

MONITORING CELLU2PLA: HET WINNEN VAN CELLULOSE UIT RIOOLWATER VOOR DE PRODUCTIE VAN EEN BIOPLASTIC



RAPPORT

2020

01

MONITORING CELLU2PLA: HET WINNEN
VAN CELLULOSE UIT RIOOLWATER VOOR DE
PRODUCTIE VAN EEN BIOPLASTIC

RAPPORT

2020

01

ISBN 978.90.5773.882.1



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERDERS Remmie Neef, Brightwork B.V. (thans waterschap Zuiderzeeland)
Gerrit Post, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Bob de Boer, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Fabienne Goosens, Attero
Ingrid Odegard, CE Delft
Robert Vergeer, CE Delft
Diederik Jaspers, CE Delft

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Richard Oudhuis, Waternet
Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Bob de Boer, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Fabienne Goosens, Attero
Coos Wessels / Carlijn Lahaye, Cirtec
Hardy Temmink, Wageningen Universiteit
Martijn Bayens / Annelieke van Vrande, Vendor
Harry Laan, IMenz Bioengineering
Ruud Schemen, Solvitar Watermanagement (namens STOWA)

FOTO OMSLAG Fijnzeefinstallatie RWZI Beemster, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-01
ISBN 978.90.5773.882.1

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

Uit dit onderzoek is gebleken dat het verwijderen van zwevende stof uit het influent een positief effect heeft op het zuiveringsproces. Eenmaal gezeefd rioolwater is minder vuil, waardoor de rest van het zuiveringsproces energiezuiniger verloopt. De hoeveelheid secundair slib neemt ook af, waardoor bespaard wordt op slibverwerkingskosten. De cellulose uit zeefgoed dat daarentegen geoogst wordt, blijkt niet goed geschikt als grondstof voor PLA-productie.

Het Cellu2PLA-onderzoek heeft bijgedragen aan het ontwikkelen van kennis over een fijnzeeftechniek op rwzi's en heeft aanbevelingen opgeleverd voor vervolgonderzoek. Centraal daarin staat het verhogen van de kwaliteit van de cellulose die geoogst wordt, wat de kansen voor hergebruik vergroot. Tevens wordt aandacht gevraagd voor het optimaliseren van de zeeftechniek en voor een verlaging van de kosten voor aanleg en gebruik.

Om meer kennis op te doen over het winnen van cellulose uit rioolwater, is op rwzi Beemster onderzocht welke effecten een fijnzeefinstallatie heeft op het zuiveringsproces. Daarnaast is onderzocht of de cellulose uit het gewonnen zeefgoed gebruikt kan worden voor de productie van poly lactic acid (PLA), een bioplastic. Vandaar de naam Cellu2PLA. Het project is gezamenlijk uitgevoerd door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), afvalverwerker Attero en STOWA. De Europese Unie heeft het project financieel ondersteund vanuit het Life+ programma.

In toenemende mate zijn de waterschappen in staat om waardevolle grondstoffen uit rioolwater te oogsten. Het gaat daarbij onder meer om fosfaat, cellulose, Kaumera en bioplastic. Als ondertekenaars van het Grondstoffenakkoord geven ze daarmee invulling aan een circulaire economie. De waterschappen werken hiertoe samen in een succesvolle netwerkorganisatie 'de Energie- en Grondstoffenfabriek', waarbij onderzoek en ontwikkeling worden gestimuleerd en gecoördineerd door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

De productie van biobased plastic in de vorm van PLA (poly lactic acid of polymelkzuur) uit hernieuwbare grondstoffen, zoals bijvoorbeeld uit cellulose, is jaarlijks wereldwijd ongeveer 150.000 ton. Het uitgangsmateriaal is veelal afkomstig uit de voedselketen en relatief duur. Daarom wordt dit PLA alleen afgezet in duurdere, bijvoorbeeld medische, toepassingen. Indien PLA kan worden geproduceerd uit goedkoper basismateriaal, ontstaat er een enorme marktpotentie om PLA breder in te zetten. Bijvoorbeeld als verpakkingsmateriaal, wegwerpbekers, -bestek en -borden, plantenpotjes etc. De verwachting is dat de behoefte aan PLA de komende jaren met 18-22% per jaar zal groeien.

Om aan de snelgroeiende vraag naar PLA te voldoen en de druk op materialen die kunnen worden hergebruikt voor meer dan één toepassing, te verlagen en de transitie naar biobased plastic te versnellen moet er een milieuverantwoord en financieel aantrekkelijk alternatief voor de grondstof en de technologie worden gevonden.

Het doel van het Cellu2PLA project is om PLA te produceren uit de cellulosefractie in afvalwater, het toiletpapier. Door fijnzeven te plaatsen achter het harkrooster van een rioolwaterzuivering, kan een groot deel van de onopgeloste bestanddelen worden afgevangen. Het zeefgoed dat daarmee wordt verkregen bevat cellulosevezels, ofwel toiletpapier, en is een zeer geschikte grondstof voor de productie van bioplastic. Ten tijde van het onderzoek werd nog nergens ter wereld PLA geproduceerd met cellulose uit afvalwater.

Het project Cellu2PLA is uitgevoerd door Attero, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) en de STOWA. Het hoogheemraadschap beheert de rioolwaterzuivering in de Beemster waar de fijnzeefinstallatie is geplaatst en Attero verwerkte de het zeefgoed met de cellulose tot PLA.

Uit prognoses voor de RWZI Beemster blijkt dat de biologische belasting tot 2040 met 20% zal toenemen. Dit geldt niet voor de hydraulische belasting die zelfs zou kunnen dalen als verhard oppervlak wordt afgekoppeld. Om aan de eisen te blijven voldoen en de toename in belasting te kunnen opvangen diende de capaciteit van de RWZI te worden vergroot. Uit een variantenstudie in 2012 kwamen twee kansrijke varianten naar voren. Een voorbehandelingstap met fijnzeven op uitbreiding van de biologische capaciteit met Nereda. Op basis van exploitatielasten, duurzaamheid, technologie, beheer en onderhoud scoorde de fijnzeven variant beter dan de Nereda variant en is besloten tot realisatie van een fijnzeefinstallatie. Op 13 oktober 2016 is de installatie officieel in bedrijf genomen. Na een periode van inregelen en optimalisatie is begin januari gestart met het monitoringsonderzoek dat een jaar (2017) heeft geduurd naar de werking van de fijnzeefinstallatie en het effect op de RWZI.

De RWZI bestaat uit één zuiveringstraat zodat vergelijking tussen twee parallelle identieke zuiveringsstraten niet mogelijk is. Om de resultaten toch te kunnen toetsen is de periode 2010-2016 als referentieperiode genomen waarbij naast het langjarig gemiddelde ook de spreiding is meegenomen. In dit rapport worden de resultaten van 2017 vergeleken met de referentieperiode om te kunnen beoordelen wat het effect is geweest op de RWZI. Daarnaast zijn metingen verricht aan de fijnzeefinstallatie om het rendement op onopgeloste bestanddelen, CZV, BZV, kjeldahl-stikstof, fosfaat en cellulose te kunnen vaststellen. Verder is de productie aan zeefgoed en cellulose bepaald zowel op basis van de metingen en analyses voor en na de fijnzeef als de afgevoerde en gewogen containers die door Attero zijn verwerkt.

De fijnzeefinstallatie heeft gedurende het monitoringsjaar niet te maken gehad met storingen die hebben geleid tot langdurige stilstand van de gehele installatie. Wel zijn twee zeefbanden vervangen als gevolg van breuk en heeft het niet goed vullen van de trechters voor de zeef-goedontwateringen tot storing kortdurend uitval van de installatie geleid. De beschikbaarheid van de installatie over 2017 bedroeg 97%. De installatie verbruikt gemiddeld 798 kWh/d en daarvan is 72% voor de blowers en de ventilatie.

De gemiddelde aanvoer naar de RWZI Beemster bedroeg 24.074 m³/d en daarvan is 21.459 m³/d behandeld door de fijnzeefinstallatie en dat is 89%. Van de 348 meetdagen is er op 185 dagen meer dan 99% van de aanvoer behandeld. Tevens is gebleken dat op regenweer dagen de fijnzeven de stijging van het (uur)debiet goed kunnen bijhouden en nog steeds 85 tot 95% van de aanvoer wordt behandeld.

Over het monitoringsjaar bedroeg de gemiddelde verwijdering aan onopgeloste bestanddelen (OB) zo'n 36% en dit is bij DWA ruim 39% en bij RWA 31%. Voor CZV en BZV is de gemiddelde verwijdering over 2017 respectievelijk 19 en 17% en dit is voor kjeldahl-stikstof en fosfaat iets meer dan 4%. Waarbij onder RWA-condities de verwijdering van CZV met 23% en van kjeldahl-stikstof met bijna 9% hoger is dan het jaargemiddelde. De verwijdering aan cellulose bedroeg gemiddeld 69%. 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. Uit deze metingen blijkt ook dat gemiddeld 27% van de onopgeloste bestanddelen in het afvalwater naar de RWZI Beemster bestaat uit cellulose.

Dit komt gemiddeld neer op 65 mg cellulose/l en dat zou een verbruik aan toiletpapier van 7,2 kg per inwoner per jaar betekenen. Dat correspondeert niet met de tot nu steeds gehanteerde 10-14 kg toiletpapier per inwoner [1]. Om dit verschil te kunnen verklaren is uitvoering onderzoek gedaan naar het verbruik van toiletpapier. Hieruit is naar voren gekomen dat de gehanteerde getallen over totaal verbruik aan tissues gaat en niet specifiek het toiletpapier betreffen. Het gaat dus over 10-14 kg tissues/jaar per persoon. Hoe de verdeling aan tissues voor de West Europese of zelfs Nederlandse markt is, is niet bekend., maar het verbruik aan toiletpapier is dus lager dan de 10-14 kg per jaar. Uit de metingen die nu beschikbaar zijn, lijkt het aannemelijker dat grosso modo de aanvoer aan toiletpapier ligt tussen de 6 – 8 kg/persoon per jaar met mogelijk uitschieters voor steden waar veel forenzen werken.

Op basis van de OB-analyses in influent en filtraat komt de productie aan zeefgoed uit op 809 ton droge stof per jaar. Uitgaande van de gewogen containers komt de productie uit op 683 ton droge stof per jaar hetgeen dus lager is dan op basis van OB-analyses. Het zeefgoed bevat 43,2% cellulose en dat betekent dat 295 ton cellulose droge stof door Attero in 2017 is verwerkt. Uit de analyses blijkt dat het aandeel cellulose in zeefgoed tussen de 35% en 51% ligt.

Een van de belangrijkste effecten van de fijnzeefinstallatie op de waterlijn was dat daarmee de belasting van de biologie zou worden verlaagd met als gevolg minder energie voor de beluchting. Uit de resultaten blijkt dat slibbelasting is gedaald van 0,087 kg BZV/kg DS per dag naar 0,075 kg BZV/kg DS per dag. Het kwantificeren van welke besparing aan beluchtings-energie dit oplevert is niet goed mogelijk omdat in mei van het monitoringsjaar de beluchtingselementen zijn vervangen en de beluchtingstank gebaggerd. Het energieverbruik van de beluchting is daarna fors gedaald, maar door de genoemde werkzaamheden is het aandeel van de fijnzeefinstallatie niet goed vast te stellen. Op basis van de periode februari-april wordt de besparing geschat op ruim 9%.

De effluentkwaliteit is in 2017 verbeterd in vergelijking met 2016 ten aanzien van stikstofverwijdering, maar is de concentratie aan fosfaat gestegen. Mogelijk als gevolg van te hoge zuurstofconcentraties in de beluchtingstank na de werkzaamheden dat later in het jaar wel is geoptimaliseerd, maar nog niet tot uiting komt in de jaargemiddelden. Ook hier geldt dat de aanpassingen in de beluchtingstanks van grotere invloed zijn geweest op de effluentkwaliteit dan de introductie van de fijnzeefinstallatie.

Een ander belangrijk aspect is het effect op de vlokvorming uitgedrukt als slib volume index en dus de bezinking van het actief slib in de nabezinktanks. Uit de SVI-metingen blijkt dat deze in 2017 niet is veranderd en het verwijderen van de cellulosevezel geen negatieve invloed heeft.

Met het verwijderen van de cellulose zal naar verwachting de productie aan surplus slib ook dalen en daarmee ook het energieverbruik van de slibverwerking. De surplus slibproductie is met circa 20% gedaald en het energieverbruik navenant met 18%.

Het verbruik aan poly-elektrolyt voor de ontwatering in de centrifuge is gestegen van 12,5 naar 18,3 g PE/kg DS. Het is de vraag of de toename aan PE te wijten is aan de verwijdering van de cellulosevezel. Hier speelt wellicht de bedrijfsvoering van de centrifuges een groter rol daar in de maanden mei en juni het verbruik aan PE overeenkwam met de gemiddelde waarden voor die maanden in de periode 2010-2016.

Het geproduceerde zeefgoed is deels verwerkt in de pilotinstallatie bij Attero te Wijster. De pilot installatie bestaat uit een doseur (menger) van waaruit het in een autoclaaf wordt gebracht en verwarmd met stoom onder een druk van 2,5 bar. In deze stap worden de micro-organismen die aanwezig zijn in het zeefgoed gedood, zoals bacteriën, virussen en schimmels. Vervolgens gaat het zeefgoed naar de hydrolysetank. Bij het bereiken van de procestemperatuur in de hydrolysetank wordt de gewenste hoeveelheid enzym (een cellulase) toegevoegd en start de hydrolyse waarmee cellulose in glucose wordt omgezet. De hydrolysetijd bedraagt 24-48 uur en gedurende deze tijd zijn regelmatig monsters genomen. Na afloop van de hydrolyse wordt een deel van het glucosewater naar de filterstraat geleid, waar het ontdaan wordt van vaste delen.

Het is mogelijk gebleken om in de pilotinstallatie glucose te produceren uit het zeefgoed van de RWZI Beemster. Het omzettingsproces verliep daarbij niet stabiel als gevolg van wisselende kwaliteit van het zeefgoed en besmetting van het hydrolyseproces met bacteriën. Met betrekking tot het zeefgoed is geconstateerd dat er sprake is van variatie in het droge stofgehalte van het zeefgoed en het gehalte aan cellulose. Verder bleek tijdens opslag van het zeefgoed ter plaatse dat er schimmelvorming optrad. Hoewel de pH en organische zuren in het zeefgoed variëren was gedurende de opslagtijd geen trend waar te nemen.

Belangrijkste oorzaak voor het niet stabiel krijgen van het omzettingsproces is de besmetting met *Lysinibacillus fusiformis* en *Bacillus cereus*, twee sporenvormende bacteriën die de gevormde glucose omzetten in melkzuur en die weer omzetten in CO₂ en water. De gemeten omzetting, gebaseerd op melkzuurconcentraties en afname in droge stof, lag tijdens de proeven tussen 13% en 29%, terwijl in het laboratorium bij deze enzymdosering meer dan 50% omzetting werd behaald. Alle geteste opties om de besmetting tegen te gaan hebben niet voldoende resultaat opgeleverd en was het niet mogelijk om biociden als uiterste middel te testen in de pilotinstallatie. Vanwege de problemen met de hygiëne was het niet mogelijk om te testen welke enzymconcentratie optimaal was en er zijn ook geen andere enzymen getest. De gehele filterstraat functioneerde na de installatie van een decanter goed en het filtraat was na behandeling door decanter, zakkenfilter en keramisch filter ontdaan van 99,7% van de

onopgeloste vaste bestanddelen, inclusief een groot deel van de zware metalen die vermoedelijk gehecht zijn aan de vaste organische stof.

Doordat de glucoseproductie in de pilotinstallatie niet stabiel verliep is het niet mogelijk gebleken om vanuit glucose PLA te produceren. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat het produceren van PLA uit glucose een gangbare techniek is.

Er is een economische analyse uitgevoerd, waarin de businesscases zijn uitgewerkt met historische gegevens, de uitkomsten van het monitoringsjaar en de pilotinstallatie voor glucoseproductie en zijn kengetallen berekend op basis waarvan een investeringsbeslissing uit financieel oogpunt kan worden onderbouwd. De kengetallen die berekend zijn, zijn de terugverdientijd (TVT) en het projectrendement (de interne rentevoet, IR).

In deze economische analyse is aandacht besteed aan:

1. De businesscase van installatie van een fijnzeefinstallatie in een bestaand systeem, in vergelijking met het niet installeren van zo'n installatie.
2. De businesscase van glucoseproductie uit zeefgoed.
3. De kosteneffectiviteit van de fijnzeef als CO₂-reductiemaatregel.

Er is gerekend met een bandbreedte voor gegevens van enkele kosten en hoeveelheden. Uitgedrukt in een pessimistisch scenario, een neutraal scenario en een optimistisch scenario. Dat is gedaan omdat de precieze karakteristieken van de glucoseproductie niet goed vast te stellen zijn op basis van de uitkomsten van de pilotinstallatie.

Uit de businesscaseberekeningen blijkt dat een investering in een fijnzeef zonder waardering van de capaciteitsuitbreiding niet rendabel is. Dat komt met name vanwege de hoge kosten voor het aanbieden van het zeefgoed en het elektriciteitsverbruik van de fijnzeef. Deze kosten worden niet gecompenseerd door besparingen van hulpstoffen en energie in de stappen daarna. Wanneer de capaciteitsuitbreiding wel wordt gewaardeerd, dan is in het scenario met optimistische inschattingen van kosten en hoeveelheden sprake van een positieve businesscase. In het neutrale of pessimistische scenario is de terugverdientijd dusdanig lang dat de investering niet rendabel is vanuit financieel oogpunt. Echter, een fijnzeef levert ook milieuwinst op, waardoor het vanuit een maatschappelijke verantwoordelijkheid toch kan renderen om te investeren in een fijnzeef. Om dat in beeld te brengen is parallel aan deze economische analyse een milieukundige analyse uitgevoerd.

Beschouwd is ook de businesscase van glucoseproductie uit zeefgoed en gebaseerd op de inschatting van Attero voor de (kosten)parameters van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. De reactie erna, van glucose naar PLA, is niet meegenomen. De inschattingen worden gekenmerkt door grote onzekerheidsintervallen. De resultaten dienen dus indicatief opgevat te worden. Mocht in de toekomst op pilotschaal wél een geslaagde test plaatsvinden, dan kan de businesscase worden bijgesteld.

Het is onwaarschijnlijk dat de businesscase voor glucoseproductie positief uitvalt. Het optimistische scenario is gebaseerd op het uitgangspunt dat alle parameters voor het verbruik en kosten/opbrengsten gunstig uitvallen en is het resultaat van dit scenario positief en in het pessimistische scenario zwaar negatief. Hierbij vormen de kosten voor de enzymen veruit de grootste kostenpost. Daarbij zorgen de grote intervallen voor de enzymendosering (factor 100) en de 200% verschil in enzymprijs en andere variabelen voor een heel breed onzekerheidsinterval tussen het pessimistische en optimistische scenario. Het optimistische scenario wordt

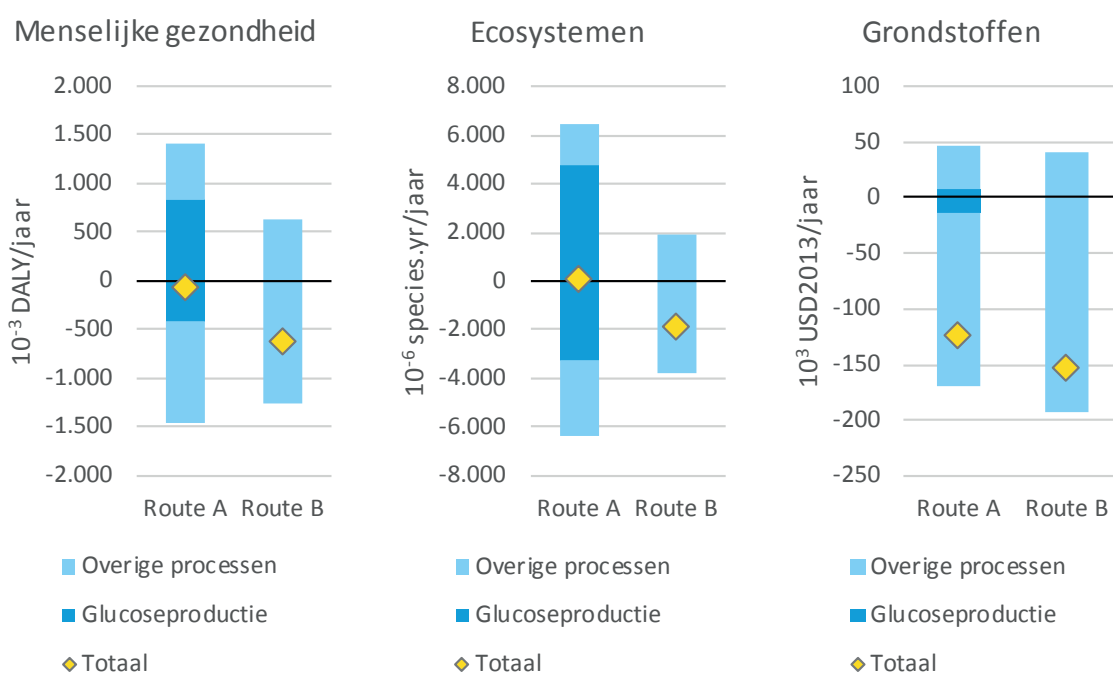
vooral positief door het verschil tussen de opbrengsten voor het aannemen van het zeefgoed en de kosten voor de afvoer van de reststroom na de glucoseproductie in combinatie met de grote massastromen. Er is hier sprake van een grote gevoeligheid voor het verschil in tarief, welke administratief bepaald is en niet gerelateerd aan het onderzoek van de glucoseproductie. De terugverdientijd voor het optimistische scenario bedraagt ongeveer negen jaar, de rentabiliteit van het project (IR) 15%. De IR is groter dan de eis aan het rendement van het kapitaal (de zogenaamde WACC) van 8%. Het is onwaarschijnlijk dat het optimistische scenario zich voordoet omdat het is gebaseerd op het uitgangspunt dat alle parameters voor het verbruik en kosten/ opbrengsten gunstig uitvallen. Echter: er is sprake van samenhang tussen parameters. Als bijvoorbeeld de kwaliteit van het zeefgoed erg goed is, zijn de kosten voor hulpstoffen (enzymen) lager maar zal ook het verwerkingstarief (opbrengst) lager zijn. Het pessimistische scenario heeft geen terugverdientijd.

In de economische- en milieuanalyse zijn de twee verwerkingsroutes van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) met fijnzeef, inclusief de verwerking van het zeefgoed, beschreven. In de routes wordt het zeefgoed op verschillende manieren ingezet:

1. **Fijnzeefroute A:** Productie van glucose uit zeefgoed, waarbij de reststroom vergist wordt, en het digestaat uit vergisting uiteindelijk wordt verbrand;
2. **Fijnzeefroute B:** Directe vergisting van zeefgoed, gevolgd door verbranding van het digestaat.

Van beide fijnzeefroutes zijn de milieuprestaties berekend en één daarvan is de reductie van de klimaatimpact/CO₂-uitstoot die deze fijnzeefroutes realiseren ten opzichte van de referentie. Als de CO₂-besparing van de fijnzeefroutes aan de kosten van de fijnzeef worden gerelateerd, volgt ook de kosteneffectiviteit (euro/ton gereduceerde CO₂-uitstoot) van de fijnzeef. Die bedraagt tussen de 38 en 2.522 euro/ton CO₂-eq. -reductie.

De milieuanalyse is een verschilanalyse: er is enkel gekeken naar de verschillen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. De verschillen tussen Fijnzeefroute A en B zijn groot, zoals weergegeven in de figuur voor de drie ReCiPe endpoints (voor toelichting methodologie zie Bijlage 2). Een negatieve score betekent een voordeel, een positieve een nadeel. De netto-score (totaal) wordt weergegeven door het (gele) wiebertje.



Fijnzeefroute A heeft in het gemiddelde scenario een klimaatimpact die ca. 100 ton CO₂-eq. per jaar lager is dan de referentieverwerkingsroute. De onzekerheid van dit resultaat is groot, en varieert van

-320 (een toename in de klimaatimpact) tot 500 ton CO₂-eq. per jaar. Fijnzeefroute B heeft in het gemiddelde scenario ook een lagere klimaatimpact dan de referentie. Het verschil bedraagt ca. 730 ton CO₂-eq. per jaar. Voor beide fijnzeefroutes geldt dat de klimaat impact op de RWZI (dus exclusief zeefgoedverwerking maar inclusief slibverbranding) 360 ton CO₂-eq. per jaar lager is ten opzichte van de referentie.

Vooraf wat betreft de gegevens voor de verwerking van het zeefgoed in Fijnzeefroute A bestaat grote onzekerheid. In het algemeen scoort Fijnzeefroute B echter vrijwel altijd beter (ook als de best case van Route A wordt vergeleken met de worst case voor Route B). Enkel voor ecosystemen geldt dat de best case van Route A beter is dan Route B. Hoe waarschijnlijk het is dat dit in praktijk zo zou uitvallen is onzeker.

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.

MONITORING CELLU2PLA: HET WINNEN VAN CELLULOSE UIT RIOOLWATER VOOR DE PRODUCTIE VAN EEN BIOPLASTIC

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	AFKORTINGLIJST	1
2	INTRODUCTIE	2
3	ACHTERGROND FIJNZEEFINSTALLATIE	3
3.1	TECHNOLOGIE RWZI BEEMSTER	3
	3.1.1 WATERLIJN	3
	3.1.2 SLIBLIJN	3
	3.1.3 EFFLUENTEISEN	3
	3.1.4 BESTAANDE ONDERDELEN	4
3.2	FIJNZEEFINSTALLATIE	5
	3.2.1 ONTWERP	5
	3.2.2 INFLUENTKARAKTERISTIEK	5
	3.2.3 PROCESVOERING	6
3.3	MONITORING RWZI BEEMSTER	7
	3.3.1 ONDERZOEKSVRAGEN FIJNZEVEN	7
	3.3.2 WATERLIJN	8
	3.3.3 SLIBLIJN	9
	3.3.4 WIJZIGINGEN RWZI	9
	3.3.5 METINGEN	9

4	FUNCTIONEREN RWZI	12
4.1	BELASTING RWZI	12
4.2	ENERGIE	13
4.2.1	ENERGIEBALANS	14
4.2.2	BELUCHTING	14
4.2.3	SLIBVERWERKING	15
4.3	SLIBPRODUCTIE	16
4.4	EFFLUENTKWALITEIT	16
5	MONITORING RWZI BEEMSTER	19
5.1	FIJNZEEFINSTALLATIE	19
5.1.1	BELASTING FIJNZEEFINSTALLATIE	19
5.1.2	RENDEMENTEN EN FILTRAATKWALITEIT	21
5.1.3	DAGPROFIELEN EN INFLUENT FRACTIES	23
5.1.4	ZEEFGOED EN CELLULOSEPRODUCTIE	26
5.1.5	ENERGIEVERBRUIK	28
5.1.6	BESCHIKBAARHEID EN STORINGEN	30
5.2	EFFECT OP DE WATERLIJN	31
5.2.1	ACTIEF SLIB KARAKTERISTIEK	31
5.2.2	BIOLOGIE (SLIBBELASTING EN SLIBGEHALTE)	31
5.2.3	CELLULOSE AFBRAAK	33
5.2.4	EFFLUENTKWALITEIT	34
5.2.5	BESCHIKBAARHEID EN STORINGEN	34
5.2.6	BELUCHTINGSENERGIE	34
5.3	EFFECT OP DE SLIBLIJN	36
5.3.1	SURPLUSLIB PRODUCTIE	36
5.3.2	SURPLUSLIB KARAKTERISTIEK	37
5.3.3	SLIBONTWATERING	37
5.3.4	MASSABALANS	38
5.3.5	ENERGIEVERBRUIK SLIBLIJN	39
5.3.6	VERGISTBAARHEID	40
5.4	ENERGIEBALANSEN	40
5.5	EVALUATIE FUNCTIONEREN RWZI	41
6	TOILETPAPIER VERBRUIK	42
7	RWZI BEEMSTER EN AARLE-RIXTEL	46
7.1	PRESTATIES FIJNZEVEN	47
7.2	EFFECT OP BIOLOGISCHE ZUIVERING	49
7.3	SLIBPRODUCTIE	49
7.4	ENERGIEVERBRUIK	49
7.5	BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN	50
7.5.1	RWZI AARLE-RIXTEL	50
7.5.2	RWZI BEEMSTER	51

8	GLUCOSEPILOT CELLU2PLA	52
8.1	TECHNOLOGIE PILOT PLANT ATTERO	52
8.1.1	PROCESBESCHRIJVING PILOT PLANT	52
8.1.2	AANPASSING PILOT PLANT EN PROCESVOERING	54
8.1.3	STORINGEN IN DE PILOT PLANT	55
8.2	MONITORING PILOT PLANT	55
8.2.1	ONDERZOEKSVRAGEN	55
8.2.2	MONITORINGSPROGRAMMA PILOT PLANT	56
8.3	RESULTATEN MONITORING PILOT PLANT	57
8.3.1	KWALITEIT VAN HET ZEEFGOED	57
8.4	HYGIENISATIE IN DE AUTOCLAAF	65
8.5	HYDROLYSE CELLULOSE NAAR GLUCOSE	66
8.5.1	ENZYMEN	67
8.5.2	RESULTATEN GLUCOSE OMZETTING	69
8.5.3	RESULTATEN BESMETTING HYDROLYSETANK	70
8.5.4	TEGENGAAN BACTERIELE BESMETTING	74
8.6	VASTE BESTANDDELEN VERWIJDEREN FILTERSTRAAT	78
8.6.1	PILOTSCHAAL DECANTER	79
8.6.2	LABTESTS ULTRAFILTER	81
8.7	PROEVEN PRODUCTIE MELKZUUR	83
8.8	INDIKKEN	85
9	ECONOMISCHE ANALYSE	88
9.1	INLEIDING	88
9.2	BUSINESSCASE FIJNZEEFINSTALLATIE RWZI	88
9.2.1	AANPAK	88
9.2.2	SYSTEEM MET EN ZONDER FIJNZEEF	89
9.2.3	GEGEVENS OVER PRIJZEN EN KOSTEN VAN IN- EN OUTPUT	90
9.2.4	GEGEVENS OVER DE INVESTERING	90
9.2.5	GEGEVENS OVER DE JAARLIJKE OPBRENGSTEN/VERMEDEN KOSTEN	91
9.2.6	FINANCIEEL RESULTAAT ALS GEEN GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT	94
9.2.7	VERANDERING FINANCIEEL RESULTAAT ALS GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT	94
9.2.8	SAMENVATTING FINANCIEEL RESULTAAT	96
9.2.9	KOSTENEFFECTIVITEIT FIJNZEEFINSTALLATIE ALS CO ₂ -REDUCTIEMAATREGEL	97
9.3	BUSINESSCASE GLUCOSEPRODUCTIE UIT ZEEFGOED	98
9.3.1	SYSTEEMGRENZEN	98
9.3.2	VASTE INVESTERINGSKOSTEN (CAPEX)	99
9.3.3	VARIABELE KOSTEN (OPEX)	100
9.3.4	DE OPBRENGSTEN (YIELD)	101
9.3.5	RESULTAAT: TERUGVERDIENTTIJD EN INTERNE RENTEVOET	101

10	MILIEUANALYSE	103
10.1	METHODOLOGIE	103
	10.1.1 DOEL EN AFBAKING	103
	10.1.2 INVENTARISATIE	107
10.2	RESULTATEN	111
	10.2.1 KLIMAATIMPACT	111
	10.2.2 ENDPOINTS	112
	10.2.3 GLUCOSE	115
	10.2.4 GEVOELIGHEIDSANALYSES	116
11	CONCLUSIES	119
11.1	RWZI BEEMSTER	119
11.2	GLUCOSEPRODUCTIE	121
11.3	ECONOMISCHE ANALYSE	122
11.4	MILIEUANALYSE	123
12	LITERATUUR	125
BIJLAGE 1	RESULTATEN IN DETAIL	126
BIJLAGE 2	RECIPE METHODE	127
BIJLAGE 3	DETAILOPBOUW INVESTERINGSKOSTEN	129
BIJLAGE 4	TOELICHTING OP ENZYMATISCHE BEPALING VAN CELLULOSE	131

1

AFKORTINGLIJST

AT	Aeratie tank
ADS	Anorganische droge stof
BZV	Biologische zuurstofverbruik
CZV	Chemisch zuurstofverbruik
DS	Droge stof
DWA	Droog weer aanvoer
H ₂ S	Waterstofsulfide
IBC	Intermediate Bulk Container), container voor opslag van chemicaliën
IE	Inwonerequivalenten (1 IE is 150 gr TZV)
IR	Staat voor interne rentevoet, een maat voor het rendement van het project. De IR wordt berekend als de discontovoet waarbij de Netto Contante Waarde van het project gelijk is aan 0
Kj-N	Kjeldahl stikstof
NaClO	Natriumhypochloriet
OB	Onopgeloste bestanddelen
ODS	Organisch droge stof
PE	Poly-elektrolyt
PLA	Polylactide of polymelkzuur
RWA	Regen weer aanvoer
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
TVT	Terugverdiens tijd
TZV	Totale Zuurstof Vraag
WACC	Weighted Average Cost of Capital. Het WACC berekent de gemiddelde kosten voor het kapitaal waarmee een bedrijf/organisatie gefinancierd wordt, bestaande uit het eigen vermogen, aangevuld met het vreemd vermogen.
WKK	Warmtekrachtkoppeling

2

INTRODUCTIE

RWZI Beemster is in staat een vuillast van 96.300 i.e. (54g BZV) en aanvoer van RWA van 3.600 m³/h vergaand te zuiveren waarmee kan worden voldaan aan strenge stikstof- en fosfaateisen. De waterlijn bestond uit een harkrooster, een selector, een beluchtingscircuit (met chemisch fosfaatverwijdering), 4 nabezinktanks en een effluentgemaal. De aanvoer naar RWZI Beemster zit op het niveau van de ontwerpbelasting. Uit prognoses bleek dat de biologische belasting tot 2040 nog met bijna 20% kan toenemen. De hydraulische belasting stijgt niet en kan zelfs dalen als verhard oppervlak wordt afgekoppeld. Hydraulische uitbreiding is dan ook niet noodzakelijk.

Om aan de eisen te blijven voldoen en om verdere toename van biologische belasting te kunnen opvangen diende de biologische capaciteit van RWZI Beemster te worden vergroot. Uit een systeemkeuzestudie in 2012 zijn twee kansrijke systemen nader uitgewerkt:

- Het ontlasten van de installatie door toepassing van een voorgeschakelde behandelingsstap (fijnzeven).
- Uitbreiding van de zuiveringscapaciteit met een parallel zuiveringssysteem (Nereda).

De fijnzeef variant scoorde op de hoofdelementen exploitatiekosten, milieu, technologische aspecten, tijd, duurzaamheid en beheer en onderhoud beter dan de Nereda variant. Dit heeft geleid tot het besluit de fijnzeefinstallatie te realiseren en zijn de voorbereidingen eind 2013 begonnen. Op 13 oktober 2016 is de installatie officieel in gebruik genomen.

Met het realiseren van de fijnzeefinstallatie is ook een project gestart voor het gebruik van cellulose als grondstofbron voor de productie van bioplastic. Hierbij wordt het geproduceerde zeefgoed dat cellulose bevat met behulp van enzymen omgezet tot glucose. De glucose wordt in een volgende stap omgezet naar polylactide (PLA) of polymelkzuur en basisingrediëntje voor bioplastic. Onder de naam Cellu2PLA is een subsidie uit het LIFE+ programma van de E.U. verkregen en werken Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Attero en STOWA samen om dat toiletpapier (cellulose) uit afvalwater kan worden omgezet in bioplastic.

3

ACHTERGROND FIJNZEEFINSTALLATIE

3.1 TECHNOLOGIE RWZI BEEMSTER

RWZI Beemster is in 1972 in bedrijf genomen. Nadien zijn de volgende wijzigingen aan de installatie aangebracht.

- 1992: de laatste grootschalig uitbreiding, waarbij onder andere het ontvangwerk, de grof vuil verwijdering, de selector, twee nabezinktanks en de slibontwateringinstallatie zijn gerealiseerd.
- 2000 is een slibindikker omgebouwd tot homogenisatietank.
- Midden 2010 is de luchtbehandeling gemoderniseerd naar een drietrapsbehandeling.

In de volgende paragrafen wordt de RWZI beschreven en betreft de situatie voor plaatsing van de fijnzeefinstallatie.

3.1.1 WATERLIJN

RWZI Beemster is ontworpen voor een vuillast van 96.300 i.e. (nog op basis 54 g BZV) en RWA van 3.600 m³/h. Het ontwerp is gericht op vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering. De waterlijn bestaat uit een harkrooster, een selector waar ook zand wordt afgevangen, een beluchtingscircuit, vier nabezinktanks en een effluentgemaal. Voor aanvullende fosfaatverwijdering wordt ijzersulfaat in de leiding voor het beluchtingscircuit gedoseerd. Er is een doseerinstallatie waarmee aluminium zouten in de afloop van de beluchtingstank kunnen worden gedoseerd voor lichtslibbestrijding. Deze dosering is vanaf 2015 niet meer in werking geweest.

3.1.2 SLIBLIJN

Het geproduceerde surplus slib wordt op de RWZI Beemster gravitair ingedikt en vervolgens gebufferd in een homogenisatietank. Het ingedikte slib wordt met twee centrifuges ontwaterd tot circa 22% DS. Het ontwaterde slib wordt opgeslagen in twee silos en van daaruit per as afgevoerd naar de slibverwerking Beverwijk.

3.1.3 EFFLUENTEISEN

De effluenteisen voor de RWZI Beemster zijn in Tabel 3.1 opgenomen. De eisen zijn met de realisatie van de fijnzeefinstallatie niet gewijzigd.

TABEL 3.1 EFFLUENTEISEN RWZI BEEMSTER

Parameter	Waarde	Opmerking
CZV	mg/l	125
BZV ₅	mg/l	20
N-totaal	mg N/l	10
P-totaal	mg P/l	1
OB	mg/l	30

*Voor de onderhavige studie wordt uitgegaan van een jaargemiddelde van 0,5 mg P/l, in de praktijk blijkt daarmee het voortschrijdend gemiddelde in 10 opeenvolgende monsters onder de 1 mg P/l te blijven.

3.1.4 BESTAANDE ONDERDELEN

In onderstaande Tabel 3.2 is de dimensionering van de hoofdonderdelen van de RWZI weer-gegeven.

TABEL 3.2 BESTAANDE ONDERDELEN RWZI BEEMSTER (VOOR UITBREIDING MET FIJNZEVEN)

Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid
Harkrooster	Geiger	1	
	Capaciteit	4.500	m ³ /h
	Spleetwijdte	6	mm
Selector	Type	Onbelucht	
	Aantal compartimenten	3	
	Volume totaal	450	m ³
Beluchtingstank	Aantal	1	
	Type	Carrousel	
	Volume	17.336	m ³
	Aantal puntbeluchters	3	
	OC puntbeluchters totaal	447	kg O ₂ /h
	Aantal blowers	2	
	OC blowers totaal	449	
	Luchtdebiet blowers	2 x 5.400	m ³ /h
Nabezinktanks	Aantal	4	
	Diameter	2 x 38,8, 2 x 40,8	m
	Kantdiepte	1,5	m
Retourslibgemalen	Type	2 x vijzel, 2 x pomp	
	Capaciteit vijzels elk (naar circuit)	1 x 732	m ³ /h
	Capaciteit gemalen elk (naar selector)	4 x 542	m ³ /h
Effluentgemaal	Aantal pompen	2 +1	
	Capaciteit per pomp	2.400	m ³ /h
Surplusslibpompen	Aantal	2	
	Capaciteit	65 + 50	m ³ /h
Surplusslibindikers	Type	Gravitair afgedekt	
	Aantal	2	
	Diameter	11 + 15,6	m ²
	Volume	300 + 615	m ³
Ingedikt slibpomp	Aantal	2	
	Capaciteit elk	10 - 20 + 5 - 10	m ³ /h
Homogenisatietank	Type	Rond afgedekt	
	Aantal	1	m ²
	Diameter	11	m ³
	Volume	300	
Slibpomp	Aantal	2	
	Capaciteit elk	5 - 20	m ³ /h
Slibontwatering	Type	Centrifuge	
	Aantal	2	
	Capaciteit elk	5 - 10	m ³ /h
Ontwaterd slibpomp	Aantal	2	
	Capaciteit elk	1 - 5	m ³ /h
Centraatpomp	Aantal	1	
	Capaciteit	60	m ³ /h
Slibopslag	Type	Silo	
	Aantal	2	
	Volume elk	150	m ³

3.2 FIJNZEEFINSTALLATIE

3.2.1 ONTWERP

Het ontwerp van de fijnzeefinstallatie is gebaseerd op de uitgangspunten in onderstaande Tabel 3.3 en Tabel 3.4.

Hierbij staat minimaal, gemiddeld en maximaal voor de aanvoer naar de fijnzeefinstallatie. De waarden voor de parameter geven de situatie dus weer bij minimale, gemiddelde of maximale aanvoer.

TABEL 3.3 ONTWERPUITGANGSPUNTEN VOOR FIJNZEEFINSTALLATIE

Parameters	Minimaal 584 m ³ /h	Gemiddeld 1.019 m ³ /h	Maximaal 3.600 m ³ /h	Eenheid
CZV	59	719	6.732	kg/h
BZV	20	282	2.592	kg/h
Kj-N	7,6	66	360	kg/h
P	1,2	12	83	kg/h
OB	25	333	4.320	kg/h
OB 99% percentiel			2.228	kg/h
OB		7.992		kg/d
CZV	101	659	1.870	mg/l
BZV	34	259	720	mg/l
Kj-N	13	61	100	mg/l
P	2,0	11	23	mg/l
OB	42	305	1.200	mg/l
OB 99% percentiel			619	mg/l

TABEL 3.4 PROGNOSE RENDEMENT FIJNZEVEN (ONTWERP)

Parameter	Minimaal 584 m ³ /h	Gemiddeld 1.019 m ³ /h	Maximaal 3.600 m ³ /h	Eenheid
CZV	0%	29%	31%	% verwijdering
OB	28%	58%	55%	% verwijdering
BZV	0%	7%	0%	% verwijdering
Kj-N	0%	0%	0%	% verwijdering
P	8%	8%	3%	% verwijdering

Voor de belasting van de fijnzeven is voor de RWZI Beemster uitgegaan van een hydraulische belasting van 120 m/h bij DWA en een gemiddeld dagdebiet (26.176 m³/d) en dat komt neer op 230 m/h bij RWA. Dat komt overeen met de droge stofbelasting van respectievelijk 38 en 121 kg DS/m²/h.

3.2.2 INFLUENTKARAKTERISTIEK

Voor een goede werking van de fijnzeef wordt als vuistregel door Salsnes gehanteerd dat 20% van het aantal deeltjes groter moet zijn dan de poriëngrootte van de zeefband om voldoende filterkoek opbouw te krijgen. Deze deeltjes zijn in huishoudelijk afvalwater voor een belangrijk deel de cellulosevezels afkomstig van toiletpapier. Het is niet eenvoudig om vast te stellen of er voldoende grote deeltjes in het influent aanwezig zijn zonder hiervoor specifiek onderzoek te doen. Daartoe wordt ook wel als afgeleide gehanteerd: $CZV_{opgelost} : CZV_{totaal} < 0,4$. Deze waarde gecombineerd met de verhouding $CZV:OB > 2$ zegt iets over de aanwezigheid van voldoende deeltjes bij een zeefdoek met veelal een standaard porie grootte van 0,35 mm (bron: Salsnes). Aan de hand van voorgaande is het influent van Beemster gekarakteriseerd (Tabel 3.5).

TABEL 3.5

AFVALWATERKARAKTERISTIEK

Parameter	RWZI Beemster	Nederland gemiddeld
Onopgeloste bestanddelen	264	270
CZV	557	550
CZV:OB	2,1	2
CZV _{opgelost} :CZV _{totaal}	0,27	0,4-0,5
		> 2
		< 0,4

Op basis van deze karakterisering is de verwachting dat het afvalwater van de RWZI Beemster voldoende deeltjes bevat om met een zeefdoek met een porie grootte van 0,35 mm voldoende filterkoek te kunnen opbouwen voor een goede filtratie.

3.2.3 PROCESVOERING

Bij de procesvoering van de fijnzeef wordt ernaar gestreefd het hoogst mogelijke waterniveau (voor de zeefband) aan te houden bij de laagst mogelijke bandsnelheid zonder over te storten. Dat geeft in feite een maximale dikte van de filterkoek voor een zo goed mogelijk rendement. De bandsnelheid 'bepaalt' dan in feite de contacttijd van de zeefband gerekend vanaf de onderzijde tot het waterniveau. Deze maat wordt de filtratietijd genoemd. Deze relatie is ook de insteek geweest om de regeling van de fijnzeefinstallatie op de RWZI Beemster verder te optimaliseren en in de praktijk is gebleken dat deze weinig aanpassingen behoeft. In principe is het zo dat met het stijgen van het niveau voor de zeefband de bandsnelheid ook zal toenemen (veelal lineair verband) voor voldoende afvoer van filterkoek. Een optimalisatie is het instellen van de acceleratie van de band bij een (snelle) stijging van het waterniveau voor de zeefband. Hiermee kan voorkomen worden dat in regenweer situaties overstort plaats vindt en ook in die situaties het maximale resultaat wordt behaald.

De praktisch uitvoering van de regeling (standaard) is als volgt.

1. Startniveau instelbaar, als deze wordt overschreden start de band.
2. Start met twee fijnzeven in bedrijf.
3. Met stijgen van niveau voor de zeefband wordt de bandsnelheid lineair opgevoerd tot een maximum.
4. Als bandsnelheid gedurende 5 minuten 80% van maximum is of 5 tot 10 seconden overstort plaatsvindt, worden de volgende 2 fijnzeven bijgeschakeld. Als deze vier nog gedurende 5 minuten op 80% zitten worden 2 fijnzeven bijgeschakeld totdat alle fijnzeven in bedrijf zijn.
5. Als gedurende 10 minuten de bandsnelheid op 50% is, worden 2 fijnzeven afgeschakeld, etc.
6. Bij- en afschakelen wordt er rekening mee gehouden dat alle fijnzeven gelijkmatig worden belast zodat de bedrijfsuren van de zeven gelijk zijn. Dus niet dat één paar fijnzeven veel meer draaiuren maken dan andere paren.

Voor het aansturen van de zeefband is het ook mogelijk te kiezen voor een sturing waarbij de bandsnelheid niet lineair meegaat met het niveau, maar bij een laag niveau een lage bandsnelheid die exponentieel toeneemt bij het naderen van het maximum niveau voor de zeefband om overstort te voorkomen. In de praktijk functioneert de standaard regeling goed.

Eén keer per week worden de fijnzeven uit bedrijf genomen en de zeefbanden gereinigd met zeep. Deze frequentie is instelbaar. Verder worden eenmaal per dag de fijnzeven gedraineerd, waarmee bedoeld wordt dat een klep aan de onderzijde wordt geopend en wordt bezonken slib weggespoeld. De klep wordt zo'n twee keer per dag per fijnzeef automatisch een aantal minuten geopend. Dit is ook instelbaar.

3.3 MONITORING RWZI BEEMSTER

De monitoringsperiode besloeg de periode van 1 januari tot en met 31 december 2017, maar zijn de fijnzeven sinds 18 januari 2017 operationeel. Gedurende één jaar zijn de bedrijfsgegevens verzameld en zijn monsters genomen van de water-, zeefgoed- en slibstroom.

3.3.1 ONDERZOEKSVRAGEN FIJNZEVEN

De prestatie van de fijnzeefinstallatie (Figuur 3.1) wordt bepaald door de verwijdering van verschillende componenten in het influent zoals onopgeloste bestanddelen (OB), CZV, BZV, stikstof en fosfor. Verder is het energieverbruik een belangrijke parameter die de prestatie mede bepaalt. Voor het meten van de verwijdering en dus het rendement voor de eerdere genoemde componenten is het van belang dat toe- en afvoerstromen van de fijnzeefinstallatie worden gemeten. In het kader van dit onderzoek is de fijnzeef installatie als geheel beoordeeld. In de eerste opzet was de wens om ook meer in detail per fijnzeef te kijken, maar in de praktijk bleek dat er onvoldoende gegevens konden worden gegenereerd om dit betrouwbaar te doen.

FIGUUR 3.1

FIJNZEEFINSTALLATIE RWZI BEEMSTER



De onderzoeksvragen zijn:

- Wat zijn de rendementen voor OB, CZV, BZV, Kj-N, P-totaal? Rekening houden met de retourstromen (perswater van de ontwatering, drainage- en spoelwater).
Hierbij ook onderscheid maken tussen droog weer aanvoer (DWA) en regenweer aanvoer (RWA).
- Hoeveel zeefgoed (en cellulose) wordt er gemiddeld, minimaal en maximaal per dag geproduceerd en met welk droge stof percentage?
Hierbij ook onderscheid maken tussen droog weer aanvoer (DWA) en regenweer aanvoer (RWA).
- Wat is het percentage aan cellulose gemiddeld, minimaal en maximaal in het zeefgoed?
- Hoeveel energie wordt er verbruikt door de fijnzeefinstallatie en per fijnzeef?
- Wat is de bedrijfstijd van de fijnzeefinstallatie gedurende een jaar?
Hierbij gaat het ook om de bedrijfstijd per fijnzeef?
- Zijn er storingen voorgekomen en heeft dat invloed gehad op de zeefgoed- en cellulose productie?
- Is een indicatie te geven van de interne overstort (voor de zeefband) en welk percentage is dat t.o.v. de totale influent aanvoer?

- Hoeveel afvalwater is om de fijnzeefinstallatie geleid (bypass) en welk percentage is dat t.o.v. de totale influent aanvoer?

3.3.2 WATERLIJN

Het toepassen van fijnzeven als voorbehandeling van influent heeft invloed op de biologische zuivering. Het betekent een lagere biologische belasting en leidt tot minder energieverbruik van beluchting en een lagere surplus slib productie. Over de mate hiervan zijn tot nu toe steeds aannames gedaan omdat praktijk informatie ontbreekt. Daarnaast wordt vaak de vraag gesteld of het verwijderen van de cellulosevezel van invloed is op de structuur van de actief slibvlok en daarmee de bezinking en de slib volume index (SVI).

FIGUUR 3.2 RWZI BEEMSTER (NOG ZONDER FIJNZEVEN)



Het monitoren gedurende een jaar moet hierover meer inzicht verschaffen door de uitkomsten te vergelijken met historische gegevens. De concrete onderzoeksvragen zijn:

- Wat is het verbruik aan energie voor beluchting?
De te verwachten afname van de beluchtingsenergie is in belangrijke mate afhankelijk van de CZV en BZV-verwijdering door de fijnzeven. De verwijdering wordt geschat op 20%. Als het voornamelijk gaat om de inerte fractie of (zeer) langzaam afbreekbare fractie zal de besparing op de beluchtingsenergie gering zijn. Tevens speelt hierbij de watertemperatuur een rol omdat mogelijk cellulose in de zomer wel grotendeels wordt afgebroken en in de winter niet. De afname van beluchtingsenergie wordt voor een jaar geschat op 15 tot 20%.
Hier speelt ook nog mee dat door het verwijderen van cellulose deze niet meer in de actief slib vlok terecht komt. Dat betekent dat het slibgehalte in de AT kan dalen. In de bepaling van slibgehalte wordt cellulose mee gemeten, maar is feitelijk inactief organisch materiaal.
- Wat is de surplus slibproductie. De verwachting is dat de productie aan surplus slib zal dalen met 30% tot 40% en er speelt ook mee dat daardoor minder fosfor wordt opgenomen en dit leidt mogelijk tot een hoger chemicaliënverbruik.
- In welke mate is er sprake van een verandering van de eigenschappen van het actief slib uitgedrukt in bezinking en SVI.
In geval dat er sprake is van een slechtere bezinking en dus hogere SVI doet de vraag zich voor of de bestaande nabezinking capaciteit voldoende is. Dit kan mogelijk gecompenseerd worden door in de beluchtingstank een lager slibgehalte te hanteren omdat minder cellulose (en dus inactief materiaal) in de slibvlok aanwezig is.
- De verwijdering aan CZV en BZV door de fijnzeven zal resulteren in een lager BZV:N en BZV:P verhoudingen. Is dit van invloed op de stikstof- en fosforverwijdering?

3.3.3 SLIBLIJN

In de waterlijn wordt gekeken naar het effect van de verwijdering van cellulose op de bezinking en mogelijk dat er ook een effect optreedt op de indikking en ontwatering van het slib. Het is dus zinvol om dit ook te monitoren.

Het (zo goed als) ontbreken van cellulose vezel in de slibvlok zou ook van invloed kunnen zijn op de ontwatering van het zuiveringsslib en daarmee mogelijk ook op het verbruik van flocculant (PE). De belangrijkste onderzoeksvraag is dan ook welke invloed het verwijderen van cellulosevezels uit het influent heeft op de ontwatering ten aanzien van:

- Het droge stofgehalte van het ontwaterde slib
- Het verbruik aan PE.
- Energieverbruik van de ontwatering.

3.3.4 WIJZIGINGEN RWZI

Naast de bouw van de fijnzeefinstallatie zijn er ook nog andere wijzigingen of ingrepen doorgevoerd die van invloed kunnen zijn op de prestatie van de RWZI. Zo is er een nieuwe harkrooster installatie, voorafgaand aan de fijnzeefinstallatie, gerealiseerd en is de beluchtingstank ontdaan van slib dat in de afgelopen jaren is bezonken. Tevens zijn de beluchtingselementen vervangen. Bij de beoordeling van de meetgegevens zijn deze veranderingen meegenomen.

Verder is gekeken naar de wijzigingen die zich hebben voorgedaan in de periode 2010 t/m 2016 omdat die van invloed zijn op het bepalen van de referentie situatie.

3.3.5 METINGEN

Voor de RWZI Beemster wordt dagelijks een dagrapport gegenereerd van alle metingen die worden uitgevoerd. De belangrijkste metingen zijn in onderstaande Tabel 3.6 weergegeven.

TABEL 3.6

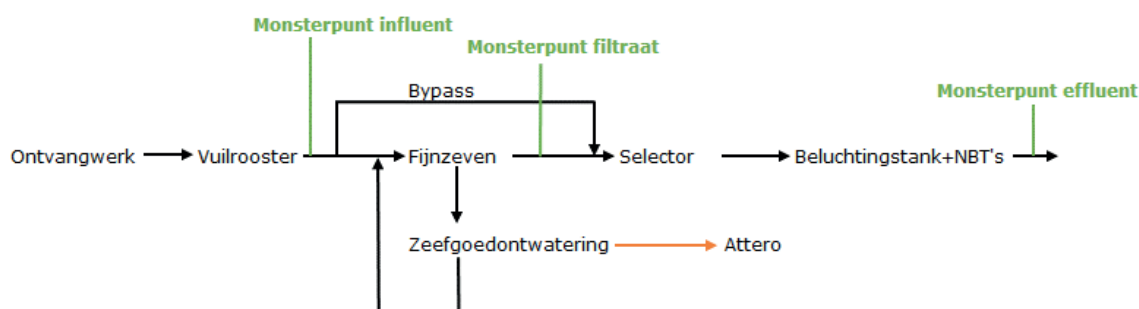
MEETPUNTEN

Meetpunt	Debiet	Vracht	Niveau	kWh	Bedrijfs uren	Concentratie
Influent Totaal (sommatie)	X					
Bypass fijnzeven	X					
Filtraat	X					
Rejectiewater						
Effluent	X					
Surplusslib, ingedikt	X					X
Ontwaterd slib		X				
Zeefgoed		X				
RWZI Totaal (sommatie)				X		
Fijnzeef installatie totaal (sommatie)				X	X	
Fijnzeven (8)			X	X	X	
Blower fijnzeef				X	X	
Reiniging fijnzeef				X		
Ontwatering zeefgoed				X	X	
Beluchting totaal				X		
Slibverwerking				X		
PE dosering	X					
Beluchtingstank slibgehalte						X
Beluchtingstank zuurstof (online meting)						X

Meetpunt	Debiet	Vracht	Niveau	kWh	Bedrijfs uren	Concentratie
Afloop BLT NH ₄ -N effluent (online meting)						X
Afloop BLT NO ₃ -N effluent (online meting)						X
Afloop BLT PO ₄ -P effluent (online meting)						X

Bij het ontwerp van de fijnzeefinstallatie is er voor gekozen het drainwater van de fijnzeven en het filtraatwater afkomstig van de zeefgoedontwatering (tezamen rejectiewater genoemd) terug te voeren naar de toevoer van de fijnzeven. Het monsterpunt influent zit nog voor het punt dat het rejectiewater wordt toegevoegd. Het monsterpunt filtraat zit nog voor het punt dat de bypass wordt toegevoegd voordat het water naar de selector stroomt (zie Figuur 3.3).

FIGUUR 3.3 PROCESSHEMA EN MONSTERPUNTEN



In onderstaande Tabel 3.7 zijn de monsterpunten, analyses en frequentie weergegeven voor de periode 1 januari tot en met 31 december 2017.

TABEL 3.7 MONSTERPUNTEN EN ANALYSEFREQUENTIE PER PARAMETER PER JAAR

Analyse	Influent	Filtraat	Effluent	Rejectie- water	Zeefgoed	Actief slib	Surplus Ingedikt of Toevoer Centrifuge	Ontwaterd Slib
Monstertype	24 uur Q prop Influent	24 uur Q prop Influent	24 uur Q prop Influent	24 uur Q prop Influent	steek	steek	steek	steek
CZV	60	60	60	30				
CZV gefiltreerd	60	60	60	30				
BZV	60	60	60	30				
Kj-N	60	60	60	30				
NH ₄ -N	30	30	60	30				
NO ₃ -N			60					
P-totaal	60	60	60	30				
PO ₄ -P	60	60	60	30				
OB	60	60	60	30				
Indamprest					30	30	30	30
Gloeirest					30	30	30	30
Cellulose	30	30			30	12		

De onopgeloste bestanddelen en gefiltreerd CZV zijn bepaald met een filter van 0,45 micron.

De cellulose analyse betreft de enzymatische methode waarbij de cellulose met een enzym wordt omgezet naar glucose. De glucose is gemeten en is een maat voor de concentratie aan cellulose. Deze methode was al bekend, maar is verder ontwikkeld en gevalideerd door de Rijks Universiteit Groningen, Faculty of Science and Engineering, voor toepassing op afvalwaterstromen, zeefgoed en actief slib in het Cellulose Assisted Dewatering of Sludge (CAdoS) project op de RWZI Ulrum. Zie voor verdere toelichting op deze meetmethode Bijlage 4.

4

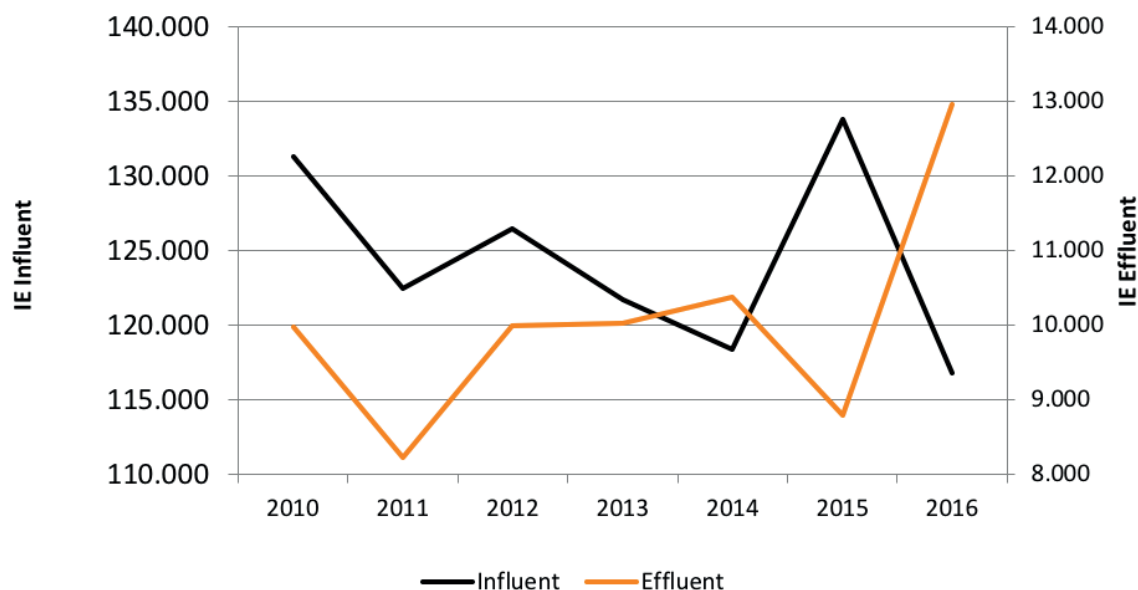
FUNCTIONEREN RWZI

In dit hoofdstuk wordt het functioneren van de RWZI beschreven over de periode 2010 – 2016 en is in feite de referentie voor het beoordelen van de prestatie van de fijnzeefinstallatie. De grafieken betreffen maanttotalen dan wel maandgemiddelden tenzij anders aangegeven. Voor een aantal grafieken is een ‘dip’ voor februari te zien en dat heeft er voornamelijk mee te maken dat deze maand minder dagen telt.

4.1 BELASTING RWZI

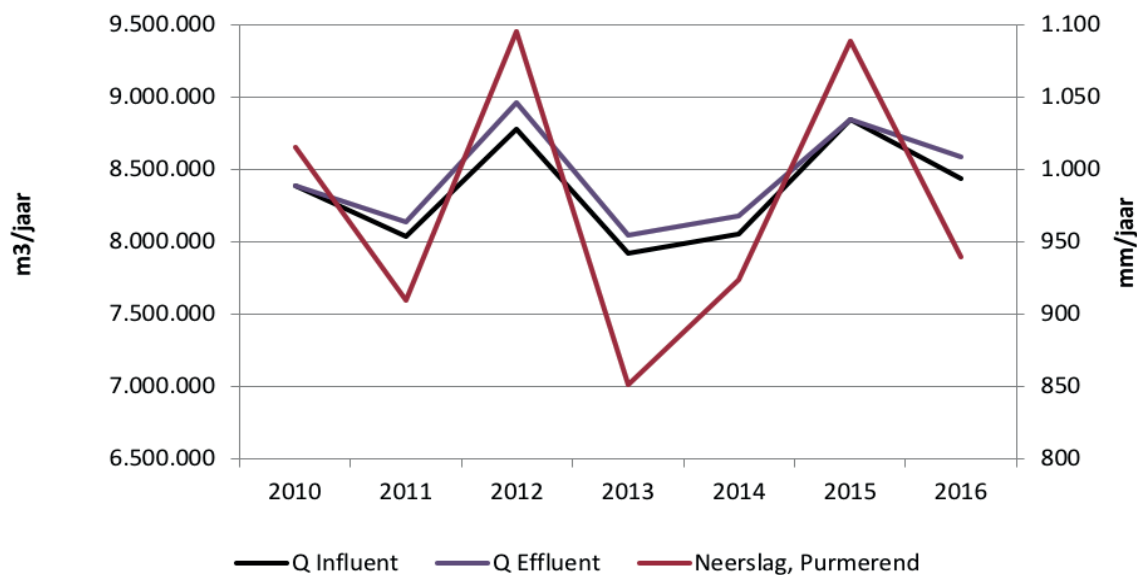
In onderstaande Figuur 4.1 is de belasting aan inwonerequivalenten (i.e.) weergegeven voor het influent en de effluentlozing. Hieruit blijkt dat de i.e.-belasting in 2015 hoog is geweest en de lozing aan i.e. laag. Voor 2016 is het aantal i.e. voor effluent sterk gestegen en heeft te maken met een verslechterde nitrificatie en verhoogde concentratie aan Kj-N (Tabel 4.1). Buiten de piek voor het influent i.e. in 2015 lijkt er een dalende trend te zijn in de belasting van de RWZI.

FIGUUR 4.1 INWONER EQUIVALENTEN INFLUENT EN EFFLUENT



De hydraulische aanvoer wordt mede bepaald door de hoeveelheid regen die valt en via de riolering wordt aangevoerd naar de RWZI (Figuur 4.2).

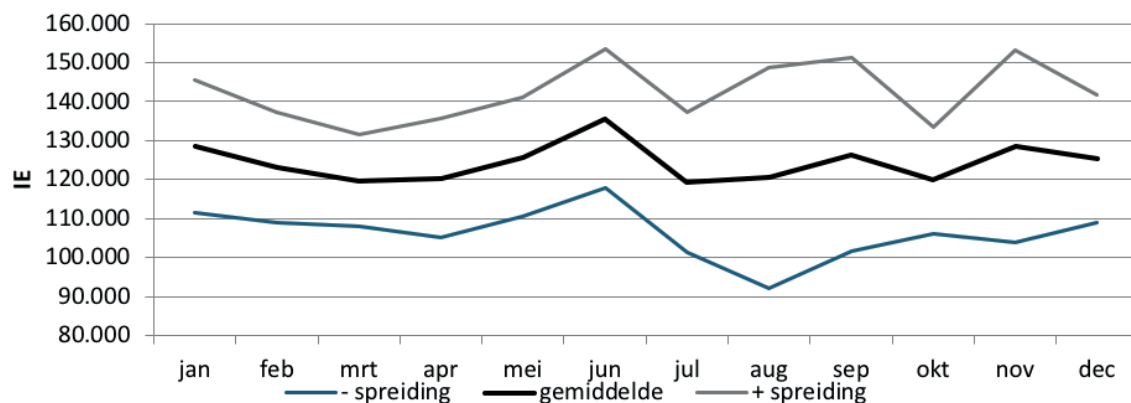
FIGUUR 4.2 JAARTOTALEN INFLUENT EN NEERSLAG IN PURMEREND



Figuur 4.2 laat zien dat in jaren met veel neerslag het influent debiet ook hoger is.

Over de jaren 2010 t/m 2016 is de gemiddelde i.e.-belasting per maand bepaald alsmede de spreiding en in Figuur 4.3 weergegeven. De belasting is redelijk stabiel over de maanden en varieert voor het gemiddelde tussen de 120.000 en 135.000 i.e. De spreiding geeft aan dat er per jaar wel grote verschillen zijn (Figuur 4.1). Op de RWZI wordt ook afvalwater aangevoerd vanuit de zuivelindustrie van zo'n 10.000 i.e., maar is onzeker of deze voor de variatie zorgt over de jaren.

FIGUUR 4.3 MAANDGEMIDDELDEN I.E. IN INFLUENT RWZI BEEMSTER MET SPREIDING (PERIODE 2010-2016)



4.2 ENERGIE

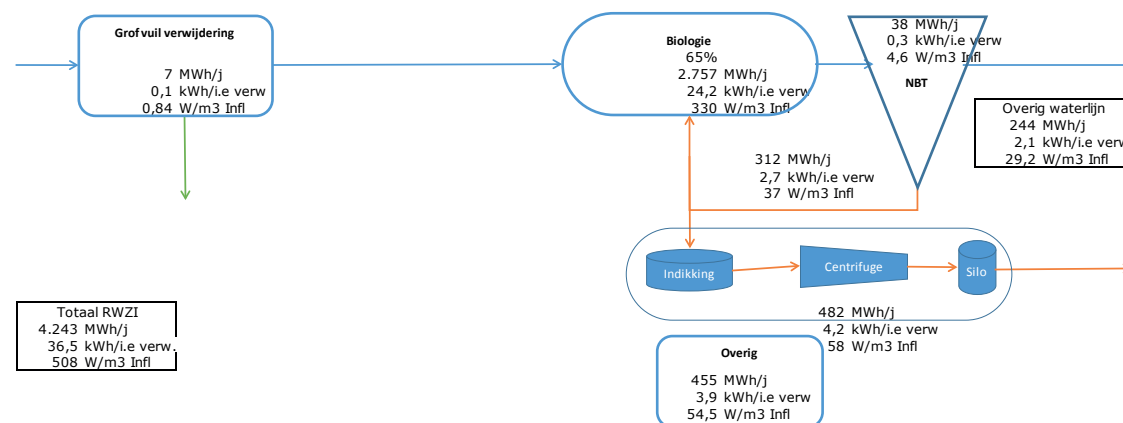
Door het verwijderen van CZV, BZV en OB met de fijnzeefinstallatie en in mindere mate Kj-N zal de belasting van de biologie dalen en zal minder belucht hoeven te worden. Een ander effect is dat er ook minder slibgroei zal zijn en de slibproductie lager zal zijn. Om deze reden zal met name het (elektrisch) energieverbruik van de beluchting en de slibverwerking in kaart worden gebracht. Hierbij zijn de historische gegevens van 2016 voor het totaal verbruik van de RWZI niet meegenomen omdat deze niet goed zijn geregistreerd en voor dat jaar een verkeerd beeld geven.

4.2.1 ENERGIEBALANS

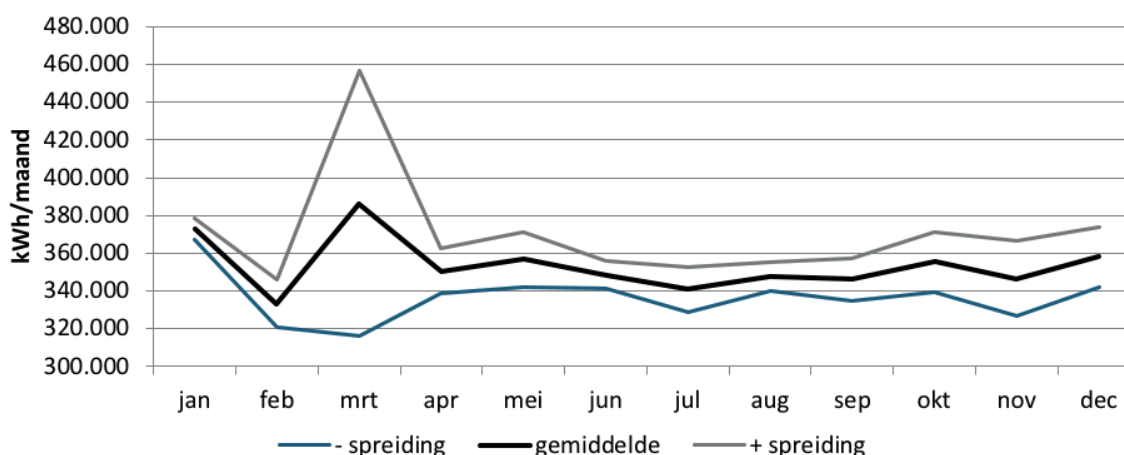
De energie die nodig is voor het zuiveren van het afvalwater wordt veelal als kental uitgedrukt in totaal verbruikt aan kWh per jaar per verwijderde inwonerequivalenten (i.e.). Voor de periode 2010-2015 (Figuur 4.5) komt het gemiddelde jaarverbruik van de RWZI uit op 4.243 MWh/j en dat komt neer op 36,5 kWh per i.e. verwijderd.

De energiebalans is opgenomen in Figuur 4.4 en daaruit valt op te maken dat de biologie met de beluchting de grootste energie verbruiker is met 65% van het totaal.

FIGUUR 4.4 ENERGIEBALANS RWZI BEEMSTER



FIGUUR 4.5 TOTAAL ENERGIEVERBRUIK RWZI BEEMSTER

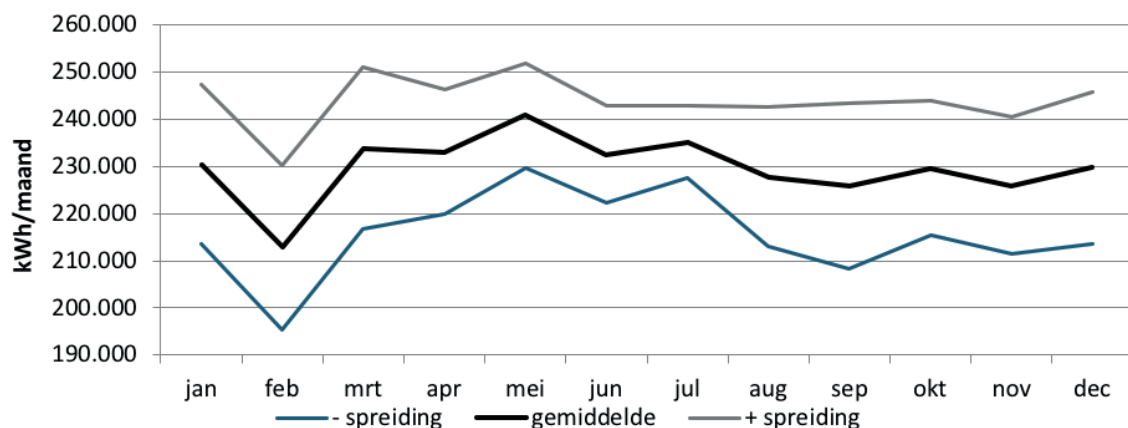


De grote spreiding in maart wordt veroorzaakt door een piek in het elektriciteitsverbruik in maart 2011. Mogelijk is dit veroorzaakt door een fout in de gegevensverwerking omdat de grote energieverbruikers (beluchting en slibontwatering) geen pieken laten zien.

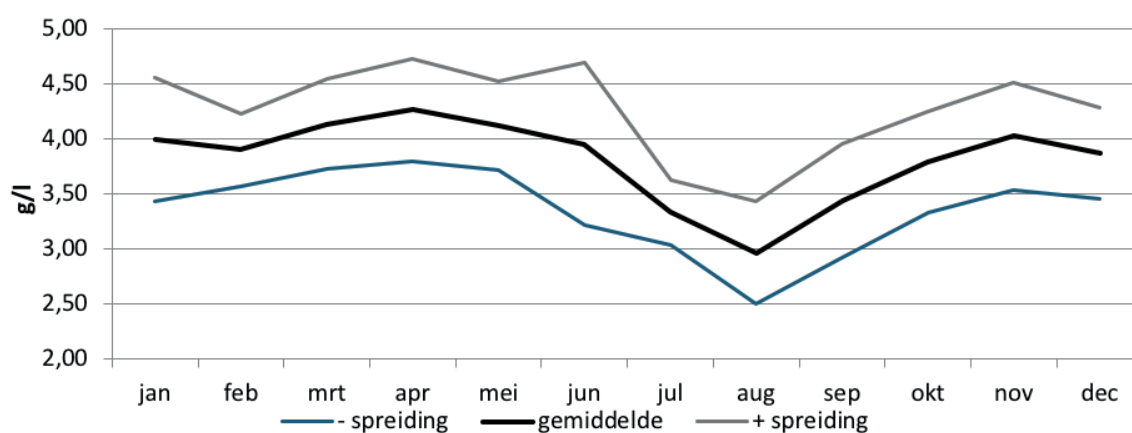
4.2.2 BELUCHTING

De beluchting is de grootste energieverbruiker van de RWZI met gemiddeld 65% van het totaal verbruik en komt uit op gemiddeld 24,2 kWh/i.e. verwijderd. Over het jaar gezien is het energieverbruik in de periode maart t/m juli hoger dan gedurende de andere maanden. Opmerkelijk want dit is niet terug te zien in de belasting in i.e. 's (Figuur 4.3), die varieert niet zoveel over de maanden behalve een 'piek' in juni. Een verklaring is mogelijk dat het slibgehalte in beluchtingstank (Figuur 4.7) in de zomerperiode lager is (vooral in augustus) en daarmee dus ook de zuurstofbehoefte voor endogene ademhaling zodat het totaal en energieverbruik voor beluchting lager komt te liggen.

FIGUUR 4.6 ENERGIEVERBRUIK BELUCHTING 2010-2016



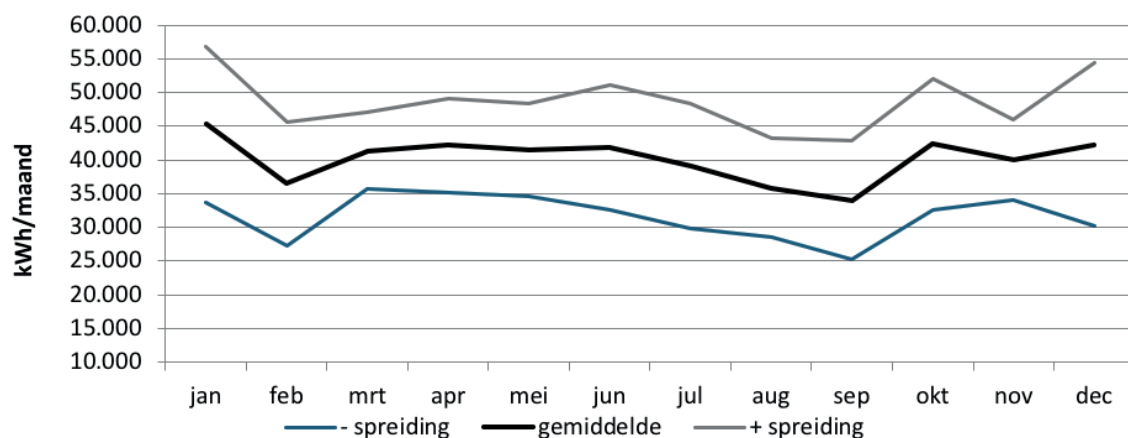
FIGUUR 4.7 SLIBGEHALTE BELUCHTINGSTANK



4.2.3 SLIBVERWERKING

De energie verbruikt voor de slibverwerking is gemiddeld 11% van het totaal energieverbruik (4,2 kWh/i.e. verwijderd). Onder slibverwerking wordt de gehele sliblijn verstaan vanaf de pompen voor het surplus slib uit de beluchtingstank tot en met de slibsilos voor het ontwaterde slib en de gehele luchtafzuiging.

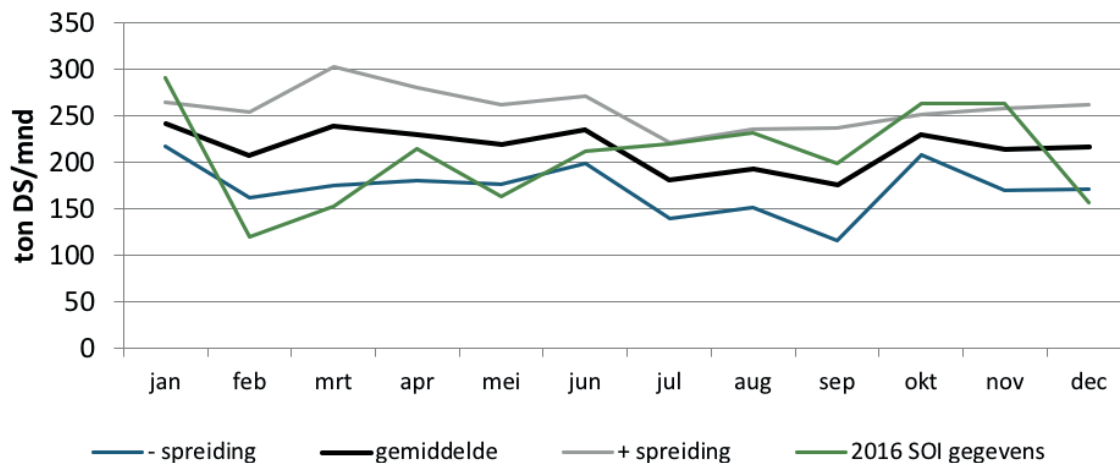
FIGUUR 4.8 ENERGIEVERBRUIK SLIBVERWERKING



4.3 SLIBPRODUCTIE

In de periode 2010-2016 is de slibproductie gedurende het jaar redelijk stabiel waarbij in de (vakantie) maanden juli, augustus en september een wat lagere slibproductie is te zien. In de grafiek is ook nog specifiek 2016 weergegeven omdat deze in de eerste helft van het jaar onder het gemiddelde ligt en de tweede helft er juist boven. Het langjarig gemiddelde ligt op 2.584 ton DS/j en dat is 7.079 kg DS/d.

FIGUUR 4.9 SLIBPRODUCTIE



4.4 EFFLUENTKWALITEIT

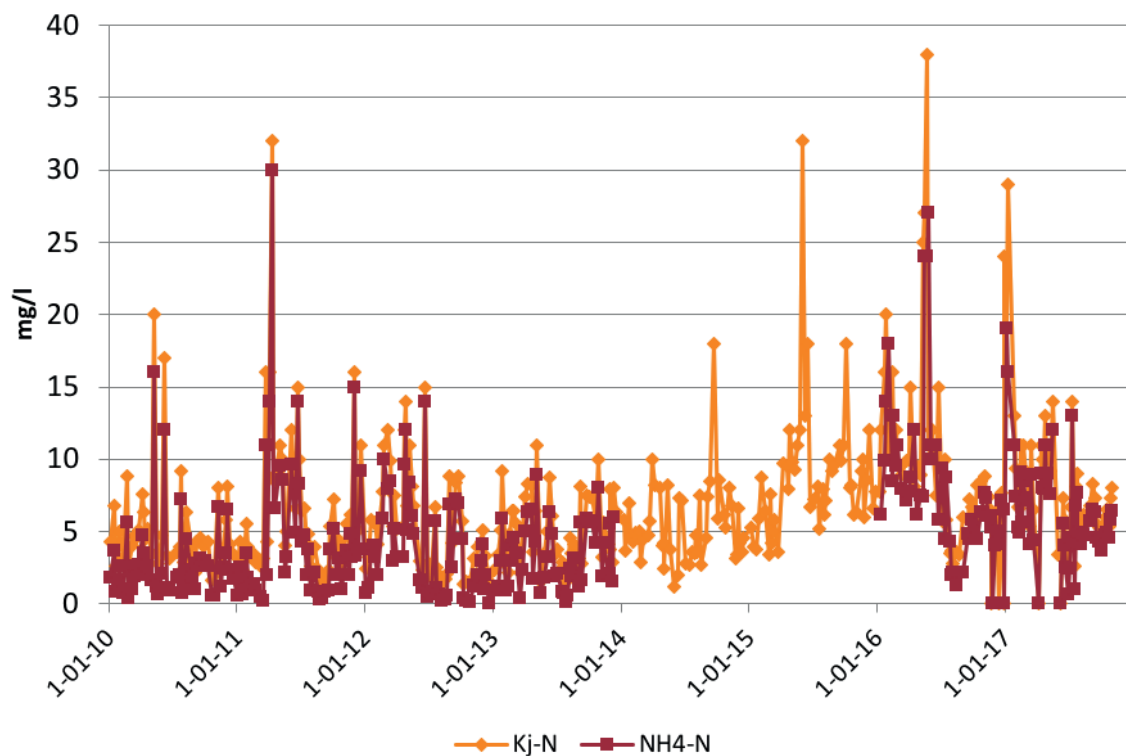
In Tabel 4.1 is de effluentkwaliteit weergegeven voor de bekende parameters voor de periode 2010-2015 en het jaar 2016. 2016 is separaat vermeld omdat de waarden duidelijk afwijken van de voorgaande zes jaren. Vooral voor ammonium, kjeldahl-stikstof en fosfaat vallen op omdat deze in 2016 hoger zijn dan de effluenteisen. Dit is deels te verklaren door een slechter functionerende beluchting waarbij onvoldoende zuurstof kan worden ingebracht voor een goede nitrificatie en bio-P proces. Dit is ook de reden dat het vervangen van de beluchtingselementen en het baggeren van de beluchtingstank voor 2017 op het programma stond als aanvullende maatregel om de capaciteit van de RWZI weer op orde te brengen.

TABEL 4.1 EFFLUENTKWALITEIT RWZI BEEMSTER (LABORATORIUM ANALYSES)

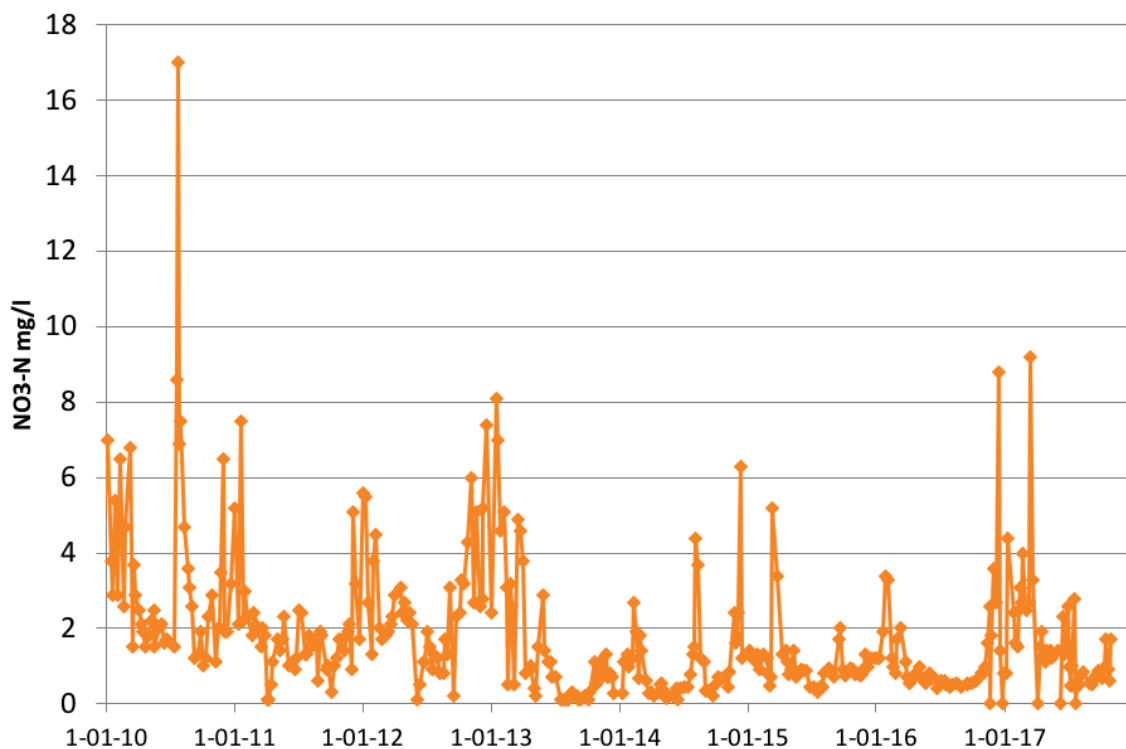
Parameter	2010-2015	2016	Eenheid
CZV	39	40	mg/l
BZV	3,7	5	mg/l
NH4-N	3,6	8,2	mg/l
Kj-N	6,0	10,4	mg/l
NO2-N	0,2	0,3	mg/l
NO3-N	1,9	1,2	mg/l
N-totaal	8,2	11,7	mg/l
P-totaal	1,3	1,3	mg/l
OB	8,2	9,1	mg/l

Als de laboratorium gegevens voor Kj-N, ammonium en nitraat over 2010-2017 worden uitgezet dan is voor Kj-N en ammonium een stijgende trend waar te nemen en voor nitraat een dalende. Vanaf mei 2017 zijn de nieuwe beluchtingselementen in bedrijf en is de beluchtingstank ontdaan van bezonken slib. Het effect op Kj-N is overigens dan nog niet direct (goed) zichtbaar.

FIGUUR 4.10 KJ-N EN AMMONIUM CONCENTRATIE IN EFFLUENT



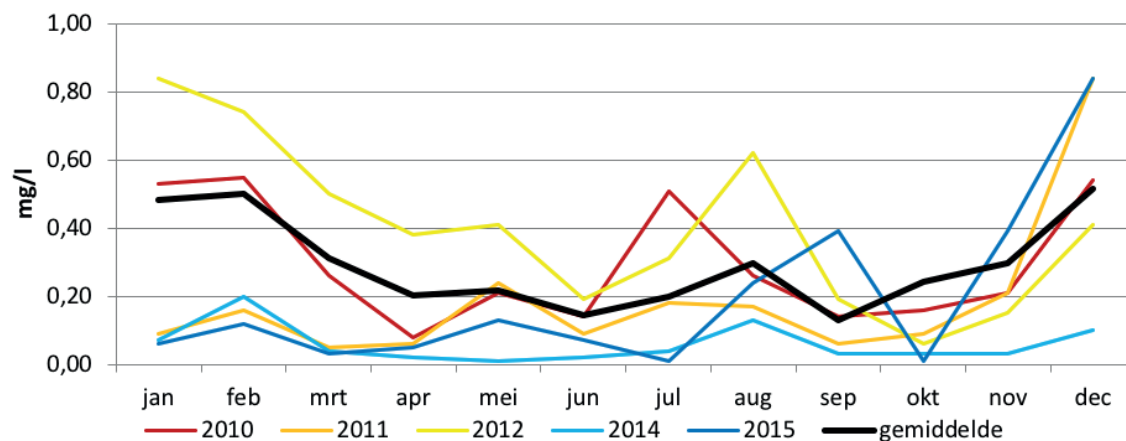
FIGUUR 4.11 NITRAAT CONCENTRATIE IN EFFLUENT



De nitrificatie wordt minder als gevolg van een slechtere luchtinbreng, maar hetgeen dat wordt omgezet naar nitraat wordt wel gedenitrificeerd door de lage zuurstofgehalten en de (grotere) beschikbare anoxische zone. In Figuur 4.12 zijn de gemiddelde zuurstofgehalten in de beluchtingstank te zien voor 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 en het gemiddelde voor 2010-2015. Deze laten zien dat in 2014 en 2015 de zuurstofgehalten lager liggen in vergelijking

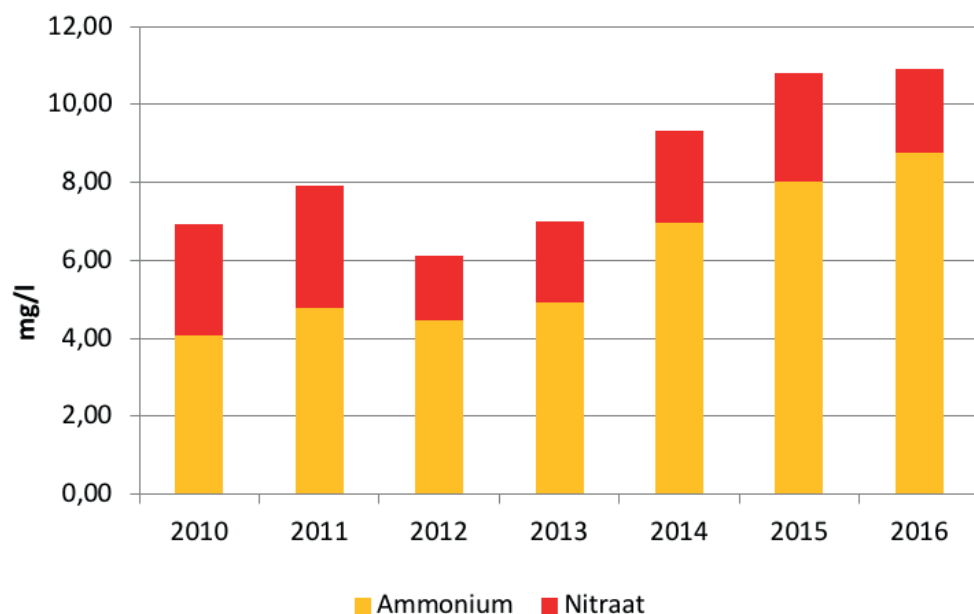
met de jaren 2010 en 2012. Dat ondersteunt de aanname van een verminderde inbreng van zuurstof als gevolg van het teruglopen van de efficiëntie van de beluchtingselementen. Er is geen informatie beschikbaar of de procesvoering in 2014 en 2015 mogelijk gericht was op het handhaven van een lager zuurstofgehalte om energie te besparen. Voor de uitschieter in november en december van 2015 is geen verklaring gevonden.

FIGUUR 4.12 ZUURSTOFGEHALTEN BELUCHTINGSTANK



De gegevens van de online analyzers (Figuur 4.13) laten ook duidelijk zien dat er voor ammonium een stijging is te zien van 2010 naar 2016 en ondersteunen daarmee dat de nitrificatie-capaciteit over deze jaren minder wordt.

FIGUUR 4.13 AMMONIUM EN NITRAAT CONCENTRATIES ANALYZERS



5

MONITORING RWZI BEEMSTER

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen die zijn uitgevoerd vergeleken met de referentie periode 2010-2016. In Tabel 5.1 een samenvatting van de resultaten die verder in deze paragraaf worden toegelicht.

TABEL 5.1 SAMENVATTING RESULTATEN

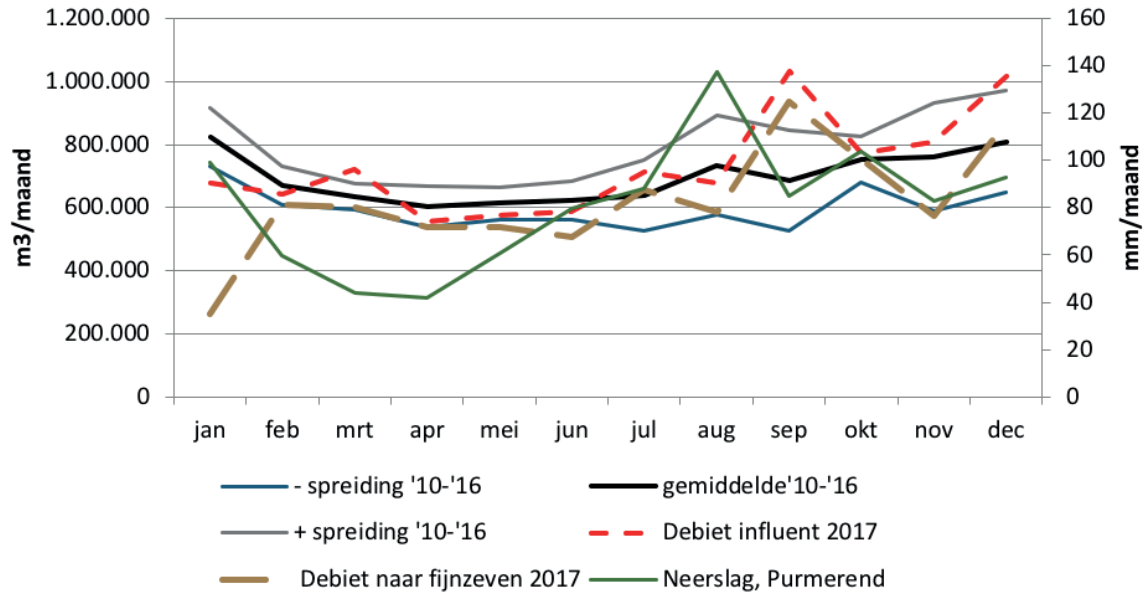
Onderzoeksvragen		2017	Eenheid	
Rendementen				
OB		36,1%		
CZV		18,9%		
BZV		17,1%		
Kj-N		4,3%		
P-totaal		4,3%		
Productie zeefgoed		5,2	ton/d	Gewogen bij Attero
Cellulose gehalte in influent		27,1%	van onopgelost bestanddelen	
Cellulose gehalte in het zeefgoed		43,2%	van droge stof	
Energieverbruik fijnzeefinstallatie.		798	kWh/d	
Bedrijfstijd fijnzeefinstallatie gedurende een jaar		44%		
Beschikbaarheid		96,6%		
Aantal dagen niet in bedrijf als gevolg van storing		12		
% behandeld influent in fijnzeefinstallatie.		89%		
Periode	2010-2015	2017		
Energieverbruik beluchting.	7.554	6.251	kWh/d	Beluchting vervangen
De surplusslibproductie.	7.079	5.687	kg DS/d	
Verandering eigenschappen van het actief slib.				
BZV:N verhouding	4,2	3,7	Ondergrens: 3	
BZV:P verhouding	31	27	Ondergrens: 25	
Droge stofgehalte van het ontwaterde zeefgoed		36,3%	(max > 44,8%)	
Het verbruik aan PE	11-14	13-27	g actief PE/kg DS	
Energieverbruik ontwatering	1.321	1.084	kWh/d	

5.1 FIJNZEEFINSTALLATIE

5.1.1 BELASTING FIJNZEEFINSTALLATIE

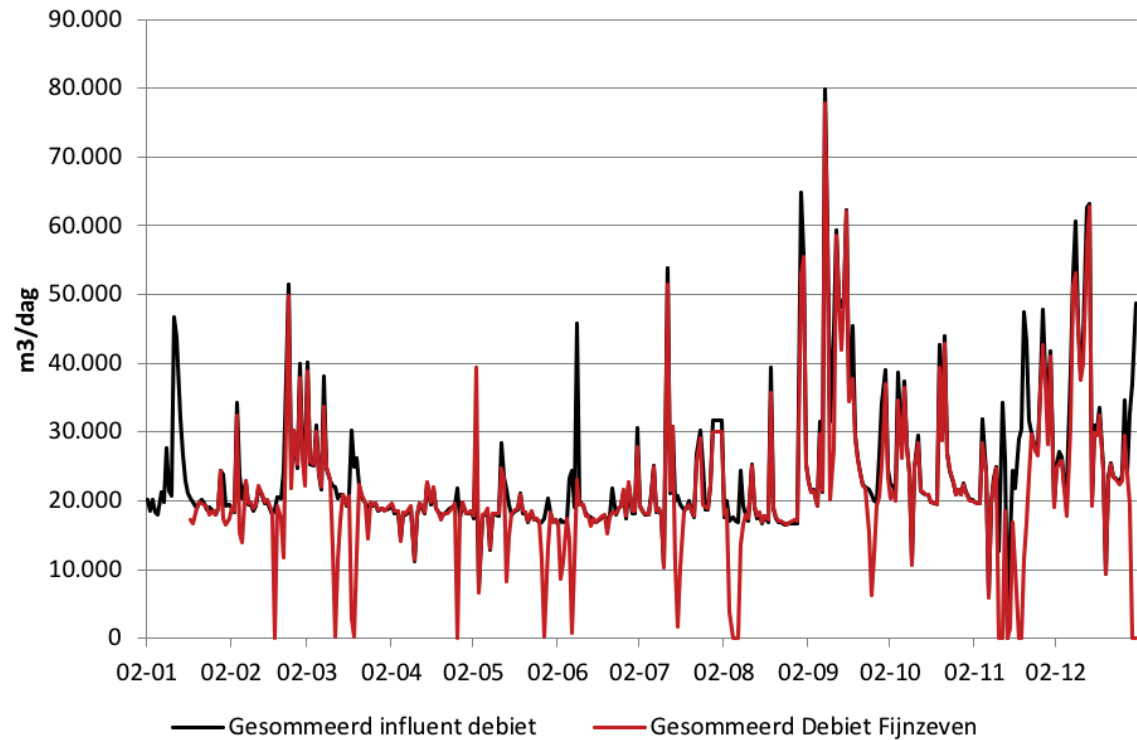
Gedurende het monitoringsjaar bedroeg het gemiddelde dagdebiet naar de RWZI Beemster 24.074 m³/d en daarvan is 21.459 m³/d behandeld door de fijnzeefinstallatie, dat is 89% van de toevoer naar de RWZI. Van de 348 meetdagen is er op 185 dagen meer dan 99% van de aanvoer behandeld.

FIGUUR 5.1 INFLUENTDEBIET EN BEHANDELD IN DE FIJNZEEFINSTALLATIE



In bovenstaande Figuur 5.1 is goed te zien dat september een maand met veel neerslag is geweest en dat de fijnzeefinstallatie dit goed heeft kunnen verwerken ook als naar de dagdebieten wordt gekeken (Figuur 5.2). Tevens is te zien dat in november de fijnzeefinstallatie uit bedrijf is geweest of door een storing niet het totaal influentdebiet heeft kunnen behandelen (zie paragraaf 5.1.6). Deze storing zat niet direct in de fijnzeefinstallatie, maar had te maken met de PLC voor de besturing.

FIGUUR 5.2 DAGDEBIETEN INFLUENT EN TOEVOER NAAR FIJNZEEFINSTALLATIE



Op basis van de debieten naar de individuele fijnzeven en de draaiuren per dag komt het gemiddelde debiet naar één fijnzeef uit op gemiddeld 240 m³/h met een range van 40 tot 540 m³/h. De gemiddelde filtratie snelheid is dan 109 m/h bij 2,2 m² filtratieoppervlak per fijnzeef. Uitgaande van gemiddeld 254 mg OB/l is dan de droge stofbelasting 27,7 kg/m² filteroppervlak per uur.

5.1.2 RENDEMENTEN EN FILTRAATKWALITEIT

In Tabel 5.2 is de influent- en filtraatkwaliteit weergegeven in mg/l en de BZV:N en BZV:P verhouding omdat dit van belang is voor een goede stikstof- en biologische fosforverwijdering. Zie Figuur 3.3 voor de locatie van de monsterpunten.

TABEL 5.2 INFLUENT- EN FILTRAATKWALITEIT IN MG/L

Parameter	CZV		BZV		Kj-N		P-totaal		OB		Cellulose	
	INF	FIL	INF	FIL	INF	FIL	INF	FIL	INF	FIL	INF	FIL
Gemiddelde	536	455	246	211	57,5	56,6	7,8	7,8	254	170	65	19
Minimum	200	200	96	91	25,0	26,0	3,8	3,8	55	85	31	2
Maximum	770	590	380	320	78,0	77,0	11,0	14,0	380	270	101	42
BZV verhouding					4,3	3,7	32	27				

De analyses voor onopgeloste bestanddelen zijn uitgevoerd met een filter met een poriegrootte van 0,45 µm.

De waarden voor minimum en maximum gemeten in het influent en filtraat zijn niet gerelateerd in de zin dat het monsters betreft van dezelfde dag. Uit de metingen blijkt dat de onopgeloste bestanddelen voor gemiddeld 27% bestaat uit cellulose.

In Tabel 5.3 is een overzicht gegeven van de rendementen voor CZV, BZV, Kj-N, P-totaal en OB. De rendementen zijn op basis van de vracht (debiet maal gehalte) naar de fijnzeef en in het filtraat. Zoals al in paragraaf 3.3.5. is aangegeven gaat het om een netto rendement van de fijnzeven, hierbij is geen rekening gehouden met de bypass van influent om de fijnzeefinstallatie.

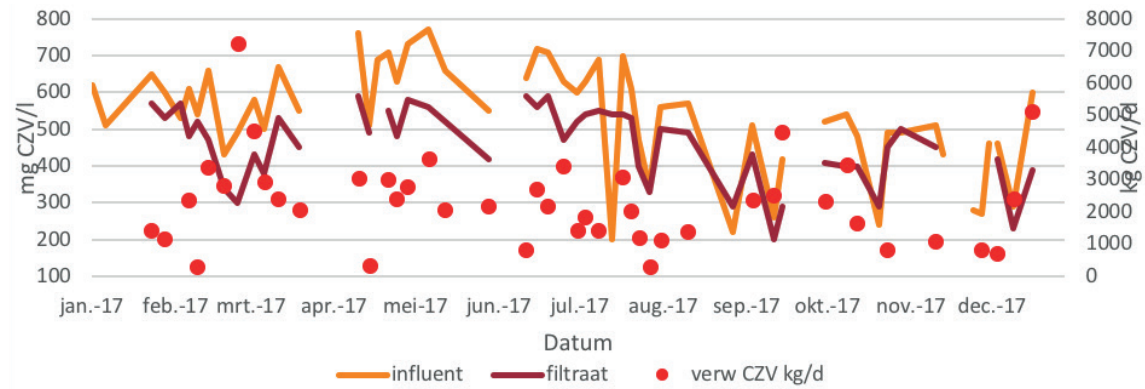
TABEL 5.3 OVERZICHT RENDEMENTEN VAN DE FIJNZEVEN OP BASIS VAN VRACHTEN

Parameter	CZV	BZV	Kj-N	P-totaal	OB	Cellulose
Gemiddelde	18,9%	17,1%	4,3%	4,3%	36,1%	69,0%
Minimum	2,9%	0%	0%	0%	8,3%	47,5%
Maximum	38,8%	37,8%	16,7%	12,0%	53%	96,8%
Aantal metingen	38	38	31	29	42	13
Van totaal aantal metingen	79%	79%	65%	62%	85%	81%

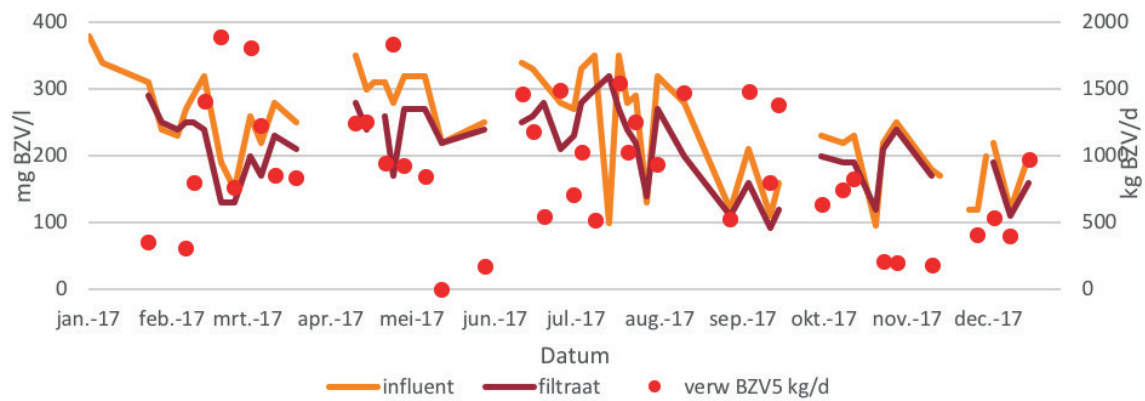
Het aantal metingen is niet voor iedere parameter gelijk omdat een aantal bemonsteringen door omstandigheden (zoals uitval van bemonsteringsapparatuur) niet zijn uitgevoerd of het resultaat van de analyse twijfelachtig was, wat weer veroorzaakt kan zijn door verwisseling van monstercodes en die dus niet zijn meegenomen in de beoordeling.

De verwijdering van CZV, BZV en OB worden in onderstaande figuren (Figuur 5.3, Figuur 5.4 en Figuur 5.5) voor het monitoringsjaar weergegeven. Gezien het geringe rendement voor Kj-N en P-zijn deze niet weergegeven.

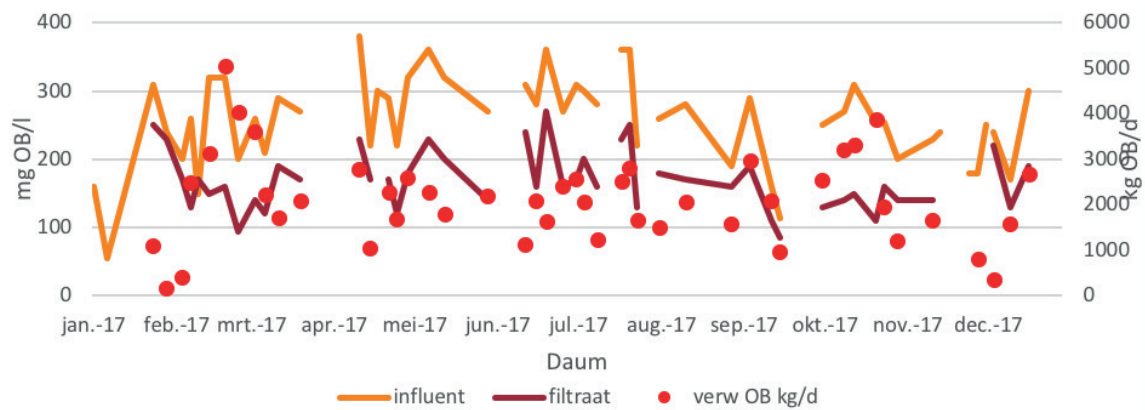
FIGUUR 5.3 CZV GEHALTEN IN INFLUENT EN FILTRAAT EN VERWIJDERING



FIGUUR 5.4 BZV GEHALTEN IN INFLUENT EN FILTRAAT EN VERWIJDERING

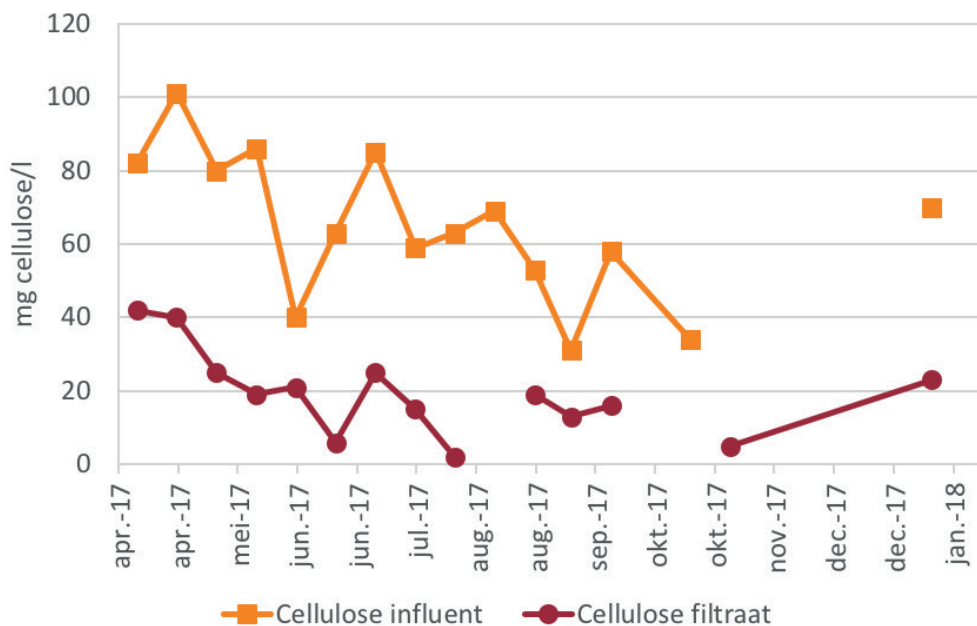


FIGUUR 5.5 OB-GEHALTE IN INFLUENT EN FILTRAAT EN VERWIJDERING



FIGUUR 5.6

CELLULOSE GEHALTE IN INFLUENT EN FILTRAAT



Een van de onderzoeksvragen was om ook het rendement van de fijnzeven te bepalen bij droogweer en regenweer aanvoer. Hierbij is voor droogweer het debiet kleiner dan 20.000 m³/h aangehouden en voor regenweer groter dan 35.000 m³/h.

TABEL 5.4

RENDEMENT BIJ DROOGWEERAANVOER

Parameter	CZV	BZV	Kj-N	P-totaal	OB	Cellulose
Gemiddelde	19,3%	19,8%	3,7%	4,3%	39,4%	64,7%
Minimum	7,8%	0%	1,7%	0%	22,6%	47,5%
Maximum	27,3%	37,8%	7,8%	11,1%	52,1%	90,5%
Aantal metingen	14	14	11	11	15	8

TABEL 5.5

RENDEMENTEN BIJ REGENWEERAANVOER

Parameter	CZV	BZV	Kj-N	P-totaal	OB
Gemiddelde	22,9%	16,0%	8,8%	4,9%	30,9%
Minimum	7,4%	8,3%	2,9%	0,0%	11,1%
Maximum	38,8%	31,6%	16,7%	12,0%	53,0%
Aantal metingen	7	8	6	6	8

Er zijn 15 dagen (monsters) waarbij cellulose is geanalyseerd. Hoewel deze dagen willekeurig waren gekozen, blijkt dat het wel om droog weer dagen of met minimale hoeveelheid aan regen te gaan waardoor het niet mogelijk is de celluloseverwijdering bij regenweer te bepalen. De verwijdering van onopgeloste bestanddelen bij regenweer is 30,9% tegenover 36,1% bij droogweer en is de verwachting dat de verwijdering van cellulose nog zo'n 58% zal bedragen.

5.1.3 DAGPROFIELEN EN INFLUENT FRACTIES

Om meer inzicht te krijgen in de prestatie van de fijnzeef gedurende de aanvoer over de dag zijn op een drietal dagen 1-uurs monsters genomen van 06:00 uur tot en met 18:00 uur en zijn analyses uitgevoerd voor OB, BZV, Kj-N en fosfaat. Twee van de drie dagen waren zonder neerslag en de andere dag (17 januari) met lichte regen. In onderstaande Figuur 5.7 zijn de dagprofielen weergegeven.

FIGUUR 5.7

DAGPROFIEL 16,17 EN 24 JANUARI MET DEBIET, OB EN BZV

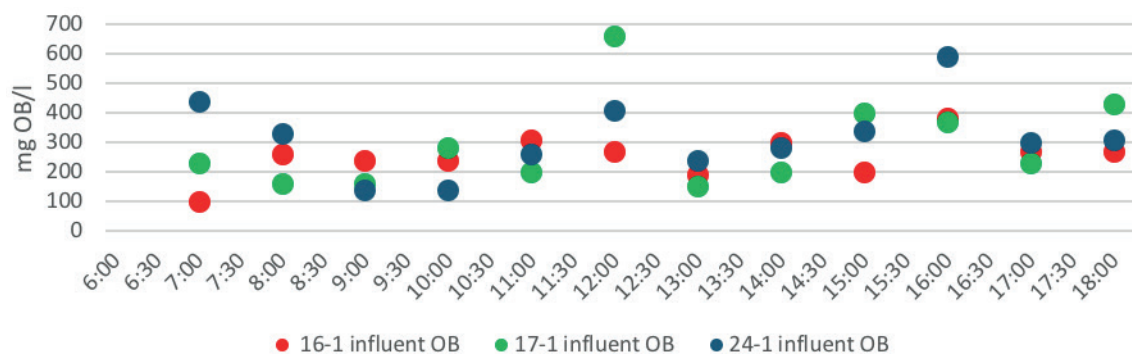


De grafieken laten een beeld zien dat het patroon van verwijdering van OB en BZV elkaar grotendeels volgen, maar er momenten zijn op de dag dat dit weer niet het geval is. Zo is op 17 januari 12:00 uur goed te zien dat het rendement voor OB erg hoog is, maar het rendement voor BZV juist laag. Voor de monsters van 13:00 en 14:00 is zelfs een negatief rendement gemeten voor OB, waar die voor BZV positief is. Het is niet goed duidelijk wat hiervoor de verklaring is. Uit de gehalten aan OB op de drie dagen (Figuur 5.8) valt de hoge waarde van

660 mg/l om 12:00 uur tijdens de regen op 17 januari op, maar verder liggen de waarden in dezelfde orde van grootte. Deze hoge waarde (660 mg OB/l) zal het gevolg zijn van de first flush bij regenweer waarmee bezonken slib in de riolering naar de RWZI wordt gespoeld. Waarmee het hoge rendement een indicatie is dat de fijnzeven deze hoge droge stofbelasting goed kunnen verwerken.

FIGUUR 5.8

PROFIELMETING OB GEHALTEN



Op 24 januari is om 11:00 en 12:00 uur ook een groot verschil in rendement voor OB en BZV te zien, maar is verder het patroon over de dag overeenkomstig. Uit Figuur 5.8 blijkt de gehalten aan OB voor 24 januari over de dag meer variëren (golfpatroon) dan bijvoorbeeld 16 januari. Uit de resultaten blijkt dat ondanks dat de aanvoer naar de RWZI niet heel sterk wisselt op DWA dagen het rendement toch aan variaties onderhevig is. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen zal nader en meer specifiek onderzoek nodig zijn om de vraag te beantwoorden wat de oorzaak is van het wisselende rendement bij een (redelijk) constante aanvoer. De gemiddelde uitkomst van deze profieldagen is in onderstaande Tabel 5.6 te zien.

TABEL 5.6

GEMIDDELDEN PROFIELMETINGEN

Parameter	16-jan	17-jan	24-jan	Eenheid
Influent	16.728	17.308	13.644	m ³
Naar fijnzeven	16.520	16.704	13.661	m ³
Tijd	12:00	12:00	12:00	uur
Van influent	99%	97%	100%	
Drain	173	87	146	m ³
Ratio drain van debiet naar fijnzeven	1,0%	0,5%	1,1%	
OB verwijdering	39%	30%	53%	
BZV verwijdering	25%	16%	28%	
Kj-N verwijdering	5%	2%	-6%	
P verwijdering	-6%	10%	20%	
OB influent	253	289	315	mg/l
OB filtraat	148	170	138	mg/l

Als de negatieve rendementen gemeten op 17 januari voor OB niet worden meegenomen dan komt het gemiddelde uit op 40%.

De resultaten voor Kj-N en fosfaat lieten een aantal negatieve rendementen zien en voor fosfaat ook zeer hoge verwijderingsrendementen. Zoals op 24 januari op 9:00 en 10:00 uur tussen de 50 en 60%. Hier speelt wellicht mee dat voor Kj-N de belangrijkste fractie ammonium is en opgelost in het influent voorkomt en voor fosfaat is dit de opgeloste ortho-fosfaat fractie. Ook

hier zal nader onderzoek nodig zijn om meer inzicht te krijgen in het gedrag van deze stoffen op de fijnzeef of er toch sprake is van adsorptie van opgeloste stoffen aan de filterkoek.

5.1.4 ZEEFGOED EN CELLULOSEPRODUCTIE

Er is op twee manieren bepaald wat de productie aan zeefgoed is. De eerste is op basis van de verwijdering van OB door de fijnzeven. Gemiddeld komt de zeefgoed productie dan uit op 6.100 kg per dag met zo'n 2.217 kg/d aan droge stof. Na de zeefgoedontwatering is de droge stof concentratie gemiddeld 36,3% met 7,9% aan anorganische stof. Voor anorganische stof zijn ook hoge waarden gemeten (Tabel 5.7) en dat heeft er mee te maken dat in augustus en september ijzerchloride is gedoseerd ter bestrijding van H₂S omdat de geurfilters overbelast waren. Zonder deze waarden komt het gemiddelde uit op 6,1% anorganische stof variërend tussen 4% en 10%.

De andere meetmethode voor het bepalen van de zeefgoedproductie is op basis van de gewogen afgevoerde vrachten in containers naar Attero (Tabel 5.7). De meting van de containers is hierbij de meest accurate en hiermee kan de productie berekend op basis van de verwijdering van OB met de fijnzeven worden geverifieerd.

In het zeefgoed is ook het cellulosegehalte bepaald en die bedraagt gemiddeld 43,2% en komt de celluloseproductie uit op bijna 810 kg cellulose DS/d.

TABEL 5.7

ZEEFGOED- EN CELLULOSE PRODUCTIE

Product	Gem	Min	Max	Eenheid
Zeefgoed droge stof	2.217	355	5.044	kg DS/d
Zeefgoed droge stof	809			ton DS/j
Zeefgoed	36,3%	26,3%	44,8%	DS
Zeefgoed	7,9%	4,0%	27,0%	Anorganische stof van DS
Zeefgoed	2.228			ton/j
Zeefgoed naar Attero	683			ton DS/j
Zeefgoed gewogen bij Attero	1.881			ton/j
Cellulose	43,2%	35,0%	51,0%	van DS
Cellulose	295			ton cellulose DS/j
Cellulose	808			kg cellulose DS/d

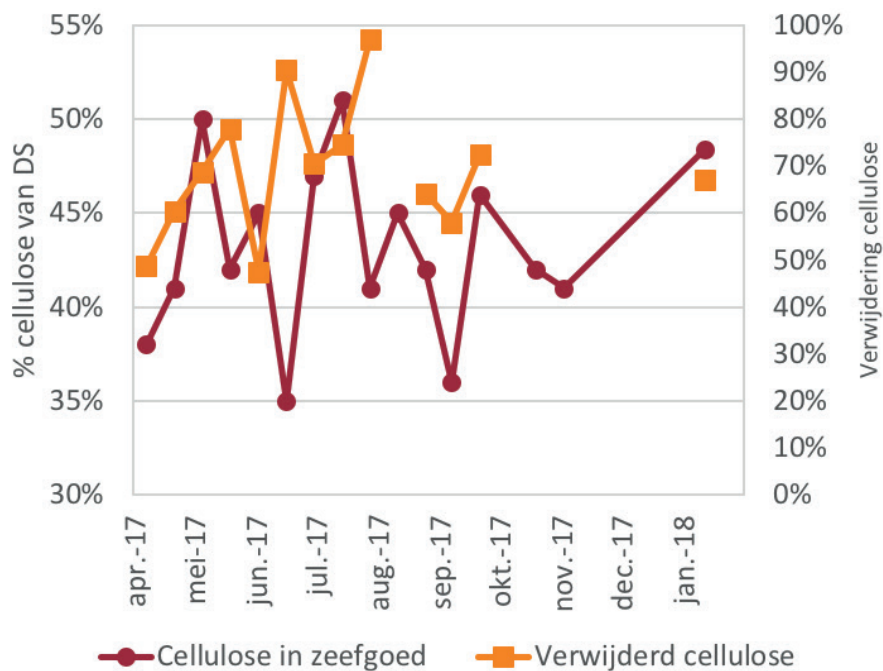
De productie aan zeefgoed bepaald aan de hand van de gewogen containers bij Attero is zo'n 16% lager dan op basis van de OB verwijdering over de fijnzeven.

Er is nog onderzocht of de productie aan zeefgoed varieert onder DWA of RWA condities. Waarbij als grens voor een RWA dag een debiet van 35.000 m³/d of hoger is aangehouden. De zeefgoedproductie is alleen te bepalen aan de hand van de OB metingen. Het afgevoerde zeefgoed met containers kan zowel onder DWA als RWA dagen zijn geproduceerd en is daarmee niet onderscheidend zodat gewogen gewicht geen goede maat is voor dit aspect. De productie aan zeefgoed komt voor DWA dagen uit op gemiddeld 2,2 ton DS/j en voor RWA dagen 2,3 ton DS/d.

De concentratie aan cellulose in het zeefgoed varieert tussen de 35 en 51% en lijkt niet direct bepaald te worden door het verwijderingsrendement van cellulose (Figuur 5.9).

FIGUUR 5.9

CELLULOSE CONCENTRATIE IN ZEEFgoed



Naast het meten van het cellulosegehalte in het zeefgoed zijn ook twee monsters geanalyseerd op zware metalen om dit kwaliteitsaspect in beeld te brengen. In Tabel 5.8 zijn deze weergegeven en vergeleken met maximale waarden in zuiveringsslib uit Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet.

TABEL 5.8

ZWARE METALEN IN ZEEFgoed

Parameter	Zeefgoed	Zeefgoed	Zuiveringsslib	Eenheid
Datum	24-1-2017	31-8-2017	Maximum	
Droge stof	25%	23%		Droge stof
Gloeirest		13%		van DS
Aluminium		3.000		mg/kg DS
Arseen	< 5	4	15	mg/kg DS
Cadmium	< 0,4	< 1	1,25	mg/kg DS
Chroom	< 5	11	75	mg/kg DS
IJzer		7.000		mg/kg DS
Koper	64	110	75	mg/kg DS
Kwik	0,12	0,35	0,75	mg/kg DS
Nikkel	< 5	8	30	mg/kg DS
Lood	< 10	51	100	mg/kg DS
Zink	190	450	300	mg/kg DS
Chloride	750			mg/kg DS

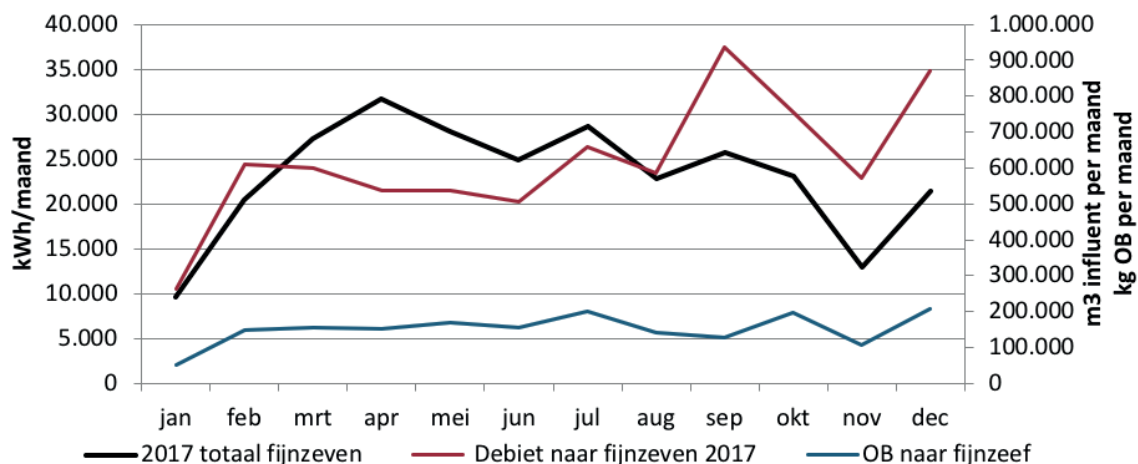
In het monster van 31 augustus wordt een hoog gehalte aan ijzer gemeten en dat is te verklaren omdat in deze periode ijzerchloride bij het influent is gedoseerd om H_2S te binden. Aluminium is ook een hoge waarde, maar omdat referenties ontbreken is hier geen verklaring voor gevonden.

5.1.5 ENERGIEVERBRUIK

Het totaal aan energieverbruik voor de fijnzeefinstallatie in 2017 bedroeg 276.591 kWh en dat komt neer op een gemiddelde van 758 kWh/d. In onderstaand Figuur 5.10 is het verbruik per maand, het behandelde debiet en de belasting aan onopgeloste bestanddelen weergegeven.

Na een periode van inregelen en optimalisatie van de zeefgoedontwatering is de fijnzeefinstallatie op 18 januari in bedrijf genomen. Dat is de reden dat het elektriciteitsverbruik in januari zo laag is. Als hiervoor wordt gecorrigeerd komt het gemiddelde verbruik uit op 798 kWh/d. De maand september kenmerkt zich door veel regenval en dat is ook te zien. Het behandelen van fors meer water heeft niet geleid tot een hoger energieverbruik.

FIGUUR 5.10 ENERGIEVERBRUIK FIJNZEEFINSTALLATIE



Het totaal energieverbruik van de fijnzeefinstallatie is niet recht evenredig met het debiet dat wordt behandeld. Het energieverbruik van de blowers voor het schoonblazen van de zeefband bedraagt gemiddeld zo'n 51% van het totaal. Op het moment dat de fijnzeef in bedrijf komt schakelt ook de blower bij en schakelt weer af als de fijnzeef dat ook doet. Het energieverbruik van de blower blijft zolang de fijnzeef in bedrijf is op eenzelfde niveau en varieert niet mee met het influentdebiet. Dat geldt wel voor het energieverbruik van de motor voor de zeefband. Deze zal variëren doordat de regeling er naar streeft de stofbelasting gelijkmatig te houden voor een optimale koekfiltratie (paragraaf 3.2.3). In het energieverbruik van de installatie valt dit niet op, omdat de zeefband gemiddeld maar 3,6% van het totaal is. In onderstaande Tabel 5.9 is een overzicht gegeven van de energieverbruiken voor de fijnzeefinstallatie naar hoofdgebruikers.

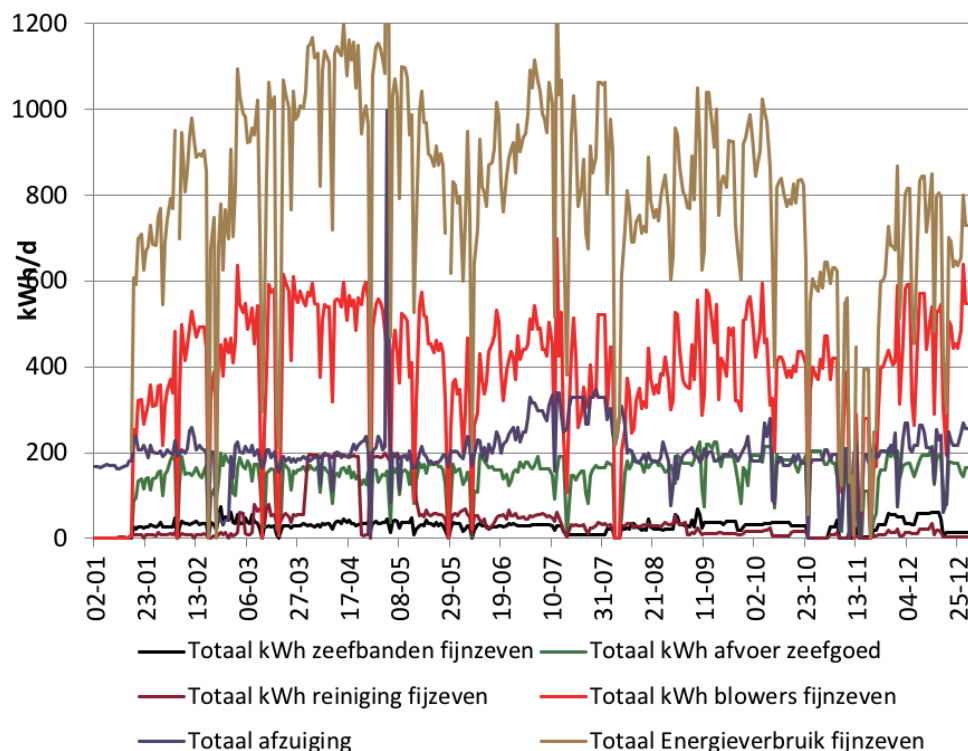
TABEL 5.9 GEMIDDELD ENERGIEVERBRUIK FIJNZEEFINSTALLATIE

Onderdeel	kWh/d	Van totaal
Zeefbanden	28	3,6%
Blowers	387	51%
Reiniging	42	5,6%
Zeefgoedontwatering	143	18,9%
Luchtbehandeling	158	20,8%
Totaal	758	

Door meer in te zoomen op het verbruik van de belangrijkste installatie onderdelen ontstaat over het monitoringsjaar het volgende beeld voor het dag- en maandtotaal verbruik (Figuur 5.11 en Figuur 5.12).

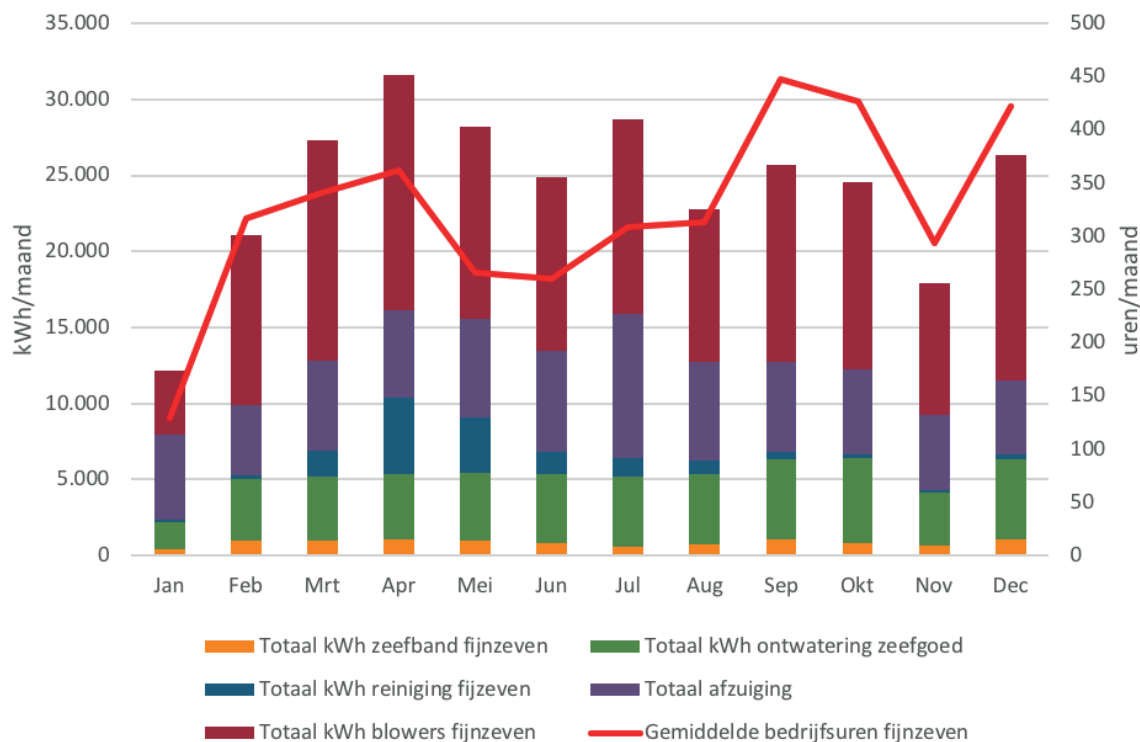
FIGUUR 5.11

ENERGIEVERBRUIK HOOFDONDERDELEN FIJNZEEFINSTALLATIE PER DAG



FIGUUR 5.12

ENERGIEVERBRUIK HOOFDONDERDELEN FIJNZEEFINSTALLATIE MAANDTOTALEN



In de figuren is goed te zien dat het energieverbruik van de zeefbanden, reiniging van de banden en zeefgoed behandeling redelijk stabiel zijn en gering zijn ten opzichte van het totaal. Uitzondering is het energieverbruik voor reiniging van de zeefbanden in april en mei. Dat verbruik ligt fors hoger in vergelijking met de ander maanden en draagt wel bij tot het hoger totaalverbruik voor die maanden. Verder valt een hoger energieverbruik voor de

afzuiging op in juli als gevolg van hoge waarden aan H_2S . Gemiddeld ligt het verbruik uitgedrukt per m^3 influent behandeld op 38,7 W, maar is dus enigszins vertekend door het hoger verbruik voor reiniging. Het gemiddelde van augustus t/m december ligt op 28,8 W/ m^3 en dat geeft beter weer wat het normale energieverbruik is.

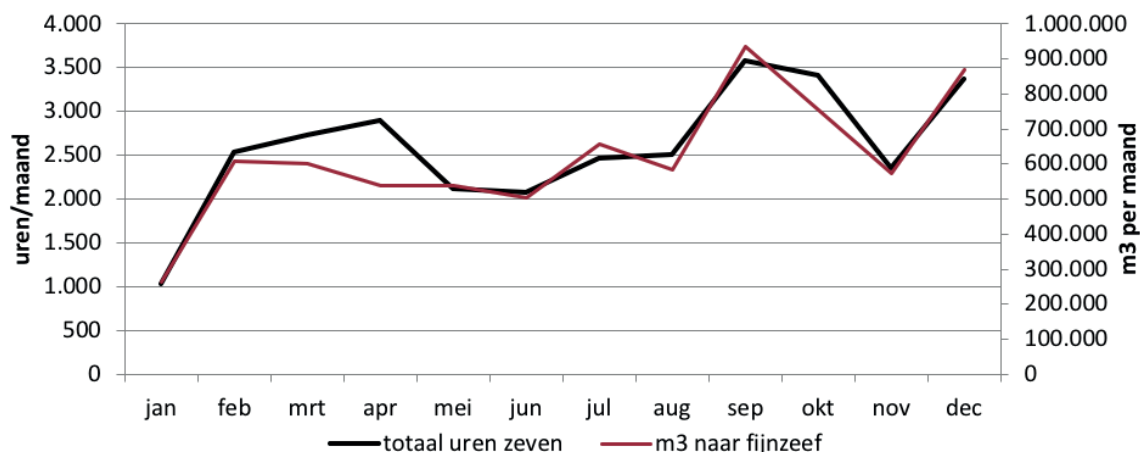
5.1.6 BESCHIKBAARHEID EN STORINGEN

Over het gehele monitoringsjaar gezien heeft de fijnzeefinstallatie goed gefunctioneerd. Toch hebben zich een aantal zaken voorgedaan die van invloed zijn geweest op de beschikbaarheid van de installatie:

- Breuk van 2 zeefbanden.
- Ophoping van zeefgoed tussen de bovenzijde van de band waar deze wordt afgeworpen en de betonrand van de zeefgoed afvoervijzel.
- PLC uitval, maar niet als gevolg van het functioneren van de fijnzeefinstallatie.
- Ongelijkmatige vulling en niet volledige vulling van de trechters naar de ontwatering waardoor sensors een hoog niveau detecteren en de installatie werd afgeschakeld.
- Periodiek handmatige schoonmaak van fijnzeef waardoor deze enige uren niet beschikbaar is.

In Figuur 5.13 zijn de bedrijfsuren van de fijnzeven weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat het aantal bedrijfsuren nog niets zegt over de beschikbaarheid. Het kan zijn dat alle fijnzeven beschikbaar zijn, maar niet alle in bedrijf komen omdat de aanvoer dat niet vereist. In dit onderzoek is gekeken naar de dagen dat er geen influent is behandeld door de fijnzeven. Het gaat hierbij om 12 dagen in een periode van 348 dagen en komt de beschikbaarheid uit op 97%. Hier wordt bij opgemerkt dat in die 12 dagen een aantal dagen betreft de ombouw van de zeefgoed ontwatering dat een eenmalig actie betrof en de beschikbaarheid in feite hoger is: 98%. De “in bedrijfstijd”, als percentage dat een fijnzeef van de tijd in bedrijf is, bedroeg gemiddeld 44% en dat komt neer op 10,6 uren per dag.

FIGUUR 5.13 BEDRIJFSUREN FIJNZEVEN EN BEHANDELD DEBIET



De volgende zaken vereisten aandacht tijdens de bedrijfsvoering:

- Het zeefgoed komt vanaf de fijnzeven in een trechter voordat het de ontwateringpersen in gaat. In deze trechters ontstaat soms brugvorming en is de vulling niet altijd optimaal (hoog aan één zijde van de trechter omdat hier het natte zeefgoed in de trechter stort) en wordt hoog niveau gedetecteerd wat tot gevolg heeft dat de gehele fijnzeefinstallatie wordt afgeschakeld. Tevens vond vervuiling van de sensor plaats waardoor de installatie (ten onrechte) werd afgeschakeld. Als het zeefgoed niet verwerkt kan worden in de persen

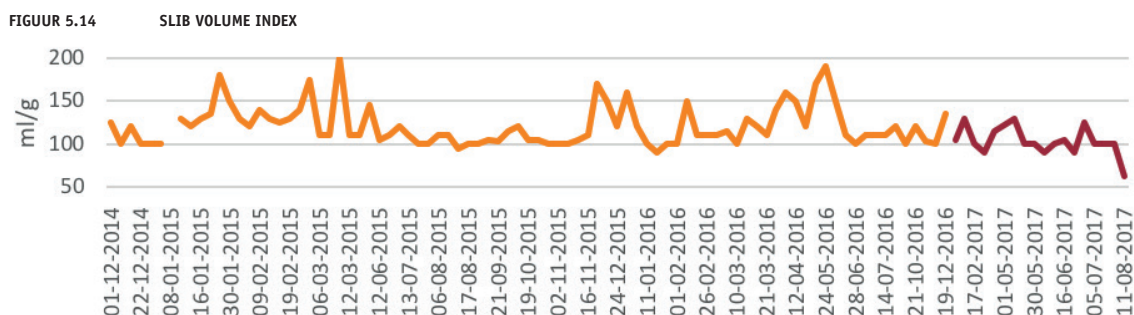
stopt de fijnzeefinstallatie om verdere toevoer en ophoping in het systeem te voorkomen. De constructie en inloop van zeefgoed in de trechters is gewijzigd met als resultaat een meer gelijkmatige vulling met minder frequente detectie van hoog niveau en is deze storing opgelost. Tevens is de niveaumeting aangepast en geeft een betrouwbaarder signaal.

- Schoonmaak van de zeefgoed afvoervijzelgoot om ophoping van zeefgoed periodiek te verwijderen.

5.2 EFFECT OP DE WATERLIJN

5.2.1 ACTIEF SLIB KARAKTERISTIEK

Belangrijkste parameter om de karakteristiek van het actief slib weer te geven is de Slib Volume Index. Hoe hoger de SVI hoe slechter het slib bezinkt in de nabezinktanks en tot uitspoeling van actief slib kan leiden en daarmee verslechtert de effluentkwaliteit. Uit Figuur 5.14 blijkt dat de SVI niet is veranderd in 2017 in vergelijking met de periode 2014-2016 en dat het verwijderen van cellulosevezel geen negatieve invloed heeft op de vlokvorming en dus bezinking van het actief slib.

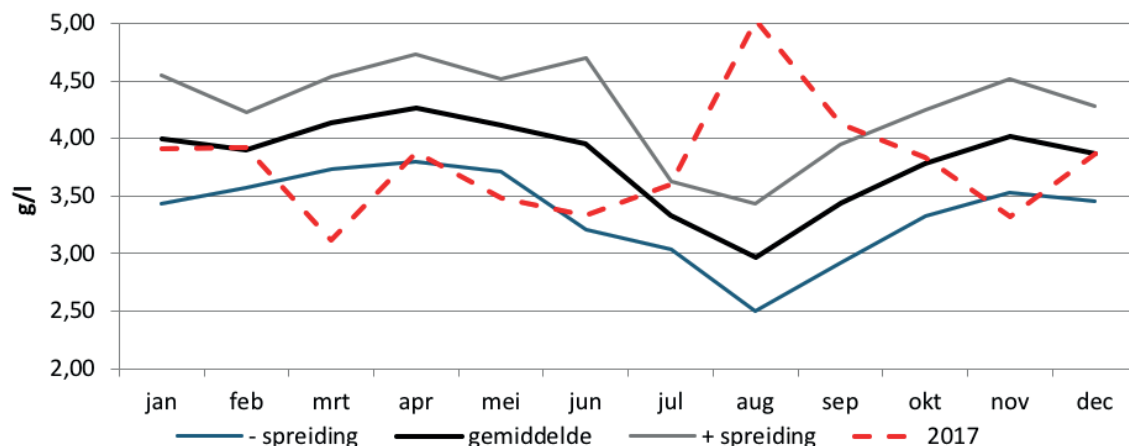


5.2.2 BIOLOGIE (SLIBBELASTING EN SLIBGEHALTE)

De gemiddelde slibbelasting bedroeg in de referentieperiode gemiddeld 0,087 kg BZV/kg DS per dag en was in 2017 gemiddeld 0,075 kg BZV/kg DS per dag en dat is een daling van 14%. Als rekening wordt gehouden met de anorganische stof in het actief slib bedraagt de gemiddelde organische slibbelasting in de referentieperiode gemiddeld 0,109 kg BZV/kg ODS per dag en was in 2017 gemiddeld 0,093 kg BZV/kg ODS per dag en dat is een daling van 15%.

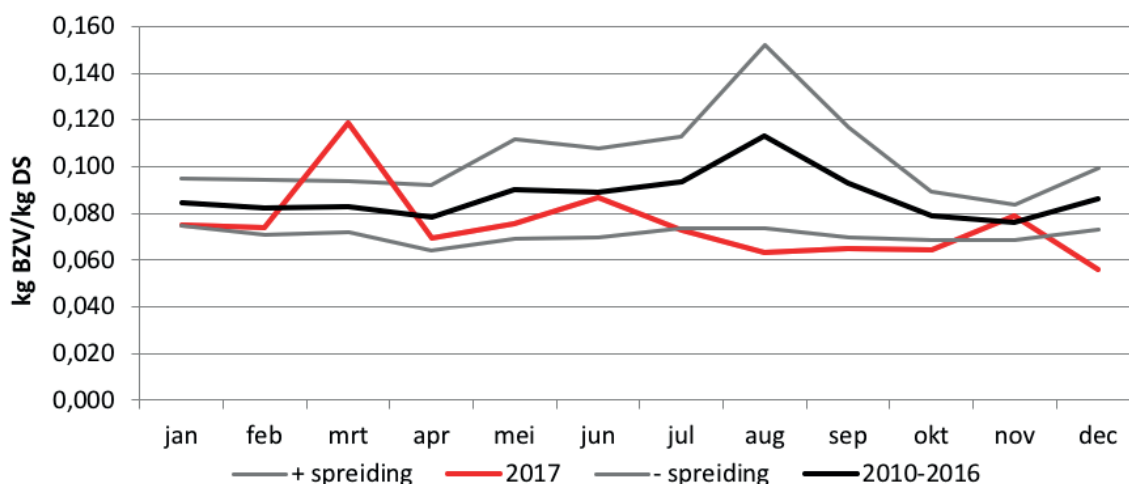
De slibbelasting wordt bepaald door het slibgehalte in de beluchtingstank en het verloop gedurende het monitoringsjaar is te zien in Figuur 5.15. In augustus is het slibgehalte beduidend hoger in vergelijking met de referentieperiode. Hier ligt geen specifieke reden aan ten grondslag evenals dat niet specifiek het proces in de andere maanden gestuurd is op een lager slibgehalte. In theorie zou dit wel een optie zijn omdat de belasting naar de beluchtingstank lager is en voor het handhaven van dezelfde slibbelasting kan een lager slibgehalte worden aangehouden.

FIGUUR 5.15 SLIBGEHALTE BELUCHTINGSTANK (PERIODE 2010-2016 VERSUS 2017)



Toch blijkt dat het een hoger slibgehalte in augustus niet heeft geleid tot een veel lagere slibbelasting (Figuur 5.16). Het lage slibgehalte in maart heeft wel geleid tot een hogere slibbelasting, maar valt ook op dat vanaf april de slibbelasting redelijk constant is en voor de meeste maanden lager dan de referentieperiode.

FIGUUR 5.16 SLIBBELASTING (PERIODE 2010-2016 VERSUS 2017)



Voor een goede stikstofverwijdering is de verhouding van BZV:N waarmee het afvalwater de beluchtingstank binnenkomt van belang. Er dient met name voldoende BZV aanwezig te zijn voor het denitrificatie proces. Deze was gemiddeld in de referentieperiode 4,5 met een minimum van 2,6. Als ondergrens wordt in het algemeen een verhouding van 3 aangenomen. In 2017 was de BZV:N gemiddeld 3,7 met een minimum van 2,4. Hoewel, en dat was te verwachten, de verhoudingen lager zijn, komen deze op basis van het gemiddelde voor het verwijderen van stikstof niet in de gevarenzone.

Voor een goede biologische fosforverwijdering wordt in het algemeen een verhouding BZV:P van meer dan 25 aangehouden. Voor de referentieperiode komt deze uit op 26,7 met een minimum van 10 en voor 2017 zijn de BZV:P verhoudingen 27,2 met een minimum van 18,9. Dat deze voor 2017 zelfs iets hoger zijn heeft er mee te maken dat in de referentieperiode de concentratie aan P-totaal gemiddeld 10,4 mg/l bedroeg en in 2017 laag was met gemiddeld 7,8 mg P-totaal/l in het influent en 7,8 mg P-totaal/l in het filtraat. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat op de RWZI Beemster ijzerzout wordt gedoseerd om fosfor aanvullend chemisch te binden. Uit voorgaande cijfers kan wel vastgesteld worden dat er voldoende BZV

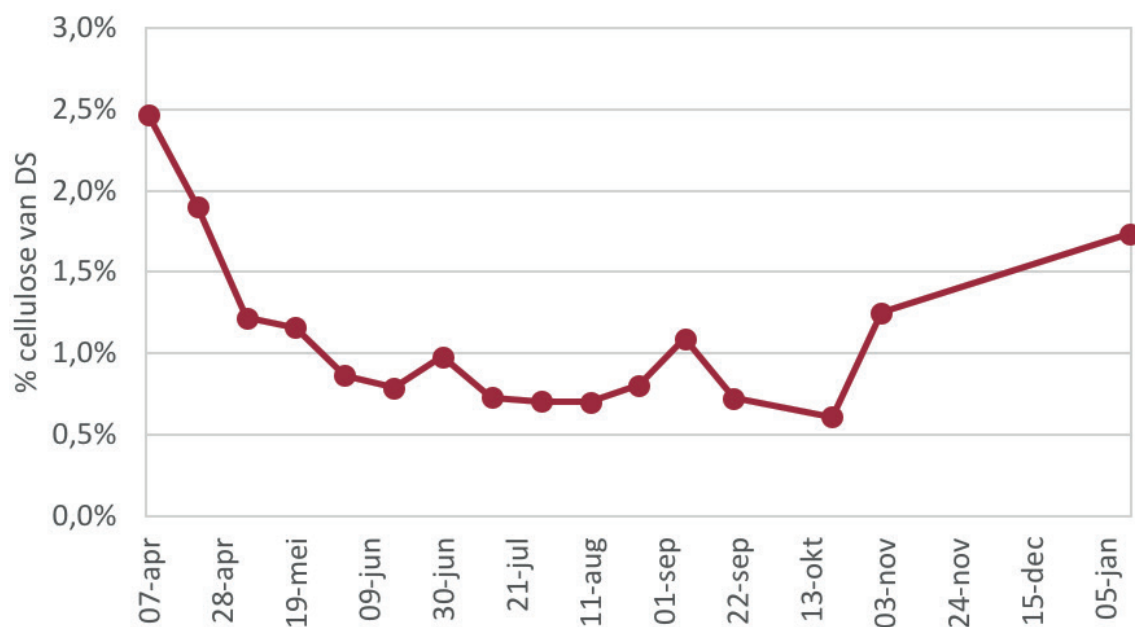
wordt aangevoerd om een biologische fosforverwijdering mogelijk te maken. Het hangt van de procesvoering af in hoeverre dit wordt bereikt. Dan gaat het onder andere om het zuurstof regime in de beluchtingstank zodat anaerobe zones ontstaan en voldoende zuurstof afloop BT om fosfor release te voorkomen en het doseren van de hoeveelheid ijzerzout. Als er te veel ijzerzout wordt gedoseerd werkt dit remmend op de bio-P.

In 2017 is veel meer ijzerzout (47,4 ton Fe als FeCl_3) gedoseerd dan in de jaren ervoor (gemiddeld 20,7 ton Fe als Fe_2SO_4) ofwel Me/P verhoudingen van respectievelijk 0,45 en 0,14, maar dat zal het gevolg zijn van de hier beschreven procesvoering (hoge zuurstofgehalten in de BT met als doel de bio-P te stimuleren) en niet het effect van de fijnzeefinstallatie.

5.2.3 CELLULOSE AFBRAAK

In het actief slib is ook de concentratie cellulose gemeten (Figuur 5.17) en dit bedroeg na drie maand in bedrijf zijn van de fijnzeven 2,5% van de DS. Mogelijk dat het gehalte hoger is geweest zonder de fijnzeven, maar hiervan zijn geen gegevens voorhanden. Het aandeel cellulose daalt en is vanaf juni rond de 0,8% en stijgt vanaf november weer.

FIGUUR 5.17 CELLULOSE IN ACTIEF SLIB



Eén van de vragen over cellulose is in hoeverre het wordt afgebroken in het actief slibstelsysteem. In Tabel 5.10 is een berekening weergegeven over de aanvoer van cellulose naar het actief slibstelsysteem en wat dan de verwachte concentratie in het actief slib zal zijn. Voor 2017 zou dat uitkomen op 9% van de DS, maar uit de cellulose analyses blijkt dat dit gemiddeld 1,1% is, gemeten vanaf april tot en met december. Dat betekent dat zo'n 92% van de cellulose wordt afgebroken in de biologie. In het begin van het jaar is een percentage van 2,5% gemeten en dat zou dan uitkomen op een afbraak van 82%. Dit verschil zou verklaard kunnen worden door de watertemperatuur en is de afbraak in de winter mogelijk nog lager. Voor de afbraak van cellulose in actief slib wordt als gemiddelde 50% (30-70%) aangehouden als uitkomst van eerder onderzoek [1]. Eenzelfde berekening als voor 2017, is uitgevoerd voor de periode 2010-2016 en komt de concentratie aan cellulose (zonder afbraak) uit op 23%. Nu er een sterke aanwijzing is dat cellulose mogelijk (grotendeels) wordt afgebroken en deze ook wordt betrokken op de referentieperiode, dan zou de uiteindelijke concentratie uit kunnen komen op 1,8%.

Binnen dit monitoringsonderzoek is de biologische afbraak van cellulose niet verder onderzocht door het uitvoeren van specifieke testen.

TABEL 5.10 THEORETISCHE BENADERING % CELLULOSE IN ACTIEF SLIB

Parameter	2010-2016	2.017	Eenheid
Aanvoer cellulose	1.681		kg/d
Aanvoer cellulose met filtraat en bypass		522	kg/d
Slibleeftijd	9,4	11,7	dagen
Cellulose in actief slib	15.867	6.112	kg
	23%	9%	
Afbraak	92%	92%	
Cellulose in actief slib	1.269	519	kg/d
Cellulose in actief slib	1,9%	0,8%	

5.2.4 EFFLUENTKWALITEIT

Het vervangen van de beluchtingselementen in de beluchtingstank en het baggeren heeft naast invloed op het energieverbruik ook invloed op de effluentkwaliteit. Betere luchtinbreng zal tot effect hebben dat de nitrificatie verbetert en dus het ammonium gehalte (en daarmee ook Kj-N) zal dalen. In Tabel 5.11 is te zien dat de concentratie aan Kj-N en ammonium in 2017 zijn gedaald ten opzichte van 2016. Toch zijn de concentraties met betrekking tot Kj-N en fosfaat hoger dan de periode 2010-2015. Met name voor nitrificatie zal de procesvoering nog moeten worden geoptimaliseerd.

TABEL 5.11 EFFLUENTKWALITEIT (LABORATORIUM ANALYSES) IN MG/L

Parameter	2010-2015	2016	2017	Eenheid
CZV	39	40	30	mg/l
BZV	3,7	5	3,3	mg/l
NH4-N	3,6	8,2	6,5	mg/l
Kj-N	6,0	10,4	8,2	mg/l
NO2-N	0,2	0,3	0,2	mg/l
NO3-N	1,9	1,2	1,6	mg/l
N-totaal	8,2	11,7	9,9	mg/l
P-totaal	1,3	1,3	1,5	mg/l
OB	8,2	9,1	7,9	mg/l

Door de ingreep in de beluchting is de impact van de fijnzeefinstallatie op de effluentkwaliteit niet meer vast te stellen.

5.2.5 BESCHIKBAARHEID EN STORINGEN

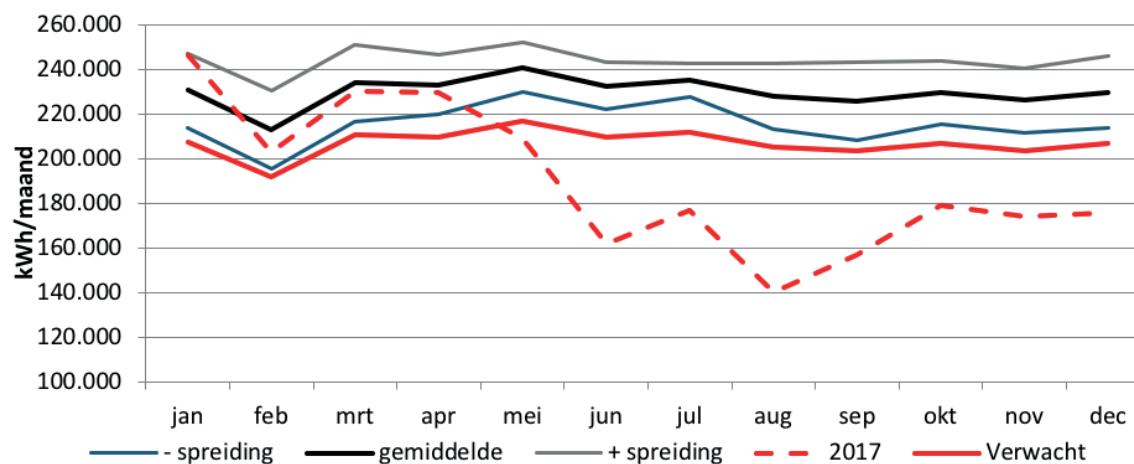
Er hebben zich geen situaties voorgedaan ten aanzien van de fijnzeefinstallatie die geleid hebben tot een storing in de biologie of andere procesonderdelen van de RWZI. En is de beschikbaarheid van de RWZI niet aangetast.

5.2.6 BELUCHTINGSENERGIE

Door het uitvoeren van de baggerwerkzaamheden in de beluchtingstank en het plaatsen van nieuwe beluchtingselementen is het niet goed meer mogelijk om de impact van de fijnzeefinstallatie op de beluchtingsenergie te bepalen. Dat het plaatsen van nieuwe beluchtingselementen (vanaf begin mei) het energieverbruik fors heeft verlaagd is wel duidelijk (Figuur 5.18). Vanaf juni wordt zo'n 28% minder energie verbruikt. In de figuur is ook de verwachting

aangegeven van het effect op de beluchtingsenergie door de fijnzeven, zonder vervanging van de beluchtingselementen.

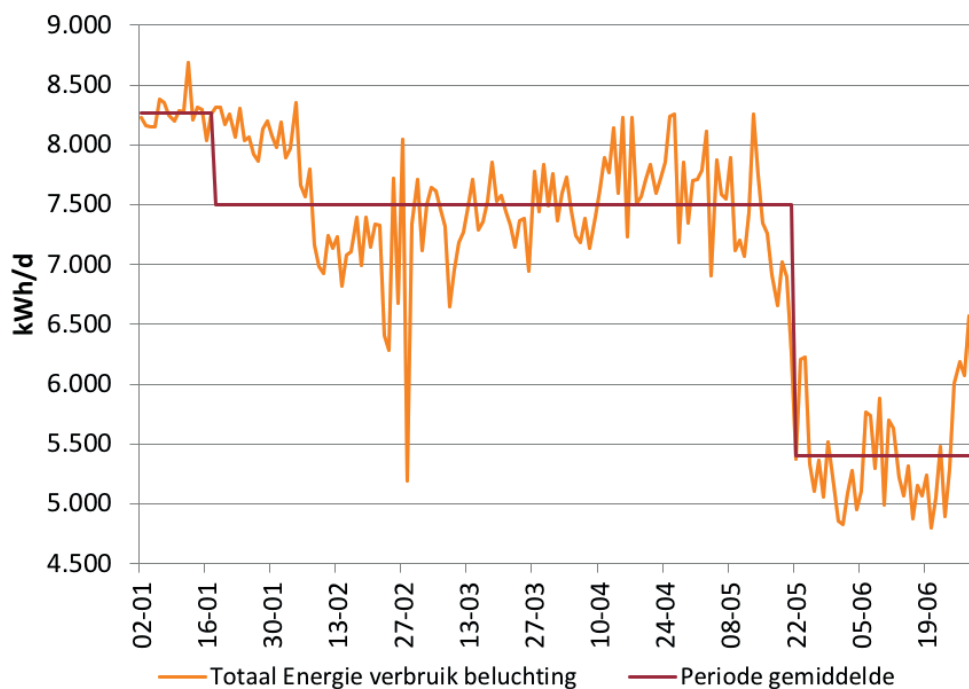
FIGUUR 5.18 BELUCHTINGSENERGIE IN MAANDTOTALEN 2017



Vanaf augustus loopt het energieverbruik weer op en dat heeft er mee te maken dat één puntbeluchter op continu staat om daarmee een voldoende hoog zuurstofgehalte te handhaven om te voorkomen dat P-release optreedt. Aan het eind van het jaar is deze procesinstelling weer gewijzigd door de puntbeluchter weer in de zuurstofregeling op te nemen.

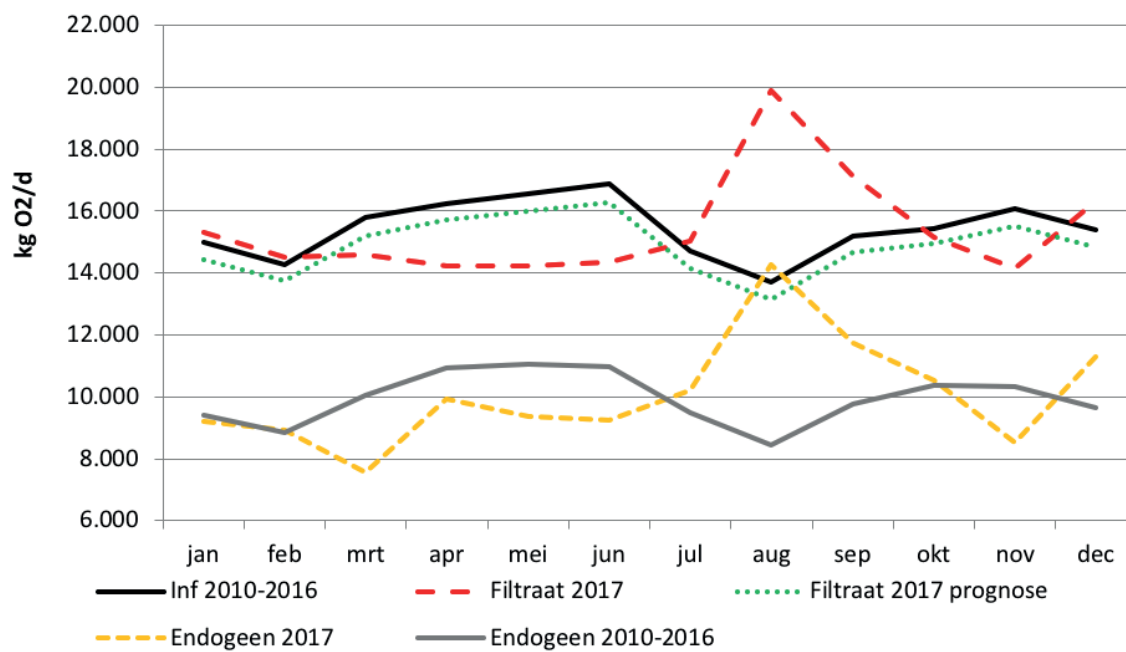
Om toch een indruk te krijgen in hoeverre de fijnzeefinstallatie invloed heeft gehad op de beluchtingsenergie is de periode tot juni uitgelicht (Figuur 5.19) en wordt zichtbaar dat het energieverbruik een niveau is gedaald van gemiddeld 8.270 naar 7.500 kWh/d en dat is een daling van 9,3%.

FIGUUR 5.19 ENERGIE VOOR BELUCHTING IN KWH/D



Een andere manier om de afname te kwantificeren is het berekenen van de zuurstofvraag in kg O₂/d voor de referentieperiode 2010-2016 en voor 2017 met het filtraat van de fijnzeef-installatie (Figuur 5.20). Hierbij is de correctie voor de zuurstofdeficit en de alfa-factor buiten beschouwing gelaten. De lijn voor de prognose voor 2017 ligt maar iets lager dan voor de periode 2010-2016 en heeft er mee te maken dat de stikstof verwijdering over de fijnzeef nihil is en wel een belangrijk aandeel in de zuurstofvraag is.

FIGUUR 5.20 ZUURSTOFVRAAG



De zuurstofvraag is ten opzichte van de referentie in de periode februari tot en met juni gedaald en dat komt neer op circa 8,4% en komt dus redelijk goed overeen met de daling van het gemeten energieverbruik. Vervolgens is te zien dat de zuurstofvraag toeneemt in augustus en de reden daarvan is ook te zien en heeft te maken met een hoge zuurstofvraag voor endogene ademhaling als gevolg van een hoog slibgehalte in de beluchtingstank (Figuur 5.15), waar deze normaliter lager is. Waarmee wordt aangetoond dat om een besparing ook daadwerkelijk te realiseren het van belang is toe te zien op een goede procesvoering.

5.3 EFFECT OP DE SLIBLIJN

5.3.1 SURPLUSLIB PRODUCTIE

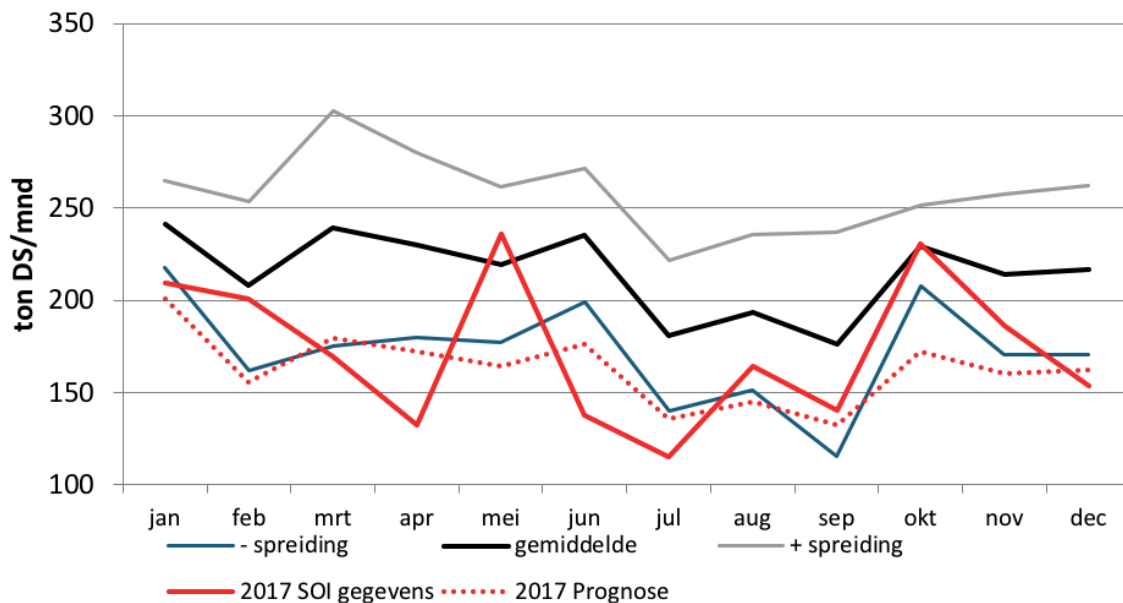
De surplus slibproductie is in 2017 met 20% gedaald ten opzichte van de referentieperiode 2010-2016 (Tabel 5.12).

TABEL 5.12 SURPLUSLIBPRODUCTIE

Parameter	2010-2016	2017	Eenheid
Slibproductie droge stof	2.584	2.076	ton DS/j
Afname slibproductie		20%	
Droge stof	21,9%	23%	%DS
PE verbruik	11,4 - 13,6	13,7 - 26,7	Kg PE/kg DS
Afvoer ontwaterd slib	11.800	9.030	ton/j

Op basis van onderzoeksresultaten op de RWZI Blaricum [1] en een fijnzeef pilot op de demo-site van de RWZI Leeuwarden (2011) is geschat dat de surplus slibproductie zo'n 25% lager zou kunnen zijn. In Figuur 5.21 is de surplus slibproductie per maand gedurende 2017 weer-gegeven met daarbij de prognose, inschatting, dat de slibproductie met 25% kan dalen [1].

FIGUUR 5.21 SURPLUS SLIB VERWERKT IN DE CENTRIFUGES



De piek voor de slibproductie in mei en oktober is niet goed te herleiden uit de variaties in het slibgehalte of de werkzaamheden in de beluchtingstanks. Wel heeft in die maanden buffering van slib plaatsgevonden in slibindickers in verband met storing of onderhoud aan de centrifuges. In de maanden vóór oktober liep het slibgehalte in de beluchtingstank te veel op; om deze weer op het normale niveau te krijgen is extra slib gespuid.

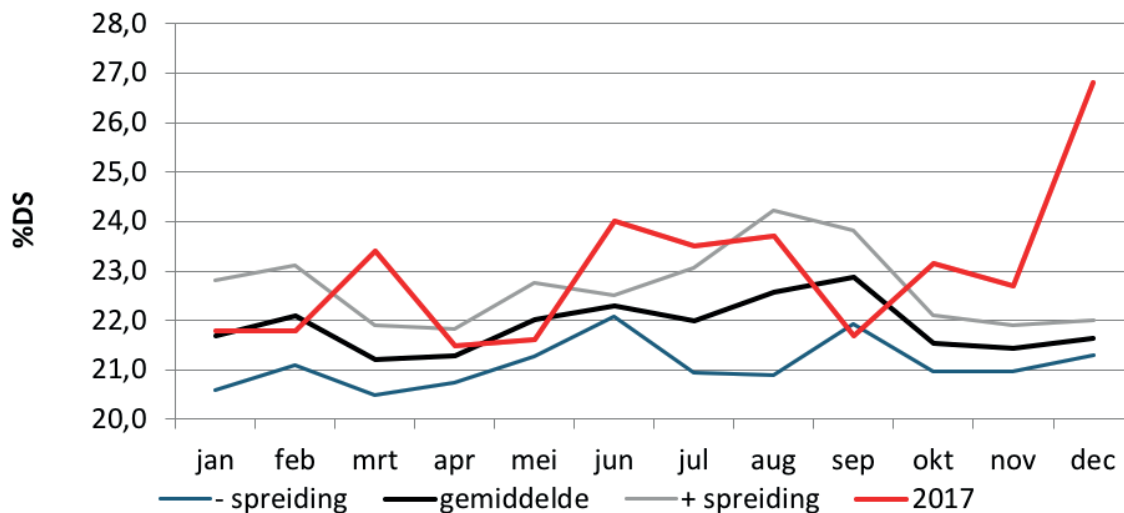
5.3.2 SURPLUSLIB KARAKTERISTIEK

Als belangrijkste karakteristiek kan de gloeirest van de droge stof worden genoemd. Deze resultaten zijn ontleend aan de gloeirest van het ontwaterde slib en deze was gemiddeld voor de periode 2014-2016 17,3% en voor 2017, 19,4%. Het is op grond van deze gegevens niet eenduidig vast te stellen of de stijging wordt veroorzaakt doordat de cellulosevezel en dus organische stof met de fijnzeven is verwijderd. Er is in 2017 meer ijzerzout gedoseerd en dat geeft ook Fe-fosfaat slib en deze hoeveelheid van circa 45 ton/j komt overeen met een stijging van de gloeirest met 2% punten.

5.3.3 SLIBONTWATERING

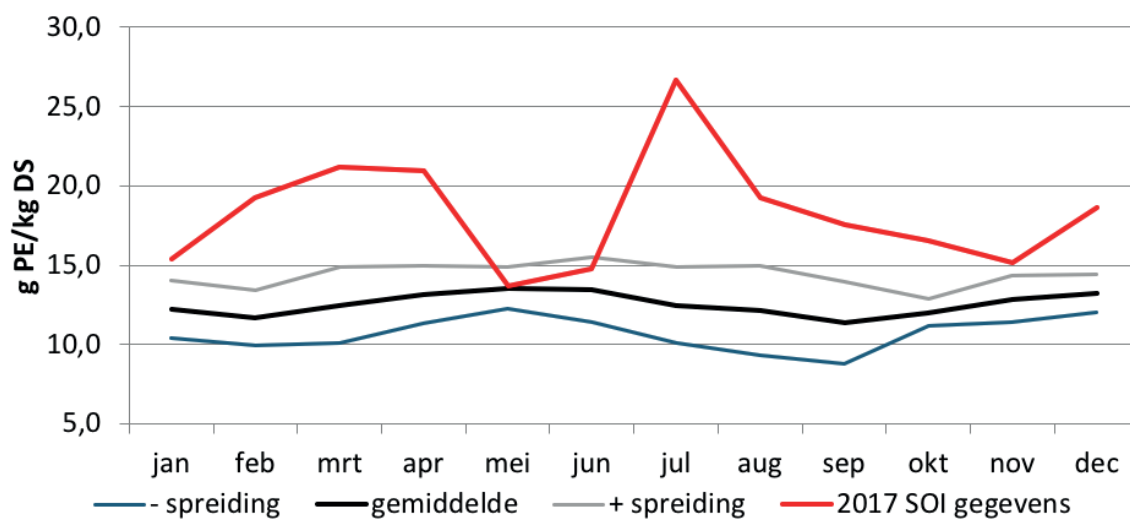
De onderzoeksvragen ten aanzien van slibontwatering zijn of er een verandering optreedt in het percentage droge stof in het ontwaterde slib en het verbruik aan poly-elektrolyt. In Tabel 5.12 is al weergegeven dat er een gemiddelde hoger droge stof percentage is bereikt. In de periode 2010-2016 bedroeg het gemiddelde 21,9% en over 2017 was deze gemiddeld 23% (Figuur 5.22).

FIGUUR 5.22 DROGE STOF CONCENTRATIES ONTWATERD SLIB



Hierbij is wel een hoger verbruik aan poly-elektrolyt gemeten met een gemiddelde van 18,3 g PE/kg DS over 2017 waar deze in de periode 2010-2016 gemiddeld 12,5 g PE/kg DS was. Hierbij dient wel te worden aangetekend dat dit verbruik lager had kunnen zijn als alerter was gereageerd bij de bedrijfsvoering van de slibcentrifuges. Zo blijkt uit Figuur 5.23 dat in de maanden mei en juni het PE-verbruik op hetzelfde niveau ligt als voor 2010-2016 met ook vergelijkbare %DS in het ontwaterde slib.

FIGUUR 5.23 VERBRUIK AAN POLY-ELEKTROLYT ONTWATERING

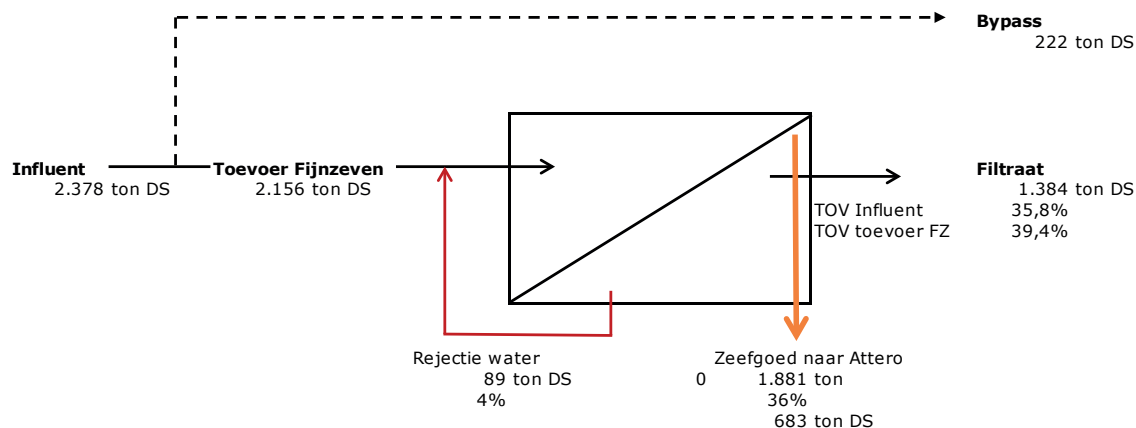


5.3.4 MASSABALANS

Met de berekende vrachten in influent en filtraat en de afvoer van zeefgoed naar Attero is op basis van de jaargemiddelden een massabalans opgesteld. Hierbij wordt opgemerkt dat het aangegeven rendement ten opzichte van influent in Figuur 5.24 lager uitvalt dan in Tabel 5.3 en dat heeft ermee te maken dat de waarde in de tabel een gewogen gemiddelde is over de bemonsteringsdagen. Dit is nauwkeuriger dan het jaargemiddelde van de vrachten en daarvan een verwijdering berekenen.

FIGUUR 5.24

MASSABALANS



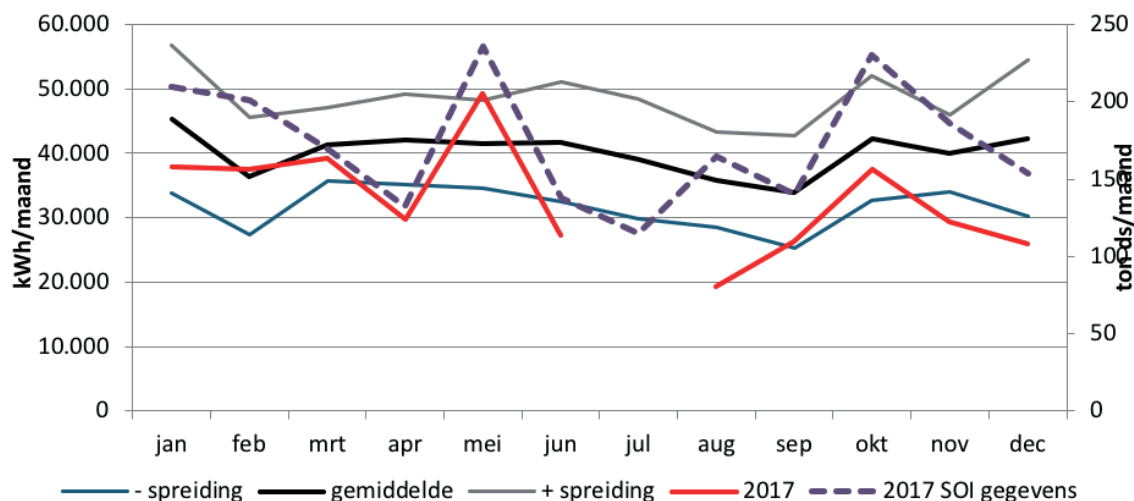
Uit de balans blijkt dat ongeveer 4% van de toevoer aan onopgeloste bestanddelen naar de fijnzeven via de zeefgoedontwatering in het rejectiewater terecht komt. Het debiet aan rejectiewater is gemeten en komt over het gehele jaar uit op zo'n 45.000 m³. Waarbij wel dient te worden opgemerkt dat in eerste instantie de meting niet accuraat is geweest als gevolg van een onjuist ingesteld pompdebiet (500 in plaats van 150 m³/u) in het SCADA systeem. De verzamelde data van dit debiet is later gecorrigeerd met de factor 150/500. Het rejectiewater is ook bemonsterd, 12 maal volumeproportionele dagmonsters, en het gemiddelde bedroeg 9.067 mg OB/l. En met deze metingen komt het retour aan droge stof uit op 408 ton droge stof per jaar. Dit is een groot verschil met de 89 ton DS/j die uit de balans komt. Naast de onzekerheid omtrent het debiet aan rejectiewater is de vraag of de bemonstering ervan betrouwbaar is geweest. Het kan zijn dat over een dag het aandeel aan perswater waarin veel droge stof voorkomt vaker is bemonsterd dan water afkomstig van het drainen van de fijnzeven dat een lager concentratie aan OB zal bevatten. Uitgaand van betrouwbare metingen in het influent, filtraat en de gewogen afvoer van het zeefgoed wordt de uitkomst van de massabalans als meest aannemelijke en juist gezien.

5.3.5 ENERGIEVERBRUIK SLIBLIJN

Het gemiddelde energieverbruik voor de sliblijn op de RWZI Beemster in de periode 2010-2016 bedroeg 482 MWh/j. De sliblijn betreft de pompen voor het surplus slib vanuit de biologie, slibindikker, centrifuge, PE-aanmaak en dosering en slibsilo's. Over 2017 kwam het gemiddelde verbruik uit op 395 MWh/j en dat is een daling van 18%.

FIGUUR 5.25

ENERGIEVERBRUIK SLIBLIJN



In juli 2017 heeft zich een storing voorgedaan in het verzamelen van de data waardoor geen betrouwbaar maandtotaal van het energieverbruik voor juli voor de sliblijn kon worden vastgesteld en is deze in de grafiek niet weergegeven. De piek in slibproductie in mei (Figuur 5.21) is voor het energieverbruik ook terug te zien, maar voor oktober in veel mindere mate.

5.3.6 VERGISTBAARHEID

Er zijn een tweetal gistingstesten uitgevoerd met het zeefgoed van de fijnzeefinstallatie. De eerste keer is in oktober 2016 geweest en in die periode functioneerde de zeefgoedontwatering nog niet optimaal. Dat is te zien aan de concentratie droge stof van 20,4% (9,3% anorganische stof). De tweede meting is van juni 2017 met 35,3% droge stof en 7,1% anorganische stof. De biogasproductie is wel heel verschillend met 90 en 238 m³/ton slib. Ter vergelijking zijn ook testen met zeefgoed van RWZI Aarle-Rixtel opgenomen.

TABEL 5.13 VERGISTBAARHEID ZEEFGOED VAN RWZI BEEMSTER EN TER VERGELIJKING RWZI AARLE-RIXTEL

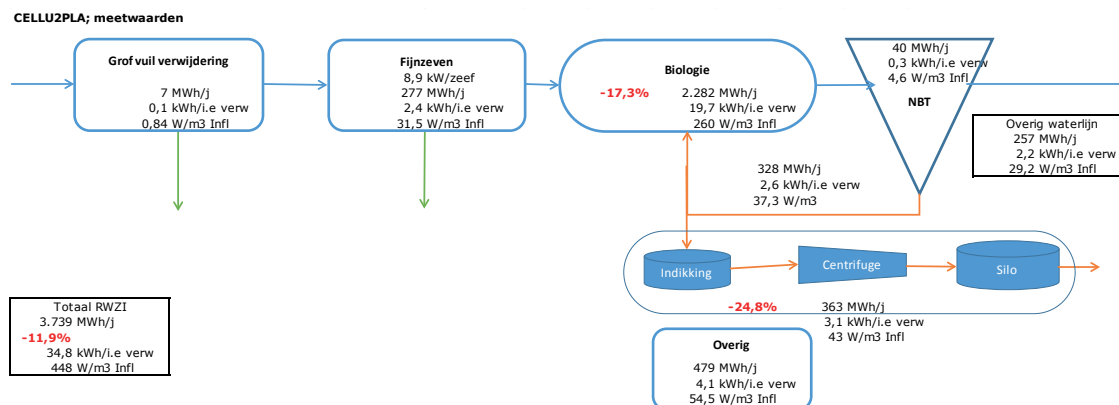
Parameter	Zeefgoed	Zeefgoed	Zeefgoed voor gedroogd	Zeefgoed	Eenheid
Waterschap	HHNK	HHNK	Aa&Maas	Aa&Maas	
RWZI	Beemster	Beemster	Aarle-Rixtel	Aarle-Rixtel	
Datum	29-6-2017	31-10-2016	1-3-2016	1-3-2016	
Droge stofgehalte	35,3%	20,4%	59,0%	24,6%	DS
Organische stof	92,9%	90,7%	92,2%	93,4%	van DS
Afbraak droge stof	72,2%	42,8%	56,7%	63,8%	van DS
Afbraak organische stof	77,7%	47,2%	61,5%	68,3%	van CZV
Specifieke biogasproductie	0,73	0,49	0,68	0,69	m ³ /kg ODS in m ³ /kg ODS verwijderd
Specifieke biogasproductie	0,93	1,04	1,11	1,01	m ³ /kg DS in
Biogasvorming	238	90	370	158	m ³ /ton
CH ₄ concentratie	59%	60%	59%	58%	vol. % CH ₄

In feite is m³/ton slib geen goede maat voor de opbrengst van biogas uit vergisten van zeefgoed of slib. Het aandeel organische slib in een ton slib bepaalt de biogasopbrengst. De organische stof is in zeefgoed veel hoger, ter illustratie natte vergisting van zuiveringsslib levert 10-15 m³ biogas per ton op. Maatgevender is de specifieke biogasproductie per kilogram verwijderd organische stof. Voor zuiveringsslib bestaande uit 50% primair slib en 50% surplus slib is dit circa 0,9 m³/kg ODS verwijderd en voor zeefgoed is 0,93 – 1,11 gemeten. Grosso modo levert afbraak van 1 kg ODS dus voor zuiveringsslib en zeefgoed ongeveer hetzelfde op. De uiteindelijke gasproductie wordt dan bepaald door het percentage afbraak aan organische stof. Voor zuiveringsslib (50%/50%) is dit bij benadering 40% en voor zeefgoed dus 47,2% tot 77,7% (Tabel 5.13). Dus vergisting van zeefgoed zal meer biogas opleveren.

5.4 ENERGIEBALANSEN

Uit de energiebalans (Figuur 5.26) blijkt dat er een daling aan energieverbruik is gerealiseerd van bijna 12%. Hierbij dient echter in beschouwing te worden genomen dat hier de vervanging van de beluchtingselementen en het baggeren van de beluchtingstank de belangrijkste bijdrage hebben in de daling.

FIGUUR 5.26 ENERGIEBALANS RWZI



In paragraaf 5.2.5 is vermeld dat als gevolg van de verwijdering van onopgeloste bestanddelen de beluchtingsenergie met 9,3% is gedaald in de periode voor de activiteiten (vervanging elementen) in de beluchtingstank. In Tabel 5.14 is berekend wat de werkelijk energiebesparing is, gerealiseerd door toepassen van de fijnzeefinstallatie. Hierbij gekeken naar het energieverbruik van de fijnzeven, beluchting en slibverwerking als belangrijkste onderdelen. De besparing komt dan uit op 2%; 99 MWh/j zo'n € 9.900,-/j. Waarbij het gebruik aan elektrische energie door de fijnzeven bijna wordt gecompenseerd door de besparing aan beluchtingsenergie.

TABEL 5.14 ENERGIEVERBRUIK BELANGRIJKSTE ONDERDELEN RWZI

Onderdeel	Eenheid	2010-2016	2017	Daling
Fijnzeven	MWh/j		277	
Biologie	MWh/j	2.757	2.501	9,3%
Slibverwerking	MWh/j	482	395	18%
Som	MWh/j	3.239	3.173	2%

5.5 EVALUATIE FUNCTIONEREN RWZI

Er hebben zicht geen situaties voorgedaan die het functioneren van de biologische zuivering hebben beïnvloed of tot storingen hebben geleid. Door het baggeren van de beluchtingstank en het vervangen van de beluchtingselementen is niet meer vast te stellen in hoeverre de fijnzeefinstallatie van invloed is geweest op het functioneren van de zuivering en de effluentkwaliteit (paragraaf 5.2.4.).

6

TOILETPAPIER VERBRUIK

Eén van de aspecten van het onderzoek was om aan de hand van de cellulosemetingen in het afvalwater van Ulrum (gemeente Marne) in het kader van het CADoS project te herleiden wat het verbruik aan toiletpapier is en of dit overeenkomt met wat tot nu toe steeds is aangehouden. Heeft de grondstof cellulose die met fijnzeven uit het afvalwater wordt gehaald potentie voor hergebruik en/of waardevolle inzet. Daarvoor is het van belang dat de omvang van dit potentieel voor de maatschappij wordt vastgesteld. In dit hoofdstuk worden de metingen op locatie getoetst aan de in de literatuur beschreven specifieke consumptie van toiletpapier (als maat voor de hoeveelheid cellulose die in het afvalwater terecht komt).

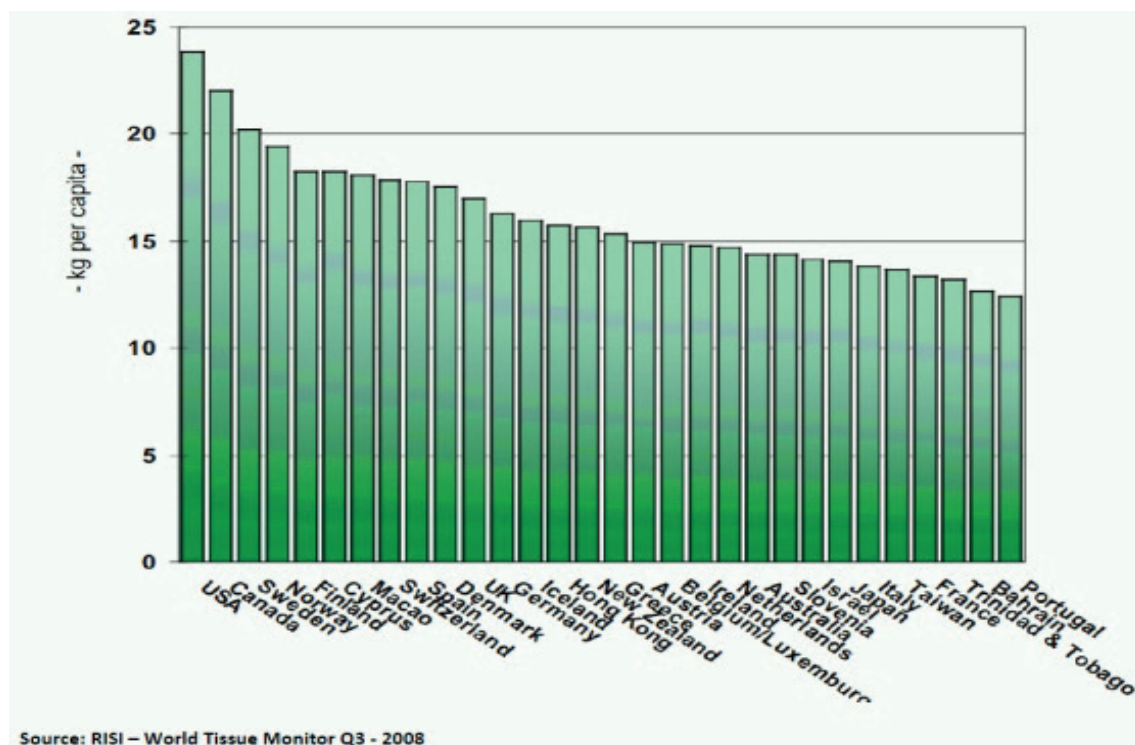
In het STOWA rapport (2010-19) 'Influent fijnzeven in RWZI's' is vermeld [1]; "Toiletpapier wordt in de meeste westerse landen geloosd samen met het afvalwater naar een rioolwaterzuivering (RWZI). Een gemiddelde inwoner van West Europa verbruikt gemiddeld circa 10 – 14 kg [toiletpapier] per jaar, dit is in de orde grootte van 30% tot 50% van de zwevende bestanddelen van het influent". Het verbruik is waarschijnlijk ontleend aan cijfers gepubliceerd in World Watch Magazine [4]. In deze bron staat voor West Europa 13,8 kg en voor United States of America 23 kg 'per capita annual consumption of toilet tissue' opgegeven. Een andere bron is 'European Tissue Symposium' (<http://europeantissue.com/>). De publicatie in World Watch Magazine geeft als bron (ook) European Tissue Symposium op en daar is Figuur 6.1 aan ontleend. In het artikel van Ruiken et al. [3] wordt 10-13 kg cellulose per inwoner in het beheersgebied van Waternet (1.200.000 personen) aangehouden.

Voor de RWZI Ulrum is 13 en 43 mg cellulose/l in het afvalwater gemeten (enzymatische methode) en dat komt neer op 5,7 kg toiletpapier per inwoner van de gemeente Marne. In het kader van het STOWA onderzoek Cellu2PLA Monitoring RWZI Beemster zijn ook metingen uitgevoerd naar het cellulosegehalte in het afvalwater. Deze is gemiddeld 65 mg cellulose/l en dat komt uit op 7,2 kg toiletpapier per inwoner. Dat correspondeert niet met de tot nu gehanteerde 10-14 kg toiletpapier per inwoner.

Om te kunnen verklaren waarom 'slechts' 50% van de cellulose door middel van metingen wordt teruggevonden is onderzoek gedaan naar de herkomst van de genoemde waarden in eerdergenoemd rapport en artikel.

FIGUUR 6.1

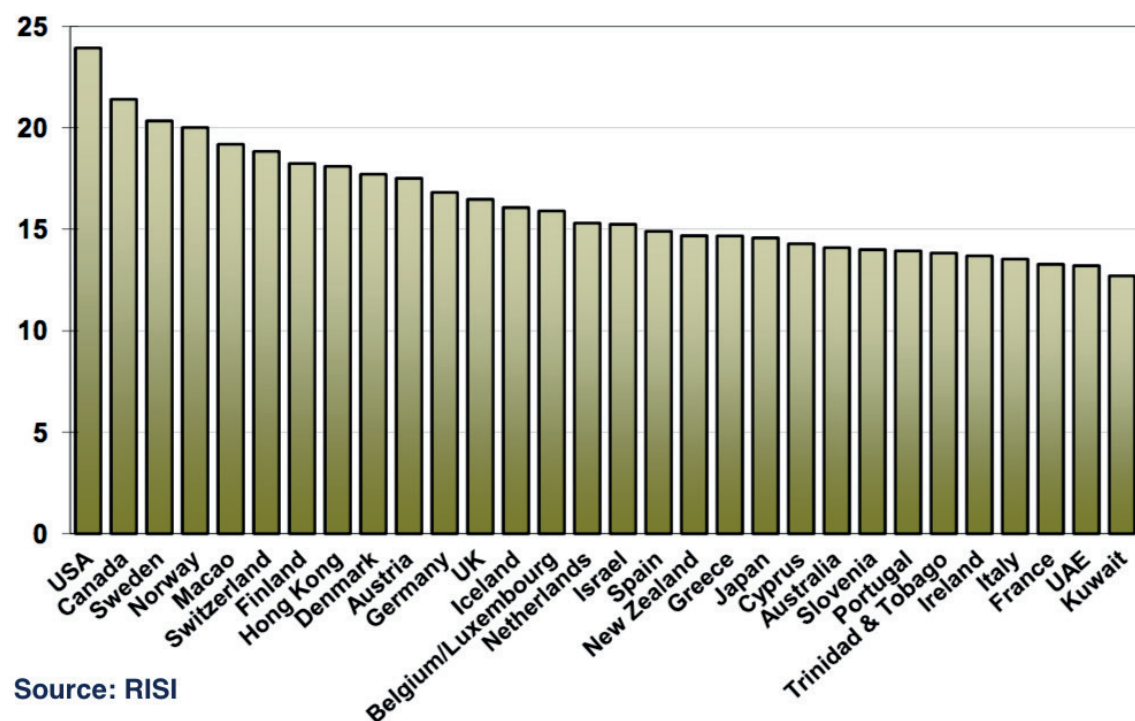
TOP 30 LANDEN IN DE WERELD TISSUE VERBRUIK IN KG PER HOOFD VAN DE BEVOLKING IN 2007



De waarden van 23 en 13,8 voor respectievelijk U.S.A en West Europa (o.a. Nederland) zijn ontleend aan deze grafiek. Er is ook een nieuwere versie (zie Figuur 6.2)

FIGUUR 6.2

TOP 30 LANDEN IN DE WERELD TISSUE VERBRUIK IN KG PER HOOFD VAN DE BEVOLKING IN 2011

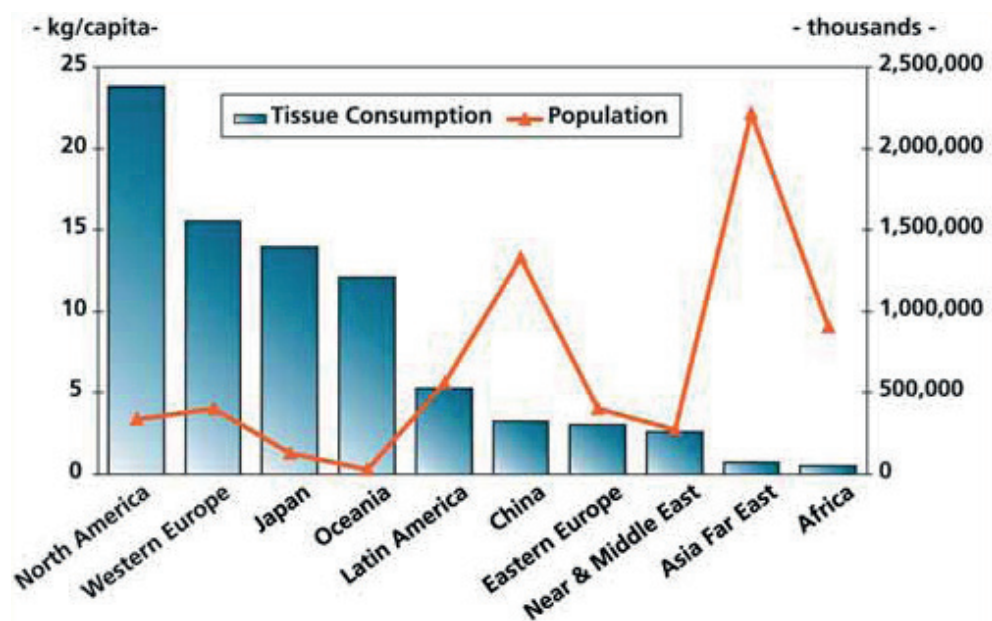


Wat opvalt is dat in de titels staat vermeld 'tissue consumption' en niet specifiek 'toilet paper consumption'. Dat geeft dus aan dat de gegevens in de grafieken dus niet specifiek het toilet-papier verbruik is, maar ook zaken als papieren zakdoekjes, papieren handdoeken, servetten

en keukenpapier. Verder zoekend naar het verbruik van toiletpapier komt ook de site van RISI (Resource Information Systems Inc.) naar voren. Deze organisatie beschrijft zichzelf met: “RISI is the best positioned and most authoritative global source of forest products information and data. We have a comprehensive digital offering which helps provide understanding and insight for our expanding customer base in this growing market. With over 150 expert industry professionals on our team, we supply the world’s most comprehensive and current data on supply and demand, pricing and costs to customers around the globe. [...] Our clients span the entire forest products industry, from forest floor to mill floor to sales floor - including pulp and paper, wood products, timber, tissue and nonwoven segments. RISI data are widely used for indexing of physical trade.” Deze organisatie levert dus informatie over de productie van houtpulp en welke producten daarvan gemaakt worden, prijzen, ontwikkelingen, etc. Op deze site is een artikel [5] te vinden over de groei van de tissue markt. In dit artikel is dezelfde informatie te vinden als in die in Figuur 6.3 en ziet er als volgt uit.

FIGUUR 6.3

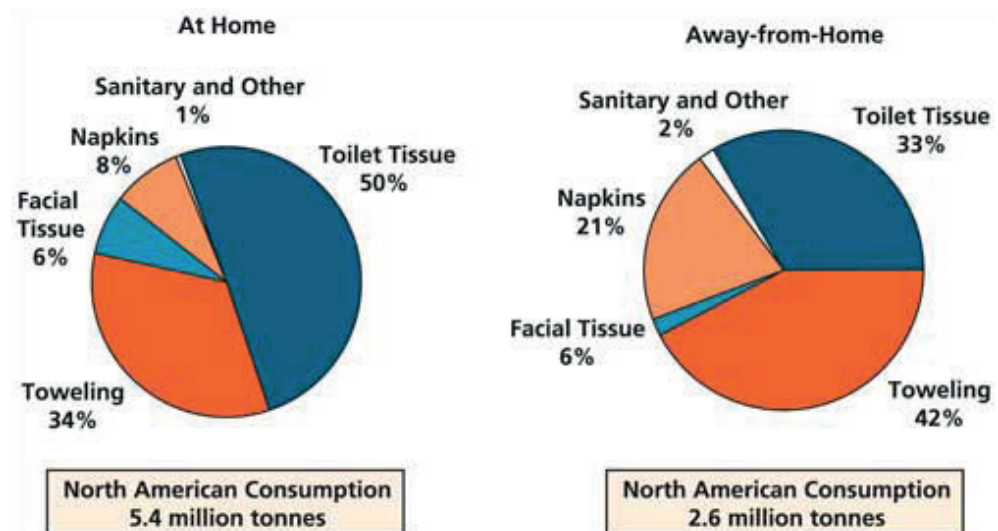
TISSUE VERBRUIK IN KG PER HOOFD VAN DE BEVOLKING EN AANTAL INWONERS (BRON: RISI, 2008)



Vervolgens wordt informatie gegeven over de structuur van de tissue markt (Figuur 6.4).

FIGUUR 6.4

SECTOR EN STRUCTUUR VAN DE TISSUE MARKT



Hier wordt het vermoeden bevestigd dat de eerdere verbruikscijfers dus niet betrekking hebben op alleen het toiletpapier verbruik. Voor U.S.A. is toiletpapier 50% van het totaal verbruik aan tissues thuis. In de taartgrafiek wordt zelfs de verdeling voor thuis en buitenshuis (33% toiletpapier) verbruik gegeven. In onderstaande Tabel 6.1 is de verdeling nogmaals weergegeven en de kg/j uitgerekend.

TABEL 6.1

TISSUE EN TOILETPAPIERVERBRUIK U.S.A

Parameter	Thuis	Uit huis	Totaal	Eenheid
Verbruik USA	5.400.000	2.600.000	8.000.000	ton/j
Verbruik per persoon aan tissues	15,6	7,5	23	kg/j
Verbruik per persoon toiletpapier	7,8	2,3	10,1	kg/j
Verbruik per persoon cellulose	7,0	2,0	9,1	kg/j

Voor verbruik aan toiletpapier thuis, komt het uit op 7,8 kg/j en er van uitgaande dat toiletpapier 90% cellulose bevat [6] is dit 7 kg cellulose per jaar.

Uit Tabel 6.1 blijkt een ander belangrijk aspect namelijk het thuis en uit huis verbruik. Voor Ulrum komt het verbruik cijfer lager uit dan voor bijvoorbeeld Beemster en werd al vermoed dat dit mogelijk te maken heeft met het feit dat overdag het overgrote deel van de inwoners van Ulrum niet thuis is. Dat geldt overigens ook (ten dele) voor de RWZI Beemster. Het afvalwater van Purmerend gaat naar deze zuivering, maar ook hier is het aannemelijk dat een deel van de bevolking overdag niet thuis is of niet in Purmerend werkt. En deze redenatie volgend zou het logisch zijn dat het afvalwater van Amsterdam meer cellulose bevat, vanwege de vele forenzen. Zodat de eerdergenoemde range van 10-13 kg cellulose voor Amsterdam aannemelijk wordt. Maar voor heel veel RWZI's in Nederland ligt het dus lager. Er zijn helaas geen gegevens van influentmetingen in afvalwater van andere RWZI's om dit te staven.

De conclusie is dat de gehanteerde getallen dus over totaal verbruik aan tissues gaat en niet specifiek het toiletpapier betreffen. Het gaat dus over 10-14 kg tissues/jaar per persoon. Hoe de verdeling aan tissues voor de West Europese of zelfs Nederlandse markt is, is niet bekend., maar het verbruik aan toiletpapier is dus fors lager dan de 10-14 kg. Uit de metingen die nu beschikbaar zijn, lijkt het aannemelijker dat grosso modo de aanvoer aan toiletpapier ligt tussen de 6 – 8 kg/persoon per jaar met uitschieters voor steden waar veel forenzen werken.

7

RWZI BEEMSTER EN AARLE-RIXTEL

In dit hoofdstuk worden de fijnzeefinstallaties op de RWZI's Beemster en Aarle-Rixtel op een aantal hoofdzaken met elkaar vergeleken. Van het monitoringsonderzoek op de RWZI Aarle-Rixtel zijn de resultaten beschreven in het rapport 'Monitoring Report Fijnzeven op de RWZI Aarle-Rixtel, het effect van de fijnzeven op het RWZI proces [2].' Voor meer gedetailleerde informatie wordt hiernaar verwezen.

In dezelfde periode dat de fijnzeefinstallatie op de RWZI Beemster in bedrijf werd genomen is die ook voor de RWZI Aarle-Rixtel opgestart. De realisatie is mede gefinancierd door Eco Innovation Initiative van de Europese Unie onder de naam Screencap. De RWZI Aarle-Rixtel heeft een capaciteit van 272.000 i.e. en bestaat uit twee zuiveringsstraten. Waarmee één zuiveringstraat van de RWZI Aarle-Rixtel nagenoeg dezelfde capaciteit heeft als de RWZI Beemster. De fijnzeefinstallatie van de RWZI Aarle-Rixtel bestaat uit 8 fijnzeven die het afvalwater van één zuiveringstraat (nr. 1) behandelen. In de periode 13 oktober 2016 t/m 15 augustus 2017 heeft intensieve monitoring plaatsgevonden van de fijnzeefinstallatie en van beide zuiveringsstraten. Door de resultaten van de fijnzeef-zuiveringsstraat te vergelijken met de conventionele zuiveringsstraat is het effect van de fijnzeef-voorbehandeling op het biologische proces bepaald. Voorafgaand aan dit onderzoek is een nul onderzoek uitgevoerd [7], welke heeft bevestigd dat beide zuiveringsstraten bij aanvang van het onderzoek vergelijkbaar waren.

FIGUUR 7.1

FIJNZEEFINSTALLATIE RWZI AARLE-RIXTEL



7.1 PRESTATIES FIJNZEVEN

In onderstaande Tabel 7.1 zijn voor een aantal parameters de prestaties voor Aarle-Rixtel en Beemster weergegeven.

TABEL 7.1 DE BELANGRIJKSTE PRESTATIES VAN DE FIJNZEVEN EN HET EFFECT OP DE BELANGRIJKSTE PARAMETERS VAN HET RWZI PROCES

Parameter	Aarle-Rixtel	Beemster	Eenheid
Verwijderingsrendementen			
OB ¹	20-25%	36,1%	Verwijdering
CZV	10-15%	18,9%	Verwijdering
BZV	15%	17,1%	Verwijdering
N	2%	4,3%	Verwijdering
P	2%	4,3%	Verwijdering
Zeefgoed productie	1.275	1.870	kg DS/d
Aandeel cellulose van droge stof ²	55%	43%	
Cellulose productie	700	805	kg cellulose DS/d
Energieverbruik ³	53	39	W/m ³
	1.656	798	kWh/d
Effect op RWZI proces:			
Effluent concentraties (CZV, N, P)	vergelijkbaar		vergelijkbaar
Slib bezinking (SVI)	vergelijkbaar		vergelijkbaar
Slib ontwatering	vergelijkbaar		vergelijkbaar
Beluchttingsdebiet daling	15%	9,3%	Minder
Spuislib productie daling	10%	20%	Minder
Capaciteit RWZI vergroting	10%	14%	Groter

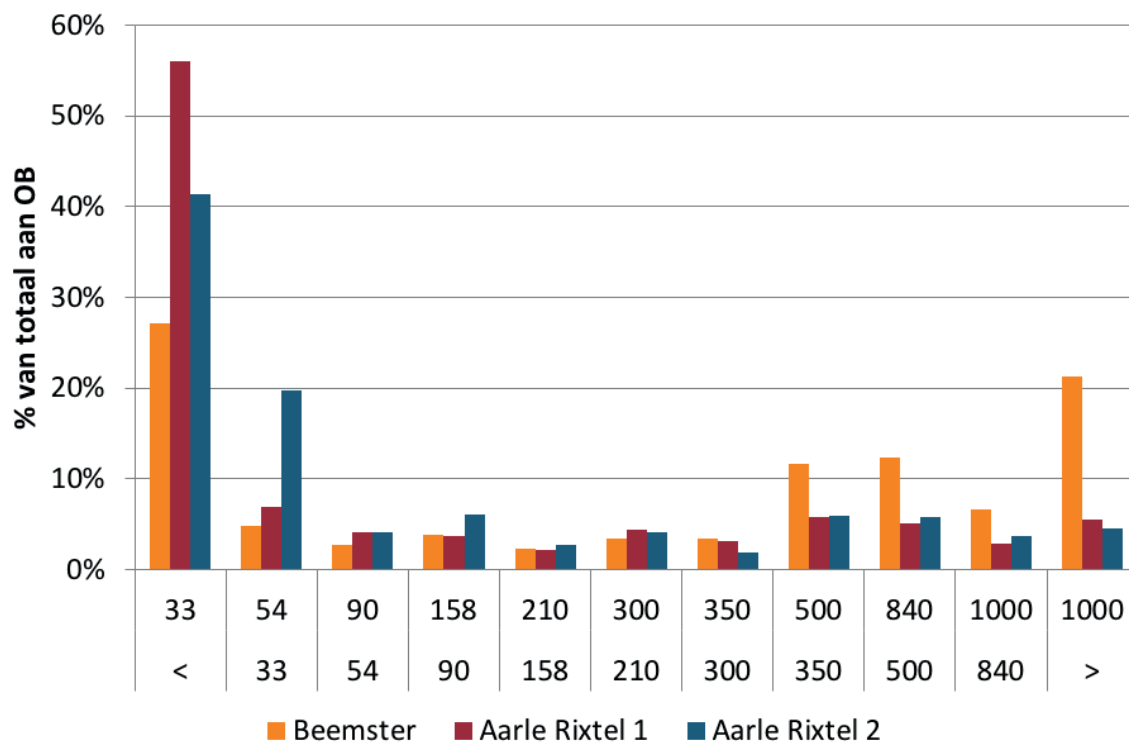
1) Aarle-Rixtel OB analyse uitgevoerd volgens NEN 872 met een glasfilter met poriegrootte 1,2 µm, Beemster 0,45 µm.

2) Aarle-Rixtel bepaald met de Van der Soest methode, voor Beemster de enzymatische methode.

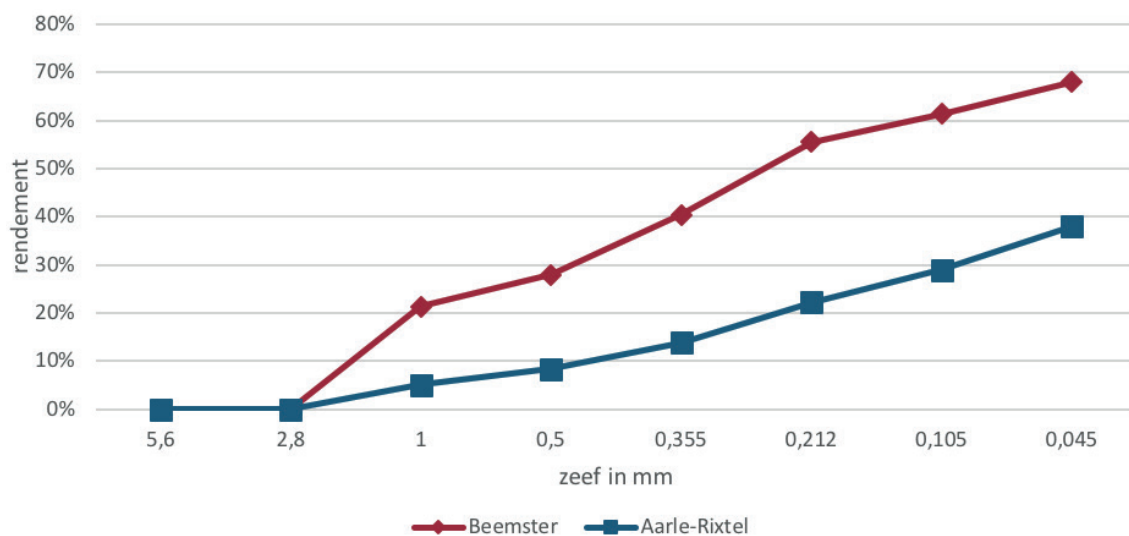
3) Totale energieconsumptie, inclusief pomp-stap voor Aarle-Rixtel, Beemster heeft geen pomp-stap.

De verwijderingsrendementen voor CZV, BZV, stikstof en fosfaat liggen voor beide installaties in dezelfde orde van grootte, maar voor OB is er een duidelijk verschil. De analyses voor OB zijn weliswaar met verschillende porie grootte voor de filters uitgevoerd, maar dit is geen verklaring voor het grote verschil. Ten opzichte van de prestaties op RWZI Aarle-Rixtel, worden op de RWZI Beemster hogere rendementen behaald. Het influent van RWZI Aarle-Rixtel blijkt erg veel kleine deeltjes te bevatten t.o.v. RWZI Beemster. Zie ook de meetgegevens in Figuur 7.2. Dit leidt tot lagere verwijderingsrendementen op de fijnzeef van RWZI Aarle-Rixtel (Figuur 7.3). De deeltjesgrootteverdeling van het influent is slechts enkele keren bepaald (Aarle-Rixtel 2x, Beemster 1x) dus de waarneming is nog indicatief en het is moeilijk om hier al definitief een conclusie uit te trekken.

FIGUUR 7.2 DEELTJESGROOTTE VERDELING IN INFLUENT VAN AARLE RIXTEL EN BEEMSTER (EENHEDEN IN MICROMETER)



FIGUUR 7.3 CUMULATIEVE VERWIJDERING VAN OB BIJ AFNEMENDE MAASWIJDTE (1 MAAL BEPAALD)



Figuur 7.3 laat zien dat een onderzoek naar deeltjesgrootte in het influent relevant is om een indruk te krijgen van de verwijdering van OB met fijnzeven. Dat de fijnzeven in Aarle-Rixtel minder OB verwijderen, resulteert dus ook in een lager productie aan zeefgoed en dus cellulosevezel. De zeefgoedproductie bedraagt zo'n 70% van die van de Beemster. Het zeefgoed van Aarle-Rixtel bevat 55% aan cellulosevezel en voor de Beemster was dit ruim 43%. De concentratie aan cellulose is voor Aarle-Rixtel volgens de 'Van der Soest' methode bepaald en voor de Beemster is de enzymatische methode toegepast. Er heeft geen vergelijkend onderzoek plaatsgevonden met de vraag of beide methoden tot verschillende uitkomsten leiden. Dus de waarden in Tabel 7.1 zijn niet goed te vergelijken.

7.2 EFFECT OP BIOLOGISCHE ZUIVERING

De slibbelasting is in de Beemster gedaald van 0,2 kg CZV/kg DS gemiddeld in 2010-2016 naar 0,17 kg CZV/kg DS in 2017. Voor Aarle-Rixtel bedroeg deze voor de onbehandelde straat (1) 0,17 kg CZV/kg DS en voor de straat (2) met fijnzeven 0,15 kg CZV/kg DS. Daarbij bedroeg het slibgehalte in de Beemster in de referentieperiode en in 2017 gemiddeld 3,8 g/l. Voor Aarle-Rixtel was het slibgehalte in straat 1; 4,9 g/l en in straat 2: 5,2 g/l.

Een andere belangrijke parameter is het effect op de Slib Volume Index en dus de bezinking in de nabezinktanks. Voor Aarle-Rixtel is geen verschil geconstateerd tussen beide straten (73 en 72 ml/g) en voor de Beemster is de SVI gedaald van 120 ml/g (2010-2016) naar 105 ml/g gemiddeld in 2017. Hiermee is de vrees dat de verwijdering van de cellulosevezel tot gevolg heeft dat er geen goede vlokvorming kan plaatsvinden met mogelijk licht slib, slecht bezinking en slibuitspoeling uit de nabezinktanks ongegrond.

Zonder de toepassing van fijnzeven zullen de cellulosevezels in het actief slib terechtkomen en deel uitmaken van de slibvlok. Tijdens het monitoringsjaar is op de Beemster het aandeel aan cellulose gemeten en komt gemiddeld uit op 1,1%. Ervan uit gaande dat ruim 40% van de cellulosevezel niet wordt afgevangen zou theoretisch een concentratie van 9% van de droge stof worden verwacht. De cellulose wordt dus grotendeels afgebroken. Er zijn geen analyses gedaan van het actief slib voor de ingebruikname van de fijnzeven zodat die vergelijking niet gemaakt kan worden.

Voor Aarle-Rixtel bleek de 'Van der Soest'-methode geen betrouwbaar resultaat op te leveren voor cellulose, wel is actief slib onder de microscoop bekeken en zijn de vezels geteld. Voor de straat met fijnzeven kwam dit uit op 216 per ml en voor de referentiestraat 398 per ml. Dus beduidend minder vezels in de straat met fijnzeven. Hierbij wordt wel opgemerkt dat het slibgehalte in straat 1 iets lager was dan in straat 2.

De verkregen informatie is te summier om conclusies uit te trekken en zal nader onderzoek nodig zijn om meer inzicht te krijgen in de afbraak van cellulose door actief slib.

7.3 SLIBPRODUCTIE

Uit de vergelijking van beide zuiveringsstraten op Aarle-Rixtel is naar voren gekomen dat de slibproductie in de straat met fijnzeven met 10% is gedaald. Voor de Beemster komt die daling in vergelijking met de referentieperiode uit op ruim 20%.

7.4 ENERGIEVERBRUIK

Voor Aarle-Rixtel blijkt dat 40% van het totaal aan energieverbruik voor de opvoerpompen is en dat het verbruik van de fijnzeefinstallatie dan uitkomt op: 994 kWh/d. Voor de Beemster kwam het gemiddelde (gecorrigeerde) energieverbruik uit op 798 kWh/d. Hier staan tegenover de effecten van celluloseverwijdering op het verbruik aan energie voor de beluchting en slibverwerking die zullen dalen. Voor Aarle-Rixtel komt de daling voor beluchtungsenergie uit op 13% en voor de Beemster op ruim 9%, met de aanvulling dat door het vervangen van de beluchtingselementen dit niet goed is vast te stellen. Duidelijk is wel dat het verbruik van beluchtungsenergie daalt. Voor slibverwerking ligt de daling voor elektrische energie in de range van 10-15% voor Aarle-Rixtel en voor Beemster op 18%. Eveneens een duidelijke afname. In onderstaande Tabel 7.2 is het netto effect op het totaal energieverbruik voor de RWZI's weergegeven.

TABEL 7.2

EFFECT OP ENERGIEVERBRUIK VAN EEN AANTAL ONDERDELEN OP DE RWZI'S

Onderdeel	Aarle-Rixtel	Beemster	Eenheid
Beluchting	-450	-703	kWh/d
Slibverwerking	-64	-237	kWh/d
Fijnzeefinstallatie (excl. Pomphase)	994	758	kWh/d
Effect op totaal energieverbruik RWZI	480	-182	kWh/d

7.5 BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN

7.5.1 RWZI AARLE-RIXTEL

De eerste maanden draaide de fijnzeefinstallatie probleemloos, er trad slechts een enkele kleine storing op zoals een falende klep of een storing aan een motor. Na enkele maanden kwamen echter grotere problemen voor, en traden meer storingen en aandachtspunten op. Na aanpassingen aan de fijnzeven draaien deze beter, maar er blijven nog een aantal verbeterpunten.

Het grootste probleem is de vervuiling van de zeefbanden. Dit leidt tot verminderde capaciteit, veel onderhoudswerkzaamheden en is mede de oorzaak van gescheurde zeefbanden. De bandreiniging bleek onvoldoende effectief.

In de periode van oktober 2016 tot mei 2017 zijn zeven zeefbanden gescheurd. De zeefbanden scheurden in de lengterichting t.g.v. slijtage doordat zij langs geleidestrips schuren. De leverancier heeft in mei 2017 technische aanpassingen aan de fijnzeven aangebracht ter voorkoming van slijtage en scheuren van de zeefbanden. Dit heeft tot verbetering geleid en de sterke slijtage langs de geleidestrips is hiermee voorkomen. In september 2017 is nogmaals een zeefband gescheurd, deze keer over de volle breedte. Ook was er toen een zeefband met een klein scheurtje in de lengterichting.

Gedurende de bedrijfsvoering raken de zeefbanden dichtgesmeerd met vervuiling, en zijn lastig te reinigen met hoge druk en zeepreiniging. Dit resulteert in verminderde capaciteit omdat een deel van het bandoppervlak niet werkt, hetgeen te zien is doordat geen zeefgoed laag wordt opgebouwd. De vervuilde banden leiden tot ophoping van vervuiling tussen de zeefband en geleidebalk/luchtmes, hetgeen wekelijks gereinigd wordt d.m.v. waterspuiten. Dit is lastig en arbeidsintensief doordat bij het ontwerp van de installatie dit probleem niet is onderkend en hiervoor geen faciliteiten voorzien zijn.

Gedurende het ScreenCap project zijn aanpassingen gedaan aan het reinigen van de zeefbanden, maar verder onderzoek naar technische optimalisatie is nodig. Hieronder valt o.a. het optimaal type sproeier, afstand sproeier tot band, druk, type zeep, frequentie, etc.

Hardnekkige vervuiling, slijtage en scheuren van de zeefbanden lijkt een locatie specifiek probleem op de RWZI Aarle-Rixtel te zijn. Gescheurde zeefbanden op deze schaal komen niet voor op andere RWZI's met fijnzeven (Beemster, Ulrum, Uithuizermeeden, Blaricum en andere buitenlandse referenties van de leverancier). Op de zeefbanden lijkt een fijn-zand/vetmengsel te ontstaan dat zich op de zeefband en in de poriën van de zeefband ophoopt en lastig is te verwijderen. Dit is bijzonder aangezien RWZI Aarle-Rixtel een zand- en vetvanger heeft.

De prestaties van de ontwateringspers voor zeefgoed variëren sterk, zelfs binnen minuten. Het droge stof (DS)-gehalte van het zeefgoed varieert sterk en het perswater bevat een hoge vuilvracht. Gedurende de onderzoeksperiode zijn problemen opgetreden met onderdelen van de pers. Eénmaal is de afvoerleiding van perswater dichtgeslibd, hetgeen tot vervuiling van het gebouw met nat zeefgoed heeft geleid.

7.5.2 RWZI BEEMSTER

De fijnzeven op de RWZI Beemster hebben goed gefunctioneerd wat niet wil zeggen dat zich geen storingen hebben voorgedaan. Er zijn twee zeefbanden gescheurd waarvan de oorzaak niet geheel duidelijk is geworden. Verder ontstond ophoping van zeefgoed plaats daar waar het zeefgoed van de zeefband wordt geworpen. Hiervoor zijn enkele aanpassingen uitgevoerd die het probleem beheersbaar hebben gemaakt.

Voor de RWZI Beemster is meer aandacht uitgegaan naar de zeefgoedontwatering. Na in bedrijf name eind 2016 werd het zeefgoed onvoldoende ontwaterd (20% DS of minder). Een van de oorzaken was dat de zone voor afvoer van drainage- en perswater niet groot (lang) genoeg was. Dit is opgelost door een fase van voorontwatering te creëren, waardoor het indikresultaat verbeterde. Verder bleek tijdens het monitoringsjaar dat de vulling van de trog voor de ontwateringspers niet optimaal was en dat leidde tot overstort en enkele malen uitval van de ontwatering en de fijnzeven. Door het aanpassen van de invoer van zeefgoed in de trog inzet van een en niveausensor is dit probleem verholpen.

8.1 TECHNOLOGIE PILOT PLANT ATTERO

8.1.1 PROCESBESCHRIJVING PILOT PLANT

FIGUUR 8.1 DE PILOT PLANT VAN ATTERO ZOALS DEZE IN NOVEMBER 2016 GEREALISEERD IS



52

schimmels. De autoclaaf moet opwarmen zodat al het zeefgoed de juiste temperatuur heeft (boven 120 °C) en vindt hygiëniserende plaats gedurende minimaal 15 minuten. Na afloop van het proces wordt de autoclaaf drukloos gemaakt en wordt het gesteriliseerde zeefgoed met een vijzel naar de hydrolysetank gebracht. Deze is dan al gevuld met proceswater en is de circulatiepomp in bedrijf. Door het toevoegen van het warme zeefgoed wordt ook het water opgewarmd en bereikt het mengsel al bijna de gewenste procestemperatuur van ca. 50 °C. Na het afsluiten van de hydrolysetank wordt de roerder aangezet en gewacht tot de procestemperatuur van ca. 50 °C volledig bereikt is. De mantel van de hydrolysetank wordt opgewarmd d.m.v. de warmte uit de stoomketel. Bij het bereiken van de procestemperatuur wordt de gewenste hoeveelheid enzym (een cellulase) toegevoegd en start de hydrolyse waarmee cellulose in glucose wordt omgezet.

De hydrolysetijd bedraagt 24-48 uur en gedurende die tijd worden regelmatig monsters genomen. Na afloop van de hydrolyse wordt een deel van het glucosewater naar de filterstraat geleid, waar het ontdaan wordt van vaste delen. De eerste stap is een trommelfilter van 500 micron, daarna volgt een zakkenfilter. In dit filter kunnen verschillende zakken gebruikt worden, variërend van 5 micron tot 400 micron. Daarnaast zijn er ook naaldvilt en polyester zakken, waarbij de naaldvilt zakken dikker zijn en dus meer weerstand bieden en meer deeltjes tegen houden. De laatste stap is een keramisch lamellen-nanofilter van 200 nm poriegrootte. Hier worden de laatste resten zwevende stof verwijderd. Het product komt terecht in een IBC. Per stap worden er monsters genomen om te kunnen monitoren of de filterstappen naar behoren werken.

Tijdens de monitoringsperiode is de trommelfilter vervangen door een decanter. Ook zijn er een aantal andere aanpassingen aan de pilot plant gedaan om de procesvoering te verbeteren (zie volgende paragraaf).

Voordat het geproduceerde glucosewater gebruikt kan worden voor de productie van PLA moet het ingedikt worden door het teveel aan water te verdampen. Daarna kan het met bacteriën of schimmels geïnoculeerd worden die de glucose omzetten in melkzuur. Als er voldoende melkzuur geproduceerd is wordt deze uit de vloeistof geëxtraheerd en wordt het melkzuur via een chemisch proces gepolymeriseerd naar PLA.

Het deel van de glucosestroom dat niet wordt gebruikt voor de PLA productie wordt afgevoerd naar een gistingstank op het terrein van Attero.

8.1.1.2 PROCESVOERING

De belangrijkste aandachtspunten tijdens de procesvoering betreft:

- Aanvoer van het zeefgoed. Het zeefgoed in de opslagbunker moet zo vers mogelijk zijn, zodat de meest representatieve resultaten in de experimenten behaald kunnen worden. Dit vereist een goede afstemming met HHNK met betrekking tot de aanvoer van het zeefgoedmateriaal van de RWZI Beemster. Dit geldt ook voor de interne afvoer van resten oud en niet verwerkt zeefgoed.
- Menger en de autoclaaf. Voor een goede bedrijfsvoering van de autoclaaf is het belangrijk dat het zeefgoed maximaal 20% DS bevat, anders loopt de deze vast. Afhankelijk van het droge stof percentage van het zeefgoed (gemiddeld ca. 35%) moet er dus water toegevoegd worden.
- Voor een goede bedrijfsvoering van de hydrolyse zijn verschillende factoren van belang.
 - Steriel werken en na afloop de hydrolysetank goed schoonmaken. Idealiter wordt de tank na afloop van een batch gehygiëniseerd met stoom of met chemicaliën (biociden), maar dit was in de pilot plant niet mogelijk. Daarom is gebruik gemaakt van hogedrukreiniging met water (600 bar nozzles).
 - Een goede menging. Dit is om verschillende redenen belangrijk: massaoverdracht, of

tewel het enzym moet homogeen verdeeld zijn over de tank, net als de cellulose uit het zeefgoed, zodat overal in de tank een vergelijkbare omzettingssnelheid bereikt kan worden. Daarnaast moeten ook de temperatuur en pH homogeen verdeeld zijn over de tank, omdat een afwijkende pH of temperatuur de stabiliteit van het enzym en dus de omzetting beïnvloeden. Deze menging was moeilijk te beïnvloeden omdat dit per type tank en roerder vaststaat. De enige parameter die beïnvloed kon worden was de recirculatie.

- De werking van de filterstraat. Het belangrijkste is dat voor de filterstraat de juiste poriegrootte voor de verschillende filters gekozen wordt, zodat in de eerste stappen voldoende zwevende stof wordt afgevangen en de belasting van het nanofilter in de laatste 'polishing' stap niet te hoog wordt.

8.1.2 AANPASSING PILOT PLANT EN PROCESVOERING

Gedurende de experimenten zijn er een aantal aanpassingen in de pilot plant doorgevoerd om de procesvoering te verbeteren en om problemen op te lossen en worden in deze paragraaf verder toegelicht. In het hoofdstuk resultaten wordt verder ingegaan op het effect van deze aanpassingen.

- Menger en autoclaaf: de autoclaaf liep tijdens de eerste 12 batches regelmatig vast vanwege een te hoog droge stofgehalte. Daarom is er een waterslag met watermeter toegevoegd om in de menger het zeefgoed al te kunnen verdunnen. De toe te voegen hoeveelheid water werd eerst uitgerekend op basis van het droge stof percentage van het zeefgoed. Op het oog werd indien nodig nog meer water toegevoegd (operationele ervaring). Daarna werd het daadwerkelijke droge stofpercentage berekend om de toe te voegen hoeveelheid water voor de hydrolysetank te kunnen bepalen.
- Hydrolysetank: vanwege de problemen met de hygiëne van de hydrolysetank zijn een aantal aanpassingen aan de installatie doorgevoerd. In Hoofdstuk 8.3 staat een uitgebreidere beschrijving.
 - Klep geïnstalleerd bovenin de tank (onder de stortkoker van de vijzel) om de hydrolysetank tijdens operatie af te kunnen sluiten, zodat vanuit de hal geen vervuiling in de hydrolysetank terecht kan komen.
 - Buffertank voor proceswater die was toegevoegd in het ontwerp toch weer weggehaald toen bleek dat een deel van de besmetting afkomstig was van dit stilstaande proceswater.
 - Steiger naast de vijzel van autoclaaf naar hydrolysetank geplaatst om het mogelijk te maken de vijzel goed te reinigen. Er zijn verschillende methoden van reiniging getest en deze zijn beschreven in het hoofdstuk resultaten.
 - Schoonmaakprotocol (werkinstructie) opgesteld voor de hydrolysetank, om besmetting te minimaliseren. Belangrijk onderdeel is het regelmatig schoonmaken van de tank door professionele reinigers.
- Filterstraat:
 - Trommelfilter werkte niet omdat de spleetwijdte van 500 micron te groot bleek. Verschillende opties om dit op te lossen zijn getest en geëvalueerd, zoals in Paragraaf 8.3 is uitgewerkt. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de trommelfilter te vervangen door een decanter die vrijkwam uit een oude installatie van Attero.
 - Het nanofilter ging stuk tijdens de experimenten. De druk liep te hoog op bij het terugspoelen (reinigen) van het filter, waardoor de lamellen opzwellen. Het filter werkte daarom minder goed (minder flow) en het risico was dat het filter uiteindelijk helemaal zou barsten. Daarom is besloten het filter te vervangen voor een nieuw exemplaar.

8.1.3 STORINGEN IN DE PILOT PLANT

Tijdens de operatie zijn storingen voorgekomen, waarvan een aantal is behandeld. In Tabel 8.1 is een totaaloverzicht van storingen en oplossingen weergegeven.

TABEL 8.1 STORINGEN IN DE PILOT PLANT

Procesunit	Storing	Oplossing
Autoclaaf	Vastlopen door te hoog droge stof gehalte of door te ver vullen autoclaaf.	Water toevoegen in menger tot ca. 20% DS. Maximaal met ca. 2.500 kg vullen.
Autoclaaf	Eraf draaien spie achterkant.	Vastdraaien spie, uiteindelijk na 3 ^e keer onderdeel vervangen
Stoomketel	Stoom via overdrukventiel (noodaflaat) in normale operatie.	Overdrukventiel en stoomketel opnieuw afstellen.
Stoomketel	Regeneratiezout te hoog verbruik.	Opnieuw instellen parameters.
Stoomketel	Niet opstarten stoomketel.	Resetten stoomketel, eerst met ondersteuning van monteur, daarna via telefonische instructies.
Stoomleidingen en autoclaaf	Lekkages.	Lekkages dichten.
Vijzel	Vastlopen vijzel autoclaaf naar hydrolysetank.	Terugdraaien vijzel. Beter doseren/langzamer draaien vijzel en autoclaaf/beter op elkaar afstemmen.
Hydrolysetank	Algemene storing in meet- en regelapparatuur	Software opnieuw programmeren.
Hydrolysetank	Te hoge temperatuur mantel, water in tank damp.	Regeling stoomketel en hydrolysetank aanpassen. Hydrolysetank volledig vullen met water zodat warmtewisselaar/mantel altijd alleen water verwarmt.
Hydrolysetank	pH-meter kapot door als gevolg van contact met roerder in de tank.	Nieuwe pH-meter besteld. Aanpassing/opzetstuk gemaakt om pH-meter te beschermen tegen trillingen en roerder.
Hydrolysetank	Isolatiemantel valt eraf.	Nieuwe mantel aanbrengen.
Hydrolysetank/ Filterstraat	Flow naar filterstraat niet goed te meten.	Doorzichtige buis installeren en als flowmeter gebruiken.
Zakkenfilter	Scheuren zakkenfilter door te hoge drukopbouw.	Opzetstukje onderin filterkoker.
Trommelfilter en zakkenfilter	Trommelfilter werkt niet voldoende waardoor flow over zakkenfilter te laag is en verstopt en nanofilter te hoog belast wordt.	Decanter installeren in plaats van trommelfilter.
Nanofilter	Lamellen zwellen op.	Nieuw nanofilter besteld. Uitvoerige instructie aangevraagd voor beter bedienen nanofilter en voorkomen problemen.

8.2 MONITORING PILOT PLANT

8.2.1 ONDERZOEKSVRAGEN

- Kwaliteit zeefgoed
 - Wat is de kwaliteit van het zeefgoed afkomstig van de RWZI Beemster. Hierbij gaat het met name om het percentage aan droge stof, organische stof, cellulose, zouten, anionen, organische zuren en de pH (zie ook Tabel 8.2).
 - Wat is het effect van de kwaliteit van het zeefgoed op het proces van omzetting naar glucose en PLA bij Attero?
 - Is de kwaliteit van dien aard dat een goede omzetting kan plaatsvinden naar glucose en PLA? Zo niet, is het mogelijk om het proces van de fijnzeven op de RWZI Beemster aan te passen om de kwaliteit te verbeteren voor een goede werking van de pilot bij Attero?

- Sterilisatie
 - Wat zijn de optimale procesinstellingen voor de sterilisatiestap in de autoclaaf?
- Hydrolyse
 - Wat zijn de optimale procesinstellingen voor maximale omzetting van cellulose naar glucose in de hydrolysetank?
 - Wat is de minimaal benodigde enzymconcentratie voor een economische omzetting (afweging omzetting vs. enzymkosten)?
 - Welk enzym is het meest geschikt voor hydrolyse van zeefgoed?
- Filtratie
 - Wat zijn de optimale procesinstellingen voor filtratie van de glucose-oplossing na de hydrolysetank om vaste deeltjes en andere stoffen te verwijderen?
 - Wat is de kwaliteit van het eindproduct in de pilot plant van Attero?
- Indikken glucose
 - Welke technologie of combinatie van technologieën is het beste geschikt voor het indikken van de glucose naar 70% (700 g/L)?
- Full-scale installatie
 - Hoe ziet een full-scale installatie eruit met de bijbehorende business case?

8.2.2 MONITORINGSPROGRAMMA PILOT PLANT

In Tabel 8.2 is aangegeven welke parameters gemeten zijn tijdens de monitoring bij Attero, waarom de meting wordt uitgevoerd (wat wordt er gemonitord met deze meting) en welke methode is gebruikt om de resultaten te verkrijgen.

De frequentie van meten hangt van een aantal factoren af. Bij parameters die cruciaal zijn, is bij elke batch een meting uitgevoerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor het droge stof percentage van het zeefgoed en de hydrolysetank; zonder deze data is geen massabalans op te stellen. Daarnaast zijn er metingen die bij specifieke experimenten zijn uitgevoerd. Een voorbeeld hiervan is de meting van de hoeveelheid zware metalen in de afvoer van de hydrolysetank naar de filtratiestap en in het filtraat daarvan, om vast te stellen hoeveel zware metalen er afgevangen worden per filtratiestap.

Aan het begin van elke week is de planning voor de experimenten van die week besproken en voordat een batch werd gestart, werd er een monsternamenplan ingevuld om vast te stellen waar er monsters genomen moesten worden en welke analyses per monster nodig waren.

TABEL 8.2 GEMETEN PARAMETERS TIJDENS MONITORINGSPERIODE

Parameter	Redenen meting	Meetmethoden	Opmerking
Droge stof gehalte (% DS)	Massabalans opstellen Kwaliteit zeefgoed.	Oven 24h op 105 °C en weegschaal	Analyses bij Bonalytic zijn uitgevoerd volgens EN 12880:2000
Glucoseconcentratie (g/L)	Massabalans (omzetting) Kwaliteit product	Megazyme kit + fotospectrometer	Kleuringsreactie. De metingen bij de WUR zijn m.b.v. HPLC uitgevoerd
Microbiologische activiteit	Effectiviteit sterilisatie Monitoring hygiëne in hydrolysetank en rest pilot plant	ATP-waarde met luciferase-swabs en luminometer	Deze methode is snel en geeft een grove indicatie. Er zijn ook aanvullende analyses gedaan door de WUR i.v.m. de besmetting in de hydrolysetank
pH	Kwaliteit zeefgoed Monitoring hygiëne in hydrolysetank	DIN EN 12176 - S5 (1998-06)	Analyses bij Attero zijn volgens een vergelijkbare methode uitgevoerd
Zwevende stof (mg/L)	Effectiviteit filterstappen	NEN872	Ook wel onopgeloste vaste bestanddelen genoemd. Filtratie over glasvezelfilters.

Parameter	Redenen meting	Meetmethoden	Opmerking
Verdeling deeltjesgrootte in vloeistof	Effectiviteit filterstappen	HELOS	HELOS is laserdiffractie
Zouten: Kationen: Na, K, Ca, Mg Anionen: Cl	Kwaliteit zeefgoed Kwaliteit product	ICP-MS	ICP-MS is 'inductively coupled plasma mass spectrometer'
Zware metalen: o.a. Cu, Cd, Pd, As, Cr, Zn, Hg, Ni	Kwaliteit zeefgoed Effectiviteit filterstappen Kwaliteit product	ICP-MS	
Organische zuren: o.a. azijnzuur, propionzuur, melkzuur, boterzuur Alcohol: o.a. ethanol	Kwaliteit zeefgoed Monitoring hygiëne hydrolysetank Omzetting hydrolyse	GC-HM (03AA011 2015-11) of HPLC	HPLC is 'high pressure liquid chromatography' GC-HM is 'gas chromatography hot maceration' Per stof is de best betrouwbare methode gekozen.
Organisch droge stof (ODS)	Kwaliteit zeefgoed Omzetting hydrolyse	EN 12879:2000	Gravimetrische bepaling bij verbranding droge stof

8.3 RESULTATEN MONITORING PILOT PLANT

In dit hoofdstuk worden de monitoringsresultaten van de pilot plant bij Attero gepresenteerd. Allereerst zal ingegaan worden op de kwaliteit van het zeefgoed en waarom dit van belang is voor de pilot plant. Daarna zullen de resultaten per procesunit besproken worden volgens de volgorde van het proces: de autoclaaf, de hydrolysetank, en de filterstraat. De experimenten bij de Wageningen University & Research (WUR) voor productie van melkzuur uit glucose zullen vervolgens kort behandeld worden. Tot slot wordt ingegaan op de indikking van glucose; vanwege de problemen in de pilot plant zijn geen experimenten met indikking van de glucose uitgevoerd, maar er is wel onderzoek gedaan naar mogelijke technologieën voor de indikking.

8.3.1 KWALITEIT VAN HET ZEEFGOED

De kwaliteit van het zeefgoed is van groot belang voor de productie van glucose in de pilot plant van Attero. De volgende parameters zijn gemonitord:

- Droge stof percentage in de (voorraad)bunker en hoe dit over de tijd varieert. Het zeefgoed kan namelijk in de bunker nog vocht aantrekken of kwijtraken, waarmee het droge stof percentage wijzigt t.o.v. de uitgangssituatie op de RWZI Beemster.
- Organisch droge stof gehalte van het zeefgoed in de bunker en hoe dit over de tijd varieert.
- pH van het zeefgoed in de bunker en hoe dit over de tijd varieert.
- Aanwezige stoffen in het zeefgoed; m.n. zware metalen, zouten en organische zuren.
- ATP-waarden (adenosine tri phosphate) als maatstaf voor de biologische activiteit. Deze ATP-waarden zullen in de volgende paragraaf (hygiënisatie in de autoclaaf) terugkomen.

Daarnaast zijn enkele tests uitgevoerd om de vergistbaarheid van het zeefgoed te onderzoeken. Ook is van het geproduceerd zeefgoed op de RWZI Beemster het percentage aan cellulose in de droge stof gemonitord (zie Paragraaf 5.1.4).

Het percentage aan cellulose is belangrijk voor de maximale hoeveelheid glucose die geproduceerd kan worden per ton zeefgoed. Minder cellulose in de droge stof betekent meer andere organische en anorganische stoffen in het zeefgoed en die zorgen voor meer afval aan het eind van het proces en in het glucoseproduct en kunnen zo de productie van melkzuur en PLA verstoren.

Het droge stofpercentage is van belang omdat nat zeefgoed meer biologische activiteit vertoont en sneller bederft in die zin dat er schimmels en bacteriën op gaan groeien die stoor-

stoffen produceren (zie Figuur 8.2). Droger zeefgoed bevat minder biologische activiteit, waardoor minder stoffen zoals organische zuren ontstaan. Met name azijnzuur is ongewenst, omdat deze stof verstorend kan werken in de omzetting van de glucose naar melkzuur en uiteindelijk PLA. De vorming van zuren kan ook gevolgd worden d.m.v. het meten van de pH. De zware metalen en zouten die aanwezig zijn in het zeefgoed kunnen ook verstorend werken in de fermentatie van de glucose naar melkzuur. De zware metalen kunnen gebonden zijn aan de vaste (organische) stof en zo deels verwijderd worden in de filterstraat. De zouten die gemonitord zijn, zijn vooral wateroplosbaar en zullen daarom in het glucoseproduct terecht komen.

8.3.1.1 DROGE STOF PERCENTAGE

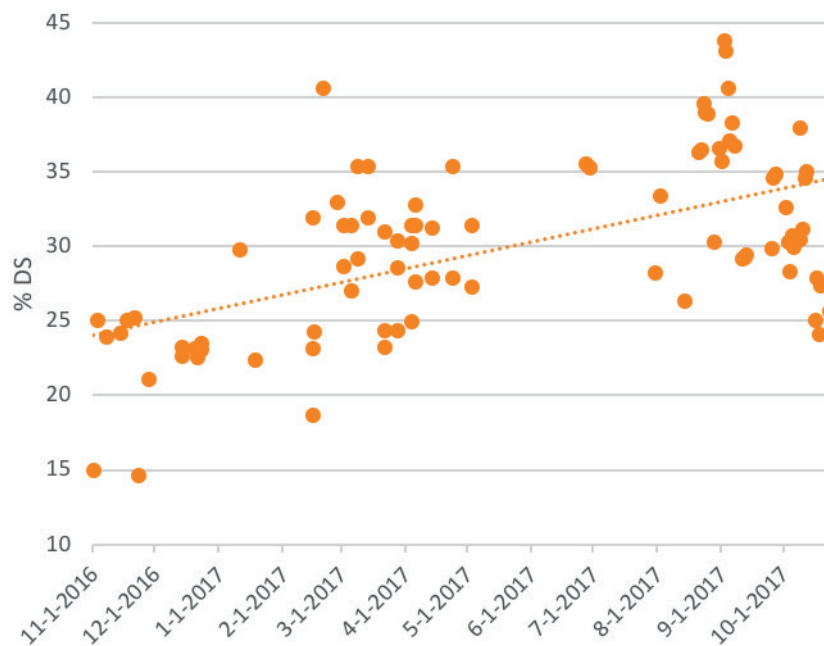
In onderstaande afbeeldingen (Figuur 8.2) is goed te zien dat het droge stof percentage invloed heeft op de kwaliteit van het zeefgoed: hoe natter het zeefgoed, hoe eerder de kwaliteit verslechtert als gevolg van schimmel en bacterie groei. In de periode van de proeven is de kwaliteit van het zeefgoed verbeterd, met name door een hoger droge stof percentage (Figuur 8.3).

FIGUUR 8.2 VERBETERING VAN DE KWALITEIT VAN HET ZEEFGOED. LINKSBOVEN: ZEEFGOED 23/11/2016 (1 DAG OUD, 14,6% DS.), RECHTSBOVEN: ZEEFGOED 13/12/2016 (3 WEKEN OUD, 23% DS), ONDERSTE TWEE FOTO'S: ZEEFGOED 20 JUNI 2017 (1 DAG OUD, 35% DS.)



FIGUUR 8.3

DROGE STOF PERCENTAGES ZEEFGOED.



Het gemiddelde is gedurende de monitoringsperiode gestegen van gemiddeld ca. 24% droge stof naar gemiddeld 35% droge stof, maar is ook te zien dat de spreiding nog groot is. Gemeten op de RWZI bedroeg het gemiddelde 36,3 % droge stof met een minimum 26% en maximum van 45% droge stof.

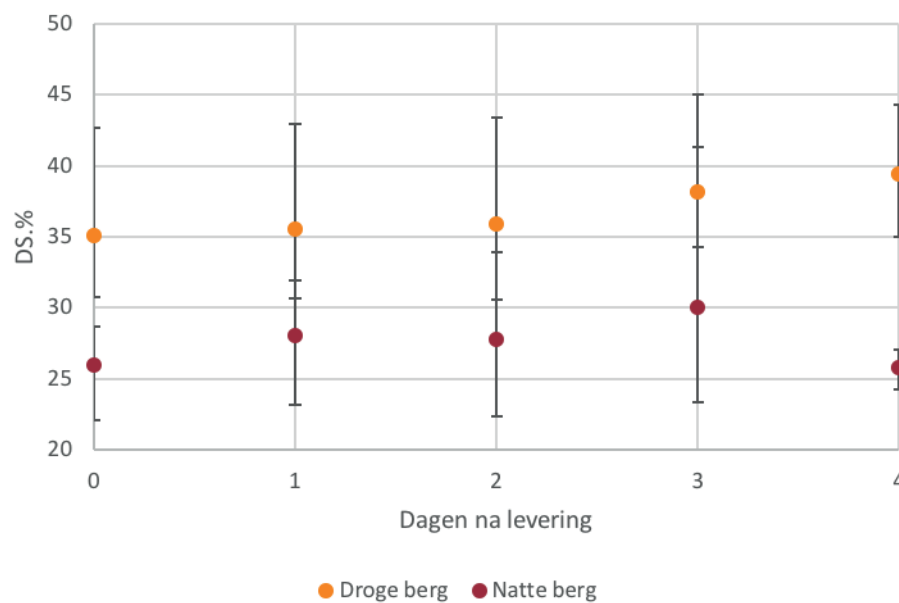
Het droge stofpercentage van het zeefgoed wordt voornamelijk bepaald door de efficiëntie van de zeefgoedontwatering op de RWZI Beemster. Daarnaast verandert het droge stofpercentage van het zeefgoed tijdens de opslag in de zeefgoedbunker van Attero; afhankelijk van de temperatuur zal er water verdampen en vindt afvoer (drainage) van water plaats uit het zeefgoed. Per vracht werden twee containers gelost en waren er dus twee bergen zeefgoed in de bunker. In Figuur 8.4 is te zien dat met name bij bergen die gemiddeld droger zijn, het droge stofpercentage over een werkweek toeneemt van 35 tot 40% DS. Bij nattere bergen is dit effect minder duidelijk; eerst neemt het droge stofpercentage wat toe, maar na de derde dag neemt het gemiddeld weer af.

De natte bergen zijn deels te wijten aan een afvoerput in de zeefgoedbunker die regelmatig verstopt was, waardoor de voorste berg zeefgoed (de rechter berg in Figuur 8.5) al gestort werd op een natte ondergrond en water wat uit de berg liep ook niet afgevoerd kon worden. Vanaf juli 2017 zijn deze bergen daarom apart gemonitord. De droge bergen zijn vermoedelijk representatiever voor het droge-stofpercentage van het zeefgoed.

Seizoensinvloeden zijn waarschijnlijk kleiner dan de invloeden van het proces op de RWZI Beemster. Zodra het productieproces op de RWZI Beemster was geoptimaliseerd, is vastgesteld dat de bergen zeefgoed veel droger bij Attero aankwamen en dat in de autoclaaf meer water moest worden toegevoegd voor optimale procesvoering. Dit geldt voor de periode van ongeveer maart 2017 t/m oktober 2017.

FIGUUR 8.4

GEMIDDELDE DROGE STOF PERCENTAGE VAN DROGE EN NATTE HOPEN (BERG) ZEEFGOED IN DE BUNKER BIJ ATTERO. 'DROGE BERG': D.S.>30%, 'NATTE BERG' <30%



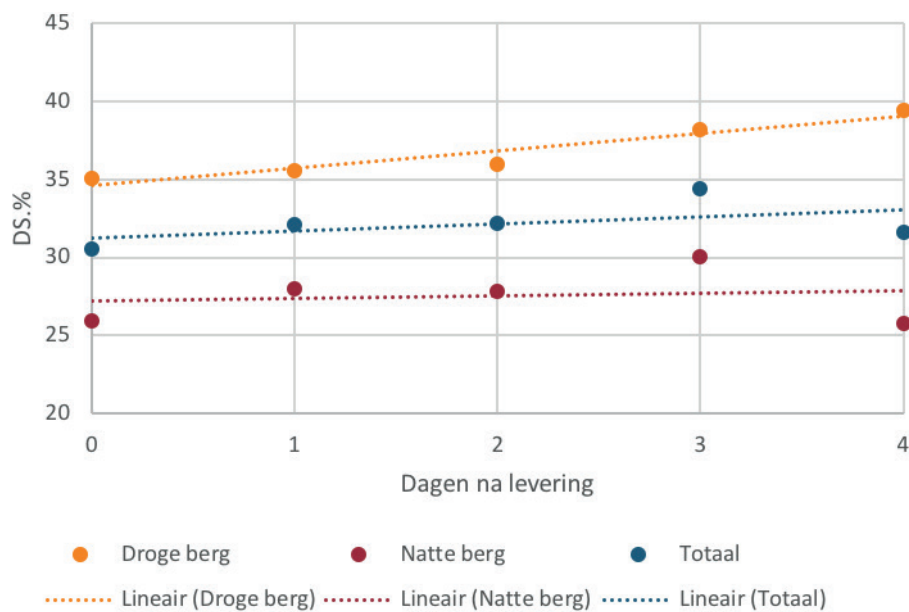
FIGUUR 8.5

TWEE BERGEN ZEEFGOED, LINKS EEN DROGE BERG ZEEFGOED MET 37% DS EN RECHTS EEN NATTE BERG MET 20% D.S



FIGUUR 8.6

GEMIDDELD DROGE STOF PERCENTAGE ZEEFGOED INCLUSIEF TRENDLIJNEN

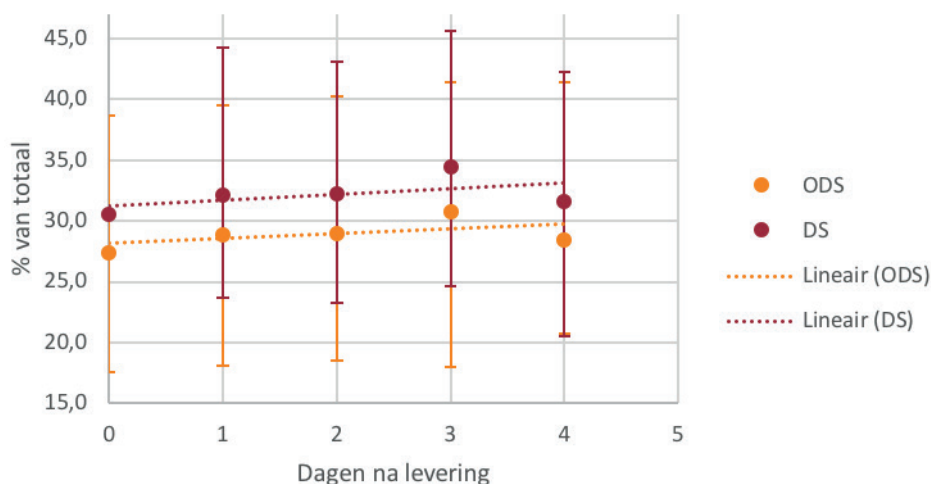


8.3.1.2 ORGANISCH EN INERT GEHALTE

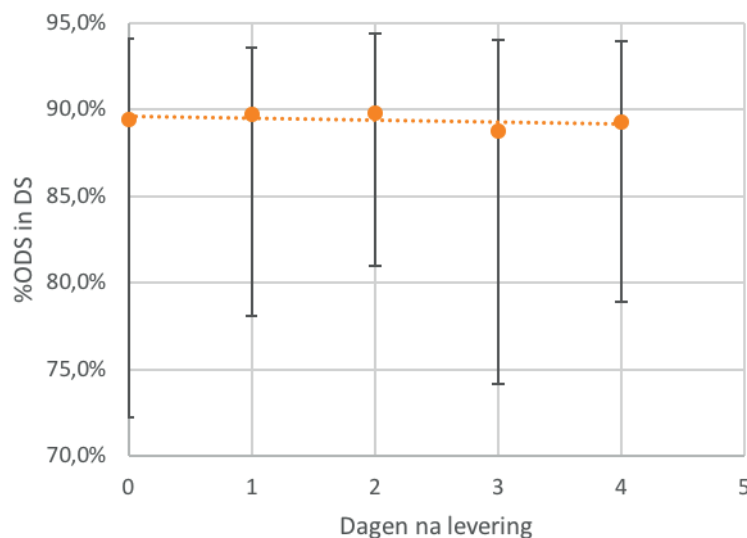
Het organisch droge stof gehalte is net als de droge stofconcentratie gemonitord; dit levert ook informatie op over de hoeveelheid inert materiaal dat in het zeefgoed zit. Als het organisch droge stof gehalte wordt vergeleken met het cellulose-gehalte, wordt duidelijk welk deel van de organische stof uit cellulose bestaat. Uit Figuur 8.7 blijkt dat de organische stof een vast gedeelte is van de droge stof. Uit Figuur 8.8 blijkt dat gemiddeld ca. 90% van de droge stof uit organische stof bestaat, de rest is dus inert. Uit de cellulosemetingen is gebleken dat 42% van de droge stof uit cellulose bestaat, dat betekent dat ca. 47% van de organische stof in zeefgoed cellulose is.

Verder blijkt uit Figuur 8.7 dat het organische stof gehalte nauwelijks verandert over de tijd; er is een kleine afname zichtbaar, gemiddeld van 89,4 naar 89,3 % organische stof van de droge stof. Dit ligt ruim binnen de meetfout, en hier kunnen dus geen conclusies aan worden verbonden. Uit een bewaartest van zeefgoed in 2014 is gebleken dat de cellulose in het zeefgoed niet afbreekt over de tijd, dus als er afbraak plaatsvindt van organische stof, is dat niet de cellulose.

FIGUUR 8.7 GEMIDDELD PERCENTAGE DROGE STOF EN ORGANISCHE DROGE STOF VAN HET TOTAAL. GEMIDDELD LAG HET DROGE STOF PERCENTAGE VAN DE SAMPLES TUSSEN 30-35%. HET GAAT OM DEZELFDE DATAPUNTEN ALS IN DE VORIGE PARAGRAAF



FIGUUR 8.8 VERLOOP VAN GEMIDDELD PERCENTAGE ORGANISCHE DROGE STOF IN ZEEFGOED



8.3.1.3 PH EN ORGANISCHE ZUREN

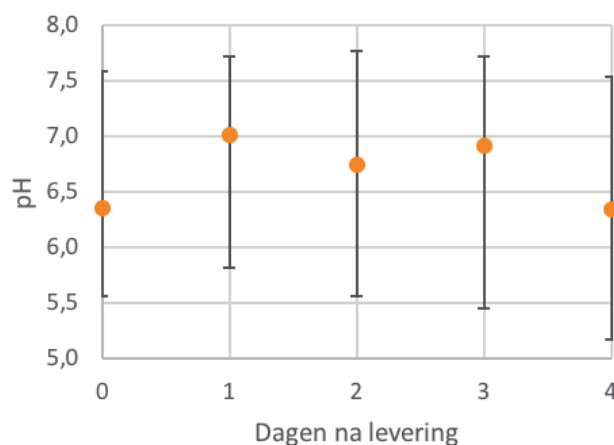
Door de aanwezigheid van micro-organismen zoals schimmels en bacteriën zal afbraak van organische stof plaatsvinden en worden onder andere zuren geproduceerd. Hierdoor zal de pH gedurende de opslagtijd veranderen.

De pH is belangrijk voor de hydrolysestap waar het enzym optimaal presteert bij een bepaalde pH-waarde. Daarnaast kunnen bepaalde zuren zoals azijnzuur verstorend werken in de vervolgstap waarbij het geproduceerde glucose wordt omgezet in melkzuur m.b.v. micro-organismen.

Uit Figuur 8.9 blijkt dat er geen trend te ontdekken is in het gemiddelde pH-verloop van het zeefgoed in de tijd. Daarnaast is te zien dat de spreiding van de pH-metingen nogal groot is. Tot slot moet opgemerkt worden dat deze pH-metingen bij Bonalytic zijn uitgevoerd en parallel bij Attero met dezelfde methode. Uit die metingen blijkt dat de pH gemeten bij Attero structureel 1 pH-schaal lager is dan bij Bonalytic. Vanwege de twijfels over de betrouwbaarheid van de losse pH-meter bij Attero zijn de gegevens van Bonalytic gebruikt; deze samples zijn direct ingevroren en bevroren naar het lab vervoerd.

FIGUUR 8.9

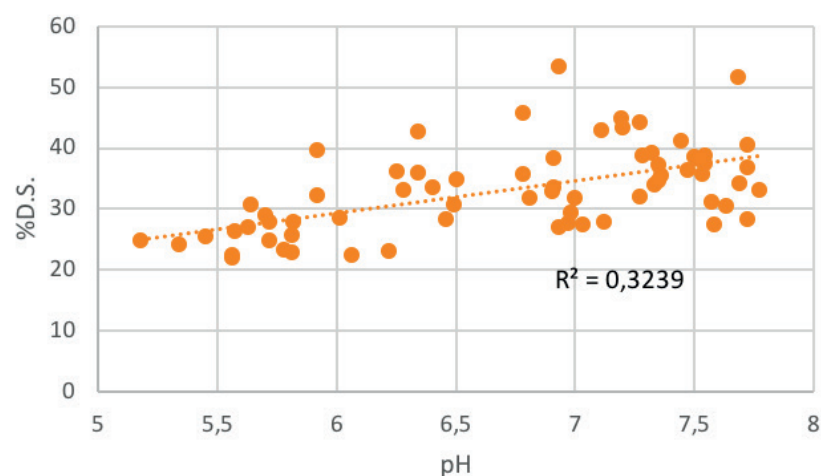
GEMIDDELTE PH ZEEFGOED OVER DE TIJD



Daarnaast was er een vermoeden dat het droge stofpercentage en de pH een correlatie vertonen. In de onderstaande figuur is een zwakke correlatie te zien; een lagere pH betekent een lager droge stofpercentage, maar ook hier is de spreiding groot.

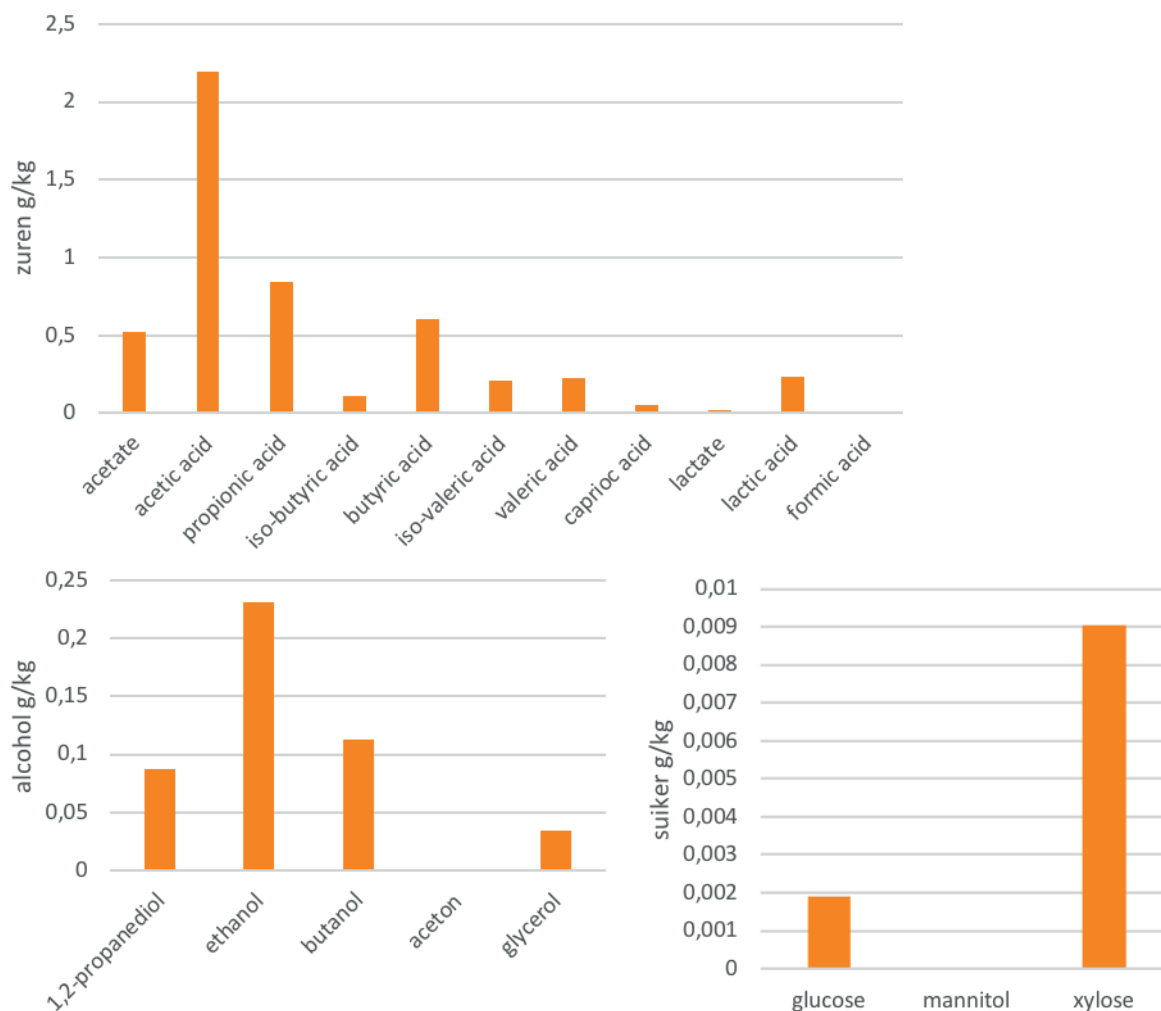
FIGUUR 8.10

%DS VAN HET ZEEFGOED VERSUS DE PH



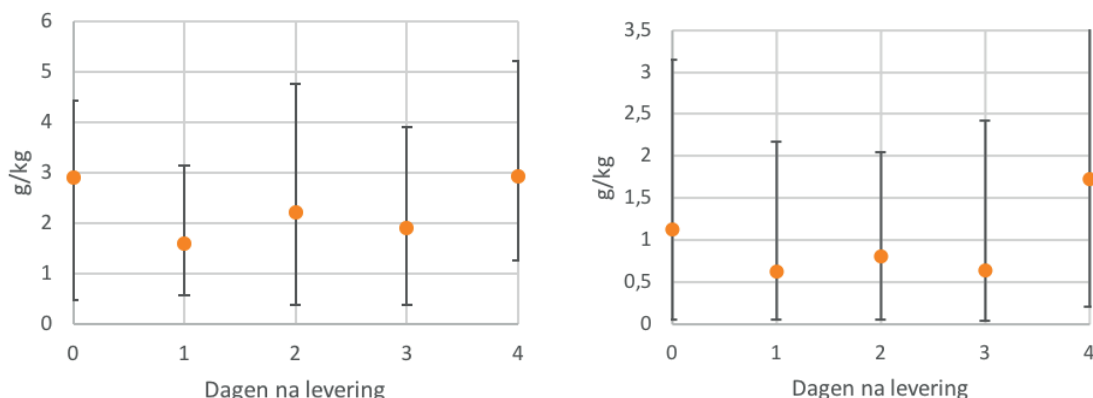
In onderstaande Figuur 8.11 is het gemiddelde 'profiel' van zeefgoed weergegeven; voor aanwezige zuren, alcoholen en suikers. Zoals verwacht is de concentratie suikers heel laag in het zeefgoed. Daarnaast is azijnzuur het zuur dat het meest aanwezig is in zeefgoed, gevolgd door propaanzuur en boterzuur. Wat opvalt is dat er ook een kleine hoeveelheid melkzuur in zeefgoed zit. Van de alcoholen is ethanol de meest voorkomende.

FIGUUR 8.11 GEMIDDELTE PROFIELEN VAN ZEEFGOED VOOR ZUREN, ALCOHOLEN EN SUIKERS



Het verloop van de concentratie zuren in zeefgoed over de tijd vertoont net als de pH grote fluctuaties en geen trend; in Figuur 8.12 is de concentratie van azijnzuur en propaanzuur weergegeven. Een verklaring voor de grote spreiding in de data is het heterogene karakter van het zeefgoed; het is een vaste stof waarbij de samenstelling elke kubieke centimeter anders is.

FIGUUR 8.12 GEMIDDELDE CONCENTRATIE AZIJNZUUR EN PROPAANZUUR IN ZEEFGOED OVER DE TIJD



8.3.1.4 ATP WAARDE

De adenosinetrifosfaat (ATP) waarde is zoals aangegeven een maatstaf voor de hoeveelheid biologische activiteit van het zeefgoed. De gemeten ATP-waarden van het zeefgoed lopen sterk uiteen en variëren van 1.000 tot 340.000 RLE (relative light units), met een gemiddelde van 86.000. Een nattere berg zeefgoed is meer verdund en dus minder actief per cm³; dit scheelt een factor 7-44. Vergeleken met de doseur, waar het zeefgoed naar ca. 20% DS met behulp van leidingwater wordt verdund, varieert de ATP-waarde van 36 tot 3.300, met een gemiddelde van 1.200. Er zijn verder geen correlaties gevonden met andere metingen zoals de pH of concentratie zuren. De ATP-waarde is een indicatieve waarde en moet relatief worden gezien t.o.v. andere metingen, zoals in de paragraaf over de hydrolyse verder wordt toegelicht.

8.3.1.5 ZWARE METALEN EN ZOUTEN

In het zeefgoed zitten ook zware metalen en zouten en zijn uiteindelijk van invloed op de kwaliteit van het eindproduct, een glucose-oplossing. Zware metalen en bepaalde zoutionen (met chloor) kunnen een negatief effect hebben op het vervolgproces, de omzetting van glucose naar melkzuur. Tijdens de filtratiestappen in de filterstraat worden zware metalen afgevangen, omdat deze met name aan de organische stof van het zeefgoed zitten.

Op een aantal momenten is de hoeveelheid zware metalen en zouten in het zeefgoed gemeten. In Tabel 8.3 een samenvatting van de beschikbare data. In Paragraaf 8.6 staan de prestaties van de filterstraat waarin duidelijk wordt hoeveel zware metalen worden afgevangen per filterstap.

TABEL 8.3 CONCENTRATIES ZWARE METALEN EN CHLOOR IN ZEEFGOED

Stof	Eenheid	31-10-2016	23-1-2017	26-4-2017	Gemiddelde
Droge stof %	m%	20,4	25,3	24,9	23,5
Arseen (As)	mg/kg DS	< 5,0	<5,0	< 5,0	<5,0
Cadmium (Cd)	mg/kg DS	< 0,40	<0,40	< 0,40	<0,40
Chroom (Cr)	mg/kg DS	16	<5,0	49	32,5
Koper (Cu)	mg/kg DS	120	64	98	94,0
Kwik (Hg)	mg/kg DS	0	0,12	0,49	0,20
Nikkel (Ni)	mg/kg DS	13	<5,0	83	48,0
Lood (Pb)	mg/kg DS	31	<10	27	29,0
Zink (Zn)	mg/kg DS	400	190	280	290
Chloride (Cl)	mg/kg DS	870	750		810

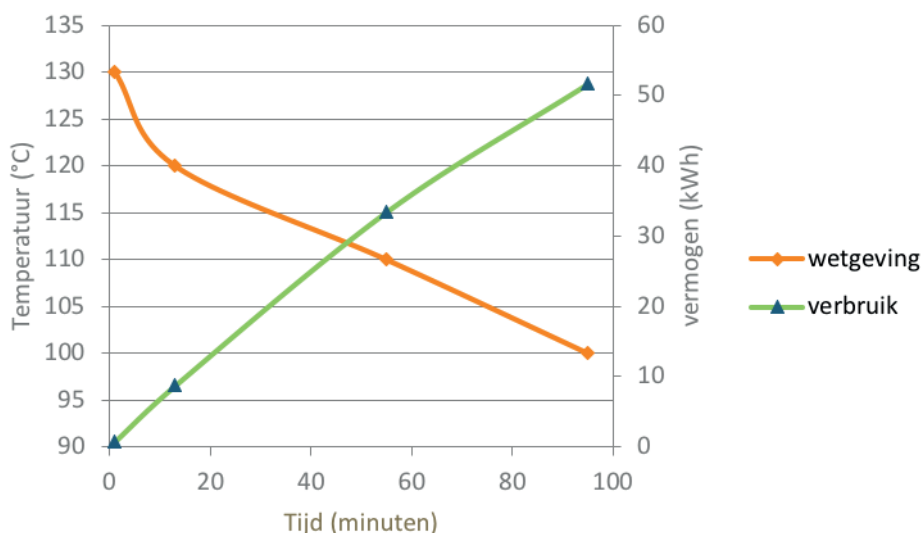
8.4 HYGIENISATIE IN DE AUTOCLAAF

Zoals eerder beschreven is de belangrijkste functie van de autoclaaf het doden van de micro-organismen. Het zeefgoed bevat veel activiteit, wordt gemengd met leidingwater (met ATP-waarden tussen 18 en 218) en ingebracht in de autoclaaf. De autoclaaf kan op verschillende drukken en bijbehorende temperaturen werken, en daarnaast is het mogelijk om alleen de mantel en de schoepen te verwarmen of om ook stoom te injecteren. Tijdens de experimenten is geen stoominjectie gebruikt.

In het begin van de experimenten was de CE-keuring van de autoclaaf nog niet voltooid. Daarom konden de eerste batches niet boven de 100 °C (bij atmosferische druk) uitgevoerd worden. Bij een lagere temperatuur is een langere procestijd voor optimale menging nodig, zoals blijkt uit Figuur 8.13. Bij 100 °C moet de verblijftijd van het zeefgoed minimaal 95 minuten zijn, terwijl dit bij 121 °C gereduceerd is naar 13 minuten en bij 130 °C slechts 1 minuut is. Het gaat er dan wel om dat al het zeefgoed deze temperatuur bereikt, dus goede menging is belangrijk. Op basis van deze informatie is een minimale procestijd vastgesteld. Daarnaast is tijdens de experimenten op verschillende tijdstippen gekeken wat de ATP-waarde van het zeefgoed in de autoclaaf was om te volgen hoe ver de hygiëniseratie was gevorderd. Daaruit bleek dat de minimale procestijd bij 120 °C ca. 15 minuten was, en dat er geen significant verschil was tussen 15 minuten en 90 minuten operatie. In onderstaande Figuur 8.13, Figuur 8.14, Figuur 8.15 en Figuur 8.16 staan de behaalde resultaten weergegeven.

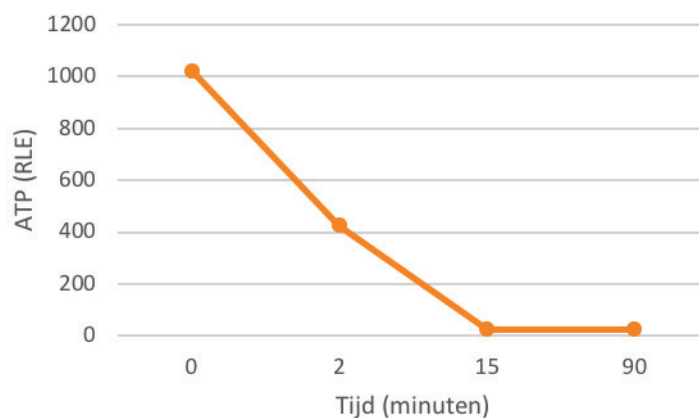
FIGUUR 8.13

WETTELIJKE MINIMUM HYGIËNISATIETIJD VOOR SLACHTAFVAL (BRON: J. MANUEL, „VERORDENINGEN,” EUROPESE UNIE, 2011)



FIGUUR 8.14

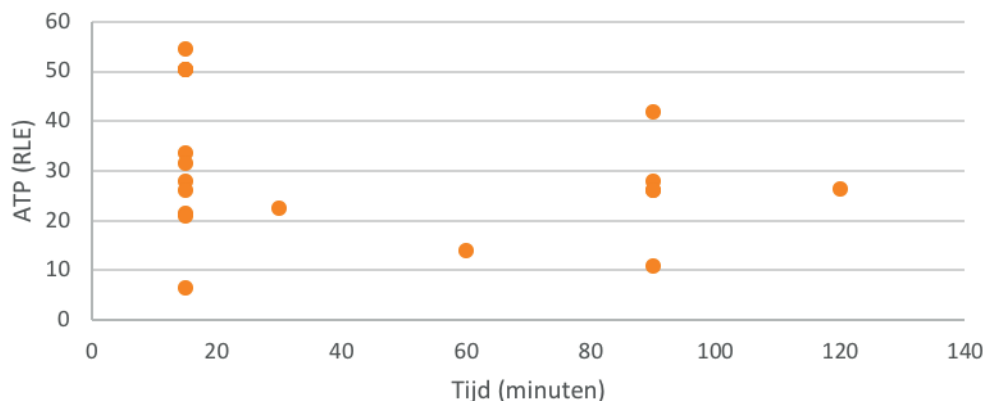
ATP-WAARDE EN VERBLIJFTIJD BIJ HYGIËNISATIE OP 120 °C



Figuur 8.14 is een gemiddelde en bevat meer datapunten dan Figuur 8.15. Figuur 8.15 is een serie experimenten specifiek gericht op ATP-metingen.

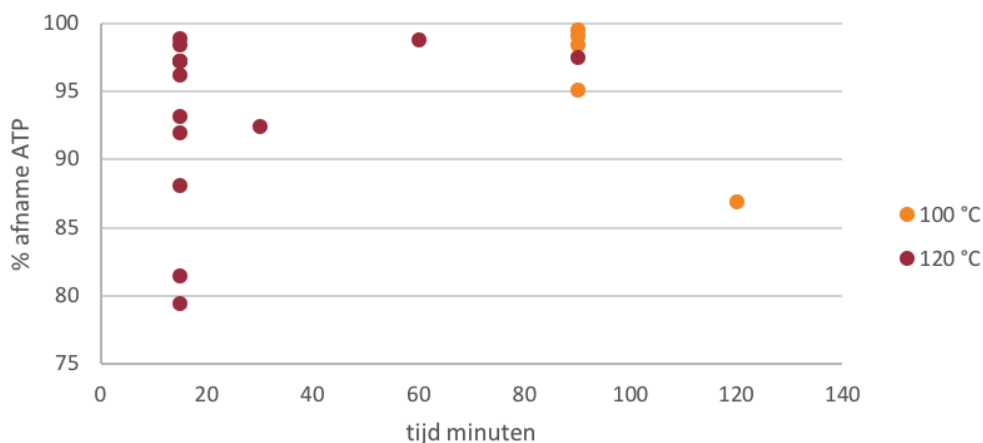
FIGUUR 8.15

EINDWAARDEN ATP NA HYGIËNISATIE



FIGUUR 8.16

PROCENTUELE AFNAME ATP TEGEN DE TIJD BIJ PROCESTEMPERATUUR 100 °C EN 120 °C



Tot slot is naast temperatuur, menging en verblijftijd de ingaande activiteit (ATP-waarde) van het zeefgoed van belang. Zoals aangegeven is de gemiddelde ATP-waarde van het zeefgoed in de doseur tussen 36 tot 3.300, met een gemiddelde van 1.200. De reden dat de ingaande waarde belangrijk is, is dat de afname in activiteit exponentieel is (zie Figuur 8.14). Dit betekent dat met een lagere ingangswaarde veel sneller een acceptabele uitgangswaarde behaald kan worden (terwijl de procentuele afname misschien maar 80% is, Figuur 8.16). Dit betekent dat een betere kwaliteit zeefgoed met lage activiteit een positief effect heeft op de procestijd en totale effectiviteit van de autoclaaf.

8.5 HYDROLYSE CELLULOSE NAAR GLUCOSE

Voor de omzetting van cellulose naar glucose in de hydrolysetank zijn er twee belangrijke thema's: de enzymatische omzetting en hygiëne. De omzetting gebeurt door middel van een enzym, een cellulase. De keuze van het enzym is belangrijk om te komen tot een volledige omzetting van cellulose naar glucose in korte tijd, waarbij ook alle tussenproducten worden omgezet in glucose. En dit bij een zo laag mogelijke dosering. De activiteit van het enzym moet gedurende de hydrolyse hoog blijven, en niet geremd worden door stoffen die aanwezig zijn in het zeefgoed-water mengsel in de hydrolysetank. Tot slot moet het enzym commercieel beschikbaar zijn en een redelijke prijs hebben.

Om een hoge omzetting en dus eindconcentratie glucose te krijgen is het belangrijk de procescondities in de hydrolysetank te controleren en daarnaast is een goede hygiëne belangrijk om besmetting met micro-organismen die glucose consumeren te voorkomen. Een groot deel van de tijd is besteed aan het tegengaan van een bacteriële besmetting in de hydrolysetank.

8.5.1 ENZYMEN

Om een enzym te kunnen kiezen dat geschikt is voor het zeefgoed zijn er een aantal laboratoriumtests uitgevoerd met verschillende enzymen in augustus en oktober 2016. Hierbij is zeefgoed van waterschap Noorderzijlvest uit Ulrum gebruikt, omdat zeefgoed van de RWZI Beemster op dat moment nog niet beschikbaar was. Uit deze laboratoriumtests kwam een enzym naar voren dat de hoogste omzetting gaf in 24 uur en ook bij lagere doseringen relatief gezien het beste werkte. Van dit enzym zijn ook de optimale procescondities (temperatuur en pH) bepaald. Dit enzym is gedurende de hele monitoringsperiode gebruikt in de experimenten.

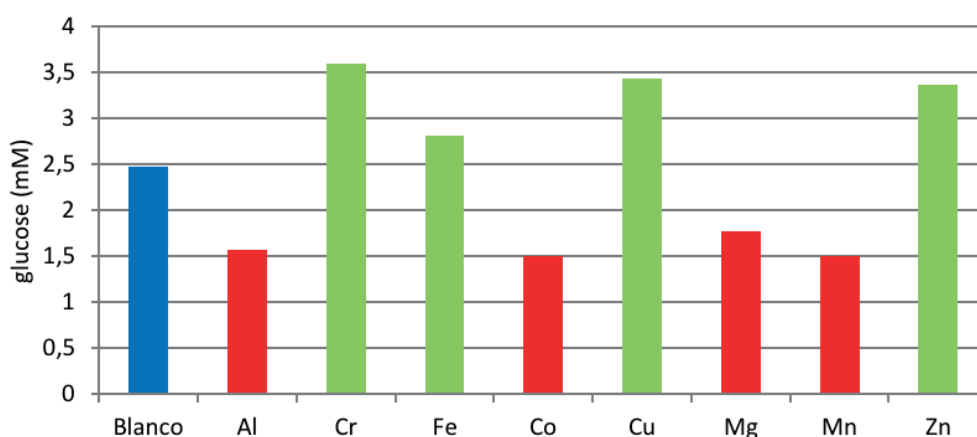
Eind 2016 zijn deze enzymen nog extra getest om te bepalen of er nog bepaalde stoffen voorkomen in het zeefgoed van de RWZI Beemster die het enzym kunnen remmen, dat wil zeggen de activiteit van het enzym kunnen verlagen. Deze experimenten zijn bij de Rijks Universiteit Groningen (RUG) uitgevoerd. De enzymen zijn via een distributiebedrijf ingekocht. Het zijn de enzymen die Attero heeft uitgekozen op basis van de resultaten van de proeven van Imenz. De werking van een enzym kan geremd worden door stoffen zoals (zware) metalen en een tekort aan calcium. Tot slot kan een enzym geremd worden door het product, dus een overmaat aan glucose.

In Figuur 8.17 is te zien dat aluminium, kobalt, magnesium en mangaan een remmend effect hebben op de omzetting naar glucose, terwijl chroom, ijzer, koper en zink een positief effect hebben. In Tabel 8.3 is te zien dat vooral koper en zink in hogere concentratie voorkomen in zeefgoed en vanuit het oogpunt van de enzymactiviteit is dit dus positief. Er moet gekeken worden naar de concentratie metalen in de hydrolysetank en die is veel lager omdat het zeefgoed ca. 4x verdund wordt. Uit de gegevens in Tabel 8.6 blijkt dat de metalen in concentraties van enkele microgrammen tot enkele honderden milligrammen voorkomen in de hydrolysetank, t.o.v. een celluloseconcentratie van ca. 20 g/L. In de experimenten is een concentratie van 1 mM van elk metaalzout gebruikt bij een concentratie cellulose in dezelfde ordegrootte (~ 5 mM). In de praktijk is de concentratie metalen dus zeker een factor 1000 lager dan de fractie cellulose in het zeefgoed en zal het effect beperkt zijn. Een extra omzetting van 39% hoger, zoals bijvoorbeeld gemeten bij koper, is dus niet waarschijnlijk. Naar verwachting zal het weinig uitmaken en zullen de procescondities een veel grotere impact hebben.

In Figuur 8.18 zijn de resultaten weergegeven van het toevoegen en wegvangen van calcium. Hieruit is af te lezen dat het toevoegen van calcium een positief effect zal hebben op de enzymactiviteit en dus de omzetting van cellulose naar glucose. Echter is met de EDTA proef, waarbij al het calcium wordt weggenomen, aangetoond dat de aanwezige fractie calcium in het zeefgoed klein is en een minimaal positief effect zal hebben op de productie van glucose.

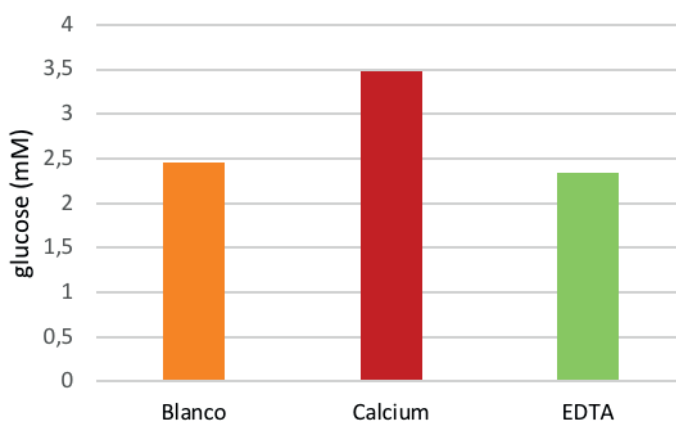
FIGUUR 8.17

EFFECT VAN METALEN OP DE OMZETTING VAN ZEEFGOED NAAR GLUCOSE, GEMETEN T.O.V. EEN BLANCO EXPERIMENT MET ALLEEN ZEEFGOED EN ENZYM



FIGUUR 8.18

EFFECT VAN TOEVOEGEN CALCIUM OF WEGVANGEN CALCIUM MET EDTA T.O.V. DE BLANCO

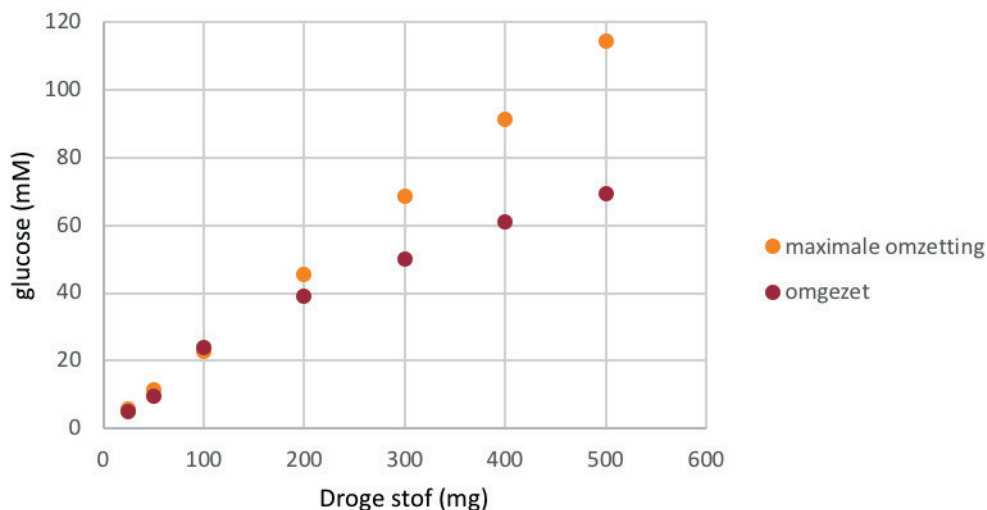


Tot slot is de maximale omzetting bij toenemende droge stof onderzocht om te bepalen of de activiteit van het enzym afgeremd wordt bij hogere glucoseconcentraties. De gegevens zijn in Figuur 8.19 weergegeven. In deze grafiek is de maximale en de gemeten omzetting van het toegevoegde zeefgoed te zien. En laat zien dat de maximale glucoseconcentratie afneemt bij hogere droge stof concentraties. Dit kan duiden op inhibitie, waarbij een te hoge glucose concentratie er voor zorgt dat het enzym niet goed genoeg kan binden aan cellulose.

De concentratie droge stof gebruikt in de experimenten is 0,25-5 massa %DS (25-500 mg per 10 mL) en bij experimenten in de hydrolysetank zijn concentraties van 1-12 massa %DS gebruikt. Dat betekent dat het effect van de remming van het enzym door de glucose een rol gespeeld kan hebben bij de experimenten in de pilot plant. Bij 5% DS betekent dit dat de maximale omzetting een factor 1,6 hoger is dan de daadwerkelijke omzetting.

FIGUUR 8.19

OMZETTING VERSUS DROGE STOFPERCENTAGE



8.5.2 RESULTATEN GLUCOSE OMZETTING

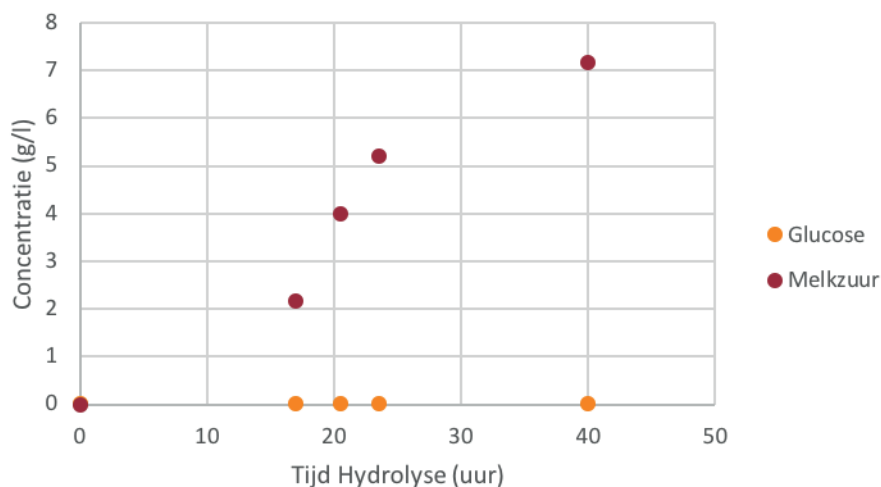
Zoals aangegeven was de hygiëne van de pilot plant en met name de hydrolysetank de grootste uitdaging tijdens de experimenten. Dit had ook een groot effect op de glucoseconcentratie in de hydrolysetank. Eerst was door foutieve metingen dit probleem nog niet volledig duidelijk, maar na correctie van de methode bij Attero werden dezelfde resultaten als bij de Wageningen University & Research (WUR) gevonden. Uit de resultaten blijkt (Figuur 8.20) dat de concentratie glucose die gemeten kon worden zeer laag was; gemiddeld werd er zo'n 0,3 g/L gevormd. Uit een kweektest bleek dat de oorzaak van deze lage concentratie een besmetting was met twee typen bacteriën: *Lysinibacillus fusiformis* en *Bacillus cereus*. De *Bacillus Cereus* zet glucose naar melkzuur om, en de *Lysinibacillus fusiformis* consumeert het melkzuur en produceert CO₂ en water. Zowel CO₂ als water zijn niet te meten, omdat het CO₂ de lucht in gaat en water het hoofdmedium is en was het niet mogelijk om via de glucoseconcentratie de omzetting te bepalen. Daarom is er een schatting van de omzetting gemaakt op twee verschillende manieren. De minimale omzetting kan bepaald worden door de maximale concentratie melkzuur te vergelijken met de concentratie cellulose aan het begin van de experimenten; in Figuur 8.20 is 13,4% van de cellulose omgezet in melkzuur (7,2 g/L van de 51 g/L cellulose aanwezig aan het begin van de reactie). De maximale omzetting van cellulose naar glucose kan afgeleid worden uit de afname in het organische droge stof percentage. De organische stoffen cellulose, melkzuur en glucose worden in de anorganische stoffen CO₂ en water omgezet (zie Figuur 8.21). 29,1% van de organische droge stof wordt afgebroken tijdens de hydrolyse, dus de totale omzetting ligt vermoedelijk tussen de 13,4% en 29,1%. Hiervoor gelden drie aannamen; alle geproduceerde melkzuur is afkomstig van glucose en dus de cellulose. Het cellulosegehalte is 42 massaprocent van de droge stof van zeefgoed, en melkzuur is de enige organische stof die omgezet wordt naar anorganische stoffen.

De hiervoor beschreven afgeleide omzetting ligt op een lager niveau dan in de lab experimenten waar bij dezelfde enzymdosering na 24 uur ca. 50% omzetting bereikt is die niet meer toenam na 48 uur hydrolyse. Hiervoor zijn een aantal verklaringen: allereerst kunnen de aannamen hierboven niet kloppen en waren de procescondities in de tank vermoedelijk niet optimaal. Bijvoorbeeld de menging in de tank, waardoor procescondities in de tank niet homogeen waren. Ook de monitoring van pH en temperatuur liet zien dat deze vaak afweek van het optimum; met name de pH door de snelle verzuring door productie van zuren door

de bacteriën in de tank (Figuur 8.22 en Figuur 8.23). In de volgende paragraaf wordt dieper ingegaan op de besmetting en de maatregelen die getest zijn om deze tegen te gaan.

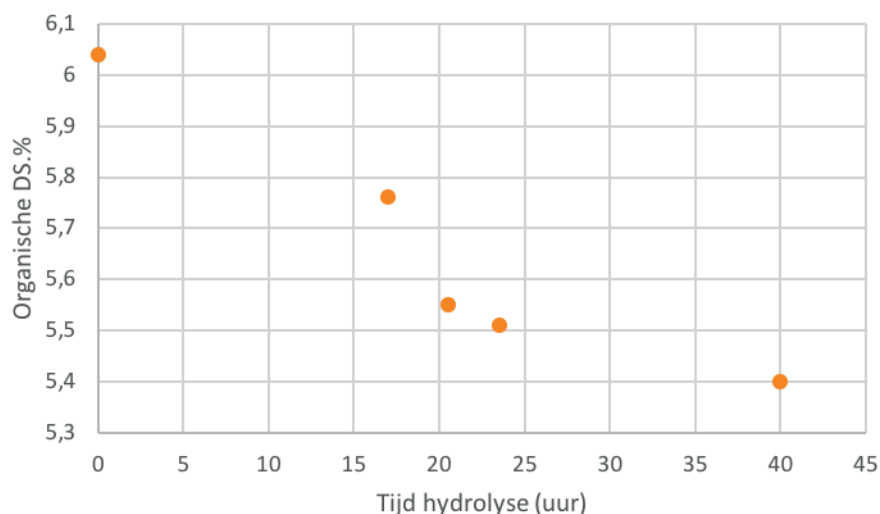
FIGUUR 8.20

PRODUCTIE GLUCOSE EN MELKZUUR TIJDENS HYDROLYSE



FIGUUR 8.21

AFNAME ORGANISCHE DROGE STOF TIJDENS HYDROLYSE



8.5.3 RESULTATEN BESMETTING HYDROLYSETANK

Het hygiëneprobleem in de hydrolysetank is op verschillende manieren in kaart gebracht. Allereerst door te meten hoe de pH-waarde en ATP-waarde verliepen tijdens een batch. Daarna is een diepgaandere analyse gedaan waarbij de typen zuren en andere metabolieten die verantwoordelijk zijn voor de verlaging in de pH zijn geanalyseerd. Ook is bij de WUR geanalyseerd welke micro-organismen verantwoordelijk zijn voor de besmetting. Parallel zijn verschillende maatregelen om de besmetting tegen te gaan geïnventariseerd en uitgetest; deze zullen in de volgende paragraaf besproken worden.

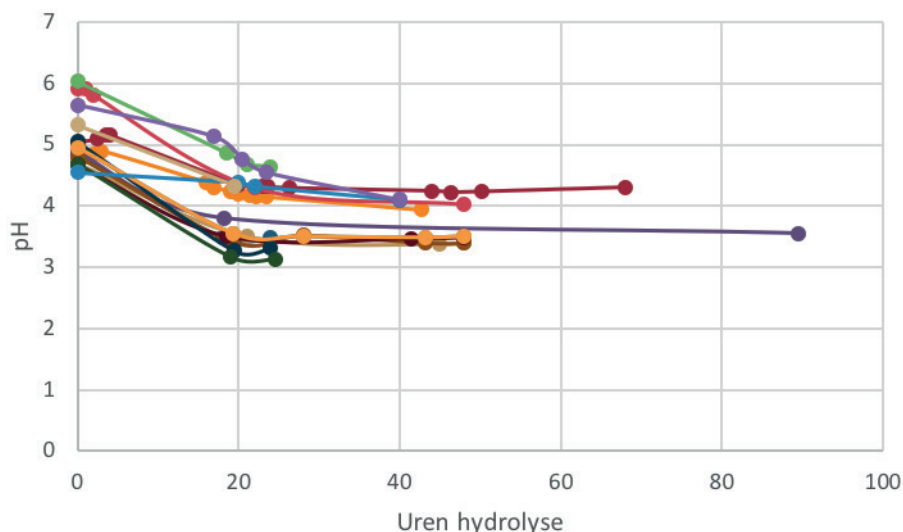
Uit de metingen van de pH over de tijd blijkt dat de pH bij het begin van de hydrolyse rond de gewenste waarde van 5 ligt en tijdens de eerste 20 uur van de hydrolyse snel zakt naar 3,5-4. Daarna verandert de pH nog nauwelijks. De daling van de pH komt door de productie van zuren door micro-organismen van met name melkzuur, azijnzuur en propaanzuur zoals blijkt uit Figuur 8.23. Het gemiddelde vertoont geen afvlakking na 20 uur zoals vanuit de pH-metingen verwacht kan worden, maar dit beeld is wel bij individuele experimenten vast-

gesteld. Tijdens deze individuele experimenten is vastgesteld dat de concentratie van organische zuren na 20 uur niet toeneemt, maar geldt niet voor alle experimenten vastgesteld en volgt dit beeld ook niet uit het gemiddelde.

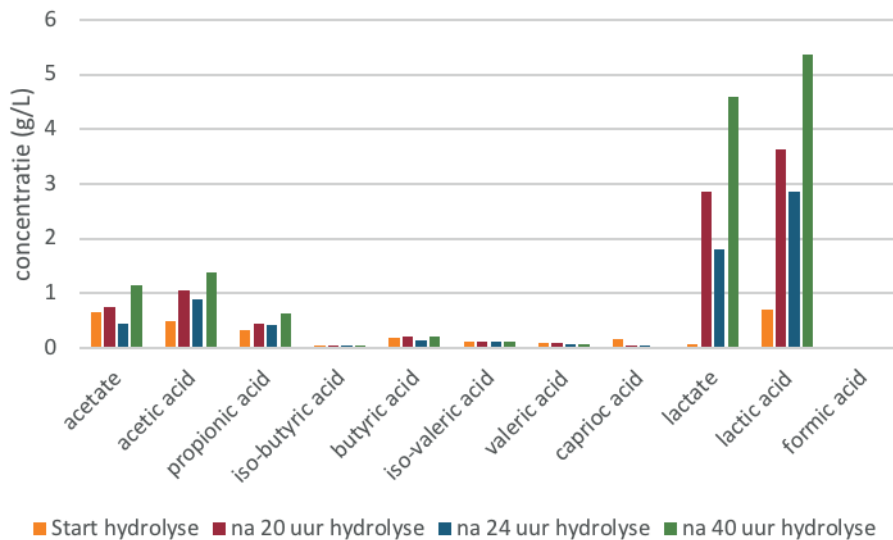
Kanttekening hierbij is wel dat niet alle zuren zijn gemeten en niet alle experimenten duurden 40 uur, dus dat geeft een kleiner aantal datapunten.

Tot slot: op basis van de resultaten is het moeilijk een uitspraak te doen over de bufferende werking van het medium.

FIGUUR 8.22 VERLOOP VAN PH-WAARDE TIJDENS DE HYDROLYSE



FIGUUR 8.23 GEMIDDELD ZURENPROFIEL HYDROLYSE

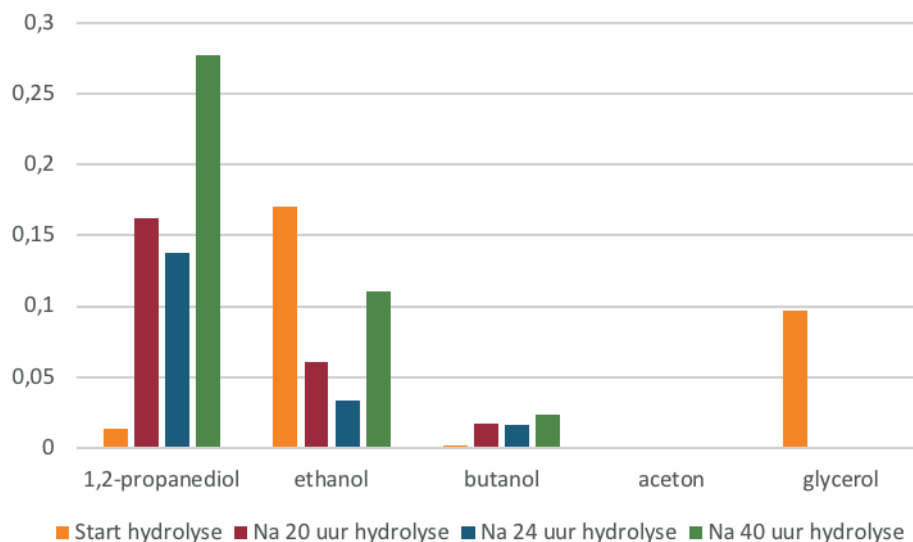


Uit het alcoholenprofiel (Figuur 8.24) blijkt dat met name 1,2-propaandiol geproduceerd wordt tijdens de hydrolyse. Dit duidt op een micro-organisme dat deze stof aanmaakt. Voor ethanol is niet duidelijk of de gemeten concentraties de ethanol is die al in zeefgoed aanwezig is of dat er ook ethanol wordt geproduceerd tijdens de hydrolyse. Uit het suikerprofiel in Figuur 8.25 blijkt dat er slechts zeer weinig glucose wordt geproduceerd, omdat dit meteen omgezet wordt in melkzuur. Daarnaast is er bij de start van de hydrolyse al meer mannitol en xylose aanwezig dan glucose, en wordt er ook nog meer tijdens de hydrolyse geproduceerd. Xylose is een C5-suiker en kan gevormd worden uit aanwezige hemicellulose in het zeef-

goed (van hout of wc-papier). Mannitol is een C6-suiker alcohol en kan gevormd worden via mannose, een stereo-isomeer van glucose. Dit betekent dat de 0,2 g/L die gemiddeld gevormd wordt na 40 uur hydrolyse oorspronkelijk afkomstig kan zijn van cellulose uit zeefgoed. Het is echter maar een lage concentratie, en is niet significant als het meegenomen wordt in de berekening van de omzetting.

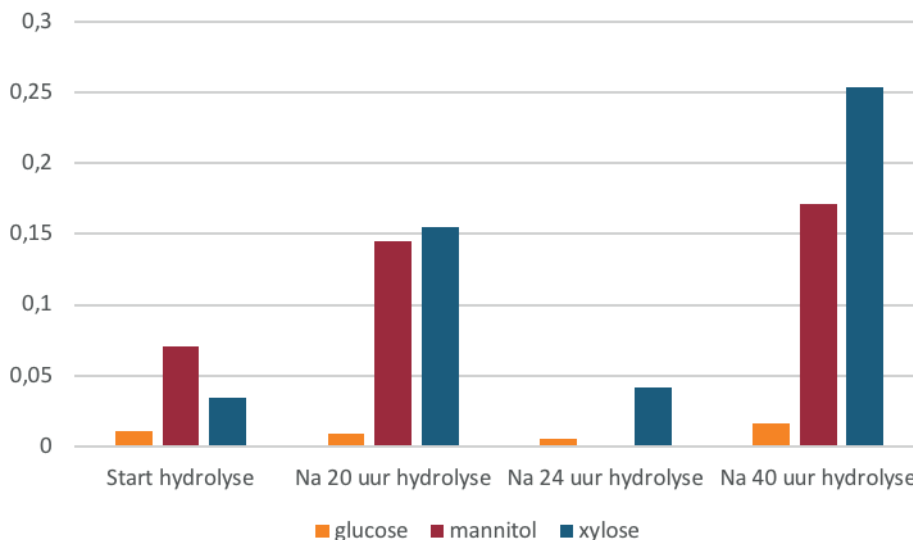
FIGUUR 8.24

GEMIDDELD ALCOHOLENPROFIEL HYDROLYSE



FIGUUR 8.25

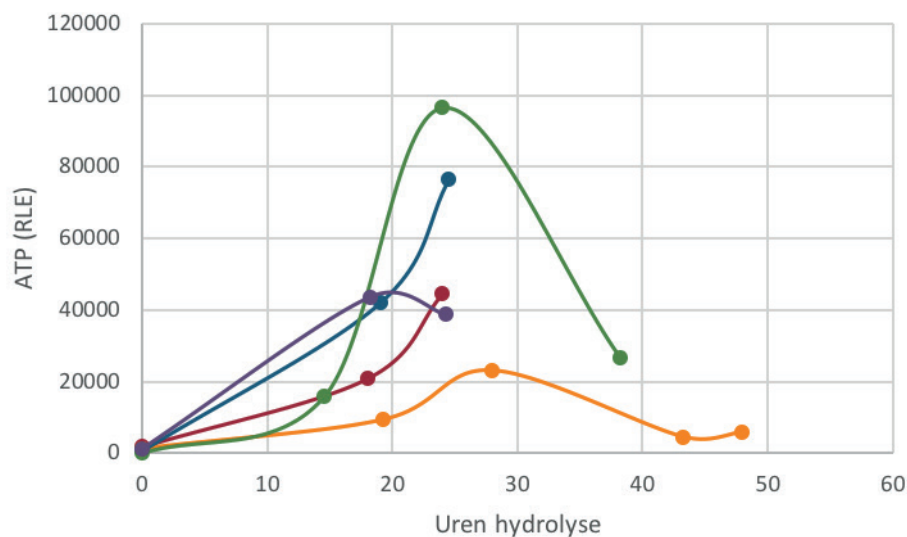
GEMIDDELD SUIKERPROFIEL HYDROLYSE



De metingen van de ATP-waarde staan in Figuur 8.26 en de toename van de ATP-waarde is in het algemeen exponentieel in de eerste 20 uur van de hydrolyse. Dat betekent dat de micro-organismen exponentieel groeien terwijl ze de gevormde glucose consumeren. Daarna is in sommige gevallen een piek en vervolgens een daling te zien. Er zijn hiervoor een aantal verklaringen. Allereerst verzuren de bacteriën de oplossing in de tank en vergiftigen zichzelf hiermee, omdat ze niet tegen een al te lage pH kunnen. Daarnaast is het mogelijk dat de reactie naar glucose steeds langzamer gaat omdat het enzym in een minder optimaal pH-gebied komt en daardoor minder actief wordt (dit blijkt ook uit de afname in de droge stof in (Figuur 8.21). Doordat er minder voedsel voorhanden is zullen bacteriën langzamer groeien. Het beeld van de ATP-waarden komt overeen met een qCPR test die is gedaan; dit is een test waarbij de hoeveelheid micro-organismen gemeten wordt door middel van de

hoeveelheid DNA in een monster. Uit Tabel 8.4 blijkt dat tijdens de hydrolyse het aantal bacteriën toeneemt en daarna weer afneemt (schimmels zijn niet gedetecteerd). Zoals in de vorige paragraaf al beschreven is uiteindelijk door middel van een uitgebreide test bij de WUR vastgesteld dat het gaat om twee typen bacteriën in de hydrolysetank: *Lysinibacillus Fusiformis* en *Bacillus Cereus*.

FIGUUR 8.26 VERLOOP VAN DE ATP-WAARDE TIJDENS DE HYDROLYSE



TABEL 8.4 RESULTATEN QCPR SCAN HYDROLYSETANK. 001 = BEGIN HYDROLYSE, 002 = NA 20 UUR HYDROLYSE, 003 = EIND HYDROLYSE (36 UUR)

Monstercode	Eenheid (N)	001 (N/ml)	002 (N/ml)	003 (N/ml)	004 (N/g)
Monsterspecifieke detectielimiet		$1,0 \times 10^2$	$4,3 \times 10^1$	$4,4 \times 10^1$	$3,1 \times 10^3$
Totaal bacteriën	cellen	$1,7 \times 10^6$	$9,1 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$3,3 \times 10^4$

De spreiding van de analyseresultaten ligt tussen $0,5 \cdot N$ en $2 \cdot N$ (N =aantal gedetecteerde cellen)

Aangenomen word dat 100 DNA-kopieën gelijk staat aan 1 cel.

Monstercode	Eenheid (N)	001 (N/ml)	002 (N/ml)	003 (N/ml)	004 (N/g)
Monsterspecifieke detectielimiet		$1,0 \times 10^0$	$4,3 \times 10^{-1}$	$4,4 \times 10^{-1}$	$3,1 \times 10^1$
Totaal schimmels	cellen	$4,5 \times 10^1$	$2,5 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$6,9 \times 10^2$

De spreiding van de analyseresultaten ligt tussen $0,5 \cdot N$ en $2 \cdot N$ (N =aantal gedetecteerde cellen)

Aangenomen word dat 100 DNA-kopieën gelijk staat aan 1 cel.

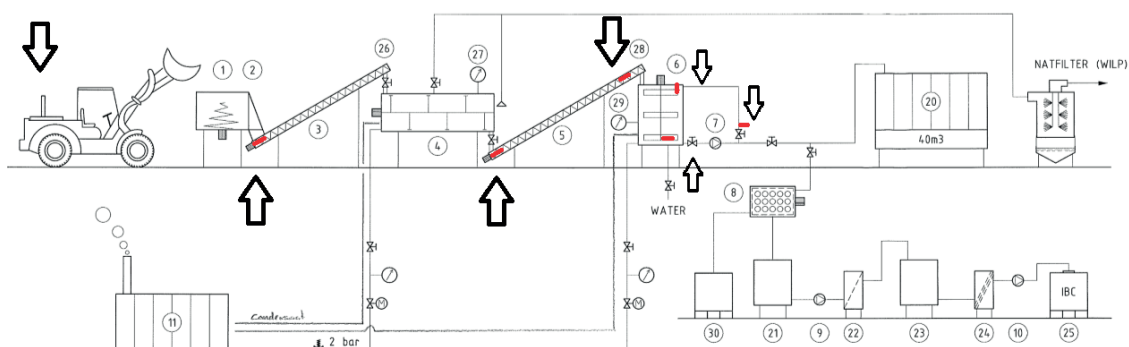
8.5.4 TEGENGAAN BACTERIELE BESMETTING

Zodra duidelijk was dat er besmetting van de hydrolysetank plaatsvond, is er een analyse gemaakt van alle mogelijke besmettingsbronnen en de mogelijke oplossingen (Tabel 8.5).

TABEL 8.5 BESMETTINGSBRONNEN EN MOGELIJKE OPLOSSINGEN. MONSTERNAMEPUNTEN STAAN WEERGEGEVEN IN DE FIGUUR 8.27

Locatie	Gemeten ATP-waarden	Grootste besmettingsbron ja/nee	Mogelijke oplossingen	Werkende oplossing ja/nee	ATP-waarden na schoonmaak
Autoclaaf (na hygiëniseratie)	6,5-54,5	Nee	Geen	n.v.t.	n.v.t.
Vijzel van autoclaaf naar hydrolysetank	Vijzel worm: 7200 Vijzel wand: 2805-3244	Ja	Schoonmaken met heet water en zeep Nozzles heet water Hoge druk spuit Stoomcleaner	Nee Nee Nee Ja (voor de vijzel beste optie)	20592 N.B. N.B. 268-542
Buitenlucht (via spleet tussen storkoker vijzel en tank)	50-300	Nee	Schuif om hydrolysetank af te sluiten	Ja	n.v.t.
Leidingwater	18-218	Nee	Geen	n.v.t.	n.v.t.
Buffertank leidingwater	3263	Ja	Schoonmaken met heet water en zeep Buffertank weghalen	Nee Ja	28,5, na 1 dag 3395, na 2 dagen 24641 n.v.t.
Hydrolysetank	Met water (zonder zeefgoed): 1180-5043	Ja	Steriliseren tank bij 90 °C, 25 uur. Schoonmaken met heet water en zeep	Nee Nee	421 3612
Wand hydrolysetank	3018	Ja	Stoomcleaner (100 °C) Hoge druk reiniger (water 600 bar)	Nee Ja (voor de wand beste optie)	761 116

FIGUUR 8.27 MONSTERNAMEPUNTEN VOOR ATP-METINGEN. DE PIJL UITERST LINKS IS DE ZEEFGOEDBUNKER



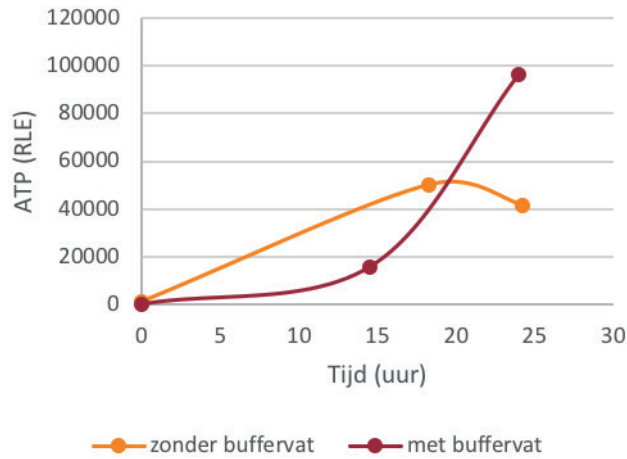
FIGUUR 8.28 TESTEN VAN NOZZLES IN DE VIJZEL



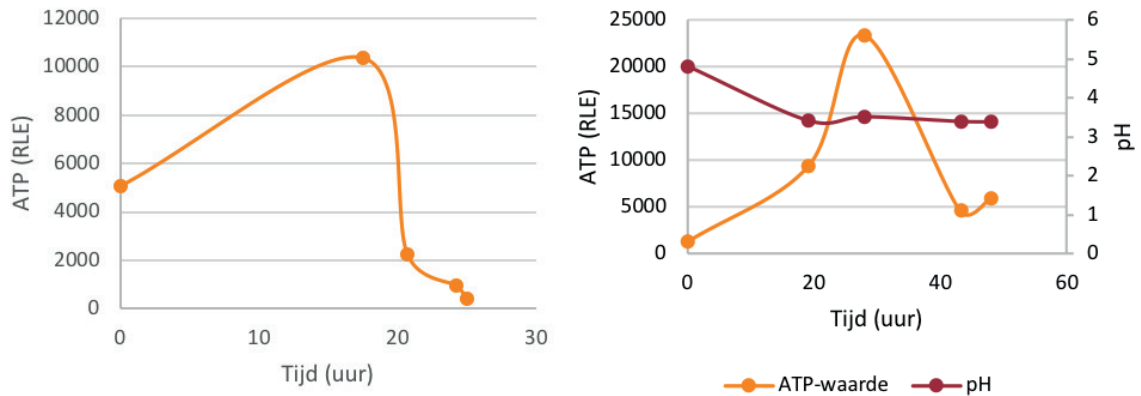
Bij het zoeken naar oplossingen is prioriteit gegeven aan de grootste besmettingsbronnen; de vijzel, de buffertank en de hydrolysetank zelf:

- De vijzel tussen autoclaaf en hydrolysetank is een bron van besmetting en moest dus schoongemaakt worden. Er zijn verschillende methoden getest om deze schoon te maken. Schoonmaken met zeep had een averechts effect. Daarna zijn nozzles geïnstalleerd (Figuur 8.28) om met water onder hoge druk de vijzel schoon te spuiten. Het bleek dat dit niet werkte omdat de reikwijdte van de nozzles niet voldoende was en zelfs met de meest optimale nozzle de vervuiling onvoldoende werd verwijderd. Vervolgens is een hogedrukreiniger toegepast, maar ook dit werkte niet voldoende. Tot slot is een stoomreiniger geprobeerd en dat werkte beter. Door een steiger te plaatsen langs de vijzel was deze veilig bereikbaar voor de schoonmaak met stoomcleaner.
- Omdat het stilstaande leidingwater in de buffertank een bron van besmetting was, is deze weggehaald. Dit vergt iets meer planning in de experimenten, zoals het vroeger beginnen met het vullen van de hydrolysetank. Het effect van deze maatregel was dat de ATP-waarde in de hydrolysetank niet meer exponentieel ging stijgen tijdens een batch (zie Figuur 8.29).
- Met een stoomcleaner kon de hydrolysetank niet overal gereinigd worden. Daarna is de hydrolysetank 25 uur gesteriliseerd bij 90-100 °C (Figuur 8.30). De batch die erna werd gedraaid vertoonde ook weer snelle groei van bacteriën. Vervolgens is er zeep toegevoegd aan de hydrolysetank en weer gesteriliseerd; ook dit was niet voldoende effectief (Figuur 8.31). Daarna is de hulp ingeroepen van een professioneel reinigingsbedrijf en is na elke batch de tank schoongemaakt met een hogedrukreiniger en 600 bar nozzles. Hiermee is de hydrolysetank volledig schoon te maken en de biofilm op de wand na afloop verdwenen, maar de recirculatieleiding en pomp zijn niet te bereiken met deze methode. Hierdoor is na elke batch de biofilm op de wand weer terug en blijft het probleem van groei van bacteriën in de tank zich voordoen. Toch is de professionele schoonmaak de rest van de experimenten uitgevoerd, om in ieder geval aan het begin van een batch een schone wand van de tank te hebben.
- Buitenlucht en Hydrolysetank. Tussen de vijzel en hydrolysetank zit een stortkoker die in contact stond met de buitenlucht. Als simpele oplossing is er een schuif op de bovenkant van de hydrolysetank geïnstalleerd zodat de tank daadwerkelijk dicht is en besmetting van buiten niet mogelijk is tijdens de hydrolyse.
- De enige optie om beter te steriliseren in de autoclaaf was een langere procestijd. Dit was echter in het begin al geprobeerd en had geen significant effect op de ATP-waarde.
- Het leidingwater was het enige wat voorhanden was. Er zijn voorstellen geweest om het water voor elke batch te verwarmen naar 90 °C, maar dit was praktisch en qua planning niet uitvoerbaar.
- Opstellen van een schoonmaakprotocol. De pomp en recirculatieleiding was niet te reinigen, maar om besmetting te minimaliseren is gekeken naar de optimale methode om alles goed leeg te maken na hydrolyse en achterblijvend vuil zo goed mogelijk weg te halen. Deze ervaringen zijn in een schoonmaakprotocol samengevat en dit is onderdeel geworden van de dagelijkse praktijk in de pilot plant.

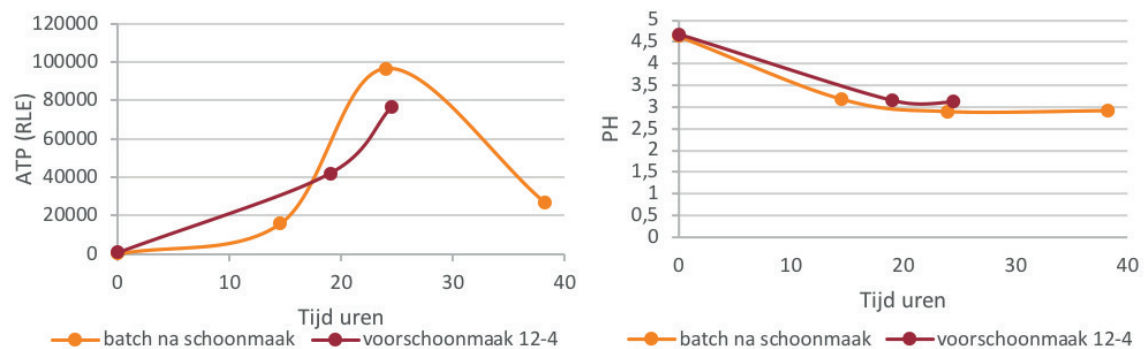
FIGUUR 8.29 VERLOOP ATP-WAARDE VAN EEN BATCH MET LEIDINGWATER MET EN ZONDER BUFFERVAT



FIGUUR 8.30 LINKS RESULTATEN STERILISEREN HYDROLYSETANK MET WATER 90-100 °C. DE EINDWAARDE VAN DE ATP WAS 421 BIJ EEN BEGINWAARDE VAN 5043, CA. 92% REDUCTIE. RECHTS: VERLOOP ATP-WAARDE EN PH VAN EEN BATCH ERNA. HIERUIT BLIJKT DAT HET EFFECT BEPERKT WAS



FIGUUR 8.31 VERLOOP ATP-WAARDE EN PH VAN DE BATCH VAN VOOR EN NA HET SCHOONMAKEN VAN DE HYDROLYSETANK MET ZEEP. UIT DE GRAFIEK BLIJKT DAT HET EFFECT BEPERKT WAS EN DE ATP-WAARDE AL SNEL WEER STIJGT



FIGUUR 8.32

BOVEN: LINKS DE WAND VAN DE HYDROLYSETANK NA SCHOONMAAK MET ZEEP, MIDDEN NA DE BATCH GEDRAAI'D DIRECT NA DE SCHOONMAAK MET ZEEP, RECHTS NA PROFESSIONELE SCHOONMAAK MET HOGE DRUK NOZZLES (600 BAR). ONDER: WAND HYDROLYSETANK NA DE BATCH DIRECT GEDRAAI'D NA PROFESSIONELE SCHOONMAAK



Alle doorgevoerde maatregelen waren onvoldoende effectief om een hogere glucoseconcentratie te realiseren. Dit heeft te maken met het feit dat een zeer gering aantal bacteriën voldoende is om op een ideale voedingsbodem exponentieel te groeien. De zeefgoedoplossing in de hydrolysetank is zo'n ideale voedingsbodem door de optimale temperaturen en productie van glucose. Daarnaast zijn ook de eigenschappen van de bacteriën zodanig dat bestrijding lastig is. Zowel *Lysinibacillus Fusiiformis* als *Bacillus Cereus* zijn beide sporenvormende bacteriën. Dit is een overlevingsstructuur van de cellen waarin het erfelijke materiaal wordt opgeslagen. Het lastige aan het bestrijden van deze spoorvormers is dat de bacteriën in die sporen in een soort ruststand verkeren wat ze vrijwel resistent maakt tegen ongunstige omgevingscondities. Het veranderen van bijvoorbeeld de temperatuur, druk of pH is dus geen oplossing. Bij het verhogen van de temperatuur worden de sporen juist geactiveerd, waardoor ze snel ontkiemen en uitgroeien tot een normale cel die zich kan vermenigvuldigen. Ook is uitdroging of elektromagnetische straling geen oplossing. Daarnaast zijn ze ook slecht te bestrijden met alcoholen omdat alcoholen de sporen niet kunnen laten afsterven. De alcohol zal hier zelfs ook besmet mee raken. Een betere oplossing is het gebruik van biocides. Biocides zijn organisme dodende stoffen. Er is gekeken welke biociden geschikt zijn voor de bestrijding van deze bacteriën. Hieruit is naar voren gekomen dat carvacrol en lactylaten het meest geschikt zijn om deze bacteriën te bestrijden. Daarnaast is natronloog een stof die zou kunnen werken.

Er is besloten om geen experimenten met deze stoffen uit te voeren in de pilot vanwege twee redenen:

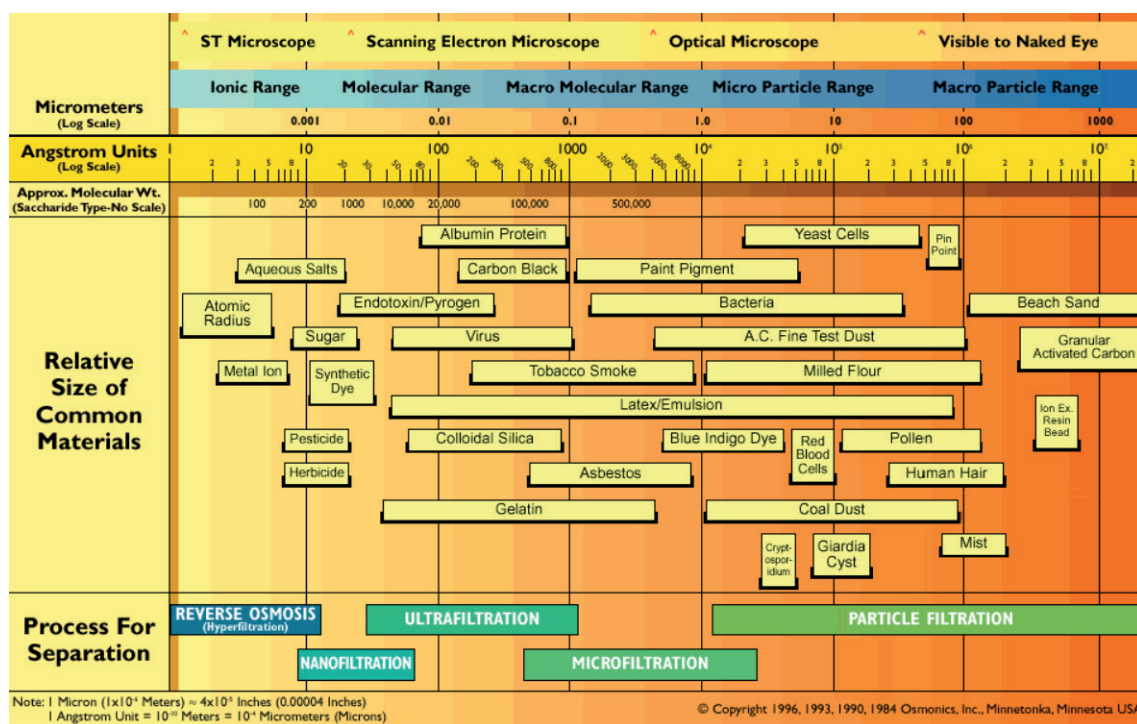
- Veiligheid. De pomp en andere onderdelen van de hydrolysetank zijn niet bestand tegen deze chemicaliën. Ook is afvoer van water met deze chemicaliën problematisch omdat het micro-organismen dood en daardoor niet geschikt is voor toevoer aan de vergister (de normale afvoerroute uit de hydrolysetank). En Attero beschikt niet over faciliteiten om deze stoffen te verwerken.
- De onderzoekers die vanuit de Wageningen Universiteit betrokken waren bij dit onderzoek adviseerden Attero geen experimenten uit te voeren in de pilot plant. Zij adviseerden de hydrolyse eerst op kleinere schaal onder controle te krijgen en te optimaliseren (incl. een biocide strategie) voordat er experimenten in de pilot gedaan zouden worden. Op basis daarvan is een voorstel uitgewerkt voor experimenten op kleinere schaal en hoe dit weer opgeschaald kan worden naar de pilot plant.

8.6 VASTE BESTANDDELEN VERWIJDEREN FILTERSTRAAT

Na de hydrolyse is er een suspensie met ca. 5-10% droge stof aan onopgeloste bestanddelen (OB) en waarbij glucose in oplossing is. De onopgeloste bestanddelen bestaan uit niet omgezet cellulose, andere organische stof en inert materiaal zoals zand. De OB wordt verwijderd door de suspensie te filtreren. Hierbij is het belangrijk dat de filtratie zo ontworpen is, dat de deeltjes in stappen worden verwijderd van grof naar fijn. De laatste stap is een 'polishing' stap met een keramisch nanofilter zodat een heldere oplossing overblijft. Deze heldere vloeistof (het eindproduct) moet voldoen aan bepaalde kwaliteitseisen, die onder geheimhouding aan Attero zijn verstrekt door een PLA-producent.

In Figuur 8.33 staan de mogelijke filtratietechnieken weergegeven en welke spreiding aan deeltjesgrootte ze kunnen afvangen. Het is wenselijk om een filtratietechniek te kiezen waarbij in de laatste stap ook bacteriën worden weggevangen (< 0,1 micrometer), maar suikers wel worden doorgelaten (>0,003 micrometer).

FIGUUR 8.33 FILTRATIEPROCESSEN EN DEELTJESGROOTTE DIE HIERMEE AFGEVANGEN KUNNEN WORDEN



In het begin van de experimenten bleek dat de geleverde trommelfilter niet voldeed en dat daardoor de hele filterstraat onvoldoende rendement haalde. Tests met een decanter hebben er uiteindelijk toe geleid dat de trommelfilter is vervangen door een decanter. Daarna zijn er nog labtests gedaan met een microfilter (0,1 micron), een alternatief voor het keramische (nano)filter (200 nm, dus 0,2 micron).

8.6.1 PILOTSCHAAL DECANTER

Het trommelfilter werkte niet omdat de maaswijdte 500 micron was en 99% van de deeltjes in de hydrolysetank kleiner waren, met een gemiddelde deeltjesgrootte van 35 μm . Daarom zijn verschillende alternatieven bekeken. Een andere maaswijdte van het trommelfilter was een voor de hand liggende optie, maar hier zat een lange levertijd aan. Daarnaast zijn verschillende leveranciers bezocht en uitgenodigd op de pilotlocatie om andere opties in kaart te brengen. Op locatie zijn twee opties op labschaal getest met materiaal uit de hydrolysetank:

- Een Sweco trilzeef met een maaswijdte van ca. 40 micron, die uitgerust kan worden met bewegende schijven of bollen om het zeefdoek tijdens operatie te reinigen. Dit bleek niet te werken. Het is een drukloze zeef, waarbij het zeefdoek meteen dichtsloeg door het vaste materiaal, dat plakkerig was, bijna zoals kauwgom (vermoedelijk door aanwezige vetten in de vaste stof). De bollen bedoeld voor het reinigen van het zeefdoek had in dit geval een averechts effect want het plakkerige zeefgoed werd op deze manier alleen maar in het zeefdoek gedrukt met kans op doorslag en verstoppingen. Deze ervaring was vergelijkbaar met het dichtslibben van het zakkenfilter en werd geconcludeerd dat een drukloze zeef geen geschikte technologie is als eerste stap.
- Een centrifuge die de werking van een decanter simuleert. Er zijn verschillende spintests op labschaal uitgevoerd. Deze resultaten waren positief en zijn weergegeven in Figuur 8.34. Vanwege dit positieve resultaat zijn er ook op pilot schaal experimenten uitgevoerd met materiaal uit de hydrolysetank. Er was een oude installatie van Attero voor het verwerken van boorspoelingen beschikbaar en uiteindelijk is één van deze oude decaners ingebouwd in de Cellu2PLA pilot plant. Onderaan de decanter is een opvangbak gemonteerd zodat het vaste materiaal bemonsterd kon worden.

Voor de spintests is een monster uit de hydrolysetank genomen (zie Figuur 8.34) en daarna geroerd, om te simuleren hoe het uit de hydrolysetank in een decanter terecht komt. Daarna zijn er spintests gedaan op 4.000 rpm en is voor 1 en 2 minuten gecentrifugeerd. Op de foto is goed te zien dat al na 1 minuut centrifugeren het vaste materiaal een mooie koek op de bodem van de buis vormt en dat het hydrolysewater erboven helder is.

FIGUUR 8.34

LINKS MONSTER UIT DE HYDROLYSETANK. MIDDEN RESULTAAT NA 1 MINUUT, RECHTS RESULTAAT NA 2 MINUTEN CENTRIFUGEREN



De pilotschaal decanter tests zijn in totaal drie keer uitgevoerd. Voor het inbouwen van de decanter in de Cellu2PLA pilotopstelling zijn twee proeven gedaan waar naast de effectiviteit van het afvangen (deeltjesgrootte en zwevende stof) ook is gekeken naar de concentratie zware metalen en zouten.

Na het inbouwen is de decanter in gebruik genomen en is de procesvoering verder geoptimaliseerd en zijn de analyses van deeltjesgrootte en zwevende stof nog een keer herhaald om te kunnen zien of de optimalisatie geslaagd was.

De decanter is geoptimaliseerd aan de hand van een aantal variabelen:

- Voeding (m^3/s). De voeding is te regelen via een kraan op de opstelling. Er is geconstateerd dat bij een lage voeding het best product verkregen wordt.
- Flocculatie. Dit is niet getest, omdat er ongewenste bestanddelen in zitten, zoals bijvoorbeeld ijzerchloride of zinkchloride. De decanter presteerde zoals uit de resultaten blijkt goed genoeg. Flocculant kan een significant verschil maken in het verwijderen van onopgeloste bestanddelen en zal bij een full-scale ontwerp wel worden meegenomen.
- Toerental (rpm). Hierbij gaat het om de draaisnelheid van de decanter. Het beste resultaat wordt verkregen bij een toerental tussen 1.200 en 1.300 rpm.
- Differentieel toerental. Dit is het verschil in toerental tussen kom en schroef. Bij de decanter die gebruikt is bij de experimenten is dit niet in te stellen. Dit kan nog effect hebben op de efficiëntie.

Uit de resultaten in Tabel 8.6 blijkt dat de optimalisatie van de decanter geslaagd is; voor de optimalisatie in proef 1 en 2 werd respectievelijk 87% en 21% van de vaste deeltjes afgevangen, na de optimalisatie is dit meer dan 98%. Verder kan geconcludeerd worden dat een deel van de metalen gehecht zit aan de vaste stof en dus ook afgevangen wordt in de decanter. In de filterstappen erna wordt ook nog OB verwijderd. Over de totale filterstraat varieert de verwijdering van 19,5% voor natrium tot 98,2% voor koper en 99,2% voor kwik. Een aantal stoffen vertonen geen afname, maar juist een toename zoals voor natrium, kalium en chloride te verwachten is dat ze niet afgevangen worden omdat deze in wateroplosbaar zijn. Nikkel en zink vertonen ook een toename. De toename zou kunnen komen doordat deze stoffen in de decanter uit de vaste fase naar de vloeistoffase migreren. Een andere verklaring is een meetfout omdat de meetmethode voor nikkel en zink door ontsluiting is en tijdens dit proces kunnen ionen die nog aan de overgebleven vaste stof zitten in oplossing komen. Daarmee wordt een te hoge waarde gemeten.

Effectief verwijdert de decanter alle deeltjes boven 87 micron. Na het inbouwen van de decanter zijn alleen nog maar zakken van 5 en 10 micron gebruikt in het zakkenfilter en was er voor het nanofilter voldoende zwevende stof afgevangen om naar behoren te kunnen werken.

TABEL 8.6 RESULTATEN PROEVEN MET DECANTER

Metalen	Eenheid	Proef	Na hydrolyse	Na decanter	% reductie decanter t.o.v. hydrolysetank	Na trommel- filter	Na zakken- filter	Na nano- filter	% reductie nanofilter tov hydrolysetank
Arseen (As)	µg/L	1	120	71	40,8%				
		2	57	38	33,3%	35	34	37	35,1%
Calcium (Ca)	mg/L	1	810	620	23,5%				
		2	610					460	24,6%
		3	560					220	60,7%
Cadmium (Cd)	µg/L	1	16	5,5	65,6%				
		2	9,5	2,3	75,8%	2,8	2,4	1,7	82,1%
Chroom (Cr)	µg/L	1	1.200	320	73,3%				
		2	310	120	61,3%	110	96	67	78,4%
Koper (Cu)	µg/L	1	12.000	1.800	85,0%				
		2	3.300	490	85,2%	340	350	58	98,2%
Kwik (Hg)	µg/L	1	26	1,8	93,1%				
		2	13	0,23	98,2%	1,8	0,41	0,1	99,2%
Kalium (K)	mg/L	1	37	40	-8,1%				
		2	29					43	-48,3%
		3	28					11	60,7%
Magnesium (Mg)	mg/L	1	55	52	5,5%				
		2	41					33	19,5%
		3	44					17	61,4%
Natrium (Na)	mg/L	1	71	76	-7,0%				
		2	63					63	0,0%
		3	75					40	46,7%
Nikkel (Ni)	µg/L	1	880	380	56,8%				
		2	220	980	-345,5%	750	730	730	-231,8%
Lood (Pb)	µg/L	1	1.500	300	80,0%				
		2	380	96	74,7%	68	46	13	96,6%
Zink (Zn)	µg/L	1	42.000	16.000	61,9%				
		2	8.500	13.000	-52,9%	30.000	29.000	35.000	-311,8%
Anionen									
Bromide	mg/L	1	0,11	0,094	14,5%				
		3	0,12					0,055	54,2%
Chloride	mg/L	1	69	72	-4,3%				
		2	90					110	-22,2%
		3	69					46	33,3%
Sulfaat	mg/L	1	339	8	97,6%				
		3	14					11	21,4%
Onopgeloste bestanddelen									
Vaste stoffen in suspensie	mg/L	1	53.000	6.800	87,2%				
		2	6.600	5.200	21,2%	2.200	2.200	17	99,7%
		3	19.000	360	98,1%	390	610	60	99,7%

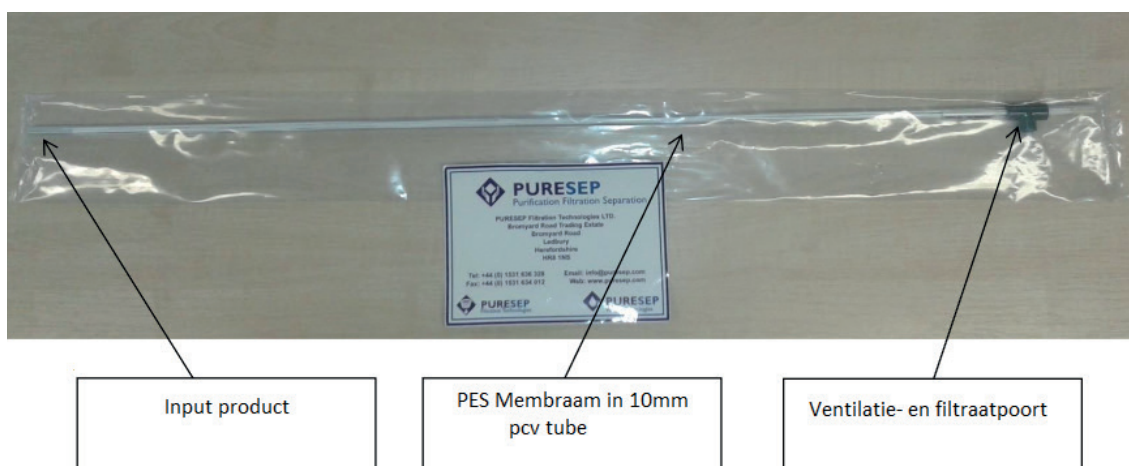
8.6.2 LABTESTS ULTRAFILTER

De decanter werkte op pilot schaal heel goed, maar heeft een nadeel op full-scale: het zijn dure apparaten die veel onderhoud vergen. Daarom is gezocht naar een alternatief, waarbij uiteindelijk ultrafiltratie (UF) naar voren kwam. Er zijn een aantal voordelen aan deze techniek: als eerste stap is dan weer een trommelfilter mogelijk want een ultrafilter is minder gevoelig dan

een keramisch (nano)filter; kan makkelijker gereinigd worden en simpel en goedkoop worden opgeschaald als de capaciteit niet toereikend is, namelijk door het oppervlak op te schalen door nieuwe blokken met ultrafiltratie rietjes te plaatsen. Ook is waarschijnlijk geen tussenstap als een zakkenfilter nodig, mits de stapgrootte tussen trommelfilter en ultrafilter goed wordt ontworpen en de filterinstallatie afgestemd is op de hoeveelheid en concentratie OB die afgevangen moet worden. Omdat de focus tijdens de proeven steeds meer op de hydrolysetank en de problemen met hygiëne kwam te liggen, is besloten niet meer op pilot schaal deze techniek te testen. In de business case is deze techniek wel als uitgangspunt gebruikt, omdat er op basis van de labresultaten voldoende vertrouwen is in deze techniek.

Bij de lab experimenten is een monster van 25 L gebruikt dat over de decanter is geweest na 24 uur hydrolyse. Dit is vervolgens door 10 UF-filtratie tubes (Figuur 8.35) gepompt en de hoeveelheid filtraat die per tijdseenheid is geproduceerd is gemonitord. Periodiek vindt er automatische reiniging (backflushes) plaats waarbij het interne oppervlak van de testtube wordt gereinigd, zodat vaste deeltjes verwijderd worden.

FIGUUR 8.35 UF-FILTRATIE TUBE DIE IS GEBRUIKT TIJDENS DE TEST. PORIEGROOTTE 0,02 MICRON (20 NM)



Uit Figuur 8.36 blijkt dat de test succesvol is geweest: het gefilterde materiaal is helder. Om de resultaten te bevestigen zijn monsters van het de input, het filtraat en het residu geanalyseerd. De hoeveelheid zwevende stof is gereduceerd van 470 mg/L na de decanter naar <5.0 mg/L (onder de detectielimiet, zie Tabel 8.7). Dit is dus beter dan de resultaten van het nano-filter in de pilot plant, wat ook wel verwacht kan worden met een 10x kleinere poriegrootte van het ultrafilter. Als het percentage reductie voor de metalen wat UF in 1 stap levert wordt vergeleken met de zakkenfilter en nanofilter samen, is niet duidelijk welke beter presteert; de resultaten zijn wisselend en in sommige gevallen vergelijkbaar.

Tot slot is er tijdens de test gekeken naar de optimale flow en hoe lang er gereinigd moet worden. De optimale reinigingstijd is vastgesteld op 36 minuten. Daarnaast is de gemiddelde flow 130 ml/min, en een flux van 43 ml/min over 0,02 m². Deze waarden zijn gebruikt voor de business case om het totale oppervlak te bepalen voor een full-scale UF-unit.

FIGUUR 8.36

RESULTATEN PROEF: LINKS INGAANDE MATERIAAL, RECHTS FILTRAAT



TABEL 8.7

REDUCTIE STOFFEN DIE BEHAALD IS MET DE UF-PROEF

Stof	Eenheid	Na decanter	Filtraat	% Reductie UF	Residu	% Reductie zakkenfilter + NF
Arseen (As)	µg/L	37	35	5,4%	39	2,6%
Barium (Ba)	µg/L	350	190	45,7%	400	
Beryllium (Be)	µg/L	<1,0	<1,0	N.B.	<1,0	
Calcium (Ca)	mg/L	520	530	-1,9%	470	
Cadmium (Cd)	µg/L	1,7	1,3	23,5%	2,4	26,1%
Kobalt (Co)	µg/L	16	17	-6,3%	17	
Chroom (Cr)	µg/L	36	14	61,1%	38	44,2%
Koper (Cu)	µg/L	750	210	72,0%	1.300	88,2%
Kwik (Hg)	µg/L	0,75	<0,10	N.B.	1	56,5%
Kalium (K)	mg/L	22	22	0,0%	24	
Magnesium (Mg)	mg/L	39	42	-7,7%	44	
Molybdeen (Mo)	µg/L	45	50	-11,1%	42	
Natrium (Na)	mg/L	67	76	-13,4%	78	
Nikkel (Ni)	µg/L	610	1.600	-162,3%	620	25,5%
Lood (Pb)	µg/L	76	93	-22,4%	110	86,5%
Antimoon (Sb)	µg/L	7,1	5,7	19,7%	9,7	
Seleen (Se)	µg/L	4,2	2,2	47,6%	4	
Tin (Sn)	µg/L	39	33	15,4%	42	
Vanadium (V)	µg/L	27	19	29,6%	28	
Zink (Zn)	µg/L	7.700	8.200	-6,5%	8.200	-169,2%
Chloride	mg/L	96	94	2,1%	97	
Droogrest onopgeloste bestanddelen	mg/L	470	<5,0	N.B.	360	99,7%

8.7 PROEVEN PRODUCTIE MELKZUUR

In April 2017 is er een batch van ca. 200 L glucose-oplossing uit de pilot plant naar de WUR gestuurd, toen nog in de veronderstelling dat er meer glucose in zat dan er werkelijk in zat. Er zijn een aantal proeven uitgevoerd op labschaal om te testen of en hoe melkzuur producerende organismen groeiden op het materiaal uit de hydrolyse-tank; de resultaten daarvan worden hieronder weergegeven. De labschaal experimenten zijn niet verder opgeschaald vanwege de hygiëne-problemen die eerder uitvoerig besproken zijn.

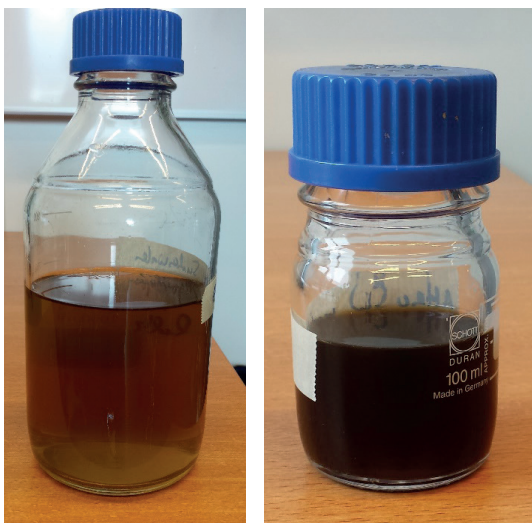
De glucose-oplossing uit de hydrolysetank is in de pilot plant gefilterd en in 4 flessen via een koerier opgestuurd naar Wageningen. In Wageningen is het in de koeling gezet en de volgende dag zijn de experimenten ingezet.

Het materiaal is eerst 5x ingedikt in 20 uur met behulp van een filmverdamer. Daarna is het materiaal kort gesteriliseerd op 120 °C om de aanwezige bacteriën te doden. Daarna zijn er verschillende experimenten ingezet met 5 verschillende culturen (bacteriën, schimmels e.d. die melkzuur produceren):

- Niet pH gecorrigeerd: het opgestuurde glucosewater had een pH van 4.
- pH gecorrigeerd: hier werd de pH gecorrigeerd naar ca. 7, de optimale pH voor de culturen om te groeien
- Met toevoeging van voeding: bij de helft van de culturen werd een gistextract toegevoegd om te kunnen bepalen of het glucosewater uit de pilot plant voldoende voeding bevat of niet.

FIGUUR 8.37

LINKS GEFILTERDE GLUCOSE-OPLOSSING UIT DE HYDROLYSETANK, RECHTS 5X INGEDIKT



FIGUUR 8.38

LINKS EEN CULTUUR MET PH-CORRECTIE, ZONDER GISTEXTRACT (LINKS) EN MET GISTEXTRACT. DE WITTE LAAG BOVENOP DE VLOEISTOF IS DE GROEIENDE CULTUUR. RECHTS EEN CULTUUR ZONDER PH-CORRECTIE, ACHTER MET GISTEXTRACT, VOOR ZONDER



Daarna werden de mengsels een week lang geïncubeerd. Het resultaat van dit onderzoek was dat er groei van culturen was bij alle pH-gecorrigeerde mengsels (dus ook zonder voeding) maar geen groei bij de oorspronkelijke pH (zie Figuur 8.38). Na twee dagen was al het glucose in het medium omgezet. Er bleek dat in het ingedikte glucosewater 2,7 g/L glucose zat en 16 g/L melkzuur voor de start van de culturen, terwijl aangenomen was dat er 6 g/L glucose

in het niet ingedikte glucosewater zat, oftewel dat er 30 g/L glucose in het ingedikte glucosewater zou moeten zitten. Het glucosegehalte was dus ruim een factor 10 lager dan verwacht. Na de fermentatie van de culturen was er 23 g/L melkzuur aanwezig. Er werd dus meer melkzuur geproduceerd dan er glucose voorhanden was. Dit kan er op duiden dat er cellobiose en andere oligosachhariden aanwezig waren na de hydrolyse, dat wil zeggen dat er halfproducten tussen cellulose en glucose aanwezig waren, die door de melkzuurvormende organismen omgezet konden worden (en juist niet door *B. Cereus* en *L. Fusiformis* in de hydrolysetank).

8.8 INDIKKEN

Na filtratie is er een heldere vloeistof met glucose in oplossing. Uit literatuuronderzoek zijn drie geschikte technieken voor het indikken van de glucose naar voren gekomen:

- MDR verdamper (mechanische dampcompressie).
- GaLiCoS (Gas liquid contacting system).
- Reverse Osmosis (RO).

De technieken worden hieronder kort uitgelegd. Alle drie de technieken werken onder 100 °C, wat belangrijk is voor tegengaan van degradatie van de glucose. In Tabel 8.8 staat een overzicht met voor- en nadelen van elke techniek. De technieken zijn niet op pilotschaal getest en daardoor is niet aan te geven welke van deze technieken het beste zal presteren voor glucosewater.

TABEL 8.8

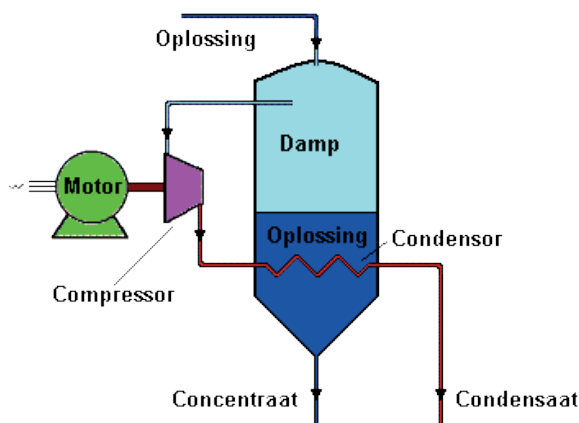
VOOR- EN NADELEN VAN DE ONDERZOCHE TECHNIEKEN

Techniek	Voordelen	Nadelen
MDR	Relatief lage energiekosten Weinig monitoring door personeel vereist	Relatief hoge investeringskosten Lange opstarttijd
GaLiCoS	Lage investeringskosten (?) Minder gevoelig voor vervuiling Makkelijke bediening	Duurt relatief lang
RO	Continue productie mogelijk Geen warmtebron nodig	Relatief hoge drukken

MDR of mechanische dampcompressie werkt volgens hetzelfde principe als een warmtepomp. Er wordt warmte onttrokken aan de omgeving bij een lage temperatuur en deze wordt gecomprimeerd. Hierdoor stijgt de druk en daarmee ook de temperatuur en verzadigingstemperatuur van de damp. Bij een MDR is de damp afkomstig van het proces zelf; een verdamper is daarom niet nodig. Een MDR wordt daarom ook een open warmtepomp genoemd. Dit alles gebeurt vaak onder een lichte onderdruk zodat er relatief minder energie moet worden toegevoegd. De warmte die hierbij vrij komt kan weer worden ingezet in het proces en kan in serie worden geschakeld voor optimale benutting van energie. Figuur 8.39 illustreert een MDR-systeem. De oplossing die geconcentreerd moet worden komt via de toevoerleiding binnen onder een bepaalde druk. De vloeistof in het vat verdampt door warmtewisseling met warmte uit de condensor en wordt via de bovenkant via de compressor opgenomen en in druk verhoogd. De elektromotor drijft de compressor aan. De damp staat de warmte af in de condensor en condenseert vervolgens. De overgebleven warmte in het condensaat kan vervolgens opnieuw worden gebruikt in dezelfde MDR of een ander proces.

FIGUUR 8.39

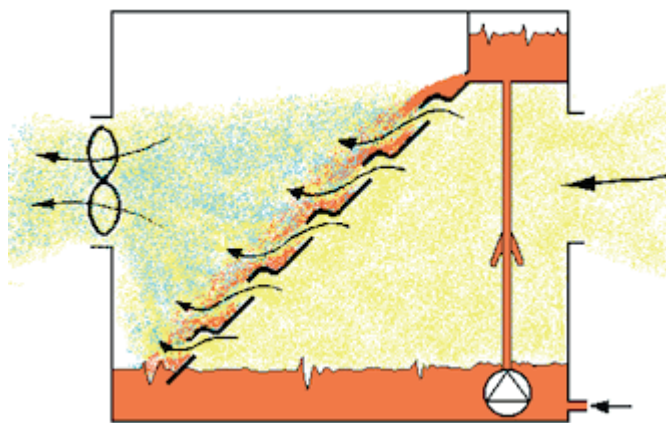
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MDR



GaLiCos (Figuur 8.40) is een nieuwe gepatenteerde techniek voor het indikken van oplossingen. Waterstromen kunnen met afval- of restwarmte uit ventilatielucht of zelfs buitenlucht worden ingedikt tegen lage kosten. De vloeistof loopt over een aflopende plaat via zwaartekracht naar beneden en zorgt voor een lichte onderdruk in de naar beneden gerichte uitstekende openingen in de plaat. Deze onderdruk zorgt ervoor dat de lucht door de plaat gaat als langgerekte bellen en in contact komt met de vloeistof. Hierdoor ontstaat turbulentie aan het oppervlak waardoor de lucht meteen wordt verzadigd met damp. De verdamping is afhankelijk van de temperatuur en de luchtvochtigheid in de luchtstroom. Deze verzadigde luchtstroom kan vervolgens in de atmosfeer worden afgevoerd. In dit geval gaat het om onschadelijke stoffen (waterdamp), dus zijn hier geen extra maatregelen voor nodig.

FIGUUR 8.40

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN GALICOS

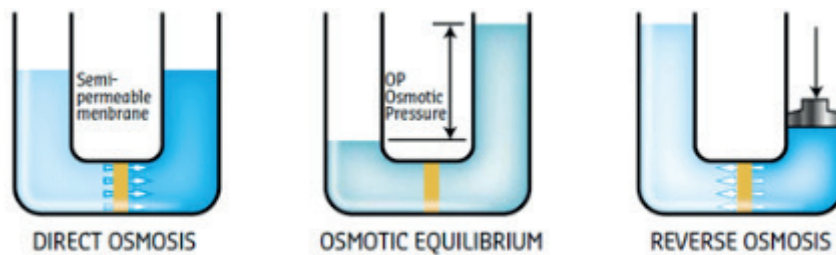


Osmose is het proces dat is gebaseerd op diffusie waarbij een vloeistof met een bepaalde concentratie van stoffen, door een semipermeabele (halfdoorlatend) wand stroomt die de vloeistof wel doorlaat maar niet de opgeloste stoffen (Figuur 8.41). Dit gaat door tot er een balans is waarbij de osmotische druk gelijk wordt. De stromingsrichting bij osmose is van hoge concentratie naar lage concentratie. Bij omgekeerde osmose is dit het tegenovergestelde. Dit gebeurt doormiddel van druk uit te oefenen op de te concentreren vloeistof in de tegen-gestelde richting. Hierdoor ontstaat er enerzijds een 'ontwaterde oplossing' en anderzijds puur water (mits het membraan een poriegrootte heeft die alleen watermoleculen doorlaat.). Het verwijderingsrendement wordt niet alleen bepaald door de grootte van de te verwijderen stoffen ten opzichte van het membraan, maar ook door de polariteit en de lading van de stoffen, het oplosmiddel en het membraan. Over het algemeen laat het alleen water door

afhankelijk van het membraan. Osmose verbruikt ten opzichte van verdamping minder energie, zie Figuur 8.42.

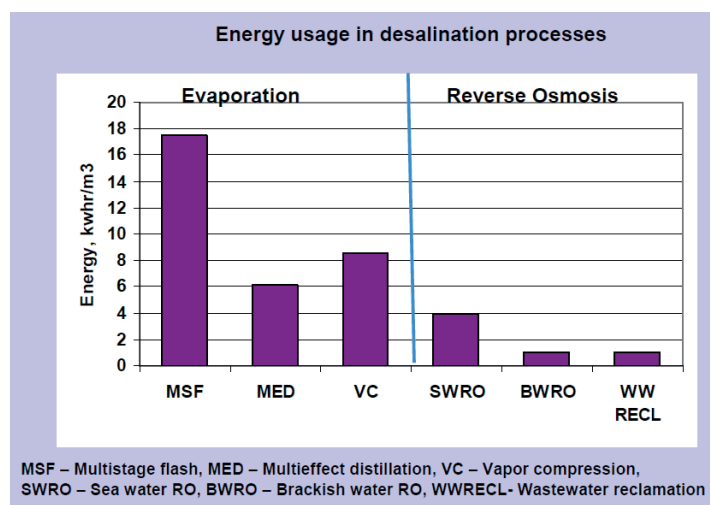
FIGUUR 8.41

VERSCHILLENDE OSMOSEPRINCIPES



FIGUUR 8.42

HET ENERGIEVERBRUIK BIJ RO IS LAGER DAN MET VERDAMPING



9

ECONOMISCHE ANALYSE

9.1 INLEIDING

Voor het Cellu2PLA project is een economische analyse uitgevoerd met de gegevens en kentallen die zijn verzameld tijdens het monitoringsjaar van de RWZI Beemster en de pilot-installatie voor de productie van glucose. Op basis hiervan zijn businesscases doorgerekend en onderbouwd voor onder andere terugverdientijd en projectrendement. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat de economische analyse specifiek geldt voor de situatie van de RWZI Beemster en geen voorbeeld berekening is die één op één toepasbaar is voor RWZI's in Nederland. Wel bevat het de ingrediënten waarmee een waterschap voor een bepaalde situatie een economische analyse kan uitvoeren.

In deze economische analyse is gekeken naar:

1. De businesscase van de fijnzeefinstallatie, in vergelijking met het niet installeren van zo'n installatie.
2. De businesscase van de productie van glucose uit zeefgoed.
3. De kosteneffectiviteit van de fijnzeef als CO₂-reductiemaatregel.

Het Cellu2PLA-project is maar deels succesvol gebleken. Er is een fijnzeefinstallatie op de RWZI Beemster geïnstalleerd. Deze installatie verwijdert een deel van de onopgeloste bestanddelen en ontlast daarmee het biologische zuiveringsproces. Het levert een nieuwe reststroom, de grondstof zeefgoed, die binnen de kaders van het Cellu2PLA-project werd verwerkt in een pilotinstallatie van Attero in Wijster. Hier werd het zeefgoed gehygiëniseerd en de cellulose omgezet in glucose. De opzet was om de glucose vervolgens om te laten zetten via melkzuur naar polymelkzuur. Zoals al beschreven in Hoofdstuk 8 bleek de glucose door de nog aanwezige bacteriën weer omgezet te worden en is geen bruikbare glucosestroom geproduceerd. Dit betekent dat de businesscase van de glucoseproductie uit zeefgoed is gebaseerd op de inschatting van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal.

Als referentie voor het systeem met fijnzeefinstallatie is uitgegaan van de RWZI zoals die zonder fijnzeefinstallatie functioneerde in de jaren 2010-2016. Van deze referentieperiode zijn betrouwbare gegevens beschikbaar qua energieverbruik, hulpstoffenverbruik en andere karakteristieken van de RWZI. Op deze wijze kan de waardering van de capaciteitsuitbreiding die ontstaat door de fijnzeef te plaatsen in een bestaand systeem inzichtelijk worden gemaakt in de businesscase.

9.2 BUSINESSCASE FIJNZEEFINSTALLATIE RWZI

9.2.1 AANPAK

Op basis van gegevens ontleend aan de specifieke situatie van de RWZI Beemster worden een terugverdientijd en het projectrendement berekend van de investering in de fijnzeef. Met de gegevens over 2017 is de verandering van het verbruik van hulpstoffen en energie voor de RWZI in beeld gebracht, maar wordt ook een bandbreedte aangegeven. De resultaten zijn op

basis van een berekening met en zonder waardering van de capaciteitsuitbreiding die met het plaatsen van de fijnzeef wordt gecreëerd.

9.2.2 SYSTEEM MET EN ZONDER FIJNZEEF

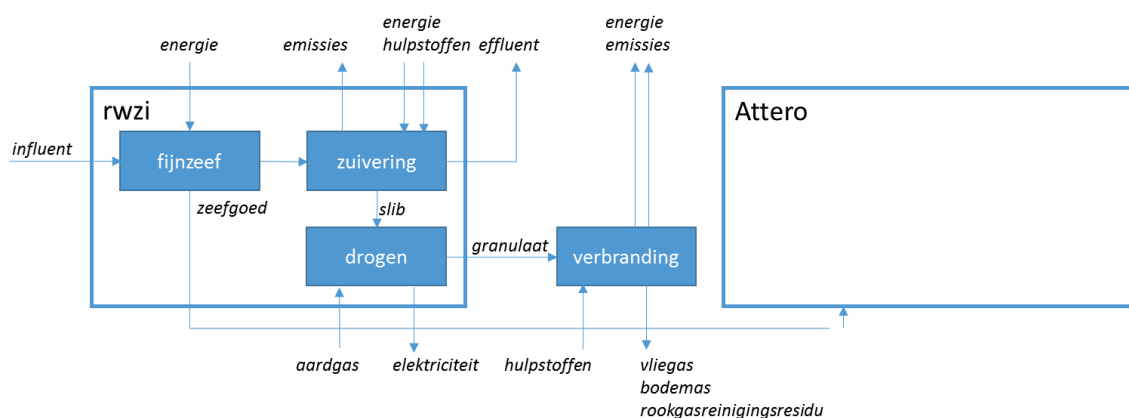
Voor het opstellen van de businesscase van de fijnzeef is een systeem vergeleken waarbij afvalwater wordt gezuiverd met gebruik van een fijnzeef (zie Figuur 9.1) ten opzichte van een systeem waarbij het wordt gezuiverd zonder gebruik van een fijnzeef, de referentie (zie Figuur 9.2).

Ten opzichte van het referentiesysteem (zonder fijnzeef) leidt een systeem met fijnzeef ertoe dat:

- Het (gezeefde) afvalwater dat naar de zuivering gaat een lagere concentratie aan met name CZV, BZV en OB bevat. Dat betekent dat het energieverbruik in de zuivering en droogstap van de slibverwerking afneemt. Verder neemt in de zuiveringsstap het gebruik van PE in de sliblijn af, maar het gebruik van natriumhypochloriet (NaClO) neemt toe. Met de fijnzeefinstallatie is er een onderdeel op de RWZI bijgekomen dat geur (H_2S) verspreidt. De H_2S wordt afgezogen en naar de geurbehandeling geleid. Dat uit zich onder andere door een toename van het verbruik NaClO waarmee geurcomponenten (H_2S) worden geoxideerd. De elektriciteitsopbrengst bij de droogstap neemt af (voor volledige beschrijving van het proces zie ook de milieuanalyse). Het betreft hier een slibdroger, waar aardgas wordt gebruikt om warmte en elektriciteit op te wekken, en elektriciteit een bijproduct is. In deze analyse wordt naar het geheel gekeken, dus naar het gas wat nodig is voor de productie van alle warmte voor slibdrogen en alle elektriciteit wat elders gebruikt wordt. Omdat de baat van minder aardgasgebruik volledig wordt opgenomen, krijgen ook de kosten van minder elektriciteitsopbrengst een plek. Hier zou waarschijnlijk een optimalisatie kunnen plaatsvinden door restwarmte te gebruiken, mits er voldoende bronnen of netwerken daarvoor in de nabijheid zijn.
- Er een stroom ontstaat van zeefgoed die wordt aangeboden aan een verwerking (in dit geval Attero).
- De capaciteit van het systeem wordt uitgebreid. We kunnen deze uitbreiding wel of niet meenemen bij het berekenen van de business case van de fijnzeef. In de situatie waarin de fijnzeef (mede) wordt geplaatst om een capaciteitsuitbreiding te realiseren wordt de extra capaciteit wel mee gewaardeerd.

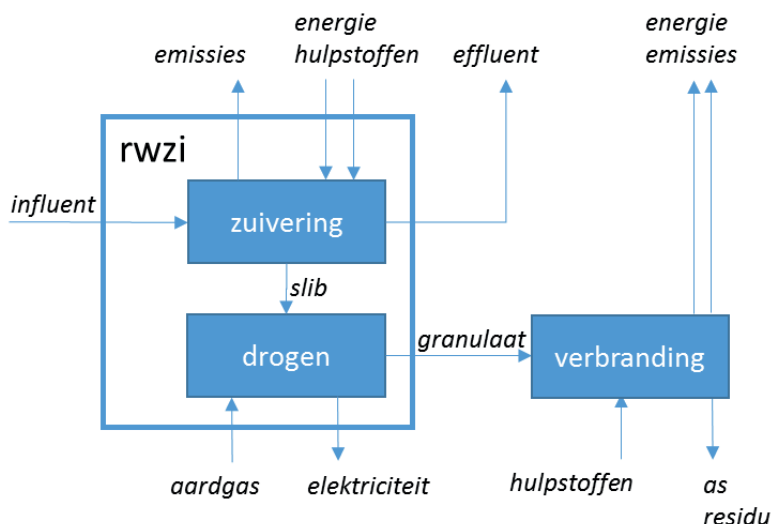
FIGUUR 9.1

SYSTEEM MET FIJNZEEF



FIGUUR 9.2

SISTEEM ZONDER FIJNZEEF (REFERENTIE)



9.2.3 GEGEVENS OVER PRIJZEN EN KOSTEN VAN IN- EN OUTPUT

Er is gebruik gemaakt de volgende prijs- en kostengegevens in Tabel 9.1.

TABEL 9.1

PRIJS- EN KOSTENGEDEVENS FIJNZEEFINSTALLATIE

In/output	Kosten/prijs (excl. BTW)	Eenheid
Elektriciteit	0,075	€/kWh
Aardgas	0,57	€/Nm ³
FeCl ₃	118	€/ton FeCl ₃
PE	1.470	€/ton PE
NaClO	315	€/ton NaClO
Poorttarief (aanbieden (afzet) zeefgoed)		
Pessimistisch	83	€/ton
Neutraal	74	€/ton
Optimistisch	66	€/ton
Aanbieden granulaat	33	€/ton

De prijzen voor het aanbieden van zeefgoed en granulaat (gedroogd slib) zijn inclusief transportkosten. Voor het transport van het zeefgoed is uitgegaan van transportkosten van € 20,66 per ton. Deze komen overeen met transport van de locatie van de zuivering in Beemster naar de locatie van Attero in Groningen.

9.2.4 GEGEVENS OVER DE INVESTERING

De investeringen die zijn gedaan op RWZI Beemster om het filteren van rioolwater mogelijk te maken staan in Tabel 9.2. Daarbij is uitgegaan van drie kostenscenario's. Het pessimistische scenario geeft de kosten weer die daadwerkelijk voor RWZI Beemster zijn gemaakt. Een deel van die kosten zijn echter niet strikt gekoppeld aan fijnzeven, in het neutrale scenario zijn die daarom weggelaten. Verder is RWZI Beemster de eerste zuivering in Nederland die grootschalig met fijnzeven is uitgebreid. Er is leergeld betaald, in het optimistische scenario is dat weggelaten.

TABEL 9.2

OPBOUW INVESTERINGSKOSTEN

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
Bouwkosten/investeringen in de bouwfase	€ 4.878.860	€ 3.537.189	€ 2.970.421
Inrichtingskosten	€ 1.465.735	€ 1.330.861	€ 1.330.861
Plan- en advieskosten	€ 649.574	€ 494.888	€ 433.014
BTW over bovenstaande posten	€ 1.468.775	€ 1.126.217	€ 994.202
Totale investeringskosten	€ 8.462.944	€ 6.489.155	€ 5.728.498
waarvan:			
<i>Civieltechnisch</i>	€ 4.001.835	€ 2.838.291	€ 2.344.977
<i>Werktuigbouwkundig</i>	€ 3.066.279	€ 2.604.742	€ 2.476.882
<i>Elektrisch</i>	€ 1.394.830	€ 1.046.123	€ 906.640

Het uitgangspunt is dat de extra capaciteit die wordt gecreëerd met de plaatsing van de fijnzeef niet wordt benut. In Paragraaf 2.7 hanteren we het uitgangspunt dat die capaciteit wel wordt benut. We laten daar zien hoe de netto-kosten van de investering veranderen vanwege vermeden kosten van uitbreiding van het huidige systeem.

In Bijlage 3 staat een nadere uitsplitsing van de kosten in de investeringsfase met een toelichting op de verschillen tussen de scenario's.

9.2.5 GEGEVENS OVER DE JAARLIJKSE OPBRENGSTEN/VERMEDEN KOSTEN

9.2.5.1 ONDERHOUDSKOSTEN

TABEL 9.3

OPBOUW ONDERHOUDSKOSTEN

Post	Hoogte
Totale onderhoudskosten, waarvan:	€ 48.400
Onderhoudskosten	€ 40.000
BTW op totaal jaarlijks terugkerende kosten	€ 8.400

9.2.5.2 RENTELASTEN

TABEL 9.4

JAARLIJKSE RENTELASTEN

Post	Kosten pessimistisch	Kostenneutraal	Kosten optimistisch
Totale jaarlijkse rentekosten voor kapitaal	€ 127.495	€ 101.033	€ 91.344

Deze kosten zijn berekend op basis van de investeringskosten en de gegevens uit Tabel 9.5.

TABEL 9.5

GEGEVENS BEPALING KAPITAALSLASTEN

Parameter	Hoeveelheid	Eenheid
Afschrijvingstermijn fijnzeef:		
Civieltechnisch	30	jaren
Werktuigbouwkundig	15	jaren
Elektrisch	15	jaren
Rente op lening/vereist rendement op kapitaal voor investering fijnzeef	1,8	%

9.2.5.3 EXTRA KOSTEN ENERGIE FIJNZEEF EN AANBIEDEN ZEEFGOED

TABEL 9.6 OPBOUW KOSTEN ENERGIE EN AANBIEDEN ZEEFGOED

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
€ per jaar, incl. BTW			
Totale extra kosten energie fijnzeef en aanbieden zeefgoed, waarvan:	€ 185.895	€ 161.992	€ 140.172
<i>Kosten elektriciteit</i>	€ 21.545	€ 20.917	€ 20.290
<i>Kosten aanbieden zeefgoed</i>	€ 164.351	€ 141.075	€ 119.882

Deze kosten zijn berekend op basis van de verschillen in fysieke eenheden in Tabel 9.7.

TABEL 9.7 GEGEVENS BEPALING KOSTEN ENERGIE EN AANBIEDEN ZEEFGOED

Post	Hoeveelheid pessimistisch	Hoeveelheid neutraal	Hoeveelheid optimistisch	Eenheid
Extra verbruik elektriciteit fijnzeef	237.407	230.492	223.578	kWh/jaar
Aan te bieden zeefgoed	1.636	1.568	1.499	ton/jaar

9.2.5.4 EXTRA KOSTEN HULPSTOFFEN EN MINDER ENERGIE ZUIVERING

In Tabel 9.8 staan de kosten en besparingen voor hulpstoffen en energie in de RWZI Beemster.

TABEL 9.8 KOSTEN HULPSTOFFEN EN LAGERE ENERGIEKOSTEN ZUIVERING

Post	Kosten pessimistisch	Kostenneutraal	Kosten optimistisch
€/jaar, incl. BTW			
Totale extra kosten, waarvan:	-23.264	-38.527	-45.939
Elektriciteit, zuivering	-22.864	-38.127	-45.540
Aardgas, zuivering	-	-	-
FeCl ₃	-	-	-
PE	-1.933	-1.933	-1.933
NaClO	1.534	1.534	1.534

Deze kosten zijn berekend op basis van de verschillen in fysieke eenheden die in Tabel 9.9 weergegeven zijn.

TABEL 9.9 GEGEVENS BEPALING KOSTEN HULPSTOFFEN EN LAGERE ENERGIEKOSTEN ZUIVERING

Post	Hoeveelheid pessimistisch	Hoeveelheid neutraal	Hoeveelheid optimistisch	Eenheid
Elektriciteit, zuivering	-251.948	-420.136	-501.818	kWh/jaar
Aardgas, zuivering	-	-	-	Nm ³ /jaar
FeCl ₃	-	-	-	ton/jaar
PE	-1	-1	-1	ton/jaar
NaClO	4	4	4	ton/jaar

Met de fijnzeefinstallatie is er een onderdeel als geurbron (H₂S) op de RWZI bijgekomen. De lucht wordt afgezogen en naar de geurbehandeling geleid. Dit heeft een toename van het verbruik aan NaClO tot gevolg omdat hiermee de geurcomponenten (als H₂S) worden geoxideerd. Het verminderde verbruik van PE is vanwege de gedaalde slibproductie.

9.2.5.5 BESPAARDE KOSTEN HULPSTOFFEN EN ENERGIE DROGEN

TABEL 9.10 KOSTENBESPARING HULPSTOFFEN EN ENERGIE VOOR SLIBDROGING

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
€/jaar, incl. BTW			
Vershil in kosten aanbieden granulaat bij verbrander	-8.706	-17.876	-35.533
Vershil in kosten aardgas	-120.296	-247.014	-491.008
Vershil in opbrengst E-productie	41.550	85.317	169.591
Totaal verschil kosten aardgas, aanbieden granulaat bij verbrander minus E-opbrengst, waarvan:	-87.452	-179.572	-356.950

Een min teken betekent dat kosten bespaard worden. Vanwege het verminderde energieverbruik bij het drogen, is er ook een teruggang in de hoeveelheid elektriciteit die wordt geproduceerd in de WKK (bijproduct). Deze kosten zijn berekend op basis van de verschillen in fysieke eenheden die in Tabel 9.11 weergegeven zijn.

TABEL 9.11 GEGEVENS KOSTENBESPARING HULPSTOFFEN EN ENERGIE VOOR SLIBDROGING

Post	Hoeveelheid pessimistisch	Hoeveelheid neutraal	Hoeveelheid optimistisch	Eenheid
Aardgas (verbruik)	-174.418	-358.146	-711.915	Nm ³ /jaar
Elektriciteit (opgewekt)	-457.848	-940.134	-1.868.776	kWh/jaar
Aan te bieden granulaat (95% droge stof)	-218	-448	-890	ton/jaar

9.2.5.6 OVERZICHT JAARLIJKSE OPBRENGSTEN/VERMEDEN KOSTEN ALS GEEN GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT

Tabel 9.12 en Tabel 9.13 geven een overzicht van de jaarlijkse extra kosten die gemaakt worden in het scenario met fijnzeef ten opzichte van het referentiescenario. Dit per stap in de RWZI en de kosten uitgesplitst naar de bron.

TABEL 9.12 OVERZICHT JAARLIJKSE KOSTEN FIJNZEEF MINUS REFERENTIE, PER STAP IN DE RWZI

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
€/jaar, incl. BTW			
Onderhoudskosten	48.400	48.400	48.400
Rentelasten	127.495	101.033	91.344
Extra kosten energie fijnzeef en aanbieden zeefgoed	185.895	161.992	140.172
Extra kosten hulpstoffen en minder kosten energie zuivering	-23.264	-38.527	-45.939
Extra kosten hulpstoffen en energie drogen	-87.452	-179.572	-356.950
Totale kosten jaarlijks, exclusief rentelasten, exclusief waardering capaciteitsuitbreiding	123.579	-7.707	-214.317
Totale kosten jaarlijks, inclusief rentelasten, exclusief waardering capaciteitsuitbreiding	251.074	93.326	-122.973

Een “-“teken betekent dat kosten vermeden worden.

TABEL 9.13 OVERZICHT JAARLIJKSE EXTRA KOSTEN FIJNZEEF MINUS REFERENTIE, OP BASIS VAN TYPE KOSTEN

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
	€/jaar, incl. BTW		
Onderhoudskosten	48.400	48.400	48.400
Rentelasten	127.495	101.033	91.344
Aanbieden zeefgoed	164.351	141.075	119.882
Energiegebruik	-121.616	-264.224	-516.258
Elektriciteitsopwekking	41.550	85.317	169.591
Gebruik hulpstoffen	-399	-399	-399
Aanbieden granulaat	-8.706	-17.876	-35.533
Totale kosten jaarlijks, exclusief rentelasten, exclusief waardering capaciteitsuitbreiding	123.579	-7.707	-214.317
Totale kosten jaarlijks, inclusief rentelasten, exclusief waardering capaciteitsuitbreiding	251.074	93.326	-122.973

9.2.6 FINANCIËEL RESULTAAT ALS GEEN GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT

In deze en de navolgende paragrafen de berekeningen, met en zonder waardering van de capaciteitsuitbreiding. Hierin is onderscheid omdat onzeker is in welke mate en wanneer in de toekomst gebruik zal worden gemaakt van de extra gecreëerde capaciteit.

Uit de businesscaseberekeningen met het uitgangspunt dat geen gebruik gemaakt wordt van de capaciteitsuitbreiding, blijkt dat een investering in een fijnzeef niet rendabel is. Dat komt met name vanwege de hoge kosten voor het aanbieden van het zeefgoed en het elektriciteitsverbruik van de fijnzeef. Deze kosten worden niet gecompenseerd door besparingen in de stappen daarna, zie de paragraaf hieronder. In Paragraaf 9.2.9 is in beeld gebracht hoe de resultaten veranderen als er wel gebruik wordt gemaakt van de uitgebreide capaciteit.

In Tabel 9.14 is de terugverdientijd (TVT) en interne rentevoet (IR) gegeven voor de business-case van de fijnzeef zonder waardering van de capaciteitsuitbreiding.

TABEL 9.14 TVT EN IR FIJNZEEFINSTALLATIE ZONDER WAARDERING CAPACITEITSUITBREIDING

Post	Pessimistisch	Neutraal	Optimistisch	Eenheid
Investeringskosten t=0	8.462.944	6.489.155	5.728.498	€, incl. BTW
Herinvesteringskosten t=15jaar	4.248.009	3.586.935	3.383.522	€, incl. BTW
Verschil jaarlijkse kosten (fijnzeef minus referentie, excl. rentelasten)	123.579	-7.707	-214.317	€/jaar, incl. BTW
Verschil jaarlijkse kosten (fijnzeef minus referentie, incl. rentelasten)	251.074	93.326	-122.973	€/jaar, incl. BTW
TVT	Nvt ⁽¹⁾		>>30 ⁽²⁾	Jaren
IR			Negatief	%

(1) De investering wordt niet terugverdiend omdat er jaarlijks kosten worden gemaakt

(2) De investering wordt niet terugverdiend binnen de levensduur van 30 jaar

Voor de berekening van de TVT worden de investeringskosten gedeeld door het verschil in jaarlijkse kosten inclusief rentelasten. Je rekent hiermee uit hoelang het duurt voordat je de investering hebt terugverdiend. De IR berekenen we op basis van het verschil in jaarlijkse kosten exclusief kapitaallasten en is een maat voor het rendement op een investering. Als de IR

groter is dan bijvoorbeeld de gemiddelde kosten op een geldlening (de zogenaamde *Weighted Average Cost of Capital* (WACC)), dan is het project rendabel. Een positief getal betekent dat de kosten in het systeem met fijnzeef hoger zijn dan de kosten in het systeem zonder fijnzeef. Een negatieve waarde voor de Interne rentevoet betekent dat de TVT hoger ligt dan de levensduur van de installatie.

9.2.7 VERANDERING FINANCIËEL RESULTAAT ALS GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT

In deze paragraaf is het uitgangspunt dat de extra capaciteit wordt benut die met de fijnzeef aan het systeem (RWZI) is toegevoegd. In dat geval is er naast de in de vorige paragrafen genoemde opbrengsten/vermeden kosten ook sprake van een vermeden investering in een capaciteitsuitbreiding van het huidige systeem.

9.2.7.1 VERMEDEN INVESTERING WEGENS CAPACITEITSUITBREIDING

In Tabel 9.15 wordt weergegeven hoe groot deze vermeden investering is en hoe deze is geschat. De vermeden kosten treden op in het geval dat de capaciteit ook direct ten volle benut wordt. Dat betekent dat hier het uitgangspunt is dat de fijnzeef (mede) geplaatst wordt omdat het nodig is de capaciteit uit te breiden.

TABEL 9.15 VERMEDEN INVESTERING WEGENS CAPACITEITSUITBREIDING, AANNAME DAT DE EXTRA CAPACITEIT DIRECT VOLLEDIG WORDT BENUT

Post		
Uitbreiding capaciteit	18.000	i.e.
Belastingtarief	54	€/i.e.
Aandeel belastingtarief dat investering representeert:	30%*	
Vergoeding voor dekking kapitaalslasten investering voor capaciteitsuitbreiding per i.e.	16	€/i.e.
Vergoeding voor dekking kapitaalslasten investering voor capaciteitsuitbreiding per jaar	290.844	€/jaar
Vermeden investering	6.696.625	€
Vermeden herinvestering t=15jaar (WTB en E)	3.683.144	€

Het uitgangspunt bij deze berekening is dat de extra capaciteit direct en ten volle wordt benut na plaatsing van de fijnzeef.

* Het aandeel belastingtarief is gebaseerd op de gemiddelde verhouding tussen kapitaallasten en exploitatielasten die HHNK jaarlijks aan de waterketen spendeert. Dus 30% van het geld dat HHNK bij de burger ophaalt gaat op aan kapitaallasten op de investeringen die we doen. 70% gaat op aan exploitatielasten zoals personeel, hulpstoffen, slibverwerking, energie, enz.

De netto-investering en herinvestering ((her)investering in de fijnzeef minus de vermeden investering in conventionele capaciteit), wordt daarmee zoals in Tabel 9.16 aangegeven.

TABEL 9.16 NETTO-INVESTERING FIJNZEEF BIJ UITGANGSPUNT DAT EXTRA CAPACITEIT WORDT BENUT

Post	Pessimistisch	Neutraal	Optimistisch	Eenheid
Investeringskosten Fijnzeef	8.462.944	6.489.155	5.728.498	€, incl. BTW
Vermeden investering uitbreiding capaciteit huidig systeem	6.696.625	6.696.625	6.696.625	€, incl. BTW
Netto-investering t=0	1.766.319	-207.470	-968.127	€, incl. BTW
Herinvesteringskosten fijnzeef t=15	4.248.009	3.586.935	3.383.522	€, incl. BTW
Vermeden herinvestering uitbreiding capaciteit huidig systeem t=15	3.683.144	3.683.144	3.683.144	€, incl. BTW
Netto-herinvestering t=15	564.865	-96.209	-299.622	€, incl. BTW

9.2.7.2 JAARLIJKSE VERMEDELEN KOSTEN ALS GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT

Het uitgangspunt dat is gebruikt voor hulpstoffen en energie (de op een na laatste rij uit tabel 9.13) is dat het lineair schaalbaar met de verhoging van de influent (met factor 1,18) wanneer gebruik wordt gemaakt van de capaciteit. Verder is het verschil in rentelasten meegenomen bij deze kostenpost.

TABEL 9.17 NETTO-INVESTERING FIJNZEEF BIJ UITGANGSPUNT DAT EXTRA CAPACITEIT WORDT BENUT

Post	Pessimistisch	Neutraal	Optimistisch	Eenheid
Jaarlijkse kosten hulpstoffen en energie bij benutting extra capaciteit	145.824	-9.094	-252.894	€/jaar, incl. BTW
Vershil in rentelasten bij investering fijnzeef minus investering uitbreiding huidig systeem	19.761	-6.700	-16.389	€/jaar, incl. BTW
Netto-investering	165.585	-15.794	-269.283	€/jaar, incl. BTW

9.2.7.3 FINANCIËEL RESULTAAT ALS WEL GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN DE EXTRA CAPACITEIT

Uit de businesscaseberekeningen (Tabel 9.18) blijkt dat een investering in een fijnzeef waarbij wel gebruik wordt gemaakt van de extra capaciteit onder gunstige condities vanuit financieel oogpunt aantrekkelijk is ten opzichte van een alternatieve investering in de uitbreiding van de capaciteit. We zien in het pessimistische scenario dat er nog geen positieve business case is, terwijl in het neutrale en optimistische scenario zowel de investeringskosten als de jaarlijkse kosten lager zijn bij een uitbreiding met fijnzeven t.o.v. een reguliere capaciteitsuitbreiding. De TVT is dan 0 jaar, want er is geen positief verschil in investeringskosten die terug verdiend moeten worden. Om die reden is er ook geen IR te berekenen. Let op dat het hier gaat om een TVT ten opzichte van de situatie waarin er een alternatieve investering gedaan zou moeten worden, in plaats van ten opzichte van de referentie waarin geen additionele investering wordt gedaan.

We merken verder op dat de berekening is gebaseerd op het uitgangspunt dat de extra capaciteit direct en ten volle wordt benut.

TABEL 9.18 TVT EN IR FIJNZEEFINSTALLATIE ALS EXTRA CAPACITEIT WORDT BENUT, TEN OPZICHT VAN EEN REFERENTIE MET EEN INVESTERING IN DE UITBREIDING VAN DE CAPACITEIT

Post	Pessimistisch	Neutraal	Optimistisch	Eenheid
Vershil in investeringskosten (fijnzeef minus uitbreiding referentie) t=0	€ 1.766.319	€ -207.470	€ -968.127	€, incl. BTW
Vershil in herinvesteringskosten (fijnzeef minus uitbreiding referentie) t=15	€ 564.865	€ -96.209	€ -299.622	€, incl. BTW
Vershil jaarlijkse kosten (fijnzeef minus referentie) (excl. rentelasten)	€ 145.824	€ -9.094	€ -252.894	€/jaar, incl. BTW
Vershil jaarlijkse kosten (fijnzeef minus referentie) (incl. rentelasten)	€ 165.585	€ -15.794	€ -269.283	€/jaar, incl. BTW
TVT bij benutting extra capaciteit fijnzeef	Nvt ⁽¹⁾	0	0	Jaren
IR bij benutting extra capaciteit fijnzeef		n.v.t.	n.v.t.	%

(1) De investering wordt niet terugverdiend omdat er jaarlijks kosten worden gemaakt

9.2.8 SAMENVATTING FINANCIËEL RESULTAAT

Uit de businesscaseberekeningen blijkt dat een investering in een fijnzeef zonder gebruik te maken van de extra capaciteit die daarmee wordt gecreëerd, niet rendabel is. Dat komt met name vanwege de hoge kosten voor het aanbieden van het zeefgoed en het elektriciteitsverbruik van de fijnzeef. Deze kosten worden niet gecompenseerd door besparingen in de stappen daarna.

De businesscase is ook doorgerekend voor de situatie waarin de fijnzeef wordt geplaatst om extra capaciteit te creëren in de zuivering. Het uitgangspunt van die berekening is dat die capaciteit direct en ten volle wordt benut. In deze businesscase wordt de investering in de fijnzeef afgezet tegen een alternatieve investering waarmee dezelfde capaciteitsuitbreiding zou worden bereikt. Wat blijkt is dat alleen in het pessimistische scenario de terugverdientijd dusdanig lang is dat de investering vanuit financieel oogpunt niet rendabel is. Bij het neutrale en optimistische scenario is de investering in de fijnzeef vanuit financieel oogpunt aantrekkelijker ten opzichte van een alternatieve investering in de uitbreiding van de capaciteit. Daarbij wordt opgemerkt dat de businesscase verslechtert als de extra capaciteit later of slechts ten dele wordt benut.

Een fijnzeef levert ook milieuwinst op, waardoor het vanuit een maatschappelijke verantwoordelijkheid toch kan renderen om te investeren in een fijnzeef. Om dat in beeld te brengen, wordt parallel aan deze economische analyse een milieukundige analyse uitgevoerd. Op basis van die milieukundige analyse, in combinatie met deze businesscase, is in Paragraaf 9.2.9 te zien wat de kosteneffectiviteit van de fijnzeef is als CO₂-reductiemaatregel.

9.2.9 KOSTENEFFECTIVITEIT FIJNZEEFINSTALLATIE ALS CO₂-REDUCTIEMAATREGEL

In de milieuanalyse van het Cellu2PLA project wordende milieuprestaties van de twee fijnzeefroutes berekend. Een onderdeel daarvan is de reductie van de klimaatimpact/CO₂-uitstoot die deze fijnzeefroutes realiseren ten opzichte van de referentie. Als de CO₂-besparing van de fijnzeefroutes worden gerelateerd aan de kosten van de fijnzeef, kan bepaald worden wat de kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq.-reductie) van de fijnzeef is. Er wordt hierbij gerekend met de CO₂-reductie over de hele keten (de reductie die binnen de bedrijfsgrenzen van HHNK valt zal hier dus van afwijken).

In een milieuanalyse zijn twee routes voor zeefgoedverwerking milieukundig doorgerekend:

- **Fijnzeefroute A:** Productie van glucose uit zeefgoed, waarbij de reststroom vergist wordt, en het digestaat uit vergisting uiteindelijk wordt verbrand;
- **Fijnzeefroute B:** Directe vergisting van zeefgoed, gevolgd door verbranding van het digestaat.

De fijnzeefroutes zijn beiden hypothetisch. De modellering is gebaseerd op een inschatting van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. Op dit moment is Fijnzeefroute A niet ver genoeg ontwikkeld voor succesvolle full scale-productie. Voor Fijnzeefroute B is dit wel het geval. De onzekerheden in Route A zijn daarom een stuk groter.

De kosteneffectiviteit voor Fijnzeefroute A ligt tussen de 283 en 2.522 €/ton CO₂-eq.-reductie, terwijl deze voor Fijnzeefroute B tussen de 38 en 335 €/ton CO₂-eq.-reductie ligt (tabel 9.21). Deze resultaten lopen uiteen door de verschillende klimaatprestaties van de fijnzeefroutes. Vooral voor Fijnzeefroute A is de bandbreedte groot omdat de onzekerheid groot is. In Tabel 9.22 is te zien dat met name Fijnzeefroute B goed kan scoren ten opzichte van andere (voorbeeld)opties om de klimaatimpact te verlagen, zoals mestvergisting en het produceren van groengas via vergassing.

TABEL 9.19 CO₂-REDUCTIE VOOR TWEE FIJNZEFRUTES, NEUTRAAL SCENARIO

Fijnzeefroute	CO ₂ -reductie kg CO ₂ eq./jaar
Fijnzeefroute A	96.528
Fijnzeefroute B	726.562

TABEL 9.20 JAARLIJKE KOSTEN FIJNZEEF ALS CO₂-MAATREGEL, NEUTRAAL SCENARIO

Benutting capaciteitsvergroting?	Kosten €/jaar
Nee	€ 243.472
Ja	€ 27.333

De berekeningen zijn op basis van de gegevens en uitkomsten die in de voorgaande paragrafen zijn uitgewerkt en toegelicht. In de jaarlijkse kosten zijn de kapitaalslasten meegenomen op basis van een annuïteit.

TABEL 9.21 KOSTENEFFECTIVITEIT FIJNZEEF ALS CO₂-REDUCTIEMAATREGEL

Benutting capaciteitsvergroting?	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B
	€/ton CO ₂ -eq.-reductie	
Nee	2.522	335
Ja	283	38

In Tabel 9.22 zijn enkele andere potentiële maatregelen weergegeven om CO₂-emissies te besparen om die voor Fijnzeefroute A en B in perspectief te plaatsen.

TABEL 9.22 KOSTENEFFECTIVITEIT FIJNZEEF EN ENKELE ANDERE OPTIES ALS CO₂-REDUCTIEMAATREGEL (€/TON CO₂-EQ.-REDUCTIE)

Maatregel	Kosteneffectiviteit €/ton CO ₂ -eq.-reductie
Fijnzeef RWZI (Route A – glucoseproductie)	283-2.522
Fijnzeef RWZI (Route B – directe vergisting)	38-335
Procesefficiency kosten laag	-120
Procesefficiency kosten midden	-30
Procesefficiency kosten hoog	30
Biomassaketels glastuinbouw	125
Monovergisting mest	240
Groengas via vergassing	500
Warmteterugwinning woningen	800
Isolatie dienstensectoren	1.900
Regel- en feedback/optimalisatie woningen	3.100

Uit de tabel blijkt dat maatregelen die te maken hebben met het optimaliseren van het zuiveringsproces zeer kosteneffectief zijn en dat de Fijnzeefroute B op eenzelfde niveau of zelfs lager ligt (ook als de waardering voor de capaciteitsuitbreiding niet wordt meegenomen) dan maatregelen die momenteel in de belangstelling staan en/of verder worden ontwikkeld in andere sectoren.

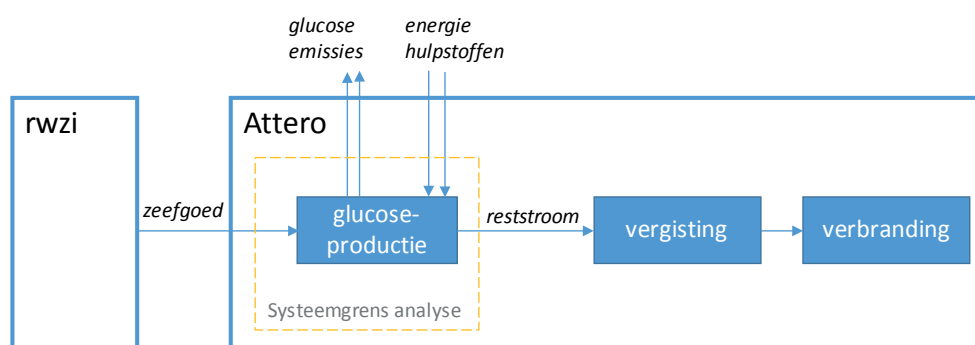
9.3 BUSINESSCASE GLUCOSEPRODUCTIE UIT ZEEFGOED

Het Cellu2PLA-project is deels succesvol gebleken. Het is niet gelukt om PLA te produceren en de oorzaak was dat het omzetten van cellulose naar glucose in de pilotinstallatie niet stabiel verliep. De gegevens voor het bepalen van de businesscase van glucoseproductie uit zeefgoed zijn dan ook deels resultaten van het onderzoek op de pilotinstallatie en deels geschat en daardoor niet altijd kwantitatief onderbouwd. Het experimenteel onderzoek met de pilotplant heeft geen opbrengstwaarde aan glucose opgeleverd, zodat deze waarde geschat moest worden. De gegevens zijn dan ook globaal geduid op de ordegrrootte en gebruikt voor de bepaling van de winstgevendheid.

9.3.1 SYSTEEMGRENZEN

Deze businesscase betreft een onderdeel van de complete keten van cellulose houdend afvalwater tot en met de productie van PLA. Aan de ingang zitten de opbrengsten uit het poorttarief voor het door Attero van HHNK ontvangen zeefgoed uit de fijnzeefinstallatie op de RWZI Beemster. Daarna komt het enzymatische omzettingsproces met toevoer van energie, hulpstoffen en de opbrengst aan niet verder gezuiverde waterige glucose-oplossing. Aan de uitgang van de businesscase zit de aangenomen intern te verrekenen verwerkingskosten van de reststroom door middel van vergisting en verbranding. Hiervan zijn geen gegevens beschikbaar qua kosten en winstgevendheid. In Figuur 9.3 zijn de gebruikte systeemgrenzen weergegeven met een stippellijn.

FIGUUR 9.3 SYSTEEMGRENZEN VOOR DE BUSINESSCASE VAN ZEEFGOED NAAR GLUCOSE



9.3.2 VASTE INVESTERINGSKOSTEN (CAPEX)

De aangenomen schaal voor de procesinstallatie bedraagt 100.000 ton zeefgoed per jaar. Voor de vaste investeringskosten is voor het totaalbedrag een bandbreedte aangenomen van 20-40 miljoen euro (exclusief BTW). Dit totaalbedrag bevat een aantal posten die in Tabel 9.23 worden genoemd.

TABEL 9.23 SPECIFICATIE VAN DE POSTEN VAN DE TOTALE VASTE INVESTERINGSKOSTEN

CAPEX

A. Civiel

Gebouw inclusief heien en compartimentering

Verharding rondom gebouw

Stoomleiding

Bunker - ontvangst cellulose/zeefgoed

Bunker - opslag vaste reststoffen

B. Werktuigbouw

Hygiënisatie zeefgoed

Transportband zeefgoed

Mixer/Doseur

CAPEX
Autoclaaf
Hydrolyse
Hydrolysetank
Filtratie
Trommelfilter
Microfilter
Indikken
Verdampingsunit glucosewater
Opslagtanks
Buffertank voor filterstraat (na hydrolyse)
Opslagtank ingedikt glucose (eindproduct)
Opslagtank proceswater (gecondenseerd uit verdamping van water)
Pompen
Pompen autoclaaf, hydrolyse, filterstraat
Doseerpompen enzym en pH-correctie
C. E&I (elektra en instrumentatie)
Elektra aanleggen
Procesbesturing - software
Inline metingen en regelingen: pH, temperatuur, druk
D. Overig
Onderhoud en reserveonderdelen
Engineering
Projectmanagement
Verzekering, brandveiligheid, certificering, analyseapparatuur
Onvoorzien

9.3.3 VARIABLE KOSTEN (OPEX)

Voor het berekenen van de variabele kosten zijn eenheidsprijzen gebruikt voor onder andere verbruiksgoederen uitgedrukt per ton verwerkt zeefgoed en kosten voor bedrijfsvoering van het systeem (Tabel 9.24).

TABEL 9.24

SPECIFICATIE VAN DE DATA VOOR DE VARIABLE KOSTEN (INDICATIEVE GETALLEN)

Waarden voor variabele kosten	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerkingen
Afschrijvingstermijn	10	jaar	
Kapitaalskosten (WACC)	8%	-	Opgave Attero
Beschikbaarheid	91%	-	Opgave Attero
Afvoer reststroom	20-75	€/ton	
Elektriciteit	0,045	€/kWh	
Stoom	15 - 33	€/ton	MP stoom
Leidingwater industrie	0,92-1	€/m ³	Bron: VEMW
Enzymen	10-30	€/ton	
Chemicaliën pH correctie	150-600	€/ton	
Chemicaliën schoonmaak	1,19	€/kg	
Analyses	120.000	€/jaar	Schatting Attero

Aangenomen is dat de beschikbaarheid verdisconteerd zit in de capaciteitswaarde van de installatie. Op basis van deze data zijn de variabele kosten bepaald volgens Tabel 9.25.

TABEL 9.25 VARIABELE KOSTEN (INDICATIEVE GETALLEN)

Post	Hoeveelheid		Eenheid	Kosten		Eenheid
	Optimistisch	Pessimistisch		Optimistisch	Pessimistisch	
Personeel				720.000	720.000	€/jaar
Afvoer reststroom	77.467	77.467	ton/jaar	1.549.340	5.810.025	€/jaar
Elektriciteit	6.400.000	16.600.000	kWh/jaar	288.000	747.000	€/jaar
Stoom/warmte	77.827	270.177	ton/jaar	1.167.406	8.915.854	€/jaar
Leidingwater/proceswater	65.000	90.000	m ³ /jaar	59.800	90.000	€/jaar
Enzymen	222.000	2.200.000	kg/jaar	2.220.000	66.000.000	€/jaar
Chemicaliën pH	5.000	15.000	ton/jaar	750.000	9.000.000	€/jaar
Chemicaliën schoonmaak	200	200	liter/jaar	238	238	€/jaar
Analyses				120.000	120.000	€/jaar
Kapitaalskosten	20.000.000	40.000.000	€	800.000	1.600.000	€/jaar
Totale kosten vóór afschrijving				7.674.784	91.403.117	€/jaar
Afschrijving	20.000.000	40.000.000	€	2.000.000	4.000.000	€/jaar
Inclusief afschrijving				9.674.784	95.403.117	€/jaar

Hierbij is aangenomen dat voor de kapitaalslasten de afschrijvingsduur en de rentekosten lineair afnemen; gegeven een WACC van 8%.

9.3.4 DE OPBRENGSTEN (YIELD)

De opbrengsten die worden voorzien staan in Tabel 9.26. Er is uitgegaan van pure glucose, maar een lagere schatting is waarschijnlijk realistischer i.v.m. het loslaten van de suikerquota. Voor het (poort)tarief dat de aanbieder van zeefgoed betaalt, is een bandbreedte aangenomen (zie Tabel 9.1) minus het tarief voor transport van € 20,66.

TABEL 9.26 OVERZICHT VAN DE OPBRENGSTEN (INDICATIEVE GETALLEN)

Omschrijving	Hoeveelheid		Prijs		Opbrengsten	
	Pessimistisch	Optimistisch	Pessimistisch	Optimistisch	Pessimistisch	Optimistisch
	ton/jaar		€/ton		€/jaar	
Glucose	10.808	10.808	250	350	2.702.000	3.782.800
Poorttarief zeefgoed	100.000	100.000	45	62	7.146.000	7.146.000
Totaal					9.848.000	10.928.800

9.3.5 RESULTAAT: TERUGVERDIENTIJD EN INTERNE RENTEVOET

Het financiële resultaat van de indicatieve businesscase van het glucoseproces wordt weergegeven in Tabel 9.27. Het betreft een businesscase van glucoseproductie uit zeefgoed gebaseerd op de schattingen voor de (kosten) parameters van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. De opwerking erna, van glucose naar PLA, is niet beschouwd. De schattingen worden gekenmerkt door een mate grote van onzekerheid.

De resultaten dienen dus indicatief opgevat te worden. Mocht in de toekomst op pilotschaal wél een geslaagde test plaatsvinden, dan dient de businesscase (zie tabel 9.27) te worden bijgesteld. Dit betekent om een eventuele investeringsbeslissing te baseren op een eerste orde businesscase (gebruikelijk is een onzekerheidsmarge van 20%) van een full-scale-installatie gebaseerd op de parameters van een geslaagde test.

TABEL 9.27

FINANCIEEL RESULTAAT GLUCOSEPROCES (OP BASIS VAN INDICATIEVE GETALLEN)

Omschrijving	Pessimistisch	Optimistisch	Eenheid	Opmerkingen
Marge voor afschrijving	-84.167.232	2.341.901	€/jaar	
Terugverdientijd	-	9	jaar	
IR	-	15%	-	In optimistisch scenario: IR>WACC, project is rendabel

Voor de berekening van de TVT is gebruik gemaakt van het verschil in jaarlijkse kosten inclusief kapitaalslasten. De IR is berekend op basis van het verschil in jaarlijkse kosten exclusief kapitaalslasten. Als de IR groter is dan de risico gewogen kosten voor kapitaal (bijvoorbeeld WACC of bij volledige externe financiering de rentekosten), dan is het project rendabel.

Voor de berekening van de IR is als uitgangspunt gehanteerd dat de economische levensduur van de installatie gelijk is aan 2 maal de afschrijvingstermijn. Dit op basis van de verschillen in afschrijvingstermijnen en economische levensduur van vergisters waarvoor een SDE+ subsidie kan worden aangevraagd. (Economische levensduur $\approx 2 \times$ afschrijvingstermijn).

Het resultaat is in het optimistische scenario positief en in het pessimistische scenario zwaar negatief. Hierbij vormen de kosten voor de enzymen veruit de grootste kostenpost. Daarbij zorgen de grote intervallen voor de enzymendosering (factor 100) en de 200% verschil in enzymprijs en andere variabelen voor een heel breed onzekerheidsinterval tussen het pessimistische en optimistische scenario.

Het optimistische scenario wordt vooral positief door het verschil tussen de opbrengsten voor het aannemen van het zeefgoed en de kosten voor de afvoer van de reststroom na de glucoseproductie in combinatie met de grote massastromen. Er is hier sprake van een grote gevoeligheid voor het verschil in tarief, welke administratief bepaald is en niet gerelateerd aan het onderzoek van de glucoseproductie.

De terugverdientijd voor het optimistische scenario bedraagt ongeveer negen jaar, de rentabiliteit van het project (IR) 15%. De IR is groter dan de eis aan het rendement van het kapitaal (de zogenaamde WACC) van 8%. Het is onwaarschijnlijk dat de businesscase voor glucoseproductie positief uitvalt. Het optimistische scenario is gebaseerd op het uitgangspunt dat alle parameters voor het verbruik en kosten/opbrengsten gunstig uitvallen. Echter: er is sprake van samenhang tussen parameters. Als bijvoorbeeld de kwaliteit van het zeefgoed erg goed is, zijn de kosten voor hulpstoffen (enzymen) lager maar zal ook het verwerkingstarief (opbrengst) lager zijn. Het pessimistische scenario heeft geen terugverdientijd

10

MILIEUANALYSE

In dit hoofdstuk wordt de milieuanalyse beschreven, van de situatie op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) met en zonder fijnzeef, inclusief de verwerking van het zeefgoed.

De milieuanalyse richt zich primair op het verschil in milieuprestaties dat de fijnzeefroutes opleveren ten opzichte van de referentiesituatie. Dit betreft evaluatie van de hele keten, van influent tot effluent, inclusief de verwerking van alle reststromen. De referentiesituatie is de situatie zoals deze was vóór de installatie van de fijnzeef. De modellering is gebaseerd op een inschatting van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal.

Het geproduceerde zeefgoed op de RWZI Beemster werd verwerkt in een pilotinstallatie van Attero in Wijster. Hier werd het zeefgoed gehygiëniseerd en vervolgens de cellulose met enzymen omgezet in glucose. De opzet was verder om de glucose vervolgens om te laten zetten in melkzuur en vervolgens polymelkzuur (PLA). Zoals al in hoofdstuk 8 is toegelicht bleek in de praktijk het lastig te zijn de installatie goed schoon te maken na elke batch en de glucose door de nog aanwezige (achtergebleven) bacteriën weer omgezet te worden. Er is in praktijk dus geen bruikbare glucosestroom geproduceerd voor de productie van PLA.

Omdat deze milieuanalyse uitgaat van processen op verschillende ontwikkelingsniveaus, is het daarom belangrijk om de resultaten meer te interpreteren in vergelijkende zin en trendmatig dan op een expliciete uitkomst.

10.1 METHODOLOGIE

10.1.1 DOEL EN AFBAKING

10.1.1.1 DOELSTELLING

Het doel van deze milieuanalyse is om de milieuprestaties van een RWZI (gebaseerd op RWZI Beemster) met een fijnzeef te vergelijken met die van een RWZI zonder fijnzeef (referentiesituatie). De analyse geeft inzicht in de milieukundige voordelen/nadelen van het installeren van een fijnzeef en toepassen van zeefgoed.

Er zijn twee fijnzeefroutes onderscheiden zoals al beschreven in Paragraaf 9.2.9, **Fijnzeefroute A** en **Fijnzeefroute B**.

Deze fijnzeefroutes en de referentie vervullen dezelfde (primaire) functie; ze verwerken eenzelfde vuillast (influent) en leveren dezelfde effluentkwaliteit op. Er is voor deze referentie gekozen om sec het verschil te laten zien van toevoeging van een fijnzeef. In de praktijk wordt vaak een afweging gemaakt tussen een fijnzeef en een andere optie voor uitbreiding van de zuiveringscapaciteit. Voor die analyse is additionele data nodig die binnen de kaders van dit project niet beschikbaar waren.

De milieuanalyse richt zich primair op het verschil in milieuprestaties dat de fijnzeefroutes opleveren ten opzichte van de referentiesituatie. Hiervoor evalueren we de hele keten, van influent tot effluent, inclusief de verwerking van alle reststromen. Alle relevante ingrepen die nodig zijn om de routes uit te voeren (bijv. elektriciteitsgebruik van installaties, transportstappen, emissies, gebruik hulpstoffen) zijn daarom in kaart gebracht (zie ook Paragraaf 10.1.2). Er is een uitgebreide set aan milieu-indicatoren gebruikt. Naast bijvoorbeeld klimaatverandering wordt dus ook gekeken naar milieueffecten zoals verzuring, fijnstof of grondstofgebruik. Deze verschillende milieueffecten worden meegenomen in drie zogeheten endpoint-indicatoren: schade aan menselijke gezondheid, schade aan ecosystemen, en uitputting van grondstoffen. Achtergrondinformatie over de gebruikte indicatoren is beschikbaar in Bijlage 2.

De milieuanalyse is attributioneel: er wordt gekeken naar de ingrepen die horen bij het uitvoeren van de functie, en niet naar de invloed die het uitvoeren van de functie wellicht heeft op de wereld waarin het systeem past. Dit laatste past bij een consequentiële analyse, waarbij bijvoorbeeld gekeken wordt naar veranderingen in de slibverwerking als de hoeveelheid slib radicaal verandert. In een attributionele analyse wordt het omringende systeem als statisch verondersteld. Deze methode sluit aan bij de werkwijze uit het STOWA-rapport 2016-22 'Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater' (STOWA, 2016).

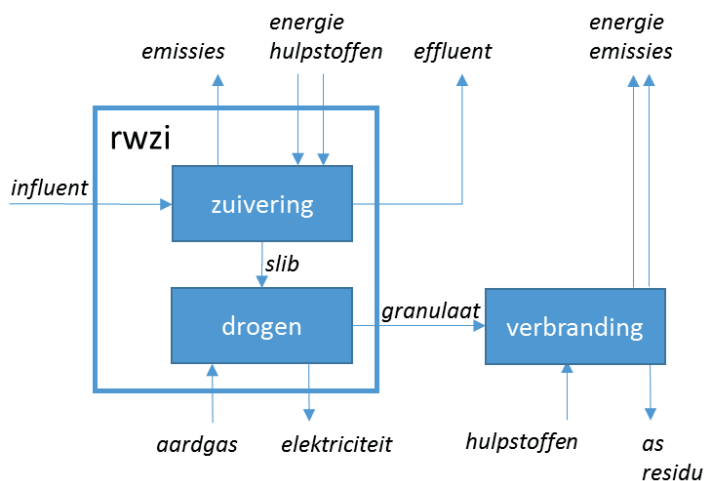
Omdat er bij een deel van de gebruikte kwantitatieve gegevens onzekerheid bestaat, is waar mogelijk gewerkt met bandbreedtes (lage, gemiddelde en hoge waarden). De lage en hoge waarden zijn vertaald in een worst case en een best case; wat beïnvloedt de milieuprestatie positief en wat negatief? De milieuprestaties worden vervolgens ook als bandbreedtes weergegeven. Let erop dat het hier ook gaat om een verschilanalyse; de onzekerheid kan groot zijn, maar als deze voor alle routes gelijk is, is het verschil nul en wordt het niet in de resultaten weergegeven.

10.1.1.2 OVERZICHT ONDERZOCHE ROUTES

De referentieroute, zuivering zonder fijnzeef, is weergegeven in Figuur 10.1. In de referentieroute wordt het slib uit de waterzuivering gedroogd in een slibdrooginstallatie. Hier wordt warmte en elektriciteit opgewekt met aardgas. De warmte wordt gebruikt voor slibdroging, de elektriciteit wordt deels in het eigen proces gebruikt, en deels aan een nabijgelegen (andere) zuivering geleverd. Het hier geproduceerde granulaat (ca. 95% DS) wordt getransporteerd naar HVC, waar het verbrand wordt.

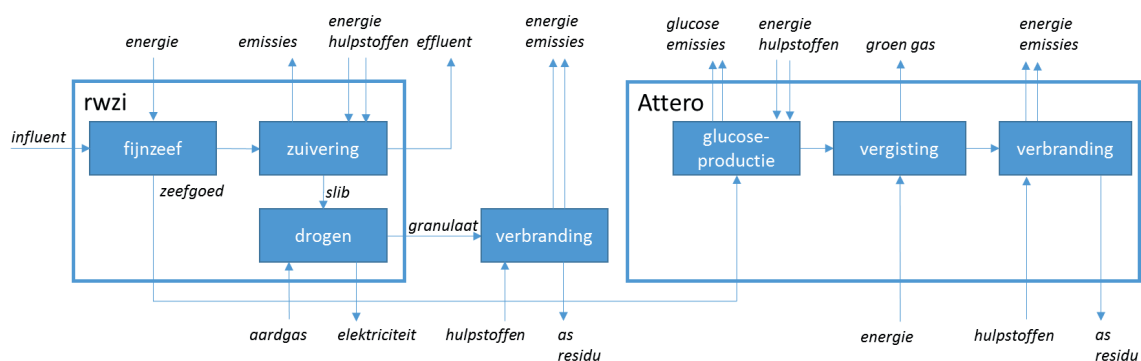
FIGUUR 10.1

REFERENTIEROUTE

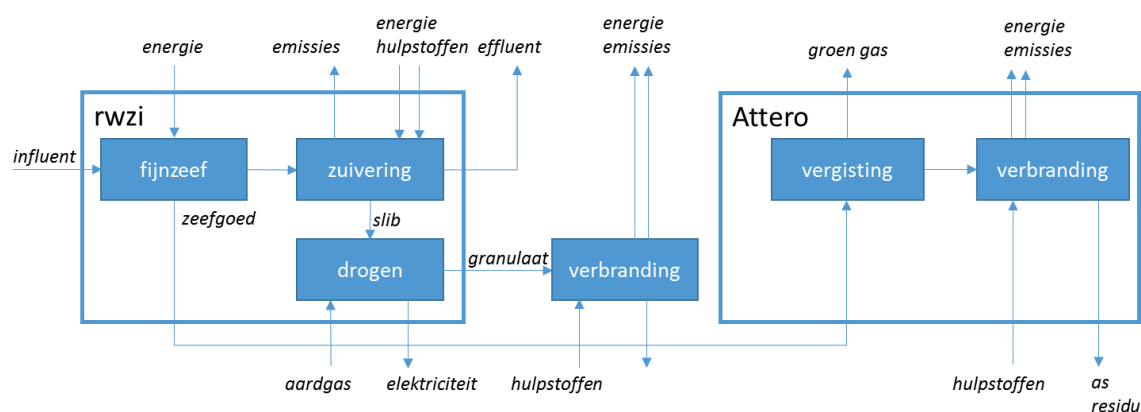


De fijnzeefroutes zijn weergegeven in Figuur 10.2 en Figuur 10.3. De fijnzeef filtert het influent en verbruikt hierbij elektriciteit. Het influent wordt verder hetzelfde behandeld als in de referentieroute. Er wordt ca. 1.550 ton zeefgoed per jaar geproduceerd (bij 100.000 i.e. influent). Dit zeefgoed (ca. 36% DS) wordt in Fijnzeefroute A (Figuur 10.2) bij Attero deels omgezet in glucose. Hierbij wordt één reststroom geproduceerd (ca. 30% DS) die vervolgens vergist wordt. Het biogas uit de vergisting wordt opgewerkt (niet weergegeven) tot groengas dat ingezet kan worden als aardgasvervanging. Het digestaat wordt verbrand. In Fijnzeefroute B (Figuur 10.3) wordt de cellulose in het zeefgoed niet omgezet in glucose en direct vergist.

FIGUUR 10.2 FIJNZEEFROUTE A: INZET ZEEFGOED VOOR GLUCOSEPRODUCTIE; FICTIEVE FULL SCALE-INSTALLATIE



FIGUUR 10.3 FIJNZEEFROUTE B: INZET ZEEFGOED VOOR VERGISTING



10.1.1.3 FUNCTIONELE EENHEID EN AFBAKENING

De functionele eenheid voor deze studie luidt: het verwerken van influent in een RWZI met een capaciteit van 100.000 i.e. gedurende een jaar. Alle benodigde ingrepen zijn gerelateerd aan deze eenheid. We bespreken de resultaten als milieu-impacts per jaar; deze weergave is gelijk aan 'per functionele eenheid' maar maakt de resultaten makkelijker te interpreteren.

De analyse richt zich op de in Paragraaf 10.1.2 geïnventariseerde stromen/processen. De productie van kapitaalgoederen (fabrieken, installaties) is in principe niet meegenomen in de analyse. Deze hebben doorgaans een beperkte invloed op eindresultaten van de milieuanalyse. Een uitzondering is gemaakt voor de productie van de fijnzeef, omdat het hier gaat om een verschilanalyse van de situatie mét en zonder fijnzeef. Dit maakt het relevant te onderzoeken hoeveel de productie van de fijnzeef bijdraagt aan de verschillscore.

10.1.1.4 MULTIFUNCTIONALITEIT

Een aantal van de onderzochte processen produceren één of meer bruikbare producten dan wel grondstoffen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij slibdroging (produceert slibgranulaat en elektriciteit) en de glucoseproductie in Fijnzeefroute A (produceert glucose, maar ook een reststroom waaruit o.a. biogas gewonnen wordt). In deze gevallen moeten keuzes gemaakt worden over hoe de milieu-impacts verdeeld worden over de producten. Ten aanzien van de gemaakte keuzes het volgende.

- Slibdroging: Aardgas wordt gebruikt voor slibdroging maar ook voor elektriciteitsproductie. De energie die gebruikt wordt voor het drogen van het slib en de interne elektriciteitsconsumptie van de slibdroginginstallatie bedraagt ca. 70% van het totaal, dus wordt ook 70% van het aardgasverbruik toegerekend aan het drogen van slib. Doordat hier allocatie is toegepast is elektriciteit niet als output weergegeven bij de droogstap in de inventarisatie (Tabel 10.1).
- Glucoseproductie: Glucose is een product in Fijnzeefroute A; de focus ligt op het verwerken van zeefgoed tot glucose. We passen hier substitutie/systeemuitbreiding toe. Doordat dit proces glucose produceert, hoeft elders via een conventionele route minder glucose geproduceerd te worden. De milieu-impact van eenzelfde hoeveelheid conventionele glucoseproductie wordt daarom afgetrokken van de milieu-impacts van het onderzochte proces.
- Verbranding slibgranulaat en verbranding digestaat: Bij deze verbrandingsprocessen wordt elektriciteit en warmte opgewekt die afgezet kan worden op de markt. Ook hier wordt substitutie/ systeemuitbreiding toegepast. Als referentietechniek is gerekend met de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix en de dataset voor Europese warmtenetten op basis van aardgas.
- De verbranding van het granulaat uit het slibdrogingsproces resulteert in bodemas, vlieg-as en rookgasreinigingsresidu. Deze kunnen worden ingezet in bijvoorbeeld beton, wegebouw of mijnbouw. Er is aangenomen dat in zulke toepassingen zand vervangen wordt, en er wordt door middel van substitutie hieraan een milieuvoordeel toegekend. Transport naar locatie is in deze analyse toegevoegd.

10.1.1.5 DATAVERZAMELING EN MODELLERING

Primaire inventarisatiegegevens voor de onderzochte routes zijn aangeleverd door HHNK en Attero.

Dit betreft de hoeveelheden van de stromen weergegeven in Figuur 10.1, Figuur 10.2 en Figuur 10.3 (uitgedrukt per functionele eenheid of andere referentiehoeveelheid) en andere materiaal- of proces-eigenschappen.

De informatie die HHNK en Attero aangeleverd hebben gaat uit van productie op industriële schaal. Hierbij is waar mogelijk een onderscheid gemaakt tussen gemiddelde (verwachte) waardes, en hoge en lage waardes om onzekerheden weer te geven.

De verzamelde data zijn gecontroleerd en waar nodig aangevuld. Zo is bijvoorbeeld voor transportprocessen uitgegaan van EURO 5-vrachtwagens en is de hoeveelheid biogas die geproduceerd wordt bij vergistingsprocessen geschat op basis van de input van organische droge stof. Vervolgens zijn de processen gemodelleerd in SimaPro 8.5 (LCA-software). De informatie is verder aangevuld met achtergronddata uit de Ecoinvent LCA-database (Versie 3.4) en data van CE Delft, bijvoorbeeld om de productie en levering van hulpmiddelen en aardgas mee te nemen.

De milieueffectbeoordeling is vervolgens uitgevoerd met de ReCiPe 2016 Midpoint (H) en ReCiPe 2016 Endpoint (H).

10.1.2 INVENTARISATIE

Deze paragraaf geeft details over de modellering van de milieuanalyse. Als eerste wordt de RWZI-fase van de productieroutes toegelicht en daarna de verdere verwerking van het zeefgoed.

10.1.2.1 RWZI

Tabel 10.1 geeft een overzicht van de inventarisatie van de RWZI-processen. De waarden in de tabel zijn uitgedrukt per functionele eenheid (100.000 i.e. influent per jaar). Daarnaast geven ze het verschil aan dat de fijnzeef maakt voor een specifieke stroom; een positieve waarde geeft dus aan dat een stroom groter is geworden door het plaatsen van de fijnzeef en negatieve waarde dat deze is afgenomen. In de tabel is een kolom opgenomen met een toelichting op de gebruikte achtergrondgegevens en overige relevante opmerkingen.

Voor het RWZI-gedeelte van de analyse bestaat er geen verschil tussen de twee fijnzeefroutes (zie ook Figuur 10.2 en Figuur 10.3).

Voor dit deel van de analyse zijn een aantal aannames en algemene opmerkingen van belang:

- Mogelijke emissies van CH₄ en N₂O bij de waterzuivering zijn niet bekend en dus niet meegenomen in de basisanalyse. Het plaatsen van de fijnzeef heeft de CZV-waarde van het water dat naar de zuivering gaat verlaagd, waardoor het waarschijnlijk is dat er ook minder CH₄-emissies plaatsvinden. Om de grootte van dit effect in te schatten worden deze emissies in een gevoeligheidsanalyse in Paragraaf 10.2.4.1 geschat.
- Uit de beschikbare informatie bleek dat de slibdroog- en granulaatverbrandingsprocessen niet veranderd zijn door het plaatsen van de fijnzeef (zelfde waarden per ton inputmateriaal). Het enige verschil zit in de verminderde hoeveelheid slib die aangeleverd wordt. De (negatieve) waarden in Tabel 10.1 komen dus voort uit deze verminderde hoeveelheid slib.
- Voor het granulaatverbrandingsproces is uitgegaan van informatie die via HHNK is verzameld bij HVC.

TABEL 10.1 INVENTARISATIE RWZI. ALLE WAARDEN ZIJN UITGEDRUKT PER JAAR (IN LIJN MET DE FUNCTIONELE EENHEID) EN GEVEN HET VERSCHIL WEER TUSSEN DE FIJNZEEFROUTES EN DE REFERENTIEROUTE

Proces/stroom	Verschilwaarde (bandbreedte)	Eenheid per jaar	Opmerkingen/achtergrondgegevens
Fijnzeef			
<i>Input</i>			
Influent	0	m ³	Geen verschil in influent tussen routes.
Elektriciteit	230 (224-237)	MWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Staal	40	kg	Proxyproductie fijnzeef. Aannames: RVS, gewicht 1.200 kg (bijv. Salsnes SF6000 fijnzeef), levensduur 30 jaar. Procesdata: Ecoinvent.
Verwerking staal	40	kg	Proxy omzetting staal tot fijnzeef. Aanname: impact extrusion, hot, 1 stroke. Procesdata: Ecoinvent.
<i>Output</i>			
Zeefgoed	1.568 (1.499-1.636)	ton	Naar glucoseproductie/vergisting. 35,3% droge stof, 92,9% organische stof (van droge stof).

Proces/stroom	Verschilwaarde (bandbreedte)	Eenheid per jaar	Opmerkingen/achtergrondgegevens
<i>Transport</i>			
Vrachtwagen	297.920 (284.810-310.840)	tonkm	Vervoer zeefgoed naar glucoseproductie/vergisting (Wijster) over ca. 190 km. Procesdata: (CE Delft, 2015).
Zuivering			
<i>Input</i>			
Elektriciteit	-420	MWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Aardgas	0	Nm ³	Procesdata: Ecoinvent.
FeCl ₃	0	ton	Procesdata: Ecoinvent.
PE	-1	ton	Verbruik afgenomen na plaatsing fijnzeef. Procesdata: Ecoinvent. De dosering is toegenomen van ~12 kg actief PE per kg DS naar ~15 kg PE per kg ds. Er is een netto-afname omdat de slibproductie vermindert.
NaClO	4	ton	Verbruik toegenomen na plaatsing fijnzeef. Procesdata: Ecoinvent.
<i>Output</i>			
Effluent	0	m ³	Geen verschil in effluent tussen route.
Slib (21% DS)	-2.015	ton	Naar slibdroging.
<i>Emissies</i>			
CO ₂	0	ton	CO ₂ -emissie uit verbranding aardgas (CO ₂ -emissies uit waterzuivering zijn biogeen en daarom niet meegenomen). Procesdata: (RVO, 2017).
Drogen			
<i>Input</i>			
Slib	-2.015	ton	
Aardgas	-250.264	Nm ³	Aardgasverbruik per ton slib input blijft gelijk, maar er wordt minder slib aangeleverd.
<i>Output</i>			
Granulaat	-448	ton	Naar verbranding.
<i>Emissies</i>			
CO ₂	-448	ton	CO ₂ -emissie uit verbranding aardgas. Procesdata: (RVO, 2017).
Verbranding granulaat			
<i>Input</i>			
Granulaat	-448	ton	
Gebluste kalk	-3	ton	Procesdata: Ecoinvent.
Kool	-148	kg	Procesdata: Ecoinvent.
Natronloog	-622	kg	Procesdata: Ecoinvent.
Zand	-69	ton	Procesdata: Ecoinvent.
Zwavelzuur	-8	kg	Procesdata: Ecoinvent.
<i>Output</i>			
Elektriciteit	-474	MWh	Verbrandingswaarde 15 GJ/t granulaat.
Warmte	-760	GJ	
Assen	-107	ton	Bodemas, vliegias en rookgasreinigingsresidu. Aanname: vervangt zand in beton, mijnen of wegenbouw.
<i>Transport</i>			
Vrachtwagen	-17.980	tonkm	Vervoer granulaat naar verbranding (HVC) over ca. 40 km. Aanname: EURO 5-vrachtwagen, >20 t capaciteit. Procesdata: Ecoinvent.
Vrachtwagen	-51.622	tonkm	Afvoer bodemas, vliegias en rookgasreinigingsresidu. Aannames: EURO 5- vrachtwagen, >20 t capaciteit. 500 km transport benodigd. Procesdata: Ecoinvent.

10.1.2.2 ZEEFGOEDVERWERKING

Tabel 10.2 toont de inventarisatie voor de verwerking van het zeefgoed bij Attero wanneer deze op industriële schaal zou plaatsvinden. Let wel: dit proces is op dit moment niet voldoende ontwikkeld om op te schalen naar industriële schaal. Het gaat hierbij dus om een inschatting die kan helpen om de vraag te beantwoorden of glucoseproductie uit zeefgoed milieukundig aantrekkelijk zou kunnen zijn.

De waarden in de tabel zijn uitgedrukt per ton (n.s. = nat slib) zeefgoed als input. Fijnzeefroutes A en B zijn beide weergegeven. Aangezien er in de referentieroute geen zeefgoed geproduceerd wordt, zijn alle weergegeven waarden additioneel ten opzichte van de referentie.

Voor dit deel van de analyse zijn een aantal aannames en algemene opmerkingen van belang:

- In sommige gevallen is van de hoge en lage waarde een gemiddelde berekend. Hierbij is een rekenkundig gemiddelde gebruikt voor de standaardcase. Dit is aangegeven in de tabel.
- Glucoseproductie (Fijnzeefroute A):
 - Aangezien er geen informatie over directe emissies uit dit proces bekend zijn, is aangenomen dat deze niet plaatsvinden.
 - De input van biociden is niet meegenomen in de analyse wegens gebrek aan (milieu) data.

Dit betreft een mogelijke input van ca. 1,2%wt. ten opzichte van het zeefgoed.

- Voor de input van kalkmelk is aangenomen dat dit een oplossing is van CaO in water met een (maximale) concentratie van 1,85 g Ca(OH)₂/l en dat kalkmelk een dichtheid van 1 kg/l heeft.
- Vergisting:
 - De biogasproductie is hier bepaald op basis van een specifieke biogasopbrengst van 0.725 Nm³/ton organische droge stof. Deze is empirisch bepaald uit testen met zeefgoed en dus relevant voor Fijnzeefroute B, maar aangenomen is dat deze waarde ook geldig is voor de reststroom van glucoseproductie in Fijnzeefroute A. Hierbij is dus afgeweken van de aangeleverde gegevens, waarin geen onderscheid werd gemaakt tussen de biogasopbrengst per ton inputmateriaal in Fijnzeefroute A en Fijnzeefroute B.
 - In de standaardanalyse is ervan uitgegaan dat glucoseproductie, vergisting en digestaat-verbranding op dezelfde locatie plaatsvinden (Wijster). In werkelijkheid is de reststroom uit glucoseproductie in Groningen vergist. Deze situatie is meegenomen in een gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 10.2.4.2).
 - Er zijn geen hulpstoffen meegenomen voor de opwerking van biogas tot groengas.
- Digestaatverbranding: de verbrandingswaarde van het digestaat is niet precies bekend. Voor beide zeefgoedroutes is gerekend met een bandbreedte van 1,5 tot 5,0 MJ/kg, en een standaardwaarde van 4,0 MJ/kg.

TABEL 10.2 INVENTARISATIE ATTERO VOOR FIJNZEEFRUTES A (GLUCOSEPRODUCTIE) EN B (DIRECTE VERGISTING). ALLE WAARDEN ZIJN INDICATIEF EN UITGEDRUKT PER TON (NAT SLIB) ZEEFGOED INPUT EN GEVEN PRODUCTIE OP INDUSTRIËLE SCHAAL WEER. PRIMAIRE BRON: (ATTERO, 2018)

Stroom	Waarde (bandbreedte)		Eenheid	Opmerkingen
	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B		
Glucoseproductie				
Input				
Zeefgoed	1	N.v.t.	ton	
Elektriciteit	83 (64-166)	N.v.t.	kWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Hogedrukstoom uit AEC	4,7 (2,1-7,3)	N.v.t.	GJ	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: versimpelde modellering CE Delft.
Enzymen	12,2 (2,2-22,2)	N.v.t.	kg	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: modellering op basis van (Gilpin & Andrae, 2017).
Kalkmelk	0,05 (0,05-0,15)	N.v.t.	ton	Omgerekend naar benodigde CaO. Aanname: 1,85 g Ca(OH) ₂ /l kalkmelk. Procesdata: Ecoinvent.
Zwavelzuur	0,025 (0-0,05)	N.v.t.	ton	Gemiddelde bepaald door CE Delft. Procesdata: Ecoinvent.
Leidingwater	0,65 (0,65-0,9)	N.v.t.	ton	Procesdata: Ecoinvent.
Output				
Glucose	0,11	N.v.t.	ton	Vermijdt reguliere glucoseproductie Procesdata: Ecoinvent (waterbalans aangepast door CE Delft).
Reststroom	0,77	N.v.t.	ton	Naar vergisting. 30% droge stof, 83% organische stof (van droge stof).
Vergisting				
Input				
Reststroom	0,77	N.v.t.	ton	Uit glucoseproductie.
Zeefgoed	n.v.t.	1	ton	
Elektriciteit, vergisting	68	115	kWh	Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Elektriciteit, opwerking biogas	33	57	kWh	Opwerking biogas (60% CH ₄) tot groengas (89% CH ₄). Expert judgment. Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Output				
Groengas	68	153	Nm ³	Vermijdt productie en verbranding Waarde gecorrigeerd voor intern gebruikt biogas en voor opwerking. Procesdata: Ecoinvent, (RVO, 2017).
Digestaat	0,08 (0,07-0,09)	0,13 (0,12-0,16)	ton	Naar verbranding.
Emissies				
CH ₄	0,3	0,7	kg	Weglek CH ₄ . Aangenomen is dat 0,75% van het geproduceerde methaan weglekt (Ecoinvent).
Verbranding				
Input				
Digestaat	0,08 (0,07-0,09)	0,13 (0,12-0,16)	ton	
Output				
Elektriciteit	55 (21-93)	94 (35-157)	MJ	Vermijdt opwekking gemiddelde Nederlandse elektriciteit/warmte. De bandbreedte komt voort uit verbrandingswaardes van 1 tot 5 MJ/kg (bovenop de bandbreedte in hoeveelheid digestaat).
Warmte	14 (5-23)	24 (9-39)	MJ	Er is uitgegaan van het elektrische/thermische rendement van Attero's digestaatverbranding. Procesdata: CE Delft intern, Ecoinvent.
Overig				
Emissies en hulpstoffen			Proxy voor procesdata: Ecoinvent (Biowaste {CH}) treatment of, municipal incineration with fly ash extraction).	

10.2 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de milieuanalyse weergegeven. De resultaten van de basisanalyse, waarin de focus ligt op de klimaatimpact en de endpoint-resultaten. Verder wordt de bijdrage van het glucoseproductieproces in Fijnzeefroute A kort eruit gelicht (Paragraaf 10.2.3). In een aantal gevoeligheidsanalyses wordt tot slot een aantal onzekerheden onderzocht.

Voor dit hoofdstuk geldt dat alle waarden worden uitgedrukt als het verschil dat de fijnzeefroutes maken ten opzichte van de referentieroute en per jaar. In alle grafieken en tabellen in dit hoofdstuk zijn lagere waarden dus beter en geven negatieve waarden aan dat een milieu-impact lager is voor de fijnzeefroute dan voor de referentieroute. De gedetailleerde resultaten (voor alle milieueffecten) zijn te vinden in Bijlage A.

10.2.1 KLIMAATIMPACT

De klimaatimpact van de twee fijnzeefroutes is weergegeven in Figuur 10.4. Fijnzeefroute A zorgt (in het gemiddelde geval) voor een afname in klimaatimpact van ca. 100 ton CO₂-equivalent (eq.) per jaar ten opzichte van de referentie. De klimaatimpact van Fijnzeefroute B ca. 730 ton CO₂-eq./jaar lager ligt dan die van de referentie.

De opbouw van het totaalresultaat laat zien dat in beide gevallen de veranderingen bij de RWZI en slibverwerking een gunstig effect hebben op de klimaatimpact (ca. 360 ton CO₂-eq./jaar).

De klimaatimpact van de zeefgoedverwerking verschilt echter sterk; Fijnzeefroute A levert netto een toename in klimaatimpact op terwijl Fijnzeefroute B een reductie bewerkstelligt.

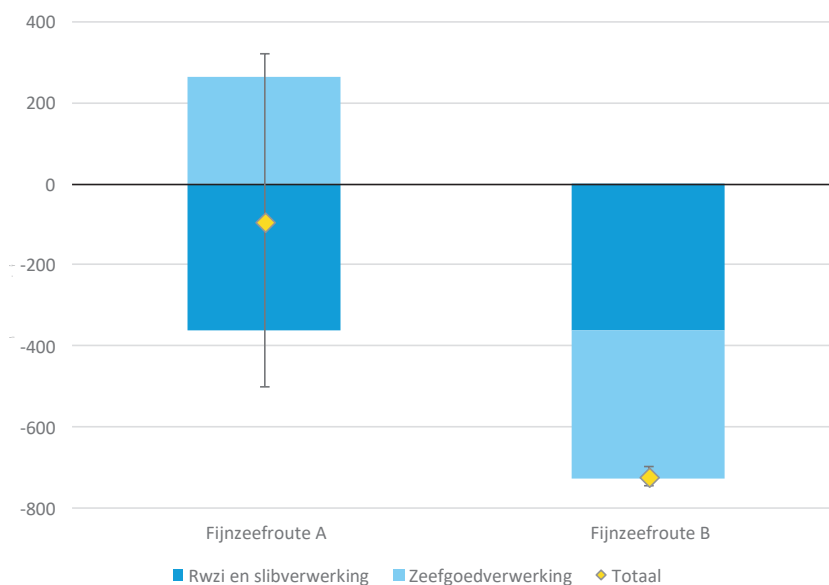
De foutenbalken op het totaalresultaat geven de onzekerheid weer die bepaald is aan de hand van de hoge/lage waarden uit Tabel 10.1 en Tabel 10.2. De onzekerheid is met name groot voor Fijnzeefroute A; in het gunstigste geval is de totale klimaatimpact 500 ton CO₂-eq./jaar, terwijl deze in het ongunstigste geval op ca. 320 ton CO₂-eq./jaar uitkomt; een toename in de totale klimaatimpact ten opzichte van de referentie. De grotere onzekerheid in Fijnzeefroute A komt door de grote bandbreedtes die gebruikt zijn voor het glucoseproductieproces (Tabel 10.2). De onzekerheid in het gebruik van energie (elektriciteit, warmte) en hulpstoffen (vooral de gebruikte enzymen) hebben met name een grote invloed op dit resultaat.

Om deze onzekerheid in perspectief te plaatsen is de variatie in klimaatimpact beschouwd die van jaar tot jaar optreedt op de RWZI. HHNK heeft bij de inventarisatie aangegeven dat het gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsverbruik van een installatie van 100.000 i.e. zonder fijnzeef kan variëren tussen ca. 3.400 en 3.600 MWh/jaar (in de basisanalyse is gerekend met ca. 3.500 MWh/jaar), terwijl het gasgebruik kan variëren tussen 12.000 en 27.000 m³ per jaar. Het verschil van 200 MWh hiertussen komt overeen met een klimaatimpact van ongeveer 82 ton CO₂-eq. (elektriciteit) en 27 ton CO₂-eq. (gas).

Verder kan opgemerkt worden dat de klimaatresultaten anders zullen uitvallen voor RWZI's die slib vergisten. Het vergisten van slib scoort qua klimaatimpact beter dan drogen en verbranden, waardoor het effect van het installeren van een fijnzeef kleiner wordt. Voor beide fijnzeefroutes wordt geschat dat hiermee het verschil met de referentie ca. 118 ton CO₂-eq./jaar kleiner wordt, in het nadeel van de fijnzeefroutes. Fijnzeefroute A komt daarmee op 21 ton CO₂-eq./jaar (het plaatsen van de fijnzeef zorgt voor een hogere klimaatimpact) en Fijnzeefroute B op -608 ton CO₂-eq./jaar. Er is hierbij uitgegaan van gegevens over slibgisting

die door HHNK zijn aangeleverd (5-6-2018), bijv. dat 35% van de organische droge stof afgebroken wordt en dat de CH₄-opbrengst 490 liter bedraagt per kg afgebroken organische droge stof. Voor overige informatie (bijv. energieverbruik vergisting, digestaatverbranding) is uitgegaan van het vergistingsproces zoals dit bij Attero plaatsvindt (Tabel 10.2).

FIGUUR 10.4 KLIMAATIMPACT VAN FIJNZEEFRUTES A EN B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE. DE FOUTENBALKEN GEVEN DE INVLOED VAN DE BEST CASE EN WORST CASE WEER



10.2.2 ENDPOINTS

In Tabel 10.3 worden de endpointresultaten getoond. Hierin zijn verschillende milieueffecten (midpoints zoals klimaatimpact, verzuring en grondstofuitputting) gecombineerd tot scores op drie indicatoren: menselijke gezondheid/human health, ecosystemen/ecosystems en grondstoffen/resources (endpoints). Ten opzichte van de resultaten voor klimaatimpact worden hier dus meer milieueffecten meegenomen (niet alleen de klimaatimpact). Een beknopte beschrijving van de methodologie is opgenomen in Bijlage 2.

Tabel 10.3 laat zien dat Fijnzeefroute A op menselijke gezondheid en grondstoffen beter scoort dan de referentieroute (negatieve waarden); op ecosystemen scoort Fijnzeefroute A slechter (positieve waarde). Ook hier is de onzekerheid groot; de bandbreedtes laten zien dat Fijnzeefroute A op ecosystemen beter scoort dan de referentieroute wanneer uitgegaan wordt van het best case scenario. Daarnaast is te zien dat Fijnzeefroute B op alle endpoints beter scoort dan Fijnzeefroute A in het gemiddelde geval. Ook als de worst case en best case bekeken worden scoort Fijnzeefroute B doorgaans beter dan Fijnzeefroute A; alleen bij ecosystemen komt het voor (in de best case van Fijnzeefroute A) dat Fijnzeefroute A beter scoort.

Een aantal milieueffecten hebben grote invloed op deze endpointresultaten. Met name de klimaat-impact (global warming) draagt bij aan de verschillen op menselijke gezondheid en ecosystemen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. Daarnaast zien we dat fossiele brandstoffen (fossil resources) de resultaten voor grondstoffen bepalen.

TABEL 10.3

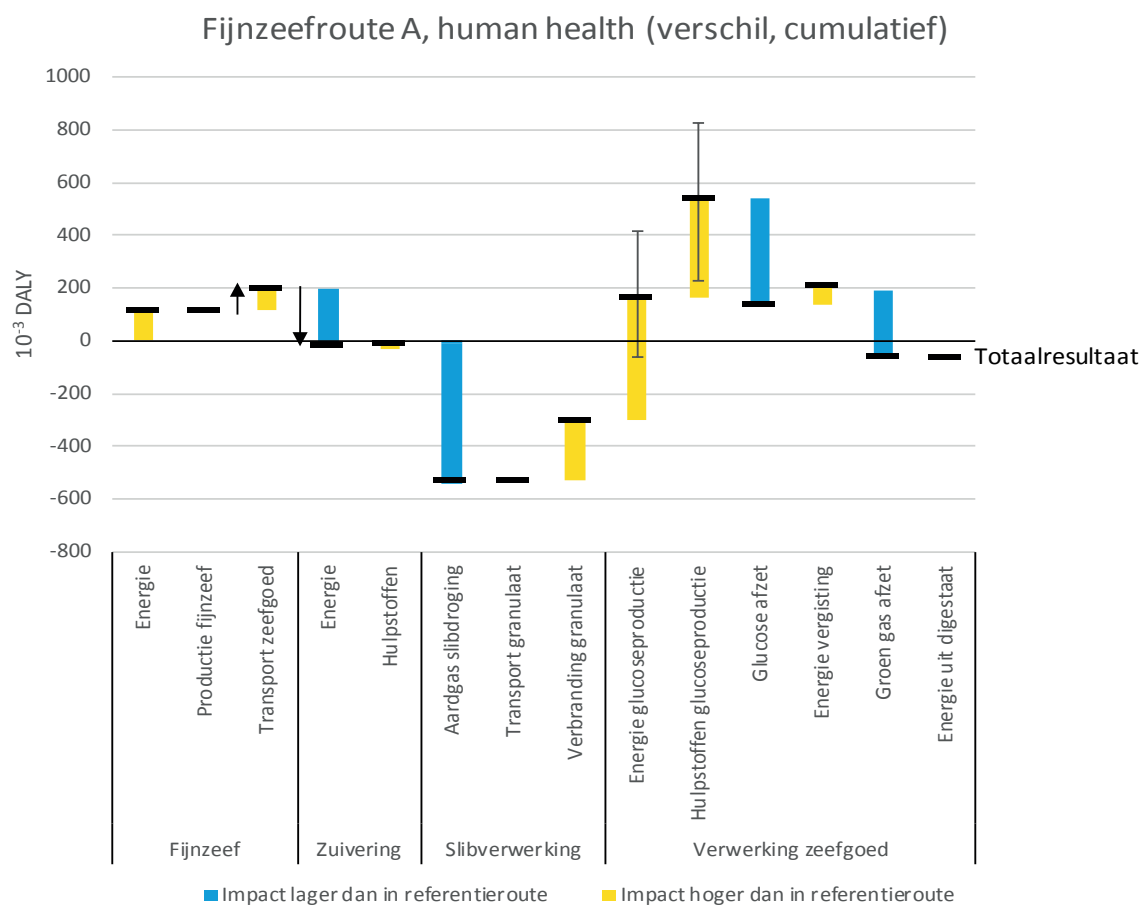
ENDPOINTRESULTATEN VOOR FIJNZEFRROUTE A EN B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE. DE WAARDEN TUSSEN HAAKJES GEVEN DE SPREIDING TUSSEN DE WORST EN BEST CASE WEER. PER MILIEUEFFECT WORDT DE BIJDRAGE AAN DE TOTALE ENDPOINT WEERGEGEVEN

	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B
Total human health, 10 ⁻³ DALY/jaar	● -62 (-627 tot 511)	● -631 (-651 tot -605)
Global warming, Human health	-90	-674
Stratospheric ozone depletion	-2	-1
Ionizing radiation	0	0
Ozone formation, Human health	0	0
Fine particulate matter formation	70	36
Human carcinogenic toxicity	3	5
Human non-carcinogenic toxicity	-33	1
Water consumption, Human health	-10	2
Totaal ecosystems, 10 ⁻⁶ species.yr/jaar	● 103 (-3.502 tot 3.578)	● -1.859 (-1.916 tot -1.778)
Global warming, Terrestrial ecosystems	-270	-2.035
Global warming, Freshwater ecosystems	0	0
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	-11	26
Terrestrial acidification	71	72
Freshwater eutrophication	-12	2
Marine eutrophication	-1	0
Terrestrial ecotoxicity	-1	0
Freshwater ecotoxicity	0	0
Marine ecotoxicity	0	0
Land use	390	62
Water consumption, Terrestrial ecosystem	-62	14
Water consumption, Aquatic ecosystems	0	0
Totaal resources, USD2013/jaar	● -123.740 (-131.027 tot -113.677)	● -152.319 (-155.970 tot -148.307)
Mineral resource scarcity	13	12
Fossil resource scarcity	-123.754	-152.332

Om beter te begrijpen hoe deze resultaten tot stand komen een toelichting op de opbouw van de endpointresultaten voor menselijke gezondheid. Hieronder is voor Fijnzeefroute A (Figuur 10.5) en Fijnzeefroute B (Figuur 10.6) per procesonderdeel weergegeven wat de impact op menselijke gezondheid is ten opzichte van de referentieroute. De grafiek is cumulatief: iedere processtap begint bij het tussen-resultaat van het voorgaande proces. De laatste stap komt dus op het eindresultaat van -62 * 10⁻³ DALY (Tabel 10.3) uit. Foutbalken worden gebruikt om per proces het verschil tussen de best case en worst case aan te geven.

FIGUUR 10.5

OPBOUW VAN RESULTATEN VOOR MENSELIJKE GEZONDHEID PER PROCESSTAP VOOR FIJNZEEFROUTE A TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE.
DE FOUTENBALKEN GEVEN HET VERSCHIL TUSSEN DE BEST CASE EN WORST CASE AAN



In Figuur 10.5 en Figuur 10.6 is er geen verschil te zien in de processen die bij de fijnzeef, zuivering en slibverwerking horen; deze stappen zijn immers ook identiek in beide fijnzeefroutes. Voor de RWZI is te zien dat de fijnzeef energie (elektriciteit) nodig heeft, maar dat de impact hiervan gecompenseerd wordt doordat het energieverbruik bij de zuivering omlaag gaat. Ook is minder aardgas nodig bij de slibverwerking omdat er minder slib aangeleverd wordt. De verminderde slibproductie zorgt ervoor dat minder aardgas nodig is voor slibdroging, wat een groot voordeel oplevert op deze indicator.

Bij de verwerking van het zeefgoed worden de verschillen tussen de routes duidelijk. De glucose-productie uit Fijnzeefroute A vergt relatief veel energie en hulpmiddelen. De gezondheidsimpact van de energie en hulpstoffen is hoger dan het gezondheidsvoordeel van de productie (afzet) van glucose, dat voortkomt uit het feit dat elders minder glucose geproduceerd hoeft te worden.

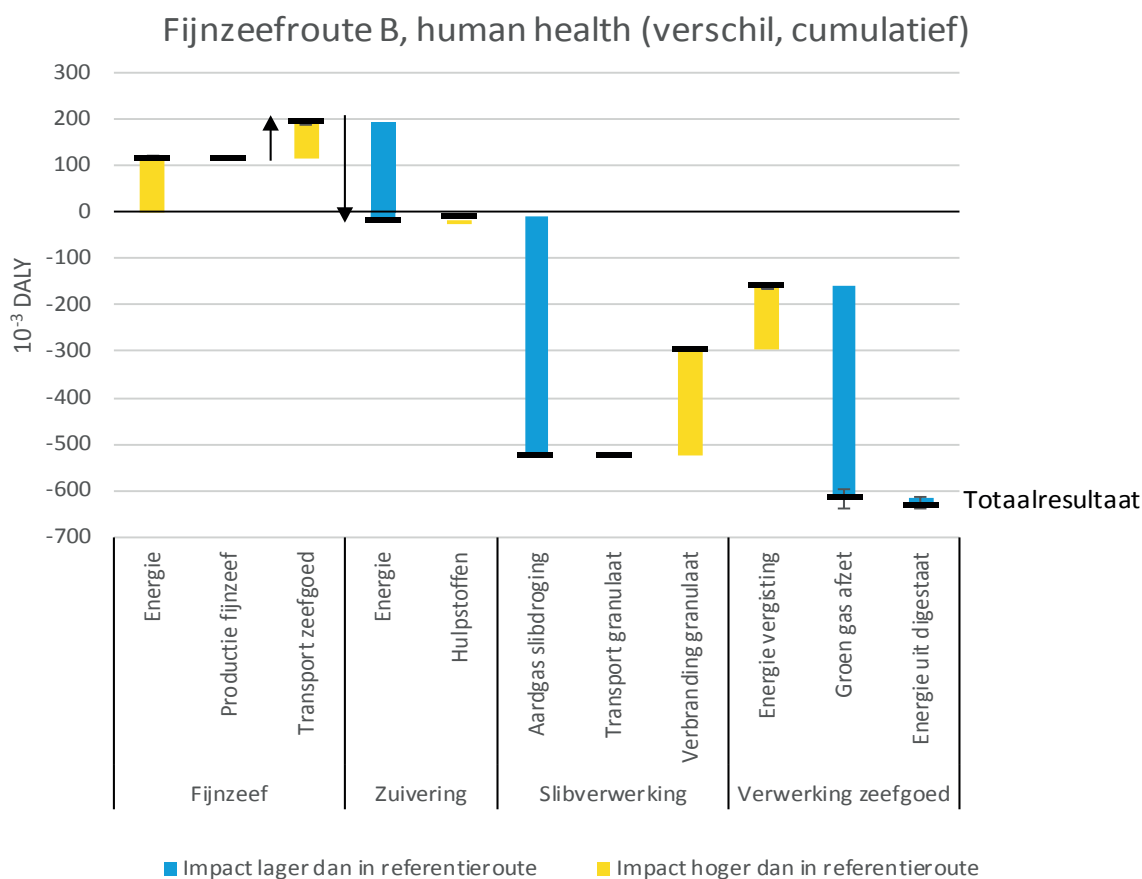
Overigens zijn de onzekerheden hier groot (zie foutenbalken); als uitgegaan wordt van lage waarden voor het energie- en hulpstoffengebruik van glucoseproductie dan levert de zeefgoedverwerking in Fijnzeefroute A netto wel een milieuvoordeel op.

Tot slot levert de afzet van groengas voor beide fijnzeefroutes een aanzienlijk milieuvoordeel op ten opzichte van de referentieroute. Omdat Fijnzeefroute B meer groengas produceert (en dus meer conventionele productie substitueert) levert dit ook een groter voordeel op (lagere impact op menselijke gezondheid).

Concluderend blijkt uit deze analyse dat Fijnzeefroute B beter scoort op menselijke gezondheid dan Fijnzeefroute A omdat er aanzienlijk meer groengas geproduceerd wordt, terwijl de glucoseproductie van Fijnzeefroute A netto geen milieuvoordeel oplevert door het energie- en hulpstoffengebruik.

De resultaten voor de andere twee endpoints, ecosystemen en grondstoffen, komen op een vergelijkbare manier tot stand en worden hier daarom niet verder besproken.

FIGUUR 10.6 OPBOUW VAN RESULTATEN VOOR MENSELIJKE GEZONDHEID PER PROCESSTAP VOOR FIJNZEEFROUTE B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE. DE FOUTENBALKEN GEVEN HET VERSCHIL TUSSEN DE BEST CASE EN WORST CASE AAN



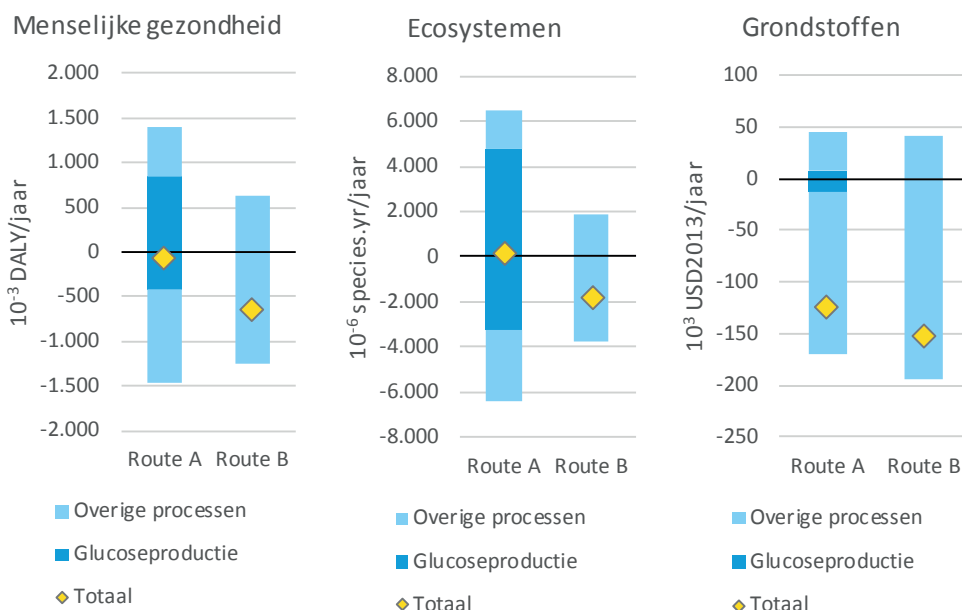
10.2.3 GLUCOSE

In Figuur 10.7 worden de endpointresultaten van Fijnzeefroutes A en B in één figuur getoond (ten opzichte van de referentieroute). De opbouw wat betreft milieunadelen (hogere impact dan referentieroute) en milieuvordelen (lagere impact) wordt weergegeven, en voor Fijnzeefroute A tonen we het aandeel van het glucoseproductieproces in deze voor- en nadelen.

De figuur laat zien dat het glucoseproductieproces in Fijnzeefroute A een aanzienlijk deel van de milieunadelen voor de indicatoren voor menselijke gezondheid en ecosystemen veroorzaakt. Daarnaast zien we dat voor deze zelfde indicatoren de milieuvordelen van glucoseproductie kleiner zijn dan de milieunadelen. Voor grondstoffen zijn de voor- en nadelen ongeveer gelijk.

FIGUUR 10.7

AANDEEL VAN GLUCOSEPRODUCTIE IN DE OPBOUW VAN DE ENDPOINTRESULTATEN VOOR FIJNZEEFRUTES A EN B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE



10.2.4 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Het betreft twee aanvullende cases: het meenemen van methaanemissies op de RWZI en alternatieve transportafstanden bij de zeefgoedverwerking.

10.2.4.1 BROEIKASGASEMMISSIES RWZI

Op de RWZI vinden emissies plaats van de broeikasgassen CH₄ en N₂O. Hierover is specifiek voor de RWZI Beemster geen informatie beschikbaar, dus deze zijn niet meegenomen in de basisanalyse (Paragraaf 10.2.1).

Het plaatsen van de fijnzeef kan echter wel invloed hebben op deze emissies, dus worden ze hier nader toegelicht.

De plaatsing van de fijnzeef heeft geen invloed gehad op de N-Kj waarden van het influent naar de zuivering, waardoor N₂O-emissies hoogstwaarschijnlijk niet verschillen tussen de onderzochte routes. De emissies van CH₄ kunnen echter wel verschillen tussen de routes; het plaatsen van de fijnzeef heeft het CZV-gehalte van het influent verlaagd met ca. 18,9%. Naar verwachting zijn de CH₄-emissies proportioneel gedaald na het installeren van de fijnzeef.

De CH₄-emissies in zowel de fijnzeefroutes als de referentieroute zijn berekend om de invloed van het CZV-verwijderingsrendement van de fijnzeef te bepalen. We gaan uit van een CH₄-emissie-factor van 0,00875 kg CH₄/(kg CZV_{aanvoer} - kg CZV_{slib}) op basis van (STOWA, 2014). De CZV-vracht voor de aanvoer/het influent is 557 kg CZV/uur. Hierbij is aangenomen dat de RWZI continu deze influent verwerkt (24 uur per dag, 365 dagen per jaar). De CZV-gehalte van de sliboutput is bepaald op basis van 1,42 kg CZV/kg organische droge stof in surplus slib (expert judgment) en de slibhoeveelheden uit de inventarisatie.

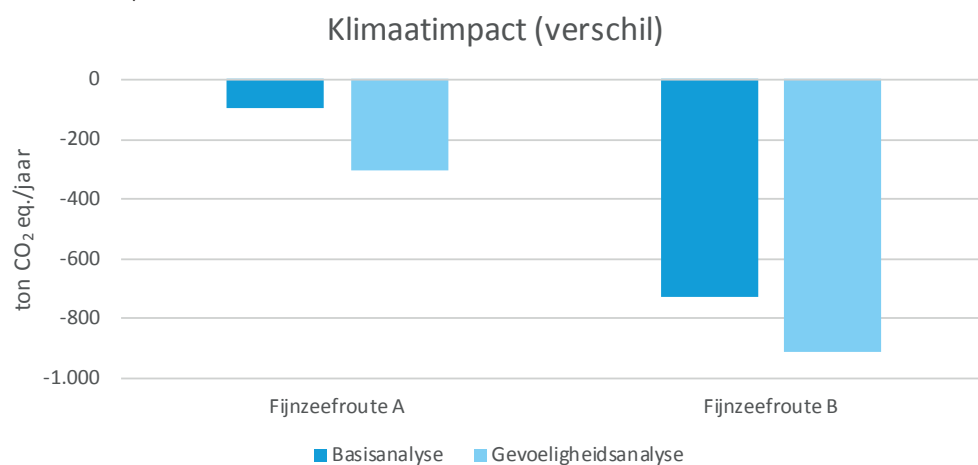
Figuur 10.8 geeft de klimaatimpact van de fijnzeefroutes weer (ten opzichte van de referentieroute). Hier is uitgegaan van de gemiddelde waarden uit de inventarisatie. Ten opzichte van de basis analyse zorgt het meenemen van de CH₄-emissies ervoor dat de fijnzeefroutes allebei beter scoren. De totale klimaatimpact gaat omhoog (we nemen immers meer broeikasgase-

missies mee), maar ze stijgen sterker in de referentieroute dan in de fijnzeefroutes waardoor het verschil groter wordt.

Doordat het CZV-gehalte van de inputstroom kleiner is in de fijnzeefroutes, wordt het verschil met de referentieroute zo'n 200 ton CO₂-eq./jaar groter waardoor de fijnzeefroutes beter scoren. In dit geval levert ook Fijnzeefroute A een klimaatvoordeel op ten opzichte van de referentieroute (negatieve waarde in Figuur 10.8). Dit geeft aan dat de CH₄-emissies een belangrijke determinant zijn van de klimaat-impact van de fijnzeefroutes. Deze gevoeligheidsanalyse betreft een modellering om zicht te krijgen in de mogelijke invloed van deze emissies. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen zou dit in de praktijk nader onderzocht moeten worden.

FIGUUR 10.8

GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR CH₄-EMISSIONS OP RWZI - KLIMAATIMPACT VAN DE FIJNZEEFROUTES (VERSCHIL TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE)



10.2.4.2 TRANSPORT ZEEFGOEDVERWERKING

In de basisanalyse is ervan uitgegaan dat in Fijnzeefroute A het zeefgoed (geproduceerd op RWZI Beemster) per truck vervoerd wordt naar Wijster (Drenthe) voor glucoseproductie, vergisting en digestaatverbranding. Attero heeft echter aangegeven dat de vergister in Wijster niet geschikt is voor de reststroom van glucoseproductie, en dat deze naar Groningen vervoerd zou moeten worden. Aan de andere kant zou het gemakkelijker zijn als alle zeefgoedverwerkingsprocessen zouden plaatsvinden in de buurt van Beemster. De milieu-impacts van deze twee alternatieve systemen (vergisting in Groningen en zeefgoedverwerking in Noord-Holland) worden hier onderzocht.

Tabel 10.4 geeft de aannames voor de twee alternatieven weer. Voor de Noord-Hollandcase is aangenomen dat het zeefgoed over 10 km vervoerd moet worden. Verder is de analyse gebaseerd op de gemiddelde waarden uit de inventarisatie.

TABEL 10.4

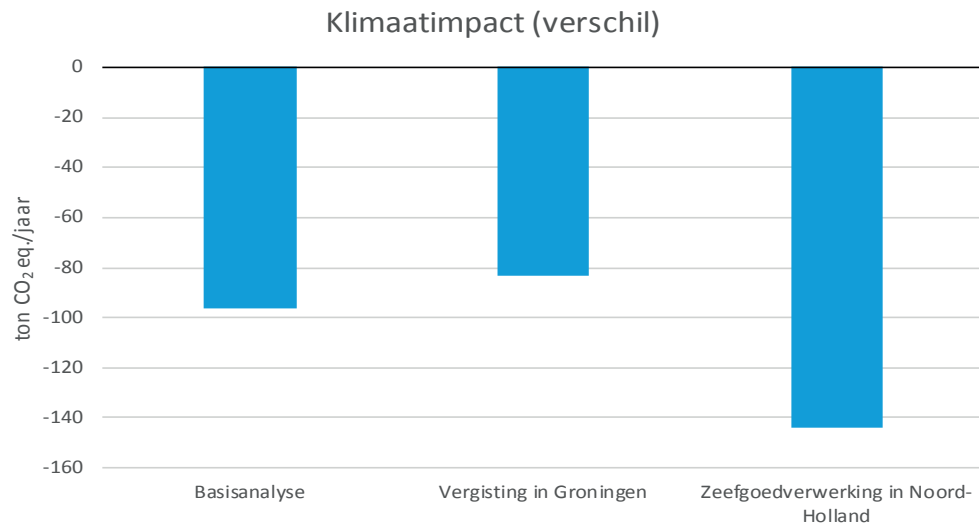
GEVOELIGHEIDSANALYSE TRANSPORT VOOR FIJNZEEFROUTE A

Case	Basisanalyse Fijnzeefroute A	Vergisting in Groningen	Zeefgoedverwerking in Noord-Holland
Transport zeefgoed	190 km	190 km	10 km
Transport reststroom	0 km	58 km	0 km
Transport digestaat	0 km	58 km	0 km
Totaal transport	297.920 tonkm/jaar	375.432 tonkm/jaar	15.680 tonkm/jaar

Figuur 10.9 toont de resultaten van bovenstaande drie cases voor de klimaatimpact van Fijnzeefroute A ten opzichte van de referentieroute. Te zien is dat extra transport (vergisting in Groningen) ervoor zorgt dat het verschil met de referentieroute ca. 13% kleiner wordt. Als juist minder transport nodig is (zeefgoedverwerking in Noord-Holland) dan wordt het verschil ca. 50% groter.

FIGUUR 10.9

GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR ALTERNATIEVE TRANSPORTAFSTANDEN - KLIMAATIMPACT VAN DE FIJNZEEFROUTES (VERSCHIL TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE)



11

CONCLUSIES

11.1 RWZI BEEMSTER

Bij aanvang van het onderzoek zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd en zijn met de uitkomsten van het onderzoek gedurende het monitoringsjaar de volgende conclusies te trekken.

Wat zijn de rendementen voor OB, CZV, BZV, Kj-N, P-totaal? Rekening houden met de retourstromen (perswater van de ontwatering, drainage- en spoelwater). Hierbij ook onderscheid maken tussen droog weer aanvoer (DWA) en regenweer aanvoer (RWA).

In onderstaande Tabel 11.1 worden voor de belangrijkste parameters de gemiddelde rendementen weergegeven. Ten aanzien van het terugwinnen van cellulose is met het verwijderen van 37% van de onopgeloste bestanddelen 69% van de cellulose in het influent afgescheiden. De verwijdering van cellulose op RWA dagen is niet gekwantificeerd omdat hiervan te weinig gegevens beschikbaar zijn.

TABEL 11.1

RENDEMENTEN

Parameter	CZV	BZV	Kj-N	P-totaal	OB	Cellulose
Gemiddeld	19%	17%	4%	4%	36%	69%
DWA	19%	20%	4%	4%	39%	65%
RWA	23%	16%	9%	5%	31%	

Hoeveel zeefgoed (en cellulose) wordt er gemiddeld, minimaal en maximaal per dag geproduceerd? Hierbij ook onderscheid maken tussen droog weer aanvoer (DWA) en regenweer aanvoer (RWA).

Op basis van de metingen aan onopgeloste stoffen in influent en filtraat en het debiet dat is behandeld in de fijnzeefinstallatie komt de celluloseproductie uit op 809 ton DS/j en dat is een gemiddelde dagproductie van 2,2 ton DS/j met minimum en maximum van respectievelijk 0,4 en 5 ton DS/d. Dit daggemiddelde is voor DWA dagen 2,2 ton DS/d en voor RWA dagen 2,3 ton DS/d. Hierin zit dus niet of nauwelijks verschil en dat is ook al af te leiden aan het rendement voor de verwijdering van OB die ook niet veel verschilt.

De productie is ook gemeten op basis van de afgevoerde en gewogen containers zeefgoed en dat is 683 ton DS/j.

Wat is het percentage aan cellulose gemiddeld, minimaal en maximaal in het zeefgoed?

Gemiddeld bedraagt de concentratie aan cellulose in het zeefgoed 43% met een minimum van 35% en maximum 51% betrokken op 16 metingen.

Hoeveel energie wordt er verbruikt door de fijnzeefinstallatie en per fijnzeef?

Gemiddeld heeft de fijnzeefinstallatie over het monitoringsjaar 2017, 798 kWh/d verbruikt en dat is gecorrigeerd voor de in bedrijf name per 18 januari 2017. Het verbruik van de blowers en luchtafzuiging bepalen voor ruim 72% het totaalverbruik en hebben een constante afname aan energie gedurende de dag. Daarom is de variatie in energieverbruik niet groot en wordt ook niet bepaald door het debiet naar de RWZI.

Wat is de bedrijfstijd van de fijnzeefinstallatie gedurende een jaar? Hierbij gaat het ook om de bedrijfstijd per fijnzeef.

De beschikbaarheid van de fijnzeefinstallatie bedroeg 97% en dat geldt ook voor de individuele fijnzeven. Dat wil niet zeggen dat alle fijnzeven ook 97% van de tijd in bedrijf zijn geweest. Dat hangt af van de aanvoer en wordt ook nog eens gevarieerd in welke fijnzeven in bedrijf zijn om ze gelijkmatig te belasten. De in bedrijfstijd bedroeg gemiddeld 44%.

Zijn er storingen voorgekomen en heeft dat invloed gehad op de zeefgoed en cellulose productie?

Gedurende de onderzoeksperiode is een breuk opgetreden op twee fijnzeven, maar heeft niet direct tot stilstand of verminderde zeefgoed en celluloseproductie geleid omdat er nog 6 fijnzeven beschikbaar waren en dit niet in een natte periode plaatsvond. Verder waren er geen storingen die de productie hebben beïnvloed.

Is een indicatie te geven van de interne overstort (voor de zeefband) en welk percentage is dat t.o.v. de totale influent aanvoer?

In de praktijk bleken er geen goede metingen mogelijk te zijn zodat dit niet verder is onderzocht.

Hoeveel afvalwater is om de fijnzeefinstallatie geleid (bypass) en welk percentage is dat t.o.v. de totale influent aanvoer?

Gedurende het monitoringsjaar bedroeg het gemiddelde dagdebiet naar de RWZI Beemster 24.074 m³/d en daarvan is 21.459 m³/d behandeld door de fijnzeefinstallatie, dat is 89% van de toevoer naar de RWZI. Van de 348 meetdagen is er op 185 dagen meer dan 99% van de aanvoer behandeld.

Wat is het verbruik aan energie voor beluchting?

Doordat de beluchtingselementen zijn vervangen in mei 2017 en de beluchtingstank gebag-gerd is het mogelijk om het effect van de fijnzeefinstallatie goed vast te stellen. Als de periode tot juni er wordt uitgelicht wordt wel zichtbaar dat het energieverbruik een niveau is gedaald wat 9,3% aan besparing oplevert. Hierbij wordt opgemerkt dat deze periode te kort is om een betrouwbare conclusies te trekken.

Wat is de surplus slibproductie?

De verwachting is dat de productie aan surplus slib zal dalen met 30% tot 40% en speelt ook mee dat daardoor minder fosfor wordt opgenomen en leidt mogelijk tot een hoger chemica-liënverbruik.

De surplus slibproductie is gedaald met 20% van zo'n 2.584 ton DS/j naar 2.076 ton DS/j. Het verbruik aan ijzerzout voor de aanvullende verwijdering van fosfaat is wel gestegen van 21 ton Fe/j naar 47 ton Fe/j ofwel Me/P verhoudingen van 0,14 naar 0,45. Hierbij wordt opgemerkt dat tijdens het monitoringsjaar de setpoints van de beluchting zijn aangepast dat nadelig heeft uitgewerkt op de bio-P en daardoor het ijzerverbruik hoger is geweest dan nodig was.

In welke mate is er sprake van een verandering van de eigenschappen van het actief slib uitgedrukt in bezinking en SVI? In geval dat er sprake is van een slechtere bezinking en dus hogere SVI doet de vraag zich voor of de bestaande nabezinking capaciteit voldoende is. Dit kan mogelijk gecompenseerd worden door in de beluchtingstank een lager slibgehalte te hanteren omdat minder cellulose (en dus inactief materiaal) in de slibvlok aanwezig is.

De verwijdering aan CZV en BZV door de fijnzeven zal resulteren in een lager BZV:N en BZV:P verhoudingen. Is dit van invloed op de stikstof- en fosforverwijdering?

De invloed van de fijnzeven op de effluentkwaliteit is moeilijk vast te stellen omdat tijdens het monitoringsjaar de beluchtingselementen in de beluchtingstank vervangen zijn en deze gebaggerd is. De verbeterde beluchting zal ook invloed hebben op de nitrificatie en de biologische fosfaatverwijdering. Na de werkzaamheden in mei is de procesvoering van de biologie aan verandering onderhevig geweest ter optimalisatie van de bio-P. Hierdoor is de effluentkwaliteit ook wisselend geweest. Uit de gegevens kan wel worden afgeleid dat met een BZV:N-verhouding in de toevoer na de biologie van gemiddeld 3,7 een vergaande stikstofverwijdering mogelijk is. Dit geldt ook voor de bio-P met een BZV:P-verhouding van 27.

Het droge stofgehalte van het ontwaterde slib en het verbruik aan PE?

Het %DS in het ontwaterde slib bedroeg voor de referentieperiode gemiddelde bijna 22% en was in 2017 23%. Een lichte stijging dus, maar hier staat wel een hoger verbruik aan PE tegenover van gemiddeld 12,5 g PE/kg DS naar 18,3 g PE/kg DS in 2017. Waarbij nog wel wordt opgemerkt dat in de maanden mei en juni het verbruik tijdens de referentieperiode en in 2017 in dezelfde orde van grootte lag. Mogelijk dat een niet optimale bedrijfsvoering heeft bijgedragen tot een hoger verbruik.

Energieverbruik van de ontwatering.

Het energieverbruik voor de verwerking van het surplus slib is gedaald van 482 MWh/j naar 395 MWh/j een daling van 18%.

11.2 GLUCOSEPRODUCTIE

Dat het mogelijk is om op pilotschaal cellulose om te zetten naar glucose is aangetoond, maar kwam ook naar voren dat de kwaliteit van het zeefgoed niet consistent is voor een betrouwbare procesvoering en stabiel resultaat. Het droge stof gehalte van het zeefgoed is weliswaar gestegen van gemiddeld 25% naar 35% gedurende de monitoringsperiode, maar het cellulosegehalte is de helft van wat eerder bij aanvang van het project is aangenomen, met als nadelen minder glucosepotentieel per ton input en meer ongewenste stoffen die het proces kunnen storen en afgevoerd moeten worden als afval. Dit beïnvloedt de business case in negatieve zin evenals de filtraatkwaliteit die geproduceerd kan worden. Vervolgonderzoek kan zich richten op het verbeteren van de kwaliteit van het zeefgoed, waarbij gedacht kan worden aan het isoleren van de cellulosevezel uit het zeefgoed als voorbewerkingsstap. Of deze extra stap financieel voordelig is hangt af van de efficiëntie en kosten van deze stap.

De sterilisatie in de autoclaaf verliep het beste bij een droge stof percentage van minder dan 20%, dus er moet altijd water toegevoegd worden aan het zeefgoed. Uit de resultaten blijkt dat de autoclaaf eindwaarden in ATP haalden die lager waren dan leidingwater, met een reductie van bacteriën van 86-99% bij 120 °C en ca. 15 minuten procestijd. Mogelijk dat deze reductie nog onvoldoende was omdat in het hydrolyseproces nog problemen met de hygiëne zijn geconstateerd.

Het hydrolyseproces is het hart van de pilot installatie. De optimale procesinstellingen voor maximale omzetting van cellulose naar glucose konden niet bepaald worden door een besmetting met *Lysinibacillus fusiformis* en *Bacillus cereus*, twee sporenvormende bacteriën die de gevormde glucose omzetten in melkzuur en die weer omzetten in CO₂ en water. De gemeten omzetting, gebaseerd op melkzuurconcentraties en afname in droge stof, lag tijdens de proeven tussen 13% en 29%, terwijl in het laboratorium bij deze enzymdosering meer dan 50% omzetting werd behaald. Alle geteste opties om de besmetting tegen te gaan hebben niet

voldoende resultaat opgeleverd en was het niet mogelijk om biociden als uiterste middel te testen in de pilotinstallatie. Vanwege de problemen met de hygiëne was het niet mogelijk om te testen welke enzymconcentratie optimaal was en er zijn ook geen andere enzymen getest. Een vervolg aan dit onderzoek kan nog gegeven worden door terug te gaan naar kleinere schaal en zo de hydrolyse van zeefgoed onder controle proberen te krijgen. Zodra optimale procescondities en een eventuele biocide strategie bekend is op deze schaal, kan mogelijk weer opgeschaald worden naar een pilotschaal.

De gehele filterstraat functioneerde na de installatie van de decanter goed en het filtraat was na behandeling door decanter, zakkenfilter en keramisch filter ontdaan van 99,7% van de onopgeloste vaste bestanddelen, inclusief een groot deel van de zware metalen die vermoedelijk gehecht zijn aan de vaste organische stof. De optimale werking van de decanter, waarbij alle deeltjes boven de 87 micron werden afgevangen, werd bereikt bij een lage voedingssnelheid en 1.200-1.300 omwentelingen per minuut. Bij deze instellingen konden zakkenfilters van 5 of 10 micron gebruikt worden en kon ook het nanofilter de hoeveelheid overgebleven zwevende stof aan om een helder filtraat te produceren. Een test met een ultrafilter heeft uitgewezen dat met dit filter nog meer vaste stof eruit gefiltreerd kan worden dan met de gebruikte pilot opstelling. De resultaten voor de zware metalen zijn echter niet eenduidig; het is niet duidelijk welke opstelling beter presteert, de pilot plant opstelling met decanter, zakkenfilter en keramisch filter, of een opstelling met een ultrafilter en eventueel trommelfilter voorgeschakeld. Zolang het ultrafilter niet op pilotschaal is getest, is hier geen eenduidige conclusie uit te trekken. Voor een full-scale plant is een opstelling zonder decanter in ieder geval voordeliger qua investering en verdient dus de voorkeur.

Wat betreft het indikken zijn er drie technieken geïdentificeerd die mogelijk geschikt zijn voor het indikken van glucosewater gemaakt uit zeefgoed; MDR (mechanische damprecompressie), GaLiCoS (Gas liquid contacting system) en RO (Reverse Osmosis). Deze technieken zijn niet in de praktijk getest dus is niet duidelijk welke van deze technieken het beste presteert op het gebied van productkwaliteit, efficiëntie en kosten.

Op basis van dit monitoringsrapport en alle operationele ervaring is een ontwerp gemaakt voor een full-scale installatie. Dit is gebruikt voor de economische evaluatie (business case) en als uitgangspunt voor de LCA (levenscyclus analyse). De onderzoeksresultaten zijn echter niet voldoende om een definitief en eenduidig ontwerp te maken, en bevatten nog veel onzekerheden. Zoals aangegeven moet eerst het hart van het proces, de hydrolyse, op kleinere schaal geoptimaliseerd worden en daarna weer opgeschaald worden. Daarna kan er een nauwkeurig full-scale ontwerp gemaakt worden.

11.3 ECONOMISCHE ANALYSE

In deze economische analyse is aandacht besteed aan:

1. De businesscase van installatie van een fijnzeefinstallatie in een bestaand systeem, in vergelijking met het niet installeren van zo'n installatie.
2. De businesscase van glucoseproductie uit zeefgoed.
3. De kosteneffectiviteit van de fijnzeef als CO₂-reductiemaatregel.

Er is een bandbreedte gehanteerd voor gegevens van kosten en hoeveelheden. Uitgedrukt in een pessimistisch scenario, een neutraal scenario en een optimistisch scenario. Dat is gedaan omdat de karakteristieken van de glucoseproductie niet goed vast te stellen zijn op basis van de uitkomsten van de pilotinstallatie.

Uit de businesscaseberekeningen blijkt dat een investering in een fijnzeef zonder waardering van de capaciteitsuitbreiding niet rendabel is. Dat komt met name vanwege de hoge kosten voor het aanbieden en verweken van het zeefgoed en het elektriciteitsverbruik van de fijnzeef. Deze kosten worden niet gecompenseerd door besparingen van hulpstoffen en energie in de processtappen erna.

Wanneer de capaciteitsuitbreiding wel wordt meegenomen en gewaardeerd, dan is het neutrale en optimistische scenario van inschattingen voor kosten en hoeveelheden sprake van een positieve businesscase.

In het pessimistische scenario is de terugverdientijd dusdanig lang dat de investering niet rendabel is vanuit financieel oogpunt. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat een fijnzeef milieuwinst oplevert en het vanuit een maatschappelijke verantwoordelijkheid toch kan renderen om te investeren in een fijnzeef.

Tevens is een businesscase van glucose-productie uit zeefgoed beschouwd en gebaseerd op schattingen van Attero voor de (kosten)parameters van een uitontwikkelde installatie op industriële schaal. De reactie erna, van glucose naar PLA, is niet meegenomen. De inschattingen worden gekenmerkt door grote onzekerheidsintervallen. De resultaten zijn dus indicatief.

Het is onwaarschijnlijk dat de businesscase voor glucoseproductie positief uitvalt. Het optimistische scenario is gebaseerd op het uitgangspunt dat alle parameters voor het verbruik en kosten/opbrengsten gunstig uitvallen en is het resultaat van dit scenario positief en in het pessimistische scenario zeer negatief. De kosten voor de enzymen is hierbij veruit de grootste kostenpost. Daarbij zorgt de grote variatie voor de enzymendosering (factor 100) en de 200% verschil in enzymprijs voor een heel breed onzekerheidsinterval tussen het pessimistische en optimistische scenario. Het optimistische scenario wordt vooral positief door het verschil tussen de opbrengsten voor het aannemen van het zeefgoed en de kosten voor de afvoer van de reststroom na de glucoseproductie. Er is hier sprake van een grote gevoeligheid voor het verschil in tarief die Attero hanteert, welke administratief bepaald is en niet gerelateerd aan het onderzoek van de glucoseproductie. De terugverdientijd voor het optimistische scenario bedraagt ongeveer negen jaar, de rentabiliteit van het project (IR) 15%. De IR is groter dan de eis aan het rendement van het kapitaal (de zogenaamde WACC) van 8%. Het is onwaarschijnlijk dat het optimistische scenario zich voordoet omdat het is gebaseerd op het uitgangspunt dat alle parameters voor het verbruik en kosten/ opbrengsten gunstig uitvallen. Er is wel sprake van samenhang tussen parameters die het eindresultaat bepalen. Als bijvoorbeeld de kwaliteit van het zeefgoed erg goed is (hoog percentage droge stof), zijn de kosten voor hulpstoffen (enzymen) lager maar zal ook het verwerkingstarief per ton zeefgoed (opbrengst) lager zijn. Het pessimistische scenario heeft geen terugverdientijd.

11.4 MILIEUANALYSE

De milieuanalyse is een verschilanalyse: er is enkel gekeken naar de verschillen tussen de fijnzeefroutes en de referentie. Dit betekent dat onzekerheden in data die én in de referentie én in de fijnzeefroutes voorkomen, zoals bijvoorbeeld elektriciteitsgebruik op de zuivering, buiten beschouwing zijn gelaten. Het blijkt dat de verschillen tussen Fijnzeefroute A en B groot zijn.

Fijnzeefroute A heeft in het gemiddelde scenario een lagere klimaatimpact dan de referentie-verwerkingsroute van ca. 100 ton CO₂-eq. per jaar. De onzekerheid van dit resultaat is echter groot;

de resultaten lopen uiteen van -320 ton CO₂-eq./jaar (een toename in klimaatimpact) tot 500 ton CO₂-eq./jaar. In de worst case is het dus mogelijk dat de route slechter scoort dan de referentie.

Op endpointniveau geldt dat Fijnzeefroute A een nadeel heeft ten opzichte van de referentie voor het effect op ecosystemen. Fijnzeefroute A scoort wel voordelig op de endpoints menselijke gezondheid en grondstoffen.

Fijnzeefroute B heeft in het gemiddelde scenario een voordeel ten opzichte van de referentie van 730 ton CO₂-eq. per jaar. Voor Fijnzeefroute B geldt dat op alle drie de endpoints een voordeel ten opzichte van de referentie wordt geboekt.

RWZI

Voor beide fijnzeefroutes geldt dat de klimaatimpact op de RWZI (dus exclusief zeefgoedverwerking) 360 ton CO₂-eq. per jaar lager is ten opzichte van de referentie.

GEVOELIGHEIDSANALYSE RWZI

Het is mogelijk dat er op de zuivering additionele voordelen worden geboekt, die door HHNK nog niet in beeld zijn gebracht. Specifiek gaat het daarbij om broeikasgasemissies. Aangezien afvalwater met een lager CZV-gehalte naar de zuivering gaat (na de fijnzeef), is het mogelijk dat CH₄-emissies op de zuivering afnemen. Dit heeft invloed op de klimaatimpact. Als bestaande proxy's worden gebruikt voor een eerste orde-grootte berekening, blijkt dat dit voor beide fijnzeefroutes zorgt voor een grotere reductie in klimaatimpact. Het is dus zeker de moeite waard om dit in de praktijk te verifiëren.

ONZEKERHEID GEGEVENS GLUCOSEPRODUCTIE

Voor wat betreft de gegevens voor de verwerking van het zeefgoed in Fijnzeefroute A bestaat grote onzekerheid. De variatie tussen de best case en de worst case wat betreft gebruik van elektriciteit, stoom en enzymen is groot. In het algemeen scoort Fijnzeefroute B echter vrijwel altijd beter (ook als de best case van Route A wordt vergeleken met de worst case voor Route B). Enkel voor ecosystemen geldt dat de best case van Route A beter is dan Route B. Hoe waarschijnlijk het is dat dit in praktijk zo zou uitvallen is onzeker.

KOSTENEFFECTIVITEIT CO₂-REDUCTIE

In de gelijktijdig uitgevoerde economische analyse over het Cellu2PLA-project worden de jaarlijkse kosten van het plaatsen van de fijnzeef voor HHNK geschat op tussen 27.333 €/jaar (inclusief benutting capaciteitsuitbreiding) en 243.472 €/jaar (exclusief benutting capaciteitsuitbreiding). Door de twee analyses te combineren kan de kosteneffectiviteit van CO₂-reductie berekend worden. Deze zijn weergegeven in Tabel 11.2.

De kosteneffectiviteit van Fijnzeefroute A ligt tussen de 283 en 2.522 €/ton CO₂-eq. Voor Fijnzeefroute B ligt de geschatte kosteneffectiviteit tussen de 38 en 335 €/ton CO₂-eq. Fijnzeefroute B scoort hier aanzienlijk beter vanwege de hogere reductie in klimaatimpact (zie bijv. Figuur 10.4).

TABEL 11.2

KOSTENEFFECTIVITEIT FIJNZEEF ALS CO₂-REDUCTIEMAATREGEL (€/TON CO₂-EQ.)

Benutting capaciteitsvergroting?	Fijnzeefroute A	Fijnzeefroute B
Nee	2.522	335
Ja	283	38

12

LITERATUUR

1. STOWA, 2010. *Influent fijnzeven in RWZI's*, STOWA 2010-19.
2. CADoS Eindrapport, 2017.
3. Ruiken et al., *Sieving wastewater – Cellulose recovery, economic and energy evaluation*, Waterresearch 47, 2013, pagina 43-48.
4. World Watch Magazine, *Matters of Scale - Into the Toilet*, July/August 2007, Volume 20, No. 4, <http://www.worldwatch.org/node/5142>.
5. B. Kalil, *Tissue market continues to grow*, <https://legacy.risiinfo.com/technologyarchives/PPMagOctober-Tissue-market-continues-to-grow.html>, RISI, 2008. Inmiddels blijkt deze publicatie niet meer bereikbaar via deze website.
6. Euverink et al., *An enzymatic method to determine the cellulose content in the influent and fine sieve fraction of a waste water treatment plant to determine the recovery potential of cellulose from domestic waste water*, Concept nog niet gepubliceerd, 2017.
7. D4.3 Monitoring Report Fijnzeven op de RWZI Aarle-Rixtel, het effect van de fijnzeven op het RWZI proces. Waterschap Aa en Maas, 31 oktober 2017.
8. CE Delft, *Milieuanalyse Cellu2PLA*, Delft: CE Delft, 2018
9. PBL, *Kosten Energie- en Klimaattransitie in 2030 : Update 2018*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2018
10. Attero, Persoonlijke communicatie, 2018
11. CE Delft, *STREAM personenvervoer 2014 - Studie naar Transportemissies van Alle Modaliteiten Emissiekentallen 2011*. Rapport 1.1, Delft: CE Delft, 2015
12. CE Delft, *Economische analyse Cellu2PLA - Businesscases fijnzeefinstallatie op RWZI Beemster en kost-prijsvergelijking glucose uit zeefgoed*, Delft: CE Delft, 2018
13. Gilpin, G. & Andrae, A., *Comparative attributional life cycle assessment of European cellulase enzyme production for use in second-generation lignocellulosic bioethanol production*. International Journal of Life Cycle Assessment 22, pp. 1034-1053, 2017
14. HHNK, Persoonlijke communicatie, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2018
15. Opure, Analysebericht: Onderzoek vergistbaarheid Zeefgoed, 2017
16. RIVM, *ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*, Bilthoven: RIVM, 2016
17. RVO, *Nederlandse lijst Energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren*, RVO, 2017
18. STOWA, *Lucht gerelateerde emissies vanuit RWZI's in het kader van de I-PRTR*, Amersfoort: STOWA, 2014
19. STOWA, *Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater*, Amersfoort: STOWA, 2016.
20. www.ecoinvent.org, The world's most consistent & transparent life cycle inventory database.

BIJLAGE 1

RESULTATEN IN DETAIL

A.1 MIDPOINT

Tabel 0.1 geeft alle midpointresultaten weer. Hierin zijn dus naast de klimaatimpact (global warming) uit Paragraaf 3.1 ook andere milieueffecten meegenomen.

TABEL 0.1 MIDPOINTRESULTATEN VOOR FIJNZEEROUTES A EN B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE

Milieueffect	Eenheid	Fijnzeefroute A			Fijnzeefroute B		
		Best case	Gemiddelde	Worst case	Best case	Gemiddelde	Worst case
Global warming	kg CO ₂ -eq.	-503.003	● -96.528	320.626	-746.528	● -726.562	-699.991
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11-eq.	-3	● -3	-3	-2	● -2	-2
Ionizing radiation	kBq Co-60-eq.	-229	● 25	669	1.497	● 1.519	1.610
Ozone formation, Human health	kg NO _x -eq.	-149	● -74	35	219	● 218	215
Fine particulate matter formation	kg PM _{2,5} -eq.	-178	● 111	396	56	● 57	60
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x -eq.	-165	● -89	22	205	● 204	202
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	-669	● 337	1.360	333	● 338	355
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-21	● -18	-15	2	● 2	3
Marine eutrophication	kg N-eq.	-547	● -524	-501	1	● 1	1
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-198.025	● -76.728	40.185	39.097	● 39.506	41.049
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-501	● -440	-379	114	● 110	100
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-187	● -44	94	302	● 290	265
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	991	● 979	984	1.394	● 1.360	1.290
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	-159.802	● -145.226	-130.626	3.706	● 3.695	3.746
Land use	m ² a crop-eq.	-206.712	● 43.881	274.777	6.956	● 6.998	7.281
Mineral resource scarcity	kg Cu-eq.	-46	● 58	157	53	● 53	53
Fossil resource scarcity	kg oil-eq.	-348.763	● -308.917	-258.116	-415.833	● -405.314	-392.747
Water consumption	m ³	-5.711	● -4.578	-2.991	1.008	● 1.019	1.063

A.2 ENDPOINT

Tabel 0.2 geeft de endpointresultaten in detail weer. Hierin zijn de milieueffecten uit Paragraaf A.1 geaggregeerd tot drie indicatoren (Bijlage B).

TABEL 0.2 ENDPOINTRESULTATEN VOOR FIJNZEEROUTES A EN B TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIEROUTE

Milieueffect	Eenheid	Fijnzeefroute A			Fijnzeefroute B		
		Best case	Gemiddelde	Worst case	Best case	Gemiddelde	Worst case
Human health	DALY	-0,6265	● -0,0619	0,5108	-0,6506	● -0,6314	-0,6050
Ecosystems	species.yr	-0,0035	● 0,0001	0,0036	-0,0019	● -0,0019	-0,0018
Resources	USD2013	-131.027	● -123.740	-113.677	-155.970	● -152.319	-148.307

BIJLAGE 2

RECIPE METHODE

Deze bijlage geeft een inleiding tot de ReCiPe-methodologie die gebruikt is in deze milieu-analyse

De ReCiPe-methodologie is ontwikkeld voor de Nederlandse overheid en wordt gebruikt voor veel LCA-studies in Nederland. De ReCiPe-methodiek wordt gebruikt om een lange lijst met primaire onderzoeksresultaten te vertalen naar indicatoren die makkelijker te interpreteren zijn. Met deze methodiek is het mogelijk om milieueffecten te presenteren op twee verschillende niveaus:

Midpoints: Probleemgerichte milieueffecten zoals klimaatverandering en verzuring. In de ReCiPe-methodologie zijn er zeventien midpoints. Het midpointniveau is een directe vertaling van de emissie/ abstractie naar het milieueffect. Het geeft inzicht in de verschillende milieueffecten en wordt gekenmerkt door een hoge mate van transparantie. Veroorzaakte schades worden niet weergegeven op midpointniveau. Hiervoor is het beter om endpoints (Niveau 2) te gebruiken.

Endpoints: Effectgerichte milieueffecten zoals impacts op natuur, mensen en grondstoffen. In de ReCiPe-methodologie worden de 17 midpoints gecategoriseerd naar 3 endpoints, zie Tabel 0.1.

Op endpointniveau zijn de milieueffecten genormaliseerd en omgerekend naar schades op het gebied van drie endpointcategorieën:

1. Schade aan menselijke gezondheid.
2. Schade aan ecosystemen.
3. Schade aan de beschikbaarheid van grondstoffen.

TABEL 0.1

MILIEUEFFECTCATEGORIEËN, EENHEDEN EN WEEGFACTOREN VOLGENS RECIPE 2016

Midpoints	Unit	Endpoints
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	Human Health (DALY)
Stratosferische ozonafbraak	kg CFC11-eq.	
Ioniseren straling	kBq Co-60-eq.	
Ozonvorming. Human health	kg NO _x -eq.	
Fijnstofvorming	kg PM _{2.5} -eq.	
Menselijke carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Menselijke niet-carcinogene toxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Watergebruik	m ³	
Klimaatverandering	kg CO ₂ -eq.	Ecosystems (species.year)
Ozonvorming. Terrestrische ecosystemen	kg NO _x -eq.	
Terrestrische verzuring	kg SO ₂ -eq.	
Eutrofiëring van zoet water	kg P-eq.	
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Mariene ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB e	
Landgebruik	m ² a crop-eq.	
Watergebruik	m ³	Resources (\$)
Schaarste van minerale hulpbronnen	kg Cu-eq.	
Schaarste van fossiele hulpbronnen	Kg oil-eq.	

BRON: (RIVM, 2016).

BIJLAGE 3

DETAILOPBOW INVESTERINGSKOSTEN

BOUWKOSTEN (HHNK, 2018)

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
Ontvangstwerk*	€ 176.116	€ 123.281	€ 88.058
Roostergoed gebouw*	€ 1.152.744	€ 806.921	€ 576.372
Fijnzeefgebouw	€ 1.504.983	€ 1.504.983	€ 1.504.983
Fijnzeef containers	€ 32.025	€ 32.025	€ 32.025
Fijnzeef drainput	€ 56.033	€ 56.033	€ 56.033
Filtraatput	€ 96.066	€ 96.066	€ 96.066
Bedrijfswatervoorziening	€ 10.405	€ 10.405	€ 10.405
Gebroken drinkwatervoorziening	€ 1.281	€ 1.281	€ 1.281
Chemicaliëvoorziening*	€ 176.116	€ 123.281	€ 88.058
Terreinrioleringsvoorziening	€ 112.074	€ 112.074	€ 112.074
Luchtbehandeling	€ 384.248	€ 384.248	€ 384.248
Monsternamevoorziening	€ 24.017	€ 24.017	€ 24.017
Elektrotechnische installatie voor de fijnzeven**	€ 832.545	€ 749.291	€ 666.036
Besturingsinstallatie**	€ 320.207	€ 288.186	€ 256.165

Toelichting:

* In geval RWZI Beemster zijn bestaande zuiveringsonderdelen verplaatst om ruimte te maken voor de fijnzeefinstallatie.

De kosten met een * zou je daarom in het neutrale en optimistische scenario niet maken. Echter ook bij andere RWZI's zal je een fijnzeefinstallatie moeten inpassen in het bestaande systeem, en er zullen dus altijd wel kosten gemaakt worden.

In het neutrale scenario wordt 70% van de kosten meegeteld en in het optimistische scenario 50%.

** Het maatregelenpakket voor RWZI Beemster behelsde meer dan alleen het realiseren van een fijnzeefinstallatie.

Enkele bestaande zuiveringsonderdelen zijn verplaatst en vernieuwd, ook zijn er onderdelen gerenoveerd. Kosten voor adviesdiensten (onderzoek, vergunningen, enz.) worden daarom niet volledig toegerekend aan de fijnzeefinstallatie.

In het neutrale scenario wordt 90% van deze kosten meegeteld, in het optimistische scenario 80%.

LEVERINGSKOSTEN

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
Levering fijnzeven*	€ 1.348.735	€ 1.213.861	€ 1.213.861
Levering fijnzeefcontainers	€ 117.000	€ 117.000	€ 117.000

Toelichting:

* Voor RWZI Beemster zijn aanvullende voorzieningen meegenomen, in verband met de monitoring die gedaan is in het kader van het subsidieproject; in dit geval flowmeters voor elke fijnzeef (10% van de investering). Die flowmeters heb je normaal gesproken niet nodig en worden dus achterwege gelaten in het neutrale en optimistische scenario.

PLAN- EN ADVIESKOSTEN

Post	Kosten pessimistisch	Kosten neutraal	Kosten optimistisch
Quick-scan Flora & Fauna*	€ 1.166	€ 1.050	€ 933
Geuronderzoek*	€ 3.240	€ 2.916	€ 2.592
Vleermuisonderzoek*	€ 2.193	€ 1.974	€ 1.755
Geluidsonderzoek*	€ 8.460	€ 7.614	€ 6.768
Leges Omgevingsvergunning*	€ 15.770	€ 14.193	€ 12.616
Vorbereiding (opstellen contractdocumenten, begeleiden aanbesteding) *	€ 167.152	€ 150.437	€ 133.722
Contractbeheersing*	€ 30.001	€ 27.001	€ 24.001
Opstellen definitief ontwerp (detail engineering) *	€ 421.592	€ 379.433	€ 337.273

Toelichting:

* Het maatregelenpakket voor RWZI Beemster behelsde meer dan alleen het realiseren van een fijnzeefinstallatie.

Enkele bestaande zuiveringsonderdelen zijn verplaatst en vernieuwd, ook zijn er onderdelen gerenoveerd. Kosten voor adviesdiensten (onderzoek, vergunningen, enz.) worden daarom niet volledig toegerekend aan de fijnzeefinstallatie. In het neutrale scenario wordt 90% van deze kosten meegeteld, in het optimistische scenario 80%.

BIJLAGE 4

TOELICHTING OP ENZYMATISCHE BEPALING VAN CELLULOSE

ANALYSEMETHODE

Enzym behandeling

- Voeg aan iedere voorgekoelde buis 5 ml enzym cocktail toe (200 µl cellulase (≥ 168 Units) en 40 µl Accelerase® BG (≥ 120 pNPG Units) aangevuld met gekoelde azijnzuurbuffer).
- Buizen sluiten en enkele keren goed schudden en vaste delen enkele minuten laten bezinken.
- Nulmeting, 200 µl per buis afnemen en overbrengen in 1.5 ml eppendorf cupjes incl. 20 µl, 6 M HCl. Eppendorf cupjes sluiten en schudden.
- Reactiebuizen Incuberen in een schudincubator, 40°C, 150 rpm.
- 200 µl bemonsteren op vaste tijden, minimaal na 24 en 48 uur incubatie (monsters aanzuren met 20 µl HCl, 6 M).

Glucose meting (96 wells plaat GOPOD methode).

- 8 Glucose standaarden uitplaten in triplo met concentratie oplopend van 0 t/m 0.056 mg/ml door; X=0,2,4,6,8,10,12,14 µl (X=1 mg/ml glucose standaard) aangevuld met 40-X µl demiwater.
- 10 µl per monster uitplaten in 96 wells plaat (alleen bovenstaande vloeistof van elk monster nemen).
- Ieder monster neutraliseren met 40 µl NaOH, 136 mM.
- 200 µl GOPOD buffer opbrengen (Megazyme D-glucose kit).
- 45 min laten incuberen bij kamertemperatuur of 20 min bij 40°C.
- Absorptie bepalen bij golflengte van 410 nm.
- Glucose concentratie berekenen m.b.v. de absorptie en de ijklijn gebaseerd op de standaarden.
- Compenseren voor het initieel aanwezige glucose m.b.v. de nulmeting.
- Cellulose concentratie berekenen m.b.v. ingewogen hoeveelheid monster en glucose/cellulose conversie factor.
- Cellulose percentage berekenen m.b.v. de droge stofbepaling.

TOELICHTING

De enzymatische metingen zijn getest door een bekende hoeveelheid wc-papier (3 typen in de winkel verkrijgbaar) en puur cellulose (Avicel) in water te brengen en terug te meten. Voor toilet papier is 77-90% aan cellulose gemeten en voor Avicel 90%. Voor toilet papier geldt dat deze niet voor 100% uit (alleen) cellulosevezel bestaat, maar ook lignine en andere toeslagstoffen voorkomen.

Cellulose metingen uitgevoerd op rioolwater influenten en filtraat laten stabiele metingen zien. Een meting wordt als stabiel beschouwd als de glucose concentratie in de tijd niet significant verder toeneemt. In sommige gevallen lijkt er sprake van dat de glucose concentratie

met enkele mg/l toeneem, maar met de gemiddelde variatie van 3 mg/l is dit in geen enkel geval significant gebleken. Hierbij zijn gehalten aan onopgeloste bestanddelen van 70 tot 407 mg/l gemeten en cellulose gehalten van 23 – 120 mg/l.

De enzymatische methode is ontwikkeld binnen het Cellulose Assisted Dewatering of Sludge (CADOs) project op de RWZI Ulrum. Voor influent van de RWZI Ulrum is op 3 februari 2016 de enzymatische cellulose bepaling met als uitkomst $10,8 \pm 1,2$ mg/l vergeleken met de cellulose bepaling volgens de “Van der Soest”, ook wel NDF/ADF/ADL methode genoemd, met als uitkomst 13.2 mg/l. De uitkomsten tussen de methodes verschillen onderling niet meer dan 18,2 %. In de NEN-EN-ISO 13906 voor ADF zijn voor de herhaalbaarheid en de reproduceerbaarheid percentages vermeld tussen de 3.8 – 24.9 % en de 9.4 – 51.0 %. Met het gevonden verschil van 18,2 procent tussen de twee methodes en een standaarddeviatie van 11 % in de herhaalbaarheid voor de enzym-methode zelf, lijkt de methode betrouwbaar genoeg om te gebruiken voor RWZI influent.

Dat met de ‘Van der Soest’ methode een hogere waarde wordt gemeten kan er mee te maken hebben dat er in het influent cellulose kan voorkomen die met de enzymatische methode niet of moeilijker wordt ontsloten. De ‘Van der Soest’ methode ontsluit deze cellulose wel en wordt als zodanig dan ook mee bepaald. Het is goed mogelijk dat deze moeilijk te ontsluiten cellulose niet afkomstig is van wc-papier, maar bijvoorbeeld van plantenresten.