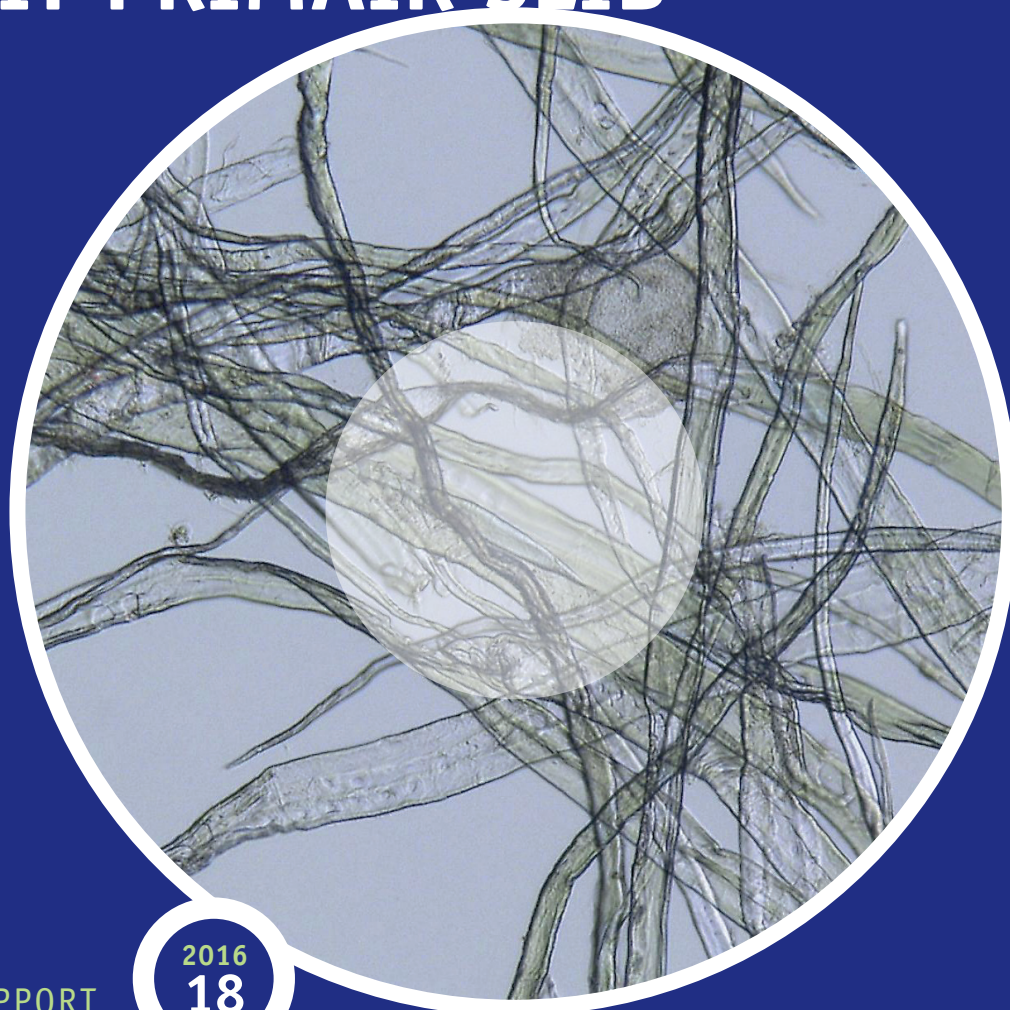


VERKENNING HAALBAARHEID TERUGWINNING CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB



RAPPORT

2016

18

VERKENNING HAALBAARHEID TERUGWINNING
CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB

RAPPORT

2016

18

ISBN 978.90.5773.698.8



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Heleen Pinkse, Waterschap Drents Overijsselse Delta
Chris Reijken, Waternet
Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Dirk Koot, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Michiel Adriaanse, Bumaga
Bonnie Bult, Wetterskip Fryslân
Cora Uijterlinde, STOWA

PROJECTUITVOERING

Mirabella Mulder, Mirabella Mulder Waste Water Management
Heleen Pinkse, Waterschap Drents Overijsselse Delta
Chris Reijken, Waternet
Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Dirk Koot, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2016-18
ISBN 978.90.5773.698.8

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

OOK CELLULOSETERUGWINNING UIT PRIMAIR SLIB LIJKT TECHNISCH MOGELIJK

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 Nederlandse waterschappen deelnemen. Vanuit dit platform worden concrete (onderzoeks-)projecten opgestart met als doel terugwinnen van energie en grondstoffen uit rioolwater.

Huishoudelijk afvalwater bevat aanzienlijke hoeveelheden cellulose afkomstig van wc-papier. Cellulose wordt in oorsprong geproduceerd uit natuurlijke bron (hout), is meerdere keren recyclebaar en heeft als grondstof economische waarde. Door terugwinning kan huishoudelijk afvalwater een bron van secundair cellulose zijn. Terugwinning met behulp van influent-zeven wordt momenteel op meerdere rwzi's voorbereid en/of toegepast.

Op rwzi's met voorbezinking bevatten de afgescheiden bezinkbare delen, het zogenaamde primair slib, veel cellulosevezels. In dit onderzoek is verkend wat de mogelijkheden zijn om cellulose uit primair slib terug te winnen, zowel technisch als financieel.

Op basis van onderhavig onderzoek, lijkt het zeer aannemelijk dat 35-40% van primair slib uit vezels bestaat; deze vezels bestaan voor 50-80% uit cellulose. De hoeveelheid terug te winnen cellulosevezels uit primair slib van de waterschappen wordt ingeschat op circa 40.000-65.000 ton drogestof per jaar. Door inzet van relatief eenvoudige technieken, bekend vanuit de papierindustrie, zou een significant deel van de cellulosevezels uit primair slib kunnen worden teruggewonnen. Het verwijderen van de cellulosevezels uit primair slib heeft wel gevolgen voor de hoeveelheid energie die kan worden teruggewonnen: afhankelijk van de mate van biologische afbraak van cellulosevezels in de gisting, kan er minder biogas worden geproduceerd.

Het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib lijkt technisch haalbaar. De opwerkprijs komt naar verwachting redelijk overeen met de afzetwaarde voor cellulosevezels uit primair slib. Of de kwaliteitseisen ook te halen zijn, is nu nog lastig te bepalen. Dit kan alleen worden bepaald, als er voldoende volume wordt geproduceerd aan vezelproduct, waarmee testen kunnen worden uitgevoerd door potentiële afnemers. Bovendien zijn de resultaten in dit rapport gebaseerd op labonderzoek en zullen deze zich in de praktijk moeten bewijzen. Op basis van de resultaten in dit onderzoek, wordt daarom aanbevolen om verder pilotonderzoek uit te voeren. Dit onderzoek dient opgezet en uitgevoerd te worden in samenwerking met potentiële afnemers. De schaalgrootte van deze pilot moet dermate groot zijn, dat resultaten kunnen worden doorvertaald naar een praktijksituatie.

Inmiddels is door de EFGF een traject gestart om concrete doelstellingen en ontwikkelscenario's op te stellen voor de top 5 grondstoffen, waaronder cellulose. Dit project maakt de ambities van de Nederlandse watersector op gebied van cellulosesterugwinning duidelijk.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

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. Tot nu toe wordt voor het terugwinnen van cellulose(vezels) uit rioolwater voornamelijk onderzoek gedaan naar de inzet van fijnzeven met een maaswijdte van circa 0,3-0,5 mm op het influent van rwzi's. Op rwzi's met voorbezinking bevatten de afgescheiden bezinkbare delen, het zogenaamde primair slib, naar verwachting ook veel cellulosevezels. In dit onderzoek wordt daarom verkend wat de mogelijkheden zijn om cellulose uit primair slib terug te winnen, zowel op technisch als financieel gebied.

De doelstelling van dit onderzoek is het verkennen van de mogelijkheden om cellulosevezels rendabel terug te winnen uit primair slib op rwzi's met voorbezinking. De volgende onderzoeksvragen staan hierin centraal:

- 1 Hoeveel vezels bevat primair slib? Welk gedeelte hiervan is cellulose?*
- 2 Kunnen cellulosevezels worden afgescheiden van primair slib? Wat is de technische haalbaarheid hiervan?
- 3 Wat is de invloed van de terugwinning van deze cellulosevezels op de waterlijn en sliblijn van de rwzi?
- 4 Wat is de financiële haalbaarheid van de terugwinning van cellulosevezels uit primair slib? 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? Welke kosten zijn gemoeid met de afscheiding van cellulosevezels van primair slib en de benodigde opwerkstappen in relatie tot de mogelijke opbrengsten?

Op basis van het onderzoek in dit rapport, lijkt het zeer aannemelijk dat 35-40% van primair slib uit vezels bestaat; deze vezels bestaan voor 50-80% uit cellulose. Daarnaast bevatten deze vezels een klein aandeel hemicellulose en lignine en een zeer klein deel organische verontreinigingen. Deze vezels zijn goed vergelijkbaar met papiervezels, welke tevens bestaan uit een groot deel cellulose en een kleiner deel hemicellulose en lignine. De combinatie van cellulose, hemicellulose en lignine, zoals dit ook in plantaardig materiaal voorkomt, wordt in dit rapport de ‘cellulosevezel’ genoemd.

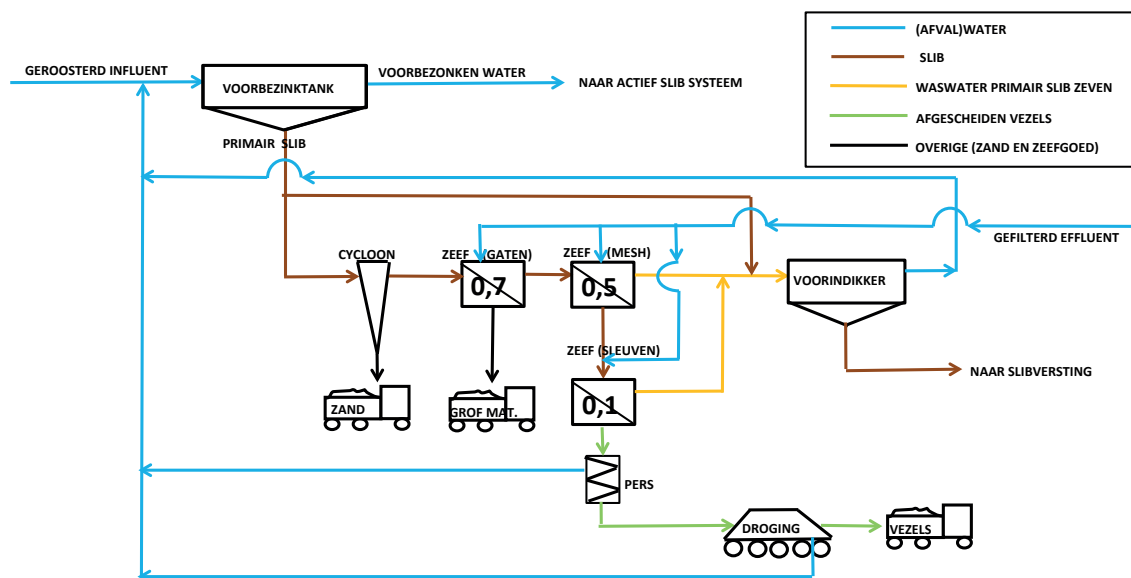
Door inzet van relatief eenvoudige technieken, bekend vanuit de papierindustrie, zou een significant deel van de cellulosevezels uit primair slib kunnen worden teruggewonnen. Voor het terugwinnen van cellulosevezels kan, op basis literatuur- en labonderzoek in dit rapport, worden uitgegaan van een proceslijn met achtereenvolgens:

- Cyclonage om te voorkomen dat grove deeltjes en zand doorslaan naar de achterliggende installaties.
- Zeving met behulp van achtereenvolgens 0,7 mm gaten, 0,5 mm mesh (vierkante gaten) en 0,1 mm sleuven.
- Persing van de afgescheiden vezels tot 30% ds
- Droging van de afgescheiden vezels tot 90% ds

- Tijdens het zeefproces is spoelwater nodig. Hiervoor wordt gefilterd effluent gebruikt.
- De vrijkomende water- en slibstromen worden behandeld in de rwzi (zie figuur a)

FIGUUR A

VEREENVOUDIGD PROCESSCHEMA TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB



Het lijkt technisch haalbaar om, met behulp van bovenstaande proceslijn, een cellulosevezelrijke stroom af te scheiden ter grootte van circa 25% van de drogestof in primair slib. Het gehalte aan cellulose in deze vezels bedraagt 50-80%. Deze teruggewonnen cellulosevezels uit primair slib kenmerken zich door een hoge kwaliteit. De cellulosevezels zijn relatief lang (gemiddeld 1,0-1,1 mm), niet mechanisch of biologisch aangetast en zijn van hoge kwaliteit. Het overgrote deel is afkomstig van doorgespoeld toiletpapier. Daarnaast bevat de teruggewonnen stroom een klein deel cellulosevezels uit (niet verteerde) groente-, fruit- en graanresten en bladafval, synthetische vezels en textielvezels.

Het verwijderen van cellulosevezels uit primair slib heeft gevolgen: afhankelijk van de mate van biologische afbraak van cellulosevezels in de gisting, wordt er hierdoor minder biogas en slib geproduceerd. De mate van biologische afbraak in slibgistingen van cellulosevezels is, net zoals het gehalte aan cellulosevezels in rioolwater, onderwerp van discussie. Vooral nog wordt op basis van (lab)onderzoek bij de TU Delft aangenomen, dat cellulosevezels minder goed vergisten dan primair slib, maar beter dan secundair slib onder mesofiele condities (30-35 graden Celsius).

Het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib lijkt technisch haalbaar. Vervolgens is de financiële haalbaarheid als volgt bepaald:

- Bepaling benodigde installaties, investeringskosten en verbruikskosten (elektriciteit, gefilterd effluent, onderhoud etc.) voor afscheiding van cellulosevezels uit primair slib
- Bepaling invloed verwijdering cellulosevezels uit primair slib op de vermindering van biogas- en slibproductie, uitgaande van een biologische afbreekbaarheid van de cellulosevezels in de mesofiele slibvergisting vergelijkbaar met een gemiddelde samenstelling van primair en secundair slib in te vergisten slib op een Nederlandse rwzi¹
- Bepaling minimale afzetprijs teruggewonnen vezels om binnen 15 jaar de realisatie- en verbruikskosten terug te verdienen.

De kosten voor terugwinning van cellulosevezels uit primair slib wordt ingeschat op € 55 – 130 per ton drogestof vezels voor een schaalgrootte van rwzi Amsterdam West. De gemiddelde opwerkingsprijs van € 90 per ton drogestof ligt hiermee voor rwzi Amsterdam West onder de huidige oud-papierprijs voor verpakkingsmateriaal, zoals karton, van € 108 tot € 120 per ton drogestof. Van de schaalgrootte van rwzi Amsterdam West van circa 1 miljoen i.e. bestaan er maar enkele in Nederland. Ten opzichte van andere biobased materialen, zoals groenteafval, is deze cellulosevezel echter al “losgemaakt” en direct toepasbaar als cellulosevezel in verschillende processen. De afzetmarkt voor deze biobased cellulosevezels kenmerkt zich verder vanwege het “groene karakter”. Hierdoor is een hogere afzetprijs mogelijk dan voor oud-papier. De afzetwaarde voor deze biobased cellulosevezels wordt geschat op € 135-200 per ton drogestof vezels. Ook meer voorkomende middelgrote rwzi’s komen hierdoor in beeld van 300.000 i.e. met centrale slibverwerking. Voor deze middelgrote rwzi’s worden de kosten voor terugwinning van cellulosevezels uit primair slib ingeschat op € 80 - € 180 per ton drogestof vezels.

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek lijkt er in Nederland een aanmerkelijke hoeveelheid cellulosevezels te kunnen worden teruggewonnen uit primair slib: circa 40.000-65.000 ton drogestof per jaar ². De opwerkprijs matcht met de afzetwaarde voor cellulosevezels uit primair slib. Of de kwaliteitseisen ook matchen is lastig te bepalen. Dit kan alleen worden bepaald, als er voldoende volume wordt geproduceerd aan vezelproduct, waarmee testen kunnen worden uitgevoerd door potentiële afnemers. Bovendien zijn de resultaten in dit rapport gebaseerd op labonderzoek en zullen deze zich in de praktijk moeten bewijzen. Op basis van de resultaten in dit onderzoek, wordt daarom aanbevolen om pilotonderzoek uit te voeren naar het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib. Dit onderzoek dient opgezet en uitgevoerd te worden in samenwerking met potentiële afnemers. De schaalgrootte van deze pilot moet dermate groot zijn, dat resultaten kunnen worden doorvertaald naar een praktijksituatie.

2 Uitgaande van 50% voorbezinking van het rioolwater in Nederland en terugwinpercentages van cellulosevezels van 20-30% op basis van drogestof uit primair slib

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.
Cellulose	Cellulose is een polysacharide 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).

Chemische cellulose fractionering	Een kwantitatieve methode om het aandeel cellulose, hemicellulose en lignine te bepalen, door monsters chemisch te fractioneren, op basis van het NDF/ADF/ADL meetprincipe: NDF (Neutral Detergent Fiber) = totaal vezelgehalte (cellulose, hemicellulose en lignine-fractie; lost niet op in neutraal detergens) ADF (Acid Detergent Fiber) = cellulose en lignine fractie (lost niet op in zuur detergens) ADL (Acid Detergent Lignin) = lignine fractie (lost niet op in een sterk zuur) Het verschil tussen ADF en ADL wordt beschouwd als het cellulose deel.
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 indamprest. 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 droge stof op elke 100 g totaal, oftewel in slibachtige stromen 50 gram droge stof per liter).
DWA	Droogweer aanvoer naar een rwzi .
Effluent	Gereinigd rioolwater dat vanuit een rwzi op het oppervlaktewater wordt geloosd.
Fijnzeefgoed	Fractie rijk aan cellulosevezels , die wordt afgescheiden uit influent door fijnzeven met een maaswijdte van circa 0,3-0,5 mm. 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).
Houthoudend papier	Voor houthoudend papier wordt de lignine ('houtstof', een chemische stof uit de celwand van de houtcellen) beperkt verwijderd. De cellulose-vezel 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. Of dit daadwerkelijk het geval is, dient gecontroleerd te worden met chemische cellulose fractionering .
Mesh	Mesh is een maat voor de maaswijdte van een zeef en wordt gedefinieerd door het exacte aantal vierkante openingen per lineaire inch van metaal-draad. 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 $R14 = 1,2 \text{ mm}$; $R 30 = 0,6 \text{ mm}$; $R 50 = 0,3 \text{ mm}$ and $R 100 = 0,15 \text{ mm}$
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 bepaald door het monster te filtreren over 0,45 µm. 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.
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)

Vezelproduct uit primair slib

Fractie rijk aan **cellulosevezels** (meer dan 80% van de drogestof), die wordt afgescheiden uit **primair slib** door een cascade van verschillende typen zeven met een maaswijdte variërend in grootte van 0,7-0,1 mm. Het overgrote deel van de cellulosevezels is afkomstig van toiletpapier. Daarnaast bevat het vezelproduct textielvezels, synthetische **vezels** en cellulosevezels uit (resten) van plantaardig materiaal (groente-, fruit- en graanresten), bladafval en organische slibdeeltjes. De cellulosevezels bevinden zich los in de matrix en zijn dus **ontsloten**.

NB: de dimesionering van het aantal zeven, de volgorde, de zeefwijdten en zeeftypen dienen nog in een praktijkproef te worden vastgesteld.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

VERKENNING HAALBAARHEID TERUGWINNING CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB

INHOUD

TEN GELEIDE

SAMENVATTING

BEGRIPPENLIJST

DE STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Projectaanpak	4
1.4	Leeswijzer	5
2	ACHTERGRONDEN CELLULOSEVEZELS IN RIOOLWATER	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Herkomst cellulosevezels in rioolwater	6
2.3	meetmethoden	8
2.3.1	thermografische analyse	9
2.3.2	Microscopische analyses	10
2.3.3	Mechanische fractionering	12
2.3.4	Chemische fractionering	14
2.3.5	Conclusies metingen cellulosevezels	15
2.4	Effect van afscheiding cellulosevezels uit primair slib	18
3	TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB	21
3.1	Technische haalbaarheid	21
3.1.1	Opzet proceslijn	21
3.1.2	Labonderzoek TU Darmstadt	22
3.1.3	Testen chemische fractionering	24
3.1.4	Testen vergistbaarheid bezinksel waswater	25
3.1.5	Conclusies	25
3.2	Financiële haalbaarheid	25

4	TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN	30
5	SYNTHESE	33
5.1	Inleiding	33
5.2	proceslijn	33
5.3	Invloed op de water- en sliblijn	34
5.4	Financiële haalbaarheid	35
5.5	Kennishiaten	35
5.6	Aanbevelingen	36
6	REFERENTIES	39
7	BIJLAGEN	41
	1. Meetmethoden cellulose	42
	2. NDF/ADF/ADL meetdata	45
	3. Opwerktesten primair slib TU Darmstadt	47
	4. Vergistingstesten waswater/reject TU Darmstadt	56
	5. Ramingen investeringen en jaarlasten	57

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. Tot nu toe wordt voor het terugwinnen van cellulose(vezels) uit rioolwater voornamelijk onderzoek gedaan naar de inzet van fijnzeven met een maaswijdte van 0,35-0,5 mm op het influent van rwzi's. Deze fijnzeven verwijderen droge stof en organische stof uit het influent. Het geproduceerde product wordt fijnzeefgoed genoemd en bevat naast een hoog gehalte aan cellulose (70-80%), 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 en minder slib wordt geproduceerd.
- Het fijnzeefgoed, dat wordt geproduceerd, heeft een hoger drogestofgehalte dan ingedikt zuiveringsslib, waardoor er minder transporten over de weg nodig zijn.
- Door de inzet van fijnzeven wordt er minder slib geproduceerd, wat leidt tot lagere slib-verwerkingskosten, maar ook tot een lagere biogasopbrengst, indien vergisting van secundair slib plaatsvindt.

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]. Het inzetten van een fijnzeef op influent lijkt niet kosteneffectief te zijn op zuiveringen waar al voorbezinking van rioolwater plaatsvindt. Een voorbezinktank verwijdert namelijk al droge en organische stof in vergelijkbare rendementen als een fijnzeef, waardoor er naar verwachting geen voordelen meer te behalen zijn op het gebied van energiebesparing en minder slibproductie in de waterlijn[4].

Een fijnzeef wordt vaak vergeleken met een voorbezinktank, maar het is de vraag of een voorbezinktank dezelfde fracties aan slib verwijdert. In STOWA 2010-19 is een percentage van 25% -32% cellulose in primair slib gemeten op respectievelijk de rwzi's Horstermeer en Ronde Venen. Destijds werd geconcludeerd, dat het voorbezonden overloopwater dan meer cellulose zou moeten bevatten dan het overloopwater van een fijnzeef. Een voorbezinktank en een fijnzeef hebben immers vergelijkbare rendementen op zwevende stof [2]. Aanvullende microscopisch onderzoek op rwzi Den Bosch liet echter zien, dat in voorbezonden overloopwater nauwelijks cellulosevezels worden aangetroffen [21]. Als het primaire slib rijk aan cellulosevezels is, dan zou terugwinning van cellulose uit deze stroom rendabel kunnen zijn. Bijkomend voordeel

is dat de primair slib stroom uit een voorbezinktank vele malen geconcentreerder is dan het influent naar een rwzi, waardoor terugwinning van cellulosevezels wellicht efficiënter kan plaatsvinden. In dit onderzoek wordt daarom verkend wat de mogelijkheden zijn om cellulose uit primair slib terug te winnen, zowel op technisch als financieel gebied.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van dit onderzoek is het verkennen van de mogelijkheden om cellulose rendabel terug te winnen uit primair slib op rwzi's met voorbezinking. De volgende onderzoeksvragen staan hierin centraal:

- 1 Hoeveel vezels bevat primair slib? Welk gedeelte hiervan bestaat uit cellulose?
- 2 Kunnen cellulosevezels worden afgescheiden van primair slib? Wat is de technische haalbaarheid hiervan?
- 3 Wat is de invloed van de terugwinning van deze cellulosevezels op de waterlijn en sliblijn van de rwzi?
- 4 Wat is de financiële haalbaarheid van de terugwinning van cellulosevezels uit primair slib? 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? Welke kosten zijn gemoeid met de afscheiding van cellulosevezels van primair slib en de benodigde opwerkstappen in relatie tot de mogelijke opbrengsten?

Naar aanleiding van de antwoorden op de onderzoeksvragen kan indicatief de financiële haalbaarheid van het terugwinnen van cellulose uit primair slib worden verkend.

NB: Voor uitleg begrippen cellulose, cellulosevezels en vezels: zie intermezzo hieronder.

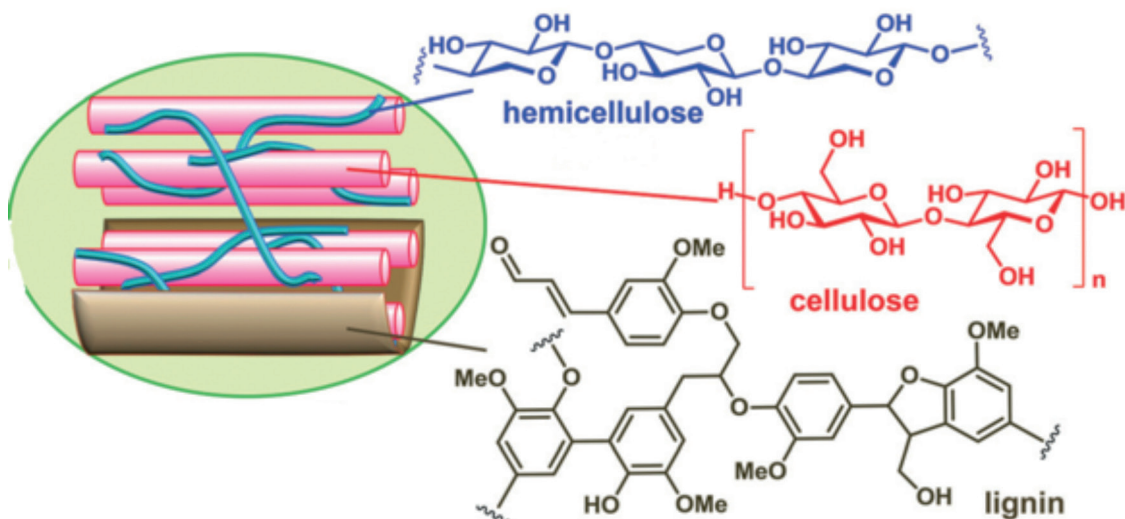
INTERMEZZO BEGRIPPEN RONDOM CELLULOSEVEZELS

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 polysacharide 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 [33]



Cellulosevezels in hout voor papierproductie bestaan voor 47-53% uit cellulose, voor 17-27% uit hemicellulose en voor 19-29% uit lignine[16][17]. 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 papiersoorten, ook voor toilet papier. 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% [30]. 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 [29][30].

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% [31][32].

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 afspoeeling 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 **cellulose-**

vezels 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 toiletpapier, 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 toiletpapier, 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.

1.3 PROJECTAANPAK

Om de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.2 te kunnen beantwoorden zijn de volgende activiteiten verricht:

Opzetten analysemethode bepaling cellulose en cellulosevezels (cellulose, hemicellulose en lignine, zie intermezzo paragraaf 1.2) in primair slib:

- Op basis van eerder onderzoek van Chris Reijken van Waternet zijn verschillende meetmethoden verkend om cellulose(vezels) in primair slib te meten. Gangbare methoden om cellulose(vezels) te meten, zoals gebruikt door de papierindustrie, blijken niet toepasbaar op geconcentreerdere stromen zoals primair slib, vanwege de interferentie van organische stof met de te meten cellulose.
- Op basis van de verkenning van analysemethoden, is een methode geselecteerd, welke is toegepast op monsters van primair slib van twee verschillende rwzi's (Amsterdam en Zwolle). De resultaten zijn vervolgens geïnterpreteerd en gebruikt om het gehalte aan cellulose(vezels) te bepalen in primair slib.

Opzetten proceslijn voor het afscheiden van cellulosevezels uit primair slib:

- Allereerst is op basis van een deskstudie een proceslijn ontwikkeld, waarmee naar ver-

wachting op een rendabele wijze cellulosevezels uit primair slib kunnen worden teruggewonnen.

- De proceslijn, zoals ontworpen in de deskstudie, is op labschaal getest op effectiviteit en efficiëntie bij de faculteit papiertechnologie van de TU Darmstadt.

Bepalen invloed terugwinning cellulosevezels uit primair slib op de water- en sliblijn:

- Op basis van literatuuronderzoek is bepaald welke invloed de afscheiding van cellulosevezels uit rioolwater kan hebben op de processen in de water- en sliblijn van een rwzi.
- De labexperimenten bij de TU Darmstadt resulteerden in twee fracties: de accept (teruggewonnen stroom rijk aan cellulosevezels) en de reject (sterk verdunde slibstroom/waswater die retour wordt gestuurd naar de sliblijn van de rwzi voor verdere behandeling). Op deze laatste fractie zijn batchgewijze vergistingstesten uitgevoerd.
- Op basis van de resultaten uit de cellulosebepalingen, de labexperimenten en de vergistingstesten zijn massabalansen opgesteld, waarmee kan worden bepaald hoeveel cellulosevezels kunnen worden teruggewonnen uit primair slib en welk deel van de cellulosevezels terecht komen in de water- en sliblijn van de rwzi. Hiervan is ingeschat welke invloed dit heeft op de zuiveringsprocessen.

Bepalen kosten voor het afscheiden en opwerken van cellulosevezels uit primair slib in relatie tot de opbrengsten van dit (half)fabrikaat voor de markt

- Bepaling benodigde installaties, investeringskosten en verbruikskosten (elektriciteit, gefilterd effluent, onderhoud etc.) voor afscheiding van cellulosevezels uit primair slib.
- Bepaling invloed verwijdering cellulosevezels uit primair slib op de vermindering in biogas- en slibproductie.
- Bepaling minimale afzetprijs teruggewonnen vezels om binnen 15 jaar de realisatie- en verbruikskosten terug te verdienen.
- Verkenning mogelijkheden toepassing teruggewonnen vezels uit primair slib met marktpartijen op basis van de verkregen kwaliteit in de labexperimenten van TU Darmstadt.

Dit onderzoek is uitgevoerd door de projectgroep terugwinning cellulose uit primair slib, waarin Waternet, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Waterschap Aa en Maas en Hoogheemraadschap Hollands Noorder Kwartier zijn vertegenwoordigd. Mirabella Mulder Waste Water Management heeft de projectleiding en rapportage verzorgd.

1.4 LEESWIJZER

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de achtergronden ten aanzien van de hoeveelheid cellulose(vezels) in rioolwater en hoe de hoeveelheid cellulosevezels gekwantificeerd kan worden. Ook wordt ingegaan op de invloed, die het afscheiden van deze cellulosevezels heeft, op de processen die plaatsvinden in een rwzi op basis van literatuuronderzoek. Daarna wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de technische en financiële haalbaarheid van het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op de toepassingsmogelijkheden van teruggewonnen cellulosevezels uit primair slib. Tenslotte bestaat hoofdstuk 5 uit een synthese van alle resultaten in relatie tot de gestelde onderzoeksvragen, inclusief aanbevelingen die hieruit voortkomen.

2

ACHTERGRONDEN CELLULOSEVEZELS IN RIOOLWATER

2.1 INLEIDING

De hoeveelheid cellulosevezels, die zich in influent van rwzi's en primair slib bevindt, is onderwerp van discussie. Uit onderzoeken naar fijnzeving van influent op rwzi van de afgelopen jaren zijn de volgende conclusies getrokken:

- De hoeveelheid zwevende stof in het influent van een rwzi bestaat voor gemiddeld 40% uit cellulosevezels verwant aan toiletpapier. Dit komt overeen met een toiletpapiergebruik van 10-14 kg per persoon per jaar[2][8].
- De afbreekbaarheid van cellulosevezels in actief slib en in de gisting lijkt minder te zijn dan overige organische stof die aanwezig is in het influent. Aannamen die zijn gebruikt in verschillende haalbaarheidsstudies voor inzet van fijnzeven, zijn circa 10% afbraak in de winter tot 80% afbraak in de zomer door actief slib. Verder wordt aan afbraak van cellulosevezels dezelfde biogasopbrengst toegerekend als afbraak van secundair slib[2][4].
- Fijnzeefgoed dat wordt afgescheiden uit influent bevat circa 80% cellulosevezels op basis van drogestof; primair slib bevat circa 25-40% cellulosevezels op basis van drogestof [2][8].

Alhoewel de drogestof rendementen van een fijnzeef en een voorbezinktank vergelijkbaar zijn (circa 40-50%), bevat fijnzeefgoed volgens deze onderzoeken dus aanmerkelijk meer cellulosevezels op basis van de droge stof dan primair slib. De destijds gebruikte cellulosebepalingen blijken echter gevoelig voor aanwezigheid van organische stof, waardoor het percentage cellulosevezels in primair slib wellicht niet juist is[8]. Ook de aannamen ten aanzien van celluloseafbraak in actief slib en de gisting zijn lastig in de praktijk vast te stellen[3].

Voor het huidige onderzoek is het van belang om meer inzicht te krijgen in de hoeveelheid cellulosevezels in primair slib. Dit primair slib wordt normaliter vergist, waardoor het zinvol is te weten wat de invloed is van de verwijdering van cellulosevezels uit primair slib op de slibgisting en slibontwatering van een rwzi. Hiervoor is nader onderzoek verricht naar het cellulosevezelgehalte in primair slib en is getracht een betere inschatting te maken van de afbreekbaarheid van cellulosevezels in de gisting. Paragraaf 2.2. gaat in op de bepaling van de hoeveelheid cellulosevezels in primair slib en paragraaf 2.3 op de afbreekbaarheid van cellulosevezels in de gisting.

2.2 HERKOMST CELLULOSEVEZELS IN RIOOLWATER

Cellulosevezels in rioolwater zijn voornamelijk afkomstig van toiletpapier. Toiletpapier, wordt net zoals andere papiersoorten, geproduceerd uit hout. Papier bevat niet alleen cellu-

lose, maar ook lignine en hemicellulose. De hoeveelheid lignine en hemicellulose hangt af van de boomsoort en het gebruikte ontsluitingsproces. De combinatie van cellulose, hemicellulose en lignine, zoals dit ook in plantaardig materiaal voorkomt, wordt in dit rapport de “cellulosevezel” genoemd (zie intermezzo begrippen rondom cellulosevezels in paragraaf 1.2).

Voor het produceren van papier uit hout worden de cellulosevezels ontsloten (losgemaakt) en opgemengd met hulpstoffen en water tot pulp. De gebruikte hulpstoffen bestaan uit product- en processtoffen. Processtoffen zijn nodig voor het productieproces, zoals antischuim- en antislijmmiddelen en pH-regelaars. Productstoffen bepalen de eigenschappen van het geproduceerde product. Dit zijn o.a. bindmiddelen, kleur-, vul- en lijmstoffen en optische witmakers. De papierpulp met hulpstoffen, losgemaakte cellulosevezels en water is de basis voor het maken van papier. De bijdrage van deze hulpstoffen aan het geproduceerde papier hangt af van het gebruikte productieproces en de te maken papiersoort en kan oplopen tot maximaal 50% van de drogestof [16][25][26].

Cellulosevezels in rioolwater zijn voornamelijk afkomstig van toiletpapier. Dit toiletpapier heeft een speciale eigenschap ten opzichte van standaard kopieerpapier en krantenpapier: het valt uit elkaar in water om te voorkomen dat het toiletpapier de riolering verstopt. Voor het maken van toiletpapier worden, net zoals voor andere papiersoorten, hulpstoffen toegevoegd [16][17][18]. Ten opzicht van drogestof is het aandeel van deze hulpstoffen in toiletpapier echter beperkt: maximaal enkele procenten [26]. Toiletpapier is hierdoor wezenlijk verschillend van keukenpapier, zakdoekjes, schoonmaakdoekjes en vochtig toiletpapier, waaraan zogenaamde nat-sterkte middelen worden toegevoegd, zodat het papier niet elkaar valt als het vochtig wordt. Deze doekjes zorgen wel voor verstoppingsproblemen in het riool en op de rwzi. Alhoewel er grote voorlichtingscampagnes zijn geweest, staat de gemiddelde consument hier niet echt bij stil en spoelt bij het schoonmaken van de badkamer en de babyverzorging regelmatig deze doekjes weg via het toilet [34].

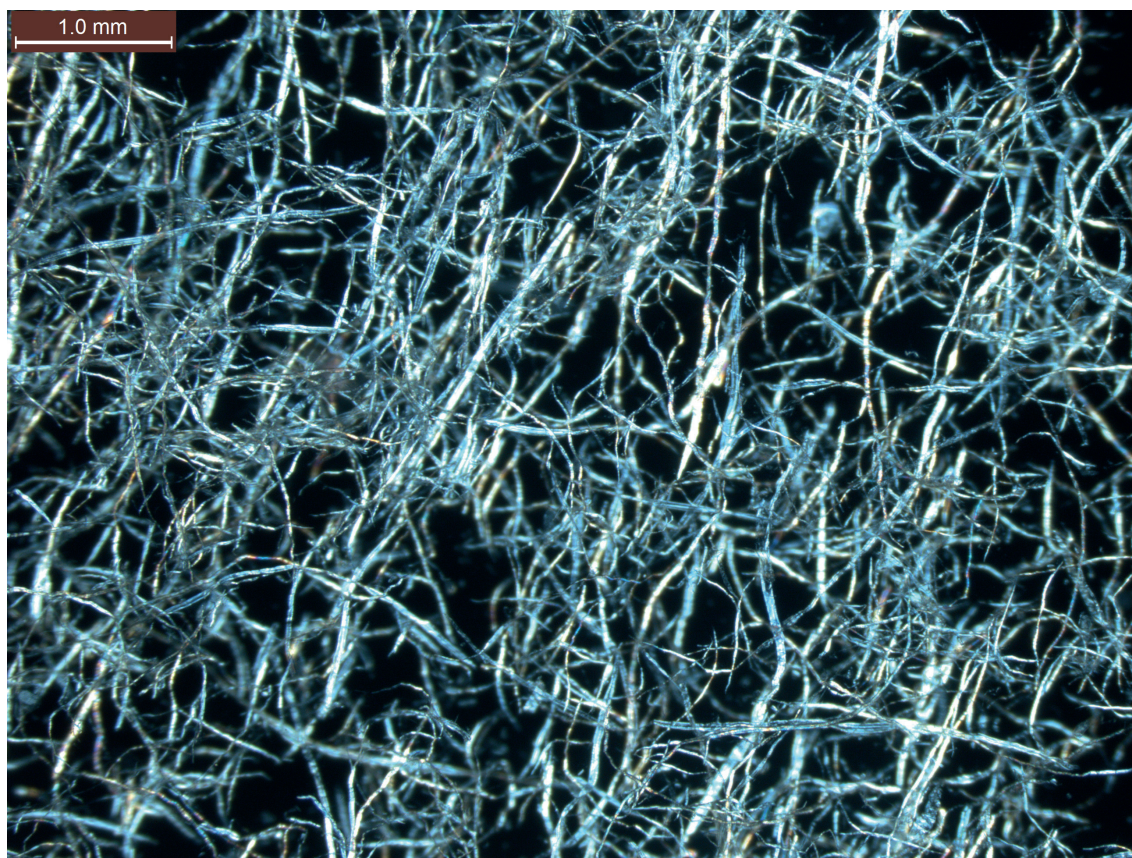
Doorgespoeld toiletpapier wordt vervolgens naar de zuivering getransporteerd. In Nederland wordt het overgrote deel van papier geproduceerd uit zogenaamd ‘oud papier’. Er bestaan veel verschillende soorten “oud-papier”. De fabriek waar het oud papier wordt verwerkt, zal over het algemeen heel gericht de kwaliteit oud papier aankopen, die ze wil verwerken voor de kwaliteit papier die ze wenst te maken. Dit inkoopproces bepaalt dan de samenstelling van de papierpulp [16][17][18][19]. Van het in Nederland gebruikte toiletpapier is over het algemeen meer dan 75% oud-papier gebaseerd en is minder dan 25% uit hout chemisch ontsloten papier [25]. De hoeveelheid micro-verontreinigingen, die zich in toiletpapier bevinden, lijken met name beïnvloed te worden door dit aandeel oud-papier; hoe hoger het aandeel oud-papier hoe hoger het gehalte micro-verontreinigingen. Het gaat hierbij dan met name om zware metalen en weekmakers zoals ftalaten [25][35]. Het aandeel oud-papier ten opzichte hout wordt voornamelijk bepaald door de oud-papierprijs [26] en secundair door de producent (voor zogenaamd ‘kringloop toiletpapier’ wordt geclaimd op de verpakking, dat dit voor 100% geproduceerd is uit oud-papier). Aangezien de oud-papierprijs aan sterke schommelingen onderhevig is, betekent dit dat microverontreinigingen die aangevoerd worden door toiletpapier nauwelijks te bepalen zijn, aangezien het aandeel oud-papier in toiletpapier zeer sterk varieert.

Naast toiletpapier, zijn schoonmaakdoekjes en keukenpapier een bron van cellulosevezels in rioolwater. Cellulosevezels worden echter 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 via de gootsteen of toilet worden weggespoeld in het riool. Deze groente- en graanresten bevatten net zoals hout ook lignine, maar in mindere mate. Hout voor papierproductie bevat circa 20-30% lignine, terwijl bijvoorbeeld tomaten en paprika's 10-20% lignine bevatten en granen zoals gerst en tarwe circa 15-20% [31][32].

Daarnaast komen textielvezels in het riool terecht door het wassen van kleding. Deze textielvezels bestaan op hun beurt weer uit katoen, oftewel cellulosevezels, 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). Experts uit de papierindustrie kunnen goed herkennen welke vezels in een water- of slibmonster bestaan uit cellulosevezels afkomstig uit (oud)papier en welke uit andere natuurlijke of synthetische bronnen. In figuur 2 is een microscopische opname weergegeven van cellulosevezels in toilet papier.

FIGUUR 2 CELLULOSEVEZELS IN TOILETPAPIER, 20X VERGROOT [24]



2.3 MEETMETHODEN

Om te bepalen hoeveel cellulosevezels zich in rioolwater bevinden, kunnen verschillende methoden worden ingezet. Gangbare methoden in de papierindustrie voor kwantificering van cellulosevezels blijken echter lastig inzetbaar voor rioolwater, vanwege de invloed van organische componenten in het rioolwater (vet, graan- en tarwevliesjes en overige componenten uit brood, groente- en fruitresten, zaden, pitjes, slibdeeltjes en overige opgeloste orga-

nische stof). Dit onderzoek richt zich op het gehalte aan cellulosevezels in primair slib waar een grote interferentie optreedt met deze organische stof. Een beperkt aantal methoden lijkt in meer of mindere mate toepasbaar:

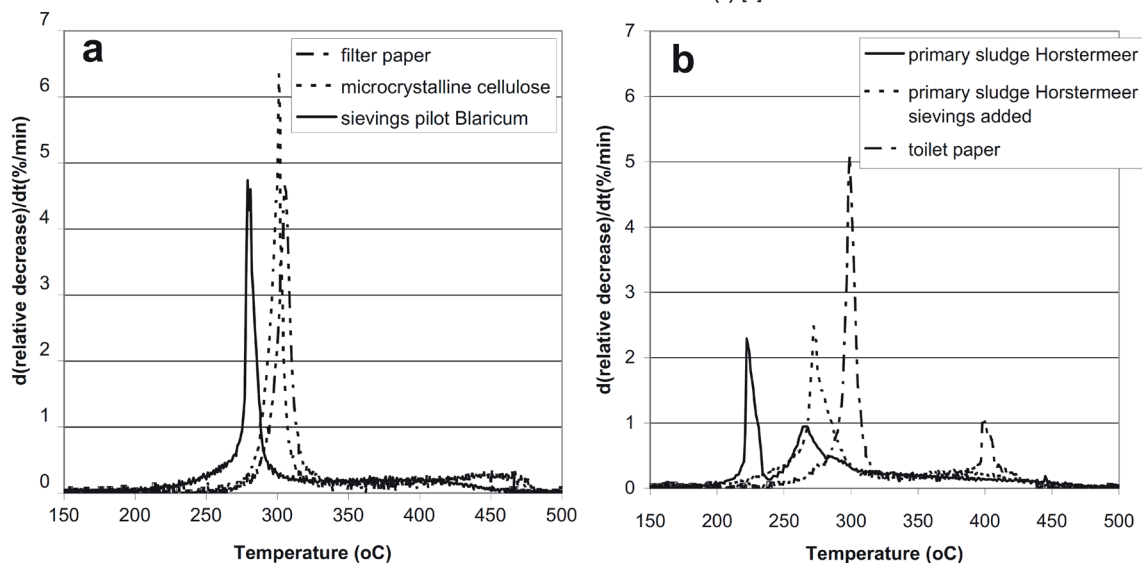
- **Thermografische analyse:** Met deze analyse wordt bepaald wat het gewichtsverlies is van een monster gedurende verhitting bij verschillende temperaturen. De resultaten kunnen worden vergeleken met het oxidatiespectrum van zuivere cellulose.
- **Microscopische analyse:** Met deze analyse wordt bekeken welke vezels zich visueel in het monster bevinden.
- **Fractioneren op deeltjesgrootte:** Met deze analyse worden deeltjes op grootte gescheiden, waarbij zowel gefractioneerd wordt op basis van de diameter van de deeltjes als de lengte-breedte verhouding. Deze fractionering kan worden vergeleken met eigenschappen van cellulosevezels op het gebied van deeltjesgrootte en lengte-breedte verhouding.
- **Chemische fractionering:** bij deze analyse worden drie fracties chemisch van elkaar gescheiden: totale fractie cellulose+hemicellulose+lignine, totale fractie cellulose+lignine en fractie lignine. Hieruit kunnen de fracties cellulose, hemicellulose en lignine herleid worden.

Deze verschillende meetmethoden worden achtereenvolgens in de paragraaf 2.3.1 tot en met 2.3.4 beschreven. In paragraaf 2.3.5 worden de resultaten samengevat.

2.3.1 THERMOGRAFISCHE ANALYSE

De thermografische analyse is gebruikt voor de cellulosebepalingen in het pilot- en praktijkonderzoek van rwzi Blaricum (rapportage 2010). In deze onderzoeken is de samenstelling van zeefgoed en primair slib op het gebied van cellulose met elkaar vergeleken. Met deze thermografische analyse wordt bepaald wat het gewichtsverlies is van een monster gedurende verhitting bij verschillende temperaturen. Cellulose wordt geoxideerd rond 300 °C. In figuur 3 zijn de resultaten weergegeven voor verschillende soorten cellulose (filtreerpapier, zuivere cellulose en toiletpapier) in vergelijking met fijnzeefgoed en primair slib. Cellulose uit filtreerpapier en toiletpapier laten een vergelijkbare piek zien bij 300 °C als het zuivere cellulose. De piek van fijnzeefgoed ligt bij circa 275 °C en van primair slib ligt deze bij 225 °C. Primair slib, waaraan fijnzeefgoed is toegevoegd, laat een piek zien bij 275 °C. In het onderzoek wordt aangenomen dat deze verschuiving van pieken veroorzaakt worden door organische stof. De cellulose zou bij lagere temperaturen oxideren in monsters die veel organische stof bevatten. Dit effect werd waargenomen door boter toe te voegen aan zuiver cellulose [8].

FIGUUR 3 THERMOGRAFISCHE SPECTRA VAN ZUIVER CELLULOSE, FILTREERPAPIER EN FIJNZEFGOED (A) EN PRIMAIR SLIB VAN RWZI HORSTERMEER, PRIMAIR SLIB VAN HORSTERMEER GEMENGD MET FIJNZEFGOED EN TOILETPAPIER (B) [8]



Het oppervlak onder de piek is gelijk aan de massa afname. Het fijnzeefgoed bevat volgens deze methode 79% cellulose op basis van drogestof, primair slib van rwzi Horstermeer 25% op basis van drogestof. Ook van rwzi Ronde Veenen is het primaire slib volgens deze methode geanalyseerd: dit bevatte 32% cellulose op basis van drogestof. Ervan uitgaande dat een fijnzeef en een voorbezinktank een vergelijkbaar verwijderingsrendement hebben voor zwevende stof van 40-50%, betekent dit dat er zich in het voorbezonden water nog een aanzienlijk deel van de cellulosevezels moet bevinden. De fijnzeef is conform dit onderzoek selectiever in het afscheiden van cellulosevezels dan de voorbezinktank. Wel wordt geconcludeerd dat de organische stof in primair slib de meting van cellulosevezels zeer sterk beïnvloedt; de methode wordt accuraat genoeg bevonden voor fijnzeefgoed, maar voor primair slib niet vanwege een te grote mate van verstoring door de organische stof. Daarnaast is het onderzoek uitgevoerd op een beperkt aantal steekmonsters, waardoor het cellulosegehalte onjuist kan zijn [8]. In overleg met de uitvoerder van deze experimenten, Chris Reijken, wordt voor dit onderzoek de thermografische analyse daarom als te onnauwkeurig beschouwd. Deze analyses worden daarom niet verder meegenomen in dit onderzoek in de bepaling van het cellulose(vezel)-gehalte in primair slib [27].

2.3.2 MICROSCOPISCHE ANALYSES

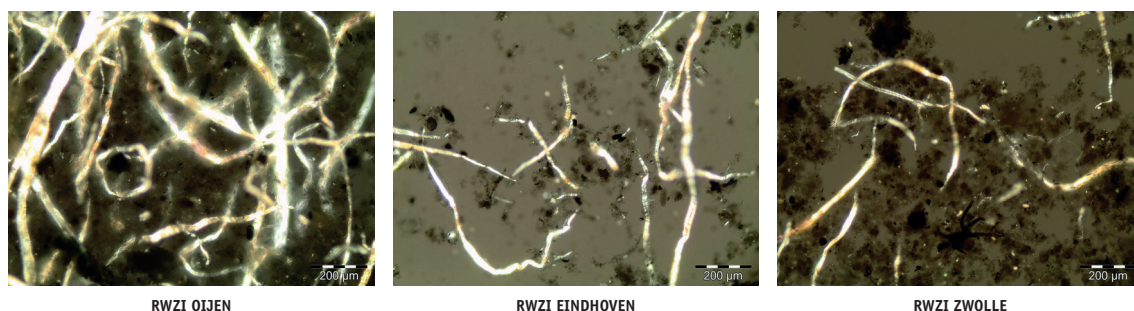
Om beter inzicht te krijgen in het afscheidingsrendement van voorbezinktanks op cellulosevezels, zijn in dit project tijdens droogweert omstandigheden kwalitatieve microscopische metingen verricht op het influent, voorbezonden water en primair slib van een aantal rwzi's. De gebruikte microscoop is een Olympus BX 50 met 45 mm gepolariseerd licht. Door gepolariseerd licht te gebruiken lichten de cellulosevezels op. Er werden in dit onderzoek nauwelijks vezels gedetecteerd in het voorbezonden water. In figuur 4 zijn een aantal resultaten weergegeven van rwzi's Oijen, Eindhoven en Zwolle.

FIGUUR 4 VOORBEELD MICROSCOPISCHE ANALYSES INFLUENT (BOVEN), PRIMAIR SLIB (MIDDEN) EN VOORBEZONKEN WATER (ONDER) VAN RWZI'S OIJEN, EINDHOVEN EN ZWOLLE

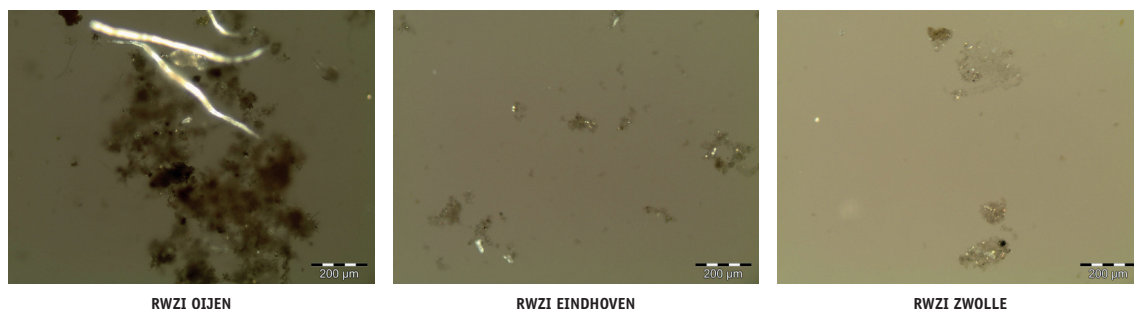
INFLUENT



PRIMAIR SLIB



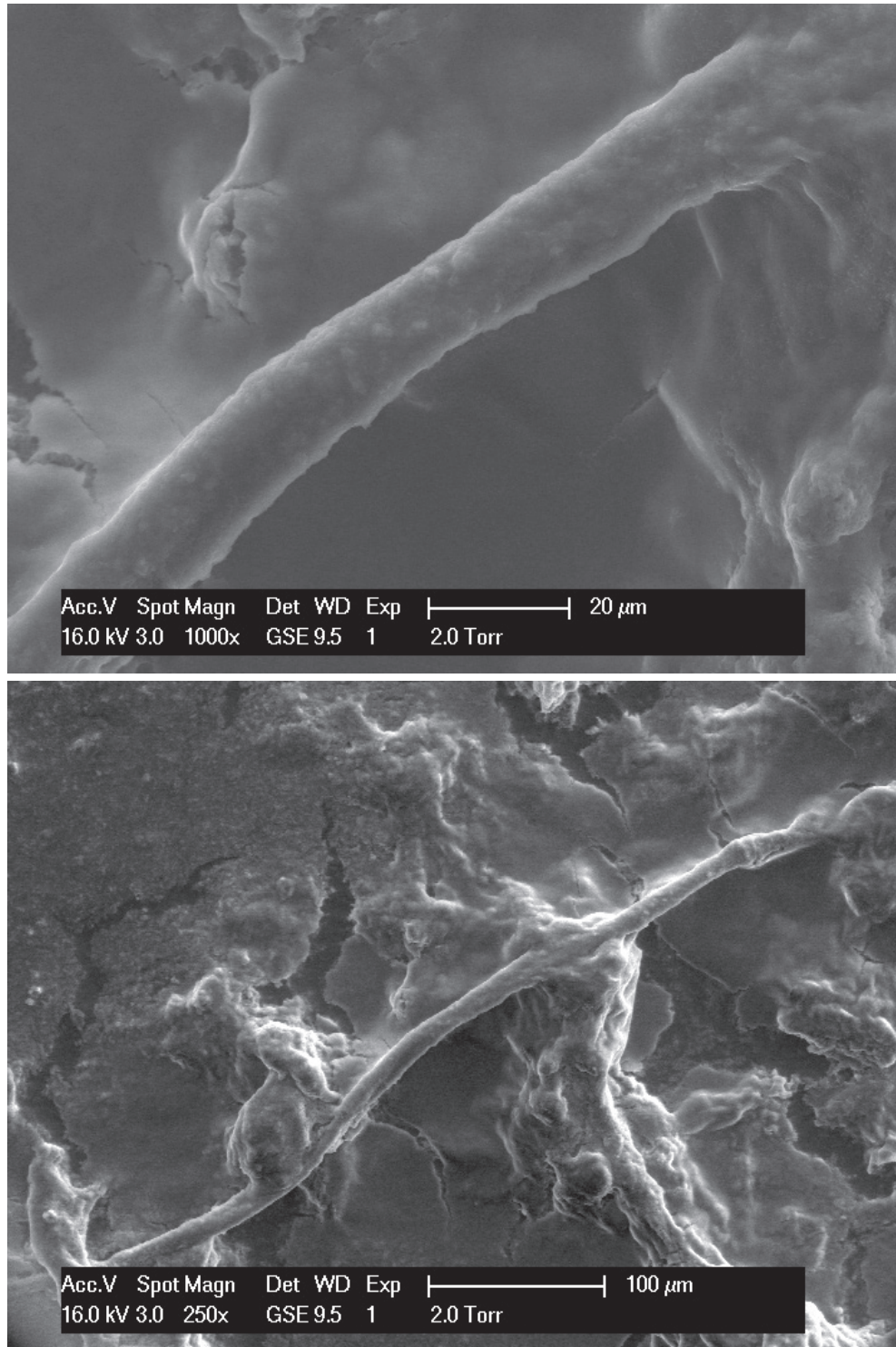
VOORBEZONKEN WATER



Uit de resultaten van het microscopisch onderzoek (zie figuur 4) zou kunnen worden afgeleid dat het verwijderingsrendement van cellulosevezels door een voorbezinktank onder droogweer omstandigheden zeer hoog is (> 80-90%) en dat er maar zeer weinig cellulosevezels doorspoelen via het voorbezonden water naar de waterlijn. In een onderzoek op rwzi Amsterdam West is met een elektronenmicroscop aangetoond, dat er zich vezels bevinden in het actiefslibstelsysteem na voorbezinking (zie figuur 5) [24]. Dit lijkt tegenstrijdig met bovenstaande metingen, maar hoeft dit niet te zijn. Het is wellicht het gevolg van het verminderd werken van de voorbezinktank onder regenweeromstandigheden. Gezien de verblijftijd van actief slib en dus vaste delen in het actiefslibstelsysteem van 10-20 dagen, is niet vast te stellen onder welke omstandigheden deze vezels zijn doorgespoeld vanuit de voorbezinktank. Op een andere rwzi met voorbezinking (Den Bosch) werden nauwelijks vezels gedetecteerd in het actief slib[21].

FIGUUR 5

OPNAMEN ELEKTRONENMICROSCOOP ACTIEF SLIB RWZI AMSTERDAM WEST [24]



Het blijkt lastig te zijn om op basis van de microscopische metingen een kwantitatieve inschatting te geven van het afscheidingsrendement van cellulosevezels door een voorbezinking. In dit onderzoek is daarom verder gezocht naar een methode voor de kwantitatieve bepaling van het aandeel cellulosevezels in primair slib.

2.3.3 MECHANISCHE FRACTIONERING

Een kwantitatieve methode om het aandeel cellulosevezels te bepalen is 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; veel gebruikte apparaten zijn een Clark en een BauerMcNett [14]. Deze apparaten gebruiken hetzelfde principe, waarbij een monster geleid wordt door achter elkaar geplaatste zeven met een afnemende diameter (zie figuur 6).

FIGUUR 6 BAUERMCNETT VEZELCLASSIFICATIE



Door het monster te behandelen in een Clark of BauerMcNett ontstaat een beeld van de grootteverdeling van deeltjes die zich in het monster bevinden. De fractie met deeltjes kleiner dan 1,4 mm en groter dan 0,15 mm wordt de vezelrijke fractie genoemd; door het gedrag van vezels in de machine zullen de vezels van een vezelrijke stroom hierin terecht komen. De fractie groter dan 1,4 mm bevat naar verwachting weinig cellulosevezels³. Of dit het geval is wordt microscopisch gecontroleerd. De resultaten van de metingen aan primair slib in vergelijking met andere stromen zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 1 CLARK FRACTIONERING VAN VERSCHILLENDE MONSTERS INCLUSIEF SPOELTIJD EN GEBRUIKTE EN TERUGGEVONDEN MONSTERHOEVEELHEID; PERCENTAGES F1 T/M F4 = 100% [22]

		Spoeltijd minuut	Gram monster	Terug gevonden Gram / %	F4 > 1,40 mm	F3 0,60 - 1,4 mm	F2 0,30 - 0,6 mm	F1 0,15 - 0,3 mm
1	C1 cellulose pulp	20	18,0	11,0 / 61%	26%	23%	10%	41%
2	C2 cellulose pulp	20	18,0	11,4 / 63%	29%	22%	8%	40%
3	C3 Primair slib Eindhoven	20	47,0	18,9 / 40%	28%	24%	10%	37%
4	C4 Primair slib Eindhoven	20	47,0	15,9 / 34%	33%	14%	11%	42%
5	oud papier	5	4,4	2,0 / 46%	6%	29%	29%	36%
6	Primair slib Eindhoven	5	12,1	3,4 / 28%	4%	19%	10%	67%
7	DAF pilot Eindhoven	5	5,0	2,0 / 40%	3%	25%	16%	57%
8	DAF pilot Eindhoven	5	5,0	2,8 / 53%	2%	21%	15%	63%
9	1 wc papier	5	5,0	3,6 / 71%	0%	28%	25%	47%
10	2 wc papier	5	5,0	3,5 / 70%	0%	20%	20%	60%
11	3 wc papier	5	5,0	3,5 / 69%	0%	28%	27%	45%
12	4 wc papier	15	5,0	2,8 / 56%	0%	13%	11%	77%

- 3 Dit wordt bevestigd door de resultaten van de microscopische analyse van rwzi Amsterdam, waarin primair slib wordt gezeefd met een 3 mm screen. Uit microscopische opnamen gedaan in dit onderzoek, blijkt dat het slib na deze screen nog steeds zeer veel vezels te bevatten; voorbehandeling met een 3 mm screen is dus niet effectief om cellulosevezels uit primair slib te scheiden.

Het blijkt, dat bij Clark fractionering van primair slib, de spoeltijd een belangrijke parameter is. In de papierindustrie wordt standaard 5 minuten gehanteerd. Bij behandeling van primair slib verstopt en versmeert de Clark echter bij deze spoeltijd, waardoor de meting niet betrouwbaar is. Door de spoeltijd te verlengen naar 20 minuten gebeurt dit niet. Maar door deze langere spoeltijd treedt er een verschuiving op naar kleinere fracties en spoelt tevens een groter deel van de vezels uit. Het spoelen heeft als het ware een 'wassend effect': de deeltjes worden niet verkleind, maar wassen makkelijker door naar een kleinere zeefstap. Dit effect is duidelijk te zien in tabel 1 als monster 11 met 12 (beide toilet papier) wordt vergeleken. Bij het behandelen van 5,0 gram monster wordt na 15 minuten spoeltijd 2,8 gram teruggevonden, terwijl bij 5 minuten spoeltijd 3,8 gram wordt teruggevonden. Ook bestaat een groter deel uit zogenaamde fines tussen 0,15 en 0,3 mm bij een langere spoeltijd. Dit probleem kan deels worden ondervangen door meer monster in te zetten, dan de gebruikelijke 5 gram.

Voor primair slib van een rwzi Eindhoven bedraagt het totale vezelgehalte 28% van de drogestof bij een spoeltijd van 5 minuten en 34-40% van de drogestof bij een spoeltijd van 20 minuten. Dit onderzoek is uitgevoerd op 3 verschillende steekmonsters. Hierbij is het gehalte van 34-40% betrouwbaarder, vanwege de langere spoeltijd en de hogere hoeveelheid ingezette drogestof. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vezelgehalten in primair slib waarschijnlijk een onderschatting zijn, vanwege het grote spoelverlies. Daarentegen werd een grote variatie in vervuiling gevonden in fractie F3 (0,6-1,4 mm) in de vorm van tarwe- en graanvliesjes, zaadjes, pitjes etc. De teruggevonden vezels zijn dan ook niet pure papiervezels te noemen maar bevatten verontreinigingen, welke ook deel uitmaken van de teruggevonden drogestof, waarvan sommige delen cellulosevezels bevatten (groente-, fruit-, brood- en graanresten en katoenen textielvezels) en sommige niet, zoals bijvoorbeeld synthetische textielvezels. Het is niet bekend welk gehalte van dit spoelwater cellulosevezels uit (toilet)papier zijn of uit overige bronnen en welk aandeel synthetische vezels zijn.

Conclusie: Op basis van de Clark fractioneringmethode bestaat primair slib voor de twee onderzochte steekmonsters voor meer dan 34-40% van de drogestof uit vezels. Maar ook deze methode is onnauwkeurig en bevat beperkingen. Het is niet duidelijk wat het cellulosegehalte is van de verschillende teruggevonden fracties en de fractie die is weggespoeld. De spoeltijd en ingezette hoeveelheid drogestof beïnvloedt de metingen. Hierdoor zijn de gevonden gehalten alleen een indicatie van de gevonden hoeveelheid totaal vezels en niet voor het aandeel cellulosevezels [27]. In dit onderzoek is daarom verder gezocht naar een methode voor de kwantitatieve bepaling van het aandeel cellulosevezels in primair slib.

2.3.4 CHEMISCHE FRACTIONERING

De hiervoor beschreven methodes zijn maar beperkt geschikt om een goede kwantificering te geven van het aandeel cellulose en cellulosevezels in primair slib. Om te komen tot een betere kwantitatieve methode is onderzoek verricht naar de verschillende methoden door Chris Reijken van Waternet. In bijlage 1 is dit onderzoek samengevat. De methode, die het meest toepasbaar lijkt, is chemische fractionering door middel van de NDF/ADF/ADL meting. Bij deze analyse worden chemisch drie fracties onderscheiden:

- NDF (Neutral Detergent Fiber) = totaal vezelgehalte (cellulose, hemicellulose en lignine-fractie; lost niet op in neutraal detergens)
- ADF (Acid Detergent Fiber) = cellulose en lignine fractie (lost niet op in zuur detergens)
- ADL (Acid Detergent Lignin) = lignine fractie (lost niet op in een sterk zuur)

Het verschil tussen ADF en ADL wordt beschouwd als het cellulose deel.

NB: zoals uitgelegd in paragraaf 1.2 bestaat een cellulosevezel uit cellulose, hemicellulose en lignine. In het meeste toiletpapier wordt het lignine voor het overgrote deel verwijderd, vanwege de kleur. Daarentegen bevat rioolwater meer bronnen van cellulosevezels zoals niet-gebleekt toiletpapier, papieren doekjes en ander papierafval, bladafval en resten van plantaardig materiaal zoals groente en granen (waaronder tarwe, gerst, spelt, rogge, rijst en maïs). Al deze cellulosevezels worden meegemeten in deze bepaling. Synthetische vezels, die niet bestaan uit cellulose, hemicellulose of lignine, worden niet meegemeten (bijvoorbeeld polyester textielvezels).

Voor het primair slib van de rwzi's Amsterdam en Zwolle is deze bepaling uitgevoerd op respectievelijk 10 monsters en 8 monsters. Daarnaast is van het primaire slib van rwzi Den Bosch op 1 steekmonster deze meting verricht, evenals op fijnzeefgoed van een proef met een Huber® trommelzeef op rwzi Hilversum en de ACT™-test op rwzi Aarle Rixtel. De resultaten van deze metingen zijn samengevat in tabel 2; de ruwe meetdata zijn weergegeven in bijlage 2.

TABEL 2 NDF/ADF/ADL METINGEN PRIMAIR SLIB EN FIJNZEEFGOED; PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF

Soort monster	Locatie	Aantal steek-monsters	Cellulose (%)	Hemi-cellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulose-vezel (%)
Primair slib	Amsterdam	10	17,0 ± 4,0	9,4 ± 1,0	8,3 ± 2,0	34,7 ± 2,0
Primair slib	Zwolle	8	21,0 ± 5,0	10,3 ± 1,0	6,9 ± 1,0	38,2 ± 5,0
Primair slib	Den Bosch	1	31,0	5,0	2,1	38,1
Fijnzeefgoed trommelzeef	Hilversum	7	54,4 ± 10,0	5,3 ± 1,0	5,0 ± 1,5	69,7 ± 10,0
Fijnzeefgoed Recylose™ ACT [20]	Aarle-Rixtel	1	65,0	11,4	5,3	81,7

Conform de NDF/ADF/ADL methode bestaat 34-38% van de drogestof in primair slib uit cellulosevezels. Voor de rwzi's Amsterdam en Zwolle bestaat hiervan circa 53% uit cellulose, 27% uit hemicellulose en circa 20% uit lignine. Voor rwzi Den Bosch ligt het gehalte cellulose hoger op 80% en de gehalten hemicellulose en lignine lager (respectievelijk 13% en 6%). Het gehalte aan lignine ligt dus hoger voor primair slib van de rwzi's Amsterdam en Zwolle dan voor rwzi Den Bosch. Ook in vergelijking met fijnzeefgoed bevatte het primaire slib van rwzi's Amsterdam en Zwolle veel lignine. Dit verschil kan veroorzaakt worden door het jaargetijde waarin het monster is genomen: het primairs slib van de rwzi's Amsterdam en Zwolle is bemonsterd in een periode met bladval en afspoelend tuinafval (eind juli tot begin september), terwijl de monsters voor rwzi Hilversum en Den Bosch zijn genomen in respectievelijk december en maart, waarin dit niet het geval is. Met zekerheid valt dit echter niet te zeggen, ook de samenstelling van het rioolwater en het primair slib, de monsternamemethode en de analysenauwkeurigheid kunnen het resultaat beïnvloeden.

2.3.5 CONCLUSIES METINGEN CELLULOSEVEZELS

Uit de diverse onderzoeken naar cellulosevezels in primair slib komt het volgende naar voren:

- Op basis van mechanische fractionering bevat primair slib meer dan 34-40% van de drogestof aan vezels tussen 0,15 mm en 1,4 mm. Deze waarden zijn echter puur indicatief, vanwege de onnauwkeurigheid in de analysemethode (zie paragraaf 2.2.4).
- Op basis van chemische fractionering (NDF/ADF/ADL) bevat primair slib 34-38% van de drogestof aan cellulosevezels. Deze cellulosevezels bestaan voor 50-80% uit cellulose, 13-27% uit hemicellulose en 5-24% uit lignine.

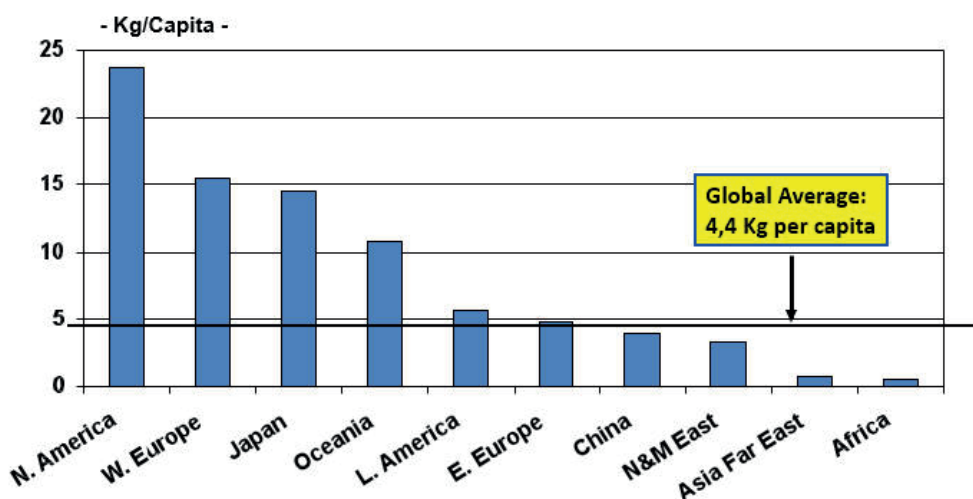
De gehalten totaal vezel en cellulosevezel liggen op basis van deze twee meetmethoden dicht bij elkaar (circa 35-40%). Alhoewel bovenstaande conclusies zijn getrokken op verschillende monsters en meetmethoden, lijkt het zeer aannemelijk dat 35-40% van de drogestof in primair slib uit vezels bestaat en dat deze vezels veel cellulose bevatten. Het aandeel cellulose in deze vezels varieert tussen 50 en 80%. De vraag is of deze cellulosevezels rendabel kunnen worden teruggewonnen uit primair slib. De wijze waarop dit kan plaatsvinden wordt verder besproken in paragraaf 3.1. In dit hoofdstuk wordt eerst in paragraaf 2.3 ingegaan op de afbreekbaarheid van deze cellulosevezels in de slibgisting, aangezien primair slib normaliter vergist wordt en dit dus de referentiesituatie is voor de berekening van de technische en financiële haalbaarheid.

INTERMEZZO HOEVEELHEID CELLULOSEVEZELS IN RIOOLWATER EN VERWIJDERINGS-RENDEMENTEN

Eerdere schattingen van het toiletpapierverbruik in Nederland uit het fijnzeefonderzoek van rwzi Blaricum kwamen neer op 10-14 kg per persoon per jaar. Het toiletpapierverbruik in de wereld varieert sterk per land en regio. Zo verbruikt een Amerikaan het meeste tissuepapier, waaronder WC-papier (24 kg per persoon per jaar), terwijl in Azië en Afrika het verbruik op slechts 0,5 kg per persoon per jaar ligt (zie figuur 7).

FIGUUR 7

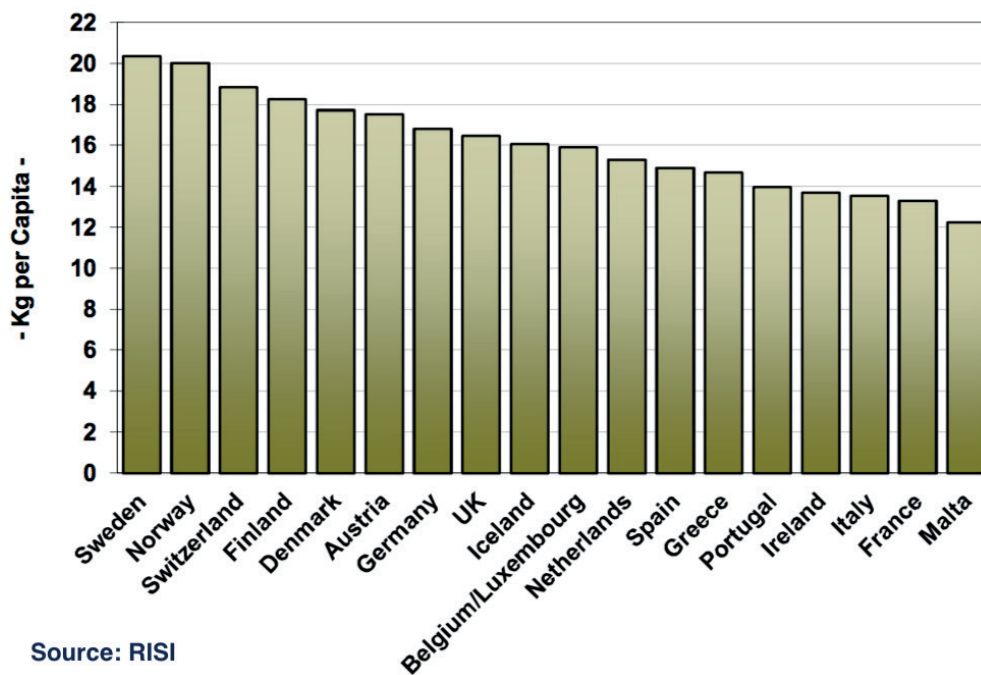
TISSUE VERBRUIK WERELDWIJD PER INWONER PER JAAR, 2011 [18]



Het gemiddelde tissue-verbruik in West-Europ a bedraagt circa 15 kg per persoon per jaar. Ook hier verschilt het verbruik per land: zie figuur 8; het Nederlands gemiddelde komt overeen met het West-Europese gemiddelde van 15 kg per persoon per jaar. Dit bestaat voornamelijk uit toiletpapier en andere papierhoudende doekjes, zoals papieren washandjes, vochtig toiletpapier, babywipes en schoonmaakdoekjes, die worden doorgespoeld via het toilet [19].

FIGUUR 8

TISSUE VERBRUIK IN WEST-EUROPA PER INWONER PER JAAR, 2011 [19]



Source: RISI

Op basis van deze 15 kg per persoon per jaar komt op een gemiddelde zuivering, waar 100.000 inwoners op lozen, 1,5 miljoen kg toiletpapier per jaar binnen. Dit komt overeen met 41 g per persoon per dag. Dit betekent dat 41 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 180 g/d/aangesloten i.e. Hiervan is circa de helft droge stof. Dit betekent dat er 90 g ds/d per aangesloten i.e wordt geloosd door huishoudens en kantoren [36]⁴. Uitgaande van een aanvoer van 41 g ds/d/i.e aan cellulosevezels uit toiletpapier, betekent dit, dat 45% van de drogestofaanvoer naar een Nederlandse rwzi uit toiletpapiervezels bestaat. Een voorbezinktank en een fijnzeef hebben beide een verwijderingsrendement op zwevende stof van circa 50%. Een deel van overige zwevende stof wordt tegengehouden door de roostergoedverwijdering en de fijnzeef of voorbezinktank en een deel slaat door via het overloopwater van de fijnzeef of voorbezinktank.

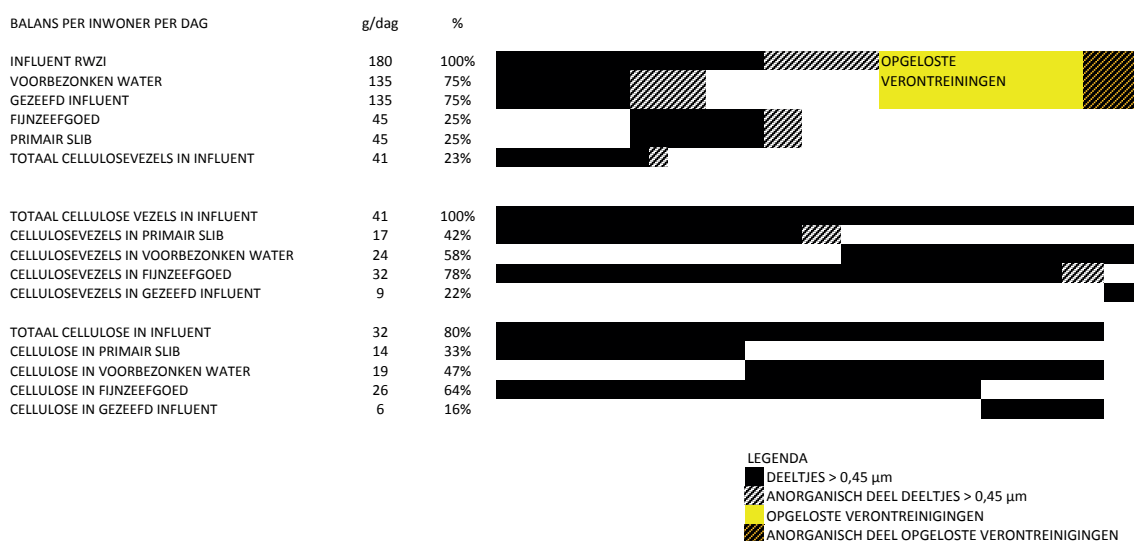
Een voorbezinktank en fijnzeef scheiden op basis van het voorgaande 45 g zwevende stof uit influent van een rwzi af per dag per inwoner. Als alle cellulosevezels worden afgescheiden door een fijnzeef en een voorbezinktank, dan zou deze 45 g voor 90% uit cellulosevezels moeten bestaan (uitgaande van 41 gram wat een inwoner jaarlijks loost aan toiletpapier). In het fijnzeefgoed is in Blaricum, Hilversum en Aarle-Rixtel een gehalte aan cellulosevezels van 60-80% van de droge stof gemeten. Uit het gepresenteerde onderzoek in hoofdstuk 2 komt een gehalte van 35-40% aan cellulosevezels in primair slib naar voren op basis van drogestof. De verklaring voor deze lagere gehalten, dan maximaal theoretisch berekend, is dat niet alle cellulosevezels worden afgescheiden en dat een deel in het roostergoed en een deel in het overloopwater van de zeef of voorbezinktank terecht komt.

⁴ Deze 90 gram drogestof per inwoner per dag is gecorrigeerd voor een industriële aanvoer naar een rwzi van gemiddeld 20% (CBS 2013)

In welke mate cellulosevezels in het afgescheiden fijnzeefgoed of primair slib terecht komen, danwel in het overloopwater, lijkt af hangen van de selectiviteit waarmee deze cellulosevezels worden afgescheiden. Dit is uitgewerkt in onderstaand rekenvoorbeeld (zie ook figuur9):

- 1 Bij 50% verwijderingsrendement wordt 45 g ds/d/i.e. aan drogestof afgescheiden door een voorbezinktank of een fijnzeef.
- 2 Op basis van een cellulosevezelgehalte in fijnzeefgoed van 60-80%, bevat het fijnzeefgoed gemiddeld 32 g ds/d/i.e cellulosevezels. In totaal werd er 41 g ds/d/i.e aan cellulosevezels aangevoerd aan toilet papier. Dit betekent dat de cellulosevezels uit toilet papier voor een groot deel terecht zijn gekomen in het fijnzeefgoed (circa 75%).
- 3 Op basis van een celulosevezelgehalte in primair slib van 35-40% bevat het primair slib gemiddeld 17 g ds/d/i.e cellulosevezels. In totaal werd er 41 g ds/d/i.e aan cellulosevezels aangevoerd aan toilet papier. Dit betekent dat circa 40% van de cellulosevezels uit toilet papier terecht zijn gekomen in het primair slib.

FIGUUR 9 REKENVOORBEELD



Uit figuur 9 blijkt duidelijk dat, als de aannames correct zijn, er meer cellulosevezels in fijnzeefgoed terecht komen dan in primair slib, bij hetzelfde afscheidingsrendement van onopgeloste bestanddelen van 50% uit influent in een rwzi.

In bovenstaande berekening zitten zeer veel aannames zoals gemiddelde waarden voor toiletpapierverbruik, zwevende stof aanvoer naar een rwzi, afscheidingsrendementen van voorbezinktanks en fijnzeven en cellulose(vezel)-gehaltes van primair slib en fijnzeefgoed. De onderlinge vergelijking geeft echter wel een indicatie, dat een fijnzeef selectiever is op afscheiding van cellulosevezels dan een voorbezinktank, op basis van de gepresenteerde meetresultaten in de voorgaande paragrafen.

2.4 EFFECT VAN AFSCHEIDING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB

Het verwijderen van cellulosevezels uit primair slib heeft gevolgen: afhankelijk van de mate van biologische afbraak van cellulosevezels in de gisting, wordt er hierdoor minder biogas en minder slib geproduceerd. De mate van biologische afbraak van cellulosevezels in slibgistingen is, net zoals het gehalte aan cellulosevezels in rioolwater, onderwerp van discussie.

De afbraak van cellulosevezels in communale rwzi's door actief slib systemen en slibgisting is nauwelijks onderzocht in het verleden. De enige referentie is het onderzoek van Verachtert et al uit 1982. In dit onderzoek wordt gesteld dat cellulosevezels voor slechts 60% afbreken in actiefslibsystemen en voor 50% in anaerobe gistingen[9]. De technologie en bedrijfsvoering van actiefslibsystemen en vergisting van slibstromen die hieruit voortkomen, zijn sinds 1982 sterk veranderd. Zo is er tegenwoordig sprake van vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering met daartoe uitgekende ontwerpen van actiefslibsystemen, vaak in combinatie met voorbezinking en gisting van primair slib en secundair slib.

Bij de TU Delft is onderzoek gedaan naar de vergistbaarheid van fijnzeefgoed. Hieruit blijkt dat het fijnzeefgoed minder goed vergist dan primair slib, maar beter dan secundair slib onder mesofiele condities (30-35 graden Celsius). De afbraak van organische stof bedraagt onder labcondities met batchtesten gemiddeld 47% voor primair slib en 37% voor secundair slib in dit onderzoek; de afbraak van zeefgoed bedroeg in deze labexperimenten circa 40%. Dit betekent, dat de biogasopbrengst per ton drogestof fijnzeefgoed vergelijkbaar is met die van slib wat normaal vergist wordt op een Nederlandse rwzi⁵ [10]. In een eerder onderzoek bij Waternet werden vergelijkbare resultaten gevonden. In dit onderzoek naar de afbreekbaarheid van fijnzeefgoed in vergelijking met cellulosevezels in toiletpapier, fijnzeefgoed en primair slib bij Waternet werd geconcludeerd dat maximaal 70% van de CZV in fijnzeefgoed in mesofiele batchtesten kon worden afgebroken ten opzichte van 88% van de CZV in primair slib en cellulose. In hetzelfde onderzoek werd het CZV in toiletpapier ook minder vergaand afgebroken, namelijk voor 65% [15]. Het lijkt erop dat toiletpapier componenten bevat, die slecht afbreekbaar zijn onder mesofiele condities in de gisting, danwel gistingsprocessen kunnen remmen. Ditzelfde fenomeen trad op bij thermofiele gisting, alhoewel de behaalde afbraak en daaraan gerelateerde biogasproducties hier wel hoger waren [10][15].

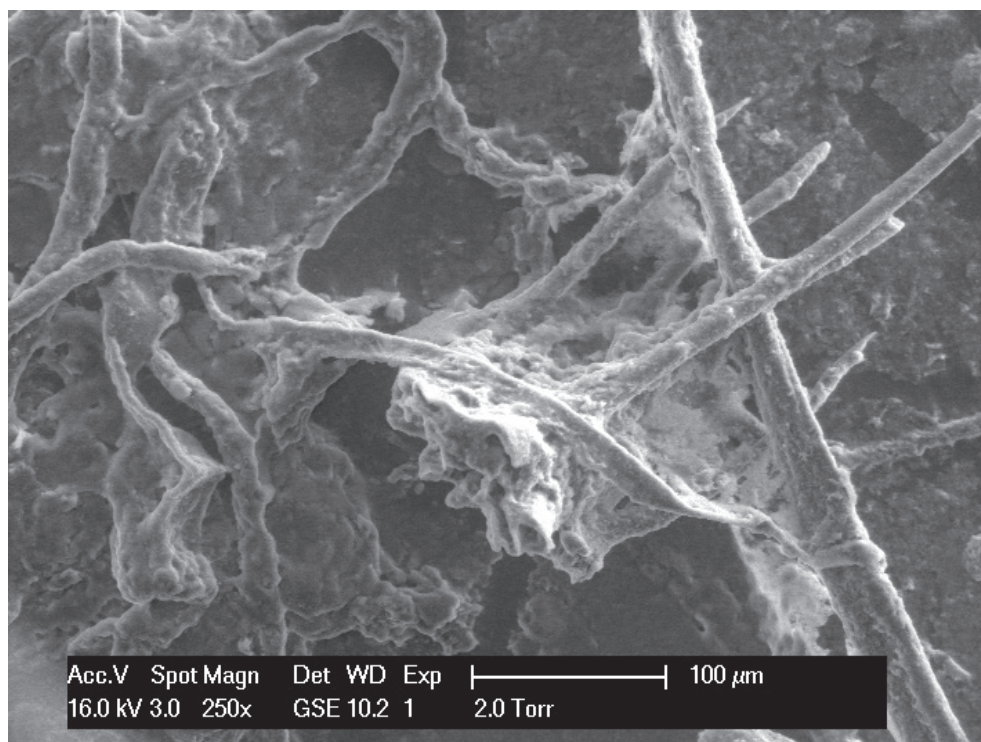
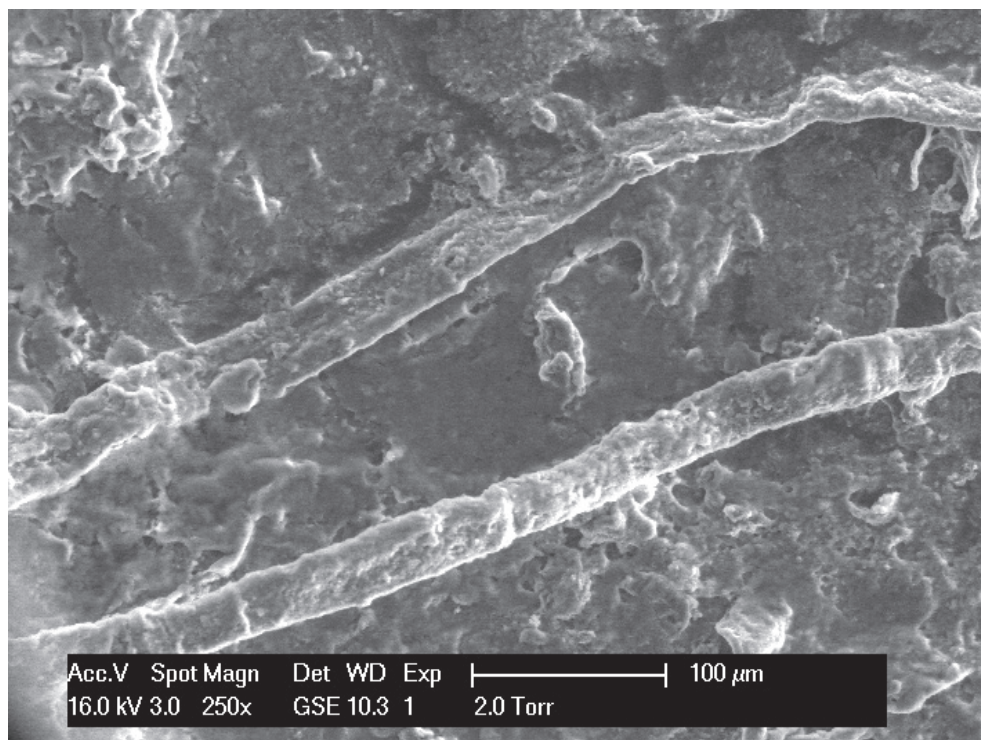
Ander onderzoek door de TU Delft laat zien, dat de afbraak van cellulosevezels beïnvloedt kan worden door intermediären, die gevormd worden bij de afbraak van lignine uit deze cellulosevezels in de vergisting. Deze intermediären werken remmend op de verschillende gistingsprocessen, met name op de hydrolyse. In combinatie met de aanwezigheid van andere remmende stoffen wordt de biogasopbrengst uit cellulosevezels hierdoor beïnvloed [11][38]. Het aandeel remmende stoffen en intermediären varieert in de praktijk sterk in communale gistingen, waardoor dit effect in meer of mindere mate kan optreden.

De aanname, dat er een fractie aan cellulosevezels overblijft in de gisting, wordt ook onderbouwd door microscopisch onderzoek naar fractionering van secundair en uitgegist slib van rwzi Amsterdam West. Hieruit blijkt dat er in de fracties met deeltjes tussen 0,3 en 1,4 mm duidelijk vezels zichtbaar zijn. Deze vezels zijn ook zichtbaar in foto's van de elektronenmicroscop van uitgegist slib van rwzi Amsterdam West (zie figuur 10) [24]. In uitgegist slib van rwzi Asten werden weinig cellulosevezels aangetroffen in vergelijking met het ingedikte ingaande slib tijdens microscopisch onderzoek met gepolariseerd licht. Vooralsnog lijkt het aannemelijk dat fijnzeefgoed en cellulosevezels uit primair slib net zo goed vergist als het 'gemiddelde mengsel van primair en secundair slib' ⁴ in Nederlandse rwzi's op basis van drogestof. In dit rapport wordt hiervan uitgegaan.

5 40% primair slib en 60% secundair slib

FIGUUR 10

OPNAMEN ELEKTRONENMICROSCOOP UITGEGIST SLIB RWZI AMSTERDAM WEST[24]



3

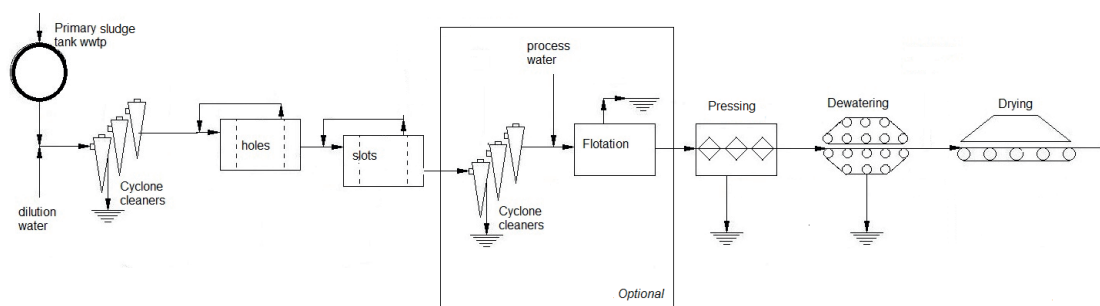
TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB

3.1 TECHNISCHE HAALBAARHEID

3.1.1 OPZET PROCESLIJN

In hoofdstuk 2 wordt geconcludeerd dat 35-40% van primair slib uit vezels bestaat op basis van drogestof. Deze vezels bevatten 50-80% cellulose en worden in dit rapport 'cellulose vezels' genoemd. In deze paragraaf wordt verkend op welke wijze deze kunnen worden teruggewonnen uit het primair slib. Allereerst is op basis van een bureaustudie een proceslijn opgezet, waarmee cellulosevezels zouden kunnen worden teruggewonnen uit primair slib (zie figuur 11) [12].

FIGUUR 11 OPZET PROCESLIJN TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB [12]



Toelichting op figuur 11:

- 1 Het uitgangsmateriaal is primair slib uit de voorbezinktank met een drogestofgehalte van 0,5-1,0% ds. Dit slib heeft de juiste consistentie om behandeld te worden in de vervolgstappen. Als alternatief kan ingedikt primair slib⁶ worden gebruikt, maar dit moet dan eerst verdund worden tot 0,5-1,0% drogestof.
- 2 Het primaire slib kan grof materiaal bevatten zoals plastics, takjes, zand, etcetera, die de installaties in de vervolgstappen kunnen verstopen of beschadigen. Om deze te verwijderen en de installatie te beschermen is hiervoor een 'politiefilter' opgenomen in de vorm van cyclonen. In hoeverre deze stap nodig is, hangt af van de verontreinigingen in het primair slib.
- 3 Vervolgens wordt het primaire slib gezeefd met verschillende zeven, zoals in de papierindustrie gebruikelijk is. Deze zeven kunnen achtereenvolgens bestaan uit gaten van 0,7 mm en vervolgens 0,6 mm mesh⁷. De fractie die wordt afgescheiden tussen deze twee zeefstappen
- 6 Aangezien cellulose wordt afgebroken onder anaerobe omstandigheden in de slibvergisting is bekeken of de anaerobe condities in de voorindikker leiden tot aantasting van cellulosevezel. Dit blijkt niet het geval te zijn, waardoor ook deze stroom (verdund) kan worden ingezet.
- 7 Mesh 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 R14 = 1,2 mm; R 30 = 0,6 mm; R 50 = 0,3 mm and R 100 = 0,15 mm

is rijk aan cellulosevezels en wordt daarna voor verdere opschoning gezeefd met spleten van 0,1 mm. Het doel van deze stap is zo veel mogelijk verontreinigingen te verwijderen, zoals slibdeeltjes, haren, plastics etc.. Deze stap is de centrale 'opschoonstap'. Hoeveel zeefstappen van welke diameter nodig zijn hangt af van de gevraagde kwaliteit door de gebruiker. De gekozen diameter kan hier naar verwachting op worden aangepast.

- 4 Als de kwaliteit na de zeefstap van de vezels nog niet voldoende is, dan kan bekeken worden of verontreinigingen verder zijn te verwijderen door cyclonen of flotatie. Cyclonen zijn wellicht in staat om achterblijvende (inerte) kleine deeltjes te verwijderen en flotatie zou restvervuiling op het gebied van organische stof en vet verminderen. Of deze stappen nodig zijn hangt af van de gevraagde kwaliteit door de gebruiker van de vezels en de samenstelling van het ingaande primaire slib.
- 5 Door stappen 1 tot en met 4 wordt een natte pulp verkregen. Deze pulp kan vervolgens worden geperst tot circa 30% drogestof en afgezet. Een andere optie is om deze pulp verder te ontwateren tot 60% drogestof of te drogen tot 90% drogestof. Het voordeel van het inzetten van een droogstap is dat het product hierdoor tevens deels kan worden gehygiëniseerd. Afhankelijk van de gebruiker kan deze droogstap worden geïntensiveerd in temperatuur en verblijftijd om biologische nagroei te voorkomen. Welke optie nodig is, hangt af van de eisen van de gebruiker.

Naast de geproduceerde vezels, ontstaat er waswater en afgescheiden grof materiaal inclusief zand. Het waswater wordt teruggevoerd naar de slibindikking van de rwzi; het afgescheiden grove materiaal wordt afgevoerd naar een geschikte verwerker.

3.1.2 LABONDERZOEK TU DARMSTADT

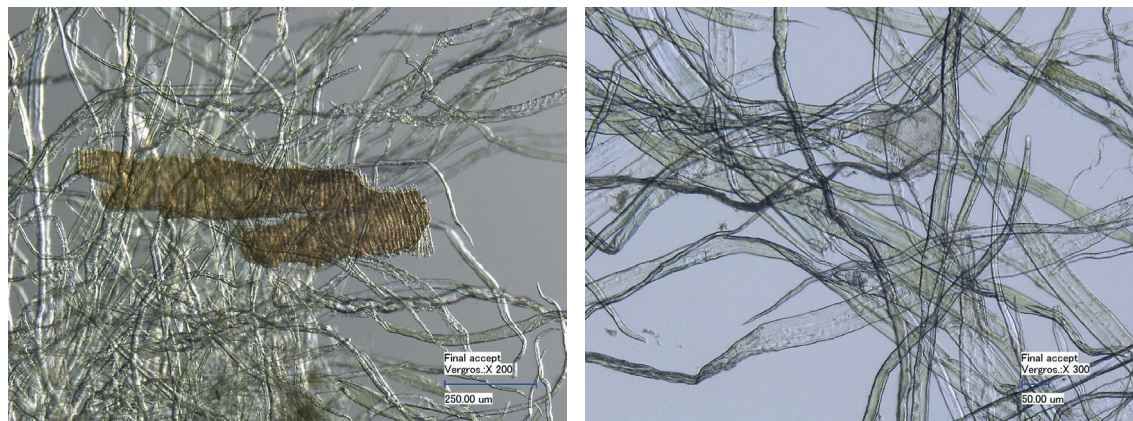
Om te testen of vezels kunnen worden afgescheiden met verschillende zeefstappen en in welke mate deze kunnen worden opgeschoond, zijn er proeven verricht met ingedikd primair slib van rwzi Den Bosch bij de faculteit papiertechnologie van de TU Darmstadt. De resultaten van deze testen zijn opgenomen in bijlage 3. De conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Het ingedikte primaire slib bevatte nagenoeg geen zand of ander grof materiaal en kon na 10-voudige verdunning tot 0,66% ds direct worden behandeld in een zeef met 0,7 mm gaten. In deze zeefstap werden met name vet, vliesjes, zaadjes en pitjes verwijderd.
- Het vervolgens verder zeven op 0,6 mm vierkante gaten (mesh) in combinatie met een 0,1 mm spletenrooster leidde tot een mengsel, waarin zich veel vezels bevonden. Dit mengsel bevatte nog wel verontreinigingen in de vorm van slibdeeltjes (zie figuur 12). Cellulosemetingen en deeltjestgrootteverdelingen zijn niet uitgevoerd op dit mengsel, vanwege een te beperkte hoeveelheid monster. Op basis van het microscopische onderzoek wordt het aandeel cellulosevezels ingeschat op meer dan 80%. Van deze cellulosevezels is het overgrote deel afkomstig uit toiletpapier[37]. Anorganische verontreinigingen in de vorm van kalk en andere zouten is beperkt tot circa 2% van de droge stof.
- Er is getracht de resterende organische verontreinigingen uit de vezelrijke stroom te verwijderen door middel van cyclonen en/of flotatie. De dichtheids- en massaverschillen waren hiervoor echter te beperkt, waardoor geen verder opschoning heeft kunnen plaatsvinden.
- De afgescheiden vezels zijn van hoge kwaliteit; er is geen mechanische of biologische beschadiging zichtbaar. De oorsprong van de vezels is voornamelijk toiletpapier. Daarnaast worden vezels van hout teruggevonden en natuurlijke en synthetische textielvezels [37].
- De gemiddelde lengte van de afgescheiden vezels is 1,0-1,1 mm (zie figuur 13) wat overeenkomt met de lengte van cellulosevezels in toiletpapier. Daarnaast waren er ook een

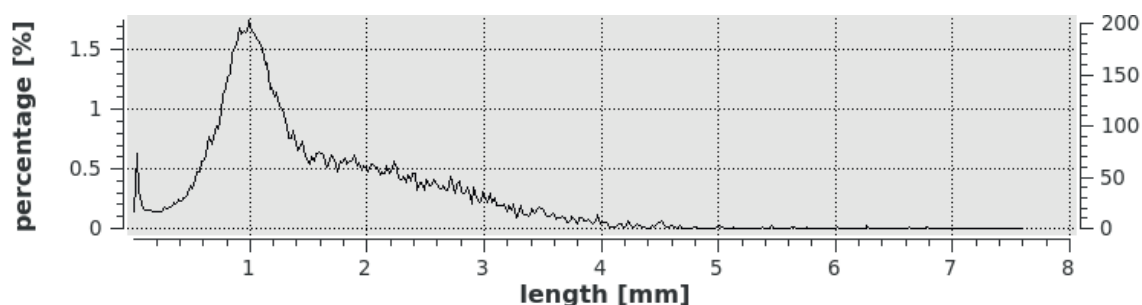
beperkt aantal vezels aanwezig, die langer waren dan 1,5 mm. Deze kunnen afkomstig zijn uit textiel of andere bewerkte celluloseproducten zoals viscose.

- Van de afgescheiden vezels zijn papierblaadjes gemaakt. De treksterkte van het gemaakte papier is minder dan van standaard kopieerpapier, respectievelijk 15-20 Nm/g ten opzichte van 50-60 Nm/g. Dit kan worden verklaard door de aanwezigheid van organische verontreinigingen [37] (zie figuur 12).

FIGUUR 12 AFGESCHIEDEN VEZELS: LINKS MET VERVUILING (X 200 VERGROOT); RECHTS NAUWELIJKS MET VERVUILING (X 300 VERGROOT)



FIGUUR 13 OUTPUT FIBER LAB AFGESCHIEDEN VEZELS: IN DEZE FIGUUR WORDT DE LENGTE-VERDELING WEERGEGEVEN OP BASIS VAN HET AANTAL GETELDE VEZELS. DE TOP VAN DE KROMME KAN WORDEN GEÏNTERPRETEERD ALS DE GEMIDDELD MEEST VOORKOMENDE LENGTE [37]



De afgescheiden vezelfractie omvat 20% van de oorspronkelijke hoeveelheid drogestof; daarnaast ontstond een erg verdunde waterstroom en een grove fractie waarin zich respectievelijk 70% en 10% van de oorspronkelijke hoeveelheid droge stof bevond. De grove fractie wordt afgescheiden door de 0,7 mm zeef. De waterige fractie is ontstaan door het hoge waterverbruik bij het zeven van het primair slib op 0,6mm + 0,1 mm. Deze waterige fractie bestaat voornamelijk uit (slib)deeltjes, die goed kunnen bezinken.

De Bauer McNett methode (zie bijlage 3) gebruikt veel spoelwater: in totaal werd 400 liter water verbruikt voor behandeling van 16,5 liter primair slib met een drogestofpercentage van 0,66%. Dit komt overeen met een waterverbruik van 3,6 m²/kg ds primair slib. Dit waterverbruik is inherent aan de gebruikte Bauer McNett labmethode. In installaties op praktijk-schaal ligt dit waterverbruik in de zeefstap veel lager, namelijk op circa 30% van het ingaande debiet, doordat het water dan onder hoge druk wordt ingespoten via nozzles [28].

CONCLUSIE

Vanuit technisch oogpunt kan effectief een vezelrijke fractie worden afgescheiden uit primair slib. Deze fractie bedraagt 20% van de oorspronkelijk aanwezige drogestof in het primair slib.

3.1.3 TESTEN CHEMISCHE FRACTIONERING

Ook op monsters van de TU Darmstadt testen is een chemische fractionering uitgevoerd conform de NDF/ADF/ADL-methode (zie paragraaf 2.2.5). De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 3.

TABEL 3 NDF/ADF/ADL METINGEN PRIMAIR SLIB EN WASWATER; PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF

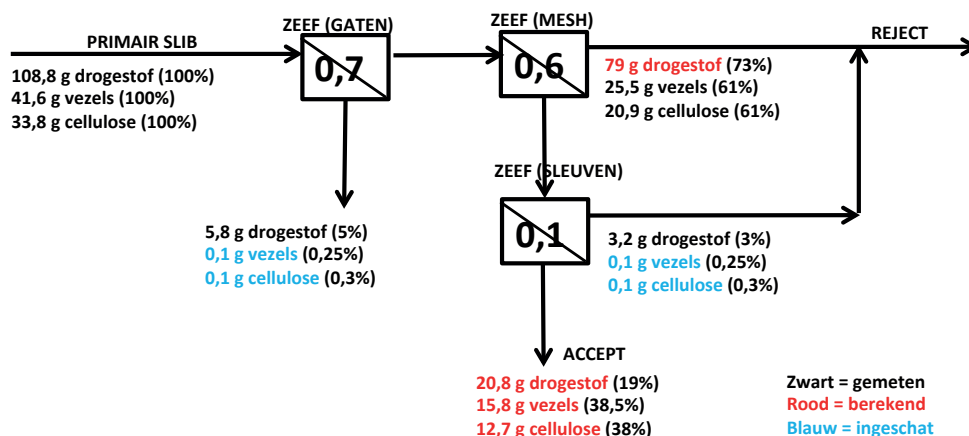
Soort monster	Locatie	Aantal steek-monsters	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulose-vezel (%)
Primair slib	Den Bosch	1	31,0	5,0	2,1	38,1
Waswater (fine reject)	TU Darmstadt	1	26,5	4,5	1,3	32,3

NB Het cellulosegehalte van het teruggewonnen product is niet bekend, omdat dit niet gemeten kon worden vanwege een te kleine hoeveelheid product.

Uit tabel 3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Primair slib: totaal vezelgehalte 38 % van de drogestof en cellulosegehalte 31% op basis van droge stof; het cellulosegehalte van de vezels in primair slib bedragen in dit geval 81%.
- 'Waswater' (dit is de stroom die normaliter teruggevoerd wordt naar de rwzi); totaal vezelgehalte 32% en cellulosegehalte 26,5% op basis van droge stof; het cellulosegehalte van de vezels in dit waswater bedraagt 82%.
- Bovenstaande betekent, dat conform deze labtesten 38 % van de aanwezige vezels en cellulose in primair slib is teruggewonnen (zie onderstaande figuur 14). Er is echter ook opvallend veel cellulose en vezels terecht gekomen in het waswater (reject): 61%

FIGUUR 14 MASSABALANSEN LABORATORIUMTESTEN TU DARMSTADT



Uit figuur 14 blijkt duidelijk dat zich nog zeer veel vezels met een hoog cellulosegehalte in het waswater bevinden, namelijk 61%. Uit de microscopische beelden blijkt ook dat deze fractie nog veel vezels bevat. Als een iets kleinere zeefstap wordt ingezet (0,5 mm in plaats van 0,6 mm), kan naar verwachting een hoger gedeelte van de cellulosevezels worden teruggewonnen dan de gemeten 19% van de drogestof in primair slib.

Het lijkt daarom aannemelijk, dat 25% kan worden teruggewonnen van de drogestof in primair slib als vezels met een cellulosegehalte van circa 80%. Of dit cellulosegehalte ook behaald kan worden voor andere primaire slibben is de vraag. Uit hoofdstuk 2 blijkt namelijk dat de vezels in primair slib van rwzi's Amsterdam en Zwolle een lager cellulosegehalte bevatten dan rwzi Den Bosch (circa 50% ten opzichte van 80%). Naar verwachting is dit debet aan het seizoen waarin bemonsterd is, waarbij voor de rwzi's Amsterdam en Zwolle meer blad- en tuinafval in het riool is weggespoeld.

3.1.4 TESTEN VERGISTBAARHEID BEZINKSEL WASWATER

Er bevinden zich veel cellulosevezels in het waswater wat gebruikt is bij de 0,6+0,1 mm zeef. De drogestof van dit waswater was goed bezinkbaar. De bezinklaag van het waswater is vervolgens getest op vergistbaarheid in vergelijking met het oorspronkelijke primaire slib ⁸. Uit deze batchtests komt naar voren dat het bezinksel van het waswater iets minder goed vergist dan het oorspronkelijke primair slib. De methaanopbrengst per ton drogestof bedroeg voor primair slib 347 Nm³ CH₄ / ton ds en voor het bezinksel van het waswater 308 Nm³ CH₄ per ton ds na 40 dagen. Bij een gemiddelde verblijftijd van 20 dagen laat het bezinksel van het waswater ook een lagere biogasproductie zien dan het primair slib (zie bijlage 4). Vanwege het lage drogestofgehalte van het bezinksel van het waswater (0,3% ds) is de berekende biogasproductie hiervan onnauwkeuriger, dan die van primair slib (5,9% ds). Gezien deze onnauwkeurigheid, in combinatie met onnauwkeurigheid in de monsternamen, kan er op basis van deze meetresultaten geen verschil worden geconstateerd. Voor dit rapport wordt er daarom vanuit gegaan, dat het bezinksel van het waswater even goed vergist als het primair slib op basis van drogestof.

3.1.5 CONCLUSIES

Uit het voorgaande blijkt dat het technisch mogelijk is om cellulosevezels terug te winnen uit primair slib. Uit deze tests komt naar voren dat 50% van de aanwezige vezels kan worden teruggewonnen met zeefstappen zonder aanvullende cyclonage of flotatie. Naar verwachting bevatten deze vezels een hoog gehalte aan cellulosevezels (50-80%). De bezink- en vergistingeigenschappen van dit waswater zijn goed en beïnvloeden de prestatie van de gisting niet nadelig. Het waswater wat hierbij vrijkomt, kan daarom worden behandeld in de slibindinking van de rwzi. Aangezien zich nog zeer veel vezels en cellulosevezels in het waswater bevonden is het zeer aannemelijk dat er een hoger gedeelte kan worden teruggewonnen dan de gemeten 20% van de drogestof in primair slib. Indien een iets kleinere zeefstap wordt ingezet (0,5 mm in plaats van 0,6 mm), lijkt het op basis van de labresultaten zeer aannemelijk, dat 25% kan worden teruggewonnen als vezels van de drogestof in primair slib. De overige condities ten aanzien van drukval en spoelwaterverbruik zullen hierdoor weinig verschillen. Hiervan zal worden uitgegaan in de bepaling van de financiële haalbaarheid. Ook zal er een gevoeligheidsanalyse worden verricht op de teruggewonnen hoeveelheid vezels variërend van 20-30% van de aanwezige hoeveelheid droge stof in primair slib.

3.2 FINANCIËLE HAALBAARHEID

Op basis van de resultaten verkregen in paragraaf 3.1 zijn de kosten bepaald, die gemoeid zijn met het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib. Hiervoor zijn de volgende uitgangspunten aangenomen:

- De terugwinbaarheid van vezels uit primair slib bedraagt 25% op basis van de drogestof in primair slib. Het gehalte aan cellulose in deze vezels bedraagt 50-80%.
- Vergistbaarheid van de afgescheiden vezels is vergelijkbaar met fijnzeefgoed en te vergisten slib op een Nederlandse rwzi 9 oftewel 0,5 Nm³/kg organische drogestof.
- Voor het terugwinnen wordt uitgegaan van een proceslijn met achtereenvolgens:
 - Cyclonage om te voorkomen dat grove deeltjes en zand doorslaan naar de achterliggende installaties
 - Zeving met behulp van achtereenvolgens 0,7 gaten en 0,5 mm vierkante gaten (mesh) en 0,1 mm sleuven.

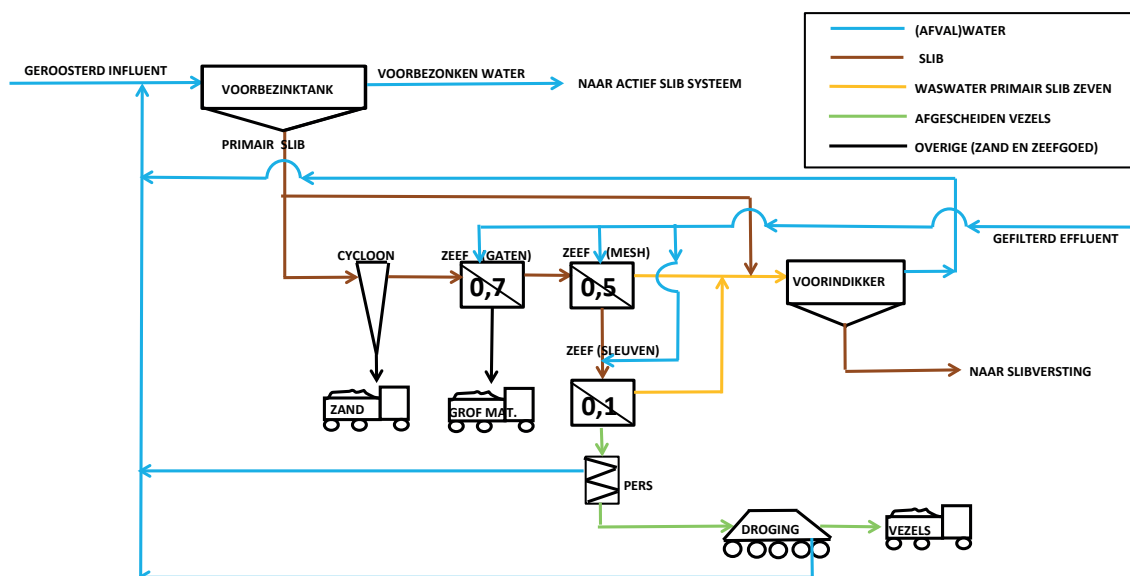
⁸ Van de afgescheiden vezelrijke fractie was niet genoeg materiaal beschikbaar om cellulosemetingen of vergistingstesten op uit te voeren

⁹ 40% primair slib en 60% secundair slib

- Persing van de afgescheiden vezels tot 30% ds
- Droging van de afgescheiden vezels tot 90% ds
- Voor het behandelen van het waswater op de rwzi wordt uitgegaan van:
 - Spoelwaterverbruik: 30% van de ingaande flow aan primair slib, oftewel 40-50 l/kg ds primair slib;. Dit spoelwater bestaat uit gefilterd effluent van de rwzi. Normaliter beschikt een rwzi niet over een effluentbehandeling met een dergelijke benodigde capaciteit om het effluent te filteren. In de kostenberekeningen is hiermee rekening gehouden.
 - Het waswater wordt behandeld in de slibindikinstallaties op de rwzi (gravitair met primair slib of bandindikking met secundair slib). Dit waswater wordt gevormd door een zogenaamde “interne loop” op de rwzi. Er wordt immers gefilterd effluent voor gebruikt. De totale belasting op de rwzi neemt hierdoor niet toe. De interne hydraulische belasting van de rwzi neemt echter wel toe. Dit heeft met name effect op de dimensionering van de hydraulische capaciteit van de slibafscheiding in de slibindikking, het terreinriool en de slibafscheiding in de nabezinktanks. De invloed hiervan is meegenomen in de kostenberekeningen.
 - De vergistbaarheid van het bezinksel uit het waswater is gelijkwaardig aan primair slib.
- Voor het drogen van de afgevangen vezels wordt uitgegaan van de inzet van restwarmte uit de rookgassen van de WKK-installaties uit de slibgisting. Uit STOWA- 2011-33 blijkt dat bij deze omzetting van biogas in elektriciteit en warmte, dat circa 50% aan warmte verloren gaat via de rookgassen van de gasmotoren. Deze hoeveelheid komt overeen met 13,83 TJ voor een zuivering van 500.000 i.e. [13]. Dit betekent dat er 27,6 MJ/i.e 150 g TZV ingezet kan worden voor droging van de afgevangen vezels. Deze warmte is hoogwaardig en meer dan 150% van de benodigde ingeschatte warmtecapaciteit [12]. Met deze capaciteit wordt verwacht dat het product op voldoende hoge temperatuur kan worden verhit in combinatie met voldoende verblijftijd om biologische nagroei te voorkomen.
- Het afgevoerde grof materiaal en zand wordt afgevoerd tezamen met respectievelijk het roostergoed en zand uit de waterlijn. De invloed van deze verwerkingskosten zijn verwaarloosbaar.

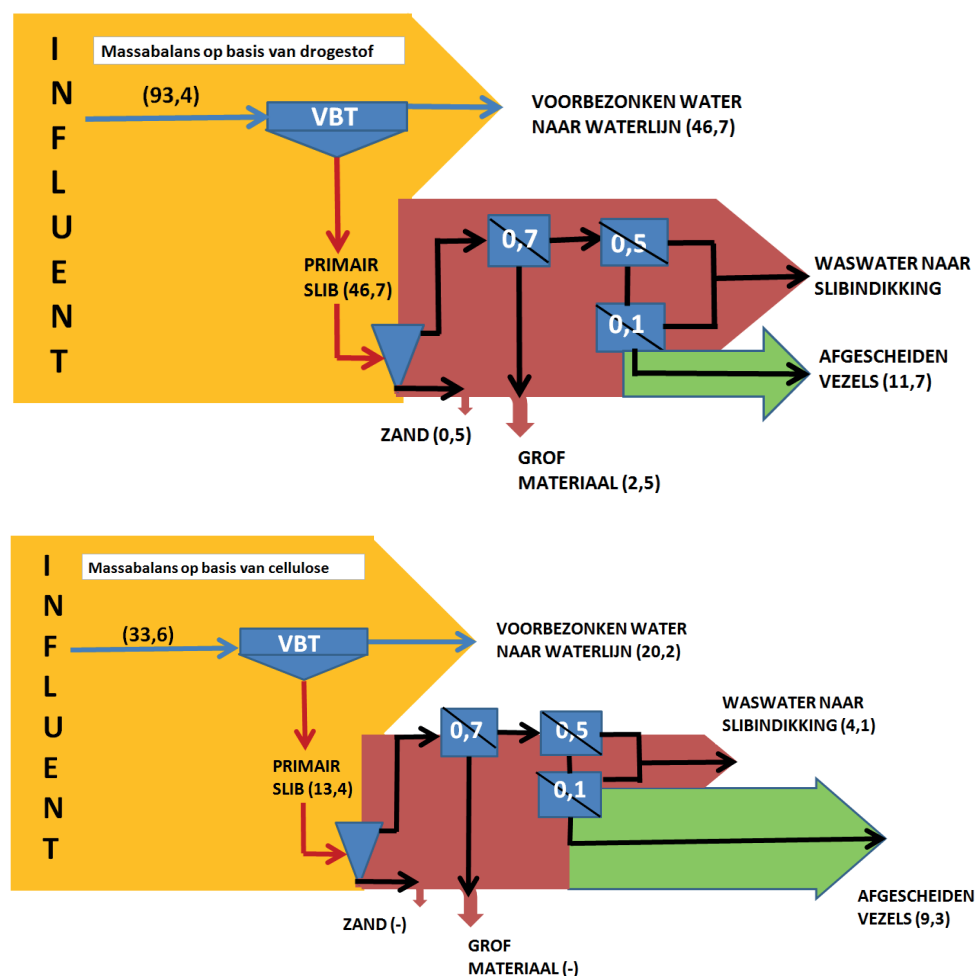
Bovenstaande uitgangspunten en aannamen zijn gevisualiseerd in een vereenvoudigd proces-schema in figuur 15 en massabalansen op basis van drogestof en cellulosevezels in figuur 16 voor de case rwzi Amsterdam West.

FIGUUR 15 VEREENVODIGD PROCESSCHEMA TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB



FIGUUR 16

MASSABALANSEN AANNAMEN TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB VOOR RWZI AMSTERDAM WEST: BOVEN OP BASIS VAN TON DS SLIB/ DAG; ONDER OP BASIS VAN TON DS CELLULOSEVEZELS/DAG



De financiële berekeningen worden uitgevoerd voor drie rwzi's te weten de rwzi Amsterdam West, de rwzi Zwolle en een grote rwzi met centrale slibverwerking. Deze laatste rwzi is representatief voor middelgrote rwzi's met een capaciteit van circa 300.000 i.e 150 g TZV en inname van extern primair en secundair slib. De algemene kenmerken van deze rwzi's zijn weergegeven in tabel 4.

TABEL 4 KENMERKEN RWZI'S AMSTERDAM EN GROTE RWZI

		Rwzi Amsterdam West*	Grote rwzi **	Rwzi Zwolle***
Belasting waterlijn	i.e. 150 g TZV	960.000	300.000	164.000
Belasting sliblijn	i.e. 150 g TZV	1.440.000	450.000	301.100
Primair slibhoeveelheid	kg ds/d	46.680	14.588	10.517
Capaciteit installatie terugwinning cellulosevezels	m³/h	278	87	63
Terug te winnen hoeveelheid vezels = zeefgoedproductie	ton ds/jr	4.260	1.330	960

* RWZI Amsterdam behandelt circa 960.000 i.e. 150 g TZV aan rioolwater en verwerkt naast het eigen primaire en secundaire slib externe primaire en secundaire slibstromen uit de regio. De belasting van de zuivering per i.e. is inclusief verwerkt extern slib.

** De grote rwzi behandelt circa 300.000 i.e. 150 g TZV aan rioolwater en verwerkt naast het eigen primaire en secundaire slib externe primaire en secundaire slibstromen uit de regio. De belasting van de sliblijn van de zuivering per i.e. is inclusief verwerkt extern slib.

*** Voor RWZI Zwolle geldt, dat er van uit is gegaan dat deze zuivering naast het eigen primaire en secundaire slib, de externe primaire en secundaire slibstromen van rwzi Kampen en Raalte behandelt. De belasting van de waterlijn van rwzi Zwolle bedraagt 164.000 i.e. 150 g TZV.

Aanvullende uitgangspunten die gebruikt zijn in deze financiële doorrekening zijn hieronder weergegeven en in tabel 5.

- Investeringskosten
 - Normaliter worden civiele onderdelen afgeschreven over een periode van 30 jaar. Het overgrote deel van de investeringen bestaat voor deze installatie uit werktuigbouwkundige onderdelen, welke een technische levensduur hebben van circa 15 jaar. In verband hiermee is voor de bepaling van de financiële haalbaarheid de maximale terugverdientijd op 15 jaar gesteld. Op deze wijze kan bepaald worden welke opbrengsten moeten worden behaald om na 15 jaar de installatie zonder verdere schulden of afboekwaardes buiten bedrijf te stellen. Voor de berekening van de kapitaallasten wordt uitgegaan van volledige afschrijving en rentebetalingen over een periode van maximaal 15 jaar. In deze berekening is ervan uitgegaan, dat de procesautomatisering compleet vervangen dient te worden na 7,5 jaar en de elektrotechnische installatie gereviseerd dient te worden na 10 jaar. De werktuigbouwkundige en civiele onderdelen hoeven in deze 15 jaar niet vervangen en/of gereviseerd te worden.
 - Rente: 4%
 - Onvolledigheid: 20%
- Opslagfactor voor realisatie en projectkosten: 65% van de investering bestaand uit
 - Advies en ontwerp: 12%
 - Verzekeringen, vergunningen, bouwrentes: 15%
 - Projectmanagement, directievoering en toezicht: 8%
 - Tijdelijke installatie tijdens de bouw en opstart: 5%
 - Opleiding personeel: 2%
 - Communicatie: 2%
 - BTW: 21%
- Opslagfactor ontwikkelkosten ivm innovatieve techniek: 10%
- Onderhoud: 3% van de investering
- Personeelskosten: € 40.000 per jaar

TABEL 5 OVERIGE FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN INSTALLATIES TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB (PRIJSPEIL 2015; ALLE PRIJZEN INCLUSIEF BTW)

Onderwerp	Eenheid	Case rwzi Amsterdam West	Case grote rwzi 300.000 i.e.	Case rwzi Zwolle
% terugwinbare vezel	% op basis van ingaaand drogestof aan primair slib	25	25	25
Inkoop elektriciteit	€/kWh	0,05	0,10*	0,12
Elektriciteitsopbrengst WKK	kWh/Nm ³ biogas	2,3	2,1*	2,0
Capaciteit primair slib	m ³ /h	278	87*	63
Capaciteit spoelwater	m ³ /h	85	25	20
Productiekosten spoelwater	€/ m ³	0,05	0,05	0,05
Behandelskosten waswater uit afscheidingsinstallatie op rwzi	€/ m ³	0,05	0,05	0,05
Polymeer	€/kg	4,50	4,50*	4,65
Dosering polymeer slibontwatering rwzi	kg/ton ds	16,0	13,7*	15,0
Slibeindverwerking	€/ton ontwaterd	71,36	88*	102,85
Drogestof ontwaterd slib	% ds	23,0	23,0*	22,0

* Gebaseerd op gemiddelde Nederlandse situatie conform Benchmark Zuivering Afvalwater 2012

De opbouw van de investeringskosten en de verwachte kosten en opbrengsten van het terugwinnen van vezels uit primair slib is weergegeven in bijlage 5. Vervolgens is bekeken wanneer het terugwinnen van vezels uit primair slib rendabel is. De uitkomsten van deze financiële berekeningen zijn weergegeven in tabel 6.

TABEL 6 BEREKENING KOSTEN OPWERKEN CELLULOSEVEZELS

		rwzi Amsterdam West	Grote rwzi 300.000 i.e.	rwzi Zwolle
Stichtingskosten	miljoen €	3,7	1,3	1,1
Totale jaarlasten*	€/jaar	371.000	160.000	134.000
Totale zeefgoed- of vezelproductie	ton ds/jaar	4260	1331	960
Minimale opbrengst teruggewonnen vezels inclusief transportkosten	€/ton ds	88	120	140

* Berekend op basis van versnelde afschrijving van de totale installatie in 15 jaar + financieringskosten (rente) + overige lasten terugwininstallatie + kosten in verband met effecten op de rwzi - opbrengsten in verband met effecten op de rwzi (zie bijlage 5).

De verschillen in jaarlasten per kg ds op te werken vezel worden primair veroorzaakt door de schaalgrootte en de inkoop prijs van elektriciteit en secundair door de verwerkingsprijs van ontwaterd slib. RWZI Amsterdam West zit met € 0,05 per kWh ver onder het landelijk gemiddelde van € 0,10 per kWh wat geldt voor een gemiddelde grote rwzi. Daarnaast zorgt de schaalgrootte op rwzi Amsterdam West voor goedkopere randvoorzieningen per kg ds teruggewonnen vezel, zoals installatie, gebouwen, aan- en afvoerend leidingwerk, kabels en procesautomatisering. Voor rwzi Zwolle geldt dat de verwerkingsprijs van ontwaterd slib aan de hoge kant is (€ 103 ten opzichte van € 88 landelijk gemiddeld en € 71 voor rwzi Amsterdam West). Hierdoor is de business case op dit punt positiever dan landelijk gemiddeld.

Bovenstaande berekeningen zijn zeer gevoelig voor de aanname van de hoeveelheid teruggewonnen cellulosevezels ten opzichte van de drogestofhoeveelheid primair slib, oftewel het terugwinpercentage. Deze gevoeligheid is weergegeven in tabel 7.

TABEL 7 GEVOELIGHEIDSANALYSE TERUGWINPERCENTAGES CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB: KOSTEN IN EURO'S PER JAAR PER TON DROGESTOF

Hoeveelheid teruggewonnen vezels (% van de totale hoeveelheid droge stof in primair slib)	20%	25%	30%
Rwzi Zwolle (belasting sliblijn 301.100 i.e 150 g TZV)			
Minimale afzetopbrengst vezels inclusief transportkosten	€ 210	€ 140	€ 95
Grote rwzi (belasting sliblijn 450.000 i.e. 150 g TZV)			
Minimale afzetopbrengst vezels inclusief transportkosten	€ 180	€ 120	€ 80
Rwzi Amsterdam (belasting sliblijn 1.440.000 150 g TZV)			
Minimale afzetopbrengst vezels inclusief transportkosten	€ 130	€ 88	€ 55

4

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

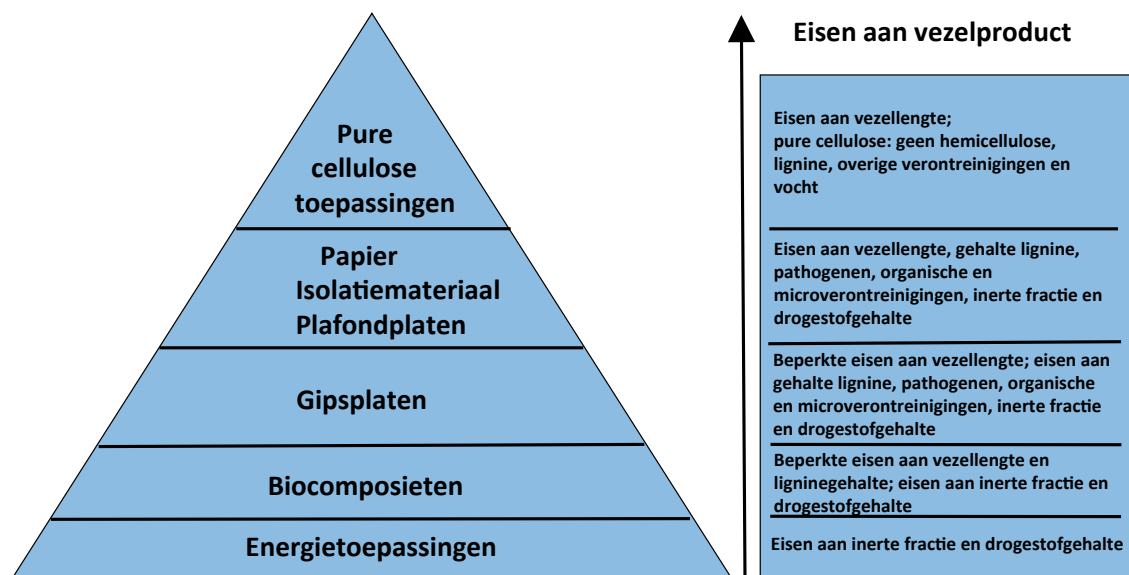
Op basis van de gepresenteerde informatie uit de voorgaande hoofdstukken lijkt er in Nederland een aanmerkelijke hoeveelheid cellulosevezels te kunnen worden teruggewonnen uit primair slib: circa 40.000-65.000 ton drogestof per jaar ¹⁰. Uit eerdere verkenning naar fijnzeefgoed kwamen de volgende toepassingsmogelijkheden 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 pyrolyse

Voor vezels uit primair slib gelden dezelfde soort toepassingen. Hierbij geldt de energietoepassing 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 17).

FIGUUR 17

VERWAARDINGSPYRAMIDE TOEPASSING VEZELS UIT PRIMAIR SLIB



Hierbij wordt opgemerkt dat de vezels niet per se hun oorsprong hoeven te vinden in (toilet) papier. Indien de (cellulose)vezels lang genoeg zijn en van voldoende kwaliteit zijn, dan kunnen cellulosevezels uit bijvoorbeeld groente of synthetische vezels uit kleding, naar verwachting prima worden ingezet voor de productie van bio-composieten, isolatiemateriaal

¹⁰ Uitgaande van 50% voorbezinking van het rioolwater in Nederland en terugwinpercentages van cellulosevezels uit primair slib van 20-30% op basis van drogestof

en gips- en plafondplaten. Met name de vezellengte en de gehalten lignine, inerte fractie en organische verontreinigingen bepalen in welke mate de vezels voor de verschillende toepassingen geschikt zijn. Dit kan alleen bepaald worden door de producten te vervaardigen met daadwerkelijk teruggewonnen vezels. Hiervoor is een grote hoeveelheid vezels nodig, die in het geval van primair slib, alleen met een grote praktijkproef kan worden verwezenlijkt.

Voor oud-papier gelden diverse marktprijzen per soort: voor een kwalitatief lage soort zoals verpakkingsmateriaal (bijvoorbeeld karton) bedraagt de marktwaaarde circa € 108 tot € 120 per ton drogestof¹¹. Met deze prijsklasse wordt het vezelproduct wat uit primair slib wordt teruggewonnen in dit rapport vergeleken aangezien deze papiersoort veel lignine bevat (tot 15%) en daardoor de prijs drukt. In feite is hierdoor sprake van een worst-case; het ligninegehalte van het vezelproduct uit primair slib is onzeker en naar verwachting variabel (zie hoofdstuk 2) en ligt tussen de 5 en 10%. Daarentegen zullen er zich tevens microverontreinigingen in het vezelproduct uit primair slib 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 is er echter veel weerstand tegen de inzet van vezels uit rioolwater vanwege de herkomst en mogelijke andere microverontreinigingen, zoals medicijnresten en hormoonverstorende stoffen, die zich in fijnzeefgoed bevinden. Dit geldt ook voor vezels uit primair slib, waardoor verwerking in de papierindustrie minder aantrekkelijk lijkt.

Op basis van de behaalde kwaliteit van de teruggewonnen vezels uit primair slib, zijn gesprekken met verschillende toepassers van vezels gevoerd. Dit betreft toepassingen in biocomposieten, isolatiemateriaal en voor pyrolyse.

Om de teruggewonnen cellulosevezels uit primair slib in te zetten in energietoepassingen lijkt niet logisch en rendabel, aangezien de cellulosevezels in primair slib nu vrij effectief worden ingezet in energie door vergisting (zie paragraaf 2.3). Alleen pyrolysetechnieken zouden kunnen leiden tot een verhoogde opbrengst, maar deze techniek wordt nog niet op praktijkschaal toegepast.

Producenten van biobased plastics verwerken graag biobased vezelmateriaal in de biobased plastics, zodat er een volledig biobased product ontstaat. De vezels worden toegepast om de eigenschappen van de biobased plastics te verbeteren (bijvoorbeeld vezelversterkte kunststof) of dienen als vulstof, omdat de prijs van de vezel lager is dan de prijs van de biobased plastic. Biobased plastics zijn duurder dan traditionele plastics, waardoor vulling met vezels steeds meer voorkomt. Voor Waterschap Reest en Wieden is er een plantpaal ontwikkeld op basis van maaisel, die ingezet wordt als beschoeiing. In een dergelijke paal kunnen ook vezels uit rioolwater verwerkt worden. De aanwezigheid van andere vezels dan cellulosevezels is hiervoor naar verwachting geen bezwaar. Proeven zullen moeten vaststellen of uitloging van (micro) verontreinigingen deze toepassing belemmert. De markt voor biobased plastics is nog klein, maar de vraag neemt toe. Vanuit deze markt is er belangstelling voor een pilot. Het voordeel van vezels uit rioolwater is dat deze al losgemaakt zijn. Het losmaken van vezels uit gras, paprika- en tomatenplanten is duur. De waarde van goed opgeschoonde gepelletiseerde vezels ligt rond de € 200 per ton drogestof. Een andere markt voor vezels is de markt van biobased isolatie materiaal. Hier is belangstelling voor goed opgeschoonde vezels met een lagere prijs dan vervezeld oud-papier (circa € 135/ton ds). Ook in deze markt is belangstelling voor een

¹¹ De oud-papierprijs voor de ondersoort verpakkingsmateriaal, zoals karton, bedraagt €100-110 per ton. Het vochtgehalte bedraagt 7-8%. Per ton drogestof is de marktprijs voor deze categorie € 108 -120 per ton drogestof.

pilot. Daarnaast kunnen de vezels worden ingezet in gipsplaten en overige afwerkpanelen in de woning- en kantoorbouw.

Uit deze korte marktverkenning komen afzetmarkten naar voren waar cellulosevezels uit primair slib € 135 - € 200 per ton drogestof waard zijn. Het minimumniveau van € 135 per ton ds geldt voor toepassingen zoals isolatiemateriaal, waar nu papiervezels uit oud-papier in worden verwerkt. De hogere afzetprijs tot € 200 per ton drogestof geldt voor toepassingen, waarin nu biobased vezelmateriaal, anders dan papier, worden verwerkt (bijvoorbeeld biobased plastic).

Dit betekent dat de interesse van de markt qua afzetprijs matcht met de opwerkprijs voor locaties met een grote schaal. De opwerkprijs voor cellulosevezels uit het primair slib van rwzi Amsterdam West bedraagt € 90 per ton drogestof vezels ¹². Dit ligt onder de huidige oud-papier prijs voor verpakkingsmateriaal, zoals karton, van € 108 tot € 120 per ton drogestof. Ook voor middelgrote locaties, waar centrale slibverwerking plaatsvindt, is de nu berekende opwerkingsprijs van € 80 - € 180 per ton vezels (ds) niet onrealistisch. Gemiddeld bedraagt de opwerkingsprijs voor deze rwzi's € 120 per ton vezels (ds) ¹². Dit niveau ligt onder de prijs van vervezeld oud-papier voor isolatiemateriaal à € 135 per ton ds.

De kosten die in dit rapport zijn berekend, zijn indicatief en kunnen geoptimaliseerd worden, ook op het gebied van splitsing van verwerkingsunits op kleine schaal (alleen zeven en persen) en grotere schaal (drogen). Daarentegen is nog niet bekend of de kwaliteit van de vezels uit primair slib voldoende is voor de afnemers. Indien dit niet het geval is en er aanvullende opwerkstappen nodig zijn, zullen de kosten stijgen.

12 Uitgangspunt: 25% van de drogestof in primair slib kan worden teruggewonnen als vezels met een cellulosegehalte van 50-80%

5

SYNTHESE

5.1 INLEIDING

De doelstelling van dit onderzoek is het verkennen van de mogelijkheden om cellulosevezels rendabel terug te winnen uit primair slib op rwzi's met voorbezinking. De volgende onderzoeksvragen staan hierin centraal:

- 1 Hoeveel vezels bevat primair slib? Welk gedeelte hiervan is cellulose?
- 2 Kunnen cellulosevezels worden afgescheiden van primair slib? Wat is de technische haalbaarheid hiervan?
- 3 Wat is de invloed van de terugwinning van deze cellulosevezels op de waterlijn en sliblijn van de rwzi?
- 4 Wat is de financiële haalbaarheid van de terugwinning van cellulosevezels uit primair slib? 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? Welke kosten zijn gemoeid met de afscheiding van cellulosevezels van primair slib en de benodigde opwerkstappen in relatie tot de mogelijke opbrengsten?

In de navolgende paragrafen 5.2 tot en met 5.4 worden de verschillende onderzoeksvragen beantwoord. In paragraaf 5.5 worden de kennishiaten samengevat, die samenhangen met het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib. Paragraaf 5.6 bestaat tenslotte uit aanbevelingen, die uit dit project naar voren zijn gekomen, onder andere voor een vervolgonderzoek op pilotschaal.

NB: de aannamen in paragraaf 5.2 tot en met 5.4 zijn geheel gebaseerd op literatuur- en labonderzoek. Er is niet onder praktijkcondities getest. Dit betekent dat de aannamen kunnen mee- of tegenvallen en alleen indicatief zijn voor de wijze, waarop cellulosevezels kunnen worden teruggewonnen uit primair slib.

5.2 PROCESLIJN

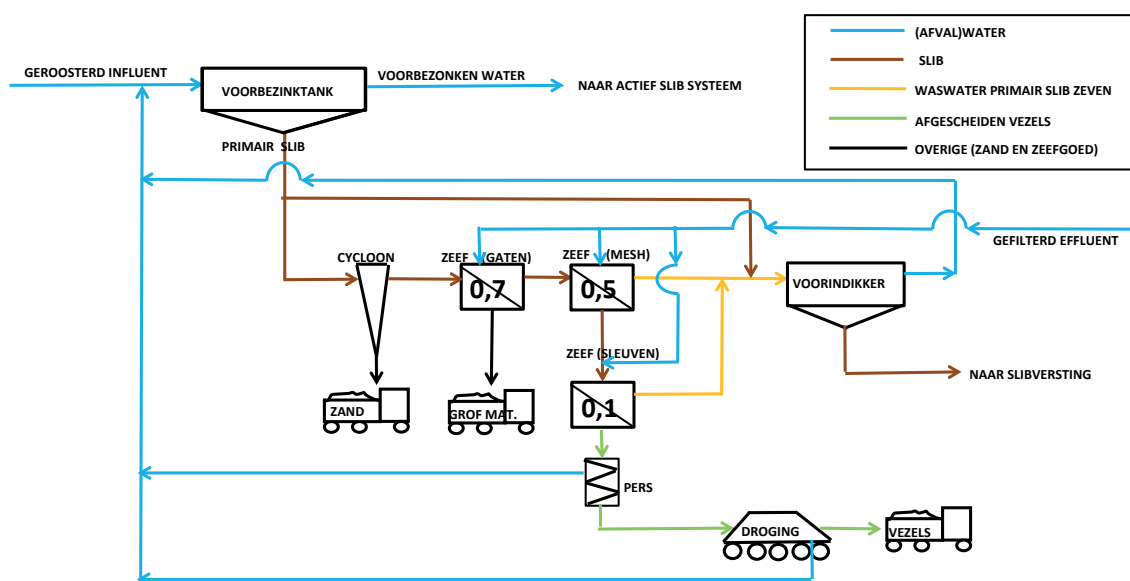
Op basis van het onderzoek in dit rapport, lijkt het zeer aannemelijk dat 35-40% van primair slib uit vezels bestaat. Deze vezels bevatten 50-80% cellulose. Door inzet van relatief eenvoudige technieken, bekend vanuit de papierindustrie, kan een significant deel van deze cellulosevezels worden teruggewonnen. Op basis van labonderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1 Voor het terugwinnen van cellulosevezels kan worden uitgegaan van een proceslijn met achtereenvolgens:
 - Cyclonage om te voorkomen dat grove deeltjes en zand doorslaan naar de achterliggende installaties.
 - Zeving met behulp van achtereenvolgens 0,7 gaten en 0,5 mm vierkante gaten (mesh) en 0,1 mm sleuven.
 - Persing van de afgescheiden vezels tot 30% ds
 - Droging van de afgescheiden vezels tot 90% ds

- 2 Door inzet van deze technieken kan een cellulosevezelrijke stroom worden afgescheiden ter grootte van circa 25% van de drogestof in primair slib. Het gehalte aan cellulose in deze vezels bedraagt 50-80%.
- 3 De teruggewonnen cellulosevezels uit primair slib kenmerken zich door een hoge kwaliteit, vanwege de herkomst uit toiletpapier. De cellulosevezels zijn lang en niet mechanisch of biologisch aangetast en bevinden zich “los” in het primair slib. Ontsluitingsprocessen hoeven hiervoor niet meer te worden toegepast.
- 4 Voor het behandelen van het waswater op de rwzi wordt uitgegaan van:
 - Spoelwaterverbruik: 30% van het ingaande primair slib debiet; dit spoelwater bestaat uit gefilterd effluent van de rwzi.
 - Het waswater wordt behandeld in de slibindikinstallaties op de rwzi (gravitair met primair slib of bandindikking met secundair slib).
 - De vergistbaarheid van het waswater is gelijkwaardig aan primair slib.
- 5 Voor het drogen van de afgevangen vezels wordt uitgegaan van de inzet van restwarmte uit de rookgassen van de WKK-installaties uit de slibgisting.

De proceslijn voor de terugwinning van cellulosevezels uit primair slib is weergegeven in figuur 18.

FIGUUR 18 VEREENVOLDIGD PROCESSCHEMA TERUGWINNING CELLULOSEVEZELS UIT PRIMAIR SLIB



5.3 INVLOED OP DE WATER- EN SLIBLIJN

Het verwijderen van cellulosevezels uit primair slib heeft gevolgen: afhankelijk van de mate van biologische afbraak van cellulosevezels in de gisting, wordt er hierdoor minder biogas en slib geproduceerd. De mate van biologische afbraak in slibgistingen van cellulosevezels is, net zoals het gehalte aan cellulosevezels in rioolwater, onderwerp van discussie.

Uit onderzoek naar de vergistbaarheid van fijnzeefgoed van rwzi Blaricum aan de TU Delft, blijkt dat dit minder goed vergist dan primair slib, maar beter dan secundair slib onder mesofiele condities (30-35 graden Celsius). Vergeleken met een gemiddelde samenstelling van primair en secundair slib in te vergisten slib op een Nederlandse rwzi ¹³, zorgt het fijnzeefgoed in het TU Delft onderzoek voor eenzelfde biogasopbrengst per ton drogestof s lib [10][38]. Deze conclusies komen overeen met eerder microscopisch onderzoek naar vezels in slib voor en na

13 40% primair slib en 60% secundair slib

de gisting van rwzi Amsterdam West en onderzoek naar de afbreekbaarheid van fijnzeefgoed in vergelijking met cellulosevezels in toiletpapier, fijnzeefgoed en primair slib bij Wat ern et [15][24]. Het lijkt erop dat toiletpapier componenten bevat die slecht afbreekbaar zijn in de gisting of gistingsprocessen kunnen re mme n [10][15][25].

5.4 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De kosten voor terugwinning van cellulosevezels uit primair slib wordt op basis van de labexperimenten in dit rapport ingeschat op € 55 – € 130 per ton drogestof vezels voor een schaalgrootte van rwzi Amsterdam West. De gemiddelde opwerkingsprijs van € 90 per ton drogestof ligt hiermee onder de huidige oud-papierprijs voor verpakkingsmateriaal, zoals karton van € 108 tot € 120,- per ton drogestof. Van de schaalgrootte van rwzi Amsterdam West (1,0 miljoen i.e) bestaan er maar een paar in Nederland. Ten opzichte van andere biobased materialen, is deze cellulosevezel echter al “losgemaakt” en direct toepasbaar als cellulosevezel in verschillende processen. De afzetmarkt voor deze biobased cellulosevezels kenmerkt zich verder door het “groene karakter”. Hierdoor is een hogere afzetprijs mogelijk dan voor oud-papier, oftewel € 135-200 per ton drogestof vezels. De afzetwaarde is afhankelijk van de toepassing. Hierdoor komen ook meer voorkomende middelgrote rwzi’s van 300.000 i.e. met centrale slibverwerking in beeld, waaruit cellulosevezels uit primair slib kunnen worden teruggewonnen voor € 80 - € 180 per ton drogestof vezels.

5.5 KENNISHIATEN

In de voorgaande paragrafen zijn veel aannames verwerkt op basis van divers literatuur- en labonderzoek. De gebruikte meet- en afscheidingsmethoden voor cellulose en vezels in primair slib zijn nog niet gevalideerd. Bovendien zijn deze analyses verricht op steekmonsters, die genomen zijn in verschillende seizoenen op verschillende rwzi’s. Hierdoor is de gevoeligheid voor de gebruikte aannamen groot. De belangrijkste zijn:

- 1 Of en in welke mate cellulosevezels uit primair slib zijn terug te winnen, hangt af van in welke mate de ontworpen installaties in de praktijk voldoende robuust zijn en werken zoals ze achter het bureau bedacht zijn. Op labschaal is met diverse installaties aangetoond dat cellulosevezels kunnen worden teruggewonnen uit primair slib. Een vervolgprouf op praktijkschaal kan vaststellen of aangenomen uitgangspunten ten aanzien van werking en robuustheid, verwijderingsrendement, kosten en geproduceerd product gerealiseerd kunnen worden. Zo kan bijvoorbeeld alleen op praktijkschaal de dimensionering van het aantal zeven, de volgorde, de zeefwijdten en zeeftypen worden vastgesteld.
- 2 Gehalte cellulose, hemicellulose, lignine en totaal vezel: Het blijkt dat het cellulose-, hemicellulose-, lignine- en totaal vezelgehalte in influenten, voorbezonken water en primair slib lastig te bepalen is. De meetmethode hiervoor is nog niet gevalideerd. Bovendien beïnvloeden andere organische componenten de resultaten. Meer onderzoek hiernaar op praktijkschaal is gewenst op influent, voorbezonken water, primair slib, uitgegist slib en geproduceerde producten. Op deze wijze kunnen de massabalansen betrouwbaar worden gesloten. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van de business cases. Daarnaast is het ook zeer zinvol om deze resultaten te vergelijken met metingen aan cellulose, hemicellulose, lignine en totaalvezel in fijnzeefgoed, zodat een goede vergelijking kan worden gemaakt tussen terugwinning van cellulosevezels uit influent en primair slib.
- 3 Het spoelwaterverbruik in de labexperimenten voor terugwinning van vezels uit primair slib was zeer hoog. Een dergelijk spoelwaterverbruik is in de praktijk niet realistisch. In de praktijk zal gebruik worden gemaakt van gefilterd effluent, waardoor er sprake is van effluenther-

gebruik en niet van waterverbruik. Bovendien zal naar verwachting door de inzet van nozzles en waterdruk een veel lager spoelwaterverbruik worden gerealiseerd, maar dit zal zich in de praktijk moeten bewijzen.

- 4 Uit de labexperimenten komt naar voren, dat door het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib, een bezinkbare waterrijke stroom ontstaat, die verder verwerkt moet worden op de rwzi. In dit rapport is op basis van de labresultaten aangenomen, dat deze stroom goed bezinkt in een voorindikker en verwerkt kan worden in de bestaande slibindik- en slibgisting-installaties van de rwzi. Alleen op praktijkschaal kan worden bekeken of deze aannamen juist zijn ten aanzien van bezinkbaarheid, indikgraad en vergistbaarheid.
- 5 Het geproduceerde vezelproduct bevat naar verwachting nog verontreinigingen. In welke mate deze verontreinigingen verstorend werken in de verschillende toepassingen, valt op basis van labexperimenten niet vast te stellen. Gebruikers hebben niet alleen gegevens nodig ten aanzien van het gehalte aan cellulose, hemicellulose en lignine, maar willen ook weten welke verontreinigingen zich in welke mate in het product bevinden. Belangrijk aandachtspunt hierin zijn microverontreinigingen, die overlast geven in toepassing en gebruik, zoals pathogenen, bacteriën, en andere microverontreinigingen die op korte termijn (bij toepassing) of lange termijn (bij gebruik van een product met cellulosevezels uit rioolwater) kunnen leiden tot gezondheidsschade. Uit eerste testen ten aanzien van fijnzeefgoed lijkt de kwaliteit van cellulosevezels uit rioolwater in vergelijking met oud papier goed te zijn op het gebied van zware metalen. Een hygiënisatiestap met voldoende hoge temperatuur en verblijftijd kan problemen ten aanzien van biologisch nagroei waarschijnlijk voldoende ondervangen. Een droogstap onder hoge temperatuur is nu opgenomen in het terugwinproces. Of dit afdoende is kan alleen worden bewezen door een vezelproduct onder praktijkcondities te produceren en toe te passen.
- 6 Tot op heden is aangenomen dat het terugwinnen van cellulosevezels uit influent van rwzi's met voorbezinktanks niet efficiënt en effectief is. Uit dit onderzoek komt naar voren dat deze conclusie prematuur is, aangezien een fijnzeef selectiever lijkt te zijn in de afscheiding van cellulosevezels dan een voorbezinktank, ondanks dat deze hetzelfde verwijderingsrendement laten zien op basis van drogestof. Nader onderzoek hiernaar is gewenst.

5.6 AANBEVELINGEN

Op basis van de gepresenteerde informatie uit de voorgaande hoofdstukken lijkt er in Nederland een aanmerkelijke hoeveelheid cellulosevezels te kunnen worden teruggewonnen uit primair slib: circa 40.000-65.000 ton drogestof per jaar ¹⁴. Op basis van de resultaten en berekeningen in dit rapport is er een match op het gebied van opwerkprijs en afzetmarkt voor cellulosevezels uit primair slib. Of de kwaliteitseisen ook matchen is lastig te bepalen. Dit kan alleen worden bepaald, als er voldoende volume wordt geproduceerd aan vezelproduct, waarmee testen kunnen worden uitgevoerd door potentiële afnemers. Bovendien zijn de resultaten in dit rapport gebaseerd op labonderzoek en zullen deze zich in de praktijk moeten bewijzen.

Om te bepalen of terugwinning van cellulosevezels uit primair slib technisch en financieel haalbaar is, zal een praktijkproef moeten plaatsvinden. Hierin dient niet alleen te worden onderzocht hoe de cellulosevezels robuust kunnen worden teruggewonnen uit rioolwater, maar ook welke producten kunnen worden geproduceerd in relatie tot de eisen van de gebruikers van deze producten. Alleen door het gezamenlijk op praktijkschaal testen van de terugwinmogelijkheden, de eigenschappen van het geproduceerde product en de toepasbaarheid

¹⁴ Uitgaande van 50% voorbezinking van het rioolwater in Nederland en terugwinpercentages van cellulose van 20-30% op basis van drogestof uit primair slib

van het product, kan worden bepaald in welke mate terugwinning van cellulosevezels uit primair slib rendabel is.

Op basis van de resultaten in dit onderzoek, wordt daarom aanbevolen om pilotonderzoek uit te voeren naar het terugwinnen van cellulosevezels uit primair slib. Dit onderzoek dient opgezet en uitgevoerd te worden in samenwerking met potentiële afnemers. De schaalgrootte van deze pilot moet dermate groot zijn, dat resultaten kunnen worden doorvertaald naar een praktijksituatie.

Uit contacten met leveranciers van zeefinstallaties uit de papierindustrie is naar voren gekomen, dat er een mobiele pilot-unit beschikbaar is met een capaciteit van 30-50 m²/h. Deze pilotunit is geschikt voor de behandeling van primair slib en bestaat uit een continue systeem van meerdere typen zeven variërend in grootte van 0,1 - 0,6 mm. Deze capaciteit en zeefwijdten is naar verwachting representatief voor de praktijksituatie van de afscheiding van cellulosevezels uit primair slib. Om deze installatie te beschermen zouden cyclonen moeten worden voorgeschakeld om zand te verwijderen. Cyclonen, die geschikt zijn voor zandverwijdering uit primair slib, zijn tevens in deze capaciteit beschikbaar bij diverse verhuurpartijen.

Gezien de grote van de installatie, zou de praktijkproef moeten plaatsvinden op een grote rwzi, waar een constante aanvoer is van meer dan 50 m³/h aan primair slib. Dit betekent een rwzi met voorbezinking van afvalwater van minimaal 250.000 ie 150 g TZV. Door het uitvoeren van een dergelijke praktijkproef, zou inzicht kunnen worden verkregen in de volgende parameters, die zeer gevoelig zijn in de kostenberekeningen in dit rapport:

- 1 Dimensionering van de installaties om een minimaal percentage van 25% van de droge stof van primair slib terug te winnen als vezels met een cellulosegehalte van 50-80%.
- 2 De kwaliteit van de geproduceerde vezels op het gebied van (micro)verontreinigingen, vezeleigenschappen en overige aspecten ten aanzien van de toepasbaarheid van het teruggewonnen vezelproduct in relatie tot de afscheidings- en opwerkmogelijkheden.
- 3 De benodigde spoelwatercapaciteit voor punten 1 en 2.
- 4 De verwerkbaarheid van het waswater, resulterend uit de punten 1, 2 en 3, op het gebied van bezinkbaarheid, indikgraad en vergistbaarheid.
- 5 De vergistbaarheid van het afscheiden vezelproduct.
- 6 Onderhoudbaarheid en storingsgevoeligheid van de installatie.

Bovenstaande punten resulteren in een bepaling van de benodigde investeringen en variabele lasten en opbrengsten voor terugwinning van cellulosevezels uit primair slib op praktijkschaal. Deze kosten vormen een opwerkprijs, welke vervolgens vergeleken kan worden met de prijs die afnemers willen betalen voor het product, gebaseerd op daadwerkelijke testen met geproduceerd product. Tijdens het pilotonderzoek kunnen deze wensen en eisen vanuit de toepassing van het vezelproduct beter worden afgestemd op de afscheiding van vezels uit primair slib.

Tenslotte wordt aanbevolen om meer onderzoek te verrichten naar het gehalte aan cellulose, hemicellulose, lignine en totaal vezel in verschillende stromen op een rwzi, te weten:

- Influent
- Voorbezonden water
- Primair slib
- Actief slib
- Uitgegist slib

Hierdoor kunnen de massabalansen betrouwbaar worden gesloten. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van de business cases. Daarnaast is het ook zeer zinvol om deze resultaten te vergelijken met metingen aan cellulose, hemicellulose, lignine en totaalvezel in fijnzeefgoed, zodat een goede vergelijking kan worden gemaakt tussen terugwinning van cellulosevezels uit influent en primair slib.

6

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] 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
- [9] Verachtert, H., Ramasamy, K., Meyers, M., Bever, J., 1982, Investigations on cellulose degradation in activated sludge plants. Journal of Applied Bacteriology 52, p. 185-190
- [10] Ghasimi, D.S.M., et al., 2015, Digester performance and microbial community changes in thermophilic and mesophilic sequencing batch reactors fed with the fine sieved fraction of municipal sewage, Water Research (2015)
- [11] Lier, J.B. van et al, 2015, BMP reflecting intrinsic values – Effects of test conditions, inoculums and accumulating intermediates
- [12] Joore, L. en Bouma, H., 2015, Globaal technisch concept voor de terugwinning van cellulose-vezels uit primair slib van een RWZI
- [13] STOWA 2011-33, Optimalisatie WKK en biogasbenutting
- [14] Merkblatt V/1.4/86, 1996, Prüfung von Holzstoffen für Papier, Karton und Pappe – Gleichzeitige Bestimmung des Gehaltes an Splintern und Faserfraktionen, Verein der Zellstoff- und Papier-Chemiker und -Ingenieure, 20 März 1996
- [15] Balkom, N. van, 2012, Energy production from fine sieve material for the benefit of the sewer mining concept - Biodegradability and reactor design aspects, afstudeeropdracht Waternet
- [16] www.papierpraat.nl
- [17] www.papierenkarton.nl
- [18] www.europeantissue.com
- [19] CEPI, Confederation of European Paper Industries, which analyzes and publishes statistics on different paper sectors, including tissue

- [20] Becker, N., 2014, Installation of SRS(Sewage Recycling System) at Aarle-Rixtel WWTP - Trial results and extrapolation to full scale system April-June 2014, Final version november 2014 Applied Clean Tech en Waterschap Aa en Maas
- [21] Lebbink, K., 2014, Microscopische analyse van cellulose in primair slib, uitgegist slib en slibkoek, Waterschap Aa en Maas
- [22] Calker, S. van, 2013, Vezel analyses - Project Grondstoffen fabriek, Waterschap de Dommel, Millvision B.V., 15 mei 2013
- [23] Calker, S. van, 2014, Slib karakterisering (Vezels) m.b.v. Clark vezelclassificatie, Waternet, Millvision B.V., 8 januari 2014
- [24] Diverse microscopische analyses, Chris Reijken, Waternet
- [25] Microverontreinigingen in toiletpapier, 1997, Chemiewinkel Universiteit van Amsterdam, RIZA-werkdocument: 97.14 1 X, Lelystad, november 1997
- [26] Persoonlijke communicatie Michiel Adriaanse, Bumaga BV
- [27] Persoonlijke communicatie Chris Reijken, Waternet
- [28] Persoonlijke communicatie François Rui, Kadant Lamort
- [29] <http://www.hotbincomposting.com/blog/i-dont-have-any-shredded-paper.html>
- [30] Ma, Y. et al (2016), Upcycling of waste paper and cardboard to textiles Green Chem., 2016 (18) p.858-866
- [31] Proceedings bijeenkomst Agri Project 10 oktober 2013, Businesscase Waardevolle Inhoudstoffen, Presentatie Jan van Dam, Randvoorwaarden voor en solide businesscase, WUR-FBR
- [32] 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
- [33] Hirokazu Kobayashi and Atsushi Fukuoka, 2013, Synthesis and utilisation of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass Green Chem., 2013 (15), p. 1740-1763
- [34] <http://www.riool.net/thema-s/communicatie/vochtige-doeekjes>
- [35] Pivnenko, K., Eriksson, E., & Astrup, T. F. , 2015, Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances, Waste Management (45) November 2015, Pages 134–142
- [36] TU Delft, Colleges afvalwaterbehandeling
- [37] Persoonlijke communicatie Prof. dr. ing. Samuel Schabel, TU Darmstadt
- [38] Ghasimi, D.S.M., et al., 2016, Impact of lignocellulosic-waste intermediates on hydrolysis and methanogenesis under thermophilic and mesophilic conditions, Chemical Engineering Journal 295 (2016) p. 181–191

7

BIJLAGEN

Bijlage 1 – Meetmethoden cellulose

Bijlage 2 – NDF/ADF/ADL meetdata

Bijlage 3 – Scheidings- en opschoontesten TU Darmstadt

Bijlage 4 – Vergistingstesten waswater / reject TU Darmstadt

Bijlage 5 – Investeringsramingen en jaarlasten

BIJLAGE 1

MEETMETHODEN CELLULOSE

Auteur: Chris Reijken, Waternet

De afgelopen jaren hebben pogingen om cellulose in slib te meten zich vooral gericht op actief slib vanwege de wens om cellulose als stofcomponent op te nemen in de IAWQ matrix voor ASM-modelleren. Meten bleek lastig. Onderstaand een summier overzicht van gedane pogingen.

Met een **image analyser** kan direct in actief slib, influent of zeefgoed gemeten worden. Een image analyser maakt met een camera microscopische beelden. Met behulp van software kan vervolgens een beeldanalyse worden uitgevoerd. Met software kan diameter en lengte van de deeltjes bepaald worden. Door een lengte/diameter verhouding in te stellen kunnen vezels van andere deeltjes worden onderscheiden, tevens zijn alle getelde deeltjes als plaatje terug te zien en eventueel handmatig te verwerpen. Deze techniek is bij slib alleen praktisch bruikbaar wanneer een meting wordt toegepast waarbij een hoeveelheid vloeistof (slib) langs de camera wordt gepompt, anders is het veel te arbeidsintensief om veel monsters te analyseren. Een techniek waarbij een volume verdund en ontkleurd slib langs de camera wordt gepompt lijkt op basis van eerste testen bij firma Sympatec in Roosendaal te werken, maar is niet beschikbaar in commerciële laboratoria en de opstelling is duur (circa € 70.000,-). Naast aanschaffkosten zijn er ook kosten voor onderhoud en analyse. De techniek heeft als voordeel dat er tevens een lengtedistributie verdeling verkregen wordt. Er zijn overigens geen kalibratie- en validatiemetingen uitgevoerd zodat niet zeker is dat de techniek echt goed werkt. Er wordt immers beeldinformatie vertaald naar massa. Er moeten ook in deze methode redelijk wat samples onderzocht worden om een goed gemiddelde te krijgen. De kosten voor een analyse zijn hoog.

Een in de literatuur beschreven methode van **Updegraf** is door Waternet en Waterproef uitgebreid getest maar uiteindelijk na vele optimalisaties als onbetrouwbaar terzijde geschoven. In deze methode wordt na een uitgebreide voorbehandeling het monster gehydrolyseerd met een Anthron oplossing en vervolgens het suikergehalte gemeten.

Er zijn eveneens testen met Near InfraRed Light (NIR) gedaan. Deze methode wordt veelvuldig gebruikt om bijvoorbeeld in hout het lignine en cellulose gehalte te meten. Eerste testen met additie van cellulose leken succesvol, echter in het lage concentratiegebied (gehalte cellulose in slib) en door de eigen kleur van slib, bleek de methode niet geschikt. De techniek wordt o.a. bij de WUR onderzocht zie evt: <http://www.wageningenur.nl/nl/show/NIR-spectroscopy.htm>

Er is onderzocht of een **Ankom analyser**¹⁵ toepasbaar was. De methode lijkt enigszins op een NDF/ADF/ADL bepaling (zie onder). Het bleek echter dat in actief slib door de lage concentratie van cellulosevezel, ongeveer 5% - 20% van de drogestof zonder VB-tank, meting niet mogelijk te zijn. De filterzakjes waarmee gewerkt wordt versmeren en slib wordt niet

15 <https://ankom.com/product/ankom-200-fiber-analyzer-120v-domestic.aspx>.

afdoende verwijderd. In zeefgoed werkt de methode mogelijk wel. Eerste resultaten gaven vergelijkbare waardes als de eerder uitgevoerde TGA (Thermo Grafische Analyse) voor zeefgoed, zie eventueel Stowa rapport Influent fijnzeven, maar door tijdsgebrek is dit niet verder uitgezocht.

NDF/ADF/ADL METING

Bij de analyse worden drie fracties onderscheiden: NDF = fractie die niet oplost in neutraal detergens, ADF = fractie die niet oplost in zuur detergens en ADL = residu dat niet oplost in een sterk zuur. Het sample wordt verwarmd en met detergens gespoeld over een filterkroesje met 40 µm poriën.

- NDF staat voor Cellulose, Hemicellulose en Lignine
- DF staat voor Cellulose en Lignine
- ADL staat voor Lignine
- Verschil tussen ADF en ADL wordt beschouwd als het cellulose deel.

Door Aa en Maas is in het ACT onderzoek in zeefgoed een analyse van verkregen ACT zeefgoed (ReCyllose) uitgevoerd. Door ACT is een meting gedaan in Israel op basis van **NDF/ADF/ADL**. Gevonden werd 70% vezel waarvan 80% cellulose is.

Door DSM is een meting met zeefgoed van de ACT pilot met een enzymatisch techniek gedaan. Dit gaf een lagere waarde dan de NDF/ADF/ADL.

In zeefgoed is voor het fijnzeefonderzoek het cellulosevezel gehalte bepaald met een **TGA analyse** aan de VU in Amsterdam. In zeefgoed was een bepaling mogelijk. In andere slibstromen faalt de TGA methode zo werd geconcludeerd. Met TGA wordt geleidelijk de temperatuur verhoogd en de gewichtsafname gemeten, waarbij cellulose een karakteristieke verbrandingspiek geeft rond de 300 °C. In andere slibstromen ontstond geen duidelijke piek doordat andere organische componenten mee verbranden in hetzelfde gebied.

In samenwerking met Waterproef (gezamenlijk laboratorium van Waternet en HHNK) en met Millvision zijn verschillende pogingen gedaan om de vezels fysiek en chemisch te scheiden van slib. Hiervoor zijn een **Clark en Sommerville** getest in combinatie met chemische oxydatie. Deze pogingen faalden omdat er een pulp ontstond waarin nog steeds een aanzienlijke en onbekende hoeveelheid slib en ander materiaal achterbleef. Tevens spoelen er vezels uit doordat er meer monster ingezet moet worden dan standaard bij papierpulp analyse en verlenging van de verblijftijd nodig was.

Door de Rijksuniversiteit van Groningen (RUG) (Lena Faust), is recent in het kader van het Cados project, met een **enzymatische methode** getracht cellulose te meten in zeefgoed en actiefslib. Daarmee wordt met behulp van enzymen de cellulose omgezet in glucose die vervolgens in een HPLC gemeten worden. In zeefgoed worden waarden verkregen die in dezelfde grootte orde lijken zijn als in eerdere Stowa rapporten vermelde gehalten die met een TGA methode bepaald zijn (RUG 40% - 70% van drogestof in zeefgoed). In actief slib geeft de RUG methode een overschatting van het cellulose percentage. Gevonden werd 50% op drogestof basis, dit is op basis van massa balansen niet mogelijk. Door de RUG wordt onderkend dat de methode nog verbeterd moet worden. De kosten van een dergelijke analyse zijn niet bekend. Nadeel is dat er weinig monster in behandeling wordt genomen.

Conclusie: sommige methoden lijken inzetbaar, maar omdat bij primair slib de vezels erg verontreinigd zijn met slib, vet en ander organisch materiaal, zijn ze niet betrouwbaar. Dit in tegenstelling tot zeefgoed, wat schoner is op het gebied van organische verontreinigingen.

Om het slib en vezel beter te scheiden van slib en andere verontreiniging, is voor actief slib en uitgegist slib door Waternet een opstelling ontwikkeld (cellulose-scheider). De eerste testen, uitgevoerd op actief slib, waren veelbelovend. Daarbij werd slib “kapot” geoxideerd met onder andere bleekloog. De cellulosevezel wordt niet aangetast door bleekloog.

Om deze reden is onderzocht of de cellulosescheider als voorbehandeling toegevoegde waarde zou kunnen hebben voor primair slib. De eerste testen hiervan waren veelbelovend, er ontstaat een pulp die er visueel en microscopisch redelijk schoon uit ziet. In deze pulp is het wellicht mogelijk om een cellulosemeting te doen. Groot voordeel is dat er tot enkele liters slib behandeld kan worden waardoor de aanwezige spreiding minimaal wordt. Bij behandeling van primair slib monsters van rwzi's Amsterdam en Zwolle blijkt dat de cellulosescheider nauwelijks invloed heeft op het cellulosevezelgehalte. De primair slibstroom blijkt geconcentreerd genoeg te zijn om de methode op toe te passen. Uiteindelijk blijkt het voorbehandelen met de cellulosescheider voor deze stroom dus niet nodig; voor verdunde stromen zoals actief slib is deze echter wel zeer goed inzetbaar.

BIJLAGE 2

NDF/ADF/ADL MEETDATA

1. METINGEN PRIMAIR SLIB

TABEL A NDF/ADF/ADL METING PRIMAIR SLIB (3,2% DS; 80% OS); RWZI AMSTERDAM; PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF; MONSTERNAMETIJDSTIP 08:00

Amsterdam	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulosevezel (%)
13-7-2015	15,4	9,6	7,8	32,8
14-7-2015	17,3	8,7	8,1	34,1
15-7-2015	16,5	9,6	7,9	34,0
16-7-2015	20,1	9	7,3	36,4
17-7-2015	19,9	8,4	7,7	36,0
20-7-2015	17,9	8,7	7,6	34,2
21-7-2015	16,5	9,4	8,3	34,2
22-7-2015	13,2	10,4	10,1	33,7
23-7-2015	18,2	9,4	8,7	36,3
24-7-2015	14,7	10,6	9,8	35,1
Gemiddeld	17,0	9,4	8,3	34,7

TABEL B NDF/ADF/ADL METING OP INGEDIKT PRIMAIR SLIB (3,7% DS; 78% OS); RWZI ZWOLLE; PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGESTOF; MONSTERNAMETIJDSTIP 08:00

Zwolle	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulosevezel (%)
31-8-2015	27,2	9,8	6,6	43,6
1-9-2015	20,5	10,4	7,5	38,4
2-9-2015	16,6	10,2	7,7	34,5
3-9-2015	16,9	10	6,8	33,7
7-9-2015	26,6	9,8	5,9	42,3
8-9-2015	21,3	10,6	6,7	38,6
9-9-2015	18,2	11,4	7	36,6
Gemiddeld	21,0	10,3	6,9	38,2

TABEL C NDF/ADF/ADL METING PRIMAIR SLIB RWZI DEN BOSCH (6% DS; 83% OS); PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF

Den Bosch	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulosevezel (%)
23-3-2015	31,0	5,0	2,1	38,1

2. METINGEN FIJNZEEFGOED

TABEL D NDF/ADF/ADL METING FIJNZEEFGOED HUBER TROMMELZEEF RWZI HILVERSUM (82,7% DS; 93,3% OS); PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF

Datum	cellulose %	hemicellulose %	lignine %	totaal cellulosevezel %
2-12-2015 11:30	64,5	5,7	4,5	79,2
2-12-2014 14:30	46,7	4,3	4,3	59,6
4-12-2015 12:00	59,5	5,2	3,8	72,3
4-12-2015 14:00	60,2	5,2	3,9	73,2
17-12-2015 11:00	49,6	5,7	5,6	66,5
17-12-2015 13:00	51,7	5,6	6,4	70,1
17-12-2015 13:00	48,7	5,4	6,5	67,1
Gemiddeld	54,4	5,3	5,0	69,7

TABEL E NDF/ADF/ADL METING RECYLLOSE TM RWZI AARLE RIXTEL (85% DS; 91,7% OS); PERCENTAGES OP BASIS VAN DROGE STOF

Monsternamedag	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)	Totaal cellulosevezel (%)
Juni 2014	65,0	11,4	5,3	81,7

BIJLAGE 3

OPWERKTESTEN PRIMAIR SLIB TU DARMSTADT



DATE RESEARCH: 24TH -26TH OF MARCH 2015

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Dr.-Ing. Christian Ewald

Ing. Klaus Villforth

Ing. Paul Post

Ir. Robert Kras, Waterschap Aa en Maas

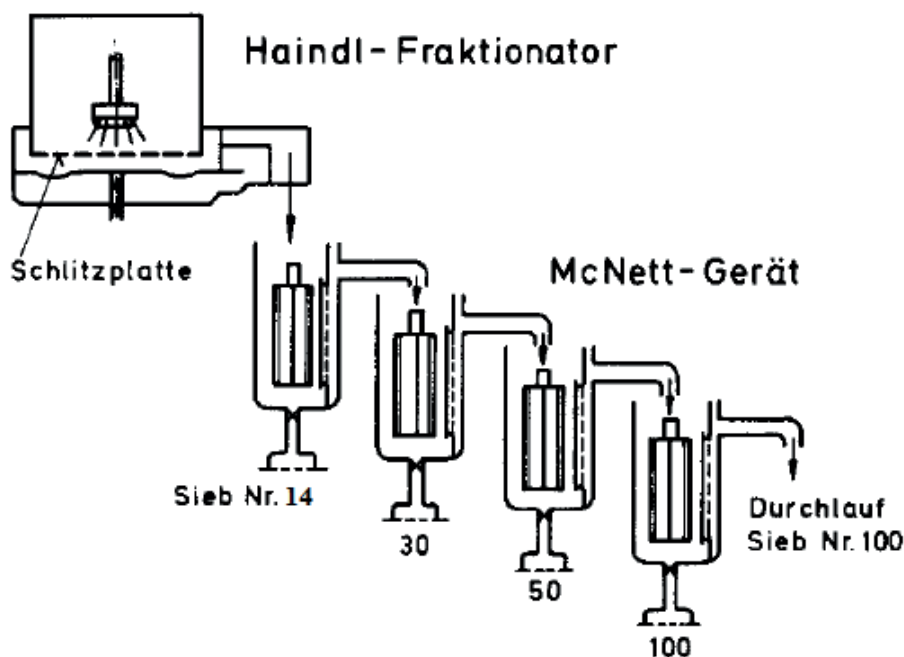
Ir. Heleen Pinkse, Waterschap Groot Salland

At the research facilities of the University of Darmstadt, primary sludge¹⁶ was analyzed to investigate which type of fibers are present and through which treatment steps these can be separated. First the following screening steps were applied:

- A Haindl Fractionator: round hole screen 0,7 mm
- A Bauer McNett Classifier with screens of 14, 30, 50, and 100 mesh¹⁷

The result is a fractionation in different fiber length groups R14 (retained fibers at a 14 mesh screen), P14/R30 (passed 14 mesh, retained at 30 mesh), P30/R50 (passed 30 mesh, retained at 50 mesh) and P50/R100 (passed 50 mesh, retained at 100 mesh), see figure 1.

FIGURE 1

HAINDL FRAKTIONATOR - BAUER MC NETT TEST UNIT ¹⁸

Following this fractionation the R14, R30, and R14+30 were then passed through a 0,1 mm slot screen with the Haindl Fractionator.

The main results from this experiments are (see also figures 2 and 3):

- The cellulose fibers are already present in a 'loose' state in the primary sewage sludge, through which re-pulping is not necessary.
- The reject, which is retained by the 0,7 mm Haindl Fractionator contains coarse material and fat (see figure 2 left)
- Based on expert judgment of professor Dr.-Ing. Schabel of the University of Darmstadt, the fibers which are retained by R14+R30 and passed the slot screen of 0,1 mm, are the most promising for application by market parties (see figure 3)¹⁹. The fibers retained by R14+R30 amount to 20% of the dry matter in primary sewage sludge.

¹⁶ Thickened primary sludge from wwtp Den Bosch was used, which was first diluted from 6% to 0,6% dry matter.

¹⁷ Mesh is defined as the exact number of openings per linear inch of mesh. A screen of 16 mesh will have 16 openings per square inch. Higher numbers of wires per square inch result in smaller openings. The corresponding sieve sizes are R14 = 1,2 mm; R 30 = 0,6 mm; R 50 = 0,3 mm and R 100 = 0,15 mm

¹⁸ Merkblatt V/1.4/86, Prüfung von Holzstoffen für Papier, Karton und Pappe – Gleichzeitige Bestimmung des Gehaltes an Splintern und Faserfraktionen, Verein der Zellstoff- und Papier-Chemiker und -Ingenieure, 20 März 1996

¹⁹ Dependant on the application of the market party smaller mesh-sizes and/or more sequential screening steps can be more effective.

- The R14+R30 fraction still contains a considerable amount of particulate contaminants, which are removed for a large part by treating these fractions with the 0,1 mm slot screen. This reflects in the ash-contents of the reject and accept after the 0,1 mm slot screen: the reject (retained by the slot, see figure 2 middle) contains 25% ash and the accept (passed through the slot) only 2% ash, both based on dry matter.
- The fine rejects from the Bauer McNett Classifier (P30) contain mainly small fibers and shives (see figure 2, right). This fraction amounts to 70% of the dry matter of the raw primary sewage sludge. Another 10% of dry matter is retained by the Haindl Fractionator 0,7 mm round holes and Haindl Fractionator 0,1 mm slots.

FIGURE 2 REJECTS: LEFT HAINDL FRACTIONATOR 0,7 MM ROUND HOLES; MIDDLE HAINDL FRACTIONATOR R 30 0,1 MM; RIGHT MICROSCOPIC IMAGE X 100 ENLARGED REJECTS P30

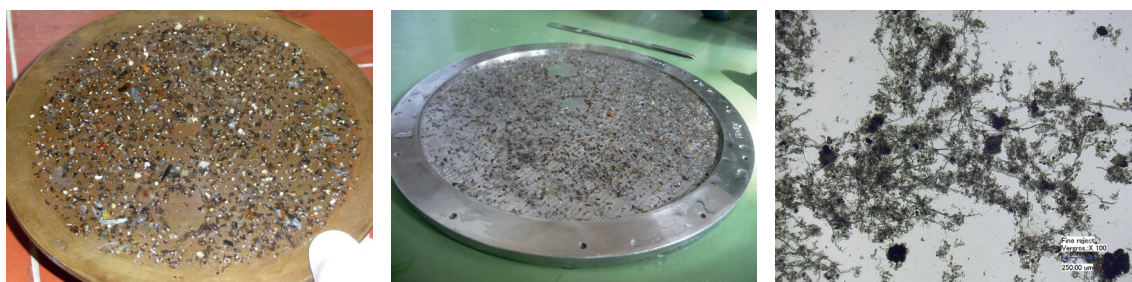
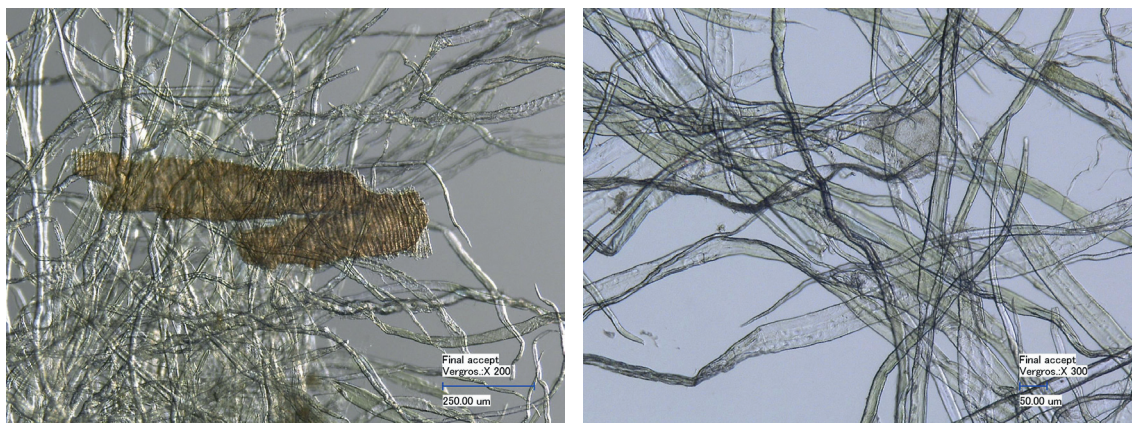


FIGURE 3 ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATOR; LEFT WITH POLLUTION (X 200 ENLARGED); RIGHT WITH MINOR POLLUTION (X 300 ENLARGED)



The accept R14+R30 + 0,1 mm slot Haindl Fractionator could not be further cleaned through flotation or cyclones in these trials. It appeared that the differences in density and settling properties of pollution and fibers were not large enough, nor did pollution adhere to foam in flotation experiments to separate polluted particles from the fibers (see figure 4).

FIGURE 4

FLOTATION (LEFT) AND SETTLING EXPERIMENTS (RIGHT) ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATE

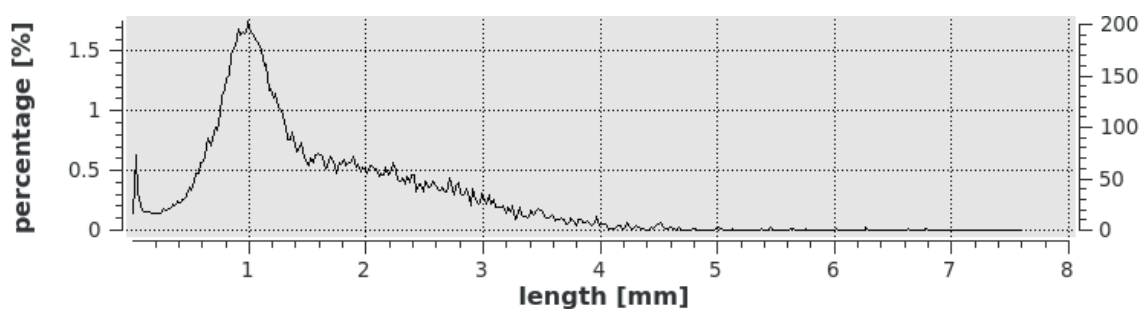


The fiber length fractions of the R14+R30 accept were analyzed through microscopic imaging and in a FiberLab Metso-device. This measurement gives insight in fiber morphology such as fiber length, external fibrillation, fiber wall thickness, fiber width and curl. From these analyses the following was concluded:

- The fibers are of high quality, with no signs of mechanical or biological degradation.
- The average length of the fibers is 1,0-1,1 mm, which is consistent with its origin toilet paper (see figure 5)
- The remaining contamination in the accept appears to be consisting of organic material and natural and synthetic fibers from e.g. seeds and textiles, which contribute to the fiber lengths > 1,5 mm.

FIGURE 5

OUTPUT FIBER LAB ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATOR



The full report of the FiberLab Metso device is given in appendix 1.

From the accept R14+R30 +0.1 mm slot Haindl Fractionator, fiber laboratory sheets were formed (see figure 7). These sheets were then analyzed through microscopic imaging (see figure 6) and tested for physical properties such as tensile strength and weight. These paper sheets are available for potential buyers and had the following properties:

- Weight: 76,7 g/m²
- Tensile strength: 15-20 Nm/g

This tensile strength is low compared to paper sheets made from other bio-sourced materials like the Eucalyptus tree, which is 40 Nm/g; reference of recycled standard copying paper is 50-60 Nm/g. These differences can be explained to a large extent by contaminants.

FIGURE 6 ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATOR PAPER SHEETS; LEFT WITH POLLUTION (X 200 ENLARGED); RIGHT WITH MINOR POLLUTION(X 200 ENLARGED)

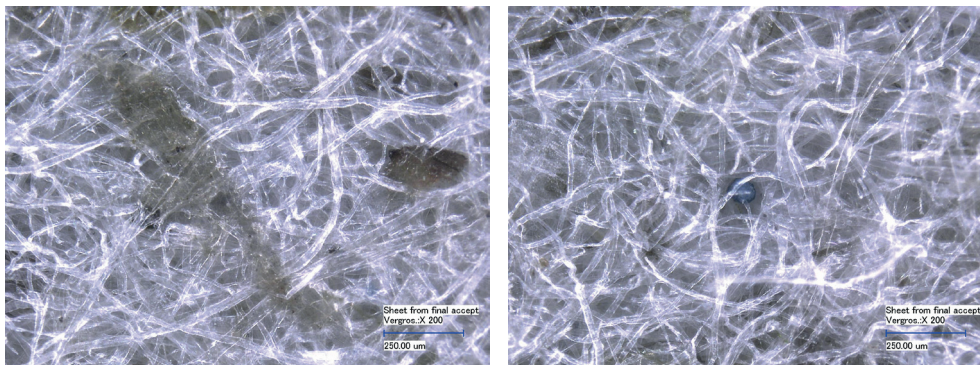


FIGURE 7 ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATOR HAND SHEET



APPENDIX 1: OUTPUT FIBRE LAB ACCEPT R14+R30 + 0,1 MM SLOT HAINDL FRACTIONATOR



Summary

1 / 2



Sample identification

Zeit	25.3.15 11:24:42
PP	5
PPN	2.Versuch R14+30 nach 100µm Schlity 1/2
Gemessen von	auto
Probennr.	122
Bemerkungen	

Other results

Fiber width	16.9 µm
Curl	21.36 %
Coarseness	0.108 mg/m
Fines A	4.14 %
Fines B	33.65 %
Fibrillation	1.91 %

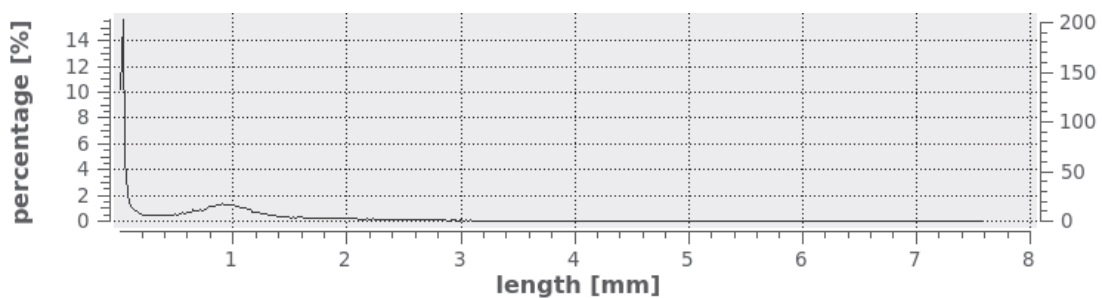
Sample statistics

Particle count	127046 n
Fiber count	26667 n

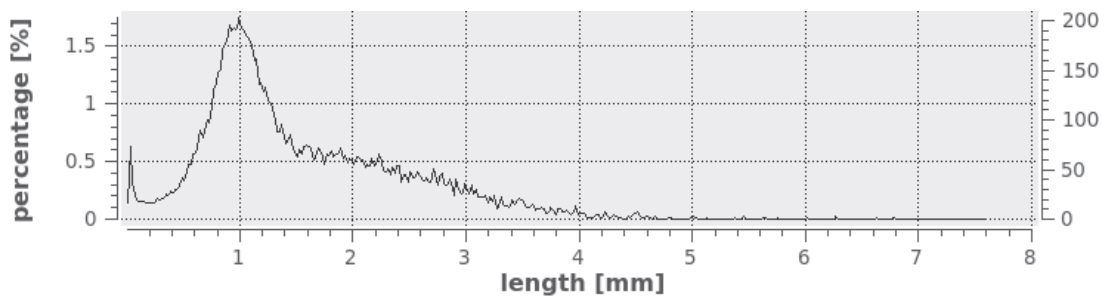
Fiber length results

Lc(n)	1.030 mm
Lc(n) ISO	1.169 mm
Lc(l) ISO	1.581 mm
Lc(w) ISO	2.059 mm

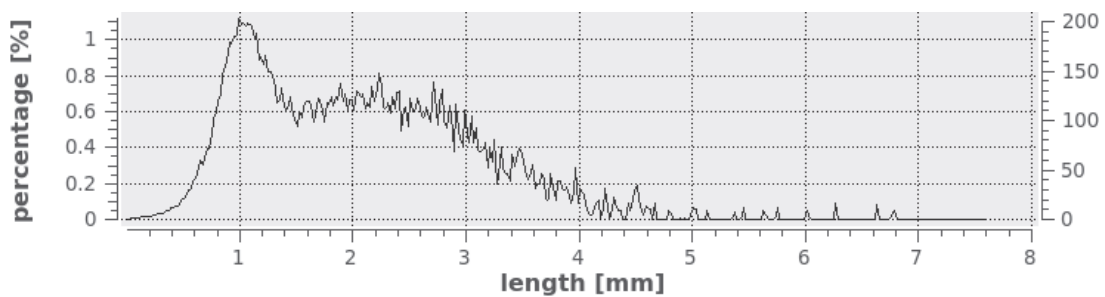
Arithmetic distribution



Length weighed distribution



Weight weighed distribution



vessels

Measured count [vessels] 664 n

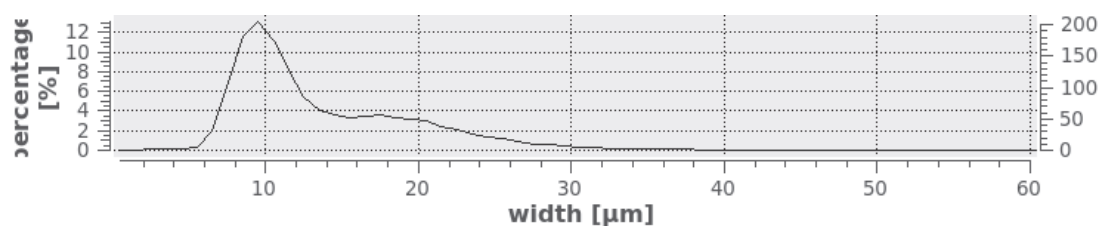
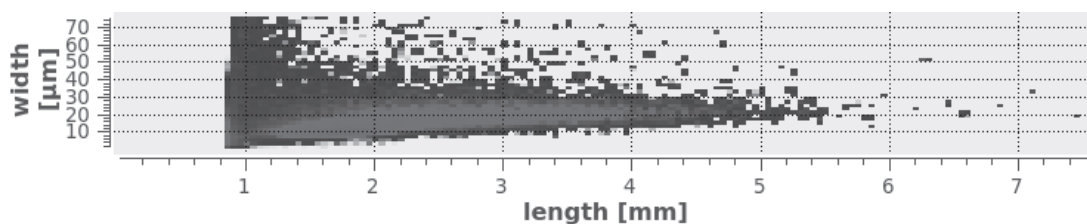
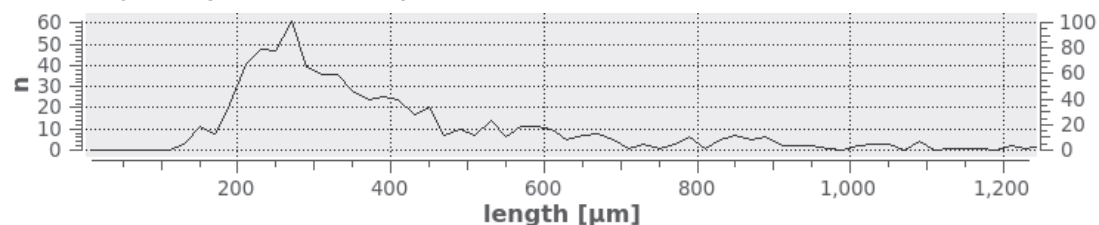
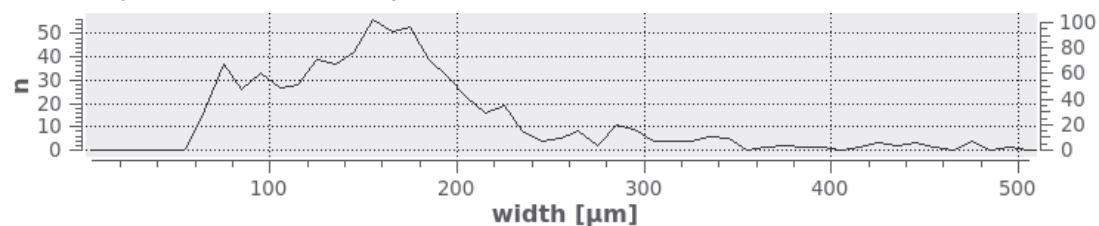
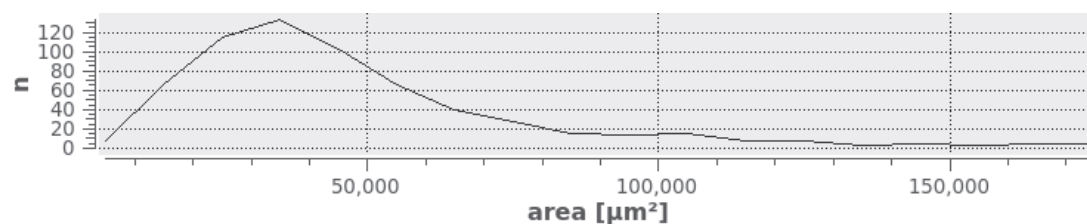
Count [vessels] 46.8 n/mg

Object length [vessels] 412 μm Object width [vessels] 169 μm Object area [vessels] 58160 μm^2 **Fiber length results**

Lc(n) 1.030 mm

Lc(l) 1.562 mm

Lc(w) 2.057 mm

Fiber width distribution**Length/width distribution****Basket 1. Object length distribution by classifier****Basket 1. Object width distribution by classifier****Basket 1. Object area distribution by classifier**

Sample identification

Zeit	25.3.15 11:24:43
PP	5
PPN	2.Versuch R14+30 nach 100µm Schlity 2/2
Gemessen von	auto
Probennr.	123
Bemerkungen	

Other results

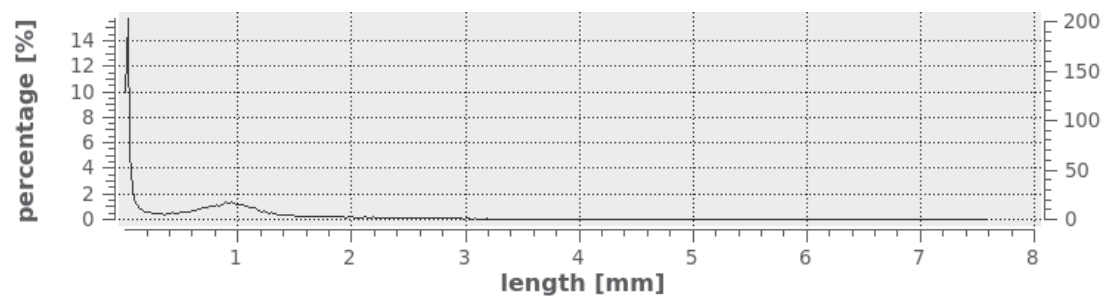
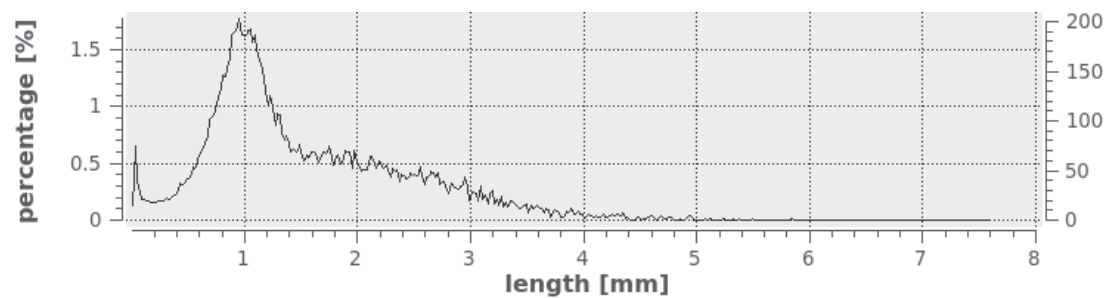
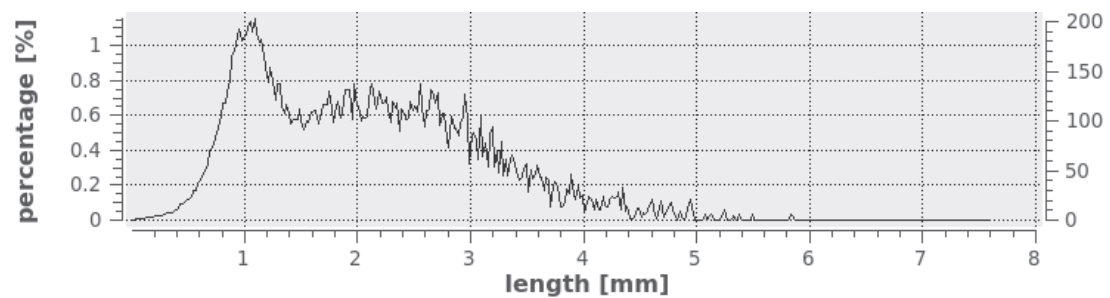
Fiber width	17.1 µm
Curl	21.22 %
Coarseness	0.111 mg/m
Fines A	3.97 %
Fines B	32.46 %
Fibrillation	1.96 %

Sample statistics

Particle count	140341 n
Fiber count	31332 n

Fiber length results

Lc(n)	1.014 mm
Lc(n) ISO	1.162 mm
Lc(l) ISO	1.582 mm
Lc(w) ISO	2.064 mm

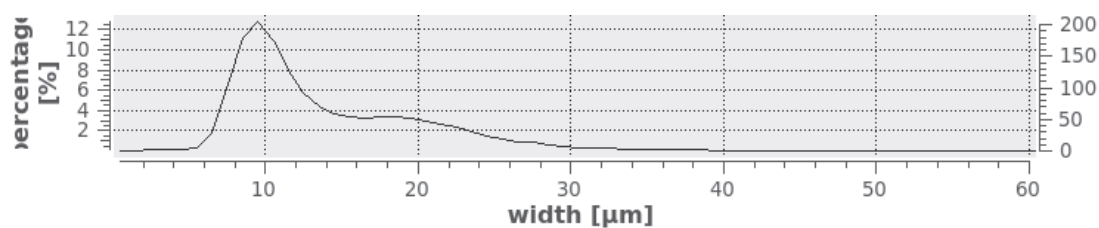
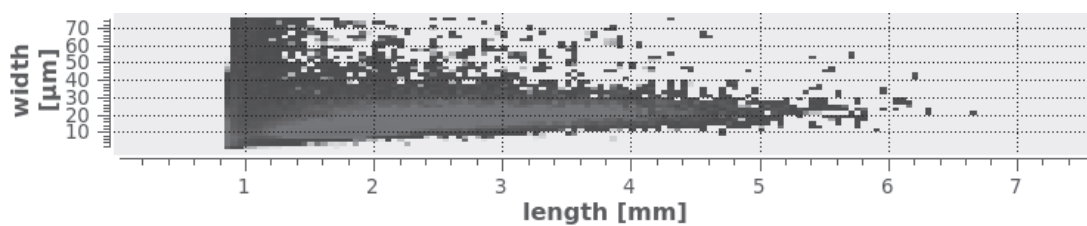
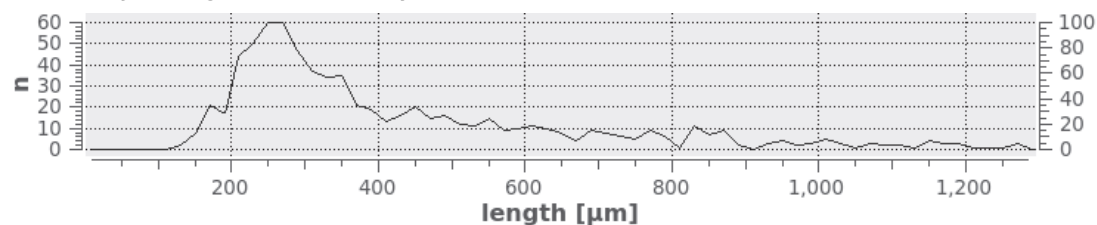
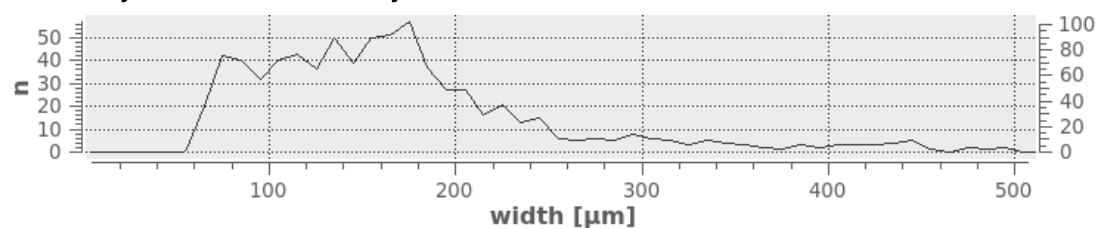
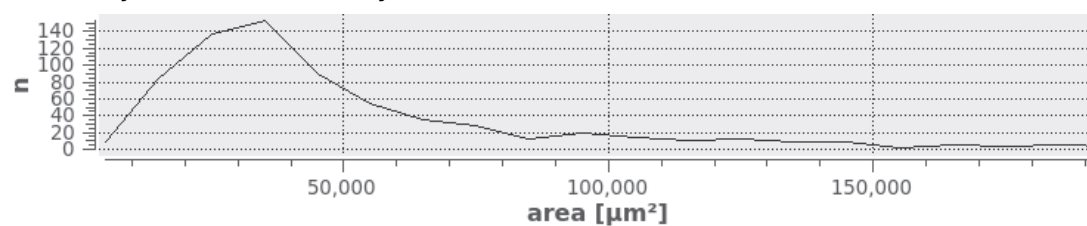
Arithmetic distribution**Length weighed distribution****Weight weighed distribution**

vessels

Measured count [vessels]	744 n
Count [vessels]	43.0 n/mg
Object length [vessels]	429 μm
Object width [vessels]	169 μm
Object area [vessels]	63728 μm^2

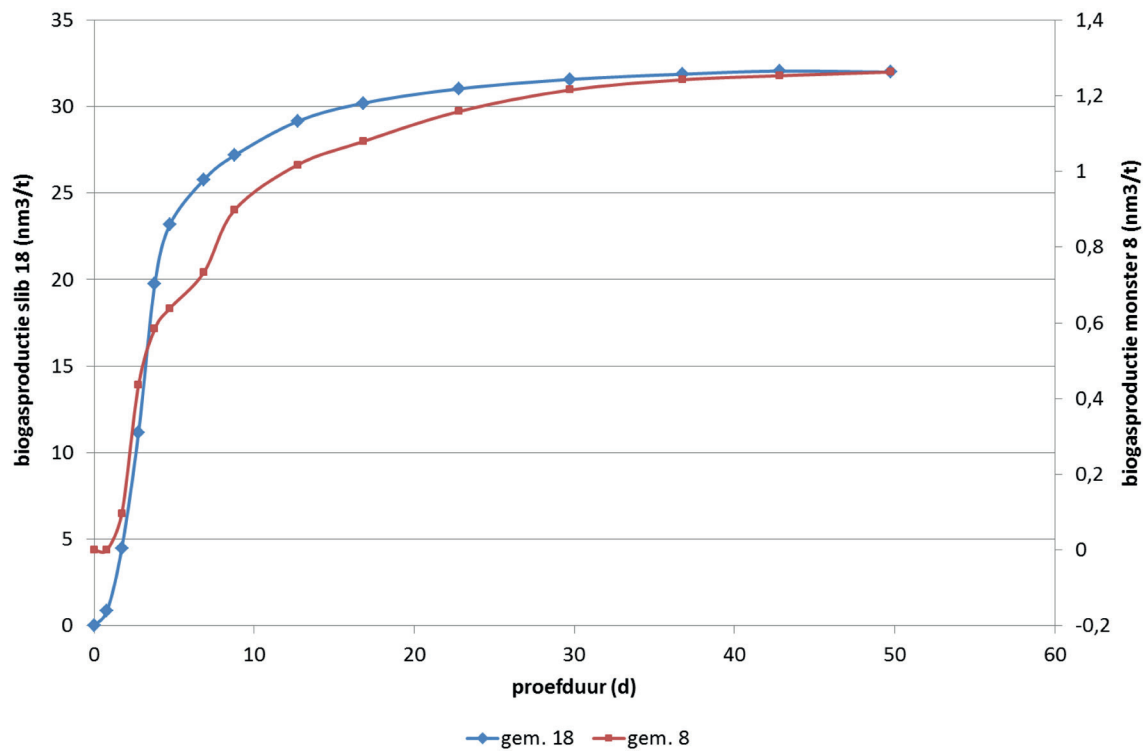
Fiber length results

Lc(n)	1.014 mm
Lc(l)	1.561 mm
Lc(w)	2.062 mm

Fiber width distribution**Length/width distribution****Basket 1. Object length distribution by classifier****Basket 1. Object width distribution by classifier****Basket 1. Object area distribution by classifier**

BIJLAGE 4

VERGISTINGSTESTEN WASWATER/ REJECT TU DARMSTADT



Monster 18 = primair slib

Monster 8 = fine rejects oftewel bezinksel waswater

Primair slib (monster 18) levert 32 Nm³ biogas (64 % CH₄)/ton nat (5,9% ds) binnen 40 dagen, oftewel 347 Nm³ CH₄ per ton drogestof. Hetbezinksel van het waswater (monster 8) levert 1,3 Nm³(71 % CH₄)/ton nat (0,3 % ds) binnen 40 dagen, oftewel 308 Nm³ CH₄ per ton drogestof.

BIJLAGE 5

RAMINGEN INVESTERINGEN EN JAARLASTEN

	Rwzi Zwolle	Grote rwzi	Rwzi Amsterdam West
Capaciteit installatie terugwinning cellulose (m³/h)	63	87	278
Zandverwijdering (cyclonen)	22.000	26.000	75.000
Zeven: 0,7 + 0,5 + 0,1 mm en pers	88.000	104.000	300.000
Droging	88.000	104.000	300.000
Hete lucht voorziening	30.000	35.000	100.000
Aanvoerend en afvoerend pompen, leidingwerk c.a	59.000	69.000	200.000
Fundering en gebouw	103.000	121.000	350.000
Electra	86.000	101.000	293.000
Procesautomatisering	44.000	51.000	147.000
Onvolledigheid (20%)	104.000	122.200	353.000
Totale bouwkosten	624.000	733.200	2.118.000
Opslagfactor	1,65	1,65	1,65
Ontwikkeling	0,10	0,10	0,10
Stichtingskosten	1.100.000	1.290.000	3.710.000
	Rwzi Zwolle	Grote rwzi	Rwzi Amsterdam West
Kapitaalslasten (afschrijving + rente; max 15 jaar)	176.358	207.221	598.600
Onderhoud	18.720	21.996	63.540
Personeel	40.000	40.000	40.000
Electriciteit	11.487	13.277	21.243
Productie spoelwater	8.637	11.980	38.336
Overige effecten op rwzi			
Waswater terug naar rwzi	8.637	11.980	38.336
Minder biogasopbrengst	37.428	45.424	106.489
Minder slibontwatering: PE	-21.755	-26.670	-99.673
Minder slibontwatering: slibeindverwerking	-145.815	-165.521	-429.511
Minder opwarmen gisting	0	0	-6.884
Totale jaarlasten	134.000	160.000	371.000
Vezelproductie (ton ds/jaar)	960	1.331	4.260
Benodigde opbrengst vezels per ton ds	140	120	88