stowa

ENERGIE EN Grondstoffen FABRIEK

PILOT AFSCHEIDING EN OPWERKING CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB EN FIJNZEEFGOED DOOR INZET VAN MERI-TECHNOLOGIE







RAPPORT 2022 15

stowa

PILOT AFSCHEIDING EN OPWERKING CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB EN FIJNZEEFGOED DOOR INZET VAN MERI-TECHNOLOGIE

RAPPORT 2022 15

ISBN 978.90.5773.983.5

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

AUTEURS Mirabella Mulder, Mirabella Mulder Waste Water

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Erik van den Berg, Waterschap Vallei en Veluwe
Jouke Boorsma, Aquaminerals
Paula van den Brink, Evides
Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Meinard Eekhof, Waterschap Vechtstromen
Yede van der Kooij, Wetterskip Fryslân †
Remmie Neef, Waterschap Zuiderzeeland
Heleen Pinkse, Waterschap Drents Overijsselse Delta
Chris Reijken, Waternet
Cora Uijterlinde, STOWA
Marlies Verhoeven, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2022-15
ISBN 978.90.5773.983.5

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

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. Rioolwater bevat veel toiletpapier en dat toiletpapier bevat veel waardevolle cellulosevezels. Deze cellulosevezels kunnen worden afgescheiden uit rioolwater door inzet van zogenaamde fijnzeven.

In 2019 zijn resultaten gepubliceerd van een pilot op rwzi Leeuwarden met fijnzeeftechnologie, de Meri-installatie, die kan concurreren met de tot dan toe bekende technologie van roterende bandzeven. Tijdens het onderzoek in 2019 werd te weinig fijnzeefgoed geproduceerd om er representatieve productieruns mee te draaien in de papierfabriek. Dit nieuwe project had als doel om deze markttoepassing verder te onderzoeken door een grotere hoeveelheid fijnzeefgoed te produceren. Niet alleen voor de papierindustrie, maar ook voor een andere geïnteresseerde afnemer, ECOR, welke panelen uit het fijnzeefgoed kan produceren voor toepassing in de bouw. De huidige kwaliteit van geproduceerd fijnzeefgoed door roterende bandzeven voldoet niet. In dit project is aangenomen dat de Meri-installatie ingezet kon worden om dit vervuilde fijnzeefgoed verder op te schonen en op te werken. Het produceren van een hoge kwaliteit aan cellulose uit fijnzeefgoed wat voldoet aan de eisen van de afnemers is helaas niet gelukt, vanwege een te hoog gehalte aan organische verontreinigingen (vet, slibdeeltjes) en een biologisch onstabiel product (schimmelvorming, bacteriegroei, stank).

Naast het opschonen van fijnzeefgoed voor representatieve productieruns bij afnemers, is de Meri-installatie ook getest op afscheiding van cellulose uit primair slib. Ook dit product bevatte te veel bacteriologische en organische verontreinigingen en voor marktoepassing in de papierindustrie of productie van bouwpanelen.

De interesse vanuit de papierindustrie en andere afnemers van oud papier is echter wel degelijk aangewakkerd, met name voor de inzet van de Meri-technologie op afscheiding van cellulosevezels uit influent, conform de pilot welke is uitgevoerd in 2019 in Leeuwarden. Optimalisaties zijn mogelijk. Verder onderzoek wordt aanbevolen om de volgende stappen naar markttoepassing te bewerkstelligen van cellulose uit influent en primair slib, waarmee een significante bijdrage geleverd kan worden aan de circulaire economie. Voor cellulose uit influent worden hiervoor al vervolgstappen gezet: op rwzi Zeewolde van waterschap Zuiderzeeland wordt de Merizeef op influent uitgetest op pilotschaal en wordt toepassing van dit product in de papierindustrie onderzocht.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Cellulose kan worden teruggewonnen door inzet van zeven op influent. Deze zogenaamde fijnzeven verwijderen droge stof en organische stof uit het influent. Het geproduceerde product wordt fijnzeefgoed genoemd en bevat circa 50% cellulosevezels. De overige 50% bestaat uit vet, haren, zand, slibdeeltjes en overige onopgeloste en opgeloste organische en anorganische verontreinigingen. Dit fijnzeefgoed kan worden afgezet als vezelgrondstof, waardoor de grondstoffenkringloop op het gebied van cellulose kan worden gesloten.

In 2019 is pilotonderzoek gedaan met de zogenaamde Meri-installatie: een combinatie van technologieën bekend vanuit de papierindustrie. Deze Meri-installatie bestond achtereenvolgens uit een Conus Trenner, een Elephant filter, een hygiënisatie-installatie en een pers voor ontwatering. De Conus Trenner (CT) is een machine waarin influent wordt gespoten via spuitstukken op een draaiend filter met meerlaags roestvrij staaldraad bij een overdruk van 1 bar. De maaswijdte van het filter kan variëren tussen de 0,08 en 2,0 mm. Het Elephant Filter (EF) is een schijvenindikker. De hygiënisatie vond plaats door dosering van permierenzuur. Het geproduceerde fijnzeefgoed was in 2019 dusdanig schoon, dat afnemers hierin waren geïnteresseerd, waaronder de papierindustrie[4]. Er werd echter te weinig fijnzeefgoed geproduceerd om er representatieve productieruns mee te draaien in de papierfabriek. Dit project heeft als doel om deze markttoepassing verder te onderzoeken door een grotere productie van fijnzeefgoed door het fijnzeefgoed afkomstig van de roterende bandzeven van rwzi Beemster verder op te schonen. Niet alleen voor de papierindustrie, maar ook voor een andere geïnteresseerde afnemer, ECOR, welke panelen uit het fijnzeefgoed kan produceren voor toepassing in de bouw.

Naast het produceren van meer fijnzeefgoed voor representatieve productieruns bij afnemers, is de Meri-installatie ook getest op afscheiding van cellulose uit primair slib. In 2016 is op labschaal onderzoek gedaan naar terugwinning van cellulose uit primair slib met technieken bekend uit de papierindustrie. Primair slib bevat 30-40% cellulose. Door middel van een cascade aan zeven met verschillende typen gaten en sleuven en maaswijdtes, werd in 2016 een product verkregen met een hoog cellulosegehalte en relatief weinig vervuiling [5]. Deze technologie zou kunnen worden ingezet op rwzi's waar al voorbezinktanks zijn gerealiseerd. Hier worden namelijk geen fijnzeven ingezet. Een voorbezinktank verwijdert namelijk al droge en organische stof met 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. Hier staat tegenover 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. De Meri-technologie heeft sterke overeenkomsten met de labopstelling uit 2016. In dit onderzoek is daarom ook onderzocht of afscheiding van cellulose uit primair slib aantrekkelijk is.

TERUGWINNING UIT PRIMAIR SLIB

De Meri-installatie is in staat is om cellulosevezels terug te winnen uit primair slib: 75-80% van de cellulosevezels worden teruggewonnen. Het geproduceerde product bevat echter veel verontreinigingen: meer dan 50% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, waarvan circa 4% zand, 3% overig anorganisch en het overgrote deel organisch (circa 40-50%). Dit betekent dat het vezelproduct uit primair slib nog verder moet worden opgeschoond. Ten

opzichte van de labstudie uit 2016 verschilt de opstelling: de Meri-installatie zeeft het primair slib direct op 80 micrometer, waarbij in het labonderzoek een voorgeschakelde zeef van 0,3-0,5 mm was geplaatst voor een zeefstap van 100 micrometer. De kwaliteit van het product vanuit de Meri-zeef is onvoldoende. Dit betekent dat er een zeef moet worden voorgeplaatst van 0,3-0,5 mm en/of dat een aanvullende wasstap noodzakelijk is. Welke mate van wassing en hygiënisatie nog moet worden toegevoegd kan op basis van dit onderzoek niet worden bepaald. Hygiënisatie met permierenzuur blijkt verder niet effectief op primair slib, wellicht is perazijnzuur al dan niet in combinatie met droging dit wel.

OPTIMALISATIE KWALITEIT FIJNZEEFGOED VAN ROTERENDE BANDZEVEN

Het cellulosevezelgehalte van het fijnzeefgoed is niet verhoogd door het naschakelen van de Meri-installatie. De Meri-installatie is niet in staat om het fijnzeefgoed verder op te schonen. Dit blijkt uit de metingen aan bacteriologische verontreinigingen en klachten vanuit de papierfabriek over schimmel- en stankvorming. Ook voor de productie van bouwpanelen voldoet het product niet. Met name het vet en de organische verontreinigingen leiden tot productieproblemen (rookvorming, stank) bij het persen van de platen en beïnvloedt de kwaliteit van de geproduceerde panelen ook in sterke mate negatief.

Waarschijnlijk komt aanhangende drogestof en vervuiling vrij uit het fijnzeefgoedproduct vanuit de roterende bandzeven bij het verdunnen. Deze verontreinigingen wordt echter nog steeds “ingesloten” in verstrengelde vezels. De Meri-technologie is niet ontworpen en in staat om verstrengeling van deze vezels ongedaan te maken. De Meri-technologie is juist ontworpen voor het afscheiden van losse vezels. De kwaliteit van het product verbetert hierdoor niet, maar verslechtert. Vermoedelijk is het fijnzeefgoed wat van de roterende bandfilters komt al te ver verstrengeld en in elkaar gedraaid, waardoor er geen sprake kan zijn van een goede scheiding door de Meri-installatie. Waarschijnlijk laten verontreinigingen zoals CZV en OB zelfs los bij het opwerken door de Meri-installatie, waardoor netto geen winst wordt behaald op verhoging van het cellulosegehalte en er zelfs meer verontreinigingen vrijkomen door deze behandeling.

De afnemers zijn op basis van bovenstaande niet geïnteresseerd in toepassing van cellulosevezels welke zijn afgescheiden door de Meri-installatie uit primair slib en/of fijnzeefgoed van roterende bandzeven. Ondanks deze tegenvaller is de papierindustrie op basis van de resultaten van de inzet van de Meri-technologie op influent van rwzi Leeuwarden (STOWA 2016-18) en ook de verdere kennisontwikkeling op basis van deze pilottesten geïnteresseerd in verdere ontwikkeling van de toepassing van teruggewonnen cellulosevezels uit influent voor papierproductie. Ditzelfde geldt voor de producent van bouwpanelen. Naar aanleiding van de pilot op rwzi Leeuwarden en dit project is reeds een pilot gestart om de Meri-installatie te testen op het influent van rwzi Zeewolde van Waterschap Zuiderzeeland. De resultaten hiervan worden in 2023 verwacht.

BEGRIPPENLIJST

TERM	BETEKENIS
Actief slib	Slibvlokken of slibkorrels in een **rwzi**, waarin zich verschillende typen eencellige en meercellige micro-organismen bevinden, die met name organisch opgeloste verontreinigingen in **rioolwater** afbreken, al dan niet met behulp van zuurstof.
Biobased plastic	Plastic van biologische oorsprong
Biobased vezel	Vezel van biologische oorsprong
Biocomposteerbaar plastic	**Biobased plastic** wat biocomposteerbaar is
Biocomposiet	Een **kunststof composiet**, waarin de plastic en/of de vezel van biologische oorsprong is.
BZV	Biologisch zuurstofverbruik.
CZV	Chemisch zuurstofverbruik.
CT	Afkorting voor **Conus Trenner**
Cellulose	Cellulose is een 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. Rioolwater bevat cellulosevezels afkomstig van doorgespoeld toiletpapier, maar ook **vezels** van andere natuurlijke of synthetische oorsprong (zie vezels).
Conus Trenner	Machine bekend uit de papierindustrie waarin deeltjes kunnen worden afgescheiden door een draaiend filter met meerlaags roestvrij staaldraad. Dit inkomende stroom dient een overdruk te hebben van 1 bar.
Droge stof	De hoeveelheid droge stof in waterige stromen wordt bepaald door filtratie (zie onopgeloste bestanddelen). Voor geconcentreerdere stromen, zoals (**primair, actief of secundair) slib**, is filtratie niet mogelijk. De hoeveelheid droge stof in slibachtige stromen wordt bepaald door middel van een 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 drogestof op elke 100 g totaal, oftewel in slibachtige stromen 50 gram drogestof per liter).
DWA	Droogweer aanvoer naar een **rwzi.**

Effluent	Gereinigd **rioolwater** dat vanuit een **rwzi** op het oppervlaktewater wordt geloosd.
Elephant Filter	Indikker bekend uit de papierindustrie, waarin een waterrijke stroom met deeltjes kan worden ingedikt door inzet van metalen zeven.
EF	Afkorting voor **Elephant Filter**
Fijnzeefgoed	Fractie rijk aan **cellulosevezels**, die wordt afgescheiden uit **influent** door fijnzeven. Dit fijnzeefgoed bevat naast cellulosevezels (60-80% ds) tevens vet, haren, organische slibdeeltjes en anorganisch materiaal zoals zand, kalk en andere zouten.
Hemicellulose	Hemicellulose is een verzamelnaam voor een reeks zeer nauw verwante koolhydraten, die worden gemaakt in planten. Hemicellulose is een belangrijke component van de celwand en vormt meestal een soort matrix, waarin cellulosemoleculen ingebed liggen. In tegenstelling tot **cellulose** bevat hemicellulose niet enkel glucose maar ook suikers als xylose, mannose, galactose, rhamnose en arabinose. Hemicellulose bestaat uit kortere kettingen (circa 500 – 3000 suikereenheden per molecuul) dan cellulose (circa 7.000 – 15.000 per molecuul).
Houthoudend papier	Voor houthoudend papier wordt de **lignine** ('houtstof', een chemische stof uit de celwand van de houtcellen) beperkt verwijderd. De **cellulosevezel** wordt dan mechanisch **ontsloten**.
Houtvrij papier	Voor houtvrij papier wordt de **lignine** ('houtstof', een chemische stof uit de celwand van de houtcellen) grotendeels chemisch verwijderd. Hierdoor wordt het papier witter en zachter.
Inwonerequivalent	Maat voor de belasting van het **rioolwater** (verontreiniging) die een inwoner gemiddeld per dag produceert.
i.e.	Afkorting van **inwonerequivalent**
i.e. 150 g TZV	Berekening van **inwonerequivalenten** in Nederland volgens de formule (4,57*Nkj (g/d) + CZV (g/d)) / 150 g
Influent	Binnenkomend **rioolwater** op een rwzi
Kunststof composiet	Vezel versterkt plastic
Lignine	Polymeer met een gecrosslinkte structuur met molecuulformule $C_9H_{10}O_2$,$C_{10}H_{12}O_3$,$C_{11}H_{14}O_4$. Lignine bevindt zich in de celwand van alle planten en bomen. De sterkte van hout is een resultaat van het materiaal dat gevormd wordt door de interactie tussen **cellulose, hemicellulose** en het lignine er omheen.
Mechanische cellulosevezel fractionering	Een kwantitatieve methode om het aandeel **cellulosevezels** te bepalen door monsters te fractioneren op deeltjesgrootte. Hierbij is het uitgangspunt dat cellulosevezels een lengte hebben van circa 0,1-1,5 mm met een piek bij 1,0 mm. Deze "vezelclassificatie" methodiek komt uit de papierindustrie, waarbij een monster achtereenvolgens geleid wordt door zeven met een afnemende diameter. Hierdoor ontstaat een beeld van de grootteverdeling van deeltjes die zich in het monster bevinden. Bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat de fractie met deeltjes kleiner dan 1,4 mm en groter dan 0,15 mm een hoog gehalte aan cellulosevezels bevatten; de fractie groter dan 1,4 mm bevat weinig cellulosevezels.

Mesh	Mesh is een maat voor de maaswijdte van een zeef en wordt gedefinieerd door het exacte aantal vierkante openingen per lineaire inch van metaaldraad. Een zeef van 16 Mesh bevat 16 vierkante openingen per vierkante inch. Een hoger aantal openingen per vierkante inch resulteert in kleinere vierkante openingen. Hierbij gelden de volgende (vierkante) zeefmaten R14 = 1,2 mm; R 30 = 0,6 mm; R 50 = 0,3 mm and R 100 = 0,15 mm
OB	Afkorting voor **onopgeloste bestanddelen**
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 houtslijp te vermalen of op chemische wijze door het hout met chemicaliën te behandelen en te koken.
Organische stof	De hoeveelheid organische stof is het gewicht van de gloeirest minus de indamprest of filtratierest (zie ook **drogestof** en **onopgeloste bestanddelen**). De hoeveelheid organische stof wordt bepaald door de indamprest of filtratierest bij een temperatuur van 600 °C te gloeien.
Onopgeloste bestanddelen	Deeltjes in **rioolwater**: de hoeveelheid onopgeloste bestanddelen wordt in dit rapport bepaald door het monster te filtreren over een glasfilter van maximaal 1,6 µm conform NEN-EN 872:2005 . Het materiaal wat op het filter achterblijft (filtratierest) wordt gedroogd en gewogen en bestaat uit de onopgeloste bestanddelen. De opgeloste bestanddelen kunnen bepaald worden door indamping van het filtraat. Onopgeloste bestanddelen worden uitgedrukt in mg/l of g/l.
Permierenzuur	Permierenzuur wordt gemaakt door waterstofperoxide en mierenzuur met elkaar te laten reageren. Door permierenzuur toe te voegen aan **rioolwater** (of in dit project **fijnzeefgoed**) ontstaan hydroxylradicalen, die bacteriën kunnen doden. Permierenzuur is maar beperkt stabiel en kan daarom niet worden opgeslagen en/of getransporteerd. Permierenzuur moet daarom on-site gemaakt worden.
Primair slib	Bezinkbare delen die gravitair worden afgescheiden uit **rioolwater** door voorbezinking. Dit primair slib wordt, tezamen met **secundair slib,** verder verwerkt in slibindik, -vergistings, en/of –ontwateringinstallaties op de **rwzi**. Het ontwaterde slib wordt verwerkt door een slibverwerker.
Rioolwater	Afvalwater dat geloosd wordt door huishoudens en bedrijven op het riool en behandeld wordt in een **rwzi.**
Roostergoed	Grove delen, die verwijderd worden uit **rioolwater** door roosters in het influent of **primair slib**. Gebruikelijke maaswijdten zijn 3-6 mm voor influent en 1-3 mm voor primair slib.
RWA	Regenweer aanvoer naar een **rwzi**
rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie: installatie voor het zuiveren van rioolwater.
Secundair slib	Overtollig **actief slib**, wat op de rwzi verder wordt verwerkt in slibindik, -vergistings, en/of –ontwateringinstallaties. Het ontwaterde slib wordt verwerkt door een slibverwerker.
TSS	Total Suspended Solids: synoniem voor **onopgeloste bestanddelen**
TZV	Totaal zuurstofverbruik

WKK	Warmte Kracht Koppeling
Vezel	Lang, dun filament met een lengte van minstens 5 µm, een **diameter** kleiner dan 3 µm, waarvan de lengte ten minste drie keer groter is dan de doorsnede. Vezels kunnen bestaan uit synthetische of natuurlijke organische moleculen. In rioolwater bevinden zich voornamelijk **cellulosevezels.** Deze zijn afkomstig uit toiletpapier, maar ook uit andere papierhoudende doekjes, bladafval en resten van plantaardig materiaal zoals groente (waaronder aardappels), fruit en granen (waaronder tarwe, gerst, spelt, rogge, rijst en maïs). Daarnaast bevat rioolwater textielvezels, zowel van natuurlijke (bijvoorbeeld katoen) als synthetische oorsprong (bijvoorbeeld polyester)

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

PILOT AFSCHEIDING EN OPWERKING CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB EN FIJNZEEFGOED DOOR INZET VAN MERI-TECHNOLOGIE

INHOUD

TEN GELEIDE
SAMENVATTING
BEGRIPPENLIJST
DE STOWA IN HET KORT

1 INLEIDING 1
1.1 Aanleiding 1
1.2 Doelstelling 2
1.3 Leeswijzer 2

2 BESCHRIJVING PILOT INSTALLATIE 3

3 RESULTATEN PILOT PRIMAIR SLIB 8
3.1 inleiding 8
3.2 Afscheiding czv, ob, vet en cellulose 9
3.3 kwaliteit cellulose uit primair slib 10
3.4 vergelijking resultaten met labtesten 2016 12

4		RESULTATEN PILOT OPWERKEN FIJNZEEFGOED	14
	4.1	inleiding	14
	4.2	Afscheiding czv, ob, vet en cellulose	15
	4.3	kwaliteit cellulose uit behandeld fijnzeefgoed	17
	4.4	vergelijking resultaten met pilotonderzoek leeuwarden 2019 en eerder onderzoek rwzi Beemster 2020	21
5		CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	22
	5.1	Terugwinning primair slib	22
	5.2	Optimalisatie kwaliteit fijnzeefgoed van roterende bandzeven	22
	5.3	aanbevelingen	23
		REFERENTIES	24
BIJLAGE 1		BEGRIPPEN TERUGWINNING CELLULOSE UIT RIOOLWATER	25

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. Cellulose vormt een belangrijke pijler in de transitie naar de circulaire economie voor de waterschappen.

Cellulose kan worden teruggewonnen door inzet van zeven op influent. Deze zogenaamde fijnzeven verwijderen droge stof en organische stof uit het influent. Het geproduceerde product wordt fijnzeefgoed genoemd en bevat circa 50% cellulosevezels. De overige 50% bestaat uit vet, haren, zand, slibdeeltjes en overige opgeloste en niet opgeloste organische en anorganische verontreinigingen. Het lijkt erop dat het 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 afdruipremmer, in isolatiemateriaal en in biocomposieten [1][2][3]. Een paar waterschappen oogsten nu al enkele jaren zeefgoed uit rioolwater, maar grootschalig circulair hergebruik van het materiaal is vooralsnog niet gelukt, vanwege het hoge gehalte aan verontreinigingen in het fijnzeefgoed. Momenteel wordt het fijnzeefgoed, wat geproduceerd wordt door full-scale praktijkinstallaties, veelal verbrand.

In 2019 is pilotonderzoek gedaan naar afscheiding van cellulosevezels uit rwzi-influent op rwzi Leeuwarden met de zogenaamde Meri-installatie (STOWA 2019-37). De Meri-installatie bestaat uit een combinatie van technologieën bekend vanuit de papierindustrie en bestaat achtereenvolgens uit een Conus Trenner, een Elephant filter, een hygiënisatie-installatie en een pers voor ontwatering[1]. Het geproduceerde fijnzeefgoed was in 2019 dusdanig schoon, dat afnemers hierin waren geïnteresseerd die normaliter oud-papier als grondstof gebruiken, waaronder de papierindustrie[4]. Er werd echter te weinig fijnzeefgoed geproduceerd om er representatieve productieruns mee te draaien in de papierfabriek. Dit project heeft als doel om deze markttoepassing verder te onderzoeken door een grotere hoeveelheid van fijnzeefgoed te produceren. Hiervoor zal het fijnzeefgoed afkomstig van de roterende bandzeven van rwzi Beemster verder worden opgeschoond met de Meri-installatie. Het opgeschoonde product zal getest worden op praktijkschaal in de papierindustrie, maar ook door een andere geïnteresseerde afnemer, ECOR, welke panelen uit het fijnzeefgoed kan produceren voor toepassing in de bouw.

1 De Conus Trenner (CT) is een machine waarin influent wordt gespoten via spuitstukken op een draaiend filter met meerlaags roestvrij staaldraad bij een overdruk van 1 bar. De maaswijdte van het filter kan variëren tussen de 0,08 en 2,0 mm. Het Elephant Filter (EF) is een schijvenindikker. De hygiënisatie vond plaats door dosering van permierenzuur.

Naast het produceren van meer fijnzeefgoed voor representatieve productieruns bij afnemers, wordt de Meri-installatie in dit onderzoek ook getest op afscheiding van cellulose uit primair slib. In 2016 is op labschaal onderzoek gedaan naar terugwinning van cellulose uit primair slib met technieken bekend uit de papierindustrie (STOWA 2016-18). Primair slib bevat 30-40% cellulose. Door middel van een cascade aan zeven met verschillende typen gaten en sleuven en maaswijdtes, werd in 2016 op labschaal een product verkregen met een vergelijkbaar cellulosegehalte als in fijnzeefgoed uit influent[5]. De Meri-technologie heeft sterke overeenkomsten met de labopstelling uit 2016. In dit onderzoek zal daarom ook onderzocht worden of afscheiding van cellulose uit primair slib mogelijk is met de Meri-installatie.

1.2 DOELSTELLING

Dit onderzoek valt uiteen in twee centrale onderzoeksvragen

1. Pilot afscheiding cellulosevezels uit fijnzeefgoed van roterende bandzeven:
   - Kan de Meri-technologie fijnzeefgoed afgescheiden door roterende bandzeven verder opschonen en hygiëniseren, zodat dit kan dienen als vervangende grondstof voor oud papier in de papierindustrie en bij de productie van bouwpanelen?
2. Pilot afscheiding cellulosevezels uit primair slib:
   - Is de Meri-technologie in staat om cellulosevezels af te scheiden uit primair slib?
   - Wat is de kwaliteit van het fijnzeefgoed wat geproduceerd wordt?
   - Zijn de afgescheiden cellulosevezels geschikt om toe te passen als vervangende grondstof bij de productie van bouwpanelen?

De centrale vraag of in dit onderzoek is of de kwaliteit van het opgeschoonde fijnzeefgoed/ afgescheiden fijnzeefgoed uit primair slib voldoet aan de eisen vanuit de afnemers. Om bovenstaande vragen te beantwoorden worden productieruns uitgevoerd met verschillende verhoudingen van mengsels van oud papier en opgewerkt fijnzeefgoed van de rwzi Beemster in een papierfabriek en in bouwpanelen gemaakt door ECOR. Daarnaast is getracht om het product wat afgescheiden wordt uit primair slib in te zetten voor toepassing in de productie van bouwpanelen.

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

1.3 LEESWIJZER

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 de pilotinstallatie beschreven door inzet van de Meri-technologie. Daarna worden in hoofdstuk 3 de resultaten van de afscheiding van cellulosevezels uit primair slib beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft de testen met opschoning van afgescheiden fijnzeefgoed door roterende bandzeven. Hoofdstuk 5 omvat de conclusies en aanbevelingen die voortkomen uit dit onderzoek.

2

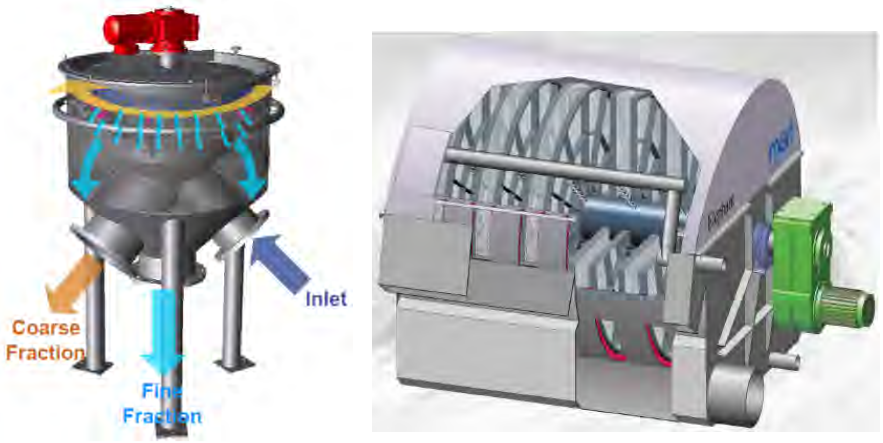
BESCHRIJVING PILOT INSTALLATIE

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

In dit onderzoek wordt getest of deze Meri-technologie:

- Fijnzeefgoed afgescheiden door roterende bandzeven verder kan opschonen en hygiëniseren;
- Cellulosevezels uit primair slib kan afscheiden en kan hygiëniseren;
- Met een voldoende kwaliteit voor afzet van dit product naar afnemers welke normaliter oud-papier als grondstof gebruiken (papierindustrie en producenten van bouwpanelen).

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



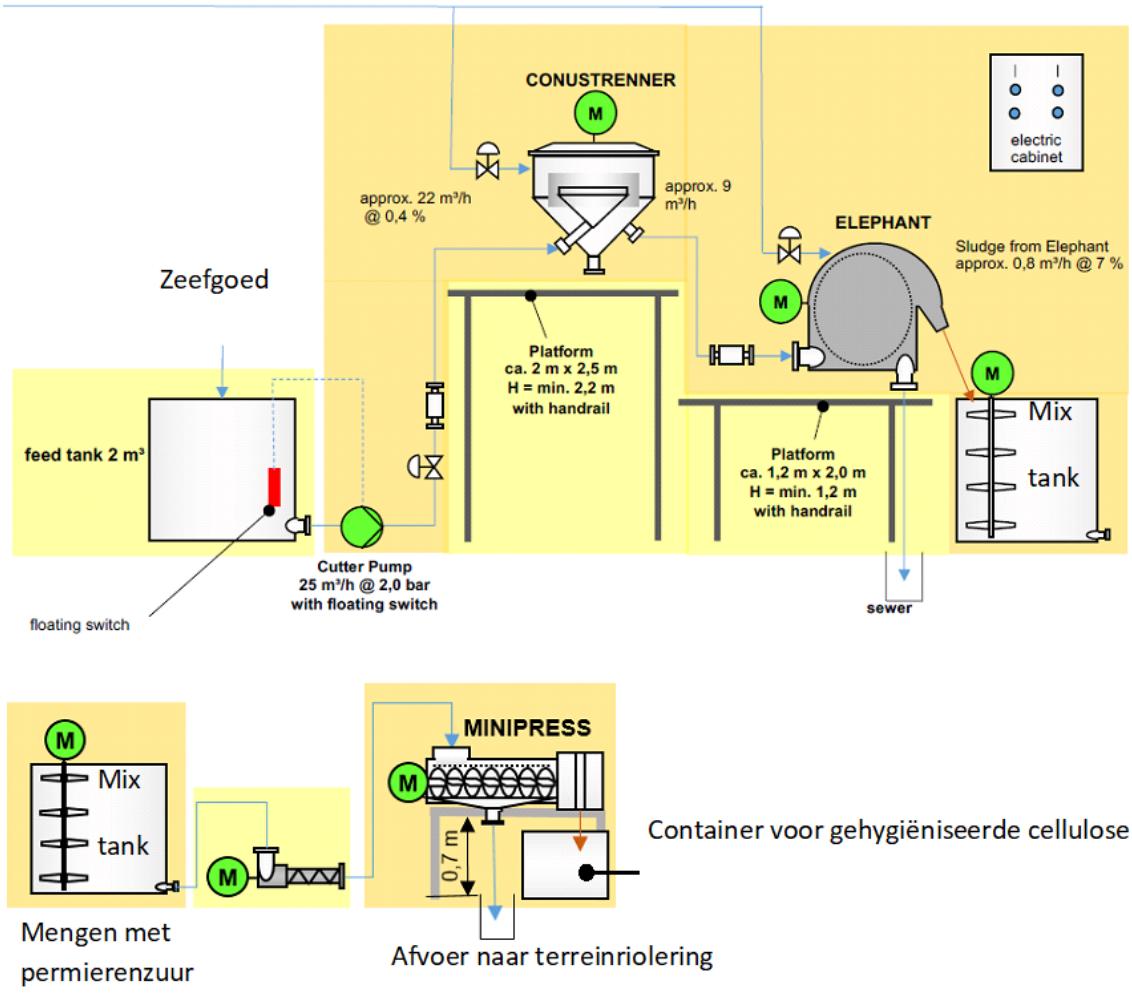
De Conus Trenner (CT) is een machine waarin influent wordt gespoten via 6 spuitstukken op een draaiend filter met meerlaags roestvrij staaldraad. Dit gebeurt door het influent op te pompen zodat het een overdruk heeft van 1 bar. De maaswijdte van het filter kan variëren tussen de 0,08 en 2,0 mm. Om verstoppingen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

Het Elephant Filter (EF) is een indikker. De stroom met gezeefde deeltjes vanuit de Conus Trenner komt in verschillende kamers terecht waarin twee schijven ronddraaien. Kleine deeltjes en het water kan door de gaten in de metalen zeef ontsnappen en wordt teruggevoerd

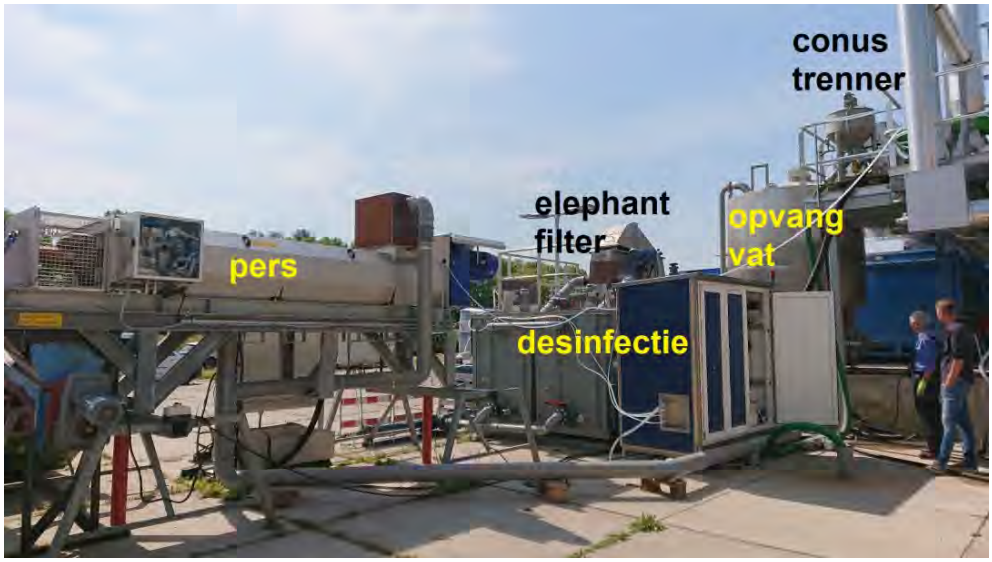
naar de waterlijn van de rwzi. Het zeefgoed blijft op de zeven hangen en wordt naar boven geschoven. Bovenin valt het in een overloop waar het kan worden opgevangen. Een sproeisysteem van 3 bar zorgt ervoor dat het filter niet verstopt raakt. Het kleinst beschikbare Elephant Filter heeft een capaciteit van 30 m^3/h. Deze variant is in deze pilot getest. Het Elephant Filter kan geleverd worden tot capaciteiten van 600 m^3/h.

Het zeefgoed wat is afgescheiden door de combinatie Conus Trenner en Elephant Filter wordt gehygiëniseerd met een chloorvrije methode door de firma Kemira BV met dosering van permierenzuur. Permierenzuur wordt gemaakt door waterstofperoxide en mierenzuur met elkaar te laten reageren. Door permierenzuur toe te voegen aan afvalwater (of in dit geval fijnzeefgoed en primair slib) ontstaan hydroxylradicalen, die bacteriën kunnen doden. Permierenzuur is maar beperkt stabiel en kan daarom niet worden opgeslagen en/of getransporteerd. Permierenzuur moet daarom on-site gemaakt worden en vervolgens goed worden opgemengd met het te behandelen materiaal. De pilotopstelling is weergegeven in figuren 2 en 3.

FIGUUR 2 **PROCESSCHEMA PILOT OPSTELLING**



FIGUUR 3 **PILOT OPSTELLING IN DE PRAKTIJK**



Van de installatie is een vlog gemaakt door Bob de Boer van het waterschap[2].

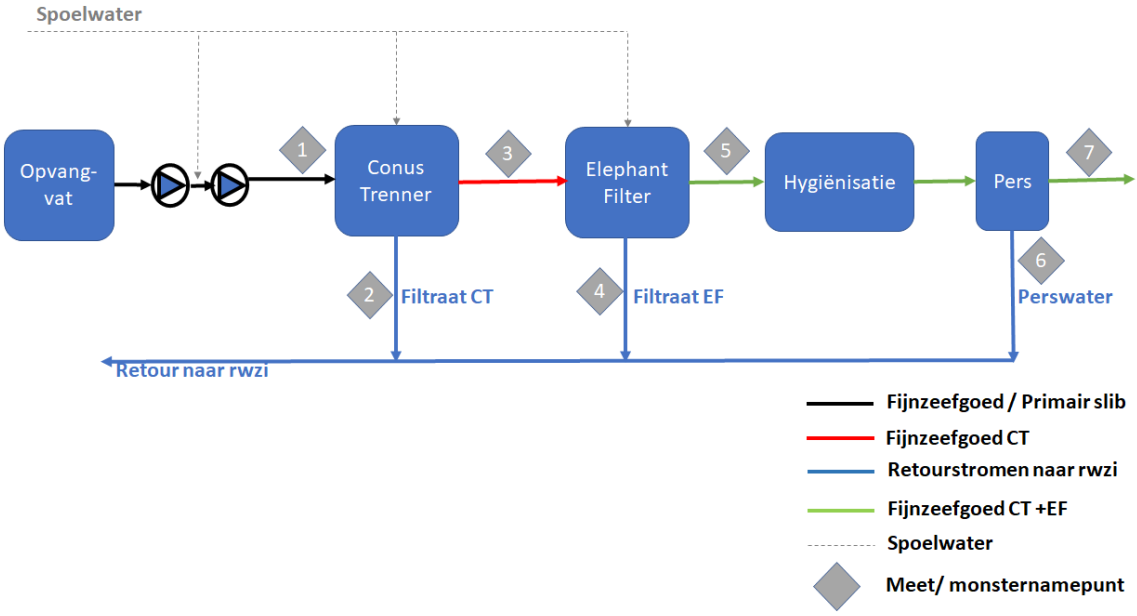
Ten opzichte van de pilotinstallatie zoals deze gedraaid heeft in Leeuwarden in 2019 [4] zijn de volgende zaken geoptimaliseerd:

- Buffer/mengvat voorafgaand aan de pilotinstallatie: hier kan de ingaande stroom worden opgemengd met bedrijfswater van de rwzi. In dit vat worden de stromen verdund tot maximaal 0,4% drogestof, zodat de Conus Trenner dit goed kan verwerken. Daarnaast biedt het vat ook buffermogelijkheden voor een dagproductie.
- Menging van de uitgaande ingedikte stroom van het Elephant Filter met permierenzuur. In de pilot op rwzi Leeuwarden was de menging slecht. In deze installatie is de menging geoptimaliseerd door inzet van andere mengapparatuur (minder dode hoeken) en kan er gestuurd worden op verblijftijd afhankelijk van de dosering van permierenzuur, doordat er twee compartimenten zijn aangebracht. Hierdoor kan het permierenzuur optimaal inwerken.
- Bemonstering perswater: in de pilot van Leeuwarden kon het perswater niet worden bemonsterd, waardoor de massabalansen incompleet waren. In deze opstelling is dit wel mogelijk.

De hydraulische capaciteit van de pilot bedroeg 25 m^3/h. Het processchema van de pilot, inclusief locaties van de monsternamepunten is weergegeven in figuur 4.

2 Een VLOG over de winning van vezels voor recycling: https://www.youtube.com/watch?v=ypWznTrj7LM

FIGUUR 4 PROCESSCHEMA INCLUSIEF MONSTERNAMEPUNTEN



Voor de monstername van de stromen is de volgende werkwijze gebruikt:
Op monsternamedagen zijn in twee rondes monsters genomen. De stromen met veel vaste stof zijn twee keer bemonsterd (steekmonsters). Van de overige waterige stromen zijn 2 verzamelmonsters genomen. Deze verzamelmonsters bestaan uit 6 steekmonsters, welke over één uur elke tien minuten zijn genomen en zijn samengevoegd tot één mengmonster. De onderstaande analyses zijn uitgevoerd (voor monsternamepunten zie figuur 4).

	Vezels uit primair slib	Lab	Vezels uit fijnzeefgoed	Lab
Drogestof	1, 3,5,7	Waterproef	1,3,5,7	Waterproef
Gloeirest	1, 3,5,7	Waterproef	1,3,5,7	Waterproef
Zandfractie	1,3,5,7	Waterproef	1,3,5,7	Waterproef
Korrelverdeling zand	1,3,5,7	Waterproef	1,3,5,7	Waterproef
Vet	1, 3,5,7	Waterproef	1,3,5,7	Waterproef
TSS	2,4,6	Waterproef	2,4,6	Waterproef
CZV	1, 2 , 3,4 , 5 , 6	Waterproef	2,4,6	Waterproef
Cellulose	1, 2,3,4,5,6,7	RUG	1,7	RUG
Vezellengteverdeling	7	Voith	7	Voith
Pathogenen/bacteriën	1,5,7	BioClear	origineel fijnzeefgoed Beemster, S en 7	BioClear

De meeste van bovenstaande analyses zijn uitgevoerd door Waterproef conform de daarvoor geldende NEN-richtlijnen voor analyses op rioolwater en slibben (drogestof, gloeirest, vet, onopgeloste bestanddelen en CZV). Voor de overige analyses zijn de volgende methoden gebruikt:

- Cellulose: Het aandeel cellulose is bepaald volgens de methode dat cellulose enzymatisch wordt omgezet naar glucose en de glucose wordt gemeten en een maat is voor de aanwezige cellulose. Deze methode is ontwikkeld en gevalideerd door de Rijks Universiteit in Groningen (RUG) en eerder gebruikt in het onderzoek naar de prestaties van de fijnzeven op rwzi Beemster. Voor meer informatie over deze methode, zie STOWA 2020-01 (bijlage 4) [6].
- Vezellengteverdeling: Sommerville/BauerMcNett door Voith.

Door het monster te behandelen met deze methode 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 cellulosevezels. Of dit het geval is wordt microscopisch gecontroleerd. Voor meer informatie over deze methode, zie STOWA 2016-18 (paragraaf 2.3.3 en bijlage 3)[5].

- Pathogenen/bacteriën met behulp van de Q- en V-PCR analyse door BioClear Groningen. De V-PCR analyse is een kwantitatieve DNA analyse waarmee de levensvatbare fractie van specifieke targets worden gedetecteerd. Een voorbewerkingstap wordt toegepast om dode cellen uit te sluiten van analyse. Deze V-PCR analyses worden altijd uitgevoerd in combinatie met een Q-PCR analyse, waarmee zowel dode als levende cellen van specifieke targets worden gedetecteerd. Het eindresultaat is een overzicht van de totale populatie (levensvatbare en dode cellen) en de levensvatbare populatie in de monsters in het aantal cellen per gram van de gekozen bacteriesoorten. Voor deze methode is gekozen omdat de V-PCR en de Q-PCR analyses nauwkeuriger zijn en een factor 100-1000 keer gevoeliger zijn dan kweekmethoden. Indien met kweek 1 KVE wordt gevonden, worden met de V-PCR en Q-PCR analyse 100-1000 cellen gemeten. Voor dit onderzoek is uitgegaan van de indicatorgroep van organismen voor darmbacteriën voorkomend in rioolwater *(Enterobacteriaceae)*.

Op geen van de monsters kon een korrelverdeling van zand worden uitgevoerd, omdat de monsters te weinig zand bevatten. Dit is in overeenkomst met de opzet van de pilot, waarbij de pilotinstallaties zoveel mogelijk beschermd moesten worden tegen invloed van zand (slijtage, verstopping). Met name voor primair slib is daarom gekozen voor een aanleverende rwzi met een relatief laag gehalte aan zand[3].

De resultaten van het pilotonderzoek worden beschreven in het hoofdstuk 3 voor primair slib en in hoofdstuk 4 voor fijnzeefgoed.

3 In eerste instantie zou ingedikt primair slib van rwzi Amsterdam West worden gebruikt. Dit had echter een relatief hoog zandgehalte (8-10% van de drogestof). Gemiddeld bevat primair slib van Nederlandse rwzi's circa 5% zand van de drogestof. Rwzi Heiloo bevatte 2-3% van de drogestof en zat hiermee relatief laag. Om de pilotinstallatie te beschermen is hiervoor gekozen.

3

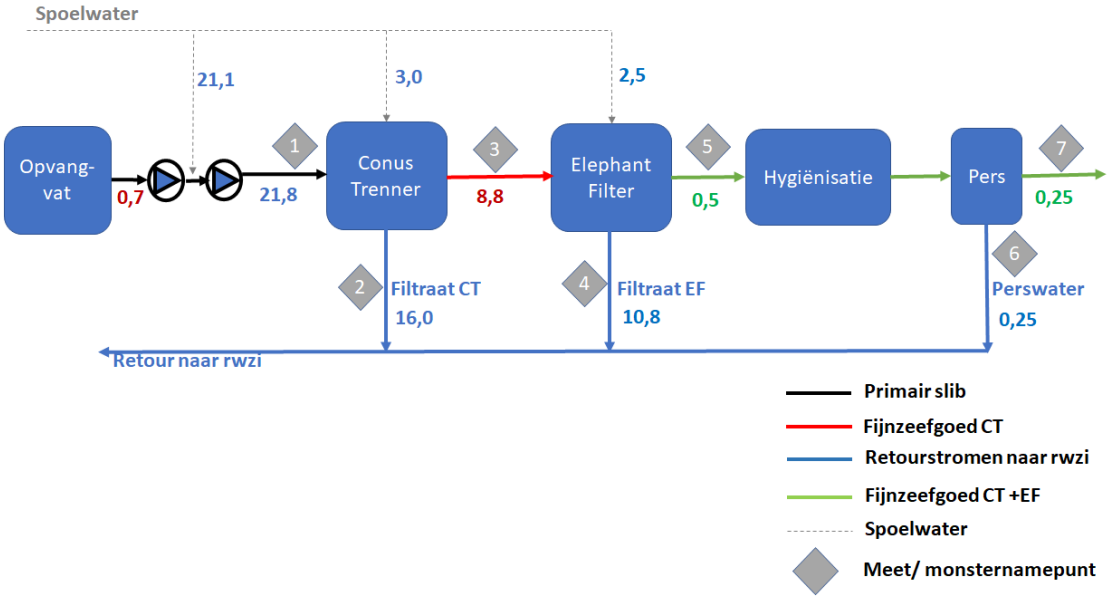
RESULTATEN PILOT PRIMAIR SLIB

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de behandeling van primair slib in de pilot. Deze testen hebben plaatsgevonden in september 2020. Voor de testen is ingedikt primair slib van rwzi Heiloo gebruikt. Dit ingedikte primaire slib met een drogestof gehalte van circa 5% is vanuit het opvangvat verdund met spoelwater tot 0,3% drogestof. Vervolgens passeert dit mengsel de Conus Trenner (maaswijdte 80 micrometer) en het Elephant Filter (maaswijdte 250 micrometer). De dosering voor de hygiënisatie bedroeg 96 g permierenzuur per kilogram drogestof primair slib.

De waterbalans van deze testen is weergegeven in figuur 5. Hierbij wordt opgemerkt dat de onderstaande waterbalans is opgesteld voor de specifieke test voor de productie van ECOR-panelen, waarvoor een drogestofgehalte van het eindproduct van circa 10-15% drogestof gespecificeerd was. Bij het inregelen van de installatie zijn ook testen gedaan met de pers waaruit blijkt dat een drogestofgehalte behaald kan worden van 45-50% drogestof, vergelijkbaar met fijnzeefgoed uit influent.

FIGUUR 5 WATERBALANS IN M3/H PILOT PRIMAIR SLIB



In de navolgende paragrafen wordt ingegaan op de volgende aspecten:

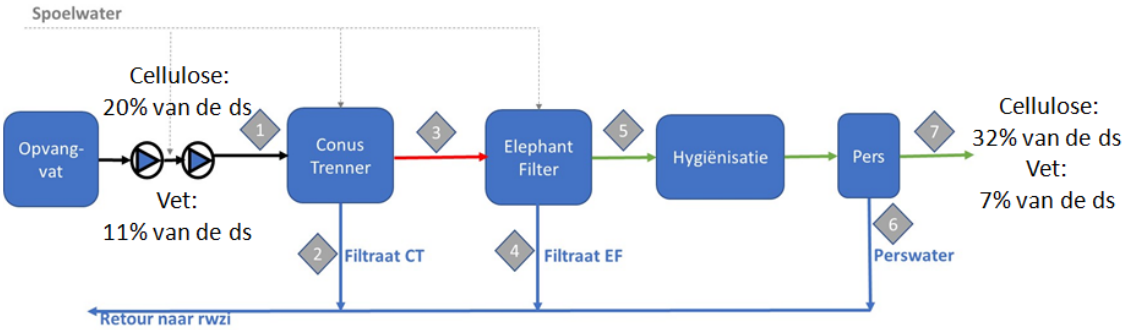
1. Welke fracties worden uit primair slib afgescheiden, oftewel belanden in het geproduceerde product: organische stof (uitgedrukt als Chemisch Zuurstof Verbruik, oftewel CZV) en onopgeloste stof (uitgedrukt als Onopgeloste Bestanddelen, oftewel OB) en cellulose: zie paragraaf 3.2.
2. Wat is de kwaliteit van het fijnzeefgoed wat geproduceerd wordt? Zijn de afgescheiden cellulosevezels geschikt om toe te passen door de geselecteerde marktpartijen (papierindustrie en Ecor)?: zie paragraaf 3.3.

Dit hoofdstuk sluit af met een vergelijking van de resultaten met het eerder uitgevoerde labonderzoek uit 2016[5] in paragraaf 3.4.

3.2 AFSCHEIDING CZV, OB, VET EN CELLULOSE

In figuur 6 is de afscheiding van organische stof (CZV), onopgeloste bestanddelen (OB), vet en cellulose schematisch weergegeven.

FIGUUR 6 AFSCHEIDING CZV, OB, VET EN CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB



	CZV	OB	Cellulose	Vet
CT	59%	59%	82%	69%
EF	80%	84%	96%	62%
CT+EF	47%	49%	79%	31%
CT+EF+pers	46%	48%	78%	31%

Toelichting: In figuur 6 is weergegeven welke verwijderingsrendementen behaald worden door de diverse installaties. Hiervoor zijn de volgende massabalansen opgesteld:

- Conus Trenner (CT): monsternamepunten 1,2 en 3
- Elephant Filter (EF): monsternamepunten 3, 4 en 5
- CT+EF en CT+EF+pers: totale massabalans respectievelijk monsterpunt 5 en 7 ten opzichte van monsternamepunt 1, met controle van de verwijderingsrendementen over de Conus Trenner en het Elephant Filter apart

Uit figuur 6 blijkt dat er in totaal (CT+EF+pers) een relatief hoog rendement gehaald wordt op cellulose: 78±10%. Daarnaast bevat het product echter ook veel CZV, OB en Vet: 46±10% van de CZV en OB beland in het product evenals 31±10% van het vet. Hierbij wordt opgemerkt dat de gebruikte analysemethode voor cellulose alleen daadwerkelijke cellulose meet en geen hemicellulose en lignine. Cellulosevezels bestaan hier ook gedeeltelijk uit. Uit eerder onderzoek volgt dat het hemicellulose- en lignine gehalte in primair slib circa 10-15% van de ds bedraagt[4][5]. Oftewel het eindproduct bevat circa 42-47% aan cellulosevezels op basis van drogestof.

Opmerkelijk is dat het persen van het primair slib in dit onderzoek niet leidt tot een verdere afname van het CZV en OB-gehalte wat wel in andere onderzoeken is gemeld zoals de pilots influentzeving op rwzi Aarle Rixtel en Beemster. Oftewel dat er nog vervuiling uit het product wordt geperst. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat het primair slib slechts geperst is tot 10-15% drogestof vanwege de vereisten vanuit de productie van bouwpanelen. Bij persing tot een hoger drogestofgehalte zal waarschijnlijk meer vervuiling (CZV, OB) en cellulose in het perswater terecht komen.

4 Op basis van metingen cellulose, hemicellulose en lignine in primair slib op rwzi's Amsterdam West, Den Bosch en Zwolle, zie STOWA 2016-18

Tenslotte is gekeken naar de anorganische gehaltes en zandfracties. Deze konden alleen gemeten worden in het ingaande product en het uitgaande product. Hieruit blijkt dat anorganische stofgehalte flink afneemt: van circa 27% van de drogestof naar 6-10% van de drogestof. Het zandgehalte neemt licht toe: van < 0,1% van de drogestof naar 3-7% van de drogestof. Dit betekent dat de anorganische fractie weliswaar zeer laag is in het product, wat positief is, maar dat deze wel voor circa 50% uit zand bestaat.

Bovenstaande betekent dat het product veel verontreinigingen bevat: meer dan 50% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, waarvan circa 4% zand, 3% overig anorganisch en het overgrote deel organisch (circa 40-50%). In hoeverre dit de afzetbaarheid van het product beïnvloedt wordt besproken in de volgende paragraaf 3.3.

Er zijn verder geen problemen opgetreden bij de behandeling van het primair slib in de Meri-installatie: het primair slib kon goed worden verwerkt zonder verstoppingen, vetophoping of andere zaken.

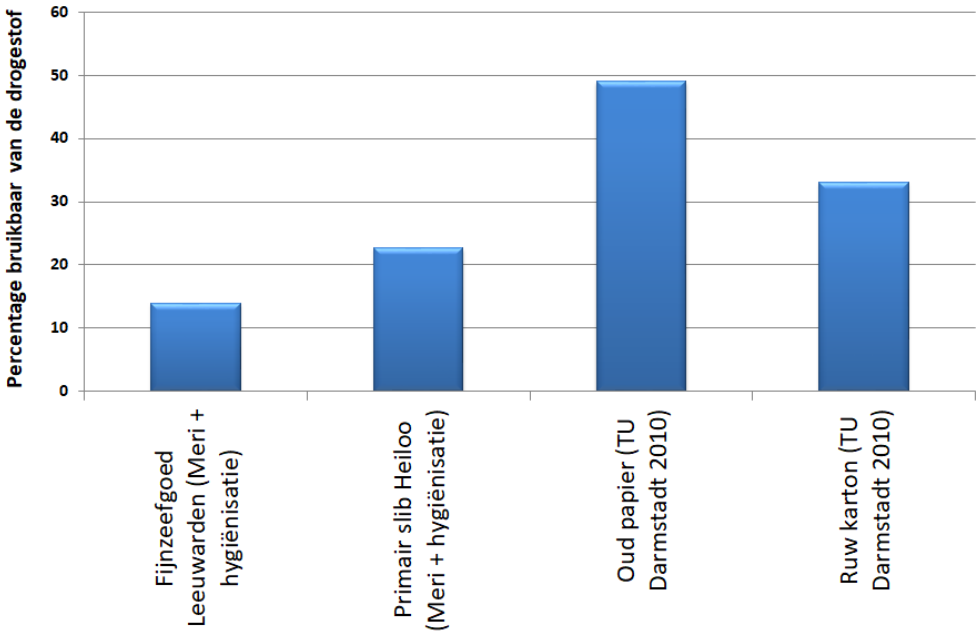
3.3 KWALITEIT CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB

Voor de afzetbaarheid van het product zijn de volgende zaken van belang

1. De fysische kwaliteit van de cellulosevezel: deze moet overeenkomen met cellulosevezels in oud-papier wat nu gebruikt wordt door beide afnemers, op het gebied van de lengte van de cellulosevezel, de lengte/diameter, aanwezigheid van fibrillen en biologische aantasting van de vezel, waardoor deze minder bruikbaar wordt.
2. De biologische kwaliteit van het product, welke verschilt voor beide afnemers. Voor de papierproductie gelden strenge eisen: het product moet vrij zijn van schimmels, stankvormende bacteriën en overige bacteriologische verontreinigingen. De groei van schimmels, bacteriën etc. mag niet plaatsvinden voorafgaand aan transport. Producten met schimmels en stankvormende bacteriën worden niet in behandeling genomen. Voor de productie van bouwpanelen geldt met name dat stankoverlast moet worden tegengegaan, maar dat er geen strikte eis geldt ten aanzien van het aandeel bacteriologische verontreinigingen aangezien het product direct sterk verhit wordt bij productie van de bouwpanelen.

Ten aanzien van punt 1, de kwaliteit van de vezels, voldoet primair slib. De vezels zijn niet aangetast, zijn lang en bevatten fibrillen, oftewel voldoen aan de criteria van oud papier en zijn hoog van kwaliteit. Het afgescheiden primair slib is op deze “fysische kwaliteit” gecontroleerd. In onderstaande figuur 7 is weergegeven welk deel aan primair slib niet bruikbaar is in relatie tot andere grondstofstromen. Hieruit blijkt dat primair slib beter presteert dan ruw oud papier of karton en daarmee qua vezellengteverdeling geschikt is als vervanger voor de grondstof oud papier. Dit geldt zowel voor inzet in de papierindustrie als voor de productie van bouwpanelen.

FIGUUR 7 **PERCENTAGE ONBRUIKBAAR MATERIAAL OP BASIS VAN VEZELLENGTE**



Hierbij wordt wel opgemerkt dat het gehalte aan cellulosevezels van het geproduceerde product nog erg laag is: circa 45% van de drogestof. Dit betekent dat meer dan 50% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, welke nog uit het product moeten worden gewassen.

Naast de eigenschappen van de vezels is ook de bacteriologische kwaliteit bepaald. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1 (voor beschrijving methode zie hoofdstuk 2).

TABEL 1 **BACTERIOLOGISCHE KWALITEIT**

	Totaal aantal Enteriobacteraecae (cellen/g)	Levensvatbare fractie Enteriobacteriaceae (cellen/g)
Primair slib	$1{,}2*10^8$	$4{,}6*10^7$
EF-fractie primair slib excl. Hygienisatie	$4{,}1*10^8$	$3{,}6*10^7$
Gehygieniseerd primair slib	$1{,}3*10^8$	$1{,}4*10^7$
Verdund Zeefgoed Beemster	$3{,}5*10^8$	$1{,}9*10^8$
EF-fractie zeefgoed Beemster excl. Hygienisatie	$7{,}7*10^7$	$2{,}1*10^8$
Gehygieniseerd zeefgoed Beemster	$< 6{,}0*10^4$	$< 3{,}4*10^4$
Zeefgoed Leeuwarden VAZENA[7]	$1{,}0*10^7$	
Gehygieniseerd zeefgoed Leeuwarden PER Azijnzuur (VAZENA)	$< 1{,}0*10^4$	

In tabel 1 is het primair slib van rwzi Heiloo behandeld met 96 g permierenzuur per kg drogestof en het zeefgoed van rwzi Beemster met 142 g permierenzuur per kg drogestof. Ter vergelijking zijn de resultaten genoemd van (gehygieniseerd) zeefgoed van rwzi Leeuwarden vanuit het VAZENA-project[5]. In dit project werd het zeefgoed behandeld met perazijnzuur (50 g per kg drogestof) en gedroogd met 55 graden celcius [7].

5 Er zijn helaas geen Q- en V-PCR testen uitgevoerd op het geproduceerde en gehygiëniseerde fijnzeefgoed van rwzi Leeuwarden door de Meri-installatie in 2018, waardoor deze resultaten niet kunnen worden vergeleken. De Q-PCR test is wel uitgevoerd in het VAZENA-onderzoek [7]

Voor de papierindustrie is bovenstaande een no-go: het gehygiëniseerde primair slib voldoet niet, zelfs niet om te testen in een aparte papierrun. Uit de tabel blijkt namelijk, dat behandeld primair slib nagenoeg dezelfde biologische verontreiniging heeft als ruw fijnzeefgoed uit influent van rwzi Beemster en vanuit rwzi Leewarden in het VAZENA project. Het opgewerkte fijnzeefgoed van rwzi Beemster heeft een log 4 lager aantal cellen Enteriobacteracae, maar was ook van onvoldoende kwaliteit voor de papierindustrie om een testrun mee uit te voeren, maar dit wordt besproken in hoofdstuk 4.

Belangrijke conclusie uit bovenstaande tabel is dat de hygiënisatie met permierenzuur veel minder effect sorteert bij primair slib dan bij fijnzeefgoed. Terwijl bij fijnzeefgoed een log3 reductie wordt gevonden is deze bij primair slib niet aantoonbaar. Wellicht zijn andere hygiënisatiemethoden zoals perazijnzuur al dan niet in combinatie met droging beter in staat om de bacteriën af te doden in primair slib dan de huidige gebruikte methode.

Voor het maken van bouwpanelen voldoet gehygiëniseerd primair slib waarschijnlijk wel qua bacteriegroei, omdat bij de productie hiervan een sterke verhitting en dus afdoding van bacteriën plaatsvindt. Bij de productie van de bouwpanelen zijn echter wel problemen opgetreden met het gehalte aan verontreinigingen:

- Bij de productie van de panelen gemaakt van 100% primair slib, bleef een grote hoeveelheid aan residue “plakken” aan de persplaten. Daarnaast vond een flinke rookvorming plaats bij het op temperatuur brengen en daarnaast ook een erg penetrante geur.
- Hierna is geprobeerd om met 75% primair slib en 25% de-inkt papierpulp een paneel te maken. Hierbij lukte het wel om de panelen los te krijgen van de persplaten, maar trad nog steeds de rookvorming en stank op.
- Ecor heeft in verschillende testen geprobeerd te onderzoeken waar de rookvorming en stank door veroorzaakt werd: de permierenzuurdosering of andere substanties zoals vet. Dit leverde geen uitsluitsel op: waarschijnlijk is de combinatie van aanwezig vet en organisch slib in combinatie met het permierenzuur verantwoordelijk voor de stank. De rook wordt bijna zeker veroorzaakt door verbrandend vet.
- Daarnaast blijft er ook veel verontreiniging achter op de zeven en persinstallatie van ECOR wat niet acceptabel is. Het reinigen van deze platen is lastig. De geperste producten bevatten daarnaast ook een grote mate van verontreinigingen. Hierbij wordt opgemerkt dat er ook problemen waren met het maken van bouwpanelen uit fijnzeefgoed, maar dit wordt besproken in hoofdstuk 4.

Uit voorgaande kan worden geconcludeerd, dat het geproduceerde product uit primair slib door deze pilot niet geschikt is voor productie van bouwpanelen en ook niet voor papierproductie. Het gehalte aan verontreinigingen, zoals vet en organische stof is te hoog voor zowel productie van bouwpanelen als papierproductie. Daarnaast is de bacteriële verontreiniging ook een beperking voor de papierproductie.

3.4 VERGELIJKING RESULTATEN MET LABTESTEN 2016

In deze paragraaf worden de resultaten vergeleken met het eerder uitgevoerde labonderzoek uit 2016. Ten opzichte van dit labonderzoek vallen de volgende verschillen op[5]:

- Het hoge spoelwaterverbruik van de Meri-installatie komt overeen met de aanname in het labonderzoek: 25% ten opzichte van het influent (5,5 m3 spoelwater op 21,8 m3 ingaand materiaal; in de labschaal testen werd 30% aangenomen). In de labtesten zorgde deze spoelwaterhoeveelheid echter voor het volledige schoonspoelen van de vezelfractie: de

vezelfractie bevatte nog weinig verontreinigingen (circa 20% van de drogestof; oftewel het cellulosevezelgehalte bedroeg 80% van de drogestof in het eindproduct). Uit de huidige resultaten met de Meri-installatie blijkt dat het eindproduct nog erg vervuild is: slechts 45-50% van de drogestof bestaat uit cellulosevezels.

Conclusie uit voorgaande is, dat de aannamen uit het labonderzoek vanuit 2016 maar beperkt bereikt zijn, vanwege een lagere kwaliteit van het eindproduct bij een gelijk spoelwaterverbruik. Ten aanzien van deze twee onderdelen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In de 2016 analyse werd uitgegaan van terugwinning van 25% van de drogestof in primair slib als cellulosevezels. Dit was een voorzichtige aanname, die ook op basis van het lagere gehalte aan cellulose in primair slib in deze pilot, kan worden waargemaakt: op basis van de huidige resultaten wordt op basis van drogestof 42-47% aan cellulosevezels teruggewonnen (zie paragraaf 3.2), waarvan 22% onbruikbaar (zie figuur 7). Oftewel terugwinning van 33-37% van de drogestof in primair slib als cellulosevezel is haalbaar.
- Het spoelwaterverbruik uit 2016 blijkt niet afdoende bij inzet van een Meri-zeef om de gewenste kwaliteit te behalen. Het product zal nog verder moeten worden ontdaan van verontreinigingen door voorschakeling van een filter van 0,3-0,5 mm en verdere wassing en daarna hygiënisatie door permierenzuur en/of droging[6].

Bovenstaande betekent dat de Meri-installatie inderdaad in staat is om cellulosevezels terug te winnen uit primair slib: 75-80% van de cellulosevezels worden teruggewonnen. Dit is meer dan aangenomen in de labstudie: in plaats van 25% van de drogestof kan circa 35% van de drogestof in primair slib met de Meri-installatie als cellulosevezels worden teruggewonnen. Het geproduceerde product bevat echter meer verontreinigingen dan in de analyse van 2016 is aangenomen: meer dan 50% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, waarvan circa 4% zand, 3% overig anorganisch en het overgrote deel organisch (circa 40-50%), terwijl in het labonderzoek het product 75% cellulosevezels en slechts 20% verontreinigingen bevatte op basis van drogestof. Dit betekent dat het vezelproduct uit primair slib nog verder moet worden opgeschoond. Uit de huidige resultaten blijkt verder, dat hygiënisatie met permierenzuur niet effectief is op primair slib, wellicht is perazijnzuur al dan niet in combinatie met droging dit wel. Een ander verschil met het labonderzoek is dat de Meri-installatie het primair slib direct zeeft op 80 micrometer, waarbij in het labonderzoek een voorgeschakelde zeef van 0,3-0,5 mm was geplaatst.

De kwaliteit van het product vanuit de Meri-zeef is onvoldoende. Dit betekent dat er een zeef moet worden voorgeplaatst van 0,3-0,5 mm en/of dat een aanvullende wasstap noodzakelijk is. Welke mate van wassing en hygiënisatie nog moet worden toegevoegd kan op basis van dit onderzoek niet worden bepaald.

6 In het labonderzoek is de primair slib stroom van circa 0,6% ds met 24x zoveel waswater na de afscheidingstap op 0,5mm, oftewel 2400%. Op basis van ervaring vanuit papierproducenten is in de business case aangenomen dat een Meri-installatie dezelfde afscheiding zou moeten kunnen bereiken met 30% waswater ten opzichte van de ingaande stroom. Uit deze pilot komt naar voren dat er een grotere wascapaciteit nodig is en mogelijk een extra zeefstap van 0,3-0,5mm (inclusief waswater) voorafgaand aan de Meri-installatie.

4

RESULTATEN PILOT OPWERKEN FIJNZEEFGOED

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de behandeling van afgescheiden fijnzeefgoed vanuit rwzi Beemster door de Meri-installatie. Deze testen hebben plaatsgevonden in januari 2021. Voor de testen is het afgescheiden fijjnzeefgoed vanuit de roterende bandzeven van rwzi Beemster gebruikt. Dit fijnzeefgoed is vanuit het opvangvat verdund met bedrijfswater tot 0,4% drogestof. Vervolgens passeert dit mengsel de Conus Trenner (maaswijdte 80 micrometer) en het Elephant Filter (maaswijdte 250 micrometer).

Dit fijnzeefgoedproduct is gehygiëniseerd met 96 g permierenzuur per kg ds en vervolgens gebruikt voor productie van bouwpanelen door ECOR. De resultaten van de kwaliteit van het product voor de verschillende afzetroutes (ECOR bouwpanelen en papierproductie) worden verder besproken in paragraaf 4.3.

Het fijnzeefgoedproduct werd echter niet geaccepteerd door de papierfabriek. Er waren problemen met aanwezige bacteriën, stank en schimmel. Deze broei en schimmelvorming is ook op de rwzi waargenomen in de zomer na een aantal dagen opslag (bij een permierenzuurdosering van 96 g/kg ds). In overleg met de papierfabriek zijn vervolgens vele instellingen en mogelijkheden getest voor betere hygiënisatie. Zelfs bij 148 g permierenzuur per kilogram drogestof traden nog stankproblemen op bij aankomst in de fabriek. NB de permierenzuurdosering bedroeg in de pilot met de Meri-installatie op rwzi Leeuwarden 50 g/kg drogestof. Ook zijn andere hygiënisatiemethoden met bleekloog en pekel getest maar dit bood allemaal geen soulaas. Uiteindelijk is het product met toevoeging van een bacteriemix, die de stankvorming tegengaat[7], geaccepteerd door de papierfabriek. De dosering voor de hygiënisatie bedroeg hierbij 142 g permierenzuur per kilogram drogestof fijnzeefgoed.

De waterbalans van deze testen is weergegeven in figuur 8. Het fijnzeefgoed is hierbij geperst tot 45% ds. Uit de waterbalans blijkt dat er veel spoelwater is gebruikt. Dit had te maken met de consistentie en de verontreinigingen in het fijnzeefgoed. E.e.a. wordt nader toegelicht in paragraaf 4.3.

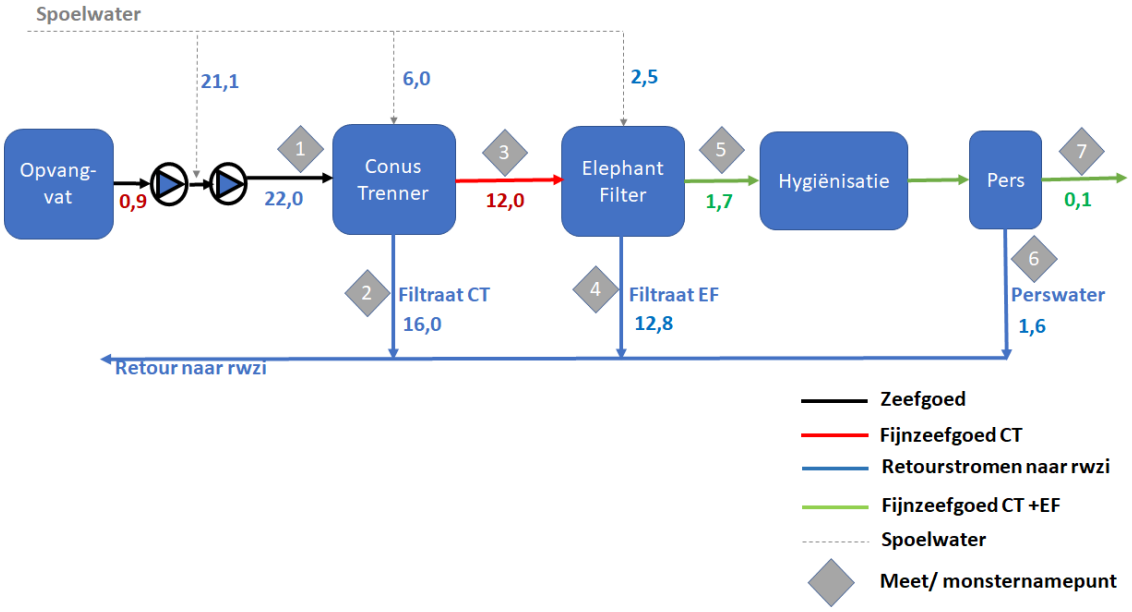
In de navolgende paragrafen wordt ingegaan op de volgende aspecten:

1. Welke fracties uit het al geproduceerde fijnzeefgoed worden afgescheiden, oftewel belanden in het geproduceerde product: organische stof (uitgedrukt als Chemisch Zuurstof Verbruik, oftewel CZV) en onopgeloste stof (uitgedrukt als Onopgeloste Bestanddelen, oftewel OB) en cellulose: zie paragraaf 4.2.

7 Het toegevoegde product heet BioOrg: hierin zitten sporen van 11 verschillende soorten bacteriën, voor meer informatie zie www.bioorg.eu/nl

3. Wat is de kwaliteit van het fijnzeefgoed dat geproduceerd wordt? Zijn de afgescheiden cellulosevezels geschikt om toe te passen door de geselecteerde marktpartijen (papierindustrie en productie van bouwpanelen)?: zie paragraaf 4.3.
   Dit hoofdstuk sluit af met een vergelijking van de resultaten met het eerder uitgevoerde pilotonderzoek voor afscheiding van cellulosevezels uit influent met de Meri-technologie op rwzi Leeuwarden[4] in paragraaf 4.4.

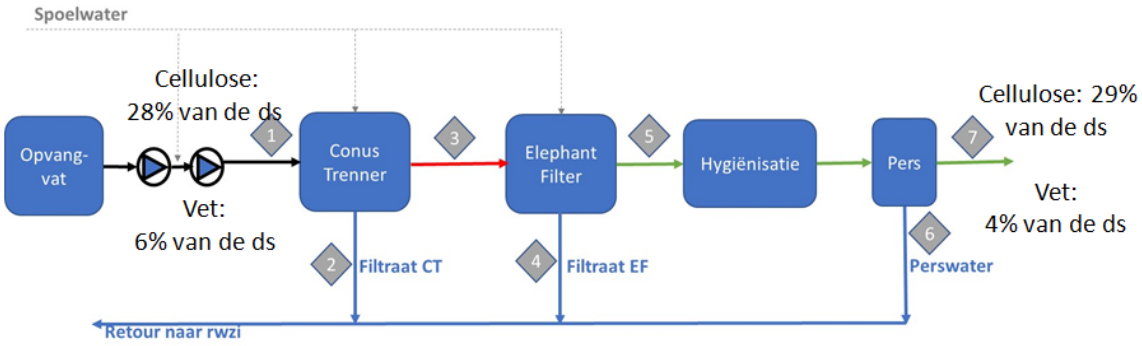
FIGUUR 8 WATERBALANS OPWERKING FIJNZEEFGOED (WATERSTROMEN IN M³/H)



4.2 AFSCHEIDING CZV, OB, VET EN CELLULOSE

In figuur 9 is de afscheiding van organische stof (CZV), onopgeloste bestanddelen (OB), vet en cellulose schematisch weergegeven.

FIGUUR 9 AFSCHEIDING CZV, OB, VET EN CELLULOSE UIT PRIMAIR SLIB



	CZV	OB	Cellulose	Vet
CT	77%	82%	90%	66%
EF	73%	83%	84%	97%
CT+EF	56%	68%	76%	64%
CT+EF+pers	41%	59%	68%	39%

Toelichting: In figuur 9 is weergegeven welke verwijderingsrendementen behaald worden door de diverse installaties. Hiervoor zijn als volgt massabalansen opgesteld:

- Conus Trenner (CT): monsternamepunten 1,2 en 3
- Elephant Filter (EF): monsternamepunten 3, 4 en 5
- CT+EF en CT+EF+pers: totale massabalans respectievelijk monsterpunt 5 en 7 ten opzichte van monsternamepunt 1, met controle van de verwijderingsrendementen over de Conus Trenner en het Elephant Filter apart

Uit figuur 9 blijkt dat 68±10% van de cellulose belandt in het eindproduct (verwijderingsrendement CT+EF+pers). Dit rendement valt tegen, aangezien de cellulosevezels al zijn afgescheiden door de roterende bandzeven. Daarnaast bevat het product veel CZV, OB en Vet: circa 40% van de CZV en 60% van de OB belandt in het product evenals circa 40% van het vet. Hierbij wordt opgemerkt dat de gebruikte analysemethode voor cellulose alleen daadwerkelijke cellulose meet en geen hemicellulose en lignine. Cellulosevezels bestaan hier ook gedeeltelijk uit. Uit eerder onderzoek volgt dat het hemicellulose- en lignine gehalte in fijnzeefgoed circa 10% van de drogestof is[5]. Oftewel het eind product bevat circa 40% aan cellulosevezels op basis van drogestof.
Verder is gekeken naar de anorganische gehaltes en zandfracties. Hieruit blijkt dat met name het anorganische stofgehalte afneemt van circa 25% van de drogestof naar 10% van de drogestof. Het zandgehalte bedraagt < 0,1% van de drogestof in het ingaande product en 2-3% van de drogestof in het uitgaande product. Deze resultaten komen overeen met de testen voor primair slib en de eerdere pilot op Leeuwarden: de Meri-installatie verlaagt het aandeel anorganische componenten in slib. In dit geval omvat de anorganische fractie 30% zand.

Het cellulosegehalte van het fijnzeefgoed is opmerkelijk: het fijnzeefgoed wat van de roterende bandzeven afkomt van rwzi Beemster bevat 35-50% aan cellulose, oftewel 45-60% cellulosevezels[5]. Het gehalte aan cellulose is door de aanvullende behandeling met de Meri-installatie dus gedaald. Waarschijnlijk komt aanhangende drogestof en vervuiling vrij uit het fijnzeefgoedproduct vanuit de roterende bandzeven bij het verdunnen met bedrijfswater. Deze verontreinigingen zijn waarschijnlijk “ingesloten” in verstrengelde vezels. De Meri-technologie is niet ontworpen en in staat om verstrengeling van deze vezels ongedaan te maken. De Meri-technologie is juist ontworpen voor het afscheiden van losse vezels. De kwaliteit van het product verbetert hierdoor niet, maar verslechtert.

Bovenstaande betekent, dat het product veel verontreinigingen bevat: circa 60% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, waarvan circa 3% zand, 7% overig anorganisch en 50% organisch. In hoeverre dit de afzetbaarheid van het product beïnvloedt wordt besproken in de volgende paragraaf 3.3.

Er zijn verder geen problemen opgetreden bij de behandeling van het fijnzeefoed in de Meri-installatie: het kon goed worden verwerkt zonder verstoppingen, vetophoping of andere zaken.

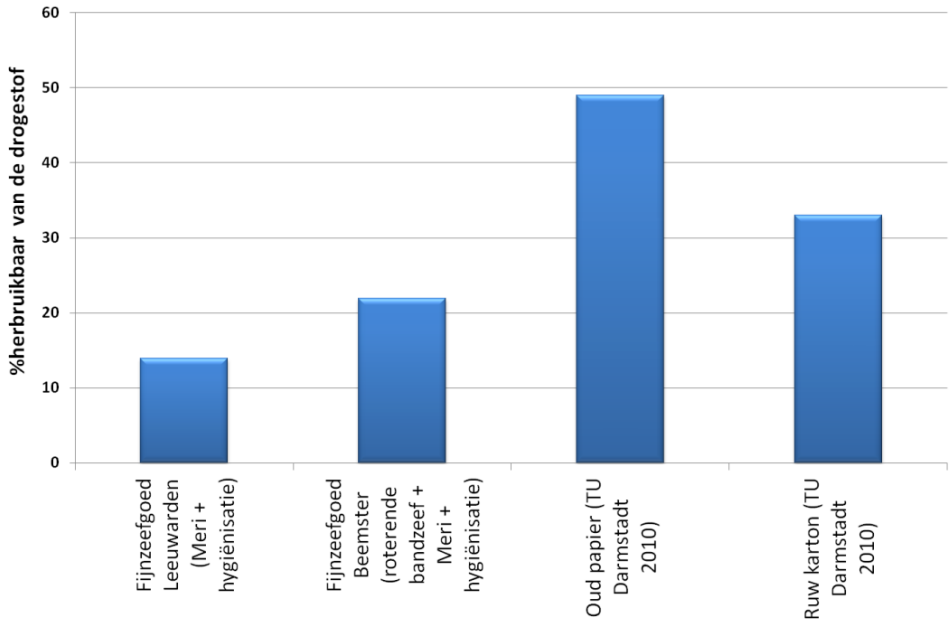
4.3 KWALITEIT CELLULOSE UIT BEHANDELD FIJNZEEFGOED

Voor de afzetbaarheid van het product zijn de volgende zaken van belang

1. De fysische kwaliteit van de cellulosevezel: deze moet overeenkomen met cellulosevezels in oud-papier wat nu gebruikt wordt door de afnemers op het gebied van de lengte van de cellulosevezel, de lengte/diameter, aanwezigheid van fibrillen en biologische aantasting van de vezel, waardoor deze minder bruikbaar wordt.
2. De biologische kwaliteit van het product, welke verschilt voor de afnemers. Voor de papierproductie gelden strengen eisen: het product moet vrij zijn van schimmels, stankvormende bacteriën en overige bacteriologische verontreinigingen. De groei van schimmels, bacteriën etc. mag niet plaatsvinden voorafgaand aan transport. Producten met schimmels en stankvormende bacteriën worden niet in behandeling genomen. Voor de productie van bouwpanelen geldt met name dat stankoverlast moet worden tegengegaan, maar dat er geen strikte eis geldt ten aanzien van het aandeel bacteriologische verontreinigingen aangezien het product direct sterk verhit wordt bij productie van de bouwpanelen.

Ten aanzien van punt 1, de kwaliteit van de vezels, voldoet het product. Alhoewel de vezels iets korter zijn dan in oud-papier en een minder grote trekkracht hebben, is het onbruikbaar percentage van de vezels kleiner dan bij oud-papier (zie figuur 10). Dit betekent dat het product goed kan worden ingezet voor productie van papier en andere producten met oud-papier als grondstof zoals bouwpanelen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat het gehalte aan cellulosevezels van het geproduceerde product nog erg laag is: circa 40% van de drogestof. Dit betekent dat meer dan 60% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, welke nog uit het product moeten worden gewassen.

FIGUUR 10 PERCENTAGE ONBRUIKBAAR MATERIAAL OP BASIS VAN VEZELLENGTE



Naast de eigenschappen van de vezels is ook de bacteriologische kwaliteit bepaald. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2 (voor beschrijving methode zie hoofdstuk 2)

TABEL 2 **BACTERIOLOGISCHE KWALITEIT**

	Totaal aantal Enteriobacteraecae (cellen/g)	Levensvatbare fractie Enteriobacteriaceae (cellen/g)
Verdund Zeefgoed Beemster	$3,5*10^8$	$1,9*10^8$
EF-fractie zeefgoed Beemster excl. Hygienisatie	$7,7*10^7$	$2,1*10^8$
Gehygieniseerd zeefgoed Beemster	$< 6,0*10^4$	$< 3,4*10^4$
Zeefgoed uit influent Blaricum	$1,8*10^8$	
EF-fractie zeefgoed Beemster excl. Hygienisatie	$5,1*10^7$	
Gehygieniseerd zeefgoed Beemster	$< 1,5*10^3$	
Zeefgoed uit influent Leeuwarden VAZENA[7]	$1,0*10^7$	
Gehygieniseerd zeefgoed Leeuwarden PER Azijnzuur (VAZENA)	$< 1,0*10^4$	

In tabel 2 is het zeefgoed van rwzi Beemster behandeld met 142 g permierenzuur per kg drogestof met daarnaast de toevoeging van Bio-org. Ter vergelijking zijn de resultaten genoemd van (gehygieniseerd) zeefgoed van rwzi Leeuwarden vanuit het VAZENA-project en Blarcium[8]. De perazijnzuur dosering in het VAZENA-project bedroeg 50 g permierenzuur per kg drogestof; het product werd daarna gedroogd bij 55 graden celcius [7].

Op basis hiervan is een papierrun uitgevoerd, waarbij het product vanuit Beemster is gemengd met oud-papier vanuit de papierfabriek (verhouding 20/80%). Deze papierrun is positief verlopen, maar er waren nog wel steeds klachten over stank- en schimmelvorming vanuit de papierfabriek van het aangeleverde zeefgoed. Ter onderbouwing heeft de papierfabriek enkele analyses gedaan op schimmels en stankvormende bacteriën, zie tabel 3. Hieruit blijkt dat zonder toevoeging van de Bio-org de gehaltes aan bacteriën, waaronder Enterobacteriaceae weer sterk toenemen nadat het product een week heeft gestaan. Ditzelfde geldt voor schimmels (Moulds)[9].

TABEL 3 **BACTERIOLOGISCHE GROEI IN EINDPRODUCT**

	Ontvangen product incl. bio-org	Na 30 min opslag	Na 50 min opslag	Na 1 week zonder bio-org	Na 1 week met bio-org
Total aerobe count	1.400.000	200	800	2.200.000	150.000.000
Gram negative bacteria	9.000	100	100	14.000.000	400.000
Enteriobacteriacaea	9.000	100	100	2.000.000	100.000
Yeasts	600	100	100	200.000	180.000
Moulds	700	100	100	2.100.000	880.000
Aerobic Spores	700	900	10	140.000	3.000.000
Anaerobic Spores	700	10	2000	60.000	3.000.000

Uiteindelijk is er papier geproduceerd met een verhouding 30% fijnzeefgoed/70% de-inkted pulp, waarbij het fijnzeefgoed nog erg rigide is opgeschoond met chemicaliën, die normaliter niet gebruikt worden in de papierindustrie (kwartair ammonium inclusief flotatie) en daarna bleking. Hieruit blijkt dat de papiervezels in het product geschikt zijn qua vezelkwaliteit, maar dat de verontreinigingen te hoog zijn om de grondstof oud-papier te vervangen voor papierproductie (zie figuur 11).

8 Er zijn helaas geen Q- en V-PCR testen uitgevoerd op het geproduceerde en gehygiëniseerde fijnzeefgoed van rwzi Leeuwarden door de Meri-installatie in 2018, waardoor deze resultaten niet kunnen worden vergeleken. De Q-PCR test is wel uitgevoerd in het VAZENA-onderzoek [7] en op het zeefgoed gewonnen door roterende bandzeven uit influent op rwzi Blaricum[3].

9 Het hoge gehalte aan “Aerobic en Anaerobic Spores” wordt veroorzaakt door de toevoeging van bacteriën die de stank en schimmelvorming moeten tegengaan. Dit zijn dus “goede” bacteriën en hebben geen negatieve invloed op de houdbaarheid van het product.

FIGUUR 11 **PAPIERKWALITEIT PAPIERRUN 30% FIJNZEEFGOED(ORCUS) / 70% ONTINKT OUD PAPIER**



Voor het maken van bouwpanelen door ECOR is een product gebruikt met een permierenzuur-dosering van 96 g/kg ds en een maskerend mengsel om de geur te verminderen (OdourFlo). De verwachting was dit dat dit zou voldoen qua bacteriegroei, omdat bij de productie hiervan een sterke verhitting en dus afdoding van bacteriën plaatsvindt. Bij de productie van de bouwpanelen zijn echter wel problemen opgetreden met het gehalte aan verontreinigingen, net zoals bij primair slib. Rookvorming en stank traden op vermoedelijk te wijten aan vet, organische stof en het gebruikte permierenzuur. Ter illustratie in figuur 12 de gepalleteerde producten, waarbij de verontreinigingen visueel zichtbaar zijn.

FIGUUR 12 **GEPALLETEERDE PRODUCTEN UIT FIJNZEEFGOED (LINKS) EN PRIMAIR SLIB (RECHTS)**



Er zijn wel bouwpanelen geproduceerd op basis van het fijnzeefgoed: zie figuur 13. Zoals eerder ook bevestigd op basis van de vezelanalyse, zijn de papiervezels in het fijnzeefgoed geschikt voor vervanging van oud-papier. Het fijnzeefgoed wat in deze pilot werd geproduceerd, bevat echter te veel verontreinigingen om bouwpanelen te kunnen produceren.

FIGUUR 13 **BOUWPANELEN UIT FIJNZEEFGOED**



Uit voorgaande kan worden geconcludeerd, dat het geproduceerde product uit fijnzeven door naschakeling van een Meri-installatie op basis van de resultaten uit deze pilot, niet geschikt is voor productie van bouwpanelen en ook niet voor papierproductie. Het gehalte aan verontreinigingen, zoals vet en organische stof is te hoog voor zowel productie van bouwpanelen als papierproductie. Daarnaast is de bacteriële verontreiniging ook een beperking voor de papierproductie.

4.4 VERGELIJKING RESULTATEN MET PILOTONDERZOEK LEEUWARDEN 2019 EN EERDER ONDERZOEK RWZI BEEMSTER 2020

In deze paragraaf worden de resultaten vergeleken met eerder uitgevoerde onderzoek aan afscheiding van cellulosevezels uit influent op rwzi Beemster en Leeuwarden[6][4]. Ten opzichte van eerdere resultaten [4][5] vallen de volgende verschillen op:

- Het gehalte aan cellulosevezels in het eindproduct is in deze pilottest op rwzi Beemster lager dan in de pilot test in Leeuwarden in 2019: In het pilotonderzoek in 2019 bedraagt het cellulosevezelgehalte 70% van de drogestof, terwijl in deze pilottest amper 40% wordt bereikt[10]. In vergelijking met het cellulosegehalte van het fijnzeefgoed van rwzi Beemster is dit opmerkelijk: het fijnzeefgoed van rwzi Beemster bevat 45-60% cellulosevezels. Dit betekent, dat het gehalte aan cellulose in het fijnzeefgoed vanuit de roterende bandzeven dus is gedaald door behandeling met de Meri-installatie op rwzi Beemster.
- Het spoelwaterverbruik van de Meri-installatie is zeer hoog (8,5 m^3 spoelwater op 22 m^3 ingaand materiaal oftewel bijna 40%, terwijl ook al in de roterende bandzeef installatie spoelwater wordt verbruikt (circa 1-2%). Desondanks blijkt uit de huidige resultaten met de Meri-installatie dat het product nog erg vervuild is en dat slechts 40% van de drogestof uit de cellulosevezelfractie bestaat.

Bovenstaande leidt tot de volgende conclusie: het cellulosevezelgehalte van het fijnzeefgoed is niet verhoogd door het naschakelen van de Meri-installatie. De Meri-installatie is niet in staat om het fijnzeefgoed wat geproduceerd wordt door de roterende bandzeven verder op te schonen. Dit blijkt ook uit de metingen aan bacteriologische verontreinigingen en klachten vanuit de papierfabriek over schimmel- en stankvorming. Waarschijnlijk komt aanhangende drogestof en vervuiling vrij uit het fijnzeefgoedproduct vanuit de roterende bandzeven bij het verdunnen. Deze verontreinigingen wordt echter nog steeds “ingesloten” in verstrengelde vezels. De Meri-technologie is niet ontworpen en in staat om verstrengeling van deze vezels ongedaan te maken. De Meri-technologie is juist ontworpen voor het afscheiden van losse vezels. De kwaliteit van het product verbetert hierdoor niet, maar verslechtert. Vermoedelijk is het fijnzeefgoed wat van de roterende bandfilters komt al te ver verstrengeld en in elkaar gedraaid, waardoor er geen sprake kan zijn van een goede scheiding door de Meri-installatie. Waarschijnlijk laten verontreinigingen zoals CZV en drogestof (OB) zelfs los bij het opwerken door de Meri-installatie, waardoor netto geen winst wordt behaald op verhoging van het cellulosegehalte en er zelfs meer verontreinigingen vrijkomen door deze behandeling.

Conclusie uit voorgaande is, dat de aannamen uit het pilotonderzoek uit 2019 niet kunnen worden vergeleken met dit onderzoek. In 2019 is gewerkt met influent en zogenaamde losse vezels hierin; dit onderzoek gaat uit van zeefgoed dat al uit influent gefiltreerd is met roterende bandfilters, waardoor vezels vermoedelijk in elkaar gedraaid zijn en lastig weer te scheiden zijn met de Meri-technologie. De uitkomsten van het onderzoek vanuit 2019 blijven daarom staan. Wel kan geconcludeerd worden, dat optimalisatie van terugwinning van cellulose wat geproduceerd wordt door roterende bandzeven door inzet van een nageschakelde Meri-installatie op basis van dit onderzoek niet mogelijk is.

10 29% van de ds bevatte cellulose conform de enzymatische methode, uitgaande van een percentage van 10% voor hemicellulose en lignine is het cellulosevezelgehalte 39%

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit onderzoek is de Meri-installatie op pilotschaal nader onderzocht, een combinatie van technologieën bekend vanuit de papierindustrie: een Conus Trenner in combinatie met een Elephant filter en navolgende hygiënisatie. Dit onderzoek richt zich enerzijds op afscheiding van cellulosevezels uit primair slib en anderzijds op optimalisatie van de kwaliteit van fijnzeefgoed afgescheiden door roterende bandzeven. Met het geproduceerde eindmateriaal zijn testen gedaan of dit geschikt is om toe te passen in productie van bouwpanelen en papierproductie. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden op rwzi Beemster. De conclusies volgen in de navolgende paragrafen.

5.1 TERUGWINNING PRIMAIR SLIB

De Meri-installatie is in staat is om cellulosevezels terug te winnen uit primair slib: 75-80% van de cellulosevezels worden teruggewonnen. Het geproduceerde product echter veel verontreinigingen: meer dan 50% van de drogestof bestaat uit verontreinigingen, waarvan circa 4% zand, 3% overig anorganisch en het overgrote deel organisch (circa 40-50%). Dit betekent dat het vezelproduct uit primair slib nog verder moet worden opgeschoond. Ten opzichte van de labstudie uit 2016 verschilt de opstelling: de Meri-installatie zeeft het primair slib direct op 80 micrometer, waarbij in het labonderzoek een voorgeschakelde zeef van 0,3-0,5 mm was geplaatst voor een zeefstap van 100 micrometer. De kwaliteit van het product vanuit de Meri-zeef is onvoldoende. Dit betekent dat er een zeef moet worden voorgeplaatst van 0,3-0,5 mm en/of dat een aanvullende wasstap noodzakelijk is. Welke mate van wassing en hygiënisatie nog moet worden toegevoegd kan op basis van dit onderzoek niet worden bepaald. Hygiënisatie met permierenzuur blijkt verder niet effectief op primair slib, wellicht is perazijnzuur al dan niet in combinatie met droging dit wel.

5.2 OPTIMALISATIE KWALITEIT FIJNZEEFGOED VAN ROTERENDE BANDZEVEN

Het cellulosevezelgehalte van het fijnzeefgoed is niet verhoogd door het naschakelen van de Meri-installatie. De Meri-installatie is niet in staat om het fijnzeefgoed verder op te schonen. Dit blijkt ook uit de metingen aan bacteriologische verontreinigingen en klachten vanuit de papierfabriek over schimmel- en stankvorming. Waarschijnlijk komt aanhangende drogestof en vervuiling vrij uit het fijnzeefgoedproduct vanuit de roterende bandzeven bij het verdunnen. Deze verontreinigingen wordt echter nog steeds “ingesloten” in verstrengelde vezels. De Meri-technologie is niet ontworpen en in staat om verstrengeling van deze vezels ongedaan te maken. De Meri-technologie is juist ontworpen voor het afscheiden van losse vezels uit water. De kwaliteit van het fijnzeefgoedproduct verbetert hierdoor niet, maar verslechtert enigszins. Vermoedelijk is het fijnzeefgoed wat van de roterende bandfilters komt al te ver verstrengeld en in elkaar gedraaid, waardoor er geen sprake kan zijn van een goede scheiding door de Meri-installatie. Waarschijnlijk laten verontreinigingen zoals CZV en drogestof (OB) zelfs los bij het opwerken door de Meri-installatie, waardoor netto geen winst

wordt behaald op verhoging van het cellulosegehalte en er zelfs meer verontreinigingen vrijkomen door deze behandeling.

5.3 AANBEVELINGEN

Op basis van het voorgaande valt opschoning door de Meri-installatie van afgescheiden fijnzeefgoed door roterende bandzeven af. De Meri-installatie is niet in staat om dit fijnzeefgoed verder op te schonen. Wel wordt aanbevolen nader onderzoek te doen naar:

1. Toepassing Meri-installatie op influenten van rwzi's.
2. Opschoning van cellulosevezels afgescheiden door de Meri-installatie uit primair slib.

Voor beide toepassingen (cellulosevezels uit influent en primair slib) zijn er naar verwachting mogelijkheden om een afdoende schoon product te verkrijgen door inzet van de Meri-installatie in combinatie met chemische hygiënisatietechnieken (permierenzuur, perazijnzuur) en/of droging. Voor primair slib is op basis van de resultaten in dit onderzoek ook een extra zeefstap voor de Meri-installatie nodig en/of een extra wassing van het geproduceerde product voordat dit geperst wordt.

Centrale onderzoeksvraag bij voorgaande punten is of het geproduceerde product voldoet aan de eisen van de afnemers. Kan de Meri-installatie een product maken met een voldoende kwaliteit voor afzet van dit product naar afnemers welke normaliter oud-papier als grondstof gebruiken, zoals bijvoorbeeld de papierindustrie en producenten van bouwpanelen. Hiervoor zal nauw moeten worden samengewerkt met deze afnemers op het gebied van de gewenste kwaliteit op het gebied van het aandeel verontreinigingen en bacteriologische groei na productie (bij opslag, transport en verwerking). Kwaliteit van zeefgoed en eisen vanuit de afnemers dienen op elkaar te worden afgestemd. Hierbij kan rekening worden gehouden met de temperaturen die gebruikt worden bij productie van bouwpanelen (hoge temperatuur waardoor bacteriologische groei beperkt plaats vindt) en reinigingsstappen die oud-papier ondergaat in de papierfabriek, waaronder mechanische reiniging, droging en bleking waardoor het product ook wezenlijk (bacteriologisch) wordt opgeschoond. Het is echter wel van belang dat het geproduceerde product goed kan worden opgeslagen zonder problemen met schimmelvorming, stank en broei. Deze samenwerking in optimalisaties tussen welke reinigingstappen op een rwzi dienen te gebeuren en welke daaropvolgend bij de afnemer en papierfabriek nodig zijn, zijn in een pril stadium en behoeven nadere afstemming en onderzoek.

Ondanks de tegenvallende resultaten van het opgewerkte fijnzeefgoed is de papierindustrie op basis van de resultaten van de inzet van de Meri-technologie op influent van rwzi Leeuwarden in 2019 (STOWA 2019-37) nog steeds zeer geïnteresseerd in verdere ontwikkeling van de toepassing van teruggewonnen cellulosevezels uit influent in papierproductie. Er is dan ook een pilot gestart om de Meri-installatie te testen op het influent van rwzi Zeewolde van Waterschap Zuiderzeeland. Hierin wordt bovenstaande onderzoeksvraag opgepakt, waarin de kwaliteit van het geproduceerde fijnzeefgoed product geoptimaliseerd wordt ten opzichte van de eisen en wensen vanuit de papierindustrie. De resultaten hiervan worden in 2023 verwacht.

REFERENTIES

[1] STOWA 2012-07, Verkenning van mogelijkheden voor verwaarding van zeefgoed
[2] STOWA 2013-21, Grondstoffenfabriek - Vezelgrondstof uit zeefgoed
[3] STOWA 2013-31, Verkenning mogelijkheden grondstoffen rwzi
[4] STOWA 2019-37, Pilot terugwinning cellulose met zeeftechnologie uit de papierindustrie
[5] STOWA 2016-18, Verkenning haalbaarheid terugwinning cellulose uit primair slib
[6] STOWA 2020-1: Monitoring Cellu2PLA: Het winnen van cellulose uit rioolwater voor de productie van een bioplastic
[7] STOWA 2017-29: Van zeefgoed naar asfalt

BIJLAGE 1

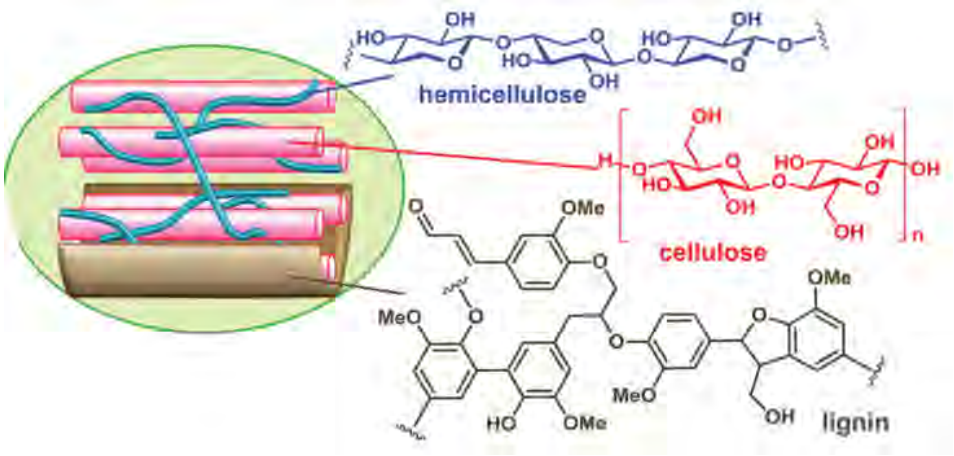
BEGRIPPEN TERUGWINNING CELLULOSE UIT RIOOLWATER

Bron: STOWA 2016-18

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

Vezels in een plant zijn langgerekte bundels van cellen, die voor stevigheid in de plant zorgen. Deze vezels bestaan vooral uit cellulose en worden daarom ook wel cellulosevezels genoemd. Van nature bevatten deze vezels naast cellulose ook hemicellulose en lignine. De onderlinge verhoudingen hangen af van het type boom of plant. Cellulose is een 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 [100][100]**



Cellulosevezels in hout voor papierproductie bestaan voor 47-53% uit cellulose, voor 17-27% uit hemicellulose en voor 19-29% uit lignine[101][102]. Voor het maken van papier moet de cellulosevezel losgemaakt oftewel ontsloten worden. Afhankelijk van het ontsluitingsproces bevat het gemaakte papier meer of minder hemicellulose en lignine. Lignine wordt tegenwoordig grotendeels chemisch verwijderd voor de meeste papiersoorten, ook voor toiletpapier. 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 gehaltes lignine: tot 15% [103]. Voor toiletpapier is het merk en de bron van het toiletpapier bepalend, maar de meeste soorten “zacht” toiletpapier bevatten vergelijkbare gehaltes hemicellulose en lignine als standaard kopieerpapier [106][103].

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

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

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

Cellulose is een polysacharide van glucose, die door nagenoeg alle planten wordt gemaakt. De molecuulformulie is $(C_6H_{10}O_5)_n$ waarbij n staat voor het aantal glucose-eenheden (circa 7.000 – 15.000 per molecuul).
Cellulosevezels in een plant zijn langgerekte bundels van cellen, die voor stevigheid in de plant zorgen. Deze vezels bestaan vooral uit **cellulose** en worden daarom ook wel **cellulosevezels** genoemd. Van nature bevatten vezels in hout voor papierproductie naast cellulose (47-53%) ook **hemicellulose** (17-27%) en **lignine** (20-30%). De onderlinge verhoudingen hangen af van het type boom. Papier is een netwerk van cellulosevezels. Om de cellulosevezels uit hout te winnen, moeten deze mechanisch of chemisch worden ontsloten. Afhankelijk van het gebruikte ontsluitingsproces, bevat het papier meer of minder hemicellulose en lignine. Rioolwater bevat cellulosevezels afkomstig van doorgespoeld toiletpapier, maar ook uit ander 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 verontreini-

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

REFERENTIES

[100] Hirokazu Kobayashi and Atsushi Fukuoka, 2013, Synthesis and utilisation of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass Green Chem., 2013 (15), p. 1740-1763

[101] www.papierpraat.nl

[102] www.papierenkarton.nl

[103] Ma, Y. et al (2016), **Upcycling of waste paper and cardboard to textiles,** 2016 (18) p.858-866

[104] Proceedings bijeenkomst Agri Project 10 oktober 2013, Businesscase Waardevolle Inhoudstoffen, Presentatie Jan van Dam, Randvoorwaarden voor en solide businesscase, WUR-FBR

[105] Leeuwen, A. van, 2013 ANALYSE ALTERNATIEVE PLANTAARDIGE VEZELS VOOR PAPIER EN KARTON, Hogeschool CAH Vilentum, Annemarie van Leeuwen, in opdracht voor KCPK, Dronten, december 2013

[106] http://www.hotbincomposting.com/blog/i-dont-have-any-shredded-paper.html