

PILOT TERUGWINNING CELLULOSE MET ZEEFTECHNOLOGIE UIT DE PAPIERINDUSTRIE



RAPPORT

2019
37

PILOT TERUGWINNING CELLULOSE MET
ZEEFTECHNOLOGIE UIT DE PAPIERINDUSTRIE

RAPPORT

2019

37

ISBN 978.90.5773.864.7



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

BEGELEIDINGSKOMMISSIE

Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Chris Reijken, Waternet
Hans Kuipers, Waterschap Zuiderzeeland
Remmie Neef, Brightwork BV / Waterschap Zuiderzeeland
Martijn Bovée, EFGF
Yede van der Kooij, Wetterskip Fryslân
Wim Koopmans
Cora Uijterlinde, STOWA

PROJECTUITVOERING

Mirabella Mulder, Mirabella Mulder Waste Water Management

PROJECTGROEP FPIT

Yede van der Kooij, Wetterskip Fryslân
Rik Breur, Bleumats BV
Frank Leerkotte, Bleumats BV
Piet de Roo, Kemira Rotterdam BV

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2019-37 (gewijzigde versie)
ISBN 978.90.5773.864.7

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

PILOT TERUGWINNING CELLULOSE MET ZEEFTECHNOLOGIE UIT DE PAPIERINDUSTRIE

De inzet van technologieën bekend vanuit de papierindustrie zijn voor fijnzeving van rwzi-influent veelbelovend ten opzichte van de huidige technieken, zoals roterende bandzeven en trommelzeven. De pilot resultaten zijn vergelijkbaar met die van full scale roterende bandzeven op het gebied van verwijdering van organische stof en onopgeloste bestanddelen. Bovendien zijn ze robuust en inzetbaar op ruw influent, wat geroosterd is met de gebruikelijke 6 mm roosters. Het onderhouden en schoonmaken van de installaties is beperkt en in lijn met andere installaties op rwzi's. Zand en vet vormen geen problemen in de bedrijfsvoering. Eerstelijnsonderhoud voor inspectie, schoonmaken, bijstelling etcetera is beperkt tot een aantal uren per maand. De installatie lijkt met andere woorden onderhoudsarm.

Het fijnzeefgoed, wat werd geproduceerd in deze pilot, is schoner dan het fijnzeefgoed uit de full scale gerealiseerde roterende bandzeven op rwzi Aarle Rixtel en Beemster, op gebied van zwevende stof en bacteriologische verontreinigingen. Hierbij wordt opgemerkt dat de roterende bandzeven op deze rwzi's in eerste instantie niet zijn ingezet om cellulose terug te winnen, maar om de capaciteit rwzi te ontlasten, waarbij een mogelijk interessante grondstof wordt teruggewonnen. Om dit fijnzeefgoed op te werken zijn aanvullende technieken nodig om vervuilende componenten te verwijderen, waardoor een schone hygiënische grondstof gemaakt kan worden. Het fijnzeefgoed uit pilot bevatte kwaliteits hoogwaardige papiervezels met de juiste lengte. Hierdoor komen nieuwe afzetmarkten in beeld: de papierindustrie heeft voor het eerst serieus interesse getoond in afgescheiden cellulosevezels uit rioolwater en heeft succesvol een pilottest uitgevoerd met gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

Met deze resultaten is een alternatief toegevoegd aan de beschikbare technologieën voor terugwinning van cellulose uit rioolwater. Inzet van zeeftechnologie bekend uit de papierindustrie op rwzi-influent lijkt goedkoper dan de huidige full-scale gerealiseerde technieken en biedt mogelijkheden om een schoon celluloseproduct te produceren, waarvoor interesse is vanuit de papierindustrie en huidige afnemers van oud-papier. Hierdoor kan een waardevolle bijdrage worden geleverd aan de doelstellingen van waterschappen rondom circulariteit.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

In dit onderzoek is nagegaan, welke voor- en nadelen het inzetten van zeeftechnologie vanuit de papierindustrie heeft, voor het zeven van influent van rwzi's. Hiervoor is op de demosite van rwzi Leeuwarden een Conus Trenner in combinatie met een Elephant filter op pilot schaal getest. De Conus Trenner (CT) is een machine waarin influent wordt gespoten via 6 spuitstukken op een draaiend filter met meerlaags roestvrij staaldraad. In deze pilot is een maaswijdte van 0,08 mm getest. Het Elephant Filter (EF) is een indikker. De stroom met gezeefde deeltjes vanuit de Conus Trenner komt in verschillende kamers terecht waarin twee schijven in ronddraaien. De maaswijdte van het Elephant filter bedroeg in deze pilot 0,250 mm. Het ingedikte fijnzeefgoed is in deze pilot gehygiëniseerd met permierenzuur en vervolgens geperst. Op basis van de pilotresultaten is de technische en financiële haalbaarheid bepaald. Deze zijn gespiegeld aan een referentiesituatie, waarin roterende bandzeven worden ingezet voor terugwinning van cellulosevezels uit rwzi-influent.

Uit het pilotonderzoek is gebleken, dat inzet van technologieën bekend vanuit de papierindustrie voor fijnzeving van rwzi-influent veelbelovend is en alternatieven biedt ten opzichte van de huidige technieken, zoals roterende bandzeven en trommelzeven. De resultaten zijn vergelijkbaar met die van roterende bandzeven op het gebied van verwijdering van organische stof en onopgeloste bestanddelen. Bovendien zijn ze robuust en inzetbaar op ruw influent, wat geroosterd is met 6 mm roosters. Het onderhouden en schoonmaken van de installaties is beperkt en in lijn met andere installaties op rwzi's. Zand en vet vormen geen problemen in de bedrijfsvoering. Eerstelijnsonderhoud voor inspectie, schoonmaken, bijstelling etcetera is beperkt tot een aantal uren per maand. De installatie lijkt met andere woorden onderhoudsarm.

De resultaten van deze pilot zijn vergeleken met de huidige bewezen full-scale gerealiseerde roterende bandzeven op rwzi Beemster. Bij de vergelijking tussen deze twee fijnzeeftechnieken dient rekening te worden gehouden met het volgende:

1. De full-scale gerealiseerde roterende bandzeven op de rwzi's Aarle Rixtel en Beemster zijn niet ingezet om cellulose terug te winnen, maar om de capaciteit rwzi te ontlasten, waarbij een mogelijk interessante grondstof wordt teruggewonnen. Om dit fijnzeefgoed op te werken zijn aanvullende technieken nodig om vervuilende componenten te verwijderen, waardoor een schone hygiënische grondstof gemaakt kan worden .
2. De kosten, die in dit rapport zijn berekend voor de inzet van fijnzeeftechnologie uit de papierindustrie, zijn gebaseerd op pilottesten en daardoor indicatie. De onnauwkeurigheid bedraagt circa 50-100%.

Met in achtneming van bovenstaande opmerkingen, komen een aantal belangrijke verschillen naar voren tussen de inzet van fijnzeven bekend uit de papierindustrie (Conus Trenner en Elephant Filter) en roterende bandzeven:

Ten aanzien van de kosten:

- De kapitaalslasten van de Conus Trenner en Elephant Filter zijn lager dan van roterende bandzeven. De Conus Trenner is zeer compact ten opzichte van de behandelde capaciteit in vergelijking met roterende bandzeven. Ook de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter is compacter. Hierdoor is het gebouw, waarin de installaties worden opgesteld, klei-

ner en zijn de kosten voor randvoorzieningen lager, zoals pompen, leidingwerk en kleppen. De kapitaalslasten en onderhoudskosten zijn hierdoor circa 25% lager.

- Het energieverbruik van de Conus Trenner en Elephant Filter is hoger van vanwege het op 1 bar druk brengen van het rwzi-influent en een hoger spoelwaterverbruik. Ten opzichte van de roterende bandzeef ligt het energieverbruik circa 60% hoger.
- Het product wat door de Conus Trenner + Elephant Filter wordt geproduceerd heeft een hoger gehalte cellulose, minder aanhangende droge stof en organische stof en een lager gehalte aan bacteriologische verontreinigingen. Hierdoor komt hygiënisatie van fijnzeefgoed in beeld, waardoor dit wellicht kan worden afgezet naar de papierindustrie. Ter indicatie: De hygiënisekosten van fijnzeefgoed uit de Conus Trenner+Elephant Filter zijn 60% lager dan van fijnzeefgoed uit de roterende bandzeef.
- In totaal zijn de kosten voor de inzet van Conus Trenner en Elephant Filter circa 30% lager dan de inzet van een roterende bandzeef.

Ten aanzien van de besparingen:

- Vermindering van slibproductie is de belangrijkste besparing bij inzet van fijnzeven op rwzi-influent. De mindere slibproductie zorgt voor besparingen in polymeerverbruik, slibontwateringsenergie, slibeindverwerking en minder transport van ingedikt en ontwaterd slib. De berekende vermindering in slibproductie bepaalt meer dan 90% van de totale besparingen. De overige 10% wordt behaald door vermindering van beluchtingsenergie in actief slib. De gevoeligheid van de aanname in vermindering in slibproductie is hierdoor groot.
- Inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter zorgt voor een vergelijkbare vermindering van slibproductie als roterende bandzeven van 20-25%. In relatie met het vorige punt wordt benadrukt, dat de vermindering van slibproductie op basis van dit pilotonderzoek indicatief is bepaald en een grote onnauwkeurigheid bevat.

In het verleden is erg gefocust op een win-win situatie: én een hoge besparing op de kosten van behandeling van rioolwater én productie van een hoogwaardig product. Het is eenvoudigweg niet mogelijk om èn een zeer schoon vezelproduct af te scheiden èn een hoog verwijderingsrendement te behalen op OB (onopgeloste bestanddelen) en CZV (Chemisch Zuurstof Verbruik). Hoe meer OB en CZV uit rwzi-influent wordt verwijderd door de influentzeef, hoe meer CZV en OB in het fijnzeefgoed terecht komt. Oftewel zowel een hoge besparing behalen op de water- en sliblijn van een rwzi, als een zeer schoon vezelproduct afscheiden, is niet mogelijk. Om deze twee zaken van elkaar te scheiden zijn twee business cases opgesteld:

1. Zuiveringsdenken: optimalisatie besparingen op de rwzi door inzet van de Conus Trenner (CT), gevolgd door een eenvoudige indikstap ter vervanging van het Elephant Filter en een eenvoudige persstap. Het fijnzeefgoed wordt vervolgens geperst en als zuiveringslib afgezet in energietoepassingen zoals vergisting en/of verbranding. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 300 euro per ton drogestof fijnzeefgoed.
2. Grondstofdenken: optimalisatie van de kwaliteit van het afgescheiden vezelproduct door inzet van de combinatie van Conus Trenner (CT) en Elephant Filter (EF), gevolgd door hygiënisatie van het fijnzeefgoed met permierenzuur en een eenvoudige persstap. Het fijnzeefgoed wordt nuttig toegepast als vezelgrondstof in afzetmarkten waar nu oud-papier voor wordt ingezet. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 0 euro per ton drogestof gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

Ad 1. Inzet van de Conus Trenner (CT) met een eenvoudige indikker is qua business case vergelijkbaar met inzet van roterende bandzeven. De investeringen van de Conus Trenner met eenvoudige indikker zijn lager dan van roterende bandzeven en er wordt meer zwevende stof afgescheiden door de Conus Trenner met eenvoudige indikker. Het energieverbruik ligt echter hoger, waardoor de netto kosten van beide alternatieven vergelijkbaar zijn.

Ad 2. Inzet van de Conus Trenner (CT) in combinatie met een Elephant Filter (EF) is qua business case aantrekkelijker dan inzet van roterende bandzeven. De netto kosten vallen circa 45% lager uit. Dit wordt met name veroorzaakt door de hogere kwaliteit van het fijnzeefgoed uit de combinatie Conus Trenner + Elephant Filter, waardoor de kosten voor hygiëniseren met bijvoorbeeld permierenzuur lager zijn, om het fijnzeefgoed “om niet” te kunnen afzetten als product. De besparingen in slibproductie zijn gelijk voor de inzet van Conus Trenner + Elephant Filter en roterende bandzeven. Kleinere verschillen treden op door hogere kosten voor spoelwater en energie voor de inzet van Conus Trenner+Elephant Filter en de lagere investeringskosten in vergelijking met inzet van de roterende bandzeef.

Het fijnzeefgoed, wat wordt geproduceerd door de combinatie van Conus Trenner en Elephant Filter, is schoner dan het fijnzeefgoed uit roterende bandzeven op het gebied van aanhangende zwevende stof en bacteriologische verontreinigingen. Bovendien bevat het fijnzeefgoed veel kwalitatief hoogwaardige papiervezels met de juiste lengte. Hierdoor komen nieuwe afzetmarkten in beeld: de papierindustrie heeft voor het eerst serieus interesse getoond in afgescheiden cellulosevezels uit rioolwater en succesvol een pilottest uitgevoerd met gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

De kosten voor het produceren van gedroogd gehygiëniseerd fijnzeefgoed uit influent van rwzi's door inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter bedraagt circa 250-400 €/ton ds. Deze kosten zijn lager dan bij inzet van roterende bandzeven: in het VAZENA project, waarin fijnzeefgoed van een roterende bandzeef is gehygiëniseerd met perazijnzuur om ingezet te worden als afdruiptremmer, bedragen de productiekosten meer dan 600 euro per ton.

Ondanks de lagere productiekosten, is de inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter niet economisch rendabel. De productiekosten van 250-400 €/ton ds gedroogd gehygiëniseerd fijnzeefgoed blijven hoger dan de mogelijke opbrengsten voor toepassing van fijnzeefgoed als vezelproduct (100-200 €/ton ds). Dit onderzoek heeft echter wel aangetoond, dat er een zeer schoon vezelproduct kan worden afgescheiden uit rioolwater, waarvoor interesse is vanuit de papierindustrie.

Uniek aan dit project is dat er, nadat er voldoende data beschikbaar was voor het bepalen van de technische en financiële haalbaarheid, continue fijnzeefgoed is geproduceerd voor een papierrun bij een papierfabriek in Duitsland. Continue betekent 24/7: 7 dagen per week 24 uur per dag gedurende drie maanden. Er is in totaal 850 kg drogestof aan fijnzeefgoed geproduceerd. Uit het feit, dat dit mogelijk was met een pilotinstallatie, blijkt hoe robuust de technieken zijn. Tijdens de papierrun in de fabriek is het geproduceerde zeefgoed gemengd met oudpapier-pulp (verhouding 33% zeefgoed en 67% verse papiervezels op basis van drogestof) voor de productie van zogenaamde garagerollen: blauwe papierrollen voor het afdrogen van handen in de industrie. Op basis van deze test is er interesse vanuit de papierindustrie om e.e.a. op grotere schaal te testen.

De kosten, die in dit rapport zijn berekend, zijn indicatief en bevatten een grote onnauwkeurigheid van circa 50-100%. Om te kunnen bepalen of de inzet van zeeftechnologieën, bekend vanuit de papierindustrie, efficiënter en effectiever zijn voor het afscheiden van cellulosevezels dan nu toegepaste technieken, zoals roterende bandzeven en trommelzeven, is een full-scale test nodig. Invloeden op de water- en sliblijn van een rwzi kunnen alleen op deze schaal worden vastgelegd. Daarnaast is voor eventuele toepassing van het geproduceerde fijnzeefgoed ook een hoge productie en dus een full-scale test nodig. Alleen bij voldoende productie van fijnzeefgoed, kunnen afnemers testen op praktijkschaal uitvoeren en nagaan of het product van voldoende kwaliteit is op het gebied van verontreinigingen, vezellengte-, -gehalte en -kwaliteit.

BEGRIPPENLIJST

Term	Betekenis
Actief slib	Slibvlokken of slibkorrels in een rwzi , waarin zich verschillende typen eencellige en meercellige micro-organismen bevinden, die met name organisch opgeloste verontreinigingen in rioolwater afbreken, al dan niet met behulp van zuurstof.
Biobased plastic	Plastic van biologische oorsprong
Biobased vezel	Vezel van biologische oorsprong
Biocomposteerbaar plastic	Biobased plastic wat biocomposteerbaar is
Biocomposiet	Een kunststof composiet, waarin de plastic en/of de vezel van biologische oorsprong is.
BZV	Biologisch zuurstofverbruik.
CZV	Chemisch zuurstofverbruik.
CT	Afkorting voor Conus Trenner
Cellulose	Cellulose is een polysaccharide van glucose, die door nagenoeg alle planten wordt gemaakt. De molecuulformule is $(C_6H_{10}O_5)_n$ waarbij n staat voor het aantal glucose-eenheden (circa 7.000 – 15.000 per molecuul).
Cellulosevezel	Vezels in een plant zijn langgerekte bundels van cellen, die voor stevigheid in de plant zorgen. Deze vezels bestaan vooral uit cellulose en worden daarom ook wel cellulosevezels genoemd. Van nature bevatten vezels in hout voor papierproductie naast cellulose (47-53%) ook hemicellulose (17-27%) en lignine (19-29%). De onderlinge verhoudingen hangen af van het type boom. Papier is een netwerk van deze cellulosevezels. Om de cellulosevezels uit hout te winnen, moeten deze mechanisch of chemisch worden ontsloten. Afhankelijk van het gebruikte ontsluitingsproces en hout, bevat het papier meer of minder hemicellulose en lignine. Riolwater bevat cellulosevezels afkomstig van doorgespoeld toiletpapier, maar ook vezels van andere natuurlijke of synthetische oorsprong (zie vezels).
Conus Trenner	Machine bekend uit de papierindustrie waarin deeltjes kunnen worden afgescheiden door een draaiend filter met meerlaags roestvrij staal draad. Dit inkomende stroom dient een overdruk te hebben van 1 bar.
Droge stof	De hoeveelheid droge stof in waterige stromen wordt bepaald door filtratie (zie onopgeloste bestanddelen). Voor geconcentreerdere stromen, zoals (primair, actief of secundair) slib , is filtratie niet mogelijk. De hoeveelheid droge stof in slibachtige stromen wordt bepaald door middel van een indampst. Hierbij wordt het monster ingedampt en gedroogd bij 103 °C en daarna gewogen. De droge stof wordt uitgedrukt als gewichtsfractie ten opzichte van het totale gewicht (5% ds betekent 5 gram drogestof op elke 100 g totaal, oftewel in slibachtige stromen 50 gram drogestof per liter).
DWA	Droogweer aanvoer naar een rwzi .
Effluent	Gereinigd rioolwater dat vanuit een rwzi op het oppervlaktewater wordt geloosd.
Elephant Filter	Indikker bekend uit de papierindustrie, waarin een waterrijke stroom met deeltjes kan worden ingedikt door inzet van metalen zeven.
EF	Afkorting voor Elephant Filter

Term	Betekenis
Fijnzeefgoed	Fractie rijk aan cellulosevezels , die wordt afgescheiden uit influent door fijnzeven. Dit fijnzeefgoed bevat naast cellulosevezels (60-80% ds) tevens vet, haren, organische slibdeeltjes en anorganisch materiaal zoals zand, kalk en andere zouten.
Hemicellulose	Hemicellulose is een verzamelnaam voor een reeks zeer nauw verwante koolhydraten, die worden gemaakt in planten. Hemicellulose is een belangrijke component van de celwand en vormt meestal een soort matrix, waarin cellulosemoleculen ingebed liggen. In tegenstelling tot cellulose bevat hemicellulose niet enkel glucose maar ook suikers als xylose, mannose, galactose, rhamnose en arabinose. Hemicellulose bestaat uit kortere kettingen (circa 500 – 3000 suikereenheden per molecuul) dan cellulose (circa 7.000 – 15.000 per molecuul).
Houhoudend papier	Voor houhoudend papier wordt de lignine ('houtstof', een chemische stof uit de celwand van de houtcellen) beperkt verwijderd. De cellulosevezel wordt dan mechanisch ontsloten .
Houtvrij papier	Voor houtvrij papier wordt de lignine ('houtstof', een chemische stof uit de celwand van de houtcellen) grotendeels chemisch verwijderd. Hierdoor wordt het papier witter en zachter.
Inwonerequivalent	Maat voor de belasting van het rioolwater (verontreiniging) die een inwoner gemiddeld per dag produceert.
i.e.	Afkorting van inwonerequivalent
i.e. 150 g TZV	Berekening van inwonerequivalenten in Nederland volgens de formule $(4,57 \cdot \text{Nkj (g/d)} + \text{CZV (g/d)}) / 150 \text{ g}$
Influent	Binnenkomend rioolwater op een rwzi
Kunststof composiet	Vezel versterkt plastic
Lignine	Polymeer met een gecrosslinkte structuur met molecuulformule $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2, \text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_3, \text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_4$. Lignine bevindt zich in de celwand van alle planten en bomen. De sterkte van hout is een resultaat van het materiaal dat gevormd wordt door de interactie tussen cellulose , hemicellulose en het lignine er omheen.
Mechanische cellulosevezel fractionering	Een kwantitatieve methode om het aandeel cellulosevezels te bepalen door monsters te fractioneren op deeltjesgrootte. Hierbij is het uitgangspunt dat cellulosevezels een lengte hebben van circa 0,1-1,5 mm met een piek bij 1,0 mm. Deze "vezelclassificatie" methodiek komt uit de papierindustrie, waarbij een monster achtereenvolgens geleid wordt door zeven met een afnemende diameter. Hierdoor ontstaat een beeld van de grootteverdeling van deeltjes die zich in het monster bevinden. Bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat de fractie met deeltjes kleiner dan 1,4 mm en groter dan 0,15 mm een hoog gehalte aan cellulosevezels bevatten; de fractie groter dan 1,4 mm bevat weinig cellulosevezels.
Mesh	Mesh is een maat voor de maaswijdte van een zeef en wordt gedefinieerd door het exacte aantal vierkante openingen per lineaire inch van metaaldraad. Een zeef van 16 Mesh bevat 16 vierkante openingen per vierkante inch. Een hoger aantal openingen per vierkante inch resulteert in kleinere vierkante openingen. Hierbij gelden de volgende (vierkante) zeefmaten R 14 = 1.2 mm; R 30 = 0,6 mm; R 50 = 0,3 mm and R 100 = 0,15 mm
OB	Afkorting voor onopgeloste bestanddelen

Term	Betekenis
Ontsluiting van de cellulosevezel	Voor het maken van papier moet de cellulosevezel uit het hout losgemaakt worden. Dit kan op verschillende manieren: op mechanische wijze, door het hout tot houtslip te vermalen of op chemische wijze door het hout met chemicaliën te behandelen en te koken.
Organische stof	De hoeveelheid organische stof is het gewicht van de gloeirest minus de indamprest of filtratierest (zie ook drogestof en onopgeloste bestanddelen). De hoeveelheid organische stof wordt bepaald door de indamprest of filtratierest bij een temperatuur van 600 °C te gloeien.
Onopgeloste bestanddelen	Deeltjes in rioolwater : de hoeveelheid onopgeloste bestanddelen wordt in dit rapport bepaald door het monster te filtreren over een glasfilter van maximaal 1,6 µm conform NEN-EN 872:2005. Het materiaal wat op het filter achterblijft (filtratierest) wordt gedroogd en gewogen en bestaat uit de onopgeloste bestanddelen. De opgeloste bestanddelen kunnen bepaald worden door indamping van het filtraat. Onopgeloste bestanddelen worden uitgedrukt in mg/l of g/l.
Permierenzuur	Permierenzuur wordt gemaakt door waterstofperoxide en mierenzuur met elkaar te laten reageren. Door permierenzuur toe te voegen aan rioolwater (of in dit project fijnzeefgoed) ontstaan hydroxylradicalen, die bacteriën kunnen doden. Permierenzuur is maar beperkt stabiel en kan daarom niet worden opgeslagen en/of getransporteerd. Permierenzuur moet daarom on-site gemaakt worden.
Primair slib	Bezinkbare delen die gravitair worden afgescheiden uit rioolwater door voorbezinking. Dit primair slib wordt, tezamen met secundair slib, verder verwerkt in slibindik, -vergistings, en/of -ontwateringinstallaties op de rwzi . Het ontwaterde slib wordt verwerkt door een slibverwerker.
Rioolwater	Afvalwater dat geloosd wordt door huishoudens en bedrijven op het riool en behandeld wordt in een rwzi .
Roostergoed	Grove delen, die verwijderd worden uit rioolwater door roosters in het influent of primair slib. Gebruikelijke maaswijdten zijn 3-6 mm voor influent en 1-3 mm voor primair slib.
RWA	Regenweer aanvoer naar een rwzi
rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie: installatie voor het zuiveren van rioolwater.
Secundair slib	Overtollig actief slib , wat op de rwzi verder wordt verwerkt in slibindik, -vergistings, en/of -ontwateringinstallaties. Het ontwaterde slib wordt verwerkt door een slibverwerker.
TSS	Total Suspended Solids: synoniem voor onopgeloste bestanddelen
TZV	Totaal zuurstofverbruik
WKK	Warmte Kracht Koppeling
Vezel	Lang, dun filament met een lengte van minstens 5 µm, een diameter kleiner dan 3 µm, waarvan de lengte ten minste drie keer groter is dan de doorsnede. Vezels kunnen bestaan uit synthetische of natuurlijke organische moleculen. In rioolwater bevinden zich voornamelijk cellulosevezels . Deze zijn afkomstig uit toiletpapier, maar ook uit andere papierhoudende doekjes, bladafval en resten van plantaardig materiaal zoals groente (waaronder aardappels), fruit en granen (waaronder tarwe, gerst, spelt, rogge, rijst en maïs). Daarnaast bevat rioolwater textielvezels, zowel van natuurlijke (bijvoorbeeld katoen) als synthetische oorsprong (bijvoorbeeld polyester)

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 aan 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.

PILOT TERUGWINNING CELLULOSE MET ZEEFTECHNOLOGIE UIT DE PAPIERINDUSTRIE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	BEGRIPPENLIJST	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doelstelling	2
	1.3 Leeswijzer	2
2	BESCHRIJVING PILOT INSTALLATIE	3
	2.1 beschrijving gebruikte technologie uit papierindustrie	3
	2.2 opstartfase pilot	4
	2.3 onderzoeksfases pilot	5
3	RESULTATEN PILOT	8
	3.1 inleiding	8
	3.2 Verwijdering OB en CZV	8
	3.3 afscheiding cellulose	10
	3.4 kwaliteit zeefgoed	12
	3.5 robuustheid en bedrijfsvoering	14
	3.6 conclusies	16
4	BUSINESS CASES	18
	4.1 inleiding	18
	4.2 uitgangspunten kostenberekeningen	18
	4.2.1 samenstelling rioolwater	18
	4.2.2 keuze referentie	19
	4.2.3 technologische uitgangspunten	19
	4.2.4 financiële uitgangspunten	20
	4.2.5 technische uitgangspunten	21
	4.3 stichtingskosten	22
	4.4 resultaten business cases	22

5	TOEPASSINGEN VEZELPRODUCT	27
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	29
6.1	conclusies	29
6.2	Kennishiaten	31
6.3	Aanbevelingen	32
7	REFERENTIES	33
	BIJLAGE 1 - BEGRIPPEN RONDOM TERUGWINNING CELLULOSE UIT RIOOLWATER	34
	BIJLAGE 2 - OB- EN CZV-RENDEMENTEN PILOT	37
	BIJLAGE 3 - RESULTATEN HYGIENISATIE ZEEFGOED CONUS TRENNER + ELEPHANT FILTER	38
	BIJLAGE 4 - CELLULOSEBALANSEN	39
	BIJLAGE 5 - RAMINGEN INVESTERINGEN EN STICHTINGSKOSTEN	40
	BIJLAGE 6 - BUSINESS CASES	44

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De Nederlandse waterschappen beschouwen rioolwater niet langer als een afvalproduct, maar als een bron van duurzame energie, grondstoffen en schoon water. Om deze energie en grondstoffen uit rioolwater terug te winnen is het platform “De Energie- en Grondstoffenfabriek” opgericht, waaraan alle waterschappen in Nederland deelnemen. Vanuit dit platform worden concrete projecten opgestart met als doel terugwinnen van energie en grondstoffen uit rioolwater. Voor grondstoffen is een top vijf samengesteld, waarmee de waterschappen aan de slag gaan: fosfaat, cellulose, bioplastics, alginaat en biomassa. Cellulose vormt een belangrijke pijler in de transitie naar de circulaire economie voor de waterschappen.

Tot nu toe wordt voor het terugwinnen van cellulose(vezels) uit rioolwater voornamelijk onderzoek gedaan naar en gebruik gemaakt van de inzet van roterende bandzeven en trommelzeven met een maaswijdte van circa 0,35-0,5 mm op het influent van rwzi's. Deze zogenaamde fijnzeven verwijderen droge stof en organische stof uit het influent. Het geproduceerde product wordt fijnzeefgoed genoemd en bevat naast een hoog gehalte aan cellulosevezels (circa 60-80%), tevens vet, haren, zand, slibdeeltjes en overige opgeloste organische en anorganische verontreinigingen. Het fijnzeven in influent heeft volgens eerder gedaan (STOWA)-onderzoek de volgende voor- en nadelen[1][2][3][4]:

- De organische stof belasting van de waterlijn wordt lager, waardoor minder energie nodig is voor de beluchting
- Het fijnzeefgoed, dat wordt geproduceerd, heeft een hoger drogestofgehalte dan ingedikd zuiveringsslib, waardoor er minder transporten over de weg nodig zijn.
- Er wordt minder slib geproduceerd, wat leidt tot lagere slibverwerkingskosten.

Het lijkt erop dat het zogenaamde fijnzeefgoed wat deze influentzeven produceren, kan worden afgezet als vezelgrondstof, waardoor de grondstoffenkringloop op het gebied van cellulose kan worden gesloten. Het meest lucratief lijken toepassingen als koolstofbron, als afdruiptremmer, in isolatiemateriaal en in biocomposieten [5][6][7]. Momenteel wordt het fijnzeefgoed, wat geproduceerd wordt door full-scale praktijkinstallaties met name ingezet als energiebron in verbranding.

Naast bovenstaande onderzoeken op fijnzeving van influent is in 2015 op labschaal een STOWA-onderzoek uitgevoerd naar terugwinning van cellulose uit primair slib. Hiervoor zijn met name technieken toegepast, die bekend zijn uit de papierindustrie. Door middel van een cascade aan zeven met verschillende typen gaten en sleuven en maaswijdtes, werd een hoogwaardig product verkregen met relatief weinig vervuiling ten opzichte van het fijnzeefgoed wat uit influent wordt geproduceerd met de roterende bandzeven en trommelzeven [8]. Het inzetten van fijnzeeftechnologie vanuit de papierindustrie lijkt op basis van dit onderzoek tevens aantrekkelijk als alternatief voor de bestaande influentzeven. Ook vanuit leveranciers van deze equipment was er belangstelling voor een pilot test op influent. In dit rapport worden de resultaten van dit pilotonderzoek beschreven.

1.2 DOELSTELLING

In dit pilotonderzoek wordt nagegaan welke voor- en nadelen het inzetten van zeefttechnologie vanuit de papierindustrie heeft voor het zeven van rioolwater (influent van rwzi's).

De volgende onderzoeksvragen staan hierin centraal:

1. Wat is de technische haalbaarheid van het inzetten van fijnzeefttechnologie uit de papierindustrie op influent van rwzi's:
 - a. Wat is de bedrijfszekerheid van de techniek? Is deze robuust genoeg om influent van rwzi's te behandelen? Hierbij zal aandacht worden besteed aan verminderde werking, storingen door bijvoorbeeld verstopping, versmering en slijtage van onderdelen en de daarbij benodigde mate van onderhoud.
 - b. Welke fracties worden uit rioolwater verwijderd aan organische stof (uitgedrukt als Chemisch Zuurstof Verbruik, oftewel CZV) en onopgeloste stof (uitgedrukt als Onopgeloste Bestanddelen, oftewel OB)?
 - c. Wat is de invloed van de verwijdering van organische en onopgeloste stof op het energieverbruik en de slibproductie van de rwzi?
 - d. Wat is de kwaliteit van het fijnzeefgoed wat geproduceerd wordt? Zijn de afgescheiden cellulosevezels geschikt om toe te passen door een marktpartij? Welke opwerkstappen zijn nodig om aan de eisen en wensen van verschillende afzetmarkten te voldoen?
2. Wat is de financiële haalbaarheid van het inzetten van fijnzeefttechnologie uit de papierindustrie op influent van rwzi's:
 - a. Wat zijn de benodigde investeringen en operationele kosten van de zeefinstallatie?
 - b. Welke besparingen treden op in de water- en sliblijn van de rwzi?
 - c. Welke kosten zijn gemoeid met de afscheiding van de cellulosevezels en de benodigde opwerkstappen in relatie tot de mogelijke opbrengsten?

De technische en financiële haalbaarheid zal worden gespiegeld aan een referentiesituatie waarin roterende bandzeven worden ingezet voor terugwinning van cellulosevezels uit rwzi-influent.

NB: De begrippen cellulose, cellulosevezels en fijnzeefgoed worden in vele rapporten door elkaar gebruikt. In STOWA 2016-18 zijn deze begrippen helder en duidelijk uitgelegd en van elkaar onderscheiden. Deze uitleg is opgenomen in bijlage 1. In dit rapport zal dezelfde terminologie worden aangehouden.

1.3 LEESWIJZER

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 de pilotinstallatie beschreven. Daarna worden in hoofdstuk 3 de resultaten van het pilotonderzoek beschreven. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op de financiële haalbaarheid. Hoofdstuk 5 omvat de conclusies en aanbevelingen die voortkomen uit dit onderzoek.

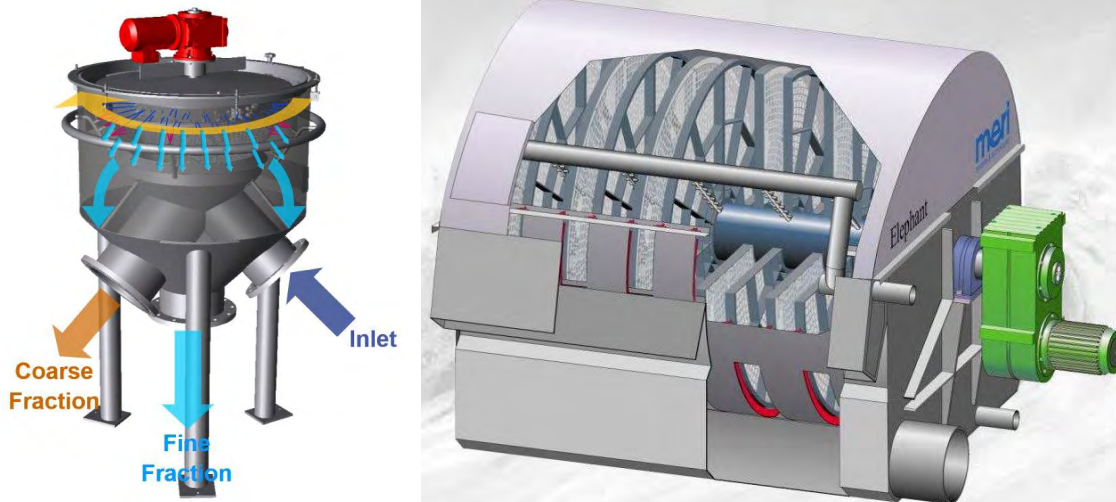
2

BESCHRIJVING PILOT INSTALLATIE

2.1 BESCHRIJVING GEBRUIKTE TECHNOLOGIE UIT PAPIERINDUSTRIE

In dit project is op de demosite van rwzi Leeuwarden een combinatie van technologieën bekend vanuit de papierindustrie op pilot schaal getest: een Conus Trenner in combinatie met een Elephant filter (zie figuur 1). Deze technologie wordt geleverd door Meri Environmental Solutions GmbH, wat onderdeel is van Voith GmbH en in Nederland vertegenwoordigd wordt door Bluemats Technology BV.

FIGUUR 1 MERI CONUS TRENNER (LINKS) EN ELEPHANT FILTER (RECHTS)



De Conus Trenner (CT) is een machine waarin influent wordt gespoten via 6 spuitstukken op een draaiend filter met meerlaags roestvrij staal draad. Dit gebeurt door het influent op te pompen zodat het een overdruk heeft van 1 bar. De maaswijdte van het filter kan variëren tussen de 0,08 en 2,0 mm. Om verstoppingen en koekvorming op de zeef te voorkomen is er een systeem dat proceswater van buiten naar binnen op het filter sproeit met een druk van 3 bar. Er komen twee stromen uit de machine. Eén stroom is het water met cellulosevezels, ook wel fijnzeefgoed genoemd. De andere stroom is water met deeltjes die het filter gepasseerd zijn. Dit filtraat stroomt terug naar de waterlijn van de zuivering. De kleinste beschikbare Conus Trenner heeft een capaciteit van 30 m³/h. Deze variant is in deze pilot getest. De Conus Trenner kan geleverd worden tot capaciteiten van 1.800 m³/h.

Het Elephant Filter (EF) is een indikker. De stroom met gezeefde deeltjes vanuit de Conus Trenner komt in verschillende kamers terecht waarin twee schijven in ronddraaien. Kleine deeltjes en water kan door de gaten in de metalen zeef ontsnappen en wordt teruggevoerd naar de waterlijn van de rwzi. Het zeefgoed blijft op de zeven hangen en wordt naar boven geschoven. Bovenin valt het in een overloop waar het kan worden opgevangen. Een sproei-

systeem van 3 bar zorgt ervoor dat het filter niet verstopt raakt. Het kleinst beschikbare Elephant Filter heeft een capaciteit van 30 m³/h. Deze variant is in deze pilot getest¹. Het Elephant Filter kan geleverd worden tot capaciteiten van 600 m³/h.

2.2 OPSTARTFASE PILOT

De combinatie van Conus Trenner en Elephant Filter is op een influentstroom² van 20-25 m³/h getest op de demosite van rwzi Leeuwarden.

Van november 2017 tot medio december 2017 is de pilot opgestart en ingeregeld. In deze periode verstopte de influentpomp regelmatig als er sprake was van regenweeraanvoer op rwzi Leeuwarden. Daarnaast waren er problemen met meting van de debieten van het filtraat. Per 11 december 2017 zijn deze problemen opgelost door een versnijdende influentpomp te plaatsen en de debietmeters correct in het leidingwerk te monteren. Ook is een pers toegevoegd aan de installatie om het fijnzeefgoed beter te kunnen opslaan: het drogestofgehalte van het gesterste fijnzeefgoed kon hiermee worden verhoogd van 8,5 ± 0,5 % drogestof vanuit het Elephant Filter naar 40-45% ds uit de pers.

Verder zijn in deze periode labproeven gestart met een chloorvrije methode voor hygiëniseren van het fijnzeefgoed door de firma Kemira BV met dosering van permierenzuur. Permierenzuur wordt gemaakt door waterstofperoxide en mierenzuur met elkaar te laten reageren. Door permierenzuur toe te voegen aan afvalwater (of in dit geval fijnzeefgoed) ontstaan hydroxylradicalen, die bacteriën kunnen doden. Permierenzuur is maar beperkt stabiel en kan daarom niet worden opgeslagen en/of getransporteerd. Permierenzuur moet daarom on-site gemaakt worden.

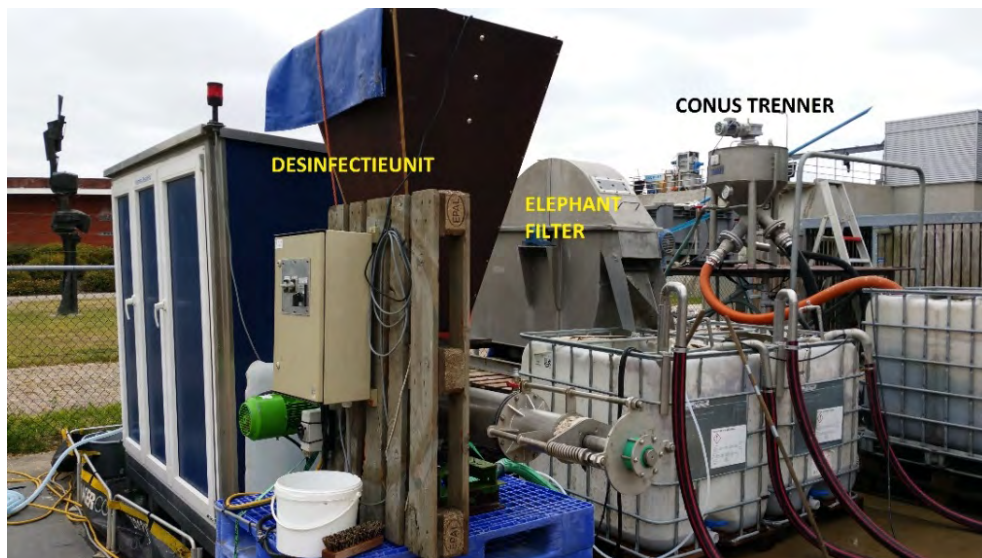
Verder zijn de optimale maaswijdtes bepaald van de Conus Trenner en het Elephant Filter. Deze zijn geoptimaliseerd op een zo hoog mogelijke verwijdering van OB en CZV in de Conus Trenner in combinatie met een zo hoog mogelijk recovery van vezels uit de totale installatie. De optimale maaswijdtes waarmee de vervolgfases van de pilottesten zijn uitgevoerd bedroegen respectievelijk 80 micrometer voor de Conus Trenner en 250 micrometer voor het Elephant Filter.

De opstelling van de pilotplant na opstart en inregeling is weergegeven in figuur 2.

- 1 De capaciteit van het Elephant Filter kon niet goed worden afgestemd op de capaciteit van de Conus Trenner. Normaliter is de capaciteit van het Elephant Filter circa 40% van de Conus Trenner. Dit betekent dat het geteste Elephant Filter een overcapaciteit had van een factor 2,5. Hierdoor was optimalisatie van het juiste screen van het Elephant Filter lastig.
- 2 De influentstroom is geroosterd met roosters van 6 mm. Zand of vet is niet verwijderd uit het influent.

FIGUUR 2

PILOT OPSTELLING



Een probleem, wat helaas niet kon worden opgelost, was het aangroeien van algen en kleine slakjes in de nozzles van het sproeiwater. Het rwzi-effluent komt ongefilterd op de demosite aan. Voor het sproeiwater naar de pilot is een algenfilter geplaatst. Dit groeide echter regelmatig vol en voorkwam niet de algenaangroei en andere kleine slakjes in de sproeinnozzles van de Conus Trenner en het Elephant Filter. Hierbij wordt benadrukt dat de verstoppingsproblemen zich met name voordeden in de nozzles van het sproeiwater. De nozzles van de Conus Trenner waardoor influent werd gespoten, bleven over het algemeen voldoende vrij van vervuiling zoals plastic deeltjes, slibresten, zand en vet. De problemen met de sproeinnozzles kunnen full-scale worden opgeloste door zelfreinigende nozzles te gebruiken en filtratie van rwzi-effluent.

2.3 ONDERZOEKSFASEN PILOT

Het pilotonderzoek bestaat, na de inregelfase van november - medio december 2017, uit twee fasen:

1. medio december 2017 – medio februari 2018
 - stabiele bedrijfsvoering gedurende daguren op werkdagen met 80 micrometer Conus Trenner en 250 micrometer Elephant Filter; doordraaien tijdens nachtelijke uren en weekenddagen blijkt lastig vanwege storingen en uitval van verschillende procesonderdelen
 - voor hygiënisatie van het fijnzeefgoed is een extra pilotcontainer geïnstalleerd om de dosering en inmenging van permierenzuur met het geproduceerde fijnzeefgoed te optimaliseren
2. mei 2018 - juli 2018: CT 80 micrometer EF 250
 - stabiele 24/7 bedrijfsvoering door optimalisatie en continue bediening gedurende daguren van de installatie
 - dosering en inmenging van 50 g/kg ds permierenzuur aan het geperste fijnzeefgoed voor hygiënisatie
 - drogen van het geperste fijnzeefgoed aan de buitenlucht (van 40-45% ds naar circa 60-65% ds; zie figuur 3)

FIGUUR 3 DROGEN GEHYGIËNSEERD FIJNZEEFgoed AAN DE BUITENLUCHT



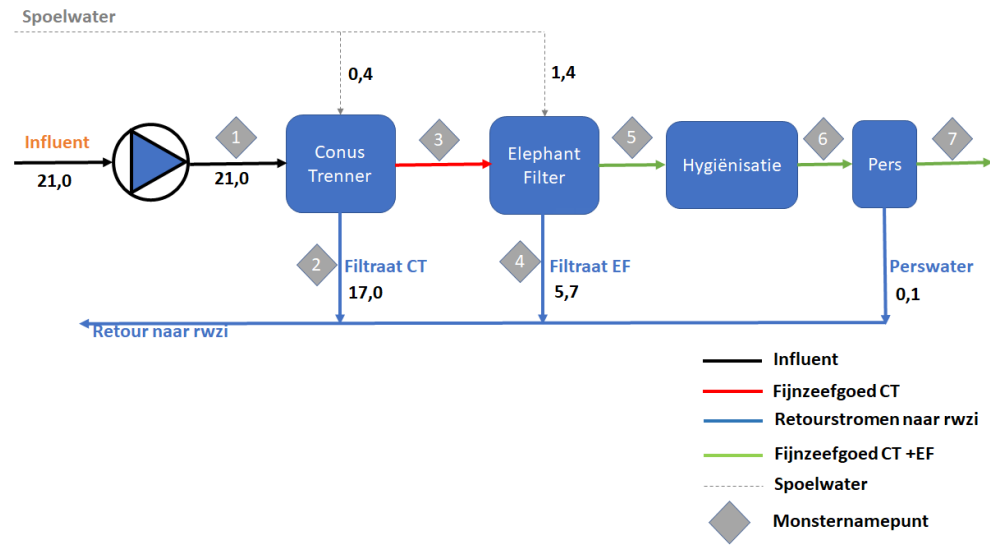
- productie van 850 kg ds fijnzeefgoed voor een papierrun bij een papierfabriek in Duitsland met de geoptimaliseerde installatie. Tijdens deze papierrun is het geproduceerde zeefgoed gemengd met papierpulp (verhouding 33% zeefgoed en 67% verse papiervezels op basis van drogestof) voor de productie van zogenaamde garagerollen: blauwe papierrollen voor het afdrogen van handen in de industrie (zie figuur 4)

FIGUUR 4 PAPIERRUN DUITSLAND



Het processchema van de pilot, inclusief locaties van de monsternamepunten en waterbalans, zoals getest in bovenstaande twee fasen is weergegeven in figuur 5. De resultaten van het pilotonderzoek worden beschreven in het hoofdstuk 3.

FIGUUR 5

PROCESSHEMA PILOT (WATERSTROMEN IN M³/H)

Voor de monstername van de stromen is de volgende werkwijze gebruikt:

- Op monsternamedagen is twee keer een verzamelmonster gemaakt
- Dit verzamelmonster bestaat uit 6 steekmonsters, welke over één uur zijn genomen en zijn samengevoegd tot 1 mengmonster.

3

RESULTATEN PILOT

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de pilot in relatie tot de technische haalbaarheid. Onderstaande onderzoeksvragen staan hierin centraal:

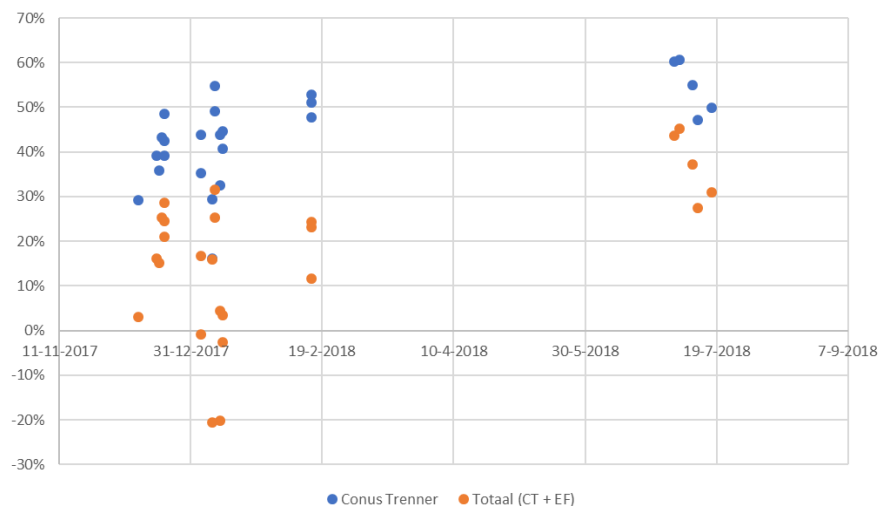
1. Welke fracties worden uit rioolwater verwijderd aan organische stof (uitgedrukt als Chemisch Zuurstof Verbruik, oftewel CZV) en onopgeloste stof (uitgedrukt als Onopgeloste Bestanddelen, oftewel OB); zie paragraaf 3.2.
2. Welke fractie cellulose wordt afgescheiden: zie paragraaf 3.3.
3. Wat is de kwaliteit van het fijnzeefgoed wat geproduceerd wordt? Zijn de afgescheiden cellulosevezels geschikt om toe te passen door een marktpartij? Welke opwerkstappen zijn nodig om aan de eisen en wensen van verschillende afzetmarkten te voldoen: zie paragraaf 3.4
4. Wat is de bedrijfszekerheid van de techniek? Is deze robuust genoeg om influent van rwzi's te behandelen? Hierbij zal aandacht worden besteed aan verminderde werking, storingen door bijvoorbeeld verstopping, versmering en slijtage van onderdelen en de daarbij benodigde mate van onderhoud: zie paragraaf 3.5.

Dit hoofdstuk sluit af met conclusies voor uitgangspunten voor het bepalen van de financiële haalbaarheid in business cases in paragraaf 3.6. De business cases worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.

3.2 VERWIJDERING OB EN CZV

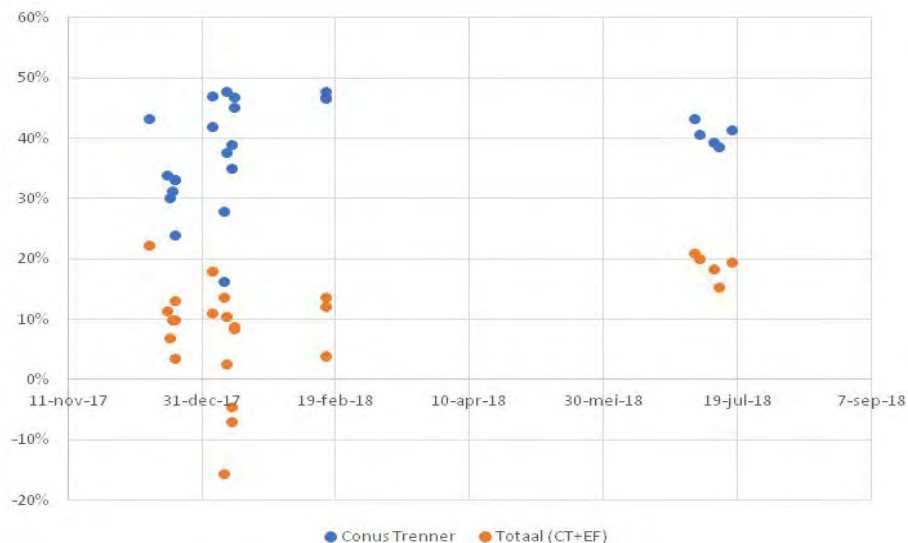
Gedurende het pilotonderzoek zijn massabalansen opgesteld om de verwijderingsrendementen te berekenen voor zowel de Conus Trenner als de gehele installatie (Conus Trenner + Elephant Filter). Deze zijn weergegeven in figuren 6 en 7 voor respectievelijk het OB-rendement en het CZV-rendement.

FIGUUR 6 OB RENDEMENTEN CONUS TRENNER EN TOTALE INSTALLATIE (CONUS TRENNER + ELEPHANT FILTER); (CT 80 MICROMETER; EF 250 MICROMETER)



FIGUUR 7

CZV RENDEMENTEN CONUS TRENNER EN TOTALE INSTALLATIE (CONUS TRENNER + ELEPHANT FILTER); (CT 80 MICROMETER; EF 250 MICROMETER)



Uit figuren 6 en 7 blijkt het volgende:

- De verwijderingsrendementen voor OB en CZV zijn hoger voor de Conus Trenner alleen dan voor de gehele installatie (Conus Trenner + Elephant Filter). Het Elephant Filter lijkt de zeefgoedstroom van de Conus Trenner verder “op te schonen”, waardoor het rendement over de gehele installatie lager is dan voor de Conus Trenner alleen.
- De verwijderingsrendementen in periode 2 (papierrun) zijn stabiel en hoger voor zowel CZV als OB als in periode 1. Voor dit effect zijn twee verklaringen
 - De installatie draaide in juli stabiel met weinig storingen doordat optimalisaties waren doorgevoerd en er continu bemanning aanwezig was.
 - De ingaande influentconcentraties van CZV en OB waren hoger door de aanhoudende droogte in juli 18 dan in dec 17 -feb 18 (zie figuur 8). In de periode december 2017 - februari 2018 bedragen de concentraties CZV en OB in het rioolwater van Leeuwarden respectievelijk 55% en 68% van het Nederlandse gemiddelde (CBS 2016; zie tabel 1).

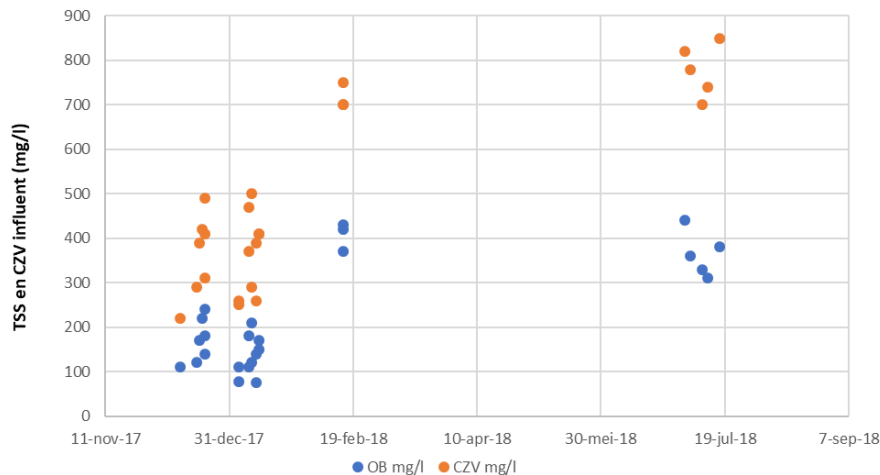
TABEL 1

SAMENSTELLING RIOOLWATER RWZI LEEUWARDEN NOV 2017 – FEB 2018 IN VERGELIJKING MET NEDERLANDS GEMIDDELD RIOOLWATER (CBS 2016)

	OB (mg/l)	CZV (mg/l)	Verhouding CZV/OB
RWZI Leeuwarden	148	361	2,4
NL gemiddeld	268	527	2,0

De lage OB- en CZV-concentraties in het rioolwater naar rwzi Leeuwarden in de periode december 2017 – februari 2018 kunnen worden verklaard door een hoge industriële aanvoer vanuit de zuivelindustrie, gecombineerd met waarschijnlijk meer rioolvreemd water dan gemiddeld in Nederland. Door deze lage concentraties kan het verwijderingsrendement van fysisch-chemische scheidingsstappen zoals bezinking en zeving negatief worden beïnvloed. Of dit daadwerkelijk het geval is, hangt tevens af van andere parameters zoals de deeltjesgrootte van de onopgeloste stof en de verhouding opgelost CZV ten opzichte van onopgelost CZV [9] [15]. Dit laatste is helaas niet onderzocht in deze pilot. Er is al wel eerder onderzoek gedaan naar afscheiding van cellulose door roterende bandzeven, waaruit naar voren kwam dat er zich inderdaad substantieel meer onopgelost CZV in het rioolwater naar rwzi Leeuwarden bevindt dan in Nederland gebruikelijk, namelijk 25-50% meer [15].

FIGUUR 8 INFLUENTCONCENTRATIES PILOT DEMOSITE RWZI LEEUWARDEN



De verwijderingsrendementen zijn in bijlage 2 in detail weergegeven en voor de verschillende periodes samengevat in tabel 2.

TABEL 2 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN CZV EN OB MET STANDAARDEVIATIE (CONUS TRENNER [CT] 80 MICROMETER; ELEPHANT FILTER [EF] 250 MICROMETER)

	CT OB	CT CZV	CT+EF OB	CT+EF CZV
Gemiddelde dec 17-feb 18	41 ± 9 %	38 ± 9%	20 ± 15%	9 ± 9%
Gemiddelde juli 18	55 ± 6 %	41 ± 2%	37 ± 8%	19 ± 2%

3.3 AFSCHEIDING CELLULOSE

Er is eenmalig een cellulosebalans opgesteld over de gehele installatie in april 2018. Hiervoor zijn twee keer zes steekmonsters per stroom in èèn uur genomen, welke vervolgens zijn samengevoegd tot een mengmonster. De cellulosebalans is weergegeven in figuur 9. Uit deze balans blijkt, dat na behandeling, 65% van de inkomende cellulose in het zeefgoedproduct terecht is gekomen. Het rendement na alleen de Conus Trenner is hoger. Circa 75% van de cellulose komt terecht in het afgescheiden product. In het product van de Conus Trenner bevindt zich echter ook veel meer droge stof. Het percentage cellulose in het zeefgoed uit de Conus Trenner bedraagt 28%, terwijl het percentage cellulose in het zeefgoed van de totale installatie circa 59% bedraagt.

FIGUUR 9 CELLULOSEBALANS APRIL 2018 PILOT DEMOSITE RWZI LEEUWARDEN

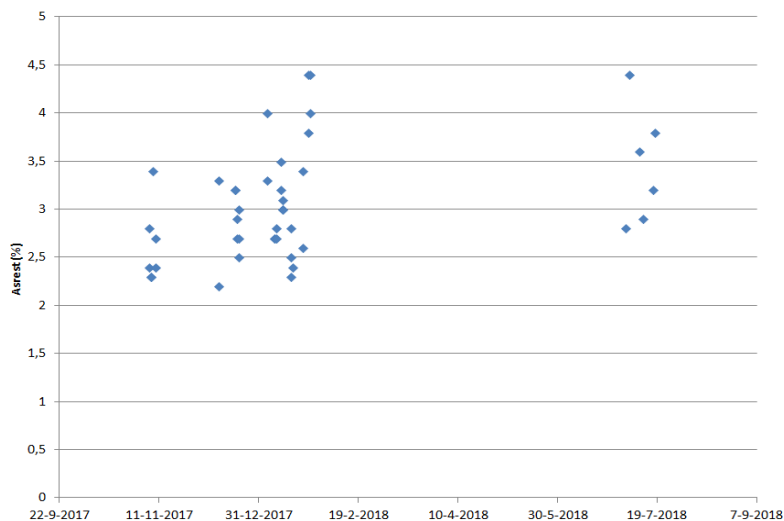
Influent		CT	Zeefgoed CT	EF	Zeefgoed CT+ EF	
20	kg cellulose/d		15	kg cellulose/d	13	kg cellulose/d
100%	% cellulose tov influent		75%	% cellulose tov influent	65%	% cellulose tov influent
151	kg TSS/d		67	kg TSS/d	22	kg TSS/d
13%	% cellulose van ds		28%	% cellulose van ds	59%	% cellulose van ds
			Filtraat CT		Filtraat EF	
			5	kg cellulose/d	2	kg cellulose/d
			25%	% cellulose tov influent	10%	% cellulose tov influent
			84	kg TSS/d	45	kg TSS/d
			6%	% cellulose van ds	4%	% cellulose van ds

Het cellulosegehalte in het fijnzeefgoed van de totale installatie (CT +EF), 59% van de drogestof, komt goed overeen met cellulose gehalten in zeefgoed van roterende bandzeven: het fijnzeefgoed van rwzi Aarle Rixtel bevat 59% cellulose op basis van drogestof, het fijnzeefgoed van rwzi Blaricum 68% cellulose op basis van drogestof [3][9][10]. Hierbij wordt opgemerkt, dat cellulose in deze pilot op een andere manier is vastgesteld, dan in de onderzoeken aan fijnzeefgoed op rwzi's Aarle Rixtel en Blaricum. In dit pilotonderzoek is de cellulose enzymatisch bepaald: enzymen zetten cellulose om in glucose, wat vervolgens in een HPLC gemeten wordt. De gehalten in het fijnzeefgoed van Blaricum en Aarle Rixtel zijn gemeten met een chemische fractioneringsmethode met zuren. Uit deze methode komen fracties cellulose, hemicellulose en lignine. Beide methoden kunnen daarom niet zondermeer met elkaar worden vergeleken, maar de vergelijkbaarheid van de gevonden cellulosegehalten geven wel een indicatie.

Uit figuren 5, 6 en 8 blijkt dat het Elephant Filter een cruciale rol heeft gespeeld in de productkwaliteit. Het Elephant Filter spoelt het zeefgoed van de Conus Trenner als het ware schoon. Hierdoor daalt het overall rendement van de installatie (CT+EF) ten opzichte van alleen de Conus Trenner: het afgescheiden OB en CZV wat ingevangen zat in de stroom vanuit de Conus Trenner, wordt er weer afgespoeld in het Elephant Filter. Hierdoor wordt een zeer schoon product verkregen. Dit wordt bevestigd door analyses op de asrest (zie figuur 10). Het zeefgoed vanuit de totale installatie heeft een zeer laag asgehalte vergeleken bij de roterende bandzeef: respectievelijk gemiddeld 3% procent ten opzichte van 10% [3][9][10]. Het zeefgoed van de Conus Trenner, blijkt een asrest te hebben van 10-20%. Ook op het gebied van anorganische verontreinigingen spoelt het Elephant Filter het zeefgoed dus schoon. Helaas gaat bij dit "schoonspoelen" ook nog een kleine fractie cellulose verloren (10% van de totale influentvracht; zie figuur 9).

FIGUUR 10

ASREST METINGEN ZEEFGOED PILOT DEMOSITE RWZI LEEUWARDEN (CT 80 MICROMETER; EF 250 MICROMETER)



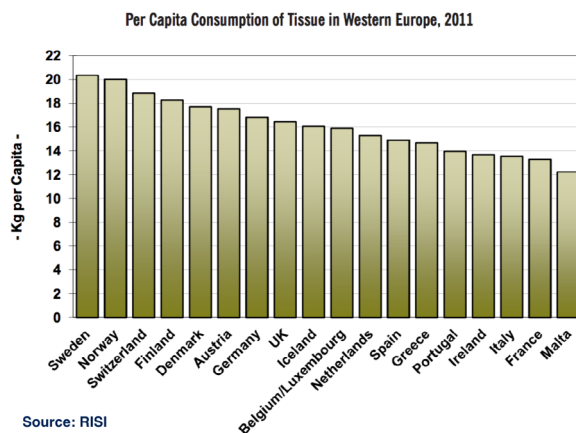
Analoog aan de influentkwaliteit, blijkt ook het cellulosegehalte in het rioolwater van rwzi Leeuwarden lager te zijn dan het Nederlandse gemiddelde. Tijdens de meting van cellulose aan het influent van rwzi Leeuwarden in april 2018 bedroeg het cellulosegehalte 30 mg/l en 16% van de drogestof [11]. Het cellulosegehalte van het influent op rwzi Beemster bedraagt 80 mg/l en 29% van de drogestof [11]. Beide cellulosegehalten zijn gemeten met de enzymatische methode. Cellulosegehalten van influenten van rwzi Amsterdam West en rwzi Blaricum³ bedroegen respectievelijk 36 en 48% van de drogestof in het influent gemeten met de chemi-

3 6 monsters rwzi Amsterdam West en 2 monsters rwzi Blaricum

sche fractionering methode [10]. Er kan ook worden nagegaan hoeveel cellulosevezels zich in rioolwater zouden moeten bevinden op basis van het verbruik van toiletpapier (zie intermezzo): op basis van deze benadering is 30-45% van de drogestofaanvoer naar een rwzi cellulose uit toiletpapier. Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden, dat niet alleen de CZV- en OB-gehalten, maar ook het cellulosegehalte van het rioolwater naar rwzi Leeuwarden fors lager is dan in gemiddeld Nederlands rioolwater.

INTERMEZZO VERBRUIK TOILETPAPIER EN AANVOER NAAR EEN RWZI

In eerder fijnzeefonderzoek wordt uitgegaan van een toiletpapier verbruik van 10-15 kg per persoon per jaar in Nederland [12], zie onderstaande figuur.



Deze 15 kg per persoon per jaar lijkt aan de hoge kant te zijn, omdat in deze 15 kg ook tissue producten vallen zoals keukenpapier, papieren washandjes, baby wipes, schoonmaakdoekjes en een gedeelte aan toiletpapier, wat niet via het toilet mag worden weggespoeld[13]. Daadwerkelijk zal er circa 10-12 kg per inwoner per jaar aan toiletpapier worden weggespoeld. Dit toiletpapier bestaat volledig uit cellulosevezels. Op basis van deze 10-12 kg per persoon per jaar komt op een gemiddelde zuivering, waar 100.000 inwoners op lozen, 1,0-1,2 miljoen kg toiletpapier per jaar binnen. Dit komt overeen met 27-33 g per persoon per dag. Dit betekent dat 27-33 g ds/d/i.e van het influent van een Nederlandse uit cellulosevezels uit toiletpapier bestaat. De aanvoer van verontreinigingen naar een Nederlandse rwzi bedraagt vanuit huishoudens en kantoren gemiddeld 150-180 g/d/aangesloten i.e. Hiervan is circa de helft droge stof. Dit betekent dat er 75-90 g ds/d per aangesloten i.e wordt geloosd door huishoudens en kantoren[14]. Uitgaande van een aanvoer van 27 g ds/d/i.e aan cellulosevezels uit toiletpapier, betekent dit, dat 30-45% van de drogestofaanvoer naar een Nederlandse rwzi uit toiletpapiervezels bestaat.

3.4 KWALITEIT ZEEFgoed

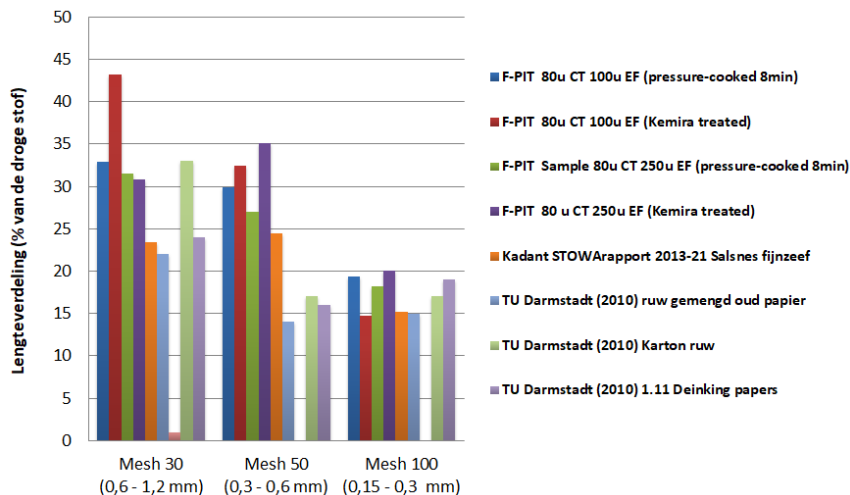
Een “show-stopper” voor toepassingen van cellulosevezels uit rioolwater zijn de mogelijke verontreinigingen in de vorm van slibdeeltjes, pathogenen en bacteriële verontreinigingen. Voor vermindering van pathogenen en bacteriële verontreinigingen is in deze pilot permierenzuur gedoseerd. Bij een dosering van 50 mg permierenzuur/kg ds zeefgoed verminderen de pathogenen en bacteriologische verontreinigingen substantieel, vaak tot onder detectie-niveau (zie bijlage 3). Om eenzelfde mate van hygiënisatie te bereiken op fijnzeefgoed van de full-scale installatie met roterende bandzeven op rwzi Aarle Rixtel is een drievoudige dosering nodig [18]. Indien deze hoge dosering wordt toegepast, is het dan wel de vraag of de kwaliteit van de papiervezels wordt aangetast.

Overigens blijkt, dat ook oud-papier gereinigd dient te worden [3][8] [18]. Om dit te doen en het oud-papier te bleken worden in de papierfabriek daarom ook een aantal processtappen uitgevoerd. Het is wellicht mogelijk om de dosering van permierenzuur op zeefgoed hierop te optimaliseren. Om het geproduceerde zeefgoed stabiel te kunnen opslaan en transporteren zal echter altijd een vorm van hygiëniseratie nodig zijn.

Van het met permierenzuur gehygiëniseerde zeefgoed wat in april 2018 is geproduceerd is een analyse gemaakt van lengteverdeling van de vezels. Deze zogenaamde mechanische fractionering is in de papierindustrie gangbaar om te bepalen welk percentage van de drogestof bruikbaar is voor papierproductie. Voor papierproductie zijn cellulosevezels nodig, die een lengte hebben van circa 0,1-1,5 mm met een piek bij 1,0 mm. Deze lengteverdeling kan worden vastgesteld met de zogenaamd “vezelclassificatie” methodiek. Hierbij wordt een monster door verschillende zeven geleid met afnemende diameters. Hierdoor ontstaat een beeld van de grootteverdeling van deeltjes, die zich in het monster bevinden. Bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat de fractie met deeltjes kleiner dan 1,4mm en groter dan 0,15 mm een hoog gehalte aan cellulosevezels bevatten; de fractie groter dan 1,4 mm en kleiner dan 0,15 mm bevat weinig cellulosevezels. De fractie van 0,15-1,4 mm wordt bepaald op basis van drogestof, oftewel het % bruikbaar van de drogestof voor papierproductie. De resultaten van deze analyse staan in figuren 10 (vezellengteverdeling) en 11 (% niet bruikbaar).

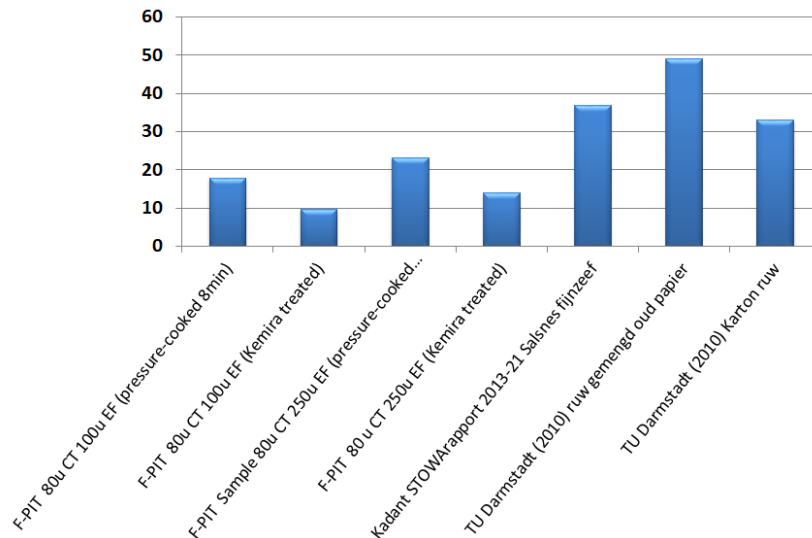
FIGUUR 11

VEZELLENGTEVERDELING ZEEFGOED PILOT LEEUWARDEN (CT 80 MICROMETER, EF 250 MICROMETER)



FIGUUR 12

NIET HERBRUIKBAAR PERCENTAGE IN PAPIERINDUSTRIE ZEEFGOED PILOT LEEUWARDEN (CT 80 MICROMETER, EF 250 MICROMETER)



Uit figuur 11 blijkt, dat er relatief veel lange vezels (0,3-1,2 m) in het zeefgoed komen, zelfs iets meer dan in oud papier, waardoor het op dit punt een goede grondstof is voor papierproductie. Dit komt overeen met eerder onderzoek aan influent en primair slib uit rwzi's, waarin geconcludeerd is dat de cellulosevezels de goede lengte hebben en weinig aantasting vertonen door biologische processen [8].

Het zeefgoed bevat in april 2018 een cellulose percentage van circa 60% bij zeping van relatief "dun rioolwater" (zie paragraaf 3.1.2). Uit figuur 12 blijkt, dat dit product voor circa 80-90% van de drogestof bruikbaar is voor papierproductie van tissues, indien dit gehygiëniseerd wordt door temperatuur (snelkookpan) of toevoeging van permierenzuur. Dit is een erg hoge score vergeleken bij ingezameld oud-papier (voor 50-60% bruikbaar) en ingezameld karton (voor 60-70% bruikbaar) (zie figuur 12). Verder is bij de papierrun gebleken, dat de aanwezige verontreinigingen acceptabel zijn bij een verhouding van 33% zeefgoed ten opzichte van 66% papierpulp, indien het fijnzeefgoed is gehygiëniseerd met 50 g permierenzuur/kg ds zeefgoed. Vanuit de papierindustrie is interesse om het zeefgoed toe te passen als gedeeltelijke vervanger van oud-papier. In de papierfabriek vindt ook hygiënisatie plaats met waterstofperoxide. Uit gesprekken met de papierindustrie is gebleken dat de mate van hygiënisatie vooraf en in de fabriek waarschijnlijk nog geoptimaliseerd kunnen worden.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het fijnzeefgoed wat door de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter wordt geproduceerd schoner is dan fijnzeefgoed uit roterende bandzeven. Zowel op het gebied van bacteriologische verontreiniging en het percentage herbruikbare droge stof.

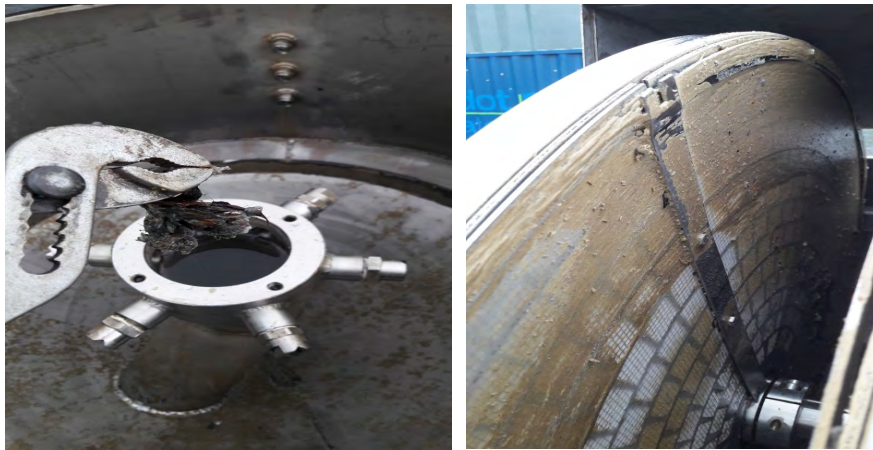
3.5 ROBUUSTHEID EN BEDRIJFSVOERING

Verstoppingen en vervuiling van de filters in de Conus Trenner en het Elephant Filter traden in de eerste periode van het pilotonderzoek circa 1-2 keer per week op. Met name na stilstand en vervolgens opstart van de installatie vervuilden de invoernozzles van de Conus Trenner. Daarnaast bouwden de filters van het Elephant Filter een vettige aanslag op, welke met een hogedrukreiniger moest worden verwijderd (zie figuur 13).

In de tweede periode van het pilotonderzoek is stabielier gedraaid met minder starts en stops. De Conus Trenner beschikt over een groot zelfreinigend vermogen. Door gebruik van de versnijdende pomp worden grotere delen, die het fijnrooster passeren, in kleine stukjes gehakt. Hierdoor verstopten de influentnozzles minder vaak. Circa 1 keer in de 2 weken bouwt zich echter een grotere blokkade op, waardoor het influentdebiet met meer dan 10% afneemt en de influentnozzles gereinigd moesten worden. In de tweede pilotperiode is geen vette aanslag op het Elephant Filter meer aangetroffen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de vette aanslag in de eerste pilotperiode (dec 17 – feb 18) ontstond met name bij lage temperaturen. Aangezien de tweede onderzoeksperiode tijdens (zeer) warm weer was, valt niet uit te sluiten dat dit wel optreedt bij lagere temperaturen.

FIGUUR 13

VERVUILING INFLUENTNOZZLES CONUS TRENNER (LINKS) EN VETAANSLAG ELEPHANT FILTER (RECHTS)



De Conus Trenner kon relatief makkelijk worden onderhouden. Het vervangen van een zeef of schoonmaken van nozzles kan met twee personen binnen 10-15 minuten worden uitgevoerd. Het reinigen en vervangen van de filters van het Elephant Filter kost meer tijd: respectievelijk 0,5-1 uur en 2-4 uur.

Tenslotte trad verstopping op van de sproeiwaternozzles door algenaangroei en slakjes. Het rwzi-effluent komt ongefilterd op de demosite aan. Voor het sproeiwater naar de pilot is een algenfilter geplaatst. Dit groeide echter regelmatig vol en voorkwam niet de algenaangroei en kleine slakjes in de sproeiwaternozzles van de Conus Trenner en het Elephant Filter.

Uit bovenstaande blijkt dat de toegepaste technieken in deze pilot robuust zijn. Verstopping van de influentnozzles van de Conus Trenner trad niet in die mate op, dat er niet continue kon worden doorgedraaid. Voor een volgende pilot of full-scale installatie is toepassing van zelfreinigende nozzles en filtratie van rwzi-effluent wel noodzakelijk om verstopping van de sproeiwaternozzles te voorkomen. Daarnaast is het sproeiwaterverbruik aan de hoge kant geweest in deze pilot: 8,5% ten opzichte van influent, terwijl voor een full-scale installatie wordt uitgegaan van 2% op basis van opgave door de leverancier.

3.6 CONCLUSIES

De resultaten uit dit hoofdstuk worden vertaald naar aannamen voor business cases. Hierbij spelen de volgende zaken een grote rol.

1. Het rioolwater naar rwzi Leeuwarden is dunner dan gemiddeld in Nederland. Bovendien is de verhouding opgelost CZV/onopgelost CZV hoger vanwege de lozing vanuit de zuivelindustrie. Dit beïnvloedt de te behalen rendementen van een fijnzeefinstallatie op influent negatief. Daarnaast is ook het cellulosegehalte lager. De business cases zullen daarom worden bepaald op basis van behandeling van relatief dun rioolwater naar rwzi Leeuwarden en naar een gemiddelde Nederlandse rwzi (rwzi NL).

De cellulosebalans, die in april 2018 is opgesteld, is qua rioolwatersamenstelling niet representatief. De resultaten zijn daarom geëxtrapoleerd naar de gemiddelde rioolwatersamenstellingen van rwzi Leeuwarden en rwzi NL conform tabel 1. Tevens is gecontroleerd of de CZV/OB-verhouding in het geproduceerde fijnzeefgoed correct is door cellulosebalansen op te stellen. Dit is gedaan vanwege de relatief hoge verwijderingsrendementen van de Conus Trenner op het gebied van CZV ten opzichte van andere fijnzeeftechnieken. Hierbij is uitgegaan van een CZV/TSS-verhouding van 1,4 bij 60% cellulose in fijnzeefgoed op basis van het onderzoek aan fijnzeefgoed van rwzi Aarle Rixtel [9][21]. De resultaten van deze controle zijn weergegeven in bijlage 4. Op basis van de cellulosebalansen in bijlage 4 blijken de gemeten hoge CZV rendementen van de Conus Trenner te kloppen. Er zijn alleen wat lichte verschuivingen opgetreden voor de verwijderingsrendementen voor CZV en OB, welke vallen binnen de onnauwkeurigheidsmarge van de gemeten verwijderingsrendementen conform tabel 2. Deze berekende waarden zullen als uitgangspunt worden genomen voor de berekeningen van de business cases (zie tabel 3).

TABEL 3 UITGANGSPUNTEN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN CZV EN OB VOOR BUSINESS CASES OP BASIS VAN CELLULOSEBALANSEN (ZIE BIJLAGE 4)
(CONUS TRENNER [CT] 80 MICROMETER; ELEPHANT FILTER [EF] 250 MICROMETER)

	CT OB	CT CZV	CT+EF OB	CT+EF CZV
rwzi Leeuwarden	41%	37%	21%	15%
rwzi NL	50%	38%	35%	23%

2. Het verwijderingsrendement van OB en CZV van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter ligt voor een representatie Nederlandse rwzi op respectievelijk 35% en 23% (zie tabel 3). Met name het rendement op drogestof ligt lager dan behaald is in eerder pilotonderzoek op rwzi Leeuwarden naar roterende bandzeven van circa 50%[15]. Het fijnzeefgoed wat door de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter wordt geproduceerd is echter schoner dan fijnzeefgoed uit roterende bandzeven. Zowel op het gebied van bacteriologische verontreiniging en het percentage herbruikbare droge stof. De Conus Trenner behaalt wel hoge OB-verwijderingsrendementen van 50%. Uit de massabalansen blijkt dat het Elephant Filter de afgescheiden fractie uit de Conus Trenner “schoonsoelt”. Dit geldt zowel voor OB als voor CZV. Het vergelijken van de resultaten van deze pilot met die van roterende bandzeven gaat daardoor mank. Het is eenvoudigweg niet mogelijk om òn een zeer schoon vezelproduct af te scheiden òn een hoog verwijderingsrendement op OB en CZV te behalen. Hoe meer OB en CZV er wordt verwijderd, hoe meer er immers in het fijnzeefgoed terecht komt. Oftewel zowel een hoge besparing behalen op de water- en sliblijn van een rwzi als een zeer schoon vezelproduct afscheiden is niet mogelijk. Om deze twee zaken van elkaar te scheiden zullen er daarom twee business cases worden opgesteld:

- a. Zuiveringsdenken: business case gericht op besparingen op de rwzi met optimalisatie van afgescheiden OB- en CZV en een business case
- b. Grondstofdenken: business case gericht op het optimaliseren van de kwaliteit van het afgescheiden vezelproduct.

Voor de business case gericht op besparingen op de rwzi wordt uitgegaan van alleen de inzet van de Conus Trenner, gevolgd door een eenvoudige indik- en persstap zonder hygiënisatie van het fijnzeefgoed. De Conus Trenner produceert een deeltjesrijke stroom, welke niet direct geschikt is om te persen. Daarom moet eerst een indikker worden voorgeschakeld. Gezien de hoge investeringen van het Elephant Filter is tevens een business case uitgewerkt met een eenvoudiger indikstap. Voor de tweede business case wordt uitgegaan van inzet van de Conus Trenner en Elephant Filter gevolgd door hygiënisatie van het fijnzeefgoed en een persstap.

4

BUSINESS CASES

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de pilot in relatie tot de financiële haalbaarheid. Conform de conclusies in paragraaf 3.6 zullen in dit hoofdstuk de volgende business cases worden berekend.

1. Zuiveringsdenken: optimalisatie besparingen op de rwzi door inzet van de Conus Trenner (CT), gevolgd door een eenvoudige indikstap ter vervanging van het Elephant Filter. Het fijnzeefgoed wordt vervolgens geperst en als zuiveringslib afgezet in energietoepassingen zoals vergisting en/of verbranding. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 300 euro per ton drogestof fijnzeefgoed.
2. Grondstofdenken: Optimalisatie van de kwaliteit van het afgescheiden vezelproduct door inzet van de combinatie van Conus Trenner (CT) en Elephant Filter (EF), gevolgd door hygiënisatie van het fijnzeefgoed met permierenzuur en een eenvoudige persstap. Het fijnzeefgoed wordt nuttig toegepast als vezelgrondstof in afzetmarkten waar nu oud-papier voor wordt ingezet. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 0 euro per ton drogestof gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

Bovenstaande business case zullen worden uitgerekend voor rwzi-groottes van 100.000 en 300.000 i.e. met een relatief dun rioolwater conform de aanvoer naar rwzi Leeuwarden en op basis van een gemiddelde Nederlandse rioolwater samenstelling.

De uitgangspunten voor deze business cases, welke zijn herleid uit de pilotresultaten, zijn weergegeven paragraaf 4.2. De investeringskosten voor de verschillende business cases worden onderbouwd in paragraaf 4.3. Dit hoofdstuk sluit af met resultaten van de business cases in paragraaf 4.4.

4.2 UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENINGEN

4.2.1 SAMENSTELLING RIOOLWATER

De samenstelling van het rioolwater voor de verschillende business cases is weergegeven in tabel 4.

TABEL 4 SAMENSTELLING RIOOLWATER BUSINESS CASES

		100.000 i.e.	100.000 i.e.	300.000 i.e.	300.000 i.e.
		Leeuwarden	rwzi NL	Leeuwarden	rwzi NL
jaardebiet	m ³ /jaar	10.950.000	7.482.500	32.850.000	22.447.500
Q	m ³ /d	30.000	20.500	90.000	61.500
CZV	kg/d	10.800	10.800	32.400	32.400
BZV	kg/d	3.600	4.500	10.800	13.500
N-kj	kg/d	1.000	1.000	3.000	3.000
P-tot	kg/d	200	200	600	600
zwevende stof	kg/d	4.500	5.500	13.500	16.500

De dimensionering van de installaties wordt gebaseerd op de DWA piek in m³/h conform STOWA 2015-27. Dit betekent dat bij een RWA/DWA-verhouding van 3 circa 80% van het jaar-volume aan afvalwater behandeld wordt [20]. Voor de fijnzeven vanuit de papierindustrie wordt niet uitgegaan van een redundante opstelling. Alle slijtgevoelige onderdelen kunnen eenvoudig binnen een paar uur worden vervangen. Uiteraard moeten deze reserve-onderdelen dan wel op de plank liggen.

4.2.2 KEUZE REFERENTIE

De resultaten van deze pilot dienen vergeleken te worden met de huidige toepassing van roterende bandzeven. Full-scale toepassingen van roterende bandzeven halen rendementen van 37% (rwzi Beemster)[17] en 19% (rwzi Aarle Rixtel)[9]. Voor beide full-scale installaties geldt, dat terugvoer van perswater is meegenomen, waar in dit pilotonderzoek geen rekening mee is gehouden. Het rendement over de fijnzeef zelf zonder pers is hoger. In het geval van Aarle Rixtel wordt het rendement negatief beïnvloedt door bedrijfsvoeringsproblemen (scheuren en versmering van de fijnzeven) en de terugvoer van dit perswater. Ook voor Aarle Rixtel geldt, dat de samenstelling van het rioolwater afwijkt van het Nederlands gemiddelde op het gebied van influentsamenstelling en deeltjesgrootteverdeling. Deze situatie is daarom niet representatief om mee te vergelijken [9]. Het full-scale onderzoek van rwzi Beemster is wel representatief voor een Nederlandse rwzi: er zijn geen bijzondere bedrijfsvoeringsproblemen en de samenstelling van het rioolwater en het gehalte cellulose is representatief voor Nederlands rioolwater [19]. In dit onderzoek zullen de resultaten daarom vergeleken worden met de full-scale installatie van rwzi Beemster.

4.2.3 TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN

De technologische uitgangspunten zijn afgeleid uit de resultaten zoals beschreven in hoofdstuk 3 en weergegeven in tabel 5.

TABEL 5 TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN BUSINESS CASES

	Eenheid	Inzet CT of CT+EF rwzi Leeuwarden	Inzet CT of CT+EF rwzi NL	Referentie rwzi Beemster
BC BESPARINGEN OP RWZI				
Procesconfiguratie		Conus Trenner + eenvoudige indikker + pers	Conus Trenner + eenvoudige indikker + pers	Fijnzeven + pers
CZV rioolwater	mg/l	360	527	527
OB rioolwater	mg/l	150	268	268
Verwijderingsrendement CZV	%	33*	34*	19
Verwijderingsrendement OB	%	37*	45*	37
Cellulose rioolwater	mg/l	24	94	94
Cellulose rioolwater	% van ds	16	35	35
Verwijderingsrendement cellulose	%	75	75	65
Cellulose fijnzeefgoed	% van ds	30*	52*	60
Dosering permierenzuur	g/kg ds	-	-	-
Afzet fijnzeefgoed		Conform slibeindverwerking	Conform slibeindverwerking	Conform slibeindverwerking
BC VEZELPRODUCT				
Procesconfiguratie		Conus Trenner + Elephant Filter + hygiënisatie + pers	Conus Trenner + Elephant Filter + hygiënisatie + pers	Fijnzeven + hygiënisatie + pers
CZV rioolwater	mg/l	360	527	527
OB rioolwater	mg/l	150	268	268
Verwijderingsrendement CZV	%	15	23	19

	Eenheid	Inzet CT of CT+EF rwzi Leeuwarden	Inzet CT of CT+EF rwzi NL	Referentie rwzi Beemster
Verwijderingsrendement OB	%	21	35	37
Cellulose rioolwater	mg/l	24	94	94
Cellulose rioolwater	% van ds	16	35	35
Verwijderingsrendement cellulose	%	75	75	65
Cellulose fijnzeefgoed	% van ds	58	72	60
Dosering permierenzuur	g/kg ds	50	50	150
Afzet fijnzeefgoed		Als product	Als product	Als product

* Verwijderingsrendement pilotonderzoek CT gecorrigeerd voor negatiever afscheidingsrendement indikstap ten opzichte van EF van 90%

4.2.4 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

ONNAUWKEURIGHEID

De onnauwkeurigheid van de business case berekeningen bedraagt 50-100% vanwege het pilot karakter en doorvertaling naar de Nederlandse situatie.

ONVOLLEDIGHEID

In de kostenberekeningen is voor de investeringen rekening gehouden met een onvolledigheidsfactor van 25%. Deze onvolledigheidsfactor wordt normaliter gehanteerd voor schetsontwerpen.

Alle kosten inclusief btw.

AANNEMERSKOSTEN

De kale investeringskosten zijn gebaseerd op kostenmodellen. Hierin zijn aannamen gedaan voor kale investeringskosten voor civiele, werktuigbouwkundige, elektrotechnische en procesautomatisering werkzaamheden. Over deze kale investeringskosten is een opslag voor aannemerskosten berekend om te komen tot bouwkosten. Deze opslag bestaat uit kosten voor de aannemer om het werk uit te voeren, zoals algemene bouwplaatskosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico. Deze opslag is, conform de Standaard Systematiek Kostenramingen (SSK), die door waterschappen wordt gebruikt, 25%.

BOUWKOSTEN EN STICHTINGSKOSTEN

Voor de factor van bouwkosten naar stichtingskosten is 100% aangenomen⁴. Deze bestaat uit kosten voor btw, engineering, projectmanagement, directievoering, verzekeringen, tijdelijke voorzieningen tijdens ombouw en opstart, opleiding en communicatie.

JAARLASTEN

Ten aanzien van de berekening van de jaarlasten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Kapitaalslasten worden berekend op basis van lineaire afschrijving over 30 jaar voor civiele onderdelen, 15 jaar voor werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen, 5 jaar voor procesautomatisering en een rente van 2,75%.
- Onderhoudskosten: 0,5% van de bouwkosten voor civiele onderdelen en 3% van de bouwkosten voor W/E/PA onderdelen.
- Overige kosten inclusief btw
- Personeelskosten: € 75.000 per fte per jaar

4 Voor standaard projecten met bewezen technologieën wordt een opslagfactor van 80-90% toegepast, voor innovatieve technologieën, welke zich nog niet full-scale hebben bewezen 100%.

- Elektriciteit: € 0,10/kWh
- Polymeer: € 3,00/kg ingekocht product
- Transport ingedikt slib: : € 3,- /m³
- Slibeindverwerking: € 300 per ton ds (inclusief transport)⁵
- Productie en verwerking spoelwater op rwzi exclusief energieverbruik: € 0,03/m³
- Afzet fijnzeefgoed conform tarieven slibeindverwerking: : € 300 per ton ds (inclusief transport)
- Afzet gehygiëniseerd fijnzeefgoed als product: 0 euro per ton ds

4.2.5 TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN

SPOELWATERVERBRUIK

- CT: 0,013 m³/m³ influent ⁶
- CT +EF: 0,020 m³/m³ influent ⁶
- Roterende bandzeven: 0,010 m³/m³ influent [9][17]

ENERGIEVERBRUIK

- In deze studie wordt ervan uitgegaan dat het rioolwater 10 meter moet worden opgevoerd voor inpassing van een fijnzeefinstallatie. Het energieverbruik hiervoor: bedraagt 0,03-0,04 kWh/m³
- Productie en op druk brengen spoelwater tot 6 bar: 0,2 kWh/m³
- Productie en op druk brengen spoelwater tot 3 bar: 0,1 kWh/m³
- CT: 0,015 kWh/m³ exclusief opvoeren rioolwater en spoelwaterproductie⁷
- CT+EF: 0,020 kWh/m³ exclusief opvoeren rioolwater en spoelwaterproductie⁷
- Roterende bandzeef: 0,053 kWh/m³ inclusief opvoeren rioolwater, exclusief spoelwaterproductie conform referentie rwzi Aarle Rixtel [9]

DROGESTOFGEHALTE FIJNZEEFGOED

- Ingedikt vanuit CT: 6% ds
- Ingedikt vanuit CT+ EF: 8% ds
- Geperst fijnzeefgoed vanuit CT, CT+EF of roterende bandzeef: 40% ds

HYGIËNISATIE MET PERMIERENZUUR⁸

- Huur doseerkast en menginstallatie
 - 100.000 i.e. en behandeling 480 ton ds zeefgoed per jaar: 45.000 per jaar
 - 300.000 i.e.: en behandeling 1460 ton ds zeefgoed per jaar 55.000 per jaar
- Dosering schoon fijnzeefgoed uit combinatie CT+EF 50 g/kg ds: € 56,- euro per ton ds
- Dosering fijnzeefgoed uit roterende bandzeven: 150 g/kg ds: € 168,- euro per ton ds

5 Deze kosten betreffen alleen de slibeindverwerking. Transport van ingedikt slib is apart meegenomen. Besparingen op slibontwatering worden verrekend op basis van operationele kosten (energie en polymeerverbruik)

6 Op basis van opgave leverancier Meri Environmental Solutions GmbH

7 Op basis van opgave leverancier Meri Environmental Solutions GmbH

8 Op basis van opgave leverancier Kemira Rotterdam B.V.

4.3 STICHTINGSKOSTEN

Voor de verschillende businesscases zijn investeringen en stichtingskosten geraamd. Deze zijn in detail weergegeven in bijlage 5 en samengevat in tabel 6.

TABEL 6 STICHTINGSKOSTEN INZET FIJNZEVEN UIT PAPIER INDUSTRIE (MILJOENEN EURO'S)⁹

Grootte rwzi	100.000 i.e.	300.000 i.e.
rwzi Leeuwarden		
1. Besparingen rwzi	2,5	5,4
2. Optimalisatie vezelproduct	2,9	6,4
rwzi NL		
1. Besparingen rwzi	2,2	4,9
2. Optimalisatie vezelproduct	2,6	5,7

4.4 RESULTATEN BUSINESS CASES

De resultaten voor business case 1 (besparingen rwzi) zijn in detail weergegeven in bijlage 6 en samengevat in tabellen 7 en 8 voor rwzi-capaciteiten van respectievelijk 100.000 i.e. en 300.000 i.e.

TABEL 7 JAARLASTEN BUSINESS CASE 1: BESPARINGEN RWZI 100.000 I.E.

Grootte rwzi	CT Leeuwarden 100.000 i.e.	CT rwzi NL 100.000 i.e.	Roterende bandzeef rwzi NL 100.000 i.e
Kapitaalslasten	169.800	149.100	200.000
Energieverbruik	72.000	49.200	31.100
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	3.200	2.200	1.700
Onderhoud	37.600	33.000	44.300
Personeel	25.000	25.000	25.000
Hygiëniseringskosten	-	-	-
Afzet Fijnzeefgoed	164.100	271.100	222.900
Totale kosten	471.000	529.000	525.000
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	54.400	43.700	22.300
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	204.500	176.700	97.500
Minder beluchttingsenergie	26.000	21.500	10.500
Minder slibontwateringsenergie	7.400	6.400	3.600
Minder polymeer slibontwatering	28.700	24.800	13.700
Totale besparingen	321.000	273.000	147.000
Totale netto kosten	150.000	256.000	378.000

⁹ In deze stichtingskosten zijn geen investeringen voor hygiëniseringskosten meegenomen. De hygiëniseringskosten voor fijnzeefgoed zijn verwerkt als operationele kosten (huur installatie + dosering permierenzuur)

TABEL 8 JAARLASTEN BUSINESS CASE 1: BESPARINGEN RWZI 300.000 I.E.

Grootte rwzi	CT Leeuwarden 300.000 i.e.	CT rwzi NL 300.000 i.e.	Roterende bandzeef rwzi NL 300.000 i.e
Kapitaalslasten	365.500	332.200	400.000
Energieverbruik	212.800	145.400	90.100
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	9.400	6.400	5.000
Onderhoud	80.900	73.500	88.500
Personeel	50.000	50.000	50.000
Hygiëniseringskosten	-	-	-
Afzet Fijnzeefgoed	545.500	813.100	668.500
Totale kosten	1.264.000	1.420.000	1.302.000
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	139.700	129.300	66.900
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	536.700	523.700	292.500
Minder beluchttingsenergie	69.500	64.400	31.300
Minder slibontwateringsenergie	19.400	18.900	10.600
Minder polymeer slibontwatering	75.200	73.400	41.000
Totale besparingen	840.000	809.000	442.000
Totale netto kosten	424.000	611.000	860.000

De resultaten voor business case 2 (optimalisatie vezelproduct) zijn in detail weergegeven in bijlage 6 en samengevat in tabellen 9 en 10 voor rwzi-capaciteiten van respectievelijk 100.000 i.e. en 300.000 i.e.

TABEL 9 JAARLASTEN BUSINESS CASE 2: OPTIMALISATIE VEZELPRODUCT 100.000 I.E.

Grootte rwzi	CT +EF Leeuwarden 100.000 i.e.	CT +EF rwzi NL 100.000 i.e.	Roterende bandzeef rwzi NL 100.000 i.e
Kapitaalslasten	198.300	173.800	250.000
Energieverbruik	71.500	48.900	30.100
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	4.800	3.300	1.700
Onderhoud	43.900	38.500	55.400
Personeel	25.000	25.000	25.000
Hygiëniseringskosten huur installatie	45.000	46.000	48.000
Hygiëniseringskosten dosering permierenzuur	19.400	39.400	124.800
Totale kosten	407.000	374.000	535.000
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	18.100	24.600	22.300
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	72.300	104.500	97.500
Minder beluchttingsenergie	9.500	12.900	10.500
Minder slibontwateringsenergie	2.600	3.800	3.600
Minder polymeer slibontwatering	10.200	14.700	13.700
Totale besparingen	112.000	160.000	147.000
Totale netto kosten	295.000	214.000	388.000

TABEL 10 JAARLASTEN BUSINESS CASE 2: OPTIMALISATIE VEZELPRODUCT 300.000 I.E.

Grootte rwzi	CT + EF Leeuwarden 300.000 i.e.	CT + EF rwzi NL 300.000 i.e.	Roterende bandzeef rwzi NL 300.000 i.e
Kapitaalslasten	431.200	385.100	500.000
Energieverbruik	214.800	146.500	90.100
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	14.400	9.900	5.000
Onderhoud	95.400	85.200	110.700
Personeel	50.000	50.000	50.000
Hygiëniseringskosten huur installatie	48.000	60.000	62.000
Hygiëniseringskosten dosering permierenzuur	58.000	118.100	374.400
Totale kosten	911.000	854.000	1.192.000
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	54.200	73.800	66.900
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	216.700	313.400	292.500
Minder beluchttingsenergie	28.400	38.700	31.300
Minder slibontwateringsenergie	7.800	11.300	10.600
Minder polymeer slibontwatering	30.400	43.900	41.000
Totale besparingen	337.000	481.000	442.000
Totale netto kosten	574.000	373.000	750.000

TOELICHTING TABELLEN 7 TOT EN MET 10

Er zijn een aantal belangrijke verschillen tussen de inzet van fijnzeven bekend uit de papierindustrie (Conus Trenner en Elephant Filter) en roterende bandzeven:

Ten aanzien van de kosten:

- De kapitaalslasten zijn lager van de fijnzeven bekend uit de papierindustrie dan van roterende bandzeven. De Conus Trenner is zeer compact ten opzichte van de behandelde capaciteit in vergelijking met roterende bandzeven. Ook de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter is compacter. Hierdoor is het gebouw, waarin de installaties worden opgesteld kleiner en zijn er minder (grote) randvoorzieningen nodig zoals pompen. De kapitaalslasten en onderhoudskosten zijn hierdoor circa 25% lager.
- Het energie- en het spoelwaterverbruik is hoger van de Conus Trenner en het Elephant Filter. Ten opzichte van de roterende bandzeef ligt het energieverbruik circa 60% hoger.
- De hygiëniseringskosten van fijnzeefgoed uit de Conus Trenner+Elephant Filter zijn 60% lager dan van fijnzeefgoed uit de roterende bandzeef. Het product wat door de Conus Trenner + Elephant Filter wordt geproduceerd heeft een hoger gehalte cellulose, minder aanhangende droge stof en organische stof en een lager gehalte aan bacteriologische verontreinigingen (zie paragraaf 3.4). Hierdoor lijkt afzet van fijnzeefgoed in de papierindustrie dichterbij te komen, zo ook naar andere afnemers.
- In totaal zijn de kosten voor de inzet van Conus Trenner en Elephant Filter circa 30% lager dan de inzet van een roterende bandzeef.

Ten aanzien van de besparingen:

- Vermindering van slibproductie is de belangrijkste besparing bij inzet van zeven op rwzi-influent. Met roterende bandzeven wordt op rwzi Beemster een besparing op de slibproductie bereikt van 23% [16]. Deze besparing in slibproductie zorgt voor 66% van de besparing vanwege minder kosten voor de slibeindverwerking. De mindere slibproductie zorgt echter ook voor besparingen in polymeerverbruik, slibontwateringsenergie en minder ingedikt slibtransport. Dit betekent dat de berekende vermindering in slibproductie voor 93% de besparingen bepaalt. Dit is ook het geval bij inzet van andere influentzeven zoals de Conus Trenner en de combinatie Conus Trenner

- + Elephant Filter. De gevoeligheid van de aanname in vermindering in slibproductie is hierdoor groot.
- Vermindering in slibproductie wordt bepaald op basis van verwijderde droge stof (OB onopgeloste bestanddelen), organische stof (CZV Chemisch Zuurstof Verbruik) en cellulose. Naast vermindering in slibproductie zorgt verwijdering van organische stof en cellulose tevens voor de besparingen op de beluchtingsenergie. Uiteindelijk worden de besparingen dus grotendeels bepaald door de aannamen voor het verwijderingsrendement van OB, CZV en cellulose. Deze liggen voor inzet van de combinatie van Conus Trenner en het Elephant Filter voor OB en CZV dicht bij die van de roterende bandzeef; alleen de inzet van de Conus Trenner behaalt hogere rendementen conform de meetresultaten in dit rapport (zie tabel 11).
- De celluloserendementen van de Conus Trenner en Conus Trenner + Elephant Filter liggen wel significant hoger dan van de roterende bandzeef. Dit wordt ook bevestigd door de kwaliteit van het fijnzeefgoed wat door de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter wordt geproduceerd; dit is schoner dan fijnzeefgoed uit roterende bandzeven (zie paragraaf 3.4)

TABEL 11 **RENDEMENTEN CZV EN OB VOOR GEMIDDELD NEDERLANDS RIOOLWATER**

		Conus Trenner + indikker	Conus Trenner + Elephant Filter	Roterende bandzeef
Rendement OB	%	45	35	37
Rendement CZV	%	34	23	19
Rendement cellulose	%	75	75	65
Berekende vermindering slibproductie	%	41	24	23

- De berekening van de vermindering van slibproductie komt voor de Conus Trenner + Elephant Filter en de roterende bandzeef gelijk uit, rekening houdend met onnauwkeurigheid in monsternamen en analyse (zie tabel 11). Gezien de gevoeligheid is het daarom logischer om de besparingen gelijk te stellen. Door de hogere kwaliteit van het fijnzeefgoed blijft de business case voor de inzet van Conus Trenner+Elephant Filter echter wel positiever (zie tabel 13).
- Voor inzet van de Conus Trenner alleen wordt een hogere vermindering van de slibproductie berekend (zie tabel 11). Of dit daadwerkelijk behaald kan worden is niet bekend. Voor deze optie zijn alleen de rendementen van de Conus Trenner bekend. Voor de business case is uitgegaan van een eenvoudige indikstap na deze Conus Trenner. Het rendement is hiervan lastig in te schatten. Met name ten aanzien van het relatief hoge CZV-rendement zijn twijfels. Bij inzet van roterende bandzeven bedraagt het CZV-rendement normaliter 23% bij een OB-rendement van 50%. Reden is dat aanhangend CZV bij de indik- of persstap normaliter weer teruggespoeld wordt en dat alleen het CZV wordt verwijderd wat aan de verwijderde droge stof vastzit. Als het rendement op CZV op basis van deze praktijkervaringen wordt bijgesteld van 34 naar 23% dan zakt de besparing in slibproductie zakt naar 27%. Dit is nog steeds hoger dan van de roterende bandzeef, maar doordat de netto kosten van de inzet van de Conus Trenner hoger zijn dan die van de roterende bandzeef (zie tabellen 7 en 8), is er geen verschil meer in netto kosten met de roterende bandzeef (zie tabel 12).

In tabel 12 en 13 is het verschil business cases voor een rwzi van 300.000 i.e. weergegeven indien:

- Besparingen voor de combinatie Conus Trenner +Elephant Filter gelijk worden gesteld aan die van roterende bandzeven
- Het CZV-rendement van inzet van de Conus Trenner alleen wordt bijgesteld van 34 naar 23%.

TABEL 12 VERSCHIL IN BUSINESS CASE 300.000 I.E. BESPARINGEN OP RWZI BIJ CZV-RENDEMENT CT VAN 34% (ORIGINEEL) EN 23% (AANGEPAST)

	Originele BC CT+indikker	Aangepaste BC CT + indikker	BC Roterende bandzeef
Totale kosten	1.420.000	1.420.000	1.302.000
Totale besparingen	809.000	565.000	442.000
Netto kosten	611.000	855.000	860.000

TABEL13 VERSCHIL IN BUSINESS CASE 300.000 I.E. OPTIMALISATIE VEZELPRODUCT BIJ GELIJKE BESPARINGEN CT+EF ALS ROTERENDE BANDZEEF

	Originele BC CT+EF	Aangepaste BC CT + EF	BC Roterende bandzeef
Totale kosten	854.000	854.000	1.192.000
Totale besparingen	481.000	442.000	442.000
Netto kosten	373.000	412.000	750.000

De business cases zijn zeer gevoelig voor de berekende vermindering van slibproductie. In de tabellen 12 en 13 is de vermindering door inzet van fijnzeven, bekend uit de papierindustrie, naar beneden bijgesteld naar meer realistische waarden op basis van praktijkervaring en expert judgement. Hierdoor is de business case voor de inzet van de Conus Trenner gelijk aan die van de roterende bandzeef. De inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter blijft echter een significant minder negatieve business case opleveren dan inzet van een roterende bandzeef. De netto kosten zijn 45% lager. Dit wordt met name veroorzaakt door de hogere kwaliteit van het fijnzeefgoed uit de combinatie Conus Trenner + Elephant Filter, waardoor hygiëniseringskosten om het fijnzeefgoed te kunnen afzetten als product lager zijn. Daarnaast zijn ook de investeringskosten van een roterende bandzeef hoger.

5

TOEPASSINGEN VEZELPRODUCT

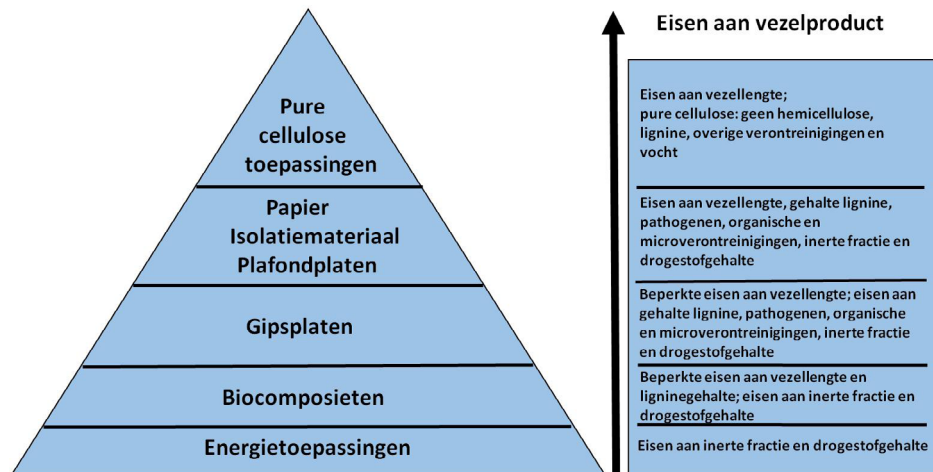
Uit eerdere verkenning naar fijnzeefgoed kwamen de volgende toepassingsmogelijkheden naar voren [5][6][7]:

- Inzet als vezelgrondstof voor biocomposieten zoals snelweg- en straatmeubilair, beschoeiing, en dergelijke
- Inzet als vezelgrondstof voor isolatiemateriaal
- Inzet als vezelgrondstof voor afdruiptremmers in asfalt
- Inzet als koolstofbron
- Inzet als energietoepassing bijvoorbeeld voor verbranding/pyrolyse

Voor business case 1 (besparingen op de rwzi) wordt ervan uitgegaan dat de afgescheiden vezelfractie wordt verbrand. Deze energietoepassing geldt als de laagste methode van verwaarding. Inzet van de teruggewonnen vezels als vezelgrondstof is hoogwaardiger. In dit geval spelen wel meer wensen ten aanzien van de vereiste kwaliteit; deze zijn afhankelijk van de toepassing. Hoe hoger de vereiste kwaliteit, hoe schoner de vezelgrondstof over het algemeen moet zijn (zie figuur 14).

FIGUUR 14

VERWAARDINGSPYRAMIDE TOEPASSING VEZELS UIT RIOOLWATER [8]



In business case 2 (optimalisatie vezelproduct) ontstaat een vezelproduct, waarvoor interesse is vanuit de papierindustrie. Dit is een hoogwaardige toepassing, welke nog niet eerder in beeld is gekomen voor cellulosevezels welke worden afgescheiden uit rioolwater. Uit bijlage 6 blijkt, dat de business case voor het produceren van dit vezelproduct neutraal is, als het gehygiëniseerde fijnzeefgoed kan worden afgezet voor meer dan 200-300 €/ton ds.

Voor oud-papier gelden diverse marktprijzen per soort: voor een kwalitatief lage soort zoals verpakkingsmateriaal (bijvoorbeeld karton) bedraagt de marktwaarde circa € 108 tot € 120 per

ton drogestof¹⁰. Karton bevat veel lignine. Door het met deze prijsklasse te vergelijken is er sprake van een worst-case, aangezien het ligninegehalte van cellulose in rioolwater veel lager is, omdat dit afkomstig is van toiletpapier met nagenoeg geen lignine. Daarentegen zullen er zich tevens microverontreinigingen in het vezelproduct uit rioolwater bevinden. De vergelijking met oud-papier is hiervoor lastig te maken, aangezien weinig bekend is over het aandeel microverontreinigingen in oud-papier. Fijnzeefgoed is op het gebied van zware metalen in ieder geval net zo schoon als oud-papier en waarschijnlijk schoner [3]. Binnen de papierindustrie wordt e.e.a. echter anders beoordeeld vanwege de herkomst van cellulosevezels uit rioolwater. Een andere markt voor cellulosevezels uit rioolwater wordt gevormd door producenten van biobased isolatiematerialen. Momenteel wordt hier vervezeld oud-papier voor ingezet (a circa € 135/ton ds). Tenslotte is er interesse vanuit de productie van biobased plastics. De waarde van goed opgeschoonde gepelletiseerde vezels ligt rond de € 200 per ton drogestof [8]

Bovenstaande betekent dat er geen neutrale of positieve business case is voor het zeven van cellulose uit rioolwater met fijnzeven bekend vanuit de papierindustrie: de kosten voor het produceren van het gehygiëniseerde fijnzeefgoed (200-300 €/ton ds) zijn hoger dan de opbrengsten (100-200 €/ton ds). Hierbij is het dan nog de vraag of deze prijs wordt betaald voor alleen geperst gehygiëniseerd fijnzeefgoed. Droging van fijnzeefgoed kost circa € 50-100 / ton ds¹¹ [7]. Het verschil tussen kosten (250-400 €/ton ds) en opbrengsten (100-200 €/ton ds) wordt hierdoor groter.

Dit onderzoek heeft echter wel aangetoond, dat er een zeer schoon vezelproduct kan worden afgescheiden uit rioolwater, waarvoor interesse is vanuit de papierindustrie. Dit fijnzeefgoed is schoner en kan voor minder kosten worden geproduceerd (circa 45%) dan bij inzet van roterende bandzeven. De kosten zijn ook lager vergeleken met een ander project, waarin fijnzeefgoed ook is gehygiëniseerd¹² en is opgewerkt tot afdruipremmer in asfalt: het VAZENA-project. De kosten voor het afscheiden van fijnzeefgoed en opwerken van cellulose uit fijnzeefgoed bedroegen hier meer dan € 600 per ton inclusief droging [22]. Dit is meer dan de berekende 250-400 €/ton ds in dit rapport.

De kosten, die in dit rapport zijn berekend, zijn indicatief en kunnen naar verwachting geoptimaliseerd worden. Zo ondergaat oud-papier ook reinigingsstappen in de papierfabriek, waaronder mechanische reiniging, droging en soms bleking. Het is hierdoor wellicht mogelijk om de dosering van permierenzuur op zeefgoed te verlagen. Hiervoor is een full-scale test noodzakelijk om voldoende vezelproduct te produceren voor mogelijke toepassingen. Alleen bij voldoende productie van fijnzeefgoed, kunnen afnemers testen op praktijkschaal uitvoeren en nagaan of het product van voldoende kwaliteit is op het gebied van verontreinigingen, vezellengte-, -gehalte en -kwaliteit.

10 De oud-papierprijs voor de ondersoort verpakkingsmateriaal, zoals karton, bedraagt 100-110 euro per ton. Het vochtgehalte bedraagt 7-8%. Per ton drogestof is de marktprijs voor deze categorie 108-120 per ton drogestof.

11 Op basis van fossiele energie. Drogen met restwarmte is goedkoper

12 Met perazijnzuur

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

Op basis van de pilot fijnzeving influent door inzet van technologieën vanuit de papierindustrie op rwzi Leeuwarden kan het volgend worden geconcludeerd.

Inzet van technologieën vanuit de papierindustrie voor fijnzeving van rwzi-effluent is veelbelovend en biedt alternatieven ten opzichte van de huidige technieken zoals roterende bandzeven en trommelzeven. De technieken zijn robuust en inzetbaar op ruw influent, wat geroosterd is met 6 mm fijnzeven. Het onderhouden en schoonmaken van de installaties is beperkt en in lijn met andere installaties op rwzi's. Zand en vet vormen geen problemen in de bedrijfsvoering. Eerstelijnsonderhoud voor inspectie, schoonmaken, bijstelling etc. is beperkt tot een aantal uren per maand. De installatie is met andere woorden onderhoudsarm.

De resultaten van deze pilot zijn vergeleken met de huidige bewezen full-scale gerealiseerde roterende bandzeven op rwzi Beemster. Bij de vergelijking tussen deze twee fijnzeeftechnieken dient rekening te worden gehouden met het volgende:

1. De full-scale gerealiseerde roterende bandzeven op de rwzi's Aarle Rixtel en Beemster zijn niet ingezet om cellulose terug te winnen, maar om de capaciteit rwzi te ontlasten, waarbij een mogelijk interessante grondstof wordt teruggewonnen. Om dit fijnzeefgoed op te werken zijn aanvullende technieken nodig om vervuilende componenten te verwijderen, waardoor een schone hygiënische grondstof gemaakt kan worden.
2. De kosten, die in dit rapport zijn berekend voor de inzet van fijnzeeftechnologie uit de papierindustrie, zijn gebaseerd op pilottesten en daardoor indicatie. De onnauwkeurigheid bedraagt circa 50-100%.

Met in achtneming van bovenstaande opmerkingen, komen een aantal belangrijke verschillen naar voren tussen de inzet van fijnzeven bekend uit de papierindustrie (Conus Trenner en Elephant Filter) en roterende bandzeven:

Ten aanzien van de kosten:

- De kapitaalslasten zijn lager van de fijnzeven, bekend uit de papierindustrie, dan van roterende bandzeven. De Conus Trenner is zeer compact ten opzichte van de behandelde capaciteit in vergelijking met roterende bandzeven. Ook de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter is compacter. Hierdoor is het gebouw, waarin de installaties worden opgesteld kleiner en zijn de kosten voor randvoorzieningen lager, zoals pompen, leidingwerk en kleppen. De kapitaalslasten en onderhoudskosten zijn hierdoor circa 25% lager.
- Het energieverbruik is hoger van de Conus Trenner en het Elephant Filter vanwege het op 1 bar druk brengen van het rwzi-influent en een hoger spoelwaterverbruik. Ten opzichte van de roterende bandzeef ligt het energieverbruik circa 60% hoger.
- De hygiëniseringskosten van fijnzeefgoed uit de Conus Trenner+Elephant Filter zijn 60% lager dan van fijnzeefgoed uit de roterende bandzeef. Het product wat door de Conus

Trenner + Elephant Filter wordt geproduceerd heeft een hoger gehalte cellulose, minder aanhangende droge stof en organische stof en een lager gehalte aan bacteriologische verontreinigingen. Hierdoor lijkt afzet van fijnzeefgoed in de papierindustrie dichterbij te komen, zo ook naar andere afnemers.

- In totaal zijn de kosten voor de inzet van Conus Trenner en Elephant Filter circa 30% lager dan de inzet van een roterende bandzeef.

Ten aanzien van de besparingen:

- Vermindering van slibproductie is de belangrijkste besparing bij inzet van zeven op rwzi-influent. De mindere slibproductie zorgt voor besparingen in polymeerverbruik, slibontwateringsenergie, slibeindverwerking en minder transport van ingedikt en ontwaterd slib. De berekende vermindering in slibproductie bepaalt meer dan 90% van de totale besparingen. De overige 10% wordt behaald door vermindering van beluchttingsenergie in actief slib. De gevoeligheid van de aanname in vermindering in slibproductie is hierdoor groot.
- Inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter zorgt voor een vergelijkbare vermindering van slibproductie als roterende bandzeven van 20-25%.
- Er wordt benadrukt, dat de vermindering in slibproductie op basis van dit pilotonderzoek indicatief is bepaald en een grote onnauwkeurigheid bevat.

In het verleden is erg gefocust op een win-win situatie: èn een hoge besparing op de kosten van behandeling van rioolwater èn productie van een hoogwaardig product. Het is eenvoudigweg niet mogelijk om èn een zeer schoon vezelproduct af te scheiden èn een hoog verwijderingsrendement op OB en CZV te behalen. Hoe meer OB en CZV wordt verwijderd, hoe meer er immers in het fijnzeefgoed terecht komt. Oftewel zowel een hoge besparing behalen op de water- en sliblijn van een rwzi als een zeer schoon vezelproduct afscheiden is niet mogelijk. Om deze twee zaken van elkaar te scheiden zijn er daarom twee business cases worden opgesteld:

1. Zuiveringsdenken: optimalisatie besparingen op de rwzi door inzet van de Conus Trenner (CT), gevolgd door een eenvoudige indikstap ter vervanging van het Elephant Filter en een eenvoudige persstap. Het fijnzeefgoed wordt vervolgens geperst en als zuiveringslib afgezet in energietoepassingen zoals vergisting en/of verbranding. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 300 euro per ton drogestof fijnzeefgoed.
2. Grondstofdenken: optimalisatie van de kwaliteit van het afgescheiden vezelproduct door inzet van de combinatie van Conus Trenner (CT) en Elephant Filter (EF), gevolgd door hygiënisatie van het fijnzeefgoed met permierenzuur en een eenvoudige persstap. Het fijnzeefgoed wordt nuttig toegepast als vezelgrondstof in afzetmarkten waar nu oud-papier voor wordt ingezet. In de business cases is uitgegaan van afzetkosten van 0 euro per ton drogestof gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

Ad 1. Inzet van de Conus Trenner (CT) met een eenvoudige indikker is qua business case vergelijkbaar met inzet van roterende bandzeven. De investeringen van de Conus Trenner met eenvoudige indikker zijn lager dan van roterende bandzeven. Verder wordt er meer zwevende stof afgescheiden door de Conus Trenner met eenvoudige indikker, maar ligt het energieverbruik hoger. De netto kosten van beide alternatieven zijn hierdoor vergelijkbaar.

Ad 2. Inzet van de Conus Trenner (CT) in combinatie met een Elephant Filter (EF) is qua business case aantrekkelijker dan inzet van roterende bandzeven. De netto kosten vallen circa 45%

lager uit. Dit wordt met name veroorzaakt door de hogere kwaliteit van het fijnzeefgoed uit de combinatie Conus Trenner + Elephant Filter, waardoor de kosten voor hygiëniseren met permierenzuur lager zijn, om het fijnzeefgoed “om niet” te kunnen afzetten als product. De besparingen in slibproductie zijn gelijk voor de inzet van Conus Trenner + Elephant Filter en roterende bandzeven. Kleinere verschillen treden op door hogere kosten voor spoelwater en energie voor de inzet van Conus Trenner+Elephant Filter, maar lagere investeringskosten in vergelijking met inzet van de roterende bandzeef.

Het fijnzeefgoed wat wordt geproduceerd door de combinatie van Conus Trenner en Elephant Filter en is schoner dan het fijnzeefgoed uit roterende bandzeven op het gebied van aanhangende zwevende stof en bacteriologische verontreinigingen. Bovendien bevat het fijnzeefgoed veel kwalitatief hoogwaardige papiervezels met de juiste lengte. Hierdoor komen nieuwe afzetmarkten in beeld: de papierindustrie heeft voor het eerst serieus interesse getoond in afgescheiden cellulosevezels uit rioolwater en succesvol een pilottest uitgevoerd met gehygiëniseerd fijnzeefgoed.

De kosten voor het produceren van gedroogd gehygiëniseerd fijnzeefgoed uit influent van rwzi's door inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter bedraagt circa 250-400 €/ton ds. Deze kosten zijn lager dan bij inzet van roterende bandzeven: in het VAZENA project, waarin fijnzeefgoed van een roterende banzeef is gehygiëniseerd met perazijnzuur om ingezet te worden als afdruiptremmer, bedragen de productie kosten meer dan 600 euro per ton. Ondanks deze lagere productiekosten, is de inzet van de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter niet economisch rendabel. De productiekosten van 250-400 €/ton ds gedroogd gehygiëniseerd fijnzeefgoed blijven hoger dan de mogelijke opbrengsten voor toepassing van fijnzeefgoed als vezelproduct (100-200 €/ton ds). Dit onderzoek heeft echter wel aangetoond, dat er een zeer schoon vezelproduct kan worden afgescheiden uit rioolwater, waarvoor interesse is vanuit de papierindustrie.

De kosten, die in dit rapport zijn berekend, zijn indicatief en kunnen naar verwachting geoptimaliseerd worden. Zo wordt oud-papier ook gereinigd in de papierfabriek, waardoor het wellicht mogelijk is om de dosering van permierenzuur op zeefgoed te verlagen. Hiervoor is een full-scale test noodzakelijk om voldoende vezelproduct te produceren voor mogelijke toepassingen. Hetzelfde geldt voor andere toepassingen: alleen bij voldoende productie van fijnzeefgoed, kunnen afnemers testen op praktijkschaal uitvoeren en nagaan of het product van voldoende kwaliteit is op het gebied van verontreinigingen, vezellengte-, - gehalte en -kwaliteit.

6.2 KENNISHIATEN

1. Het spoelwater- en energieverbruik was in deze pilot hoger dan wordt opgegeven voor een full-scale installatie. De pilot is niet representatief doordat de influentdebieten en de bedrijfsvoering niet goed matchen met de capaciteit van de installatie. Daarnaast is sprake van schaaffecten. In de business case is uitgegaan van de opgave van de leverancier.
2. Het perswater is niet bemonsterd in deze pilot. Uit de resultaten van de full-scale installaties op rwzi's Aarle Rixtel en Beemster blijkt, dat de verwijderingsrendementen van CZV en OB hierdoor met 2-7 % negatief kunnen worden beïnvloed. In hoeverre dit ook plaatsvindt bij inzet van fijnzeven vanuit de papiertechnologie is niet bekend.
3. Voor een goede hygiëniseren is menging van het permierenzuur met het fijnzeefgoed cruciaal. Door de kleine schaal en uitvoering van de mengcontainer in de pilot kan er sprake zijn

geweest van onvoldoende menging en de dosering van permierenzuur wellicht worden verlaagd. Daarnaast geldt echter, dat de schaafeffecten van de pilot de benodigde dosering ook positief hebben kunnen beïnvloeden.

4. De productkwaliteit op het gebied van gehalten aan cellulose, vezellengtes en verontreinigingen en de invloed van hygiëniseratie met permierenzuur op de vezelkwaliteit¹³ is cruciaal voor afnemers en kon alleen indicatief worden bepaald op basis van deze pilot.
5. Het Elephant Filter was in de pilotconfiguratie te groot qua dimensionering ten opzichte van de Conus Trenner, omdat een kleinere grootte niet beschikbaar is. Dit kan zowel positieve als negatieve effecten hebben op de prestaties.
6. Terugvoer van permierenzuur wordt op basis van een balansberekening nu als verwaarloosbaar geacht.
7. Het BZV-rendement is niet bepaald in deze pilot. Voldoende opneembaar BZV is met name van belang voor de fosfaat- en stikstofverwijdering door rwzi's.
8. De combinatie Conus Trenner en Elephant Filter is uitvoerig getest in deze pilot. Over de Conus Trenner zijn massabalansen berekend. De business case voor het alleen inzetten van de Conus Trenner met een eenvoudige indikker, is voor de resultaten van de indikker gebaseerd op expert judgement.

Bovenstaande kennishiaten kunnen niet op pilotschaal worden getest. Hiervoor is een full-scale test noodzakelijk, zodat duidelijk wordt wat de invloed is van de dimensionering van de installatie, het effect op de water- en sliblijn van een rwzi, de productkwaliteit en de afzetbaarheid van het fijnzeefgoed.

6.3 AANBEVELINGEN

De kosten, die in dit rapport zijn berekend, zijn indicatief en kunnen naar verwachting geoptimaliseerd worden. Om te kunnen bepalen of de inzet van technologieën, bekend vanuit de papierindustrie, efficiënter en effectiever zijn voor het afscheiden van cellulosevezels dan nu toegepaste technieken zoals roterende bandzeven en trommelzeven, is een full-scale test nodig. Invloeden op de water- en sliblijn van een rwzi kunnen alleen op deze schaal worden vastgelegd. Daarnaast is er voor eventuele toepassing van het geproduceerde fijnzeefgoed ook een hoge productie nodig. Alleen bij voldoende productie van fijnzeefgoed, kunnen afnemers testen op praktijkschaal uitvoeren en nagaan of het product van voldoende kwaliteit is op het gebied van verontreinigingen, vezellengte-, -gehalte en -kwaliteit.

13 Een te hoge dosering van permierenzuur zou de kwaliteit van de vezels kunnen aantasten, waardoor deze niet meer geschikt zijn voor papierproductie en/of andere vezeltoepassingen

7

REFERENTIES

- [1] STOWA 2007-25, Inventarisatie roosters en zeven in de communale afvalwaterbehandeling
- [2] STOWA 2010-19, Influentzeven op rwzi's
- [3] STOWA 2014 -W01, Werkrapport fijnzeefonderzoek - Praktijkresultaten influent fijnzeef rwzi Blaricum
- [4] Mulder, M., 2014, Analyse business cases fijnzeven, Werkgroep cellulose Grondstoffenfabriek
- [5] STOWA 2012-07, Verkenning van mogelijkheden voor verwaarding van zeefgoed
- [6] STOWA 2013-21, Grondstoffenfabriek - Vezelgrondstof uit zeefgoed
- [7] STOWA 2013-31, Verkenning mogelijkheden grondstoffen rwzi
- [8] STOWA 2016-18, Verkenning haalbaarheid terugwinning cellulose uit primair slib
- [9] Screenshot, 2017, D4.3 Monitoring Report: Fijnzeven op rwzi Aarle-Rixtel - Het effect van fijnzeven op het rwzi proces, 31 oktober 2017
- [10] Persoonlijke communicatie Chris Reijken Waternet over meetgegevens cellulose aan influent en fijnzeefgoed rwzi's Amsterdam West, Weesp en Blaricum
- [11] Brightwork, 23 mei 2018, Fractioneren influent en filtraat Meri pilot en filtraat Elephant Filter
- [12] C.J. Ruiken, G. Breuer, E. Klaversma, T. Santiago, M.C.M. van Loosdrecht, 2013, Sieving wastewater - Cellulose recovery, economic and energy evaluation water research 47 p. 43-48
- [13] CEPI, Confederation of European Paper Industries, which analyzes and publishes statistics on different paper sectors, including tissue
- [14] TU Delft, Colleges afvalwaterbehandeling
- [15] Brightwork, 16 september 2011, Onderzoek Salsness fijnzeef rwzi Leeuwarden
- [16] <http://www.cellu2pla.nl/nl/resultaten/>
- [17] www.cellu2pla.nl (Economic Analysis Report en Environmental Analysis Report)
- [18] Kemira, 2018, Bepaling bacteriologische verontreinigingen in oud-papier en fijnzeefgoed
- [19] Persoonlijke communicatie Remmie Neef resultaten full-scale onderzoek inzet fijnzeven op rwzi Beemster
- [20] STOWA 2015-27, Verwijdering van microverontreinigingen uit effluenten van rwzi's.
- [21] Persoonlijke communicatie Robert Kras tav berekening CZV-gehalte fijnzeefgoed rwzi Aarle Rixtel
- [22] STOWA 2017-29, Van zeefgoed naar asfalt, VAZENA

BIJLAGE 1

BEGRIPPEN RONDOM TERUGWINNING CELLULOSE UIT RIOOLWATER

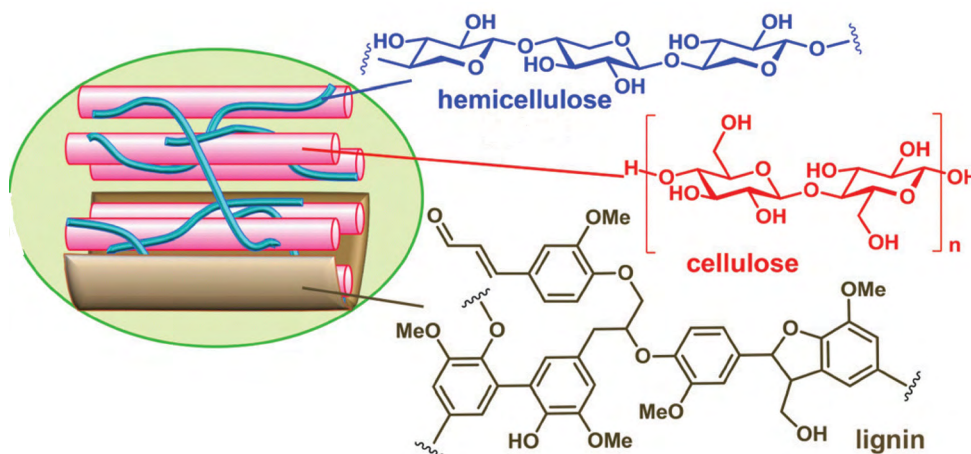
Bron: STOWA 2016-18

Sinds het STOWA-rapport 2010-19, met daarin de eerste resultaten van fijnzeving van influent op rwzi Blaricum, wordt er veel geschreven over terugwinning van cellulose uit rioolwater. Begrippen als cellulose, cellulosevezels en vezels worden hierin door elkaar gebruikt en vaak niet eenduidig toegelicht. In rioolwater bevindt zich een mix van vezels. Een groot deel is afkomstig van toiletpapier, wat huishoudens en bedrijven lozen in het riool, oftewel zogenaamde papiervezels. Deze papiervezels bestaan voor een groot gedeelte uit cellulose, maar bevatten ook in meer of mindere mate hemicellulose en lignine.

Vezels in een plant zijn langgerekte bundels van cellen, die voor stevigheid in de plant zorgen. Deze vezels bestaan vooral uit cellulose en worden daarom ook wel cellulosevezels genoemd. Van nature bevatten deze vezels naast cellulose ook hemicellulose en lignine. De onderlinge verhoudingen hangen af van het type boom of plant. Cellulose is een polysaccharide van glucose, die door nagenoeg alle planten wordt gemaakt. Hemicellulose is een belangrijke component van de celwand en vormt een soort matrix, waarin cellulosemoleculen ingebed liggen. Lignine bevindt zich tevens in de celwand. De sterkte van hout is een resultaat van het materiaal dat gevormd wordt door de interactie tussen cellulose, hemicellulose en het lignine er omheen (zie figuur 1).

FIGUUR 1

STRUCTUUR CELLULOSEVEZEL, BESTAAND UIT CELLULOSE, HEMICELLULOSE EN LIGNINE; BEWERKT [100][100]



Cellulosevezels in hout voor papierproductie bestaan voor 47-53% uit cellulose, voor 17-27% uit hemicellulose en voor 19-29% uit lignine[101][102]. Voor het maken van papier moet de cellulosevezel losgemaakt oftewel ontsloten worden. Afhankelijk van het ontsluitingsproces bevat het gemaakte papier meer of minder hemicellulose en lignine. Lignine wordt tegenwoordig grotendeels chemisch verwijderd voor de meeste papersoorten, ook voor toiletpa-

pier. Door het lignine te verwijderen wordt het (toilet)papier witter en zachter. Standaard 80 grams kopieerpapier bevat circa 5-15% hemicellulose en enkele procenten lignine. Karton bevat hogere gehalten lignine: tot 15% [103]. Voor toilet papier is het merk en de bron van het toilet papier bepalend, maar de meeste soorten “zacht” toilet papier bevatten vergelijkbare gehalten hemicellulose en lignine als standaard kopieerpapier [106][103].

Cellulosevezels worden door alle plantaardige organismen gemaakt. Cellulosevezels kunnen niet worden verteerd door mensen en worden via de faeces uitgescheiden. Dit betekent, dat de cellulosevezels in rioolwater niet alleen afkomstig zijn van (toilet)papier, maar ook van groente-, fruit-, brood-, rijst- en overige graanresten, die door met name huishoudens en kantoren via de gootsteen of toilet worden weggespoeld in het riool. Deze groente- en graanresten bevatten net zoals hout ook lignine, maar ook hemicellulose en cellulose. Hout bevat circa 20-30% lignine, terwijl bijvoorbeeld tomaten en paprika's 10-20% lignine bevatten en granen zoals gerst en tarwe circa 15-20% [104][105].

Verder komen textielvezels in het riool terecht door het wassen van kleding. Deze textielvezels bestaan op hun beurt weer uit katoen, oftewel cellulose, of uit synthetische vezels. Tenslotte komen natuurlijke en synthetische vezels ook in het rioolwater terecht via afspoeling van verhard oppervlak (o.a. bladeren, maar ook synthetische plastic- en rubbervezels).

In dit rapport worden de volgende definities gehanteerd (zie ook de begrippenlijst):

Cellulose is een polysaccharide van glucose, die door nagenoeg alle planten wordt gemaakt. De molecuulformule is $(C_6H_{10}O_5)_n$ waarbij n staat voor het aantal glucose-eenheden (circa 7.000 – 15.000 per molecuul).

Cellulosevezels in een plant zijn langgerekte bundels van cellen, die voor stevigheid in de plant zorgen. Deze vezels bestaan vooral uit **cellulose** en worden daarom ook wel **cellulosevezels** genoemd. Van nature bevatten vezels in hout voor papierproductie naast cellulose (47-53%) ook **hemicellulose** (17-27%) en **lignine** (20-30%). De onderlinge verhoudingen hangen af van het type boom. Papier is een netwerk van cellulosevezels. Om de cellulosevezels uit hout te winnen, moeten deze mechanisch of chemisch worden ontsloten. Afhankelijk van het gebruikte ontsluitingsproces, bevat het papier meer of minder hemicellulose en lignine. Rioolwater bevat cellulosevezels afkomstig van doorgespoeld toilet papier, maar ook uit andere bronnen en **vezels** van andere natuurlijke of synthetische oorsprong (zie vezels). Een **vezel** is een lang, dun filament met een lengte van minstens 5 μm , een **diameter** kleiner dan 3 μm , waarvan de lengte ten minste drie keer groter is dan de doorsnede. Vezels kunnen bestaan uit synthetische of natuurlijke organische moleculen. In rioolwater bevinden zich voornamelijk **cellulosevezels**. Deze zijn afkomstig uit toilet papier, maar ook uit andere papierhoudende doekjes, bladafval en resten van plantaardig materiaal zoals groente, fruit en granen (waaronder tarwe, gerst, spelt, rogge, rijst en maïs). Daarnaast bevat rioolwater textielvezels, zowel van natuurlijke (bijvoorbeeld katoen) als synthetische oorsprong (bijvoorbeeld polyester)

De terugwinning van cellulose uit rioolwater richt zich op een hernieuwbare toepassing hiervan. Marktpartijen zijn met name geïnteresseerd in cellulosevezels, die dezelfde eigenschappen hebben als papiervezels, die aanwezig zijn in hout of oud-papier. Deze cellulosevezels bevatten niet alleen cellulose, maar ook in meer of mindere mate hemicellulose en lignine. Teruggewonnen cellulosevezels uit rioolwater zijn qua lengte en kwaliteit vergelijkbaar met de papiervezels uit (oud)papier. De technische installaties richten zich namelijk op

het afscheiden van vezels op basis van deeltjesgrootte en lengte-breedte-verhoudingen van vezels, niet op de afscheiding van cellulose. Lignine, hemicellulose en andere verontreinigingen komen bij de afscheiding van vezels uit hout, oud-papier en rioolwater automatisch mee. Het aandeel cellulosevezels en de mate van verontreiniging in relatie tot de wensen en eisen van het specifieke toepassingsgebied en de daarbij behorende marktpartijen, bepalen vervolgens de afzetwaarde. In het vervolg van dit rapport, wordt daarom niet gesproken over terugwinning van cellulose, maar van terugwinning van cellulosevezels uit primair slib.

REFERENTIES

- [100] Hirokazu Kobayashi and Atsushi Fukuoka, 2013, Synthesis and utilisation of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass *Green Chem.*, 2013 (15), p. 1740-1763
- [101] www.papierpraat.nl
- [102] www.papierenkarton.nl
- [103] Ma, Y. et al (2016), Upcycling of waste paper and cardboard to textiles *Green Chem.*, 2016 (18) p.858-866
- [104] Proceedings bijeenkomst Agri Project 10 oktober 2013, Businesscase Waardevolle Inhoudstoffen, Presentatie Jan van Dam, Randvoorwaarden voor en solide businesscase, WUR-FBR
- [105] Leeuwen, A. van, 2013 ANALYSE ALTERNATIEVE PLANTAARDIGE VEZELS VOOR PAPIER EN KARTON, Hogeschool CAH Vilentum, Annemarie van Leeuwen, in opdracht voor KCPK, Dronten, december 2013
- [106] <http://www.hotbincomposting.com/blog/i-dont-have-any-shredded-paper.html>

BIJLAGE 2

OB- EN CZV-RENDEMENTEN PILOT

	CT		Totaal	
	TSS	CZV	TSS	CZV
Gemiddelde juli	55%	41%	37%	19%
Gemiddelde dec-feb*	41%	38%	20%	9%
	Verwijderingsrendementen			
	CT		Totaal	
	TSS	CZV	TSS	CZV
11-12-2017	29%	43%	3%	22%
18-12-2017	39%	34%	16%	11%
19-12-2017	36%	30%	15%	7%
20-12-2017	43%	31%	25%	10%
21-12-2017	43%	24%	24%	3%
21-12-2017	39%	33%	21%	13%
21-12-2017	48%	33%	29%	10%
4-1-2018	35%	47%	-1%	18%
4-1-2018	44%	42%	17%	11%
8-1-2018	16%	16%	-21%	-16%
8-1-2018	29%	28%	16%	14%
9-1-2018	49%	38%	25%	3%
9-1-2018	55%	48%	32%	10%
11-1-2018	33%	39%	-20%	-7%
11-1-2018	44%	35%	4%	-5%
12-1-2018	41%	45%	-3%	8%
12-1-2018	45%	47%	4%	9%
15-2-2018	51%	47%	23%	12%
15-2-2018	53%	47%	24%	14%
15-2-2018	48%	48%	12%	4%
3-7-2018	60%	43%	44%	21%
5-7-2018	61%	41%	45%	20%
10-7-2018	55%	39%	37%	18%
12-7-2018	47%	39%	27%	15%
17-7-2018	50%	41%	31%	19%

* Gecorrigeerd voor negatieve rendementen ivm fouten en onnauwkeurigheden in monsternamen en analyses

BIJLAGE 3

RESULTATEN HYGIENISATIE ZEEFGOED CONUS TRENNER + ELEPHANT FILTER

Gehygeniseerd geperst zeefgoed (KVE/100mL)			
Datum	Tijd	Parameter	KVE/g*WW
10-7-2018	10:00	Escherichia coli	990
10-7-2018	10:00	Intestinale enterococcen	100
17-7-2018	14:00	Escherichia coli	50
17-7-2018	14:00	Intestinale enterococcen	< 15
18-7-2018	14:00	Escherichia coli	< 15
18-7-2018	14:00	Intestinale enterococcen	< 15
			380
Zeefcircuit CT (KVE/100mL)			
Datum	Tijd	Parameter	KVE/g*WW
3-7-2018		Escherichia coli	8206700
3-7-2018		Intestinale enterococcen	2118000
10-7-2018		Escherichia coli	17952000
10-7-2018		Intestinale enterococcen	2647000
17-7-2018		Escherichia coli	27556000
17-7-2018		Intestinale enterococcen	4273000
18-7-2018		Escherichia coli	23932000
18-7-2018		Intestinale enterococcen	3087000
Zeefgoed EF			
Datum	Tijd	Parameter	KVE/g*WW
3-7-2018		Escherichia coli	258264
3-7-2018		Intestinale enterococcen	131276
10-7-2018		Escherichia coli	362520
10-7-2018		Intestinale enterococcen	100520
17-7-2018		Escherichia coli	538200
17-7-2018		Intestinale enterococcen	124520
18-7-2018		Escherichia coli	186760
18-7-2018		Intestinale enterococcen	74040

BIJLAGE 4

CELLULOSEBALANSEN

CELLULOSEBALANS RWZI LEEUWARDEN							
Influent rwzi leeuwarden		CT	Zeefgoed CT		EF	Zeefgoed CT+ EF	
14	kg cellulose/d		11	kg cellulose/d		10	kg cellulose/d
100%	% cellulose tov influent		78%	% cellulose tov influent		76%	% cellulose tov influent
85	kg TSS/d		35	kg TSS/d		18	kg TSS/d
16%	% cellulose van ds		30%	% cellulose van ds		58%	% cellulose van ds
166,41	kg CZV/d		61,41	kg CZV/d		24,41	kg CZV/d
1,97	CZV/TSS		1,77	CZV/TSS		1,38	CZV/TSS
15	kg cellulose czv/d		11	kg cellulose czv/d		11	kg cellulose czv/d
152	kg overig czv/d		51	kg overig czv/d		14	kg overig czv/d
2,1	verhouding overig czv		2,1	verhouding overig czv		1,9	verhouding overig czv
			Filtraat CT			Filtraat EF	
			3	kg cellulose/d		0,3	kg cellulose/d
			22%	% cellulose tov influent		2%	% cellulose tov influent
			50	kg TSS/d		17	kg TSS/d
			6%	% cellulose van ds		1%	% cellulose van ds
			105,00	kg CZV/d		37,00	kg CZV/d
			2,10	CZV/TSS		2,18	CZV/TSS
			37%	rendement CZV CT		15%	rendement CZV CT+EF
			41%	rendement TSS CT		21%	rendement TSS CT+EF
CELLULOSEBALANS RWZI NL							
Influent rwzi NL		CT	Zeefgoed CT		EF	Zeefgoed CT+ EF	
92	kg cellulose/d		69	kg cellulose/d		66	kg cellulose/d
100%	% cellulose tov influent		75%	% cellulose tov influent		72%	% cellulose tov influent
262	kg TSS/d		132	kg TSS/d		92	kg TSS/d
35%	% cellulose van ds		52%	% cellulose van ds		72%	% cellulose van ds
515	kg CZV/d		195	kg CZV/d		119	kg CZV/d
1,97	CZV/TSS		1,48	CZV/TSS		1,30	CZV/TSS
99	kg cellulose czv/d		75	kg cellulose czv/d		71	kg cellulose czv/d
416	kg overig czv/d		126	kg overig czv/d		53	kg overig czv/d
2,4	verhouding overig czv		2,0	verhouding overig czv		2,0	verhouding overig czv
			Filtraat CT			Filtraat EF	
			23	kg cellulose/d		3	kg cellulose/d
			25%	% cellulose tov influent		3%	% cellulose tov influent
			130	kg TSS/d		40	kg TSS/d
			18%	% cellulose van ds		8%	% cellulose van ds
			320	kg CZV/d		76	kg CZV/d
			2,5	CZV/TSS		1,9	CZV/TSS
			38%	rendement CZV CT		23%	rendement CZV CT+EF
			50%	rendement TSS CT		35%	rendement TSS CT+EF
			CZV/TSS	% cellulose van de ds			
			1,77	30%			
			1,38	58%			
			1,48	52%			
			1,30	72%			
			1,40	60%			
			CORRELATIE	-0,988			

BIJLAGE 5

RAMINGEN INVESTERINGEN EN STICHTINGSKOSTEN

BUSINESS CASE 1: INVESTERINGEN OPTIMALISATIE BESPARINGEN RWZI 100.000 I.E.

	Leeuwarden	Landelijk
Capaciteit (m3/h)	1.563	1.068
0. Leidingwerk rwzi		
Afkappen leidingwerk influentgemaal/ontvangwerk met afsluiter en bypass	€ 30.000	€ 25.000
Pompbuffer en pompinstallatie	€ 200.000	€ 150.000
Leidingwerk aanvoer en afvoer Merizeef	€ 12.500	€ 10.000
1. Leverantie apparatuur		
Conustrenner Meri 1 stuks	€ 120.000	€ 95.000
Indikker 1 stuks	€ 90.000	€ 75.000
Schroefpers 1 stuks	€ 25.000	€ 25.000
Kleppen, afsluiters etc Meri	€ 16.000	€ 16.000
2. Aansluitingen rwzi		
Spoelwateraanvoer incl. leidingwerk en aansluiting bedrijfswatergemaal	€ 7.500	€ 7.500
Vuilwaterafvoer incl. leidingwerk	€ 5.000	€ 5.000
E/PA aansluiting	€ 50.000	€ 50.000
3. Gebouw	€ 200.000	€ 200.000
4. Containers op vloeistofdichte vloer	€ 25.000	€ 25.000
5. Aanpassing PLC's/SCADA		
PLC's	€ 10.000	€ 10.000
SCADA	€ 10.000	€ 10.000
Subtotaal leveranties	€ 801.000	€ 703.500
Aannemerskosten (AK, ABK, Winst en risico): 25%	€ 200.250	€ 175.875
Onvolledigheid (25%)	€ 250.313	€ 219.844
Totale bouwkosten excl. btw	€ 1.251.563	€ 1.099.219
Stichtingskosten incl. btw (opslagfactor 2,0)	€ 2.503.125	€ 2.198.438
Kapitaalslasten W	€ 121.652	€ 106.844
Kapitaalslasten C	€ 48.060	€ 42.210
Kapitaalslasten totaal	€ 169.712	€ 149.054

BUSINESS CASE 1: INVESTERINGEN OPTIMALISATIE BESPARINGEN RWZI**300.000 I.E.**

	Leeuwarden	Landelijk
Capaciteit (m3/h)	4.688	3.203
0. Leidingwerk rwzi		
Afkappen leidingwerk influentgemaal/ontvangwerk met afsluiter en bypass	€ 90.000	€ 75.000
Pompbuffer en pompinstallatie, verdeelwerk	€ 500.000	€ 450.000
Leidingwerk aanvoer en afvoer Merizeef	€ 35.000	€ 25.000
1. Leverantie apparatuur		
Conustrenner Meri 2 stuks	€ 262.500	€ 210.000
Indikker 2 stuks	€ 200.000	€ 175.000
Schroefpers 2 stuks	€ 50.000	€ 50.000
Kleppen, afsluiters etc Meri	€ 35.000	€ 35.000
2. Aansluitingen rwzi		
Spoelwateraanvoer incl. leidingwerk en aansluiting bedrijfswatergemaal	€ 20.000	€ 15.000
Vuilwaterafvoer incl. leidingwerk	€ 12.500	€ 12.500
E/PA aansluiting	€ 125.000	€ 125.000
3. Gebouw	€ 300.000	€ 300.000
4. Containers op vloestofdichte vloer	€ 60.000	€ 60.000
5. Aanpassing PLC's/SCADA		
PLC's	€ 25.000	€ 25.000
SCADA	€ 10.000	€ 10.000
Subtotaal leveranties	€ 1.725.000	€ 1.567.500
Aannemerskosten (AK, ABK, Winst en risico): 15%	€ 431.250	€ 391.875
Onvolledigheid (25%)	€ 539.063	€ 489.844
Totale bouwkosten excl. btw	€ 2.695.313	€ 2.449.219
Stichtingskosten incl. btw (opslagfactor 2,0)	€ 5.390.625	€ 4.898.438
Kapitaalslasten W	€ 261.984	€ 238.064
Kapitaalslasten C	€ 103.500	€ 94.050
Kapitaalslasten totaal	€ 365.484	€ 332.114

INVESTERINGEN BUSINESS CASE 2: OPTIMALISATIE AFGESCHIEDEN VEZELPRODUCT**100.000 I.E.**

	Leeuwarden	Landelijk
Capaciteit (m3/h)	1.563	1.068
0. Leidingwerk rwzi		
Afkappen leidingwerk influentgemaal/ontvangwerk met afsluiter en bypass	€ 30.000	€ 25.000
Pompbuffer en pompinstallatie	€ 200.000	€ 150.000
Leidingwerk aanvoer en afvoer Merizeef	€ 12.500	€ 10.000
1. Leverantie apparatuur		
Conustrenner Meri 1 stuks	€ 120.000	€ 95.000
Elephantfilter Meri 1 stuks	€ 165.000	€ 132.000
Schroefpers Meri 1 stuks	€ 56.000	€ 56.000
Kleppen, afsluiters etc Meri	€ 32.000	€ 32.000
2. Aansluitingen rwzi Meri		
Spoelwateraanvoer incl. leidingwerk en aansluiting bedrijfwatergemaal	€ 10.000	€ 10.000
Vuilwaterafvoer incl. leidingwerk	€ 5.000	€ 5.000
E/PA aansluiting Meri	€ 60.000	€ 60.000
3. Gebouw	€ 200.000	€ 200.000
4. Containers op vloestofdichte vloer	€ 25.000	€ 25.000
5. Aanpassing PLC's/SCADA		
PLC's	€ 10.000	€ 10.000
SCADA	€ 10.000	€ 10.000
Subtotaal leveranties	€ 935.500	€ 820.000
Aannemerskosten (AK, ABK, Winst en risico): 25%	€ 233.875	€ 205.000
Onvolledigheid (25%)	€ 292.344	€ 256.250
Totale bouwkosten excl.btw	€ 1.461.719	€ 1.281.250
Stichtingskosten incl. btw (opslagfactor 2,0)	€ 2.923.438	€ 2.562.500
Kapitaalslasten W	€ 142.079	€ 124.538
Kapitaalslasten C	€ 56.130	€ 49.200
Kapitaalslasten totaal	€ 198.209	€ 173.738

INVESTERINGEN BUSINESS CASE 2: OPTIMALISATIE AFGESCHIEDEN VEZELPRODUCT**300.000 I.E.**

	Leeuwarden	Landelijk
Capaciteit (m3/h)	4.688	3.203
0. Leidingwerk rwzi		
Afkappen leidingwerk influentgemaal/ontvangwerk met afsluiter en bypass	€ 90.000	€ 75.000
Pompbuffer en pompinstallatie, verdeelwerk	€ 500.000	€ 450.000
Leidingwerk aanvoer en afvoer Merizeef	€ 35.000	€ 25.000
1. Leverantie apparatuur		
Conustrenner Meri 2 stuks	€ 262.500	€ 210.000
Elephantfilter Meri 2 stuks	€ 425.000	€ 340.000
Schroefpers Meri 2 stuks	€ 75.000	€ 75.000
Kleppen, afsluiters etc Meri	€ 70.000	€ 70.000
2. Aansluitingen rwzi Meri		
Spoelwateraanvoer incl. leidingwerk en aansluiting bedrijfswatergemaal	€ 30.000	€ 25.000
Vuilwaterafvoer incl. leidingwerk	€ 12.500	€ 12.500
E/PA aansluiting Meri	€ 140.000	€ 140.000
3. Gebouw	€ 300.000	€ 300.000
4. Containers op vloeistofdichte vloer	€ 60.000	€ 60.000
5. Aanpassing PLC's/SCADA		
PLC's	€ 25.000	€ 25.000
SCADA	€ 10.000	€ 10.000
Subtotaal leveranties	€ 2.035.000	€ 1.817.500
Aannemerskosten (AK, ABK, Winst en risico): 15%	€ 508.750	€ 454.375
Onvolledigheid (25%)	€ 635.938	€ 567.969
Totale bouwkosten excl. btw	€ 3.179.688	€ 2.839.844
Stichtingskosten incl. btw (opslagfactor 2,0)	€ 6.359.375	€ 5.679.688
Kapitaalslasten W	€ 309.066	€ 276.033
Kapitaalslasten C	€ 122.100	€ 109.050
Kapitaalslasten totaal	€ 431.166	€ 385.083

BIJLAGE 6

BUSINESS CASES

			CT		CT		Roterende bandzeef
			Leeuwarden		NL gemiddeld		NL gemiddeld
			100.000 i.e		100.000 i.e		100.000 i.e
Influent							
jaardebiet	m ³		10.950.000		7.482.500		7.482.500
Q	m ³ /d		30.000		20.500		20.500
CZV	kg/d		10.800		10.800		10.800
BZV	kg/d		3.600		4.500		4.500
N-kj	kg/d		1.000		1.000		1.000
P-tot	kg/d		200		200		200
zwevende stof	kg/d		4.500		5.500		5.500
i.e. TZV 150 check berekening			102.467		102.467		102.467
BZV/N			3,6		4,5		4,5
TSS/m3			0,150		0,268		0,268
CZV/m3			0,360		0,527		0,527
Effluent							
N-tot	mg/l		10,0		10		10
P-tot	mg/l		1,0		1		1
N-tot	kg/d		300		300		300
P-tot	kg/d		30		30		30
RWA	m3/h		3.125		2.135		2.135
DWA	m3/h		1.250		854		854
Ontwerpdebiet	m3/h		1.563		1.068		1.068
Behandeld debiet	m3/jaar		7.984.375		5.455.990		5.455.990
CZV opgelost/onopgelost			0,40		0,35		0,35
TSS-rendement			33%		45%		37%
CZV-rendement			37%		34%		19%
TSS verwijderd	kg/d		1.499		2.475		2.035
CZV verwijderd	kg/d		3.985		3.694		2.052
Cellulose in aanvoer	kg/d	16%	720	35%	1.925	35%	1.925
Percentage cellulose in fijnzeefgoed	%		30%		52%		60%
Cellulose in fijnzeefgoed	kg/d		450		1.287		1.221
Cellulose door naar biologie	kg/d	38%	270	33%	638	37%	704
Cellulose afgebroken in biologie	kg/d	50%	135	50%	319	50%	352
Cellulose ingebouwd in ds	kg/d	50%	135	50%	319	50%	352
Cellulose CZV afgevangen	kg/d		495		1.416		1.343
Overig CZV afgevangen	kg/d		3.491		2.278		709
CZV afbreekbaar	kg/d	75%	2.618		1.708		532
CZV ingebouwd in ds	kg/d	25%	873		569		177
Huidige slibproductie	kg ds/d		3.900		3.900		3.900
Huidige specifieke slibproductie	kg ds/kg CZV verwijderd		0,35		0,35		0,35
Toekomstige spec. slibproductie	kg ds/d		2.033		2.287		3.010
Totale invloed op slibproductie	kg ds/d		1.867		1.613		890
Invloed op zuurstofinbreng	kg O2/d		2.843		2.352		1.142
Energieverbruik beluchting	kg O2/kWh		4,0		4,0		4,0
Totale besparing beluchting	kWh/d		711		588		286
Business case							
Productie zeefgoed	ton ds/jaar		547		903		743
Besparing energie beluchting	kWh/jaar		259.405		214.613		104.223
Minder slibaivoer	ton ds/jaar		682		589		325
Drogestofpercentage ingedikt slib	% ds		4%		4%		4%
Minder vrachtwagens			604		486		248
Energieverbruik slibontwatering	kWh/ton ds		108		108		108
Besparing energie slibontwatering	kWh/jaar		73.616		63.699		35.091
Polymeerverbruik slibontwatering	kg PE/ton ds		14,0		14,0		14,0
Besparing polymeer slibontwatering	kg PE/jaar		9.543		8.244		4.549
Energieverbruik fijnzeef	kWh/m3		0,088		0,088		0,053
Energieverbruik zeef	kWh/jaar		698.633		477.399		289.167
Spoelwaterverbruik zeef	m3/m3 influent		0,013		0,013		0,010
Spoelwaterverbruik zeef	m3/jaar		103.797		70.928		54.560
Energieverbruik spoelwater 3 bar	kWh/jaar		20.759		14.186		10.912
Energieverbruik spoelwater 6 bar	kWh/jaar						10.912
Kapitaalslasten	€/jaar		€ 169.712		€ 149.054		€ 200.000
Energieverbruik	€/jaar		€ 71.939		€ 49.158		€ 31.099
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	€/jaar	€ 0,100	€ 3.114		€ 2.128		€ 1.637
Onderhoud	€/jaar	3,0%	€ 37.547		€ 32.977		€ 44.248
Personeel	€/jaar		€ 25.000		€ 25.000		€ 25.000
Hygienisatiekosten	€/jaar		€ -		€ -		€ -
Afzet fijnzeefgoed	€/jaar	300,00	€ 164.086		€ 271.013		€ 222.833
Totale kosten €/jaar			€ 471.398		€ 529.329		€ 524.816
Minder slibaivoer (transport ingedikt slib)	€/jaar	€ 90,00	€ 54.323		€ 43.700		€ 22.279
Minder slibaivoer (slibeindverwerking)	€/jaar	€ 300,00	€ 204.489		€ 176.663		€ 97.476
Minder beluchtingsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 25.941		€ 21.461		€ 10.422
Minder slibontwateringsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 7.362		€ 6.360		€ 3.509
Minder polymeer slibontwatering	€/jaar	€ 3,00	€ 28.628		€ 24.733		€ 13.647
Totale besparingen €/jaar			€ 320.743		€ 272.916		€ 147.334
Totale netto kosten €/jaar			€ 150.655		€ 256.413		€ 377.483

		CT		Roterende bandzeef	
		Leeuwarden 300.000 i.e	NL gemiddeld 300.000 i.e	NL gemiddeld 300.000 i.e	NL gemiddeld 300.000 i.e
Influent					
jaardebiet	m ³	32.850.000	22.447.500	22.447.500	
Q	m ³ /d	90.000	61.500	61.500	
CZV	kg/d	32.400	32.400	32.400	
BZV	kg/d	10.800	13.500	13.500	
N-kj	kg/d	3.000	3.000	3.000	
P-tot	kg/d	600	600	600	
zwevende stof	kg/d	13.500	16.500	16.500	
i.e. TZV 150 check berekening		307.400	307.400	307.400	
BZV/N		3,6	4,5	4,5	
TSS/m3		0,150	0,268	0,268	
CZV/m3		0,360	0,527	0,527	
Effluent					
N-tot	mg/l	10,0	10	10	
P-tot	mg/l	1,0	1	1	
N-tot	kg/d	900	900	900	
P-tot	kg/d	90	90	90	
RWA	m3/h	9.375	6.406	6.406	
DWA	m3/h	3.750	2.563	2.563	
Ontwerpdebiet	m3/h	4.688	3.203	3.203	
Behandeld debiet	m3/jaar	23.953.125	16.367.969	16.367.969	
CZV opgelost/onopgelost		0,40	0,35	0,35	
TSS-rendement		37%	45%	37%	
CZV-rendement		33%	34%	19%	
TSS verwijderd	kg/d	4.982	7.425	6.105	
CZV verwijderd	kg/d	10.789	11.081	6.156	
Cellulose in aanvoer	kg/d	16%	2.160	35%	5.775
Percentage cellulose in fijnzeefgoed	%		30%		52%
Cellulose in fijnzeefgoed	kg/d		1.494		3.861
Cellulose door naar biologie	kg/d	31%	666	33%	1.914
Cellulose afgebroken in biologie	kg/d	50%	333	50%	957
Cellulose ingebouwd in ds	kg/d	50%	333	50%	957
Cellulose CZV afgevangen	kg/d		1.644		4.247
Overig CZV afgevangen	kg/d		9.145		6.834
CZV afbreekbaar	kg/d	75%	6.859		5.125
CZV ingebouwd in ds	kg/d	25%	2.286		1.708
Huidige slibproductie	kg ds/d		11.700		11.700
Huidige specifieke slibproductie	kg ds/kg CZV verwijderd		0,35		0,35
Toekomstige spec. slibproductie	kg ds/d		6.799		6.918
Totale invloed op slibproductie	kg ds/d		4.901		4.782
Invloed op zuurstofinbreng	kg O2/d		7.606		7.056
Energieverbruik beluchting	kg O2/kWh		4,0		4,0
Totale besparing beluchting	kWh/d		1.902		1.764
Business case					
Productie zeefgoed	ton ds/jaar		1.818		2.710
Besparing energie beluchting	kWh/jaar		694.066		643.839
Minder slibafvoer	ton ds/jaar		1.789		1.745
Drogestofpercentage ingedikt slib	% ds		4%		4%
Minder vrachtwagens			1.552		1.437
Energieverbruik slibontwatering	kWh/ton ds		108		108
Besparing energie slibontwatering	kWh/jaar		193.196		188.513
Polymeerverbruik slibontwatering	kg PE/ton ds		14,0		14,0
Besparing polymeer slibontwatering	kg PE/jaar		25.044		24.437
Energieverbruik fijnzeef	kWh/m3		0,088		0,088
Energieverbruik zeef	kWh/jaar		2.095.898		1.432.197
Spoelwaterverbruik zeef	m3/m3 influent		0,013		0,013
Spoelwaterverbruik zeef	m3/jaar		311.391		212.784
Energieverbruik spoelwater 3 bar	kWh/jaar		31.139		21.278
Energieverbruik spoelwater 6 bar	kWh/jaar				32.736
Kapitaalslasten	€/jaar		€ 365.484		€ 332.114
Energieverbruik	€/jaar	€ 0,100	€ 212.704		€ 145.348
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	€/jaar	€ 0,030	€ 9.342		€ 6.384
Onderhoud	€/jaar	3,0%	€ 80.859		€ 73.477
Personeel	€/jaar		€ 50.000		€ 50.000
Hygiëniseringskosten	€/jaar		€ -		€ -
Afzet fijnzeefgoed	€/jaar	300,00	€ 545.474		€ 813.038
Totale kosten €/jaar			€ 1.263.863		€ 1.420.359
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	€/jaar	€ 90,00	€ 139.693		€ 129.287
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	€/jaar	€ 300,00	€ 536.655		€ 523.646
Minder beluchtingsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 69.407		€ 64.384
Minder slibontwateringsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 19.320		€ 18.851
Minder polymeer slibontwatering	€/jaar	€ 3,00	€ 75.132		€ 73.310
Totale besparingen €/jaar			€ 840.207		€ 809.479
Totale netto kosten €/jaar			€ 423.657		€ 610.880

			CT + EF		Roterende bandzeef	
			Leeuwarden	NL gemiddeld		NL gemiddeld
			100.000	100.000		100.000
Influent						
jaardebiet	m ³		10.950.000	7.482.500		7.482.500
Q	m ³ /d		30.000	20.500		20.500
CZV	kg/d		10.800	10.800		10.800
BZV	kg/d		3.600	4.500		4.500
N-kj	kg/d		1.000	1.000		1.000
P-tot	kg/d		200	200		200
zwevende stof	kg/d		4.500	5.500		5.500
i.e. TZV 150 check berekening			102.467	102.467		102.467
BZV/N			3,6	4,5		4,5
TSS/m3			0,150	0,268		0,268
CZV/m3			0,360	0,527		0,527
Effluent						
N-tot	mg/l		10,0	10		10
P-tot	mg/l		1,0	1		1
N-tot	kg/d		300	300		300
P-tot	kg/d		30	30		30
RWA	m3/h		3.125	2.135		2.135
DWA	m3/h		1.250	854		854
Ontwerpdebiet	m3/h		1.563	1.068		1.068
Behandeld debiet	m3/jaar		7.984.375	5.455.990		5.455.990
CZV opgelost/onopgelost			0,40	0,35		0,35
TSS-rendement			21%	35%		37%
CZV-rendement			15%	23%		19%
TSS verwijderd	kg/d		945	1.925		2.035
CZV verwijderd	kg/d		1.620	2.484		2.052
Cellulose in aanvoer	kg/d	16%	720	35%	1.925	1.925
Percentage cellulose in fijnzeefgoed	%		58%		72%	60%
Cellulose in fijnzeefgoed	kg/d		548		1.386	1.221
Cellulose door naar biologie	kg/d	24%	172	28%	539	704
Cellulose afgebroken in biologie	kg/d	50%	86	50%	270	352
Cellulose ingebouwd in ds	kg/d	50%	86	50%	270	352
Cellulose CZV afgevangen	kg/d		603		1.525	1.343
Overig CZV afgevangen	kg/d		1.017		959	709
CZV afbreekbaar	kg/d	75%	763		720	532
CZV ingebouwd in ds	kg/d	25%	254		240	177
Huidige slibproductie	kg ds/d		3.900		3.900	3.900
Huidige specifieke slibproductie	kg ds/kg CZV verwijderd		0,35		0,35	0,35
Toekomstige slibproductie	kg ds/d		3.240		2.946	3.010
Totale invloed op slibproductie	kg ds/d		660		954	890
Invloed op zuurstofinbreng	kg O2/d		1.037		1.413	1.142
Energieverbruik beluchting	kg O2/kWh		4,0		4,0	4,0
Totale besparing beluchting	kWh/d		259		353	286
Business case						
Productie zeefgoed	ton ds/jaar		345		703	743
Besparing energie beluchting	kWh/jaar		94.614		128.895	104.223
Minder slibafvoer	ton ds/jaar		241		348	325
Drogstofpercentage ingedikt slib	% ds		4%		4%	4%
Minder vrachtwagens			201		273	248
Energieverbruik slibontwatering	kWh/ton ds		108		108	108
Besparing energie slibontwatering	kWh/jaar		25.998		37.603	35.091
Polymeerverbruik slibontwatering	kg PE/ton ds		14,0		14,0	14,0
Besparing polymeer slibontwatering	kg PE/jaar		3.370		4.874	4.549
Energieverbruik fijnzeef	kWh/m3		0,088		0,088	0,053
Energieverbruik zeef	kWh/jaar		698.633		477.399	289.167
Spoelwaterverbruik zeef	m3/m3 influent		0,020		0,020	0,010
Spoelwaterverbruik zeef	m3/jaar		159.688		109.120	54.560
Energieverbruik spoelwater 3 bar	kWh/jaar		15.969		10.912	
Energieverbruik spoelwater 6 bar	kWh/jaar					10.912
Kapitaalslasten	€/jaar		€ 198.209		€ 173.738	€ 250.000
Energieverbruik	€/jaar	€ 0,100	€ 71.460		€ 48.831	€ 30.008
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	€/jaar	€ 0,030	€ 4.791		€ 3.274	€ 1.637
Onderhoud	€/jaar	3,0%	€ 43.852		€ 38.438	€ 55.310
Personeel	€/jaar		€ 25.000		€ 25.000	€ 25.000
Hygienisatiekosten huur installatie	€/jaar		€ 45.000		€ 46.000	€ 48.000
Hygienisatiekosten dosering permierzuur	€/jaar	€ 56	€ 19.316	€ 56	€ 39.347	€ 168
Totale kosten €/jaar			€ 407.627		€ 374.627	€ 534.741
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	€/jaar	€ 90,00	€ 18.046		€ 24.574	€ 22.279
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	€/jaar	€ 300,00	€ 72.216		€ 104.453	€ 97.476
Minder beluchtingsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 9.461		€ 12.890	€ 10.422
Minder slibontwateringsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 2.600		€ 3.760	€ 3.509
Minder polymeer slibontwatering	€/jaar	€ 3,00	€ 10.110		€ 14.623	€ 13.647
Totale besparingen €/jaar			€ 112.433		€ 160.300	€ 147.334
Totale kosten €/jaar			€ 295.194		€ 214.327	€ 387.407
Opbrengst afzet fijnzeefgoed voor neutrale business case	€/ton ds		€ 856		€ 305	€ 522
Opbrengst afzet fijnzeefgoed voor neutrale business case	€/ton 40%		€ 342		€ 122	€ 209

			CT + EF		Roterende bandzeef	
			Leeuwarden		NL gemiddeld	NL gemiddeld
			300.000 i.e		300.000 i.e	300.000 i.e
Influent						
jaardebiet	m ³		32.850.000		22.447.500	22.447.500
Q	m ³ /d		90.000		61.500	61.500
CZV	kg/d		32.400		32.400	32.400
BZV	kg/d		10.800		13.500	13.500
N-kj	kg/d		3.000		3.000	3.000
P-tot	kg/d		600		600	600
zwevende stof	kg/d		13.500		16.500	16.500
i.e. TZV 150 check berekening			307.400		307.400	307.400
BZV/N			3,6		4,5	4,5
TSS/m3			0,150		0,268	0,268
CZV/m3			0,360		0,527	0,527
Effluent						
N-tot	mg/l		10,0		10	10
P-tot	mg/l		1,0		1,0	1,0
N-tot	kg/d		900		900	900
P-tot	kg/d		90		90	90
RWA	m3/h		9.375		6.406	6.406
DWA	m3/h		3.750		2.563	2.563
Ontwerpdebiet	m3/h		4.688		3.203	3.203
Behandeld debiet	m3/jaar		23.953.125		16.367.969	16.367.969
CZV opgelost/onopgelost			0,40		0,35	0,35
TSS-rendement			21%		35%	37%
CZV-rendement			15%		23%	19%
TSS verwijderd	kg/d		2.835		5.775	6.105
CZV verwijderd	kg/d		4.860		7.452	6.156
Cellulose in aanvoer	kg/d	16%	2.160	35%	5.775	5.775
Percentage cellulose in fijnzeefgoed	%		58%		72%	60%
Cellulose in fijnzeefgoed	kg/d		1.644		4.158	3.663
Cellulose door naar biologie	kg/d		516	28%	1.617	37%
Cellulose afgebroken in biologie	kg/d	24%	258	50%	809	50%
Cellulose ingebouwd in ds	kg/d	50%	258	50%	809	50%
Cellulose CZV afgevangen	kg/d		1.809		4.574	4.029
Overig CZV afgevangen	kg/d		3.051		2.878	2.127
CZV afbreekbaar	kg/d	75%	2.288		2.159	1.595
CZV ingebouwd in ds	kg/d	25%	763		720	532
Huidige slibproductie	kg ds/d		11.700		11.700	11.700
Huidige specifieke slibproductie	kg ds/kg CZV verwijderd		0,35		0,35	0,35
Toekomstige spec. slibproductie	kg ds/d		9.721		8.838	9.029
Totale invloed op slibproductie	kg ds/d		1.979		2.862	2.671
Invloed op zuurstofinbreng	kg O2/d		3.111		4.238	3.427
Energieverbruik beluchting	kg O2/kWh		4,0		4,0	4,0
Totale besparing beluchting	kWh/d		778		1.059	857
Business case						
Productie zeefgoed	ton ds/jaar		1.035		2.108	2.228
Besparing energie beluchting	kWh/jaar		283.842		386.686	312.670
Minder slibafvoer	ton ds/jaar		722		1.045	975
Drogestofpercentage ingedikt slib	% ds		4%		4%	4%
Minder vrachtwagens			602		819	743
Energieverbruik slibontwatering	kWh/ton ds		108		108	108
Besparing energie slibontwatering	kWh/jaar		77.993		112.809	105.274
Polymeerverbruik slibontwatering	kg PE/ton ds		14,0		14,0	14,0
Besparing polymeer slibontwatering	kg PE/jaar		10.110		14.623	13.647
Energieverbruik fijnzeef	kWh/m3		0,088		0,088	0,053
Energieverbruik zeef	kWh/jaar		2.095.898		1.432.197	867.502
Spoelwaterverbruik zeef	m3/m3 influent		0,020		0,020	0,010
Spoelwaterverbruik zeef	m3/jaar		479.063		327.359	163.680
Energieverbruik spoelwater 3 bar	kWh/jaar		47.906		32.736	
Energieverbruik spoelwater 6 bar						32.736
Kapitaalslasten	€/jaar		€ 431.166		€ 385.083	€ 500.000
Energieverbruik	€/jaar	€ 0,100	€ 214.380		€ 146.493	€ 90.024
Spoelwater (productie + verwerking excl. energie)	€/jaar	€ 0,030	€ 14.372		€ 9.821	€ 4.910
Onderhoud	€/jaar	3,0%	€ 95.391		€ 85.195	€ 110.619
Personeel	€/jaar		€ 50.000		€ 50.000	€ 50.000
Hygienisatiekosten huur installatie	€/jaar		€ 48.000		€ 60.000	€ 62.000
Hygienisatiekosten dosering permierenzuur	€/jaar	€ 56	€ 57.947	€ 56	€ 118.041	€ 168
Totale kosten €/jaar			€ 911.256		€ 854.633	€ 1.191.912
Minder slibafvoer (transport ingedikt slib)	€/jaar	€ 90,00	€ 54.138		€ 73.722	€ 66.838
Minder slibafvoer (slibeindverwerking)	€/jaar	€ 300,00	€ 216.647		€ 313.358	€ 292.428
Minder beluchtingsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 28.384		€ 38.669	€ 31.267
Minder slibontwateringsenergie	€/jaar	€ 0,100	€ 7.799		€ 11.281	€ 10.527
Minder polymeer slibontwatering	€/jaar	€ 3,00	€ 30.331		€ 43.870	€ 40.940
Totale besparingen €/jaar			€ 337.300		€ 480.899	€ 442.001
Totale netto kosten €/jaar			€ 573.956		€ 373.734	€ 749.911
Opbrengst afzet fijnzeefgoed voor neutrale business case	€/ton ds		€ 555		€ 177	€ 337
Opbrengst afzet fijnzeefgoed voor neutrale business case	€/ton 40%		€ 222		€ 71	€ 135