stowa

SLIBONTWATERING MET BORSTEL-CENTRIFUGE

RAPPORT 2018 35

stowa

SLIBONTWATERING MET BORSTELCENTRIFUGE

RAPPORT 2018 35

ISBN 978.90.5773.804.3

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERDERS
Joost van den Bulk (Tauw)
Mike van Boldrik (Tauw)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Bert van Lammeren (Nieuwe Weme Technische Montage)
Dirk Koot (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Hans Kuipers (Waterschap Zuiderzeeland)
Harm Baten (Hoogheemraadschap van Rijnland)
Luc Verschueren
Paul Timmerman (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Thans Waterschap Vallei en Veluwe)
Sanne van Dijk (Hoogheemraadschap van Rijnland)
Cora Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-35
ISBN 978.90.5773.804.3

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

Borstelcentrifuge lijkt een veelbelovende techniek voor de ontwatering van zuiveringsslib. De techniek verbruikt minder energie, er hoeven geen chemicaliën te worden toegevoegd, is toepasbaar is op kleinere rwzi's en is ook nog eens goedkoper dan de huidige technieken.

In het kader van de MJA, het Klimaatakkoord en De Energie- en Grondstoffenfabriek zijn de Nederlandse waterschappen op zoek naar optimalisaties op de rwzi om energie en kosten te besparen en grondstoffen te winnen. De ontwatering van zuiveringsslib heeft een belangrijk aandeel in het energie- en grondstoffenverbruik van de Nederlandse waterschappen. De nog aanwezige hoeveelheid water in het zuiveringsslib bepaalt de verwerkingskosten. Daarom wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijk ontwateringsresultaat. Dit kost met de huidige technieken veel energie en chemicaliën (polymeer) en levert een grote kostenpost op voor de waterschappen.

De in Nederland ontwikkelde borstelcentrifuge biedt een totaal nieuwe kijk op slibontwatering. Uniek aan deze techniek is dat voor een goede ontwatering geen polymeer meer nodig is. De opslag van polymeer en een doseerinstallatie zijn dan ook niet meer noodzakelijk. De borstelcentrifuge kan in theorie nagenoeg stand alone slib ontwateren zonder dat daar extra apparatuur voor nodig is. Dit opent deur naar slibontwatering op kleinere rwzi's.

In 2013 heeft het Hoogheemraadschap van Rijnland om de toepassing van de borstelcentrifuge op zuiveringsslib te verkennen een test uitgevoerd met een klein type borstelcentrifuge. In 2017 is op de rwzi Zwanenburg een full scale duurtest uitgevoerd. De resultaten van de duurtest zijn veelbelovend. De borstelcentrifuge is in staat gebleken om zonder polymeer te ontwateren. Het gemiddelde drogestof gehalte van spuislib en vergist slib bedroeg respectievelijk 14 ds% en 19 ds%. Wel moeten er nog optimalisaties doorgevoerd worden om de borstelcentrifuge stand alone te kunnen laten draaien. Een vervolgduurtest met een aangepaste borstelcentrifuge is daarom voorzien. De resultaten van de duurtest worden in onderhavig rapport beschreven.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

INLEIDING

De ontwatering van zuiveringsslib gebeurt in Nederland vooral met centrifuges en zeefbandpersen. Deze technieken kenmerken zich door een verbruik van chemicaliën (polymeer) en energie. Dat levert een grote kostenpost op en is weinig duurzaam. In dit kader zijn de waterschappen voortdurend op zoek naar slimmere technieken voor slibontwatering die minder polymeer en minder energie verbruiken met hetzelfde ontwateringsresultaat. Naast doelmatigheid is ook "politiek" de reductie van het energieverbruik van belang (MJA3 en klimaatakkoord). Uiteraard speelt ook onderhoud en betrouwbaarheid van de slibontwatering een belangrijke rol (assetmanagement).

De in Nederland ontwikkelde borstelcentrifuge vertegenwoordigt een totaal nieuwe kijk op slibontwatering. Uniek aan deze techniek is dat deze voor een goede ontwatering geen polymeer vereist. Dit biedt een compleet nieuwe kijk op de ontwatering van slib omdat er ontwaterd kan worden zonder een polymeer opslag en doseerinstallatie. De borstelcentrifuge kan in theorie nagenoeg stand alone slib ontwateren zonder dat daar extra apparatuur voor nodig is. Dit opent deuren naar nieuwe toepassingsmogelijkheden zoals het stand alone ontwateren van slib op kleinere rwzi's. Om de toepassing van de borstelcentrifuge op zuiveringsslib te verkennen heeft het hoogheemraadschap van Rijnland in 2013 een test uitgevoerd met een klein type borstelcentrifuge. De resultaten van deze test waren positief. Dit was de aanleiding voor Rijnland om nader onderzoek naar de borstelcentrifuge te doen en in 2017 een duurtest uit te voeren met een groter type borstelcentrifuge op de rwzi Zwanenburg. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in onderliggend rapport.

WERKINGSPRINCIPE

Om de toepasbaarheid van een borstelcentrifuge op een rwzi te beoordelen is in 2017 op de rwzi Zwanenburg een full scale duurtest uitgevoerd met een borstelcentrifuge type RBS-500. De borstelcentrifuge is een apparaat waarmee slib batch gewijs ontwaterd wordt. Het apparaat bestaat in hoofdzaak uit een verticaal opgestelde trommel en borstel die met hoge snelheid ronddraaien. Het apparaat is hiernaast schematisch weergegeven (bron: NieuweWeme Groep). De werking van de borstelcentrifuge berust enerzijds op centrifugaalkracht en anderzijds op het principe dat het slib tussen de haren van de borstel weinig stroming vertoont 'stilstaand water' waardoor de afscheiding effectiever functioneert

De haren van de borstel zijn gemonteerd op een afgesloten buis, de borstelziel. Om de borstel zit een vloeistofdichte trommel. Door zowel de borstel als de trommel met dezelfde snelheid rond te laten draaien (ten opzichte van elkaar staan ze dus stil) vindt scheiding van water en slib plaats. Het te scheiden mengsel komt onder in de trommel binnen. Het mengsel stroomt tussen de borstelharen naar boven (parallel aan de draaiingsas). De zwaardere deeltjes worden door de centrifugaalkracht tussen de borstelharen naar buiten gedrukt en vormen een droge koek. De vloeistof verlaat aan de bovenkant de trommel. De vaste koek (die van buiten naar binnen groeit) blijft achter tussen de haren. Op het moment dat de borstel vol zit met slib, reinigt de machine zichzelf. De draaicyclus van de borstelcentrifuge is achtereenvolgens weergegeven in onderstaand figuur (bron: NieuweWeme Groep). Na afloopt van een run beweegt de trommel omhoog (tweede plaatje van links). De borstel, die gevuld is met slibkoek begint vervolgens weer te draaien waardoor de slibkoek tegen de keerwanden geslingerd wordt (tweede plaatje van rechts). De trommel wordt weer naar beneden gelaten waarbij de slibkoek met schrapers van de keerwand verwijderd wordt en aan de onderzijde de trommel verlaat (rechter plaatje). Vervolgens wordt een nieuwe run gestart.

De capaciteit van RBS-500 bedraagt 130 kg slib per run. De totale duur van een run kan uiteenlopen van 23 tot 30 minuten.

PILOT INSTALLATIE EN MONITORINGSPROTOCOL

Het doel van het onderzoek was om zowel secundair slib van de rwzi Zwanenburg als vergist primair slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder te ontwateren. Om dit mogelijk te maken is een pilot opstelling gerealiseerd die zowel aangesloten kon worden op het spuislib van de rwzi Zwanenburg als op een gemengde slibbuffer met daarin vergist primair slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder.

De volgende parameters zijn tijdens het onderzoek gemonitord:

- Stabiliteit van de installatie, gevoeligheid voor storingen (logboek)
- Instellingen borstelcentrifuge
- Debiet
- Bedrijfsuren per dag
- Droge stof gehalte in- en uitgaand slib
- Afscheidingsrendement

- Energieverbruik
- Effect slibtype op ontwaterbaarheid en afscheidingsrendement
- Effect piekaanvoeren

Ten behoeve van de duurtest zijn inline debiet- en drogestofmeters geplaatst in de slib aanvoerleiding en de centraat afvoerleiding (2x Endress+Hauser drogestof meting, 2xPromag debiet meting). Verder is een kWh meter geplaatst om het energieverbruik van de borstelcentrifuge te monitoren. Ook de toevoerpomp is aangesloten op deze kWh meter. De borstelcentrifuge zelf beschikt over diverse sensoren (toerental, temperatuur, onbalans) waarvan de gegevens automatisch gelogd zijn op de borstelcentrifuge.

ERVARINGEN TIJDENS DUURTEST

De eerste testen zijn uitgevoerd met spuislib van de rwzi Zwanenburg. Het gemiddelde drogestofgehalte van dit slib bedroeg circa 1,5%. In de periode van 17 juli tot 11 augustus 2017 zijn op doordeweekse dagen zoveel mogelijk runs gedraaid met de borstelcentrifuge.
Tijdens deze eerste fase zijn diverse technische problemen opgetreden welke gedurende de eerste weken opgelost zijn waarna de borstelcentrifuge onder toezicht volautomatisch gedraaid heeft. In theorie kon de borstelcentrifuge vanaf dat moment zonder toezicht draaien. De trechter onder de borstelcentrifuge voor de afvoer van ontwaterd slib bleef echter geleidelijk dichtslibben waardoor deze zo nu en dan handmatig leeg gestoken diende te worden. Om dit probleem te verhelpen dient de trechter vervangen te worden door een verticale koker.

In onderstaand figuur is rechts de pilot opstelling op de rwzi Zwanenburg weergegeven en links door de borstelcentrifuge ontwaterd slib.

In fase 2 is getest met vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder. Dit slib heeft een droge stof gehalte van circa 3%. Tijdens fase 2 zijn door de aanwezigheid van vezels en andere vervuilingen in het slib veel problemen ondervonden met de borstelcentrifuge. Vanwege het niet goed functioneren van de roostergoed installatie op de rwzi Haarlem Waarderpolder bevatte

het vergiste slib veel vezelachtig materiaal waardoor er regelmatig storingen optraden aan het toevoersysteem van de borstelcentrifuge. Ondanks het installeren van diverse versnijders bleven de storingen optreden. In de periode 5 oktober tot 17 oktober zijn er op 6 dagen runs gedraaid. Deze runs dienden handmatig uitgevoerd te worden omdat de droge stof meters in het ingaande slib en centraat niet functioneerden. Na enkele aanpassingen is in de periode van 10 november tot 16 november opnieuw gedraaid met slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder. In deze periode zijn gedurende 4 dagen runs gedraaid.

RESULTATEN DUURTEST

Met het spuislib van de rwzi Zwanenburg is de borstelcentrifuge in staat gebleken om volautomatisch slib te ontwateren. Tijdens deze fase was het goed mogelijk om gedurende de hele dag runs te draaien met de borstelcentrifuge wat neerkomt op maximaal 16 runs dag over een tijdspanne van 8 uur (circa 30 minuten per run). Het droge stof gehalte van het ontwaterde spuislib lag tussen de 13% en 16% droge stof bij een afscheidingsrendement van meer dan 95%. Afhankelijk van het toerental en de duur van een run bedroeg het energieverbruik van de borstelcentrifuge 4 tot 7 kWh per run (inclusief 0,23 kWh/run tbv de slibtoevoerpomp).

Het vergiste primaire slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder liet zich ontwateren tot een drogestofgehalte van 15% - 22%. Vanwege het niet functioneren van de drogestofmetingen kon het afscheidingsrendement in deze fase echter niet bepaald worden. Afhankelijk van het toerental en de duur van een run bedroeg het energieverbruik van de borstelcentrifuge 5 tot 8 kWh per run (inclusief 0,23 kWh/run tbv slibtoevoerpomp).

DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK

Op basis van de resultaten van fase 1 van de duurtest is een doorvertaling gemaakt naar een praktijkinstallatie. Uitgaande van een capaciteit van 130 kg per run en een runtijd van 23 tot 30 minuten resulteert dit in een capaciteit van 0,87 tot 1,13 ton droge stof per dag. Het energieverbruik ligt tussen de 3,5 en 4,6 kWh/run wat resulteert in 194 tot 253 kWh per ton drogestof. Dit verbruik is hoog in vergelijking met centrifuges en zeefbandpersen. Het hoge energieverbruik is te relateren aan de kleine capaciteit van de geteste borstelcentrifuge. Op dit moment wordt een borstelcentrifuge ontwikkelt met een 3 tot 4 keer zo grote capaciteit als de RBS-500 waardoor het energieverbruik per ton droge stof naar verwachting zal dalen.

VERKENNING KOSTEN EN DUURZAAMHEID

Op basis van de prestaties van de borstelcentrifuge is een verkenning gedaan naar de kosten en baten van een borstelcentrifuge indien deze toegepast wordt voor de ontwatering van spuislib op kleine rwzi's. Voor dergelijke kleine rwzi's kunnen de kosten voor het transport van gravitair ingedikt spuislib naar een centrale slibontwatering hoog oplopen. Een borstelcentrifuge kan op dergelijke rwzi's tot een jaarlijkse kostenbesparing leiden. Voor de rwzi Heemstede is een besparing van 12.000 tot 37.000 Euro per jaar berekend ten opzichte van de huidige situatie waarbij niet ontwaterd of ingedikt wordt. In vergelijking met bijvoorbeeld een bandindikker resulteert een borstelcentrifuge in lagere jaarlijkse kosten omdat er geen PE verbruikt wordt en de borstelcentrifuge een hoger droge stof gehalte bereikt waardoor de transportkosten lager uitvallen. De besparing op transport en PE vallen ook qua duurzaamheid gunstig uit waardoor de borstelcentrifuge minder primaire energie kost dan niet ontwateren of indikking met een bandindikker.

CONCLUSIES

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

Ontwateren spuislib rwzi Zwanenburg:

- Na enkele aanpassingen is de borstelcentrifuge goed in staat gebleken om onder toezicht volautomatisch spuislib van de rwzi Zwanenburg te ontwateren
- De borstelcentrifuge is goed in staat gebleken om slib te ontwateren zonder toevoeging van PE
- Het droge stof gehalte van het ontwaterde slib lag voor het spuislib van Zwanenburg tussen de 13% en 16% droge stof (gemiddeld 13,9%)
- Het afscheidingsrendement van de borstelcentrifuge bedroeg op spuislib van de rwzi Zwanenburg gemiddeld meer dan 95%
- Het energieverbruik van de borstelcentrifuge bedroeg op het spuislib van de rwzi Zwanenburg gemiddelde 4,6 kWh/run wat resulteert in 253 kWh/ton.ds. Dit is hoog in vergelijking met ontwateringsapparatuur zoals centrifuges en zeefbandpersen

Ontwateren vergist slib rwzi Haarlem Waarderpolder

- De borstelcentrifuge ondervond veel problemen bij het ontwateren van vezelrijk vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder waardoor de installatie niet in staat was om volautomatisch te draaien en er tijdens deze fase geen continue drogestofmetingen uitgevoerd zijn
- Voor vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder lag het droge stof gehalte van het ontwaterde slib tussen de 16% en 22% droge stof (gemiddeld 18,9%)
- Vanwege niet functionerende drogestofmetingen kon voor het slib van Haarlem Waarderpolder het afscheidingsrendement niet worden vastgesteld

Doorkijk naar de praktijk

- De huidige borstelcentrifuge kan momenteel nog niet concurreren met gangbare ontwateringsapparatuur zoals centrifuges en zeefbandpersen; de capaciteit is daarvoor te laag evenals mede het ontwateringsresultaat.
- Toepassing van een borstelcentrifuge als ontwateringsapparaat op een kleinschalige rwzi is kansrijk
- Het primaire energieverbruik van een borstelcentrifuge valt voor de voorbeeldcase van de rwzi Heemstede met 210.000 MJ/j fors lager uit dan dat van de huidige situatie waarbij ingedikt spuislib direct getransporteerd wordt (500.000 – 750.000 MJ/j). Een besparing van 290.000 – 540.000 MJ/j aan primaire energie. Een verder doorontwikkelde en energie zuinigere borstelcentrifuge heeft de potentie om in de toekomst nog meer energie te besparen ten opzichte van de huidige wijze van slibverwerking

AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Aanpassen van de slibtoevoer van de borstelcentrifuge zodat deze in de toekomst niet meer gevoelig is voor verstoppingen
- Technisch optimaliseren van de borstelcentrifuge zodat de capaciteit van de machine, het droge stof gehalte van het ontwaterde slib en het afscheidingsrendement verbeteren
- Uitvoeren duurtest met aangepaste borstelcentrifuge. Het belangrijkste doel hiervan is het aantonen van volcontinue bedrijf zonder storingen.

DE STOWA IN HET KORT

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

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de ‘kennisvragen van morgen’ – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

SLIBONTWATERING MET BORSTELCENTRIFUGE

INHOUD

		TEN GELEIDE	
		SAMENVATTING	
		DE STOWA IN HET KORT	
1		INLEIDING	1
2		ACHTERGRONDINFORMATIE BORSTELCENTRIFUGE	2
	2.1	Inleiding	2
	2.2	Geschiedenis	2
	2.3	Werkingsprincipe	2
	2.4	Kleinschalige test borstelcentrifuge 2013	3
3		PILOT INSTALLATIE EN MONITORINGSPROTOCOL	5
	3.1	Inleiding	5
	3.2	Doel duurtest en gemonitorde parameters	5
	3.3	Kenmerken slibben	5
	3.4	Beschrijving pilot installatie	6
	3.5	Monitoringsprotocol	8
4		RESULTATEN DUURTEST	10
	4.1	Inleiding	10
	4.2	Resultaten surplus slib rwzi Zwanenburg	10
		4.2.1 Ervaringen	10
		4.2.2 Meetgegevens borstelcentrifuge	11
		4.2.3 Handmatig verzamelde meetgegevens	15
		4.2.4 Meetgegevens extern laboratorium	17
	4.3	Resultaten vergist slib rwzi Haarlem Waarderpolder	18
		4.3.1 Ervaringen	18
		4.3.2 Meetgegevens borstelcentrifuge	18
		4.3.3 Handmatig verzamelde gegevens	20
		4.3.4 Meetgegevens extern laboratorium	22
	4.4	Interpretatie resultaten	23
	4.5	Doorkijk naar de praktijk	25

5	UITWERKING CASES: TOEPASSING BORSTELCENTRIFUGE OP RWZI	28
5.1	Inleiding	28
5.2	Scenario's	28
5.3	Uitgangspunten	29
5.4	Exploitatiekosten	32
5.5	Duurzaamheid	32
5.6	Beschouwing	33
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	34
BIJLAGE 1	Analyseresultaten Laboratorium	36
BIJLAGE 2	Theoretische capaciteit borstelcentrifuge	38

1

INLEIDING

De ontwatering van zuiveringsslib gebeurt in Nederland vooral met centrifuges en zeefbandpersen. Deze technieken kenmerken zich door een verbruik van chemicaliën (polymeer) en energie. Dat levert een grote kostenpost op en is weinig duurzaam. In dit kader zijn de waterschappen voortdurend op zoek naar slimmere technieken voor slibontwatering die minder polymeer en minder energie verbruiken met hetzelfde ontwateringsresultaat. Naast doelmatigheid is ook "politiek" de reductie van het energieverbruik van belang (MJA3 en klimaatakkoord). Uiteraard speelt ook onderhoud en betrouwbaarheid van de slibontwatering een belangrijke rol (assetmanagement).

De in Nederland ontwikkelde borstelcentrifuge vertegenwoordigt een totaal nieuwe techniek voor slibontwatering. Uniek aan deze techniek is dat deze voor de ontwatering geen PE vereist. Het hoogheemraadschap van Rijnland (verder Rijnland) heeft in 2013 testen uitgevoerd met een borstelcentrifuge (Rofitec type R300) van de firma Kin Machinebouw. De resultaten van deze test waren positief en aanleiding voor Rijnland om nader onderzoek naar de borstelcentrifuge te doen.

Om de potentiele voordelen van de borstelcentrifuge (geen PE en laag energie verbruik) te kunnen bevestigen heeft Rijnland met ondersteuning van de STOWA een duurtest uitgevoerd op praktijkschaal (locatie RWZI Zwanenburg). Het doel van de duurtest was om de borstelcentrifuge volautomatisch te laten draaien en om de prestaties van de borstelcentrifuge over een langere periode inzichtelijk te maken voor twee verschillende slibtypen. Tijdens deze duurtest zijn de relevante parameters gemonitord om een goed totaalbeeld te krijgen van het functioneren van de borstelcentrifuge.

Hoofdstuk 2 bevat een korte beschrijving van de borstelcentrifuge en de resultaten van eerder uitgevoerde testen met een kleiner type borstelcentrifuge. In hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van de pilot installatie en het monitoringsprotocol. Hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten van de duurtest op de rwzi Zwanenburg waarbij spuislib van de rwzi Zwanenburg en vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder ontwaterd zijn. In hoofdstuk 5 worden de exploitatiekosten en duurzaamheid van een borstelcentrifuge uitgewerkt waarna in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen volgen.

2

ACHTERGRONDINFORMATIE BORSTELCENTRIFUGE

2.1 INLEIDING

De borstelcentrifuge is een nieuw type ontwateringsmachine die in Nederland is ontwikkelt. Dit hoofdstuk beschrijft de geschiedenis en het werkingsprincipe van de machine.

2.2 GESCHIEDENIS

De geschiedenis van de borstelcentrifuge gaat terug tot vóór 2005. Rofitec die destijds in het bezit was van de rechten van de borstelcentrifuge liet 2005 door de firma Kin Machinebouw een groter model van de borstelcentrifuge ontwikkelen (type 300). De borstelcentrifuge is getest voor het ontwateren van diverse afvalwaterstromen (zuiveringsslib, afscheiden metaaldeeltjes uit waterige stromen, afval olie met zand, gebruikte motorolie, bodemsaneringen, pekelwater) in Nederland, Duitsland en België. De eerste machine die full scale gebouwd werd was type 600. In Engeland draait er sinds een jaar of zes een type 600 machine op gebruikte motorolie waarbij het sediment gescheiden wordt van de olie. Sinds 2016 wordt de borstelcentrifuge geproduceerd door de firma NieuweWeme Groep uit Oldenzaal. Speciaal voor het ontwateren van zuiveringsslib is door NieuweWeme een nieuw type borstelcentrifuge ontwikkeld (type RBS-500).

2.3 WERKINGSPRINCIPE

De verschillende onderdelen van de borstelcentrifuge zijn weergegeven in Figuur 2.1.

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BORSTELCENTRIFUGE (BRON: NIEUWEWEME)

Het apparaat bestaat in hoofdzaak uit een verticaal opgestelde trommel en borstel die met hoge snelheid ronddraaien. De werking van de borstelcentrifuge berust enerzijds op centrifugaalkracht en anderzijds op het principe dat het slib tussen de haren van de borstel weinig stroming vertoont 'stilstaand water' waardoor de afscheiding effectiever functioneert.

De haren van de borstel zijn gemonteerd op een afgesloten buis, de borstelziel. Om de borstel zit een vloeistofdichte trommel. Door zowel de borstel als de trommel met dezelfde snelheid rond te laten draaien (ten opzichte van elkaar staan ze dus stil) vindt scheiding van water en slib plaats. Het te scheiden mengsel komt onder in de trommel binnen. Het mengsel stroomt tussen de borstelharen naar boven (parallel aan de draaiingsas). De zwaardere deeltjes worden door de centrifugaalkracht tussen de borstelharen naar buiten gedrukt en vormen een droge koek. De vloeistof verlaat aan de bovenkant de trommel. De vaste koek (die van buiten naar binnen groeit) blijft achter tussen de haren. Op het moment dat de borstel vol zit met slib, reinigt de machine zichzelf. De draaicyclus van de borstelcentrifuge is achtereenvolgens weergegeven in Figuur 2.2. Na afloopt van een run beweegt de trommel omhoog (tweede plaatje van links). De borstel, die gevuld is met slibkoek begint vervolgens weer te draaien waardoor de slibkoek tegen de keerwanden geslingerd wordt (tweede plaatje van rechts). De trommel wordt weer naar beneden gelaten waarbij de slibkoek met schrapers van de keerwand verwijderd wordt en aan de onderzijde de trommel verlaat (rechter plaatje). Vervolgens wordt een nieuwe run gestart.

FIGUUR 2.2 BATCH PROCES BORSTEL CENTRIFUGE (BRON: NIEUWEWEME)

2.4 KLEINSCHALIGE TEST BORSTELCENTRIFUGE 2013

In 2013 zijn op de rwzi Haarlem Waarderpolder batch testen uitgevoerd met een kleinschalige borstelcentrifuge (type R300, handmatig bediend). De resultaten van deze testen waren positief. Zonder toevoeging van polymeer werden droge stof gehaltes >20% gehaald in het ontwaterde slib en afscheidingsrendementen tussen de 92,3 en 99,5%. Figuur 2.3 geeft een impressie van de testinstallatie.

FIGUUR 2.3 **BORSTELCENTRIFUGE TYPE R300 (LINKS), BORSTEL MET ONTWATERD SLIB (RECHTS)**

De testresultaten zijn voor het Hoogheemraadschap van Rijnland aanleiding geweest om een duurtest uit te gaan voeren met een groter type volautomatische borstelcentrifuge. De opzet van deze testen wordt in hoofdstuk 3 beschreven.

3

PILOT INSTALLATIE EN MONITORINGSPROTOCOL

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet en de doelstelling van de pilot installatie in paragraaf 3.2. De kenmerken van de te ontwateren slibben zijn beschreven in paragraaf 3.3 waarna in paragraaf 3.4 een beschrijving van de pilot installatie volgt. Het monitoringsprotocol is opgenomen in paragraaf 3.5.

3.2 DOEL DUURTEST EN GEMONITORDE PARAMETERS

Het doel van de pilot is om de prestaties van de borstelcentrifuge vast te stellen voor een volautomatische installatie op twee verschillende typen slib (vergist en niet vergist).
De volgende parameters zijn tijdens het onderzoek gemonitord:

- Stabiliteit van de installatie, gevoeligheid voor storingen
- Instellingen borstelcentrifuge (toerental, debiet)
- Capaciteit (debiet / droge stof vracht)
- Bedrijfsuren per dag
- Droge stof gehalte (in- en uitgaand slib)
- Afscheidingsrendement
- Energieverbruik
- Effect slibtype op ontwaterbaarheid en afscheidingsrendement
- Effect piekaanvoeren

Om de bovengenoemde parameters vast te stellen is een monitoringsprotocol opgesteld. Dit protocol wordt beschreven in paragraaf 3.5.

3.3 KENMERKEN SLIBBEN

In Tabel 3.1 zijn de kenmerken opgenomen van de twee slibben waar mee getest is. In de eerste fase van het onderzoek is getest met spuislib van de rwzi Zwanenburg. In de tweede fase is getest met vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder.

TABEL 3.1 KARAKTERISTIEKEN VAN GETESTE SLIBBEN

Aspect	Eenheid	rwzi Zwanenburg	Rwzi Haarlem Waarderpolder
Type zuivering		Rotoflow	Rotoflow
Type te ontwateren slib		Secundair slib	Vergist slib
Droge stof gehalte slib	% ds	0,7 - 1,8 %	3,0 – 4,0%
Organisch stof gehalte slib	% van ds	80%	70%
Wijze van P verwijdering		Biologisch	Biologisch en chemisch

3.4 BESCHRIJVING PILOT INSTALLATIE

De borstelcentrifuge is tijdens de gehele testfase opgesteld geweest op de rwzi Zwanenburg (buiten opstelling). In Figuur 3.1 is de pilot installatie schematisch weergegeven waarbij alles wat onder de scope van de pilot valt in blauw is weergegeven. Ten behoeve van de pilot zijn de volgende onderdelen geplaatst:

- Extern slibbuffer (40 m^3), gemengd
- Vlottertank
- Borstel centrifuge type RBS-500
- Schakelkast
- Transportband ontwaterd slib
- Slibcontainer
- Diverse meters
- Verbindend leidingwerk

FIGUUR 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE PILOT INSTALLATIE (SCOPE PILOT IN BLAUW)

Zoals te zien is in Figuur 3.1 kan er zowel slib onttrokken worden uit de slibtoevoer van de centrifuges als uit een extern slibbuffer. Op deze manier kunnen er ook testen uitgevoerd worden met extern slib (fase 2; vergist slib rwzi Haarlem Waarderpolder). Verder is te zien dat er op verschillende plekken inline debiet- en droge stof meters geplaatst zijn. Het ontwaterde slib wordt met een band naar een slibcontainer getransporteerd.

Om een goed beeld te krijgen van de binnenkant van de machine is de borstelcentrifuge in Figuur 3.2 weergegeven met een verwijderde keerwand en trommel omhoog.

FIGUUR 3.2 BINNENKANT BORSTELCENTRIFUGE (LINKS), TROMMEL (RECHTS)

Aan de linkerkant van Figuur 3.2 zijn de metalen keerwanden te zien waar het ontwaterde slib tegen aan geslingerd wordt op het moment dat een run beëindigd is. Voor de foto is één van de keerwanden verwijderd en is de trommel omhoog gezet zodat goed in de machine gekeken kan worden. De trommel wordt na beëindiging van een run omhoog gebracht waarna het slib door de trommel tegen de keerwanden geslingerd wordt. Door de trommel, welke voorzien is van schrapers, weer omlaag te brengen wordt het slib van de keerwanden naar beneden geschraapt waar het op een transportband terecht komt. In Tabel 3.2 worden de kenmerken van de geplaatste borstelcentrifuge beschreven.

TABEL 3.2 KENMERKEN VAN RBS-500

Aspect	Eenheid	Waarde
Afmetingen machine, inclusief omkasting	Diepte (mm)	1.540
	Breedte (mm)	1.440
	Hoogte (mm)	2.503
Afmetingen trommel	Diameter (mm)	500
	Hoogte (mm)	600
Volume trommel	Liter	118 *
Geïnstalleerd vermogen	kW	15
Gewicht leeg	kg	3.500
Gewicht vol	kg	3.630

*ontwaterd product per run circa 110 liter

De kenmerken van de overige onderdelen zijn navolgend beschreven.

SLIBBUFFER EXTERN SLIB

De extern slibbuffer is geplaatst ten behoeve van de duurtest. Het betreft een lage open container met een volume van 40 m^3. De slibbuffer is voorzien van menging (12kW lobbenpomp). Vanuit de slibbuffer wordt het slib met een pomp naar de borstelcentrifuge gepompt.

VLOTTERTANK

Het doel van de vlottertank is om de borstelcentrifuge onafhankelijk te kunnen laten functioneren van de aanvoerleidingen van de centrifuges. De vlottertank heeft een volume van 1 m^3. Met een wormpomp wordt het slib vanuit de vlottertank naar de borstelcentrifuge gepompt. De vlottertank en wormpomp zijn weergegeven in Figuur 3.3.

FIGUUR 3.3 VLOTTERTANK EN TOEVOERPOMP BORSTELCENTRIFUGE

TRANSPORTBAND

Het ontwaterde slib wordt aan de onderzijde van de borstelcentrifuge opgevangen op een transportband waarmee het naar een slibcontainer getransporteerd wordt. Bij aanvang van de pilot werd het ontwaterde slib via een versmalling aan de onderzijde van de borstelcentrifuge afgevoerd naar een transportschroef. Dit bleek echter geen succes omdat het slib vastkoekte aan de versmalling en zich ophoopte. De versmalling en transportschroef zijn vervolgens vervangen door een brede transportband.

METERS EN SENSOREN

Ten behoeve van de duurtest zijn inline debiet- en drogestofmeters geplaatst in de slib aanvoerleiding en de centraat afvoerleiding (2x Endress+Hauser drogestof meting, 2xPromag debiet meting). Verder is een kWh meter geplaatst om het energieverbruik van de borstelcentrifuge te monitoren. Ook de toevoerpomp is aangesloten op deze kWh meter. De borstelcentrifuge zelf beschikt over diverse sensoren (toerental, temperatuur, onbalans) waarvan de gegevens automatisch gelogd zijn op de borstelcentrifuge.

3.5 MONITORINGSPROTOCOL

Om een goed beeld te krijgen van de prestaties van de borstelcentrifuge zijn de volgende automatisch gelogde gegevens geïnventariseerd tijdens de duurtest:

- Debietmeting op slib toevoerleiding, aansluiting op PLC borstelcentrifuge (voorzien van telemetrie en data logging)
- Droge stof meting op slib toevoerleiding, aansluiting op PLC borstelcentrifuge
- Debietmeting op centraat leiding, aansluiting op PLC borstelcentrifuge
- Droge stof meting op centraat leiding, aansluiting op PLC borstelcentrifuge
- Toerental borstelcentrifuge (rpm)
- Zware metalen, N en P

Het energieverbruik van de borstelcentrifuge (kWh/run) is dageljks afgelezen na afloop van een run.

Het door de borstelcentrifuge ontwaterde slib heeft geen homogeen droge stof gehalte (het droge stof gehalte in de trommel is niet overal gelijk). Per batch ontwaterd slib is een speciekuip ontwaterd slib gehomogeniseerd en op de rwzi Zwanenburg geanalyseerd op droge stof.

Tijdens de duurtest zijn twee wekelijks steekmonsters van het ingaande slib, het ontwaterde slib en het centraat geanalyseerd door een extern laboratorium. Aanvullend zijn analyses uitgevoerd op stikstof, fosfor en zware metalen.

4

RESULTATEN DUURTEST

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de duurtest met de borstelcentrifuge op de rwzi Zwanenburg. De duurtest is opgeknipt in twee fases waarbij in de eerste fase getest is met secundair slib van de rwzi Zwanenburg en in de tweede fase met vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder. De resultaten van de eerste fase worden besproken in paragraaf 4.2 waarna in paragraaf 4.3 de resultaten van de tweede fase volgen. In paragraaf 4.4 worden de resultaten geïnterpreteerd waarna in paragraaf 4.5 een doorkijk naar de praktijk volgt.

4.2 RESULTATEN SURPLUS SLIB RWZI ZWANENBURG

4.2.1 ERVARINGEN

De borstelcentrifuge op de rwzi Zwanenburg is op 17 juli 2017 in gebruik genomen. De geldende eisen met betrekking tot geluid maakte het niet mogelijk om 's nachts door te draaien met de borstelcentrifuge. De borstelcentrifuge stond buiten opgesteld en beschikte niet over een geluidsdichte omkasting. Er zijn geel geluidsmetingen uitgevoerd maar vanaf een afstand van circa 20 meter was de borstelcentrifuge duidelijk hoorbaar. Bij een eventuele buiten opstelling is een geluidsdichte omkasting daarom een aandachtspunt.

In de periode van 17 juli tot 11 augustus 2017 zijn op doordeweekse dagen zoveel mogelijk runs gedraaid met de borstelcentrifuge.

Tijdens deze fase zijn diverse technische problemen opgetreden:

- Onbalans trommel (rubberen dragers vervangen door draagstangen)
- Positioneren trommel (positie trommel niet correct)
- Lekkage trommel (seal vervangen)
- Lossen van slib (ontwaterd slib trechter aan onderzijde vervangen door verticale schacht)
- Afvoer ontwaterd slib (schroeftransporteur vervangen door bredere transportband)

Gedurende de eerste weken zijn de bovenstaande 'kinderziektes' opgelost waarna de borstelcentrifuge onder toezicht volautomatisch gedraaid heeft. In theorie kon de borstelcentrifuge vanaf dat moment zonder toezicht draaien. De trechter onder de borstelcentrifuge voor de afvoer van ontwaterd slib bleef echter geleidelijk dichtslibben waardoor deze zo nu en dan handmatig leeg gestoken diende te worden. Om dit probleem te verhelpen dient de trechter vervangen te worden door een verticale koker.

In Figuur 4.1 is een foto opgenomen van de borstelcentrifuge in omkasting en een batch slib die zojuist door de borstelcentrifuge ontwaterd is en afgevoerd wordt via de transportband.

FIGUUR 4.1 AFVOER VAN DOOR BORSTELCENTRIFUGE ONTWATERD SLIB (LINKS) BORSTELCENTRIFUGE IN OMKASTING (RECHTS)

4.2.2 MEETGEGEVENS BORSTELCENTRIFUGE

In deze paragraaf worden de continue gelogde gegevens besproken zoals die tijdens deze fase automatisch gelogd zijn op de PLC van de borstelcentrifuge. Deze gegevens betreffen:

- toerental trommel
- debiet aanvoer slib
- droge stof aanvoer slib en afvoer centraat

Voor de overzichtelijkheid worden in de navolgende figuren de gegevens van één representatieve dag gepresenteerd (2 augustus 2017). Deze dag ligt in het midden van de testfase en geeft een goed beeld van een gemiddelde testdag. Op 2 augustus zijn in totaal 12 runs gedraaid met de borstelcentrifuge. Tijdens de test is een duur aangehouden van 30 minuten per run. Een run begint met het starten van de trommel die vervolgens op snelheid komt. Na circa 2 minuten startte de toevoer naar de trommel waarna gedurende 20 minuten slib is aangevoerd naar de trommel met een debiet van circa 2,0 tot 4,0 m3/h. Vervolgens toert de trommel af en komt tot stilstand waarna de borstelcentrifuge zichzelf reinigt en het ontwaterde slib naar de container getransporteerd wordt. Het proces begint daarna opnieuw.

TOERENTAL

Het toerental waarmee de borstelcentrifuge gedraaid heeft tijdens deze fase heeft gevarieerd van 3.000 – 3.600 rpm. In Figuur 4.2 is het toerental van verschillende runs op 2 augustus weergegeven (totaal 12 runs). Te zien is dat er gedurende dag gedraaid is op een continue toerental van circa 3.200 rpm.

FIGUUR 4.2 TOERENTAL GEDURENDE RUNS 2 AUGUSTUS 2017

In Figuur 4.3 is het verloop van het toerental over één run weergegeven.

FIGUUR 4.3 VERLOOP TOERENTAL OVER ÉÉN RUN

Te zien is dat deze run circa een half uur geduurd heeft. Bij opstart versnelt de trommel tot ingesteld toerental waarbij de pomp start (1.000 rpm). Dan blijft de trommel op hetzelfde toerental tot de trommel vol is (ongeveer 2 minuten). Vervolgens versneld de trommel tot processnelheid (in deze testreeks 3.200 rpm). Op het einde van de run stopt de pomp waarna de trommel vertraagt tot deze stilstaat. Dit afremmen duurt ongeveer anderhalve minuut (instelbaar).

Tijdens het onderzoek is ook een opstartprocedure getest waarbij de borstelcentrifuge geleidelijk op toert. Dit resulteert naar verwachting in een reductie van het energieverbruik. De resultaten hiervan zijn verwerkt in paragraaf 4.4.

DEBIET

De aanvoer naar de borstelcentrifuge is weergegeven in Figuur 4.4. Te zien is dat de aanvoerpomp ingesteld is op een debiet van ongeveer 2,3 m^3/h. Uitgaande van een aanvoer van ongeveer 23 minuten en 12 runs per dag resulteert dit op 2 augustus in een totaal slibdebiet van 10,6 m^3/d.

FIGUUR 4.4 **AANVOERDEBIET BORSTELCENTRIFUGE 2 AUGUSTUS 2017**

DROGE STOF GEHALTE SLIBAANVOER EN CENTRAAT

Het verloop van het drogestof gehalte in het aangevoerde slib over een dag is weergegeven in Figuur 4.5. Het droge stof gehalte in de aanvoer van de borstelcentrifuge ligt op 2 augustus tussen de 11 en 15 gram/l. Over de gehele duur van de test heeft het ingaande droge stof gehalte gevarieerd tussen de 0,7 en 1,8% droge stof. De schommelingen in droge stof gehalte worden veroorzaakt doordat direct onttrokken wordt aan de retourslib leiding.

FIGUUR 4.5 **DROGE STOF GEHALTE INFLUENT BORSTELCENTRIFUGE 2 AUGUSTUS 2017**

Het gehalte onopgeloste bestanddelen in het centraat is weergegeven in Figuur 4.6. Het gehalte onopgeloste bestanddelen loopt gedurende de run op van circa 100 mg/l tot 3,0 gram/l.

FIGUUR 4.6 DROGE STOF GEHALTE CENTRAAT BORSTELCENTRIFUGE 2 AUGUSTUS 2017

In Figuur 4.7 is het verloop van het droge stof gehalte in het centraat weergegeven over één run.

Te zien is dat het gehalte onopgeloste bestanddelen circa 23 minuten stabiel blijft rond de 100 mg/l waarna deze de laatste minuten oploopt tot 2 à 3 gram/l en opnieuw stabiliseert. Dit verloop is terug te zien in alle runs. Uitgaande van een ingaand drogestofgehalte van 10-15 gram/l ligt het afscheidingsrendement dus lange tijd rond de 99% waarna het de laatste minuten terugloopt.

FIGUUR 4.7 DROGE STOF GEHALTE CENTRAAT BORSTELCENTRIFUGE 2 AUGUSTUS 2017

Het afscheidingsrendement over een complete run is op verschillende dagen berekend door de totale droge stof vracht in het centraat te delen door de ingaande droge stof vracht. Het gemiddelde afscheidingsrendement in deze fase lag boven de 95%. Om een maximaal drogestofgehalte te bereiken is een duur van 30 minuten aangehouden en is de run niet afgebroken op het moment dat het drogestofgehalte in het centraat begon op te lopen. In de praktijk kan een run echter ook afgebroken worden op het moment dat het drogestofgehalte in het centraat toeneem. Het afscheidingsrendement zou hierdoor nog verder verbeteren.

4.2.3 HANDMATIG VERZAMELDE MEETGEGEVENS

In Tabel 4.1 zijn de meetgegevens opgenomen zoals die op de rwzi Zwanenburg bijgehouden zijn. Deze gegevens betreffen de instellingen van de borstelcentrifuge (toerental, aanvoerdebiet), het totale energieverbruik van de installatie en de droge stof metingen zoals die op de rwzi uitgevoerd zijn.

TABEL 4.1 MEETGEGEVENS RWZI ZWANENBURG

Datum	toeren [rpm]	debiet [m³/h] [m³/h]	Verbruik run [kWh]	DS gehalte 1 [%]	DS gehalte 2 [%]	DS gehalte gemiddeld [%]
10-7-2017	3.000	2,9		16,38	16,22	16,30
11-7-2017	3.200	4,0	7,09	13,14	13,33	13,24
12-7-2017	3.400	4,0	3,92	14,33	14,51	14,42
13-7-2017						
17-7-2017	3.200	2,5	4,46	13,33	13,54	13,44
18-7-2017	3.400	2,5	5,07	16,59	15,87	16,23
19-7-2017	3.600	2,5	5,56	14,00	14,06	14,03
19-7-2017	3.000	3,0	4,00	13,00	13,04	13,02
20-7-2017	3.200	3,0	4,54	13,17	13,42	13,30
21-7-2017	3.400	3,0	6,13	14,77	14,97	14,87
25-7-2017	3.600	3,0	5,20	14,03	13,81	13,92
26-7-2017	3.000	3,5	3,61	12,95	12,82	12,89
27-7-2017	3.200	3,5	4,28	12,96	12,98	12,97
31-7-2017	3.400	3,5	5,62	13,10	13,14	13,12
3-8-2017	3.600	3,5	5,72	14,57	14,34	14,46
7-8-2017	3.000	4,0	3,72	13,51	13,35	13,43
8-8-2017	3.000	2,5	4,24	12,83	12,98	12,91
8-8-2017	3.400	4,0	4,46	13,73	13,77	13,75
11-8-2017	3.600	4,0	4,79	13,65	13,71	13,68
11-8-2016	3.200	4,0	3,94	12,96	12,99	12,98

In Tabel 4.1 is te zien dat de borstelcentrifuge in staat is om slib te ontwateren tot een droge stof gehalte van 13 – 16% droge stof. Gemiddeld ligt het droge stof gehalte van het ontwaterde slib op 13 – 14%. In de tabel is verder te zien dat het energieverbruik per run varieert van 4 – 7 kWh (gemiddeld 4 – 5 kWh/run). Dit is inclusief het energieverbruik van de toevoerpomp (600W x 23 minuten =) 0,23 kWh/run. In paragraaf 4.4 is het resulterende energieverbruik per ton ontwaterd slib berekend. Het energieverbruik per run hangt direct samen met het gehanteerde toerental en de duur van een run. Het aanvoerdebiet heeft gevarieerd tussen de 2,5 en 4,0 m3/h (uit de gelogde gegevens in Figuur 4.4 volgt een lager debiet, namelijk 2,3 m^3/h).

Figuur 4.8 geeft het verband tussen het ontwateringsresultaat, toerental en de slibaanvoer. Uit dit figuur is af te leiden dat het droge stof gehalte van het ontwaterde slib 13 tot 16% bedraagt. Verder is te zien dat een toename van het toerental lijkt te leiden tot een hoger drogestofgehalte. Ook het verlagen van het debiet lijkt een positief effect te hebben op het ontwateringsresultaat. Opvallend is dat bij een aanvoer van 2,5 – 3,0 m^3/h de ontwatering bij 3.400 toeren per minuut beter verloopt dan bij 3.600 toeren per minuut. Dit verschil kan echter ook veroorzaakt worden door periodieke verschillen in slibkwaliteit.

FIGUUR 4.8 ONWATERINGSRESULTATEN BIJ VERSCHILLENDE TOERENTALLEN EN AANVOERDEBIETEN

De relatie tussen het energieverbruik van de borstelcentrifuge en het toerental is weergegeven in Figuur 4.9. Te zien is dat het energieverbruik per run sterk samenhangt met het toerental. Het verbruik bij 3.000 rpm bedraagt circa 4 kWh per run, tegenover 5,5 kWh per run bij 3.600 rpm.

FIGUUR 4.9 ENERGIEVERBRUIK VERSUS TOERENTAL

CENTRIFUGES RWZI ZWANENBURG

Ter referentie van de ontwateringsresultaten van de borstelcentrifuge zijn in Figuur 4.10 zowel de resultaten van de ontwateringscentrifuges van de rwzi Zwanenburg als de borstelcentrifuge opgenomen. Beide machines hebben hetzelfde slib ontwaterd (secundair slib van de rwzi Zwanenburg met een droge stof gehalte van circa 1,5%).

FIGUUR 4.10 DROGE STOF GEHALTE BORSTELCENTRIFUGE EN ONTWATERINGSCENTRIFUGE

In Figuur 4.10 is te zien dat de borstelcentrifuge een lager ontwateringsresultaat oplevert dan de centrifuges van de rwzi Zwanenburg. Om dit ontwateringsresultaat te bereiken hebben de centrifuges van Zwanenburg PE nodig terwijl dit voor de borstelcentrifuge niet nodig is. De centrifuges op Zwanenburg verbruiken 17 tot 20 kg actief PE/ton d.s.

4.2.4 MEETGEGEVENS EXTERN LABORATORIUM

Het ingaande slib, ontwaterde slib en het centraat zijn wekelijks door een extern laboratorium geanalyseerd. Alle analyseresultaten van het laboratorium zijn opgenomen in bijlage I. In Tabel 4.2 is het door het laboratorium geanalyseerde droge stof gehalte opgenomen. Ter referentie zijn ook de droge stof gehaltes opgenomen zoals die op de rwzi Zwanenburg zelf geanalyseerd zijn.

TABEL 4.2 DROGESTOFMETINGEN LABORATORIUM EN MEETGEGEVENS RWZI ZWANENBURG

Datum	Laboratorium Slibtoevoer % ds	Laboratorium Centraat mg/l	Laboratorium Ontwaterd slib % ds	rwzi Zwanenburg Ontwaterd slib % ds
19-jul-2017	1,6	140	13,7	14,0
25-jul-2017	1,8	180	13,7	13,9
04-aug-2017	1,6	130	14,3	-
11-aug-2017	1,6	160	13,3	13,7

In Tabel 4.2 is te zien dat het droge stof gehalte in het ontwaterde slib circa 14% bedraagt. De analyseresultaten van het laboratorium en de rwzi Zwanenburg ontlopen elkaar nauwelijks. Het gehalte zwevende stof in het centraat is met 130 – 180 mg/l laag te noemen. De geanalyseerde centraatmonsters betreffen steekmonsters.

4.3 RESULTATEN VERGIST SLIB RWZI HAARLEM WAARDERPOLDER

4.3.1 ERVARINGEN

In fase 2 is getest met vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder. Dit slib heeft een droge stof gehalte van circa 3%. Het slib is per as aangevoerd op de rwzi Zwanenburg en in een gemengde container opgeslagen (Figuur 4.11).

FIGUUR 4.11 GEMENGDE CONTAINER VOOR VERGIST SLIB RWZI HAARMLEM-WAARDERPOLDER

Tijdens fase 2 zijn door de aanwezigheid van vezels en andere vervuilingen in het slib veel problemen ondervonden met de borstelcentrifuge. Vanwege het niet goed functioneren van de roostergoed installatie op de rwzi Haarlem Waarderpolder bevatte het vergiste slib veel vezelachtig materiaal waardoor er regelmatig storingen optraden aan het toevoersysteem van de borstelcentrifuge. De openingen van de toevoer naar de trommel raakten verstopt waardoor de centrifuge regelmatig uit bedrijf diende te worden genomen om te worden gereinigd. Ondanks het installeren van diverse versnijders bleven de storingen optreden. In de periode 5 oktober tot 17 oktober zijn er op 6 dagen runs gedraaid. Deze runs dienden handmatig uitgevoerd te worden omdat de droge stof meters in het ingaande slib en centraat niet functioneerden. Na enkele aanpassingen is in de periode van 10 november tot 16 november opnieuw gedraaid met slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder. In deze periode zijn gedurende 4 dagen runs gedraaid.

Uit fase 2 is naar voren gekomen dat de huidige toevoer in de trommel van de borstelcentrifuge niet geschikt is voor vezels (verstoppingen). De toevoer van toekomstige borstelcentrifuges wordt om deze reden aangepast.

4.3.2 MEETGEGEVENS BORSTELCENTRIFUGE

In deze paragraaf worden de continue gelogde gegevens besproken zoals die tijdens fase 2 automatisch gelogd zijn op de PLC van de borstelcentrifuge. Deze gegevens betreffen:

- toerental trommel
- debiet aanvoer slib

De droge stof meting in de aanvoer en het centraat bleek in fase 2 niet correct te verlopen (geen correcte meetgegevens) waardoor deze metingen niet opgenomen zijn. De geïnstalleerde drogestofmeters leverden op het vergiste slib van Haarlem Waarderpolder geen betrouwbare meetgegevens. Omdat er slechts op een beperkt aantal dagen representatieve runs konden worden gedraaid is ook het energieverbruik een beperkt aantal keren gemonitord.

Voor de overzichtelijkheid worden de figuren van één representatieve dag gepresenteerd, namelijk 11 oktober 2017. Deze dag betreft een testdag waarin weinig technische problemen ondervonden zijn. Op 11 oktober zijn in totaal 6 runs gedraaid met de borstelcentrifuge. Om tot een zo hoog mogelijk droge stof gehalte te komen werd een duur aangehouden van 20 – 30 minuten per run.

TOERENTAL TROMMEL

Het toerental van de trommel is weergegeven in Figuur 4.12. Er zijn op 11 oktober runs gedraaid op 3.200 en 3.600 toeren.

FIGUUR 4.12 **TOERENTAL BORSTELCENTRIFUGE 11 OKTOBER 2017**

DEBIET AANVOER SLIB

In Figuur 4.13 is het aanvoerdebiet van de borstelcentrifuge weergegeven. Het aanvoerdebiet lag tussen de 2,5 en 3,0 m^3/h.

FIGUUR 4.13 AANVOER BORSTELCENTRIFUGE 11 OKTOBER 2017

4.3.3 HANDMATIG VERZAMELDE GEGEVENS

In Tabel 4.3 zijn de meetgegevens opgenomen zoals die op de rwzi Zwanenburg bijgehouden zijn. Te zien is dat slechts van een beperkte hoeveelheid dagen meetgegevens beschikbaar zijn. Vanwege het ontbreken van een drogestofmeting op het centraat kan het afscheidingsrendement in deze fase niet worden vastgesteld.

TABEL 4.3 MEETGEGEVENS RWZI ZWANENBURG

Datum	toeren [rpm]	debiet [m³/h]	Verbruik run * [kWh]	DS gehalte ontwaterd slib [%]
5-10-2017	3.000	2,5	4,8	18,3
6-10-2017	3.200	2,5	5,5	18,5
11-10-2017	3.600	2,5		18,2
12-10-2017	3.400	2,5		15,7
13-10-2017	3.000	3,0	5,6	22,4
	3.200	3,0		
	3.400	3,0		
17-10-2017	3.600	3,0		20,3
10-11-2017	3.600	2,0	8,4	19,8
	3.000	2,0		15,6
14-11-2017	3.200	2,0	6,3	15,3
14-11-2017	3.400	2,0	6,6	19,3
16-11-2017	3.600	2,0	7,0	16,4

*inclusief verbruik slibtoevoerpomp a 0,23 kWh/run

Het eerste deel van de meetdagen heeft plaatsgevonden in de periode 5 – 17 oktober. In de periode tussen 17 oktober en 10 november is geprobeerd om de storingen te verhelpen door het installeren van verschillende versnijdende pompen. In de periode van 10 – 16 november is opnieuw gedraaid met de borstelcentrifuge. In oktober is er getest met vers vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder terwijl de testen in november uitgevoerd zijn met slib wat al een tijd aanwezig was in de slibbuffer (intensieve menging en beluchting). In november is de borstelcentrifuge lager belast geweest met een gemiddelde aanvoer van 2,0 m3/h tijdens het vullen. Ook is er in november langer gedraaid per run wat geresulteerd heeft in een hoger verbruik per run.

Op basis van de resultaten in Tabel 4.3 geeft Figuur 4.14 het verband tussen het ontwateringsresultaat, toerental en de aanvoer. Uit dit figuur is af te leiden dat het droge stof gehalte van het ontwaterde slib 15 - 22% bedraagt. Dit is hoger dan tijdens fase 1. Opvallend is dat een toename van het toerental lijkt te leiden tot een lager drogestofgehalte en dat het verlagen van het debiet een negatief effect lijkt te hebben op het ontwateringsresultaat. Dit lijkt niet logisch. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de drogestofmetingen tijdens fase 2 niet functioneerden waardoor er alleen op tijd is gedraaid (handmatig). Er is niet gekeken naar het in en uitgaande droge stof gehalte waardoor de trommel mogelijk niet compleet gevuld is geweest en het ontwateringsresultaat lager was dan technisch mogelijk is.

FIGUUR 4.14 ONTWATERINGSRESULTAAT VERSUS TOERENTAL EN AANVOERDEBIET

De relatie tussen het energieverbruik van de borstelcentrifuge en het toerental is weergegeven in Figuur 4.15. Ondanks de beperkte hoeveelheid aan meetgegevens is te zien dat het energieverbruik per run circa 5 - 7 kWh bedraagt.

FIGUUR 4.15 ENERGIEVERBRUIK VERSUS TOERENTAL

4.3.4 MEETGEGEVENS EXTERN LABORATORIUM

Het ingaande slib, ontwaterde slib en centraat zijn tijdens fase 2 door een extern laboratorium geanalyseerd (Tabel 4.4). Ter referentie zijn ook de droge stof gehaltes van de borstelcentrifuge opgenomen zoals die op de rwzi Zwanenburg zelf geanalyseerd zijn (zie ook Tabel 4.3).

TABEL 4.4 DROGE STOF METINGEN LABORATORIUM EN DROGE STOF METINGEN OP RWZI ZWANENBURG

Datum	Laboratorium Slibtoevoer	Laboratorium Ontwaterd slib	Laboratorium Centraat	Metingen rwzi Zwanenburg Ontwaterd slib borstelcentrifuge
	% ds	% ds	mg/l	% ds
11 okt 2017	2,95	17,7	19.000	18,2
17 okt 2017	3,70	19,4	17.000	20,3
10 nov 2017	3,03	19,1	7.100	17,8
16 nov 2017	3,41	17,3	10.000	16,4

In Tabel 4.4 is te zien dat het droge stof gehalte van de slibtoevoer 3,0% tot 3,7% bedroeg. Het door de borstelcentrifuge ontwaterde slib heeft een droge stof gehalte van 17,3% – 19,4%. Dit komt overeen met de droge stof metingen op het door de borstelcentrifuge ontwaterde slib die op de rwzi Zwanenburg uitgevoerd zijn. Wat verder opvalt zijn de hoge concentraties aan onopgeloste bestanddelen in het centraat. Deze gehaltes liggen ver boven de gehaltes die gemeten zijn bij de testen met het spuislib van Zwanenburg (Tabel 4.2). De monsters die van het centraat genomen zijn betreffen steekmonsters waardoor niet vaststaat of ze een representatief beeld geven van het gemiddelde zwevende stof gehalte in het centraat.

Vanwege het ontbreken van de continue drogestofmetingen in het aangevoerde slib en centraat kunnen er geen conclusies getrokken worden over het afscheidingsrendement van de borstelcentrifuge op vergist slib.

4.4 INTERPRETATIE RESULTATEN

Op basis van de resultaten van de duurtest volgt in deze paragraaf een interpretatie van de resultaten.

Allereerst kunnen de volgende constateringen worden gedaan:

- Tijdens het eerste deel van de duurtest waarbij spuislib van de rwzi Zwanenburg ontwaterd is zijn diverse technische problemen opgetreden die gedurende de test verholpen zijn (optimalisaties)
- Met het spuislib van de rwzi Zwanenburg is de borstelcentrifuge in staat gebleken om volautomatisch slib te ontwateren. Tijdens deze fase was het goed mogelijk om gedurende de hele dag runs te draaien met de borstelcentrifuge wat neerkomt op maximaal 16 runs dag over een tijdspanne van 8 uur (circa 30 minuten per run).
- Het droge stof gehalte van het ontwaterde spuislib lag tussen de 13% en 16% droge stof bij een afscheidingsrendement van meer dan 95%
- Afhankelijk van het toerental en de duur van een run bedroeg het energieverbruik van de borstelcentrifuge 4 tot 7 kWh per run (inclusief 0,23 kWh/run tbv de slibtoevoerpomp)
- De ontwatering van het vezelrijke vergiste slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder leverde veel problemen op voor de borstelcentrifuge en de geïnstalleerde drogestof meters waardoor er weinig runs gedraaid zijn en er geen afscheidingsrendement afgeleid kon worden.
- Het vergiste slib liet zich ontwateren tot een drogestofgehalte van 15% - 22%.
- Afhankelijk van het toerental en de duur van een run bedroeg het energieverbruik van de borstelcentrifuge 5 tot 8 kWh per run (inclusief 0,23 kWh/run tbv slibtoevoerpomp)

Op basis van de resultaten van de duurtest met het spuislib van Zwanenburg kan een doorvertaling worden gemaakt naar de toepassing van een borstelcentrifuge op praktijkschaal. Navolgend wordt de capaciteit van een type RBS-500 borstelcentrifuge uitgewerkt evenals het te behalen droge stof gehalte en het energieverbruik per ton droge stof.

CAPACITEIT

De capaciteit van de borstelcentrifuge kan afgeleid worden op basis van de hoeveelheid slibkoek per run, het ontwateringsresultaat en het aantal runs per dag. De hoeveelheid slibkoek per run kan afgeleid worden op basis van het leeg- en volgewicht van de borstelcentrifuge in Tabel 3.2. Het volgewicht van de borstelcentrifuge bedraagt 3.630 kg en het leeggewicht 3.500 kg wat resulteert in 130 kg slibkoek per run. Het volume aan ontwaterd slib bedraagt 110 liter per run. De capaciteit van de borstelcentrifuge is berekend in Tabel 4.5, uitgaande van een bedrijfstijd van 24 uur/d.

TABEL 4.5 CAPACITEIT BORSTELCENTRIFUGE RBS-500 BIJ 24 UUR/D BEDRIJF

Aspect	Eenheid	Waarde
Draaiuren per dag	uur/d	24
Runtijd	minuten	30
Runs per dag	aantal	48
Droge stof gehalte aanvoer	% ds	1,65%
Slibkoek per run (RBS 500)	kg	130
Droge stof gehalte ontwaterd slib	% ds	13,9%
Capaciteit drogestof per run	kg ds/run	18,07
Hydraulische capaciteit per run	m3/run	1,10
Capaciteit droge stof	ton ds/d	0,867
Hydraulische capaciteit	m^3/d	52,6

In Tabel 4.5 is te zien dat een totale hoeveelheid van 130 kg slibkoek met een drogestofgehalte van gemiddeld 13,9% resulteert in 18 kg drogestof per run. Bij 48 runs per dag komt dit neer op 867 kg drogestof/d.

Indien echter de runtijd verkort kan worden door te pompen met een hoger pompdebiet kan, bij een gelijkblijvend ontwateringsresultaat, de capaciteit van de borstelcentrifuge vergroot worden. Een runtijd van bijvoorbeeld 23 minuten in plaats van 30 minuten resulteert in meer runs per dag. In bijlage II is door de firma NieuweWeme op basis van de testresultaten een inschatting gemaakt van de capaciteit (hydraulisch en drogestof) en het afscheidingsrendement bij verschillende belastingen en runtijden. De in de bijlage opgenomen capaciteiten zijn puur indicatief en dienen in de praktijk getoetst te worden. Uit bijlage II kan vooral geconcludeerd worden dat de capaciteit van de borstelcentrifuge samenhangt met de pompcapaciteit en de runtijd. Een runtijd van 23 minuten bij een pompcapaciteit van 3,5 m3/h resulteert theoretisch in een capaciteit van 1,0 ton drogestof/d.

DROGESTOFGEHALTE ONTWATERD SLIB

Het drogestofgehalte wat met de borstelcentrifuge gerealiseerd kan worden is afhankelijk van het ingaande slib. Op secundair slib met een ingaand droge stof gehalte van 1,65% is een gemiddeld droge stof gehalte gerealiseerd van 13,9%.

ENERGIEVERBRUIK

Tijdens de duurtest is een gemiddeld energieverbruik vastgesteld van 4,8 kWh per run. Om het energieverbruik van de borstelcentrifuge vast te stellen dient het verbruik van de toevoerpomp a 0,23 kWh/run hier van afgetrokken te worden. In Tabel 4.6 is het energieverbruik uitgedrukt per ton droge stof.

TABEL 4.6 ENERGIEVERBRUIK BORSTELCENTRIFUGE

Aspect	Eenheid	Fase 1
Capaciteit droge stof (bij 24 uur/d)	ton ds/d	0,87
runs per dag	aantal	48
Energieverbruik per run (gemiddeld)	kWh/run	4,6
Energieverbruik per dag	kWh/d	219
Energieverbruik per ton/ds	kWh/ton ds	253

In Tabel 4.6 is te zien dat het energieverbruik per ton droge stof neerkomt op 253 kWh/ton drogestof. Dit is een hoog verbruik in vergelijking met bijvoorbeeld een decanter die minder dan 100 kWh/ton drogestof verbruikt. Het grote voordeel van de borstelcentrifuge is echter dat deze geen PE verbruikt. Het energieverbruik van de borstelcentrifuge zal door technische optimalisaties, de ontwikkeling van een machine met een grotere capaciteit en het optimaliseren van de instellingen naar verwachting teruglopen. Momenteel is een borstelcentrifuge met een volume van 400 – 500 liter in ontwikkeling. Ten opzichte van de huidige 130 liter betekent dit dat de capaciteit met een factor 3 tot 4 toeneemt.

Optimalisatie instellingen borstelcentrifuge

Het energieverbruik van de borstelcentrifuge hangt voor een belangrijk deel samen met de instellingen. Het doel van dit onderzoek was het realiseren van zo hoog mogelijke drogestofgehaltes waardoor uitgegaan is van relatief lange runs en snel optoeren van de borstelcentrifuge. De verwachting was dat hiermee de beste resultaten zouden worden bereikt. De nadruk heeft niet gelegen op energie efficiëntie. Om de mogelijkheden voor energiebesparingen te verkennen zijn tijdens de praktijktesten ook enkele testen uitgevoerd met gewijzigde instellingen. Door de borstelcentrifuge langzaam op te laten toeren werd een nagenoeg gelijk ontwateringsresultaat bereikt bij een 18% lager energieverbruik. Er lijken dus mogelijkheden te liggen om het energieverbruik per run te reduceren met behoud van het ontwateringsresultaat.

4.5 DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK

De borstelcentrifuge heeft aangetoond dat slibontwatering zonder toevoeging van polymeer haalbaar is. Op spuislib is een gemiddeld drogestofgehalte van 13,9% gemeten wat veel belovend is voor een techniek die nog niet eerder full scale op slib is getest. De maximale capaciteit van de RBS-500 borstelcentrifuge op spuislib met een drogestofgehalte van 1,5% ligt rond de 1.000 kg drogestof per dag. De vraag is waar de borstelcentrifuge het beste kan worden toegepast. Is het een potentiele vervanger van de huidige slibontwatering of is een toepassing als indikker logischer? Een belangrijk aspect hierin betreft de huidige capaciteit van de borstelcentrifuge. Een capaciteit van 1.000 kg drogestof per dag is niet toereikend voor een centrale slibontwatering waar een capaciteit van tientallen tonnen drogestof per dag vereist is. Zelfs als de capaciteit van de borstelcentrifuge opgeschroefd kan worden tot enkele tonnen drogestof per dag is de toepassing als indikker op een kleinere rwzi vooralsnog misschien kansrijker. De borstelcentrifuge kan in dit geval toegepast worden als alternatief voor de bandindikker of gravitaire indikker waardoor polymeer en transportkosten bespaard worden. Dit betekent niet dat de borstelcentrifuge ongeschikt is voor de eindontwatering van slib. Er zijn echter nog verbeteringen nodig voordat de concurrentie aangegaan kan worden met decanters, zeefbandpersen en schroefpersen.

De firma NieuweWeme ontwikkelt momenteel een nieuw model borstelcentrifuge RBS800, met een trommel diameter van 800 mm en een hoogte van 1.200 mm. De RBS800 heeft een capaciteit van 400-500 liter wat drie tot vier keer groter is dan de huidige RBS500. Als de RBS800 een goed ontwateringsresultaat weet te realiseren komt de toepassing als eindontwatering een grote stap dichterbij.

Wat de capaciteit van de borstelcentrifuge betreft is het van belang om verder te kijken dan alleen het spuislib van de rwzi Zwanenburg. Bij een hoger drogestofgehalte van het ingaande slib neemt de verwerkingscapaciteit toe en daalt tevens het energieverbruik per ton ontwaterd slib. Dit wordt geïllustreerd in Tabel 4.7 waarin de ontwatering van spuislib van Zwanenburg vergeleken wordt met de rwzi Heemstede waar het spuislib reeds ingedikt is tot 3% drogestof. Vanwege het hogere ingaande drogestofgehalte zal de trommel sneller gevuld zijn met slib en is als uitgangspunt gehanteerd dat er runs van 23 minuten gedraaid worden in plaats van 30 minuten.

TABEL 4.7 CAPACITEIT BORSTELCENTRIFUGE RBS-500 BIJ 24 UUR/D IN BEDRIJF

Aspect	Eenheid	Spuislib Zwanenburg	Spuislib Heemstede
Draaiuren per dag	uren/d	24	24
Runtijd	minuten	30	23
Runs per dag	aantal	48	63
Droge stof gehalte aanvoer	% ds	1,65%	3%
Slibkoek per run (RBS 500)	kg	130	130
Droge stof gehalte ontwaterd slib	% ds	13,9%	13,9%
Capaciteit drogestof per run	kg ds/run	18,07	18,07
Hydraulische capaciteit per run	m3/run	1,10	0,60
Capaciteit droge stof	ton ds/d	0,867	1,13
Hydraulische capaciteit	m^3/d	52,6	37,7
Energieverbruik per run (gemiddeld)	kWh/run	4,6	3,5
Energieverbruik per dag	kWh/d	219	219
Energieverbruik per ton/ds	kWh/ton ds	253	194

In Tabel 4.7 is te zien dat de capaciteit van de RBS-500 bij spuislib met een drogestofgehalte van 3% circa 1,1 ton drogestof per dag bedraagt tegenover 0,87 ton drogestof per dag bij spuislib met een drogestofgehalte van 1,65%. Vanwege de grotere doorzet van drogestof levert spuislib met een drogestofgehalte van 3% een energieverbruik op van 194 kWh/ton drogestof tegenover 253 kWh/ton drogestof bij spuislib van 1,65%.

Mogelijk dat er bij een hoger ingaand drogestofgehalte ook een hoger eind drogestofgehalte mogelijk is. Dit dient nader te worden onderzocht. Ook het effect van een groter type borstelcentrifuge, met een grotere trommel, kan belangrijke verbeteringen opleveren. De inschatting is dat een grotere trommel een hoger drogestofgehalte en een lager energieverbruik per ton ontwaterd slib oplevert.

Een belangrijk aandachtspunt bij de doorontwikkeling van de borstelcentrifuge betreft de betrouwbaarheid. Bij de ontwatering van vezelrijk slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder bleek de slibtoevoer van het apparaat nog te gevoelig voor haren en andere vezelachtige materialen (verstoppingen). In toekomstige versies zal de constructie voor de toevoer van slib daarom aangepast worden. In een toekomstig onderzoek zal vastgesteld moeten worden dat de borstelcentrifuge voldoende betrouwbaar is voor volcontinue onbemand bedrijf. Een belangrijk aandachtspunt daarbij betreft het afscheidingsrendement.

Om meer inzicht te krijgen over de toepassingsmogelijkheden van deze techniek wordt in hoofdstuk 5 de toepassing van een borstelcentrifuge voor de ontwatering van gravitair ingedikt spuislib verkend. Rijnland heeft hiertoe de rwzi Heemstede aangedragen als case. Spuislib van de rwzi Heemstede wordt momenteel gravitair ingedikt waarna het per as naar de rwzi Zwanenburg wordt getransporteerd. De toepassing van een borstelcentrifuge resulteert in dat geval vooral in een besparing op de transportkosten van het slib. Het slib zou in dit geval ontwaterd worden tot een drogestofgehalte van bijvoorbeeld circa 14% waarna het per as naar een rwzi met slibgisting kan worden getransporteerd. Het ontwaterde slib wordt vervolgens verdund waarna het in de gisting wordt gebracht.

Verdunnen van ontwaterd slib

Slib van 14% drogestof is moeilijk in een slibgisting te krijgen. Door het op te mengen met ingedikt slib of effluent kan opnieuw een verpompbaar slib worden verkregen. Op de rwzi Beemster is ervaring met het mengen van ontwaterd slib en ingedikt slib middels een extruder systeem wat bestaat uit twee in elkaar draaiende schroeven. Het ontwaterde slib wordt hierdoor verdund tot 12% drogestof.

5

UITWERKING CASES: TOEPASSING BORSTELCENTRIFUGE OP RWZI

5.1 INLEIDING

Om te beoordelen of de borstelcentrifuge een kansrijke techniek is zijn in dit hoofdstuk de kosten en baten voor de toepassing van een borstelcentrifuge op de rwzi inzichtelijk gemaakt. De exploitatiekosten van de huidige wijze van slibverwerking worden in scenario's vergeleken met de situatie waarbij een borstelcentrifuge of bandindikker geplaatst is. Daarnaast is de duurzaamheid van de scenario's vergeleken op basis van primair energiegebruik. Paragraaf 5.2 beschrijft de scenario's waarvoor de exploitatiekosten inzichtelijk gemaakt worden. De uitgangspunten voor de financiële uitwerking zijn opgenomen in paragraaf 5.3 waarna in paragraaf 5.4 de exploitatiekosten uitgewerkt zijn. De duurzaamheid van de borstelcentrifuge is uitgewerkt in paragraaf 5.5. In paragraaf 5.6 volgt een beschouwing.

5.2 SCENARIO'S

Het spuislib van de rwzi Heemstede wordt momenteel gravitair ingedikt, per as afgevoerd naar de rwzi Zwanenburg waar het ontwaterd wordt. In dit hoofdstuk wordt verkend of het financieel aantrekkelijk is om het spuislib van de rwzi Heemstede verder in te dikken alvorens het af te voeren. Voor deze vergelijking wordt een borstelcentrifuge vergeleken met de huidige situatie (geen indikking) en met de situatie waarbij spuislib ingedikt wordt met een bandindikker. Ook is het scenario uitgewerkt waarbij een borstelcentrifuge in containerized opstelling spuislib ontwaterd op een referentie rwzi. Ook hier is een vergelijking gemaakt met een bandindikker. De scenario's beschouwen alleen de kosten voor het indikken en transporteren van het slib. De effecten op de slibgisting en de eventuele extra biogasproductie zijn buiten beschouwing gelaten.

De volgende scenario's zijn globaal uitgewerkt:

- **0 scenario**: Rwzi Heemstede: Gravitaire indikking spuislib 2 - 3% drogestof, gevolgd door afvoer naar rwzi Zwanenburg (huidige situatie)
- **Scenario 1**: Rwzi Heemstede: Gravitaire indikking spuislib tot 2 - 3% % drogestof, gevolgd door borstelcentrifuge (14 % drogestof), transport naar vergisting Haarlem Waarderpolder
- **Scenario 2**: Rwzi Heemstede: Gravitaire indikking spuislib tot 2 - 3% % drogestof, gevolgd door bandindikker (7 % drogestof), transport naar vergisting Haarlem Waarderpolder
- **Scenario 3:** referentie rwzi: Gravitaire indikking spuislib tot 2% drogestof, gevolgd door borstelcentrifuge containerized opstelling (14 % drogestof), transport naar vergisting elders (10 km)
- **Scenario 4:** referentie rwzi: Gravitaire indikking spuislib tot 2 % drogestof, gevolgd door bandindikker containerized opstelling (7 % drogestof), transport naar vergisting elders (10 km)

5.3 UITGANGSPUNTEN

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten opgenomen voor het vaststellen van de exploitatiekosten.

SLIBHOEVEELHEDEN

De rwzi Heemstede heeft een capaciteit van 44.427 ie (á 150 g TZV/ie) en beschikt over een voorbezinktank waardoor er zowel primair als secundair slib geproduceerd worden.

In Tabel 5.1 zijn de jaarlijkse primair en secundair slibproductie opgenomen van de rwzi Heemstede evenals de spuislibproductie van een fictieve referentie rwzi.

TABEL 5.1 SLIBPRODUCTIE RWZI HEEMSTEDE

Aspect	Eenheid	Rwzi Heemstede (Scenario's 0, 1, 2)	Referentie rwzi (Scenario's 3, 4)
Capaciteit	i.e. (150 g TZV)	44.427	15.000
Primair slib	% ds	5,0	-
	ton ds/j	343	-
	m3/j	6.864	-
Spuislib	% ds	2,0 - 3,0	2,0
	ton ds/j	260	260
	m^3/j	8.667	13.000

In de huidige situatie wordt het spuislib per as getransporteerd wat op jaarbasis ongeveer 300 slibtransporten naar de rwzi Zwanenburg oplevert.

SITUATIE RWZI HEEMSTEDE

Momenteel wordt het spuislib op de rwzi Heemstede gravitair ingedikt tot 2 a 3% drogestof waarna het per as afgevoerd wordt. Als uitgangspunt voor scenario's 1 en 2 geldt dat het spuislib na gravitaire indikking verder ingedikt wordt met een borstelcentrifuge of bandindikker waarna het per as naar de rwzi Haarlem Waarderpolder wordt afgevoerd. Op de rwzi Heemstede kan de borstelcentrifuge of de bandindikker opgesteld worden op de plek van de voormalige slibontwatering. Een aanvoerleiding voor ingedikt slib is reeds aanwezig evenals een transportband voor het ontwaterde slib, een storttrechter en verdeelbanden om het slib over containers te verdelen. Ook afzuiging, elektra en bedrijfswater zijn reeds aanwezig.

In scenario 2 (bandindikker) wordt het ingedikte slib met een ingedikt slibpomp naar een nieuw te realiseren slibbuffer verpompt (volume 50 m3).

REFERENTIE RWZI

De referentie rwzi die de basis vormt voor scenario's 3 en 4 heeft een capaciteit van circa 15.000 i.e. en een jaarlijkse spuislibproductie van 260 ton drogestof. De rwzi heeft geen voorbezinktank. Indikking verloopt niet optimaal waardoor spuislib momenteel wordt afgevoerd met een drogestofgehalte van 2%. Uitgangspunt is dat de borstelcentrifuge en de bandindikker in een container worden opgesteld. Alle voorzieningen die nodig zijn voor het in bedrijf nemen van de borstelcentrifuge en bandindikker zijn meegenomen in de kostenramingen van scenario's 3 en 4 (slibtoevoerleiding en pompen, buffers, PE installatie, borstelcentrifuge/bandindikker, schroeven/slibpompen, afzuiginstallatie, luchtbehandeling, elektrische installatie, bedrijfswater).

BORSTELCENTRIFUGE EN BANDINDIKKER

In het geval van de borstelcentrifuge wordt ontwaterd tot 14% drogestof. In Tabel 5.2 is de theoretische capaciteit uitgewerkt.

TABEL 5.2 CAPACITEIT BORSTELCENTRIFUGE RBS-500 BIJ 24 UUR/D IN BEDRIJF EN ONTWATEREN TOT 14% DROGESTOF

Aspect	Eenheid	Waarde
Draaiuren per dag	uur/d	24
Runtijd	minuten	23
Runs per dag	aantal	63
Droge stof gehalte aanvoer	% ds	3%
Slibkoek per run (RBS 500)	kg/run	130
Droge stof gehalte ontwaterd slib	% ds	14%
Afgescheiden drogestof per run	kg ds/run	18,2
Hydraulische capaciteit per run	m^3/run	0,6
Capaciteit droge stof	ton ds/d	1,14
Hydraulische capaciteit	m3/d	38,0
Energieverbruik per run (gemiddeld)	kWh/run	3,5
Energieverbruik per dag	kWh/d	219
Energieverbruik per ton/ds	kWh/ton ds	192

De jaarlijkse spuislibproductie van de rwzi Heemstede bedraagt 260 ton drogestof. Uitgaande van een maximale bedrijfstijd van 24 uur per dag komt de capaciteit van de RBS-500 borstelcentrifuge op (365 dagen*1,14 ton ds/d=) 416 ton droge stof per jaar. Dit is in theorie voldoende voor de 260 ton drogestof aan spuislib van de rwzi Heemstede.

In het geval van de bandindikker wordt er ingedikt tot 7% drogestof bij een PE dosering van 3 gram actief PE/kg drogestof.

Te realiseren onderdelen

In scenario 1 hoeven er op de rwzi Heemstede nagenoeg geen aanpassingen gedaan te worden om de borstelcentrifuge in bedrijf te nemen. De te realiseren voorzieningen betreffen:

- borstelcentrifuge
- spoelvoorzieningen
- elektrische installatie en procesautomatisering
- bouwkundige voorzieningen

De firma NieuweWeme is voornemens de RBS-500 voor EUR 115.000,00 op de markt zetten. De totale kosten voor bovengenoemde werkzaamheden worden geraamd op EUR 250.000 inclusief BTW.

In scenario 2 dient er ten behoeve van de in gebruik name van een bandindikker tevens een PE opslag en doseerinstallatie gerealiseerd te worden evenals een slibafvoerpomp, slibafvoerleiding, slibopslag van 50m3, spoelvoorzieningen, elektrische installatie/procesautomatisering en bouwkundige voorzieningen. De totale kosten worden geraamd op EUR 380.000 inclusief BTW.

In het geval van de referentie rwzi (scenario's 3 en 4) wordt uitgegaan van een borstelcentrifuge / bandindikker in een containerized opstelling. Te realiseren onderdelen betreffen:

- slibtoevoerleidingen, incl pomp
- container borstelcentrifuge / bandindikker
- borstelcentrifuge / bandindikker

- PE opslag en doseerinstallatie (alleen bij bandindikker)
- slibschroeven (borstelcentrifuge), slibafvoerleiding incl ingedikt slibpomp (bandindikker)
- horizontale verdeelschroef met schuiven, verdeelschroef boven container, hydrauliek (borstelcentrifuge)
- ingedikt slibbuffer 50m3 (bandindikker)
- afzuiging en luchtbehandeling
- Lavafilter
- Ventilatie en verwarming
- Spoelvoorzieningen
- Elektrische installatie en procesautomatisering
- Container schakelkasten
- Bouwkundige voorzieningen

De totale kosten voor scenario 3 worden geraamd op EUR 500.000 inclusief BTW en voor scenario 4 op 470.000 EUR inclusief BTW.

TRANSPORT

Het spuislib van de rwzi Heemstede wordt over een afstand van 12,7 km per as getransporteerd naar de rwzi Zwanenburg (0 scenario). De kosten voor slibtransport bedragen bij Rijnland 5,95 EUR/ton per transport naar de rwzi Zwanenburg en 4,65 EUR/ton naar de rwzi Haarlem Waarderpolder. Als uitgangspunt voor de energieberekening is aangenomen dat het slibtransport de afstand van 12,7 kilometer dubbel aflegt (één keer vol en één keer leeg). De transportafstand van de rwzi Heemstede naar de rwzi Haarlem Waarderpolder bedraagt 10 km (scenario's 1 en 2). In het geval van de referentie rwzi is eveneens een transportafstand van 10 km aangehouden (enkele reis).

ENERGIE

Voor het energiegebruik van de borstelcentrifuge is het in Tabel 5.2 berekende verbruik van 192 kWh per ton drogestof gehanteerd. Voor de bandindikker is uitgegaan van een continue opgenomen vermogen van 5 kW voor de complete installatie (aandrijving, bandspoeling, PE installatie en pompen). De gehanteerde uitgangspunten zijn opgenomen in Tabel 5.3.

TABEL 5.3 UITGANGSPUNTEN ENERGIEVERBRUIK EN BIJBEHORENDE KOSTEN

Aspect	Eenheid	Waarde
Energieverbruik borstelcentrifuge en toebehoren	kWh/ton ds	192
Energieverbruik bandindikker en toebehoren	kWh/ton ds	168 *

*uitgaande van een continue opgenomen vermogen van 5 kW voor aandrijving, bandspoeling, PE installatie en pompen

OVERIGE UITGANGSPUNTEN

In Tabel 5.4 zijn de overige uitgangspunten opgenomen.

TABEL 5.4 UITGANGSPUNTEN AFSCHRIJVING WERKTUIGBOUWKUNDIG

Aspect	Eenheid	Waarde
Afschrijving WTB	Jaar	15
Rente	%	4
Onderhoud WTB *	%	2
Kosten elektriciteit	€/kWh	0,10

*als percentage van de aanneemsom

5.4 EXPLOITATIEKOSTEN

In deze paragraaf worden de exploitatiekosten van de scenario's uitgewerkt.

Tabel 5.5 geeft de exploitatiekosten voor de huidige situatie en voor de toepassing van een borstelcentrifuge.

TABEL 5.5 EXPLOITATIEKOSTEN SPUISLIB RWZI HEEMSTEDE HUIDIG EN BIJ TOEPASSING BORSTELCENTRIFUGE

Aspect	0 scenario *	Scenario 1 Borstelcentrifuge Heemstede	Scenario 2 Bandindikker Heemstede	Scenario 3 Borstelcentrifuge referentie rwzi	Scenario 4 bandindikker referentie rwzi
Afschrijving	-	€22.000,00	€3.000,00	€44.000,00	€42.000,00
Onderhoud	-	€5.000,00	€8.000,00	€10.000,00	€9.000,00
Elektriciteit	-	€5.000,00	€4.000,00	€5.000,00	€4.000,00
PE	-	€-	€4.000,00	€-	€4.000,00
Slibtransport	€52.000,00 €77.000,00	€9.000,00	€7.000,00	€9.000,00	€17.000,00
Totale jaarlijkse kosten	€52.000,00 €77.000,00	€40.000,00	€67.000,00	€67.000,00	€77.000,00

*Kosten slibtransport €52.000,00 bij indikking tot 3% drogestof en €77.000,00 bij indikking tot 2% drogestof

Uit Tabel 5.5 is af te leiden dat de jaarlijkse exploitatiekosten bij de toepassing van een borstelcentrifuges op rwzi Heemstede (scenario 1) 12.000 EUR/j lager uitvallen dan in de huidige situatie (afvoer ingedikt slib met 3% drogestof). Indien het slib van de rwzi Heemstede ingedikt wordt tot 2% drogestof bedraagt de jaarlijkse besparing 37.000 EUR/j. De besparing op transportkosten weegt dus op tegen de extra afschrijving, het onderhoud en de benodigde energie voor de borstelcentrifuge.

Voor de referentie rwzi is te zien dat de jaarlijkse kosten hoger uitvallen dan voor de rwzi Heemstede. Een borstelcentrifuge kan hier dus alleen uit indien de jaarlijkse kosten voor slibafvoer hoger liggen dan 67.000 EUR/jaar.

Verder is te zien dat de jaarlijkse kosten van de borstelcentrifuge lager uitvallen dan die van een bandindikker. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de borstelcentrifuge geen PE verbruikt en een hoger drogestofgehalte oplevert (minder slibtransporten).

5.5 DUURZAAMHEID

De duurzaamheid wordt uitgedrukt in primaire energie. Energiegebruik houdt niet op bij het direct opgenomen vermogen van de apparatuur. Ook het transport van het slib wordt meegewogen. In Tabel 5.6 zijn de uitgangspunten voor het bepalen van het primaire energiegebruik opgenomen.

TABEL 5.6 UITGANGSPUNTEN VOOR HET BEPALEN VAN HET PRIMAIRE ENERGIEGEBRUIK

Aspect	Eenheid	Waarde
Rendement elektriciteitsproductie en transport	%	40
Energiegebruik slibtransport	MJ ton/km	2,26
PE (50% actief, kationisch)	MJ/kg	66,7 [1]

[1] STOWA 2012-06, GER-waarden en milieuimpactscores productie van hulpstoffen in de waterketen

In Tabel 5.7 is het primaire energiegebruik van de scenario's uitgewerkt op basis van de in paragraaf 5.3 opgestelde uitgangspunten. Omdat de transportafstanden in scenario's 1 t/m 4 gelijk zijn resulteren scenario's 1 en 3 en scenario's 2 en 4 in hetzelfde primaire energieverbruik.

TABEL 5.7 PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK PER SCENARIO

Aspect	0 scenario (MJ/j)	Scenario 1 Borstelcentrifuge Heemstede (MJ/j)	Scenario 2 Bandindikker Heemstede (MJ/j)	Scenario 3 Borstelcentrifuge referentie rwzi (MJ/j)	Scenario 4 bandindikker referentie rwzi (MJ/j)
Elektriciteit		130.000	110.000	130.000	110.000
PE		-	100.000	-	100.000
Slibtransport	500.000 -750.000	80.000	170.000	80.000	170.000
Totaal verbruik	500.000 -750.000	210.000	380.000	210.000	380.000

*primair energieverbruik van 500.000 MJ/j bij indikking tot 3% drogestof en 750.000 MJ/j bij indikking tot 2% drogestof

In Tabel 5.7 is te zien dat het totale primaire energiegebruik van de borstelcentrifuge 210.000 MJ/j bedraagt. Dit is 290.000 tot 540.000 MJ/jaar minder dan dat van de huidige situatie. Het verschil wordt veroorzaakt doordat er fors minder slib getransporteerd hoeft te worden. In vergelijking met bandindikkers valt het primaire energieverbruik van de borstelcentrifuge lager uit doordat bespaard wordt op PE en op slibtransporten.

5.6 BESCHOUWING

Uit de exploitatiekostenberekening komt naar voren dat de borstelcentrifuge in vergelijking met de huidige situatie op de rwzi Heemstede baten op kan leveren voor de verwerking van het spuislib. Op rwzi's waar spuislib over grotere afstand getransporteerd dient te worden, de spuislibproductie groter is of het geproduceerde spuislib een lager drogestofgehalte heeft voorafgaand aan transport lijkt de toepassing van een borstelcentrifuge financieel nog interessanter. Daarnaast is een borstelcentrifuge ook kansrijk als alternatief op een bandindikker omdat er geen PE, en bijbehorende PE opslag, aanmaak en doseerinstallatie, nodig zijn.

Een ander positief aspect van de borstelcentrifuge betreft de kansen die deze techniek biedt om de duurzaamheid te verbeteren. In het geval van de rwzi Heemstede resulteert de borstelcentrifuge in een besparing van het primaire energieverbruik. Deze besparing wordt alleen maar groter als het slib over langere afstand getransporteerd wordt.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

ONTWATEREN SPUISLIB RWZI ZWANENBURG

- Na enkele aanpassingen is de borstelcentrifuge goed in staat gebleken om onder toezicht volautomatisch spuislib van de rwzi Zwanenburg te ontwateren
- De borstelcentrifuge is goed in staat gebleken om slib te ontwateren zonder toevoeging van PE
- Het droge stof gehalte van het ontwaterde slib lag voor het spuislib van Zwanenburg tussen de 13% en 16% droge stof (gemiddeld 13,9%).
- Het afscheidingsrendement van de borstelcentrifuge bedroeg op spuislib van de rwzi Zwanenburg gemiddeld meer dan 95%
- Het energieverbruik van de borstelcentrifuge bedroeg op het spuislib van de rwzi Zwanenburg gemiddelde 4,6 kWh/run wat resulteert in 253 kWh/ton.ds. Dit is hoog in vergelijking met ontwateringsapparatuur zoals centrifuges en zeefbandpersen

ONTWATEREN VERGIST SLIB RWZI HAARLEM WAARDERPOLDER

- De borstelcentrifuge ondervond veel problemen bij het ontwateren van vezelrijk vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder waardoor de installatie niet in staat was om volautomatisch te draaien en er tijdens deze fase geen continue drogestofmetingen uitgevoerd zijn
- Voor vergist slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder lag het droge stof gehalte van het ontwaterde slib tussen de 16% en 22% droge stof (gemiddeld 18,9%)
- Vanwege niet functionerende drogestofmetingen kon voor het slib van Haarlem Waarderpolder het afscheidingsrendement niet worden vastgesteld

DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK

- De huidige borstelcentrifuge kan momenteel nog niet concurreren met gangbare ontwateringsapparatuur zoals centrifuges en zeefbandpersen; de capaciteit is daarvoor te laag evenals mede het ontwateringsresultaat.
- Toepassing van een borstelcentrifuge als ontwateringsapparaat op een kleinschalige rwzi is kansrijk; uit een verkennende businesscase voor de rwzi Heemstede volgt dat een volcontinue bedreven borstelcentrifuge jaarlijks 12.000 tot 37.000 Euro aan besparingen op kan leveren
- Het primaire energieverbruik van een borstelcentrifuge valt voor de voorbeeldcase van de rwzi Heemstede met 210.000 MJ/j fors lager uit dan dat van de huidige situatie waarbij ingedikt spuislib direct getransporteerd wordt (500.000 – 750.000 MJ/j). Een besparing van 290.000 – 540.000 MJ/j aan primaire energie. Een verder doorontwikkelde en energie zuinigere borstelcentrifuge heeft de potentie om in de toekomst nog meer energie te besparen ten opzichte van de huidige wijze van slibverwerking

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Aanpassen van de slibtoevoer van de borstelcentrifuge zodat deze in de toekomst niet meer gevoelig is voor verstoppingen
- Technisch optimaliseren van de borstelcentrifuge zodat de capaciteit van de machine, het droge stof gehalte van het ontwaterde slib en het afscheidingsrendement verbeteren.
- Uitvoeren duurtest met aangepaste borstelcentrifuge. Het belangrijkste doel hiervan is het aantonen van volcontinue bedrijf zonder storingen. In dit vervolgonderzoek dient verder de maximale capaciteit van de borstelcentrifuge vastgesteld te worden. Kan de cyclus van de borstelcentrifuge verkort worden met behoud van ontwateringsresultaat? Wat betekent dit voor de hydraulische capaciteit en droge stof doorvoer per dag? Welk effect heeft dit op het afscheidingsrendement en voor het energieverbruik? Welke energiewinst is er te behalen door de borstelcentrifuge langzamer te laten op toeren (wijzigen instellingen)?
- In het geval van een duurtest wordt voorbehandeling van het te behandelen slib middels perforatierooster of strainpress aanbevolen om haren en vezels voortijdig af te vangen
- Verkennen toepassing borstelcentrifuge voor ontwatering slib voorafgaand aan slibgisting op andere rwzi; verkennen mogelijkheden om het ontwaterde slib op locatie te verdunnen door menging met dunnere slibstromen

BIJLAGE 1

ANALYSERESULTATEN LABORATORIUM

Omschrijving	Datum	Tijdstip	Product	Code groo	Grootheid	Parameter	Omschrijving parameter	Eenheid	Code hoe	Hoedanigheid	Meetwaar	Compartimen
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,71	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	19	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	350	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	20	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,49	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	13,7	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	6,9	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	14	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	71	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	80	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	68,7	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewicl	30	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	2,5	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	19-jul-2017	15:15:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	900	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,87	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	21	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	340	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	21	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,47	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	13,7	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	6,9	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	16	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	69	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	91	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	66,41	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewicl	29	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	2,8	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	25-jul-2017	16:20:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	960	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1,2	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	36	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	600	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	22	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,65	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	14,3	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	9,8	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	26	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	67	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	170	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	109,92	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewicl	48	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	4	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	04-aug-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1700	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,75	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	22	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	380	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	22	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	0,54	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	13,3	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	6,6	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	16	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	69	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	99	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	70,99	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewicl	31	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	2,8	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-aug-2017	13:25:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1000	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - filtraat / centi	19-jul-2017	15:15:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdele	mg/l	NVT	niet van toepassing	140	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	19-jul-2017	15:15:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	5,6	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	25-jul-2017	15:40:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdele	mg/l	NVT	niet van toepassing	180	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	25-jul-2017	15:40:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	10	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	04-aug-2017	00:00:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdele	mg/l	NVT	niet van toepassing	130	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	04-aug-2017	00:00:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	5,8	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	11-aug-2017	13:00:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdele	mg/l	NVT	niet van toepassing	160	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / centi	11-aug-2017	13:00:00	Centraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	3,4	Afvalwater

Omschrijving	Datum	Tijdstip	Product	Code groo	Grootheid	Parameter	Omschrijving parameter	Eenheid	Code hoe	Hoedanigheid	Meetwaar	Compartimer
Bemonstering PE test - slibtoevoer	11-okt-2017	16:30:00	Surplusslib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	29	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - slibtoevoer	11-okt-2017	16:30:00	Surplusslib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	2,95	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - slibtoevoer	17-okt-2017	00:00:00	Surplusslib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	30	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - slibtoevoer	17-okt-2017	00:00:00	Surplusslib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	3,7	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1,3	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	34	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	420	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	35	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1,2	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	17,7	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	7,5	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	25	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	51	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	280	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	64,12	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewic	28	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	4,5	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	11-okt-2017	16:30:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1700	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cd	cadmium	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1,2	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cr	chroom	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	37	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Cu	koper	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	400	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	GR	Gloeirest	%	dg	t.o.v. drooggewicht	36	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Hg	kwik	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1,2	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	IR	Indamprest	%	NVT	niet van toepassing	19,4	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Mo	molybdeen	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	7,2	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ni	nikkel	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	25	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	NKj	stikstof Kjeldahl	g/kg	Ndg	uitgedrukt in Stikstof / drooggewic	47	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Pb	lood	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	290	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	P2O5dg	uitgedrukt in P2O5 / drooggewich	61,83	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Ptot	fosfor totaal	g/kg	Pdg	uitgedrukt in Fosfor / drooggewic	27	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Sb	antimoon	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	4,6	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - ingedikt slib	18-okt-2017	00:00:00	Ingedikt slib	MASSFTE	Massafractie	Zn	zink	mg/kg	dg	t.o.v. drooggewicht	1700	Zuiveringsslib
Bemonstering PE test - filtraat / cent	11-okt-2017	16:30:00	Filtraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdelen	mg/l	NVT	niet van toepassing	19000	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / cent	11-okt-2017	16:30:00	Filtraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	440	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / cent	17-okt-2017	00:00:00	Filtraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	OB	Onopgeloste bestandsdelen	mg/l	NVT	niet van toepassing	11000	Afvalwater
Bemonstering PE test - filtraat / cent	17-okt-2017	00:00:00	Filtraat	CONCTTE	(massa)Concentrati	Ptot	fosfor totaal	mg/l	P	uitgedrukt in Fosfor	280	Afvalwater

BIJLAGE 2

THEORETISCHE CAPACITEIT BORSTELCENTRIFUGE

THEORETISCHE CAPACITEIT BORSTELCENTRIFUGE (UITGAANDE VAN VOLCONTINUE BEDRIJF 24 UUR PER DAG); BRON NIEUWE WEME

Pompdebiet (m^3/h)	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**
Tijd opstart (minuten)	3	3	3	3	3	3	3	3
Procestijd (minuten)	20	20	20	20	15	15	15	15
Totale pomptijd (minuten)	23	23	23	23	18	18	18	18
Leegtijd (minuten)	7	7	7	7	5	5	5	5
Debiet/run (m^3/run)	0,96	1,15	1,34	1,53	0,75	0,90	1,05	1,20
Runtijd (minuten)	30	30	30	30	23	23	23	23
Runs/dag (aantal)	48	48	48	48	62,61	62,61	62,61	62,61
Debiet/dag (m^3/d)	46,0	55,2	64,4	73,6	47,0	56,4	65,7	75,1
DS invoer (% ds)	1,65%	1,65%	1,65%	1,65%	1,65%	1,65%	1,65%	1,65%
DS verwijdering (%)	94%	92%	90%	88%	96%	94%	92%	90%
DS verwijdering (ton/d)	0,71	0,84	0,96	1,07	0,74	0,87	1,00	1,12