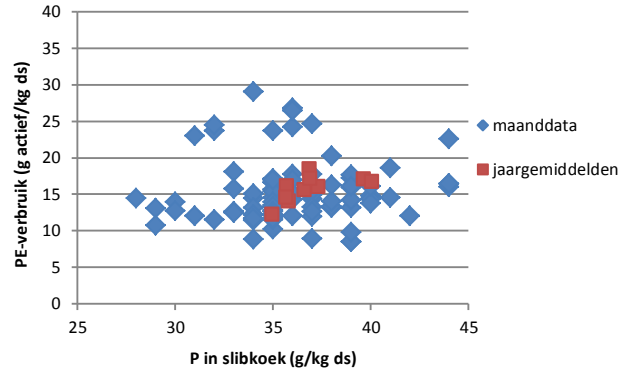
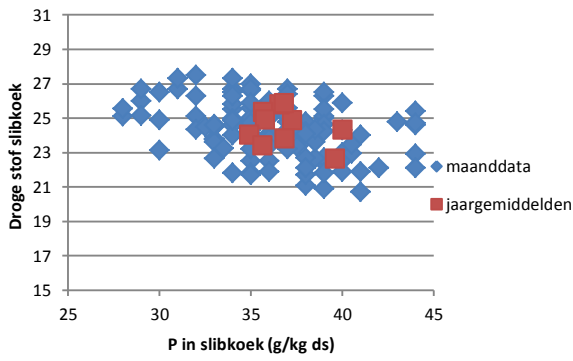
LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN



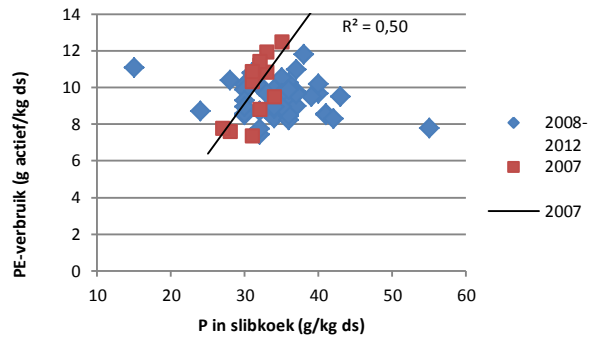
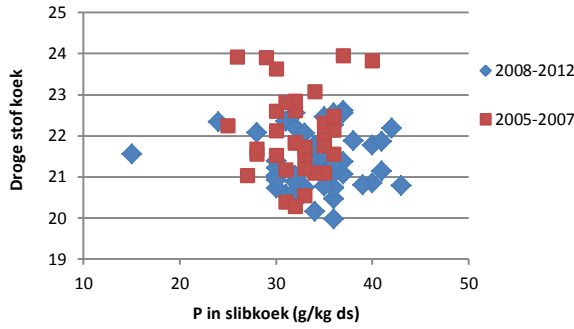


CORRELATIE MET FOSFAAT IN SLIB

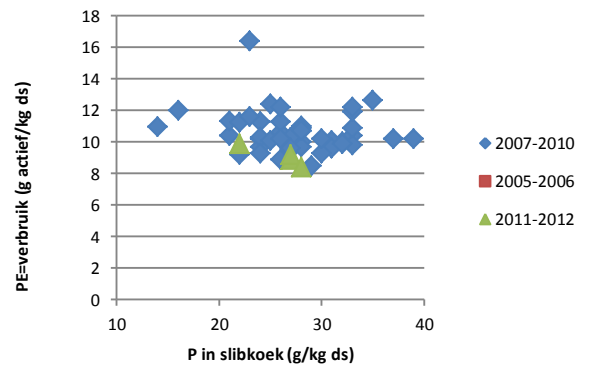
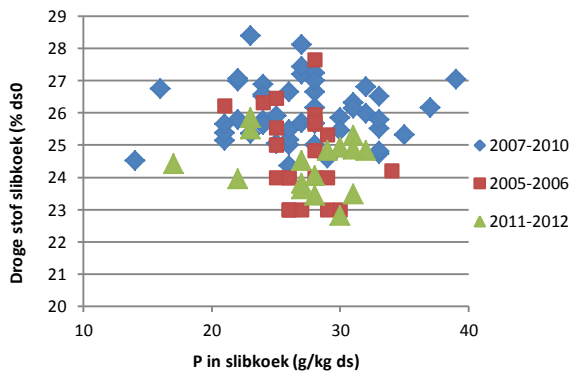
LOCATIE: HOOGHEEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER



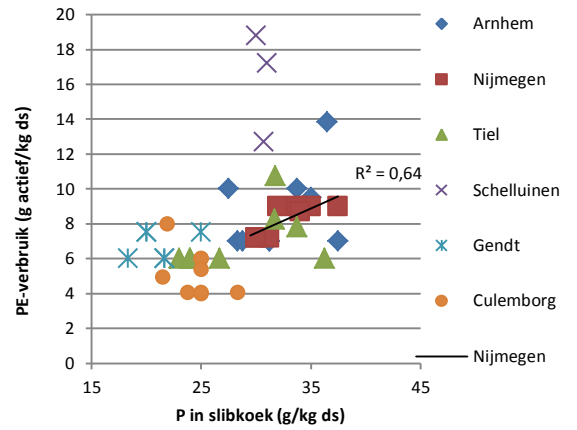
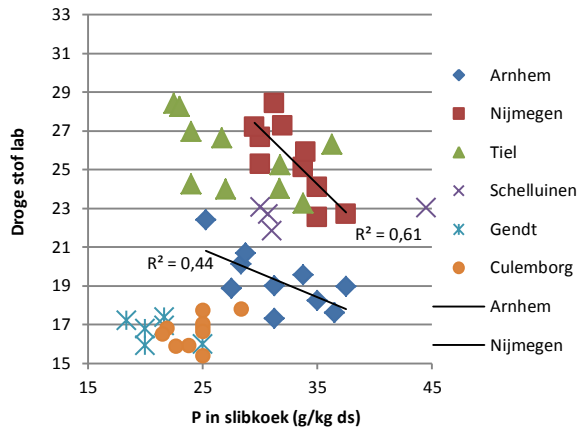
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



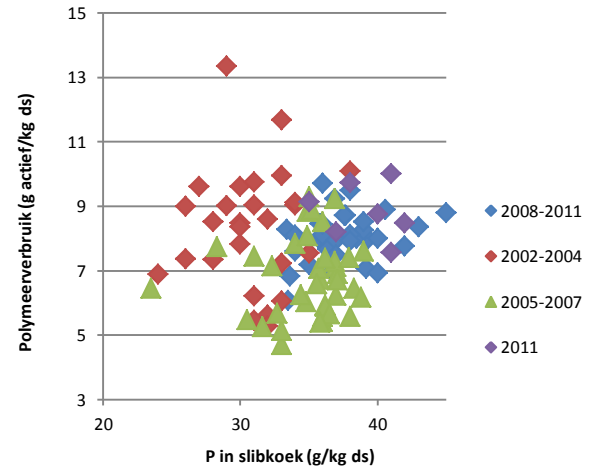
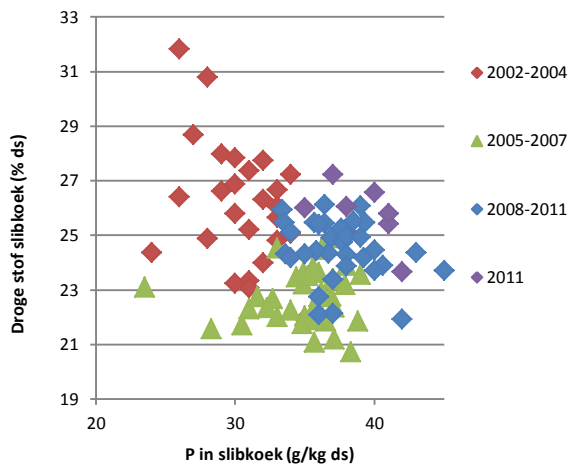
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



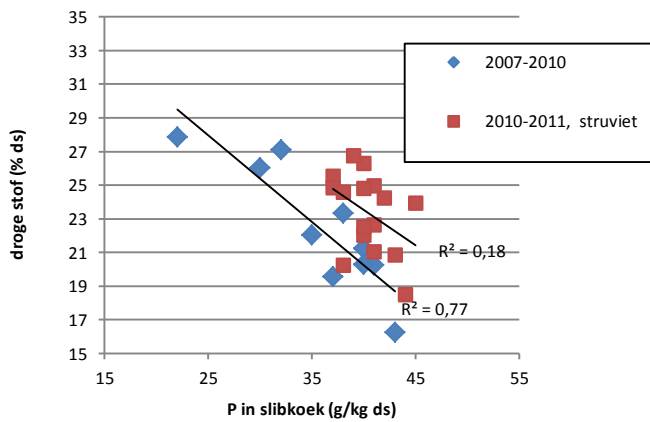
LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG



LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN

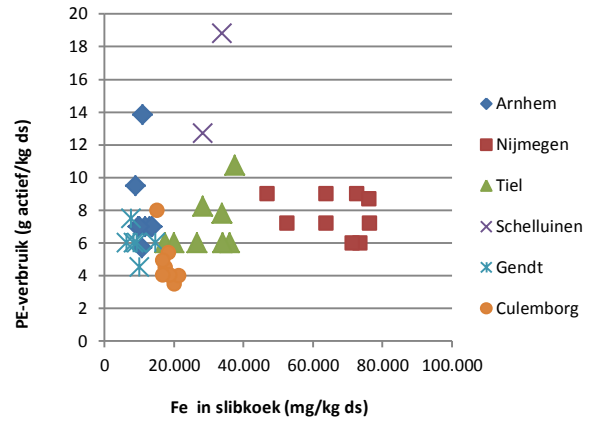
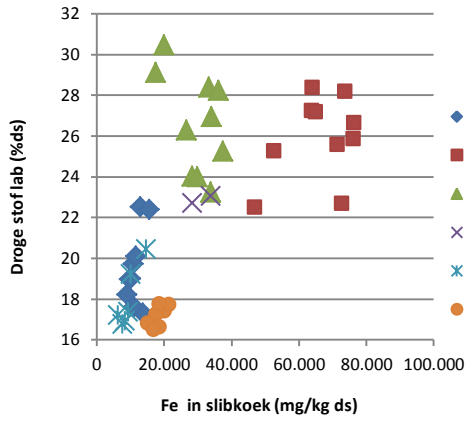


LOCATIE: WATERSCHAP VELT EN VECHT; EMMEN

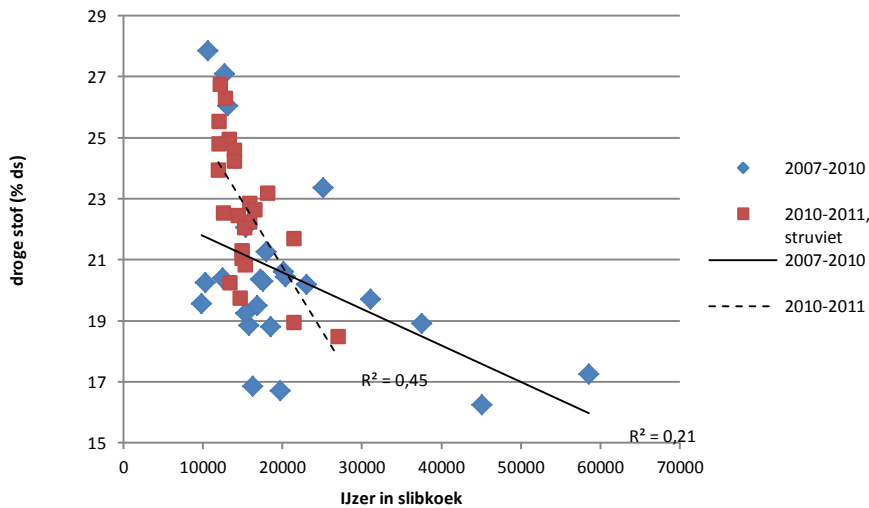


CORRELATIE MET IJZER IN SLIB

LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG

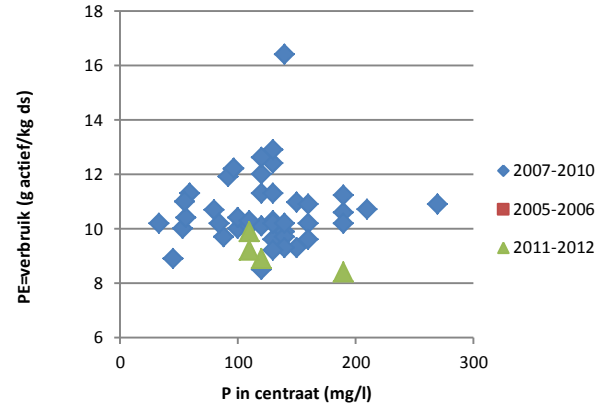
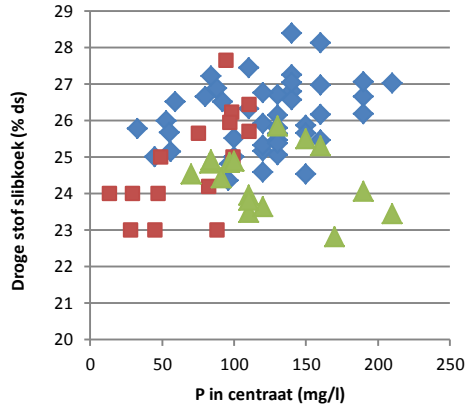


LOCATIE: WATERSCHAP VELT EN VECHT; EMMEN

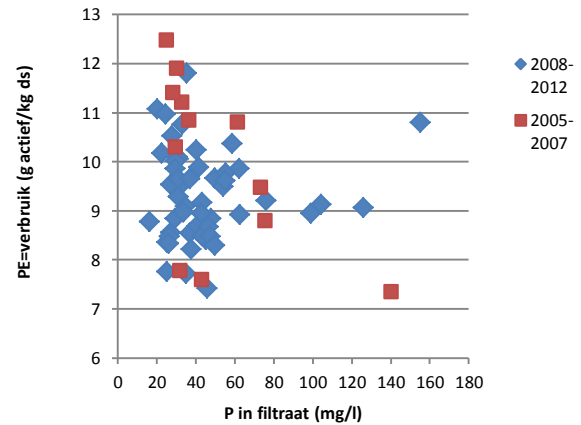
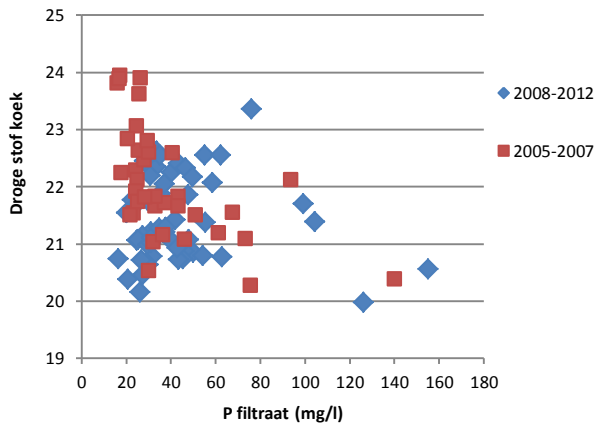


CORRELATIE MET FOSFAAT IN CENTRAAT/ FILTRAAT

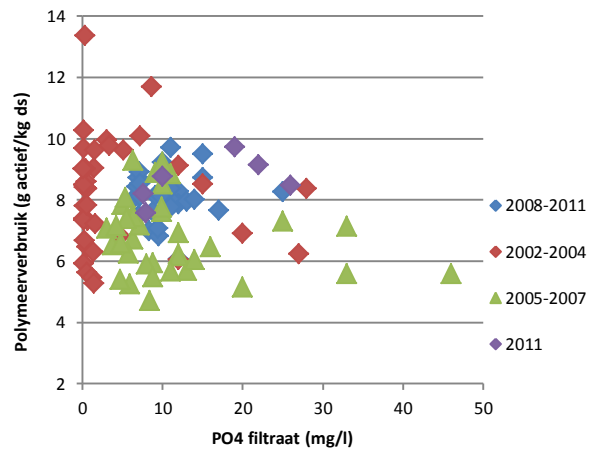
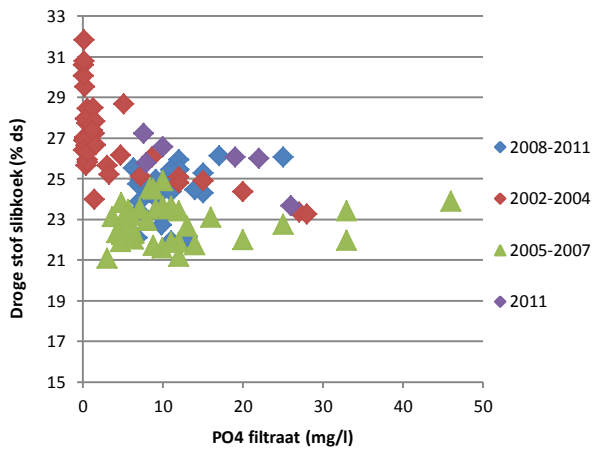
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



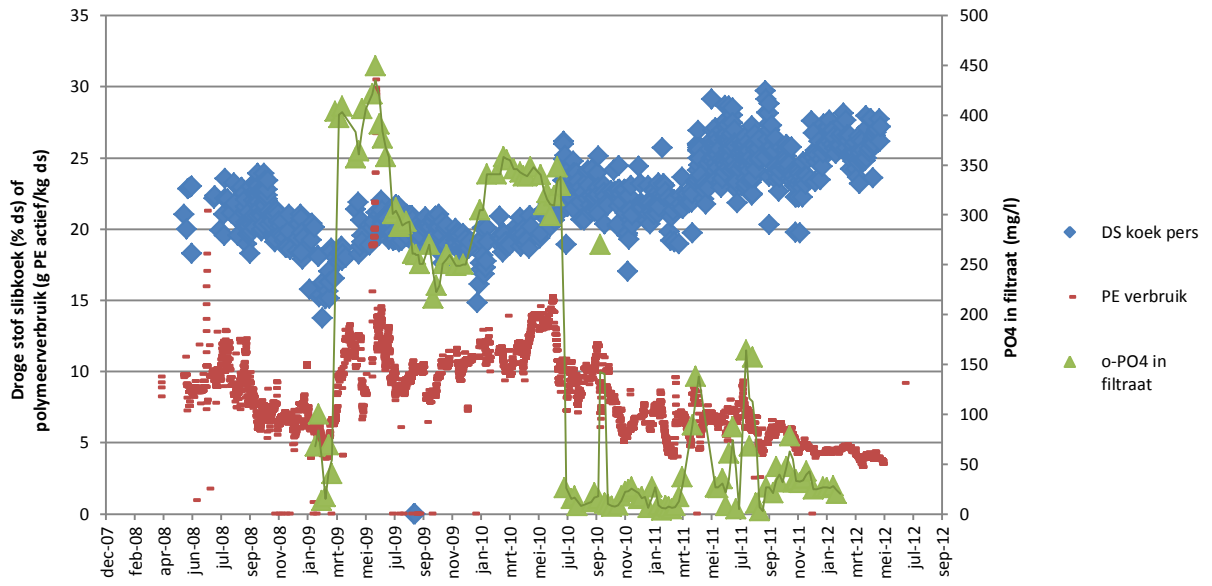
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN

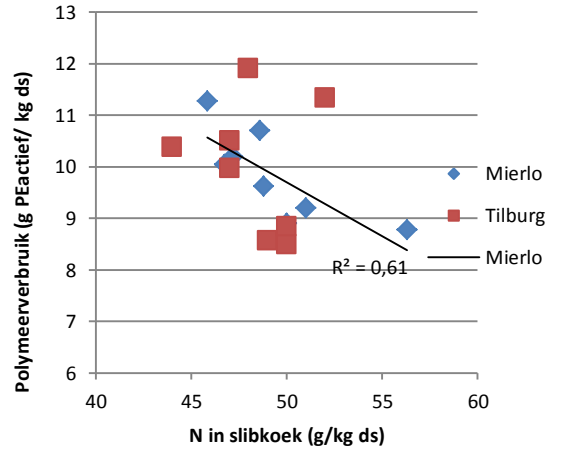
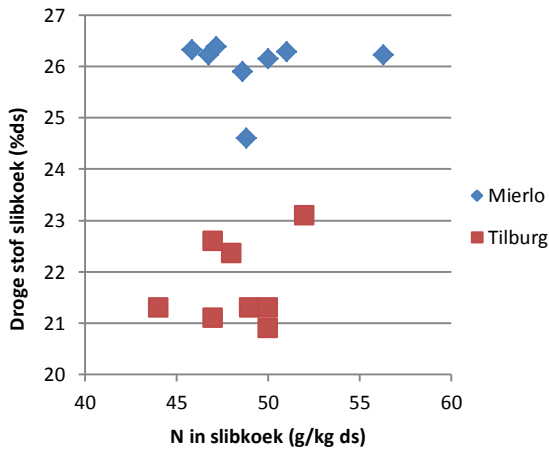


LOCATIE: WATERSCHAP VELT EN VECHT; EMMEN

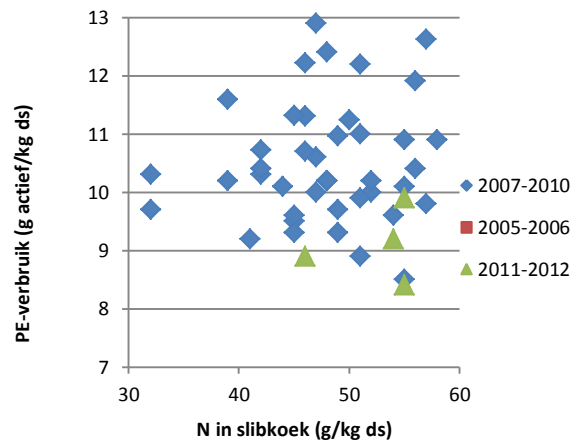
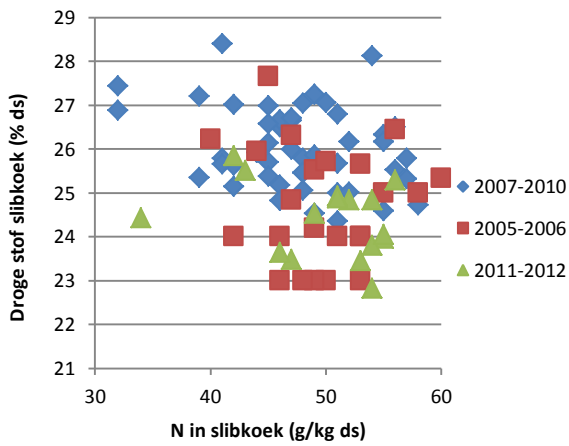


CORRELATIE MET STIKSTOF IN SLIB

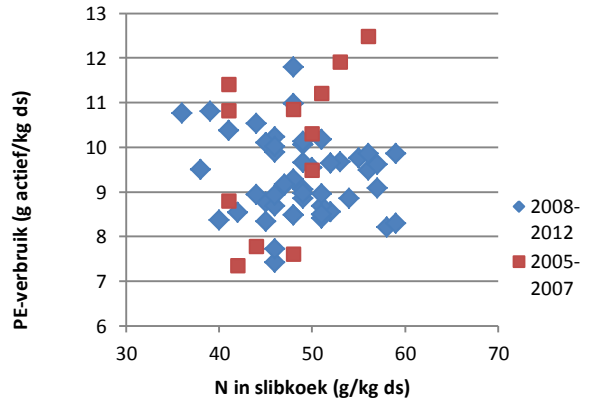
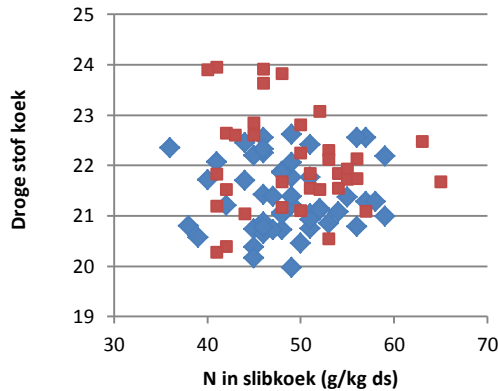
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO, TILBURG - JAARGEMIDDELDEN



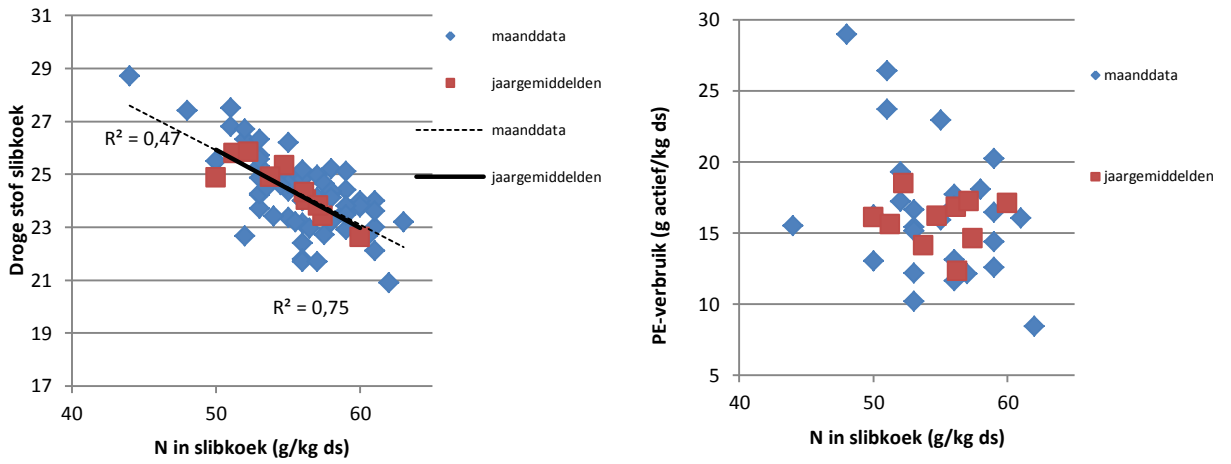
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO – MAANDGEMIDDELDEN



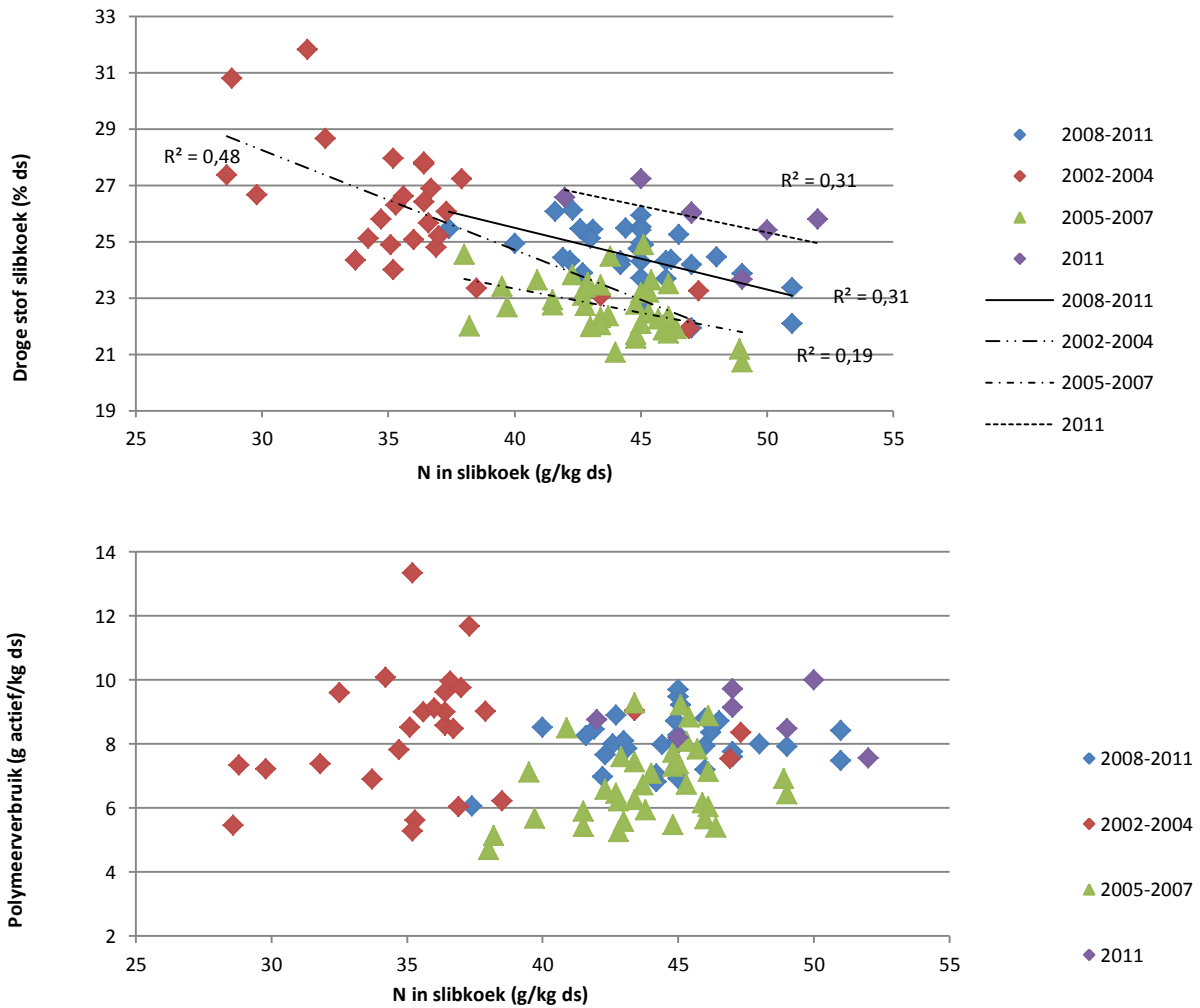
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG – MAANDGEMIDDELDEN



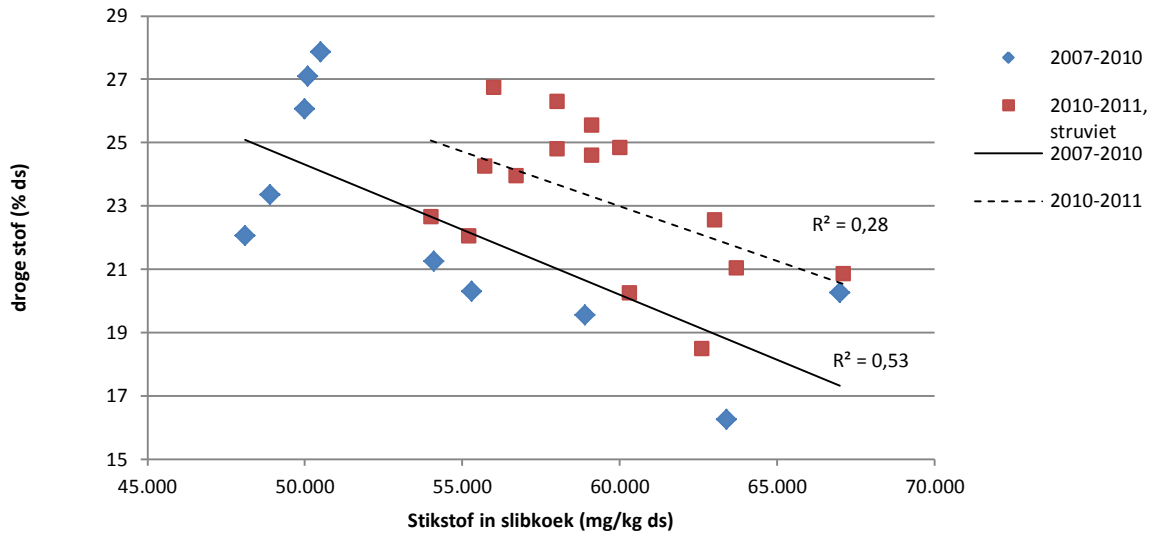
LOCATIE: HOOGHEEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER



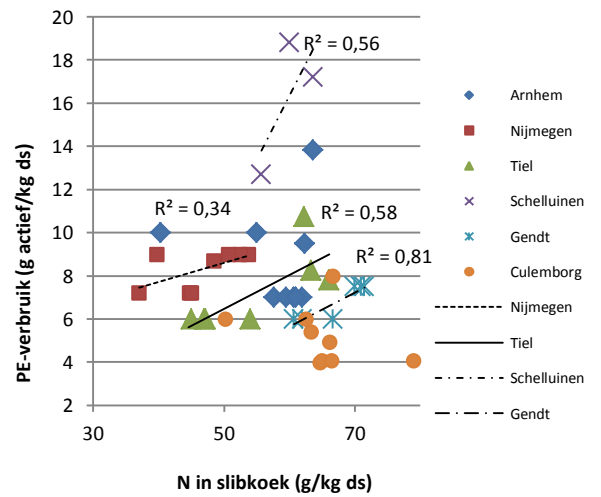
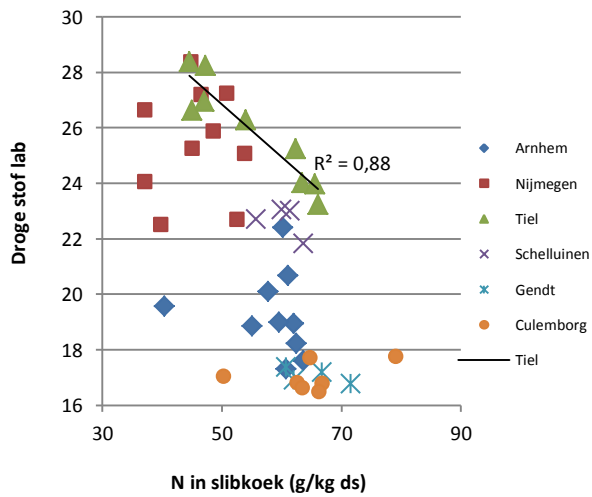
LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN



LOCATIE: WATERSCHAP VELT EN VECHT; EMMEN

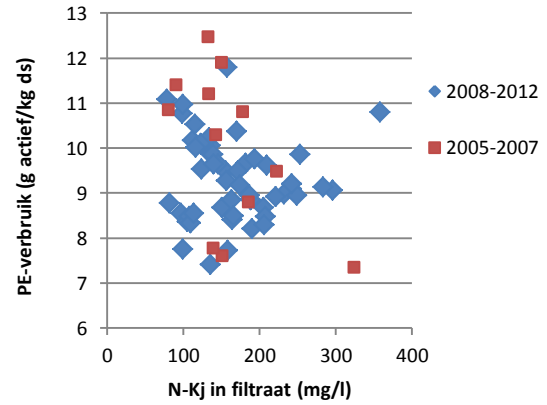
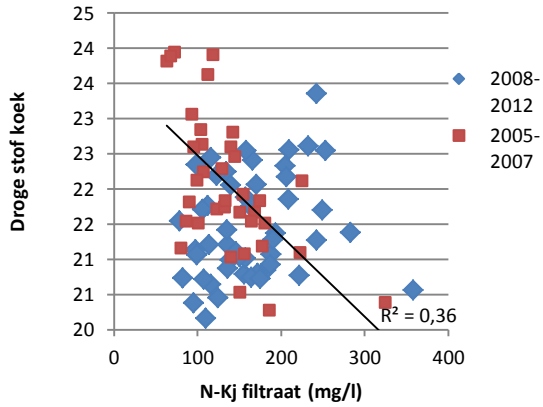


LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG

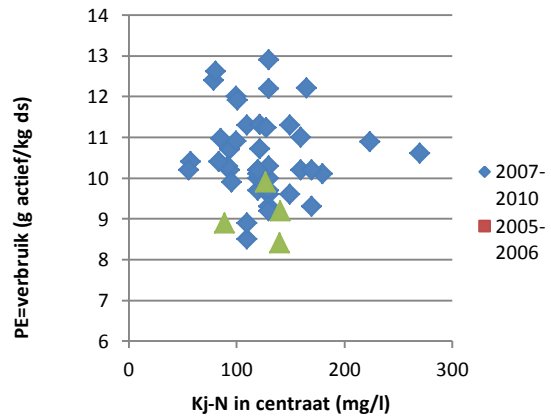
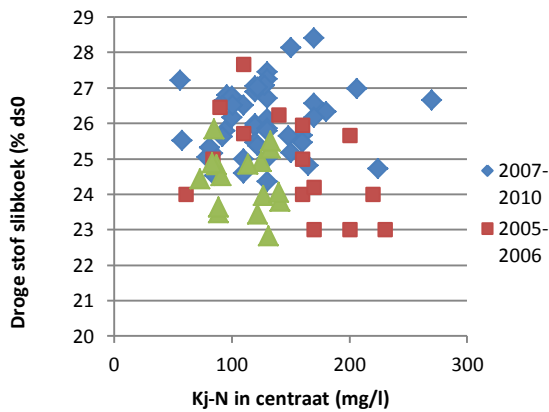


CORRELATIE MET STIKSTOF IN CENTRAAT/FILTRAAT

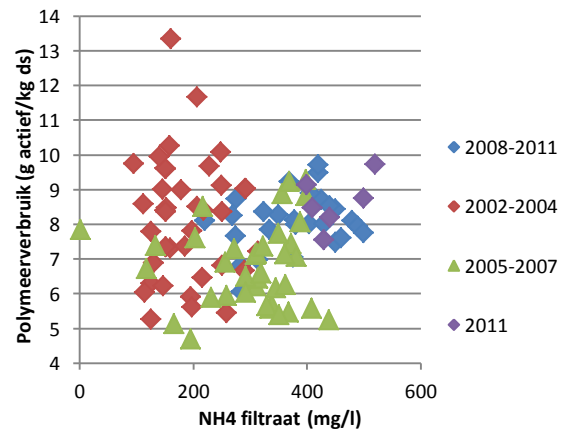
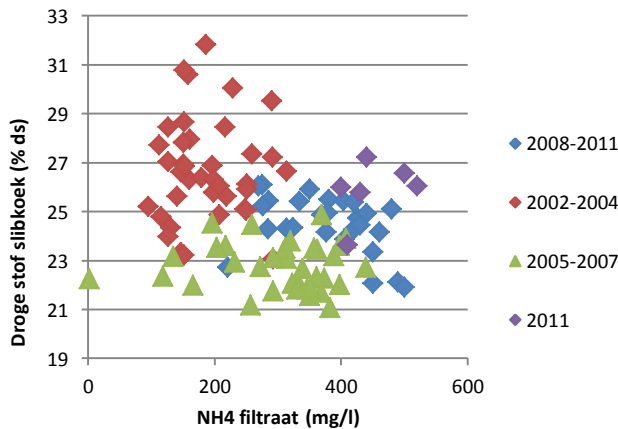
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



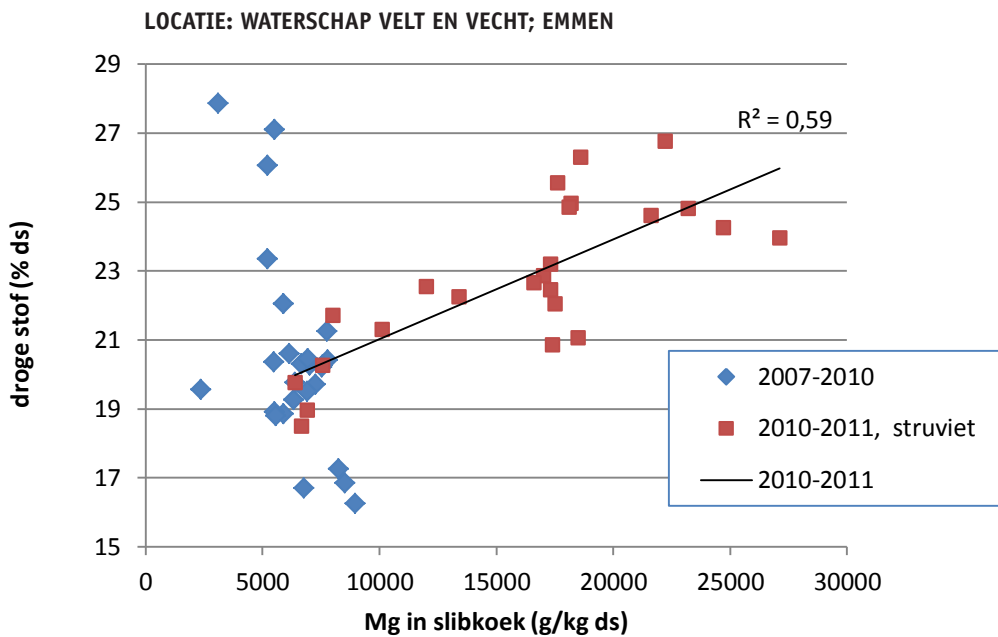
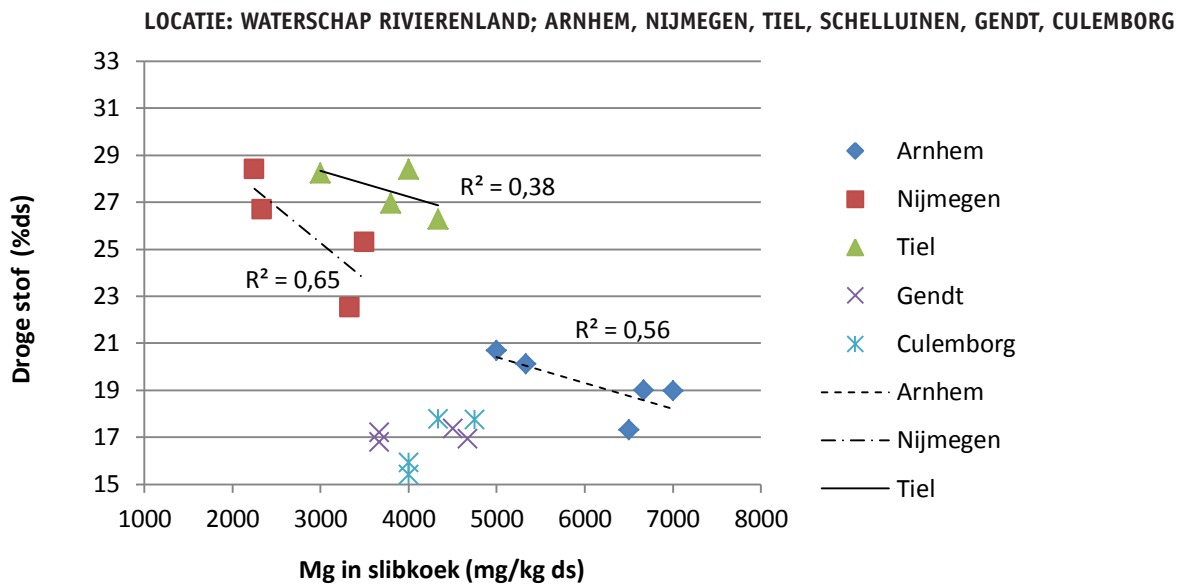
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



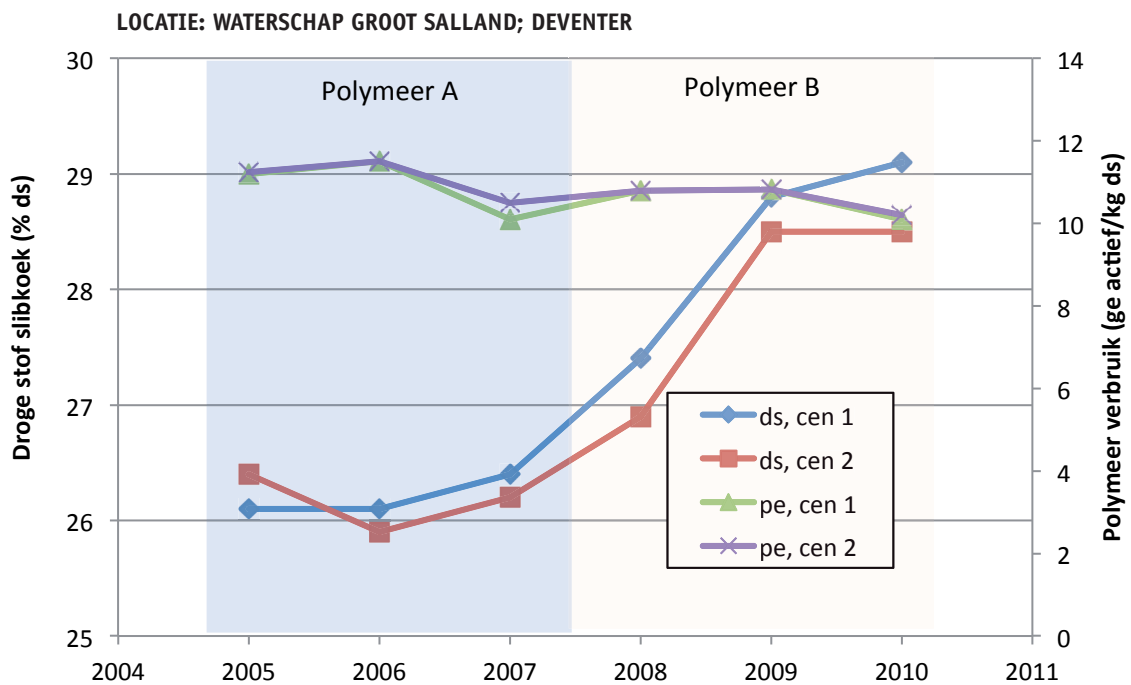
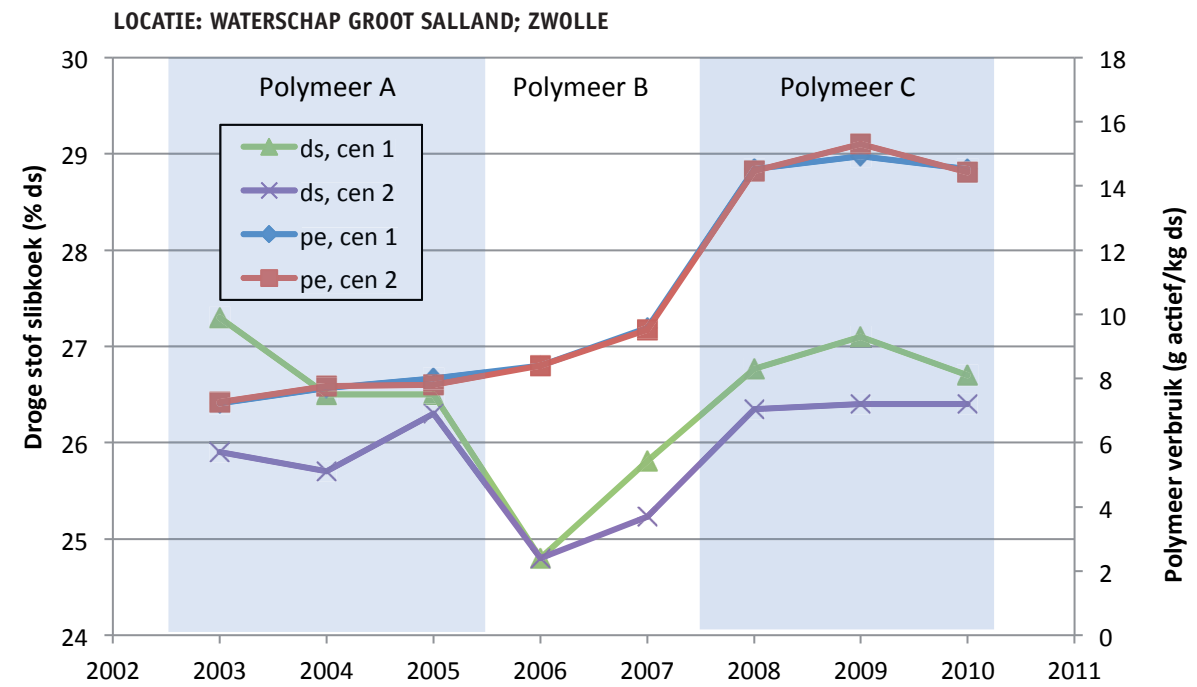
LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN



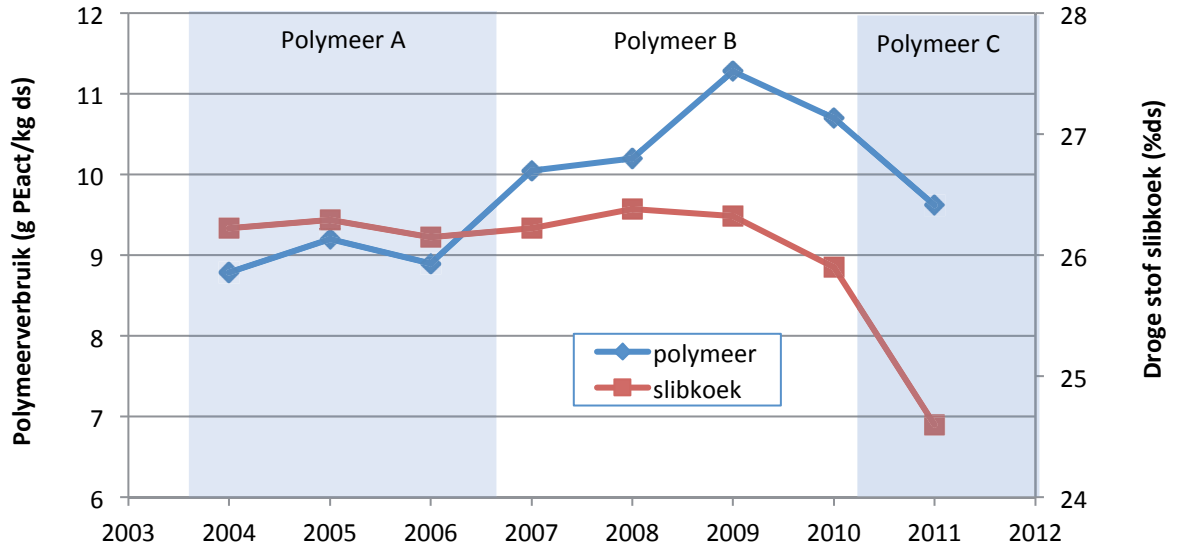
CORRELATIE MET MAGNESIUM



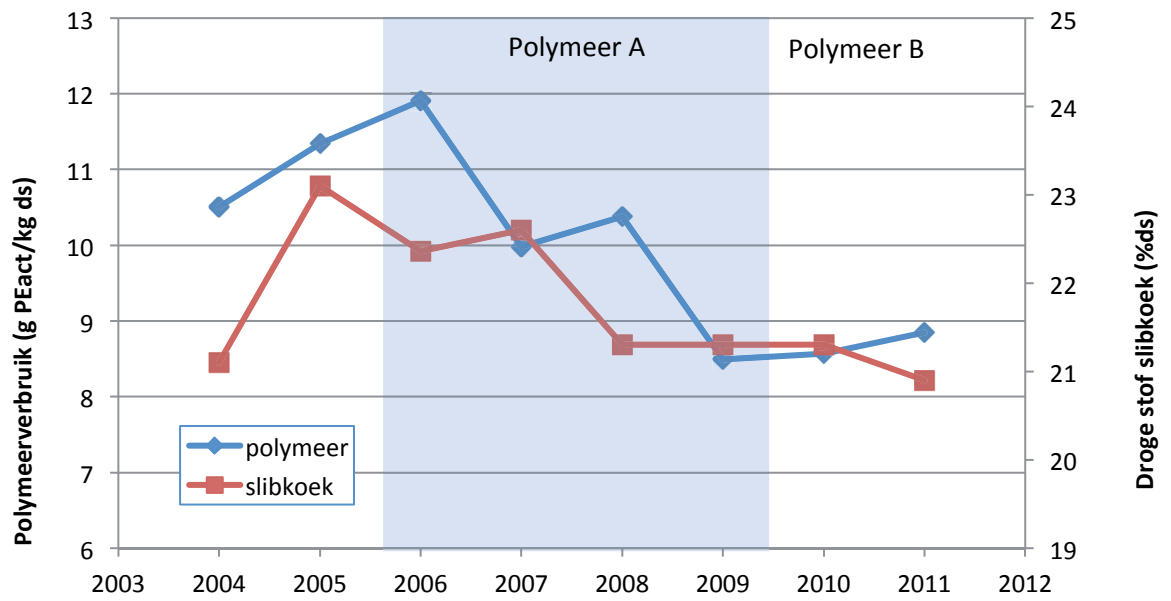
CORRELATIE MET POLYMEERDOSERING



LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO

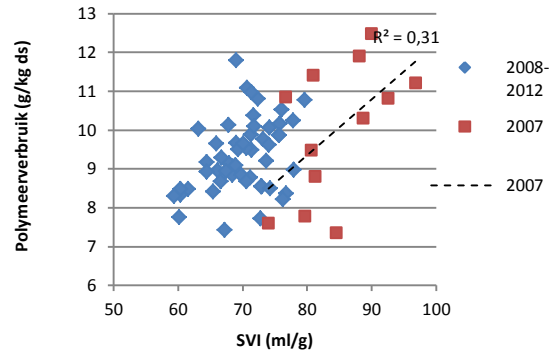
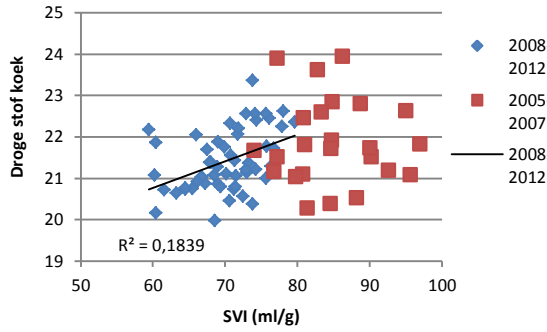


LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG

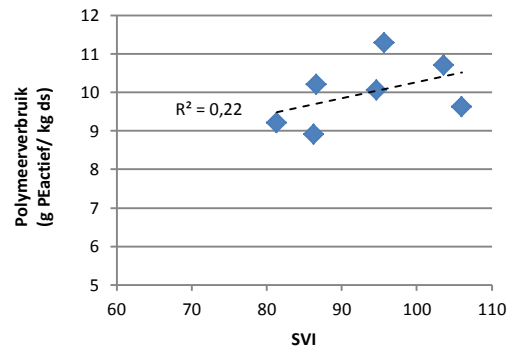
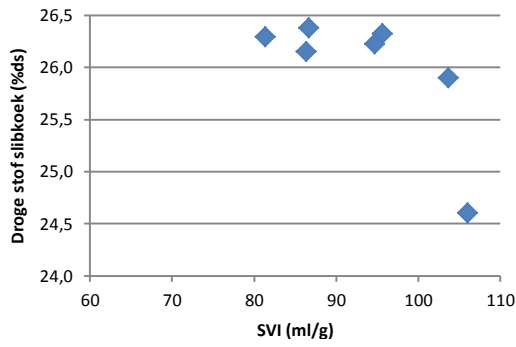


CORRELATIE MET SVI

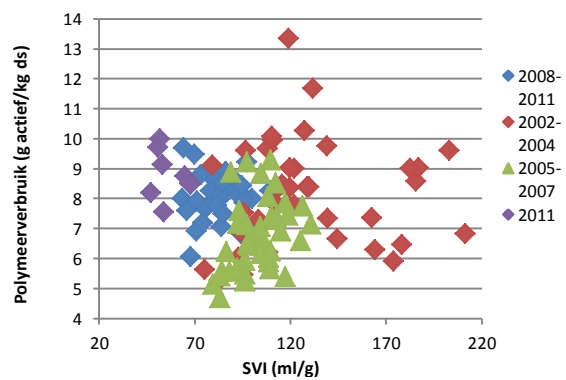
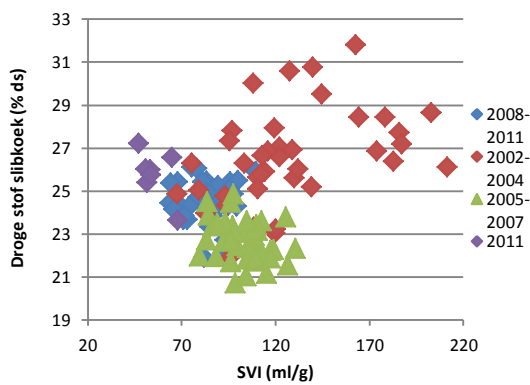
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



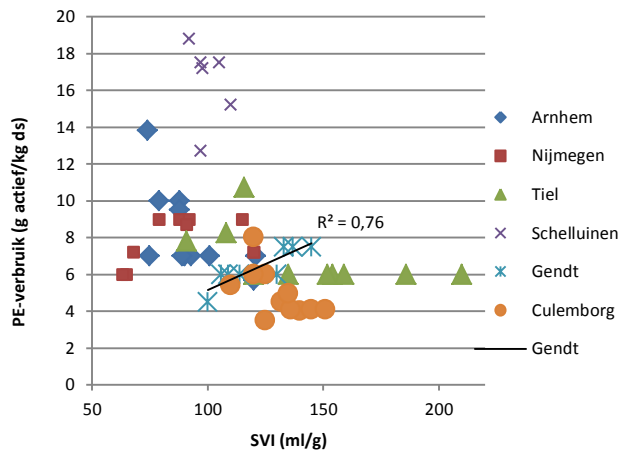
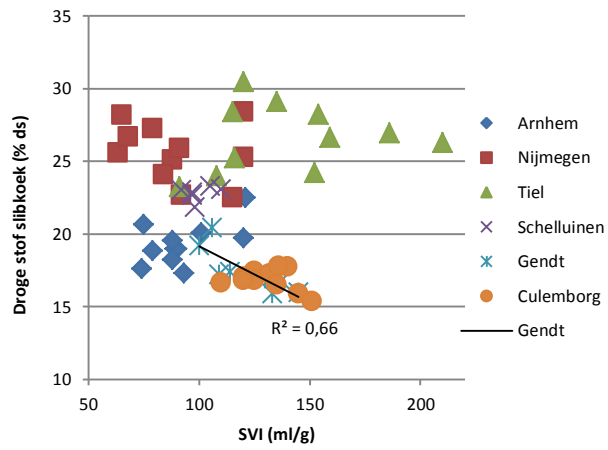
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN

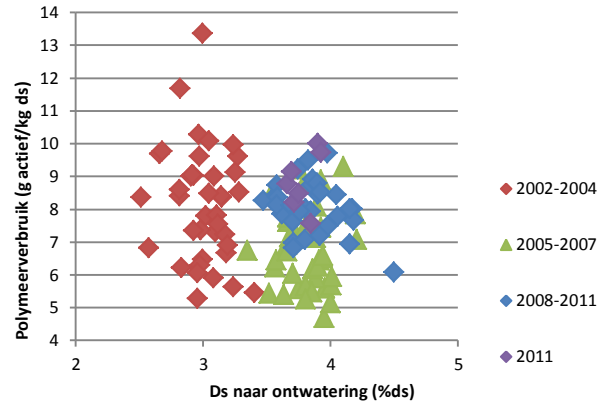
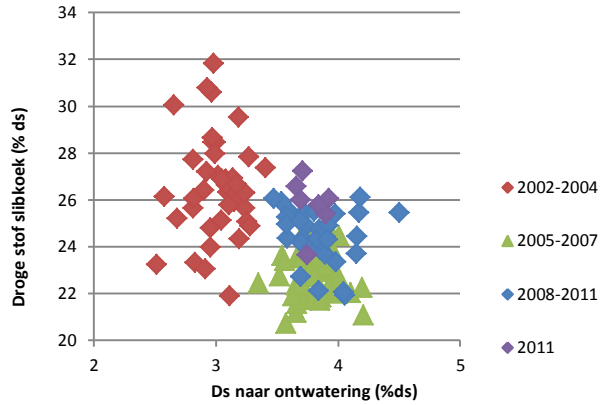


LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG

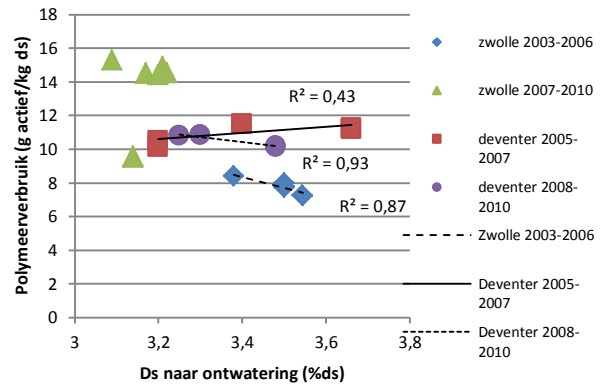
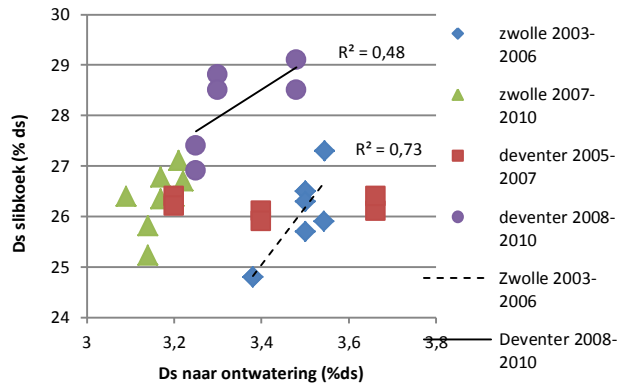


CORRELATIE MET DROGE STOF NAAR ONTWATERING

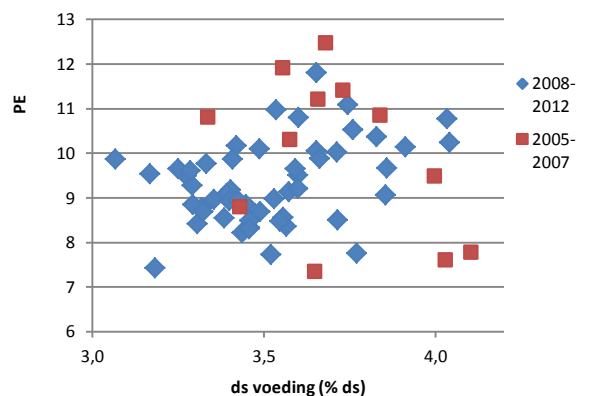
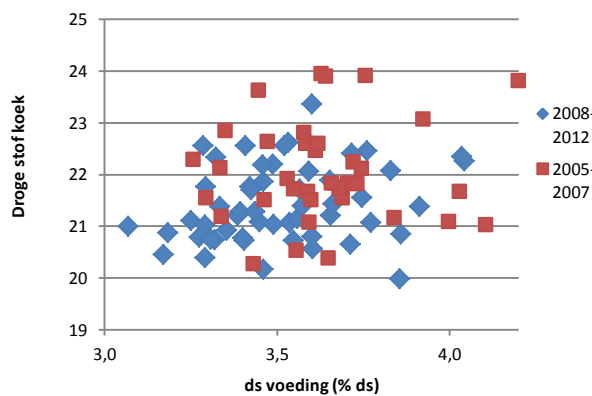
LOCATIE: WATERSCHAP SCHELDESTROMEN; WALCHEREN



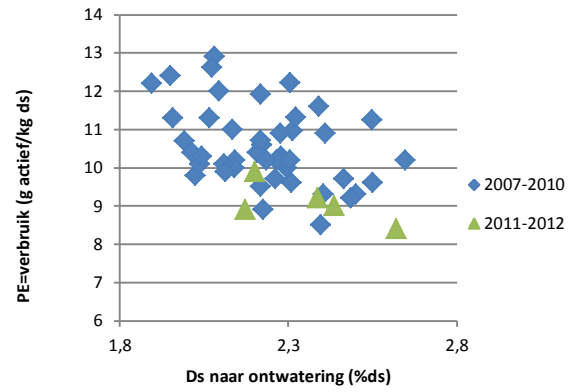
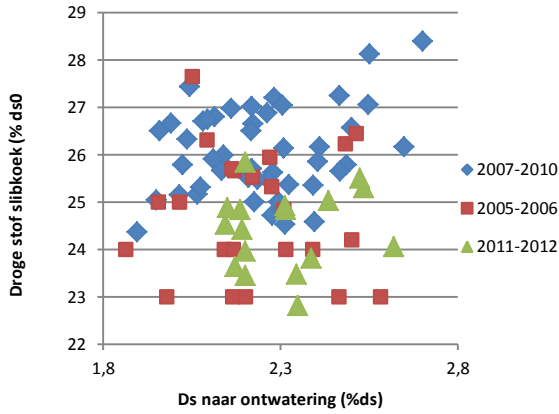
LOCATIE: WATERSCHAP GROOT SALLAND; ZWOLLE & DEVENTER



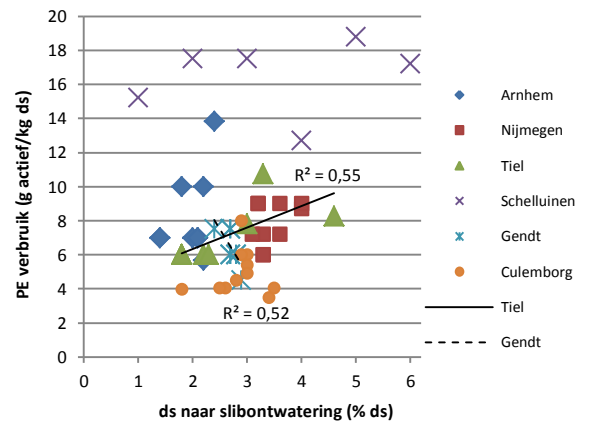
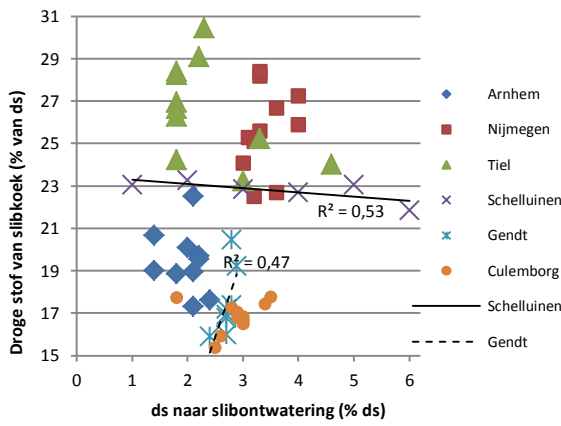
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; TILBURG



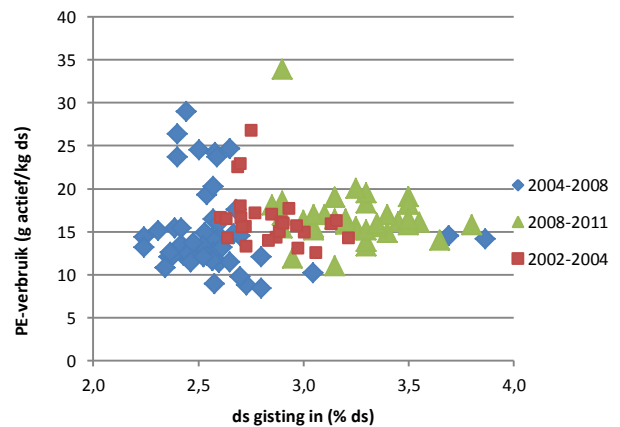
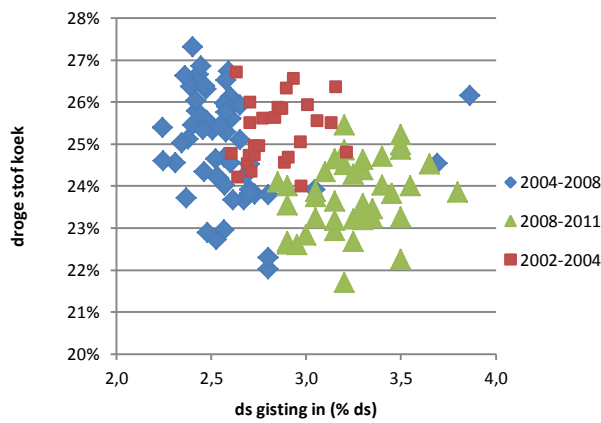
LOCATIE: WATERSCHAP DE DOMMEL; MIERLO



LOCATIE: WATERSCHAP RIVIERENLAND; ARNHEM, NIJMEGEN, TIEL, SCHELLUINEN, GENDT, CULEMBORG



LOCATIE: HOOGHEEMRAADSCHAP SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD; KRALINGSEVEER



BIJLAGE II

NOTITIE

NUMMER: AP11005-AR-02

VERKENNENDE PROEVEN RIJPING POLYMEER*STOWA***1 INLEIDING**

Een van de aanbevelingen van de STOWA studie “Trends in Slibontwatering” is meer aandacht te besteden aan een goede bedrijfsvoering van de aanmaak van het polymeer. Een voldoende rijping van het polymeer is van belang voor een goede werking van het polymeer. Helaas is er weinig ervaring met het bepalen van de rijpingstijd en is ook niet bekend of onvoldoende rijping echt een probleem is. Daarom zijn er flankerend aan de studie oriënterende proeven uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in deze rijping van het polymeer. Deze notitie beschrijft de resultaten van deze proeven.

2 OPZET**2.1 GELEIDBAARHEID ALS MAAT VOOR RIJPINGSTIJD**

Bij de proeven is gebruik gemaakt van het gegeven dat de geleidbaarheid van de polymeeroplossing toeneemt naarmate het polymeer zich ontvouwt en daardoor de lading van het polymeer en het tegen-ion meetbaar wordt in de vorm van een verhoogde geleidbaarheid. Deze methode voor de bepaling van de rijpingstijd wordt onder andere aanbevolen in een Duits Merkblatt voor slibontwatering¹.

Om een indruk te krijgen van de bruikbaarheid van deze methode zijn labproeven gedaan met een aantal polymeren om zo de rijpingstijd te bepalen. Daarnaast is bij een aantal waterschappen de geleidbaarheid bepaald in het aangemaakte polymeer om zo te onderzoeken of er veel variatie is te zien in deze geleidbaarheid en daarmee in de rijping van het polymeer.

2.2 LAB-PROEVEN

Door vijf waterschappen is een polymeer te beschikking gesteld voor de proeven. De proeven zijn op 24 september uitgevoerd in het laboratorium van Waterschap Scheldestromen op de rwzi Terneuzen.

2.2.1 OPZET

Er zijn 2 opstellingen gebruikt. In de eerste opstelling is het polymeer aangemaakt in een bekeerglas en werd het polymeer geroerd met een (grote) roervlo (zie foto). De geleidbaarheid werd regelmatig gemeten door de geleidbaarheidsmeting goed in de polymeeroplossing te houden. Hierbij werd er voor gezorgd dat deze zo dicht mogelijk bij de roervlo zat. De roerder moest op een maximum toerental staan om een goede menging in de polymeeroplossing te bereiken. Tijdens de proeven is ook een test gedaan met een vergelijkbare opstelling, maar een andere roervlo en roerder. Hierbij was de menging duidelijk minder.

¹ DWA, “Machinelles Schlammentwasserung”, Merkblatt DWA M-366 (entwurf), Oktober 2011, ISBN 978-3-942964-05-0.

Bij de tweede opstelling is een mechanische roerder gebruikt (zie foto). De geleidbaarheid werd elke minuut gemeten met een geleidbaarheidsmeting die vlak naast de roerder in de oplossing was geplaatst. Tijdens de proeven viel het op dat de menging met deze roerder niet altijd ideaal was en dat er soms sprake was van klontering van het polymeer.

FIGUUR 1 OPSTELLINGEN VOOR BEPALING VAN DE RIJPINGSTIJD. BIJ OPSTELLING 1 WERD EEN ROERVLO GEBRUIKT VOOR DE MENGING. BIJ OPSTELLING 2 EEN MECHANISCHE BOVENROERDER



Bij elke proef is uitgegaan van 300 ml water waaraan ongeveer 3,1-3,2 g polymeer aan toegevoegd werd, zodat een polymeeroplossing met een concentratie van 1% werd verkregen. Vrijwel alle polymeren hadden een actief aandeel van 42-48% zodat de concentratie actief polymeer ongeveer 0,45-0,5% bedroeg. Dit is ook de concentratie die de meeste waterschappen hanteren voor de aanmaak van hun polymeeroplossing.

Voor het aanmaken van het polymeer is leidingwater gebruikt. Het leidingwater had een geleidbaarheid van 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en een pH van 7,9. De proeven zijn met leidingwater van kamertemperatuur (23-24 °C) uitgevoerd.

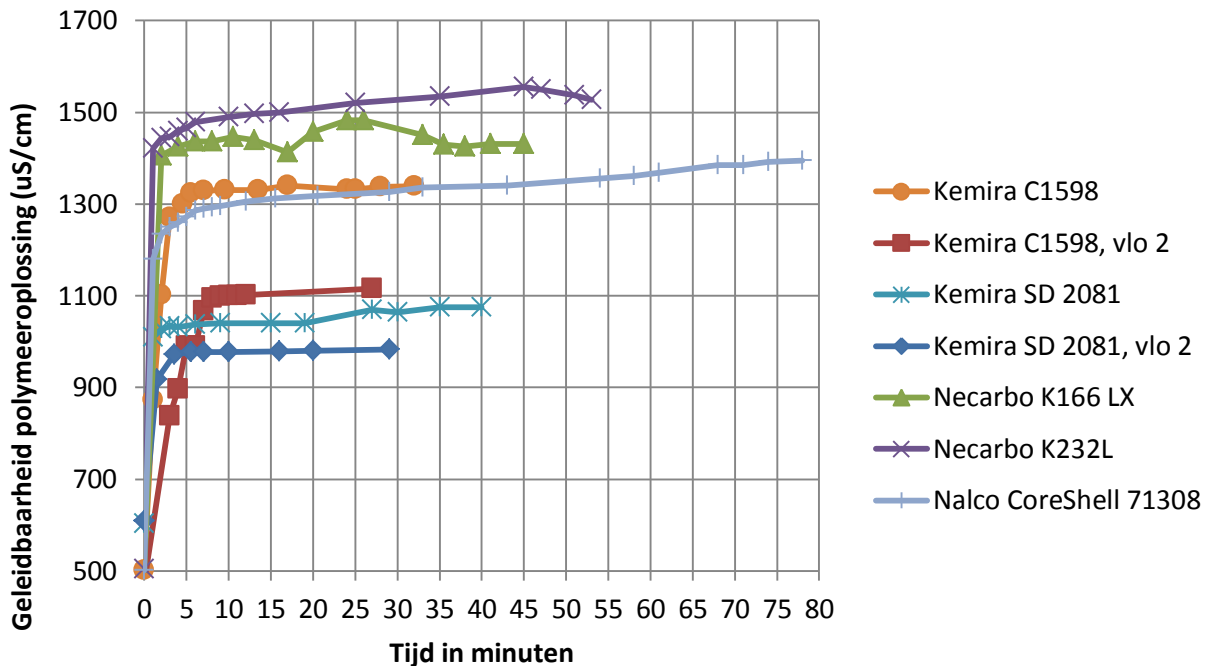
2.2.2 RESULTATEN

Figuur 2 geeft de resultaten weer van de proeven met de eerste opstelling waarbij het polymeer geroerd werd met een grote en zware roervlo. In vergelijking met de andere opstelling was de menging bij deze opstelling het beste.

Voor 2 polymeren is ook een andere wat lichtere roervlo gebruikt met ongeveer dezelfde diameter. Dit is aangegeven als "vlo 2" in de legenda. Bovendien is hierbij ook minder snel geroerd omdat de roervlo anders te snel ging springen. De resultaten laten zien dat een andere mengwijze een andere geleidbaarheid van de polymeeroplossing oplevert.

FIGUUR 2

RESULTATEN PROEVEN RIJPINGSTIJD MET OPSTELLING 1



TABEL 1

SAMENVATTING RESULTATEN GELEIDBAARHEIDSMETINGEN, OPSTELLING 1, IDENTIEKE MENGCONDITIES. TOENAME IN GELEIDBAARHEID TEN OPZICHTE VAN DE UITGANGSOPLOSSING

Toename van de geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	maximaal	na 5 min	% van max	na 10 min	% van max
Kemira C1598	839	811	97%	829	99%
Kemira SD 2081	471	431	91%	436	93%
Necarbo K166LX	992	940	95%	955	96%
Necarbo K232L	1051	962	92%	986	94%
Nalco CoreShell 71308	894	771	86%	795	89%

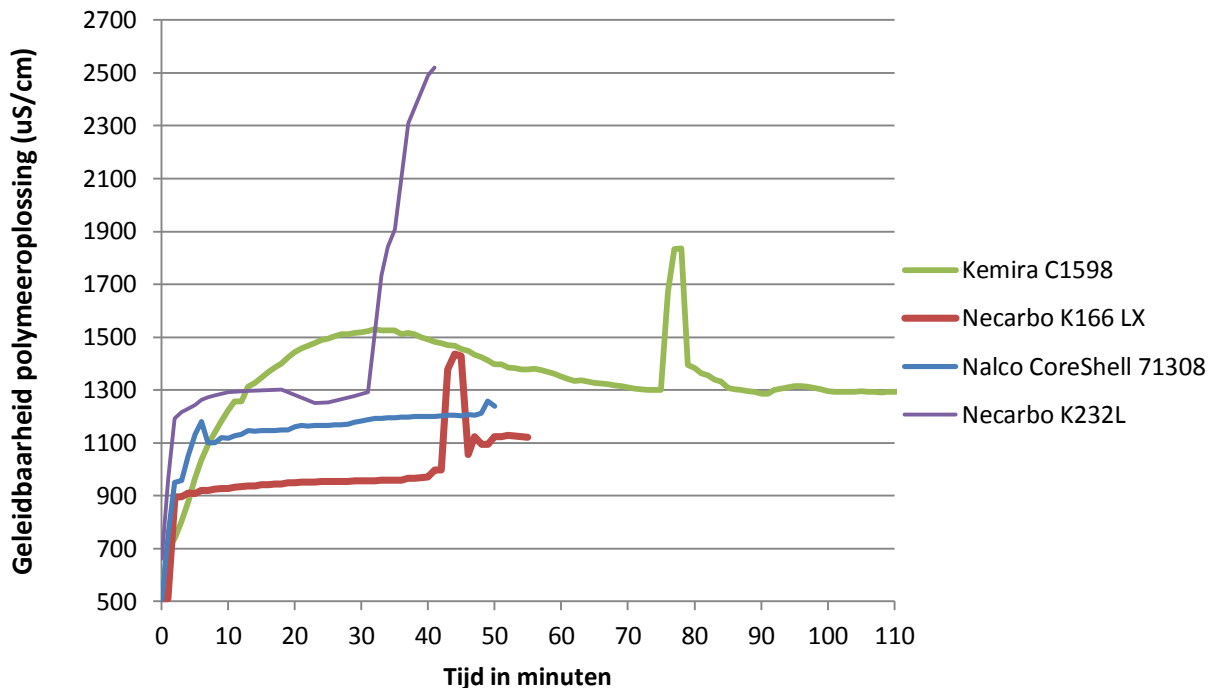
Tabel 1 geeft de resultaten van de proeven in tabelvorm weer. Deze gegevens laten zien dat vrijwel alle polymeren binnen 5 minuten meer dan 90% van de maximale toename van de geleidbaarheid laten zien. Alleen Nalco Coreshell 71038 reageert langzamer en heeft ook na 10 minuten nog niet 90% van de maximale geleidbaarheid bereikt. Opvallend is dat de geleidbaarheid bij dit polymeer ook na een uur nog steeds blijft oplopen.

Het polymeer Kemira SD 2081 vertoonde de minste toename van de geleidbaarheid. Dit zou er op kunnen wijzen dat dit polymeer een lagere ladingsdichtheid heeft dan de andere polymeren. De grootste toename werd gevonden bij Necarbo K232 L. Opvallend bij dit polymeer is wel dat de geleidbaarheid na het bereiken van een maximum weer begon te dalen.

Figuur 3 laat de resultaten zien van de metingen met proefopstelling 2. De resultaten van deze metingen zijn minder goed bruikbaar doordat de menging te lokaal was. Door de hoge viscositeit van de oplossing kon de relatief kleine propeller van de roerder niet al het polymeer mengen. Aanvankelijk waren de proeven uitgevoerd bij een toerental van 700 rpm, later bij 1000 rpm. Op het einde van enkele proeven is het toerental nog verder opgevoerd zonder duidelijk effect op de menging of de resultaten. Bij enkele proeven bleek de slechte menging ook uit de aanwezigheid van klonten polymeer in de oplossing.

Sommige grafieken vertonen een plotseling piek in de resultaten. Deze pieken werden verkregen door met de elektrode het polymeer in de oplossing extra te mengen. De piek ontstond dan 1-3 minuten na deze mengactie. Opvallend genoeg leidde de mengactie niet altijd tot een piek. Bij de opstelling met de roervlo is dit ook enige malen gedaan, maar daar zorgde dit niet voor een vreemde verandering in de resultaten. Dit bevestigt dat de menging bij deze proef beter was.

FIGUUR 3 RESULTATEN VAN PROEVEN MET OPSTELLING 2 (MECHANISCHE BOVENROERDER)



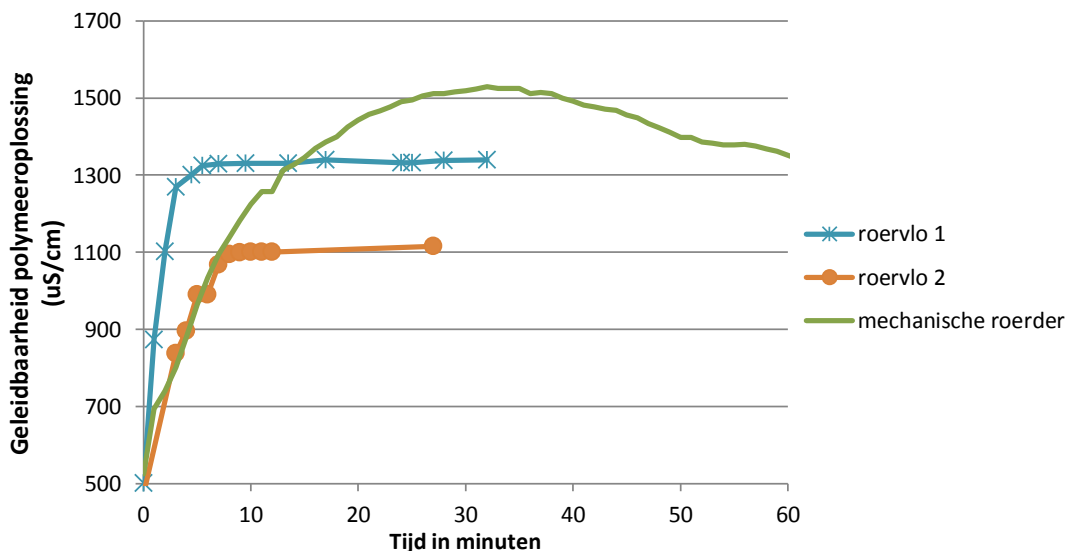
De slechtere menging in de tweede opstelling zorgt er voor dat de geleidbaarheid langzamer oploopt en dat er eerder een maximum wordt bereikt (zie Tabel 2).

TABEL 2 VERGELIJKING MAXIMALE TOENAME VAN DE GELEIDBAARHEID BIJ DE TWEE OPSTELLINGEN (PIEKEN IN DE RESULTATEN BIJ OPSTELLING 2 ZIJN NIET MEEGENOMEN)

Maximale toename geleidbaarheid (µS/cm)	Opstelling 1	Opstelling 2
Kemira C1598	839	1005
Necarbo K166LX	992	459
Necarbo K232L	1051	642
Nalco CoreShell 71308	894	698

Opvallend genoeg laat het polymeer Kemira C1598 in de tweede opstelling wel een hoger maximum in de geleidbaarheid zien. Dit maximum wordt wel langzamer bereikt (zie Figuur 4). Verder vertoont het verloop in de geleidbaarheid voor de opstelling met de lichtere roervlo in eerste instantie een vergelijkbaar verloop als bij de mechanische roerder. Bij de mechanische roerder zet de toename echter verder door, terwijl die bij de opstelling met de roervlo juist afvlakt. Wellicht zorgt het hogere toerental van de mechanische roerder voor het verschil in resultaten.

FIGUUR 4 VERGELIJKING RESULTATEN VOOR POLYMEER KEMIRA C1598 VOOR 3 VERSCHILLENDE OPSTELLINGEN



2.3 GELEIDBAARHEID IN DE PRAKTIJK

Om een beeld te krijgen van de variatie van de geleidbaarheid in de praktijk hebben 3 waterschappen gedurende een periode van 1-2 weken op verschillende momenten de geleidbaarheid van het aangemaakte polymeer gemeten. Als deze geleidbaarheid sterk zou variëren is dit een indicatie dat de rijping van het polymeer niet voldoende is. Bij een vierde waterschap (waterschap Scheldestromen) is de geleidbaarheid van het polymeer gedurende een week continu gemeten.

TABEL 3 RESULTATEN METINGEN GELEIDBAARHEID AANGEMAAKT POLYMEER

Locatie	Polymeer	Toename geleidbaarheid (µS/cm)			#	Periode
		Gemiddeld	St dev.	%		
SOI Culemborg	Nalco CoreShell 71308	581	9	1,5%	24	9 meetdagen in periode van 20 dagen
SOI Mierlo	Necarbo K232L	771	40	5,2%	6	3 meetdagen in periode van 3 dagen
SOI Kralingseveer	Kemira SD 2081	848	35	4,1%	5	2 meetdagen in periode van 2 dagen

De metingen laat zien dat de geleidbaarheid relatief constant is. Dit wijst er op dat de rijpingstijd bij normale bedrijfsvoering niet veel variatie laat zien. Dit zal het geval zijn als er bij alle belastingen voldoende rijpingstijd is, maar kan ook het gevolg zijn van een constante bedrijfsvoering. Om te onderzoeken of de geleidbaarheid hoger had kunnen zijn is in Tabel 4 de toename van de geleidbaarheid in de praktijk vergeleken met de toename in de geleidbaarheid die in de labproeven werd gevonden.

Bij twee van de drie ontwateringslocaties is de in de praktijk waargenomen toename van de geleidbaarheid significant lager dan in de labopstelling. Dit kan wijzen op onvoldoende menging en/of rijpingstijd in de praktijkinstallaties. Bij één ontwateringslocatie is de toename van de geleidbaarheid in de praktijk juist veel groter dan in het lab werd gemeten. De in het lab gevonden toename was ook in vergelijking met de andere polymeren aan de lage kant, maar werd wel 2 maal bevestigd. In de praktijk werd aanmaakwater gebruikt met een relatief hoge geleidbaarheid (ca. 1000 µS/cm). Mogelijk heeft dit effect op de toename van de geleidbaarheid.

TABEL 4

VERGELIJKING TOENAME GELEIDBAARHEID TEN OPZICHTE VAN AANMAAKWATER IN DE PRAKTIJKINSTALLATIES EN DE UITGEVOERDE LABPROEVEN (OPSTELLING 1)

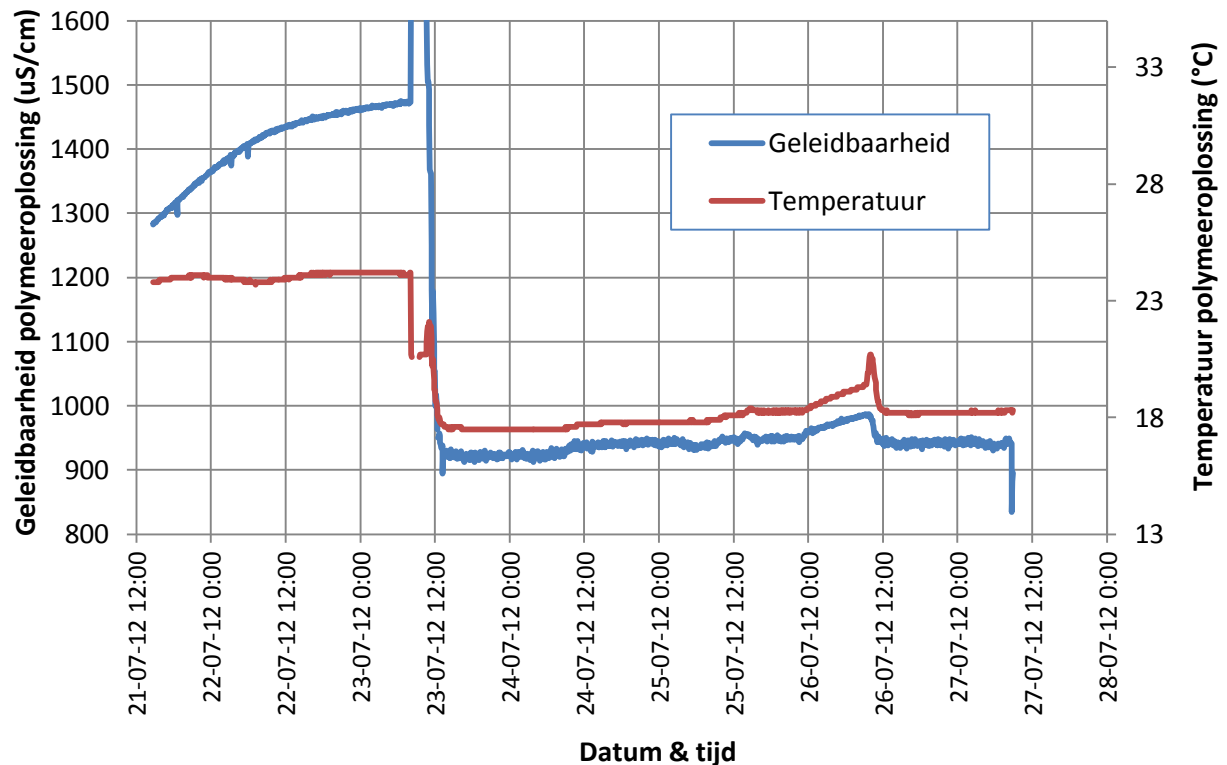
Locatie	Praktijk Toename geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Labproef (opstelling 1)	Relatief (praktijk vs lab)
SOI Culemborg	581	894	65%
SOI Mierlo	771	1051	73%
SOI Kralingseveer	848	471	180%

Op de slibontwatering Willem Annapolder is door Waterschap Scheldestromen gedurende ruim een week de geleidbaarheid gevolgd in het laatste compartiment van de polymeer aanmaak (Figuur 5). De metingen beginnen met een periode in het weekend waarbij er geen polymeer wordt gebruikt, maar het polymeer wel op voorraad wordt gehouden. Op dit moment hangt de meting nog in het eerste aanmaak compartiment waar de geleidbaarheid normaal ongeveer $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ is. In de loop van het weekend stijgt de geleidbaarheid in dit compartiment tot een maximum van $1470 \mu\text{S}/\text{cm}$. Deze langzame toename kan betekenen dat het polymeer een zeer lange rijpingstijd heeft, maar kan ook een aanwijzing zijn dat de menging in het compartiment niet ideaal is. De labproeven laten immers zien dat het bij een minder goede menging langer kan duren voor de maximale geleidbaarheid is bereikt.

Vanaf maandag 23/7 is de geleidbaarheidsmeting in het laatste compartiment gehangen. Gedurende de week wordt er een relatief constante geleidbaarheid gemeten van gemiddeld $942 \mu\text{S}/\text{cm}$ met een standaarddeviatie van $15 \mu\text{S}/\text{cm}$. De geringe variatie wijst net als bij de andere waterschappen op een constante bedrijfsvoering. De gemeten geleidbaarheid is in vergelijking met de geleidbaarheid die in de labproeven (Kemira C1598) werd gemeten wel aan de lage kant ($900 \mu\text{S}/\text{cm}$ in de praktijk en $1340 \mu\text{S}/\text{cm}$ in het lab). Dit wijst er op dat de menging mogelijk ook in dit laatste compartiment niet ideaal is en dat een betere rijping mogelijk is. Eerdere proeven op Walcheren hebben ook uitgewezen dat langere rijpingstijden leiden tot betere ontwateringsresultaten. Waarschijnlijk is het beter om de menging in de bestaande installatie te verbeteren. Hierdoor kan de rijping verbeterd worden en wordt tegelijk voorkomen dat de activiteit van het polymeer door te lange verblijftijden gaat hydrolyseren met verlies van activiteit tot gevolg.

Dat de rijping mogelijk onvoldoende is wordt nog bevestigd door een incident op 26 juli. Hier is de ontwateringsinstallatie gedurende 9 uur uitgevallen en wordt tijdelijk geen polymeer afgenomen. Gedurende deze periode stijgt de geleidbaarheid langzaam met $20 \mu\text{S}/\text{cm}$.

FIGUUR 5 VERLOOP GELEIDBAARHEID IN PRAKTIJKINSTALLATIE SOI WALCHEREN



3 CONCLUSIES

Met behulp van geleidbaarheidsmetingen is in laboratorium proeven en metingen bij praktijkinstallaties verkennend onderzoek uitgevoerd naar de rijping van het polymeer. Hierbij werd de ontwikkeling van de geleidbaarheid van de oplossing gebruikt als maat voor de rijping van het polymeer. Dit onderzoek levert de volgende conclusies op.

- 1 Het lab-onderzoek wijst uit dat de manier en intensiteit van de menging van het polymeer van invloed is op de rijping van het polymeer. Niet alleen verloopt de rijping langzamer bij een slechtere menging, maar er wordt ook een lagere maximale rijpingsgraad bereikt.
- 2 Bij de 4 onderzochte praktijkinstallaties was er weinig variatie te constateren in de geleidbaarheid van het aangemaakte polymeer. Dit wijst op een constante bedrijfsvoering.
- 3 In vergelijking met de labproeven werden in twee van de drie praktijkinstallaties duidelijk lagere geleidbaarheden gemeten. Dit wijst erop dat in deze praktijkinstallaties niet de maximale rijping wordt bereikt.
- 4 Bij één waterschap werd gedurende een week de geleidbaarheid continu gemeten. Deze metingen lieten zien dat de geleidbaarheid op momenten dat de installatie uit bedrijf is, langzaam oploopt. Dit wijst erop dat ook hier de maximale rijping niet bereikt wordt bij normaal bedrijf.

Deze conclusies wijzen erop dat de rijping van het polymeer bij een aantal van de onderzochte ontwateringslocaties verbeterd kan worden. Waarschijnlijk speelt de wijze van menging hierbij een belangrijke rol.

4 AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan.

- 1 De uitgevoerde labproeven laten zien dat de methode die gebruikt wordt om de rijping te meten van invloed is op het eindresultaat. Het is daarom aan te bevelen om een standaardmethode te ontwikkelen om de rijpingstijd te bepalen zodat de resultaten reproduceerbaar en vergelijkbaar worden.
- 2 In deze proeven is vanwege de eenvoud van de meting geleidbaarheid genomen als maat voor de rijping. De viscositeit van de oplossing kan ook een goede en andersoortige maat zijn voor de rijping. Tijdens de proeven was visueel een verandering van de viscositeit waar te nemen. Het is daarom aan te bevelen om ook de viscositeit te testen als maat voor de rijping. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de rijping nog niet compleet is als de maximale geleidbaarheid bereikt is, doordat de moleculen zich dan nog verder kunnen strekken. Dit effect zou meetbaar kunnen zijn met een viscositeitsmeting.
- 3 Het onderzoek biedt aanwijzingen dat de rijping van het polymeer in de praktijk niet altijd volledig is. Het verdient aanbeveling dit verder te onderzoeken. Met name de manier en mate van menging lijkt invloed te hebben op de maximaal haalbare rijping en daarom wordt aanbevolen vooral dit aspect verder te onderzoeken.