

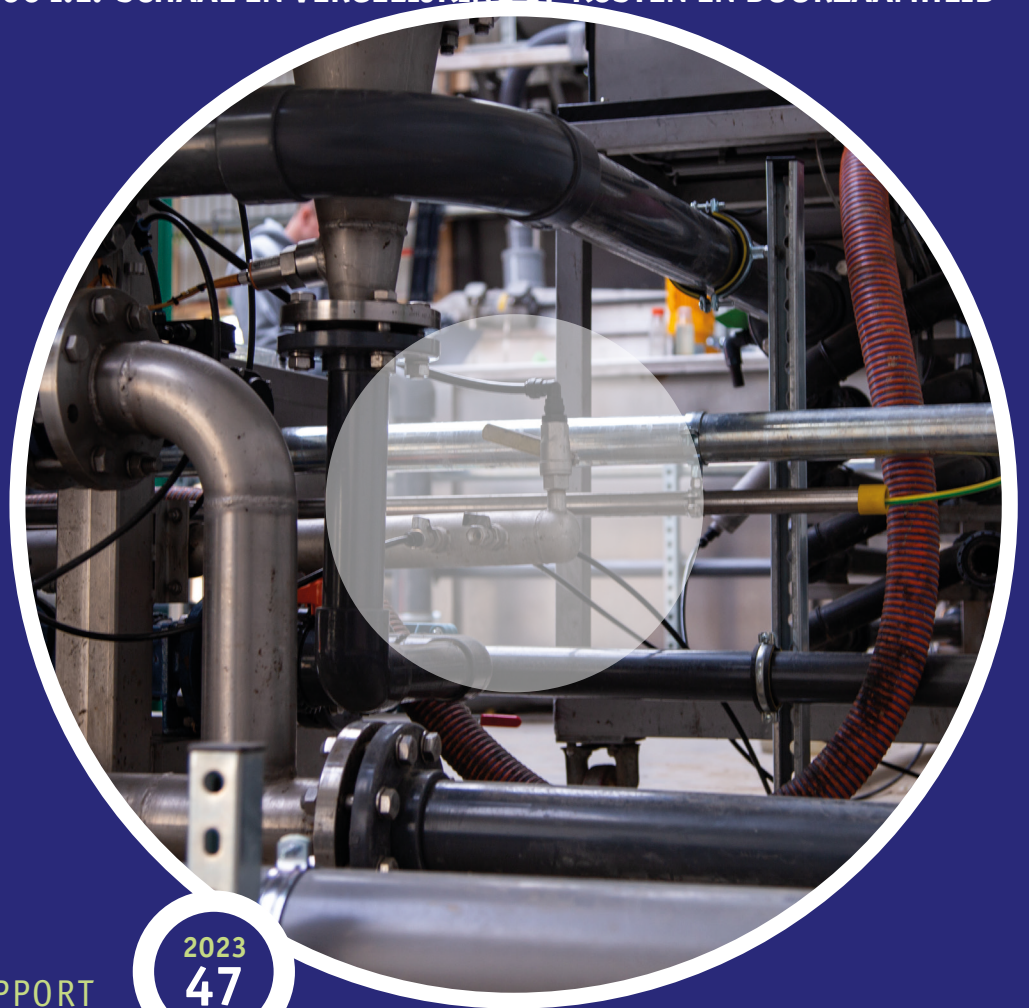


Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

stowa

ONTWIKKELING EN OPSCHALING WATERFABRIEK2.0

PILOT PROOF OF CONCEPT, ONTWERP EN REFERENTIE-INSTALLATIE
100.000 I.E.-SCHAAL EN VERGELIJKING OP KOSTEN EN DUURZAAMHEID



RAPPORT

2023
47

ONTWIKKELING EN OPSCHALING WATERFABRIEK2.0

PILOT PROOF OF CONCEPT, ONTWERP EN REFERENTIE-INSTALLATIE

100.000 I.E.-SCHAAL EN VERGELIJKING OP KOSTEN EN DUURZAAMHEID

RAPPORT

2023

47

ISBN 978.94.6479.046.7



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Frans Visser (Waterschap Vallei en Veluwe)
Arjen van Nieuwenhuijzen (Witteveen+Bos)
Coert Petri (Waterschap Vallei en Veluwe)
Herman Evenblij (RHDHV)
Dieuwertje Roelofsen (Witteveen+Bos)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ivor Rohof (Waterschap Vechtstromen)
Gerard Rijs (RWS-WVL)
Paula van den Brink (Evides)
Martin Spruit (PWN)
Bram Martijn (PWN)
Harm Baten (Hoogheemraadschap van Rijnland)
Peter Wessels (Oasis)
Alex Sengers (Hoogheemraadschap van Schieland Krimpenerwaard)
Rob van de Sande (Waterschap Aa en Maas)
Karin Bertens Zorzano (Waterschap Aa en Maas)
George Zoutberg (Hoogheemraadschap van Hollands Noorderkwartier)
Mirabella Mulder (Mirabella Mulder Waste Water Management)
Cora Uijterlinde (STOWA)

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2023-47
ISBN 978.94.6479.046.7

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

TEN GELEIDE

WATERFABRIEK2.0: EEN NIEUW VEELBELOVEND DUURZAAM, EN WELLICHT NOODZAKELIJK, ALTERNATIEF VOOR CONVENTIONELE ZUIVERING VAN RIOOLWATER

Dit rapport bevat de resultaten van een pilotonderzoek op rwzi Terwolde. In het onderzoek werd een innovatief zuiveringsconcept beproefd, de Waterfabriek2.0. Het onderzoek heeft aangetoond dat Waterfabriek2.0 vergaand microverontreinigingen verwijdert, herbruikbaar water produceert uit rioolwater en dat grondstoffen teruggewonnen kunnen worden voor hoogwaardige circulaire toepassingen.

De watersector staat voor een enorme uitdaging. Oppervlaktewater en rwzi-effluent moeten op korte termijn veel schoner worden om aan de KRW-eisen en de nieuwe EU-Richtlijn stedelijk afvalwater te voldoen. Rwzi's kunnen een bijdrage leveren aan zoetwaterbeschikbaarheid om droogte te voorkomen. Tegelijkertijd moet de waterketen klimaatneutraal en circulair worden om de doelen voor energie, circulariteit en klimaatneutraliteit in 2030, 2040 en 2050 te halen. Om deze doelen te halen, moeten we fundamenteel anders gaan nadenken over het concept 'afvalwaterzuivering'. De huidige biologische manier van zuiveren breekt namelijk waardevolle stoffen af, produceert broeikasgassen en gebruikt elektriciteit en chemicaliën *zonder* een effluentkwaliteit te produceren die aan de toekomstige eisen voldoet.

De Waterfabriek2.0 is een integraal, innovatief en duurzaam zuiveringsconcept met fysisch chemische technieken. Er wordt gebruik gemaakt van onder andere nanofiltratie en ionenwisseling. Met dit concept worden ook microverontreinigingen uit rioolwater verwijderd.

Uit het onderzoek blijkt dat Waterfabriek2.0 herbruikbaar water produceert uit rioolwater om het huidige en toekomstige zoetwatertekort tegen te gaan. Ook kunnen grondstoffen teruggewonnen worden voor hoogwaardige circulaire toepassingen. Dit gebeurt met een innovatieve combinatie van bestaande technieken die in de basis geheel fysisch-chemisch zijn. Hierdoor kunnen geen broeikasgassen door afbraak- en omzettingsprocessen gevormd worden. Tevens wordt met de verwaardiging van water en grondstoffen een zo klein mogelijk negatieve milieu- en klimaatimpact bereikt. Door elektrificatie met duurzame energiebronnen en verduurzaming van chemicaliën is een klimaatneutrale zuivering mogelijk.

De pilot van Waterfabriek2.0 heeft veel inzicht opgeleverd in deze nieuwe manier van zuiveren. De pilot toont de potentie van het concept als toekomstbestendige water- en grondstoffenfabriek voor hoogwaardige waterproductie met lage klimaatafdruk. Dit pilotonderzoek geeft richting aan verder onderzoek en demonstratie voor de realisatie van deze transitie.

Het onderzoek vond plaats binnen het Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit rwzi-afvalwater (IPMV) van STOWA en het Ministerie van IenW.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

INTRODUCTIE

Dit rapport introduceert, beschrijft en vergelijkt het innovatieve zuiveringsconcept Waterfabriek2.0 als onderdeel van de circulaire transitie van de waterketen met de doelstellingen om duurzaam en toekomstbestendig aan de Kaderrichtlijn Water én de toekomstige richtlijnen Stedelijk Afvalwater van de EU te voldoen. Waterfabriek2.0 is in eerste instantie voor de locatie Wilp van Waterschap Vallei en Veluwe ontwikkeld samen met Dutch Water Refinery (een consortium van de ingenieursbureaus Witteveen+Bos en Royal HaskoningDHV), STOWA,, Wageningen UR, Nijhuis Saur en Aquaminerals en aangetoond als een geheel nieuwe, circulaire manier van rioolwaterzuivering.

Het rapport beschrijft achtereenvolgens het zuiveringsconcept, de proefopzet voor de demonstratiepilot, en de resultaten van Waterfabriek2.0 zoals met het proof of concept aangetoond op rwzi Terwolde. Op basis van de resultaten en de uitwerking daarvan tot het ontwerp voor de Waterfabriek2.0 voor de locatie Wilp (17.200 i.e) is een vertaalslag gemaakt naar een capaciteit van een referentie-rwzi van 100.000 i.e. om zo mee te worden genomen in de vergelijking van mogelijke technieken voor de verwijdering van microverontreinigingen. Ook de kosten- en duurzaamheidsvergelijking is voor deze schaalgrootte doorgevoerd.

Waterfabriek2.0 is een integraal innovatief duurzaam zuiveringsconcept van de toekomst dat veel verder gaat dan alle andere aanvullende technieken die binnen het Innovatieprogramma Microverontreinigingen (IPMV) getest en onderling vergeleken zijn. Omdat Waterfabriek2.0 met nanofiltratie en ionenwisseling ook vergaand microverontreinigingen uit rioolwater verwijdert, is de rapportage echter wel binnen dit programma uitgewerkt. Daarvoor is een zo eerlijk mogelijke vergelijking opgesteld om Waterfabriek2.0 met andere technieken te kunnen vergelijken maar kan de grote meerwaarde voor duurzaamheid en circulariteit van Waterfabriek2.0 nog niet altijd volledig meegewogen worden.

AFBEELDING A SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWIKKELD VOOR DE LOCATIE WILP



De watersector staat voor een urgente en immense uitdaging. Oppervlaktewater en rwzi-effluent moeten op korte termijn veel schoner om aan de KRW-eisen en de nieuw richtlijn

Stedelijk Afvalwater van de EU te voldoen, zoetwaterbeschikbaarheid moet gegarandeerd zijn om droogte te voorkomen en tegelijkertijd moet de waterketen klimaatneutraal en circulair worden om de doelen voor energie, circulair en klimaatneutraal 2030, 2040 en 2050 te halen. Om deze doelen en ambities te halen is omdenken nodig en komt de huidige manier van rioolwaterzuivering in een ander daglicht te staan. De huidige manier van zuiveren breekt waardevolle stoffen af, produceert broeikasgassen en gebruikt elektriciteit en chemicaliën zonder een uitstekende effluentkwaliteit te produceren die aan de toekomstige doelen voldoet. De voor de extra verwijdering van N, P en microverontreinigingen nodige aanvullende zuiveringsstappen vragen nog meer grondstoffen en energie waardoor de duurzaamheid nog verder onder druk komt te staan.

Daarom is Waterfabriek2.0 een nieuw veelbelovend duurzaam, en wellicht noodzakelijk, alternatief voor de conventionele zuivering van rioolwater. Aangetoond is dat Waterfabriek2.0 herbruikbaar water produceert uit rioolwater om het huidige en toekomstige zoetwatertekort tegen te gaan en dat grondstoffen gewonnen kunnen worden voor hoogwaardige circulaire toepassingen. Dit gebeurt met een innovatieve combinatie van bestaande technieken die in de basis geheel fysisch-chemisch zijn, waardoor geen broeikasgassen door afbraak- en omzettingprocessen gevormd worden en met de verwaarding van water en grondstoffen een zo klein mogelijk negatieve milieu- en klimaatimpact wordt bereikt. Door elektrificatie met duurzame energiebronnen en verduurzaming van chemicaliën is een klimaatneutrale zuivering mogelijk.

WATERFABRIEK2.0 - TECHNISCHE INSTALLATIES

De Waterfabriek2.0 kenmerkt zich door een innovatieve installatie die:

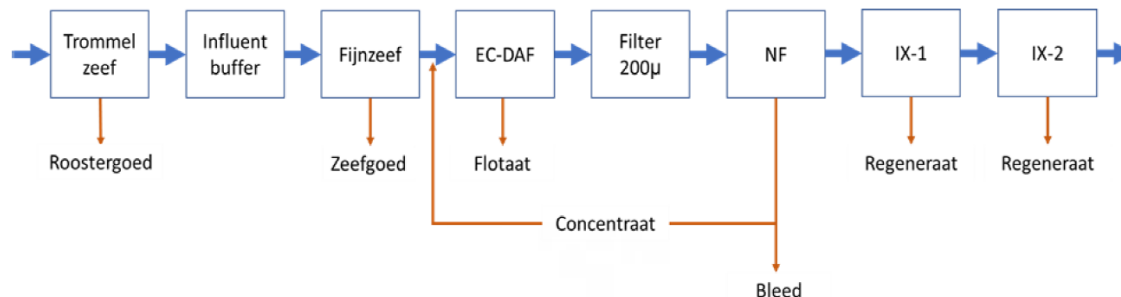
- schoon water als grootste grondstof levert;
- het met regenwater verdunde rioolwater aan de voorkant apart opvangt en op een natuurlijke manier zuivert;
- alleen rioolwater zuivert;
- alle grondstoffen terugwint uit het rioolwater en circulair inzet.
- geen stoffen vernietigt;
- wordt ontwikkeld met partners en partijen uit de directe omgeving.

Met de ontwikkeling van de Waterfabriek2.0 halen we twee primaire doelstellingen in één keer: zeer schoon water bruikbaar voor natuur, landbouw, inductie of zelfs drinkwaterproductie en een toekomstbestendige klimaatneutrale waterzuivering. Een alles in één zuivering waarmee we alle grondstoffen, die we mogelijk kunnen onttrekken, uit het rioolwater halen en opwerken tot bruikbare grondstoffen. Tevens is de technische installatie veel compacter en modulair schakelbaar en worden microverontreiniging, zoals geneesmiddelen en microplastics effectief verwijderd. Het technische hart van de Waterfabriek2.0 zoals op rwzi Terwolde ontwikkeld voor de locatie Wilp bestaat uit een fysisch-chemische zuivering met de volgende procesonderdelen:

- Grofrooster trommelzeef,
- Zand- en vetvanger,
- Fijnzeef,
- Electrocoagulatie (EC, aangevuld met metaalzoutdosering),
- Flocculator,
- Flotatie (DAF),
- Nanofiltratie (NF), en
- Ionenwisselars (IX, 2 in serie).

Onderstaand staat het processchema van de pilot in blokken weergegeven.

AFBEELDING B GLOBAAL BLOKSHEMA VAN DE PILOTINSTALLATIE WATERFABRIEK2.0 ZOALS OP RWZI TERWOLDE VOOR DE LOCATIE WILP IS GETEST



De eerste drie stappen zijn gedimensioneerd op de RWA-capaciteit. Na deze drie stappen wordt het voorbehandelde rioolwater gebufferd in een buffertank. Deze tank heeft een tweeledige functie. De eerste functie dient om de droogweer afvalwaterproductie over 24 uur te spreiden. De tweede functie is de “first flush” (inhoud van de persleidingen op te vangen). Pas nadat de volledige buffercapaciteit is opgevuld, zal het teveel aan verdund rioolwater gebypassed worden naar het helofytenfilter.

PROOF OF CONCEPT GEHAALD

Het Proof of Concept van Waterfabriek2.0 is behaald op basis van het pilotonderzoek op rwzi Terwolde door aan 5 criteria te voldoen:

- Effluentkwaliteit
 - Verwijdering macro parameters (N, P, organische stof, DS) tot minimaal lozingseis
 - Verwijdering metalen tot minimaal MTR-kwaliteit
 - Verwijdering microverontreinigingen minimaal 70% verwijdering van 7 van de 19 gidsstoffen.
- Energieverbruik ($\leq 3,32 \text{ kWh/m}^3$)
- Operationele kosten met betrekking op chemicaliën en hulpstoffen ($\leq \text{€}0,90/\text{m}^3$)
- Productie van reststromen $\leq 3,3 \text{ m}^3/\text{d}$
- Continuïteit in bedrijfsvoering 2 weken (volledig) storingsvrij in bedrijf, waarbij wordt voldaan aan de voorgaande voorwaarden.

RESULTATEN VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN

Omdat deze rapportage binnen het IPMV is opgesteld, is de nadruk gelegd op de verwijdering van organische microverontreinigingen. In langdurig continu bedrijf (24/7) zijn met Waterfabriek2.0 uitstekende resultaten voor verwijdering van organische microverontreinigingen behaald met een gemiddelde van meer dan 97% verwijdering van 7 best geselecteerde van de 11 gidsstoffen zonder rekening te houden met de RWA/DWA-verhouding. In tabel C staan de resultaten voor de gehele pilot periode weergegeven voor de 11 basis gidsstoffen (dik gedrukt in tabel C).

TABEL C

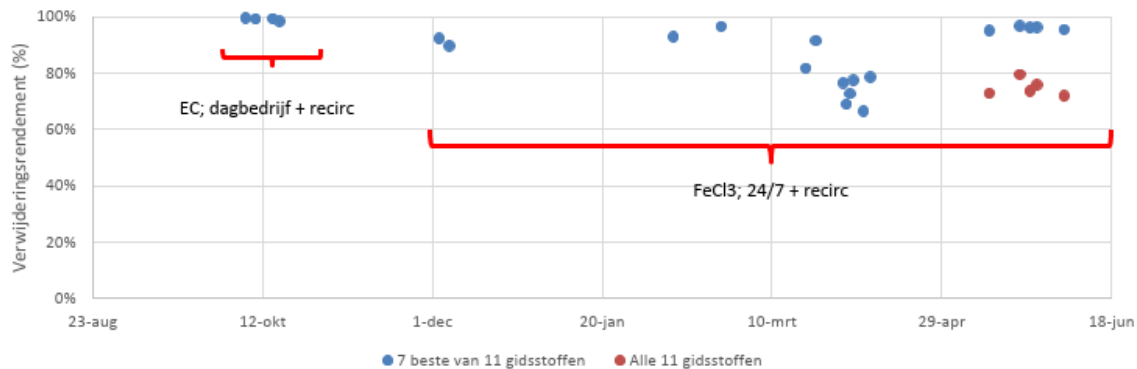
GEMIDDELDE CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT MET BEREKEDENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT

Parameter	Influent (µg/l)	Effluent (µg/l)	Rendement exclusief RWA
1,2,3-benzotriazool	8,58	4,12	52%
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool	1,5	0,668	51%
carbamazepine	1,13	0,768	32%
claritromycine	0,146	<0,01	100%
diclofenac	0,926	<0,088	90%
gabapentine	1,85	0,103	94%
hydrochloorthiazide	3,6	3,06	15%
irbesartan	0,163	<0,01	100%
metoprolol	4,14	0,164	96%
propranolol	0,152	<0,01	100%
sotalol	1,68	0,05	97%
sulfamethoxazol	1,7	<0,202	88%
trimethoprim	0,188	<0,01	100%
venlafaxine	0,108	<0,01	100%
Gemiddelde van 7 beste van 11 gidsstoffen			97%

Vertaald naar de IPMV-criteria voor verwijdering van organische microverontreinigingen rekening houdend met een standaard RWA/DWA-verhouding zoals bepaald in de “webtool STOWA 2020-06 standaard rwzi” is het rendement inclusief RWA 82% en exclusief RWA 97%.

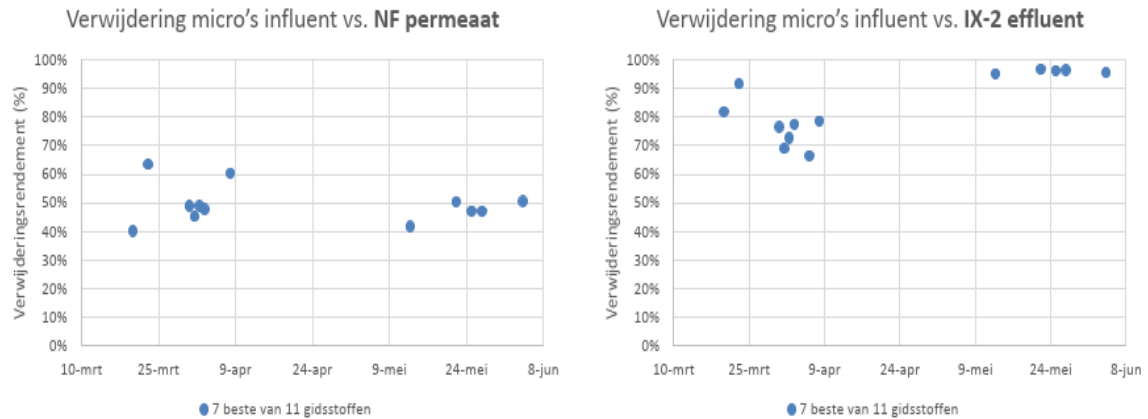
Daarbij dient wel rekening gehouden te worden dat een WF2.0 in de praktijk (ontwerp Wilp) met een ontvangstbuffer werkt waarmee de bypass zoveel mogelijk voorkomen wordt en een firstflush altijd opgevangen en verwerkt wordt via de waterfabriek en zo met hoog rendement microverontreinigingen verwijderd. Daarnaast gaat de bypass door een wetland/helofytenfilter, waarin op basis van STOWA-onderzoek ook nog residuen verwijderd worden.

AFBEELDING D VERLOOP VERWIJDERING GIDSSTOFFEN DAG- EN CONTINU BEDRIJF



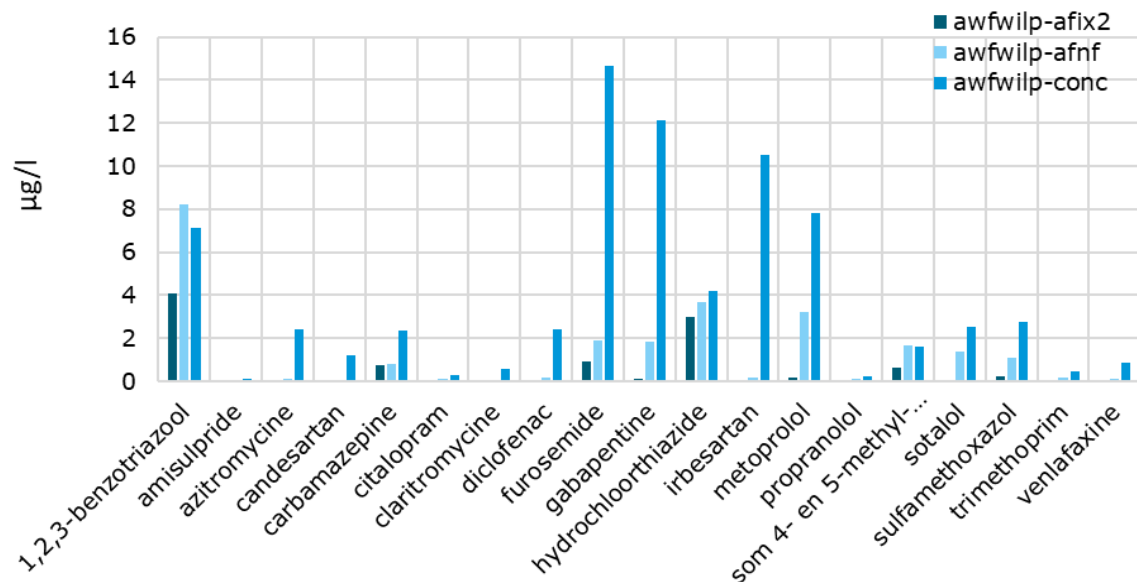
Gedurende het onderzoek is ook sprake geweest van een periode van 1 week met tegenvallend resultaat. In begin maart 2020 liep het verwijderingsrendement van de gidsstoffen terug. Deze afname bleek samen te hangen met niet goed functionerende ionenwisselaars. De regeneratie van de ionenwisselaars was door verkeerde aanmaak van de regeneratievloeistof niet volledig. Na het oplossen van dit probleem kwam het verwijderingsrendement van de gidsstoffen weer op het oude niveau terug (Afbeelding E). Blijkbaar verwijderen de nanomembranen niet alle gidsstoffen en vindt ook adsorptie plaats aan de ionenwisselaars. Deze constatering heeft er toe geleid om ook te kijken naar het verwijderingsrendement gidsstoffen in de tussenstap (afloop NF tov influent).

AFBEELDING E VERWIJDERINGSRENDEMENT INFLUENT-NF EN INFLUENT-IX-2



De verwijdering van de 7 beste van de 11 gidsstoffen (ca. 50%) door de NF is lager dan verwacht¹. De Ionenwisselaars zijn nodig om te kunnen voldoen aan de gestelde eisen. In afbeelding F zijn de concentraties van gidsstoffen (basis+ reserve lijst) in een aantal tussen stappen weergegeven.

AFBEELDING F CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN IN AFLOOP NF, AFLOOP IX-2 EN RECIRCULATIESTROOM (RETENTAAT) NF



Hierin is duidelijk te zien dat het membraan voor een aantal stoffen de retentie heel goed is door de combinatie NF en IX. De relatie tussen de concentratie in de afloop van de DAF en het concentraat kan echter niet gelegd worden omdat gegevens over de concentraties aan microverontreinigingen in de oploop van de NF ontbreken.

VERGELIJKING WATERFABRIEK2.0 MET CONVENTIONEEL ZUIVEREN OP BASIS VAN IPMV-CRITERIA

Voor de kwantitatieve beoordeling van Waterfabriek2.0 zoals voor de locatie Wilp ontwikkeld zijn drie criteria gehanteerd op basis waarvan de verschillende concepten voor verwijdering van microverontreinigingen uit rioolwater volgens het IPMV met elkaar kunnen worden vergeleken (zie hoofdstuk 3). De Waterfabriek2.0 kan echter niet direct met een referentie-

1 Het lagere verwijderingsrendement is mede mogelijk lager door de wijze hoe het rendement is berekend. Voor dit onderzoek werd gekeken naar het verwijderingsrendement t.o.v. het influent (ruwe rioolwater) en niet het influent (oploop van de NF inclusief recirculatie). Sommige stoffen worden door de recirculatie opgehoopt en kunnen aan het membraan een hoger rendement hebben of wellicht een nadelig effect hebben op de doorslag van andere stoffen.

techniek voor verwijdering van microverontreiniging worden vergeleken omdat dit veelal nageschakelde of additionele technieken zijn op een conventionele - reeds bestaande - rwzi. De Waterfabriek2.0 betreft een compleet nieuw concept met gehele vervanging van de conventionele rwzi waarbij naast verwijdering van microverontreinigingen tevens meerdere urgente doelen worden bereikt: vergaande zuivering van rioolwater tot herbruikbaar water, voorkoming van proces-gerelateerde broeikasgasemissies, productie van grondstoffen in plaats van afbraak (zie hoofdstuk 5). Tevens worden geen schadelijke bijproducten, antibioticaresistente componenten gevormd en worden opkomende aandachtstoffen als micro- en nanoplastics en lange-keten PFAS verwijderd.

In tabel A is de kwantitatieve beoordeling van de Waterfabriek2.0 op basis van de twee representatieve en relevante variante van de drie vanuit het IPMV gevraagde criteria weergegeven in onderlinge vergelijking.

TABEL A KWANTITATIEVE BEOORDELING VARIANT 2 (CONVENTIONEEL MET NABEHANDELING EN WATERFABRIEK2.0 (OP SCHAALGROOTTE 100.000 I.E.))

	Eenheid	rwzi conventioneel + chemisch-biologisch GAK (voor vergaande N, P en MV verwijdering) (variant 2)	Waterfabriek2.0 full scale (variant 4)
CO ₂ -emissie overall ²	kg CO ₂ /m ³	0,23	0,06
Verwijderingsrendement P	%	~95%	>99%
Verwijderingsrendement N	%	~90%	>99%
Verwijderingsrendement CZV	%	>95%	>95%
Verwijderingsrendement beste 7 gidsstoffen OMV ³ IPMV methodiek exclusief RWA/DWA verrekening	% ²	40%	85 – 99%
Verwijderingsrendement beste 7 gidsstoffen OMV volgens IPMV methodiek inclusief RWA/DWA-verrekening	%	40-60%	75-85%
Indicatieve kosten per verwijderde vervuilingseenheid	EUR/v.e. ⁴	67 - 77,--	110,-- ⁵
Indicatieve kosten per m ³ water behandeld	EUR/m ³	0,9 - 1,10	1,4 ¹²

Het derde criterium kosten is uitgewerkt in hoofdstuk 6 en wordt hier kort separaat toegelicht aangezien de kostenvergelijking van Waterfabriek2.0 (variant 4) met een conventionele rwzi met nabehandeling (variant 2) de nodig nuance vereist. Dit heeft vooral te maken met de potentiële baten die een Waterfabriek2.0 kan hebben bij benutting van het schone water en de geproduceerde grondstoffen. De conventionele behandeling van rioolwater met nabehandeling is in de huidige economie nog ongeveer een factor 1,4 tot 2 gunstiger dan Waterfabriek2.0; aangevende dat de impact en de waarde van circulaire economie nog moet toenemen voordat een Waterfabriek2.0-concept naast de grotere duurzaamheid ook een aantrekkelijkere business case heeft. Doordat in de huidige - grotendeels - lineaire economie de afzet van grondstoffen naar een circulaire toepassing nog beperkt is zijn de totale levenscycluskosten van Waterfabriek2.0 nog onzeker. Die kunnen op termijn zeer gunstig zijn indien de circulaire afzet van water en grondstoffen tot wasdom komen, maar moeten onder huidige condities nog hoog ingeschat worden.

2 Per m³ behandeld afvalwater

3 Verwijderingsrendement conform de Volkert-Bakker methode voor minimaal 7 van de 11 gidsstoffen elk 24h of 48h debiets- of tijdproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met de verblijftijd in de rioolwaterzuivering.

4 Vervuilingseenheid (of inwonerequivalent) à 150 g TZV

5 Exclusief 100%-RWA-buffer, inclusief verwaarding van baten à 0,65 per m³

AANBEVELINGEN EN DOORKIJK NAAR DE TOEKOMST

De pilot van de Waterfabriek2.0 zoals uitgevoerd op rwzi Terwolde voor de locatie Wilp heeft veel inzicht gebracht en de grote potentie van het concept aangetoond. Daarnaast zijn met de pilot ook de nodige onderzoeksvragen en uitdagingen naar voren gekomen die nader onderzoek vragen:

- Opschaling concept van 20 à 50 m³/h aan rioolwater
- Elektrocoagulatie verder **ontwikkelen** voor communale toepassing
- Onderzoek invloed rioolwatertemperatuur en -kwaliteit
- Chemicaliëngebruik verduurzamen

Zoals eerder al genoemd, staat de Nederlandse watersector de komende 10 à 15 jaar voor enorme opgaven. Nederland is op een meerdere onderwerpen in een transitie, waarvan in dit verband de volgende relevant zijn:

- de energietransitie, om los te komen van fossiele brandstoffen;
- de grondstoffentransitie, om te ontwikkelen van een lineaire naar een circulaire economie;
- de watertransitie, om te zorgen dat we in steeds langere periodes van droogte toch voldoende (hoeveelheid én kwaliteit) water hebben voor natuur, landbouw en drinkwater, en dat we in periodes van heftige regenval droge voeten houden.

Daarnaast hebben de waterschappen ambitieuze doelen gesteld voor circulariteit en klimaatvoetafdruk. Met de huidige rwzi's is het praktisch onmogelijk om al deze doelen te bereiken. De komende jaren moet daarom ervaring opgedaan worden met nieuwe technologie.

Behalve de technische en technologische innovatie zal er, opnieuw, sociale innovatie nodig zijn. Juist omdat het tijdspad kort is, moet ook het ontwikkelpad zelf innovatief zijn. Alles moet erop gericht zijn om snelheid te maken. Gelukkig heeft het verleden geleerd dat veel bereikt kan worden door intensieve samenwerking en dat de waterschappen in staat zijn om grote opgaven aan te kunnen. Aangezien alle waterschappen in meer of mindere mate voor deze opgaven staan, ligt het voor de hand om de samenwerking te zoeken. Als de markt, wetenschappelijke onderzoeksinstellingen en de waterschappen de handen ineenslaan kunnen de lasten verdeeld worden, en blijft capaciteit en ervaring beschikbaar voor de reguliere processen.

Voor concepten als de Waterfabriek2.0 zoals ontwikkeld voor Wilp is een noodzakelijke vervolgstap de opschaling naar grotere capaciteiten. De kosten hiervan zijn dusdanig dat het niet reëel zou zijn om deze door één individueel waterschap te laten dragen. Aanbevolen wordt daarom om met minimaal drie waterschappen, één of twee leveranciers en onderzoeksinstellingen een versnellingstraject op te zetten. Dit zou er als volgt uit kunnen zien.

2023

- Selectie van locaties waar voor 2035 beschikbaarheid van nieuwe technologie noodzakelijk is
- Selectie van locaties waar op kleinere schaal pilots en demo's gerealiseerd kunnen worden
- Bouwen van onderzoeks- en demo-consortium
- Inrichten van een netwerk en financiering waarin geborgd is dat onderzoeksvragen worden afgestemd en verdeeld en waarin kennis wordt gedeeld, vastgelegd en verspreid.

2024-2027

- Uitvoeren van demo's Waterfabriek2.0, gericht op behalen doelen KRW en verwijderen microverontreinigingen:
 - analoog aan het IPMV: lerend implementeren en doorontwikkelen
 - technologische doorontwikkeling van concepten, gericht op verdere verlaging van klimaatimpact, verhoging van waarde van restwater en –producten, en kosten-efficiëntie.
 - ontwikkeling van afzetmarkt voor grondstoffen en water
 - ontwikkeling van 'marktpotentie'; vanuit de wetenschap dat in korte tijd veel projecten gerealiseerd moeten worden en in samenspraak met de markt aan een strategie gewerkt worden.

2027-2035

- Ontwerp- en realisatietrajecten met aandacht voor:
 - een slimme fasering van projecten zodat de markt de vraag kan leveren, en
 - voorkomen van dezelfde kinderziekten in elk project
 - dusdanige (modulaire) ontwerpen dat ontwerptrajecten kunnen versnellen

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.

ONTWIKKELING EN OPSCHALING WATERFABRIEK2.0

PILOT PROOF OF CONCEPT, ONTWERP EN REFERENTIE- INSTALLATIE 100.000 I.E.-SCHAAL EN VERGELIJKING OP KOSTEN EN DUURZAAMHEID

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	ACHTERGROND	1
1.1	Introductie	1
1.2	Aanleiding	1
1.3	Doelstelling	2
1.4	Samenwerken aan circulaire innovatie	2
1.5	Paradigmaverandering en redeneertrant	2
1.6	Leeswijzer	3
2	BESCHRIJVING VAN HET CONCEPT WATERFABRIEK2.0	4
2.1	Procesonderdelen	5
2.2	Hydraulische capaciteit	6
2.3	Concentraat recirculatie	6
2.4	Beschrijving van procesonderdelen Pilot	6
2.4.1	Trommelzeef	7
2.4.2	Buffertank	7
2.4.3	Fijnzeef	7
2.4.4	Electro-Coagulatie of FeCl ₃ -dosering	8
2.4.5	Flocculator	9
2.4.6	DAF	10
2.4.7	Nanofiltratie (NF)	11
2.4.8	Ionenwisseling	12
2.5	Overige onderdelen van het concept	12
2.5.1	Kalkfilter	12
2.5.2	Helofytenfilter	12

2.6	Hulpstoffen	13
2.6.1	EC: vast ijzer en/of aluminium	13
2.6.2	IJzerchloride (FeCl ₃)	13
2.6.3	Zwavelzuur	13
2.6.4	Citroenzuur	13
2.6.5	Natriumhypochloriet	13
2.6.6	Natronloog	14
2.6.7	Zoutzuur	14
2.6.8	Lucht	14
2.7	Analyses microverontreinigingen	14
3	DEMONSTRATIEONDERZOEK PILOT WATERFABRIEK2.0	17
3.1	Introductie	17
3.1.1	Doelstelling pilot	17
3.1.2	Proefperiode	18
3.2	Influentkwaliteit	18
3.3	Trommelzeef	19
3.4	Fijnzeef	20
3.5	Electro-coagulatie	22
3.6	Vlokvorming na EC en metaalzoutdosering	23
3.6.1	Polymeerdosering	23
3.6.2	Flocculator	23
3.7	Dissolved Air Flotation (DAF)	23
3.7.1	EC-BF-DAF	24
3.7.2	Fe ³⁺ -dosering met FT-DAF	24
3.7.3	Prestaties coagulatie – DAF	24
3.8	Nanofiltratie	27
3.8.1	Operationele prestaties NF	27
3.8.2	Permeaatflux	27
3.8.3	Membraanintegriteit	28
3.9	Ionenwisselaars	28
3.10	Effluentkwaliteit	29
3.10.1	Macro parameters PoC1	29
3.10.2	Macro parameters PoC2	30
3.10.3	Zware metalen PoC1 en PoC2	31
3.10.4	Verwijdering organische microverontreinigingen PoC1	31
3.10.5	Verwijdering organische microverontreinigingen PoC2	33
3.10.6	Ecotoxicologische risico's	35
3.11	Bepaling operationeel energieverbruik pilot	36
3.11.1	Methode	36
3.12	Overige operationele aspecten	37
3.12.1	PE-aanmaak	37
3.12.2	NF-skid	37
3.12.3	IX1 en IX2	37
3.12.4	Capaciteitsafstemming	37
3.13	Chemicaliënverbruik pilot	38
3.14	Geleerde Lessen	39
3.14.1	Pilotopstelling	39
3.14.2	Volgende stap	40
3.14.3	EC	40
3.14.4	Rioolwatertemperatuur en -kwaliteit	40

4	ONTWERP EN OPSCHALING 100.000 I.E. WATERFABRIEK2.0	41
4.1	Ontwerpgrondslagen Waterfabriek2.0 Wilp en 100.000 i.e. Waterfabriek2.0	41
4.1.1	Ontwerpeisen en uitgangspunten	41
4.1.2	Overige ontwerpeisen	42
4.2	Ontwerp Waterfabriek2.0 voor Wilp en referentie-rwzi fysisch chemisch 100.000 i.e.	44
4.2.1	Zuiveringstrein	44
4.3	Stratenconcept en gefaseerde bouw	45
4.4	Dimensionering van de zuiveringsstappen	46
4.5	Beschrijving van het helofytenfilter	48
4.5.1	Zuivering van het RWA-water	48
4.5.2	Zuivering van het water uit de extractielijn	50
4.5.3	Dimensionering	50
5	DUURZAAMHEID MET BEPALING CO₂-EMISSIE EN MILIEUKOSTENINDICATOR	51
5.1	Werkwijze en varianten	51
5.1.1	Variant 1 en 2 rwzi conventioneel zonder en met nabehandeling	51
5.1.2	Variant 3 en 4: Waterfabriek2.0 geëxtrapoleerde Pilot en Waterfabriek2.0 full scale geoptimaliseerd	52
5.2	Werkwijze CO₂-impactberekening	53
5.2.1	Methode	53
5.2.2	Uitgangspunten hoeveelheden	53
5.2.3	Uitgangspunten CO ₂ -impact	54
5.3	Resultaten CO₂-footprint	55
5.3.1	Elektriciteitsverbruik	55
5.3.2	Procesemissies	55
5.3.3	Chemicaliën- en hupstoffenverbruik	56
5.3.4	Bouwmaterialen	57
5.3.5	CO ₂ -footprintreductie geproduceerde grondstoffen	59
5.4	CO₂-impact totaalvergelijking	60
5.5	Gevoeligheidsanalyse CO₂-impact	61
5.5.1	Elektriciteitsverbruik	61
5.5.2	Grondstoffenproductie	62
5.5.3	CO ₂ -impact en MKI-score	62
5.5.4	CO ₂ -impact database	63
5.6	Conclusies CO₂-impact	64
6	KOSTENBEREKENING EN VERGELIJKING	66
6.1	Kosten Waterfabriek2.0	66
6.1.1	Bouw, stichtings- en kapitaalkosten	66
6.1.2	Operationele lasten en exploitatiekosten	66
6.1.3	Potentiële baten	68
6.2	Kosten van een conventionele rwzi met nabehandeling	69
6.2.1	Bouw-, stichtings- en kapitaalkosten	69
6.2.2	Operationele lasten en exploitatiekosten van conventionele rwzi met nabehandeling	69

7	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	71
7.1	Transitie naar een klimaatneutrale waterketen	71
7.2	Aangetoond Proof of Concept Waterfabriek2.0	72
7.3	Vergelijking op basis van IPMV-criteria	72
7.4	Aanbevelingen	73
	7.4.1 Opschaling concept	74
	7.4.2 Elektrocoagulatie verder ontwikkelen voor communale toepassing	74
	7.4.3 Onderzoek invloed rioolwatertemperatuur en -kwaliteit	75
	7.4.4 Chemicaliëngebruik verduurzamen	77
7.5	Doorkijk	77
BIJLAGE I	DATASHEET GEBRUIKTE NXF MEMBRAAN DNF40	79
BIJLAGE II	INFLUENTGEGEVENS RWZI TERWOLDE	80
BIJLAGE III	ENERGIEVERBRUIK	82
BIJLAGE IV	UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENING	84
BIJLAGE V	DETAILLERING INSTALLATIEKOSTEN WATERFABRIEK2.0 100.000 I.E.	85
BIJLAGE VI	CAPACITEITEN EN HOEVEELHEDEN VARIANTEN	86
BIJLAGE VII	GEHANTEERDE WAARDEN ECOINVENT 3.6 (MAART 2023)	92

1

ACHTERGROND

1.1 INTRODUCTIE

De Waterfabriek2.0 is een nieuw zuiveringsconcept dat ontwikkeld is voor de toekomstige zuivering Wilp en getest is op rwzi Terwolde. Met de Waterfabriek2.0 kan kraakhelder water worden gemaakt om het huidige en toekomstige zoetwatertekort tegen te gaan en worden grondstoffen gewonnen met zo laag mogelijk negatieve impact voor milieu en de leefomgeving. Deze alles in één zuivering is in samenwerking met partners ontwikkeld en komt met financiering van het Nationale Groeifonds Waternettechnologie wellicht te staan op de rwzi Ede. De Waterfabriek2.0 kenmerkt zich door een innovatieve installatie die:

- schoon water als grootste grondstof levert;
- het met regenwater verdunde rioolwater aan de voorkant apart opvangt en op een natuurlijke manier zuivert;
- alleen rioolwater zuivert;
- alle grondstoffen terugwint uit het rioolwater en circulair inzet.
- geen stoffen vernietigt;
- wordt ontwikkeld met partners en partijen uit de directe omgeving.

Met de ontwikkeling van de Waterfabriek2.0 halen we twee primaire doelstellingen in één keer. Schoon water voor beken en grondwater en een toekomstbestendige waterzuivering. Een alles in één zuivering waarmee we alle grondstoffen, die we mogelijk kunnen onttrekken, uit het rioolwater halen en opwerken tot bruikbare grondstoffen. Die we vervolgens circulair inzetten. Tegelijk wordt het regenwater apart behandeld in een natuurlijk systeem. Daarmee is de technische installatie veel kleiner en kunnen we ook microverontreinigingen, zoals geneesmiddelen en microplastics effectief verwijderen. Het schone water van de Waterfabriek wordt straks gebruikt om droogvallende beken te voeden en grondwatervoorraden aan te vullen.

1.2 AANLEIDING

Waterschap Vallei en Veluwe heeft als voorloper binnen de waterschapswereld een duidelijke duurzame ambitie om een klimaatbestendig en circulair waterschap te worden. Circulaire economie gaat over hergebruik van producten en grondstoffen. In 2050 wil het waterschap alle werkzaamheden zo duurzaam mogelijk doen. Dat vraagt om een andere manier van denken en doen. Niet alleen binnen het waterschap maar ook in projecten en programma's waarin samengewerkt wordt met andere partijen. Basisvraag is of iets duurzaam is en of producten en grondstoffen kunnen worden hergebruikt. In de het Beleidskader CE - Wij maken water waardevol en de Blauwe Omgevingsvisie (bovi2050.nl/) wordt hier strategisch invulling aan gegeven. Vanuit eerdere circulariteitsstudies werd reeds in 2018 in het project Vallei en Veluwe Circulair (www.metabolic.nl/publications/vallei-en-veluwe-circulair/) vastgesteld dat broeikasgasemissies vanuit het zuiveringsproces een substantiële bijdrage leveren aan de totale CO₂-emissie van het waterschap. Met toenemende elektrificatie en opwekking van duurzame elektriciteit (zon, wind en biomassa) neemt het aandeel van de procesemissies in de toekomst sterk toe. Daarom is verandering nodig.

Bovenstaande punten en de wens van het waterschap om te werken aan een toekomstige rioolwaterzuiveringsinstallatie hebben ertoe geleid dat het Waterschap heeft besloten om in te zetten op een innovatieve circulaire en klimaatneutrale transitie van de waterketen door de Waterfabriek2.0 in samenwerking met Witteveen+Bos en Royal HaskoningDHV te ontwikkelen. Deze nieuwe installatie dient “de rwzi van de toekomst” te worden die zeer schoon water moet produceren en potentiële grondstoffen niet afbreekt maar afscheidt voor verdere verwerking en hergebruik.

1.3 DOELSTELLING

De Waterfabriek2.0 heeft als primaire doelstellingen het zuiveren van het aangeboden rioolwater, het bestrijden van verdroging van beken en grondwatersystemen door deze continue te voorzien van schoon water én om op toekomstbestendige wijze grondstoffen uit het rioolwater terug te winnen, waarbij alle grondstoffen circulair opgewerkt worden. Dit wordt gedaan met een vernuftige samenstelling van moderne scheidingstechnieken - fijnzeef, coagulatie, flotatie, directe nanofiltratie en ionenwisseling – gericht op extractie van water en grondstoffen. Microverontreinigingen, PFAS, bacteriën en het overgrote deel virussen worden met deze multi-barrière-installatie vooral verwijderd met de nanofiltratie en de ionenwisselaars.

1.4 SAMENWERKEN AAN CIRCULAIRE INNOVATIE

Binnen de ontwikkeling en de realisatie van Waterfabriek Wilp wordt door Waterschap Vallei en Veluwe en Dutch Water Refinery (samenwerkingsverband tussen Witteveen+Bos en Royal HaskoningDHV) nauw samengewerkt met kennis- en onderzoeksinstituten, leveranciers en installatiebouwers. Belangrijke structurele partners zijn gemeente Voorst, Aquamaterials en STOWA. Een deel van de ontwikkeling werd gefinancierd met Europese subsidie van het LIFE programma. Daarnaast is nadrukkelijk samenwerking gezocht met partners en verschillende andere omgevings- en kennispartijen zoals Wageningen Universiteit, KWR, Attero, Schoneveld Breeding, NXFiltration en Saur Nijhuis Industries.

1.5 PARADIGMAVERANDERING EN REDENEERTRANT

Het innovatieve concept is een volledig andere benadering van de behandeling van rioolwater en de extractielijn (waterbehandeling) bestaande uit verschillende fysisch chemische technieken is nog nooit in deze samenstelling gerealiseerd: Waterfabriek2.0. Belangrijke kenmerken van de waterlijn van de “Waterextractiefabriek van de toekomst” zijn:

- geen oxidatieve processen in de waterlijn
- geavanceerde fysisch/chemische behandeling van het ruwe communale afvalwater
- extraheren van zo geconcentreerd mogelijke reststromen (met een zo gering mogelijk debiet)
- scherpe effluenteisen voor stikstof, fosfor, zwevende stof, zware metalen en medicijnresten
- mogelijkheid om verschillende typen gebruikswater en grondstofstromen te produceren
- adaptief en flexibel ontwerp

Het uitgangspunt “de rwzi van de toekomst” heeft geleid tot het uitwerken van mogelijke zuiveringsconcepten. Deze zuiveringsconcepten zijn met elkaar vergeleken en is een afweging gemaakt om te komen tot het meest haalbare concept en vervolgens uitgewerkt tot een referentieontwerp.

Deze volledige nieuwe, toekomstbestendige en robuuste installatie zuivert rioolwater zonder procesmatige broeikasgasemissies en produceert tegelijkertijd potentieel waardevolle grondstoffen voor circulaire opwerking. Dat betekent dat niet alleen géén biologische en chemische oxidatietechnieken meer worden gebruikt, maar dat de installatie ook flexibel en adaptief zal zijn om veranderingen in aanbod en vraag op te kunnen vangen. De Waterfabriek2.0 bestaat uit een voorbehandeling en extractielijn (samen de technische installatie), een ecologische zuivering (een helofytenfilter) en een raffinagelijn. In de technische installatie wordt het ruwe rioolwater behandeld en gescheiden in reststromen en effluent. In de raffinagelijn worden deze reststromen opgewerkt tot grondstoffen. In het ecologische zuiveringssysteem wordt het effluent van de technische installatie en gebypassed verdund rioolwater (bij regen) behandeld waarna het op oppervlaktewater geloosd kan worden.

Voor de pilot en het referentieontwerp zijn de uitgangspunten (hydraulisch en rioolwatersamenstelling) gehanteerd voor een nieuwe zuivering op locatie Wilp (17.200 i.e., ca. 200 m³/h) ten Zuiden van de A1 bij Terwolde zoals getest in de pilot. Dit referentieontwerp is voor het STOWA-project zover uitgewerkt dat een opschaling (naar een 100.000 i.e. rwzi) kon worden uitgevoerd en een kostenraming en duurzaamheidsvergelijking kon worden opgesteld en hiermee een besluitvormingstraject voor het bestuur van het Waterschap in kon worden gegaan en richting STOWA gerapporteerd kon worden voor vergelijking binnen het IPMV met een conventionele rwzi inclusief verwijdering van medicijnresten.

1.6 LEESWIJZER

In dit rapport worden achtereenvolgens het zuiveringsconcept van de extractielijn, de proef opzet voor de pilot, en de resultaten van Waterfabriek2.0 zoals aangetoond op rwzi Terwolde voor de locatie Wilp weergegeven. Op basis van de resultaten en de uitwerking daarvan tot het ontwerp voor de Waterfabriek2.0 voor de locatie Wilp (17.200 i.e) is een vertaalslag gemaakt naar capaciteit van de referentie rwzi van 100.000 i.e. van de STOWA om zo mee te worden genomen in de vergelijking van mogelijke technieken voor de verwijdering van microverontreinigingen. Ook de kosten- en duurzaamheidsvergelijking is voor deze schaal-grootte doorgevoerd.

Ten aanzien van het uitgevoerde pilot-onderzoek kan gesteld worden dat dit vooral gericht is geweest op het totale concept. Voor onderzoek naar de (optimale) werking van individuele processtappen of onderdelen was onvoldoende tijd en ontstonden door COVID-19 restricties. Onderzoek naar de vrijkomende reststromen heeft niet of nauwelijks plaatsgevonden en was hooguit gericht op het behalen van de hoofddoelstellingen van het pilot onderzoek. Daarom moet zeker nog aanvullend onderzoek en opschaling verricht worden om het nieuwe concept volwassen te maken.

2

BESCHRIJVING VAN HET CONCEPT WATERFABRIEK2.0

Het technische hart van de Waterfabriek2.0 zoals op rwzi Terwolde ontwikkeld voor de locatie Wilp bestaat uit een fysisch-chemische zuivering met de volgende procesonderdelen:

- Grofrooster trommelzeef,
- Zand- en vetvanger,
- Fijnzeef,
- Electrocoagulatie (EC, aangevuld met metaalzoutdosering),
- Flocculator,
- Flotatie (DAF),
- Nanofiltratie (NF), en
- Ionenwisselaars (IX, 2 in serie).

AFBEELDING 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWIKKELD VOOR DE LOCATIE WILP



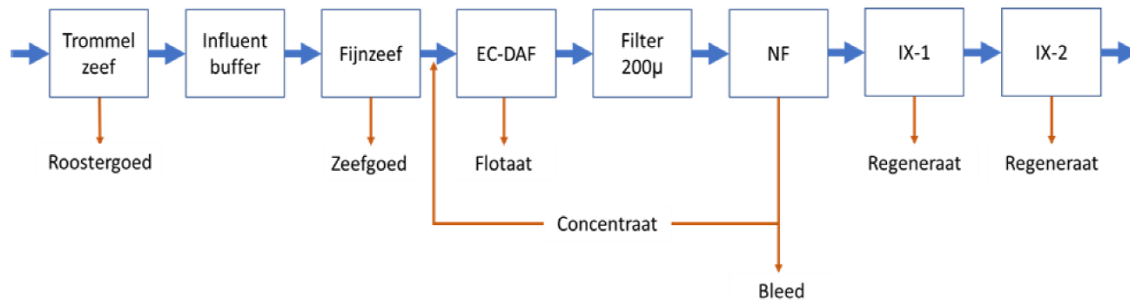
De eerste drie stappen zijn gedimensioneerd op de RWA-capaciteit. Na deze drie stappen wordt het voorbehandelde rioolwater gebufferd in een buffertank. Deze tank heeft een tweeledige functie. De eerste functie dient om de droogweer afvalwaterproductie over 24 uur te spreiden. De tweede functie is de “first flush” (inhoud van de persleidingen op te vangen). Pas nadat de volledige buffercapaciteit is opgevuld, zal het teveel aan verdund rioolwater gebypassed worden naar het helofytenfilter.

Het concept van het referentie-ontwerp is met een pilot beproefd. De pilot kijkt op een aantal onderdelen af van het beschreven referentie-ontwerp. Het betreft het grofrooster (type trommelzeef), de zand- en vetvang en een extra ionenwisselaar.

2.1 PROCESONDERDELEN

Onderstaand staat het processchema van de pilot in blokken weergegeven.

AFBEELDING 2.2 GLOBAAL BLOKSCHEMA VAN DE PILOTINSTALLATIE WATERFABRIEK2.0 ZOALS OP RWZI TERWOLDE VOOR DE LOCATIE WILP IS GETEST



*EC = elektrocoagulatie; DAF = Dissolved Air Flotation; NF = nanofiltratie, IX-1 = onthardende ionenwisselaar; IX-2 = stikstofverwijderende ionenwisselaar

Hoewel het rioolwater achter de zand-/vetvanger en rooster van rwzi Terwolde wordt opgepakt is toch een extra grof reinigingsstap opgenomen in de pilot. Het betreft een trommelzeef met een perforatie van 5 mm om eventueel langs het rooster (bypass) gevoerde roostergoed alsnog af te vangen ter bescherming van de fijnzeef. In de pilot is de buffer achter de trommelzeef geplaatst en niet achter de fijnzeef zoals in de uiteindelijke praktijk situatie de bedoeling is. De pilot heeft niet te maken met een bypass voor rioolwater die de praktijksituatie wel zal hebben. Daarnaast bleek dit voor de pilot qua opstellingsruimte eenvoudiger te realiseren. Door deze opstelling heeft de pilot wel meer te maken gehad met de invloed van RWA aanvoer omdat er geen sprake was van bypass bij grote RWA. Hierdoor is de spreiding in concentraties mogelijk groter geweest dan indien er sprake van een van bypass van sterk verdund rioolwater naar het helofytenfilter.

Vanaf de fijnzeef wijken de procesonderdelen af van een conventionele rwzi.

De fijnzeef dient ervoor om de dan nog aanwezige grove delen groter dan 350 µm te verwijderen zodat er geen brugvorming tussen de platen van de Electro-Coagulatie (EC) worden gevormd en er kortsluiting ontstaat. Ook zorgt de fijnzeef ervoor dat met het afgevangen zeefgoed cellulose wordt afgevangen dat kan worden hergebruikt.

In de EC wordt door de aangebrachte stroomkring ijzer en/of aluminium opgelost voor het precipiteren van fosfaten en het coaguleren van gesuspendeerde deeltjes. De verkregen oplossing met vlokken wordt naar een DAF gebracht alwaar de gevormde vlokken en vlokjes door flotatie worden afgescheiden van de waterfase. De afloop van de DAF wordt opgevangen in een buffer. Vanuit deze buffer wordt, via een "politiefilter", de nanofiltratie gevoed. Het "politiefilter" heeft tot doel de membranen te beschermen tegen grove gecoaguleerde onopgeloste bestanddelen die tot dichtslaan van de koppen van de capillaire membranen kan leiden. Het permeaat van de NF wordt vervolgens in twee stappen met ionenwisseling behandeld. Het concentraat wordt gerecirculeerd en achter de fijnzeef toegevoegd aan de influentstroom. De recovery van de opgestelde membranen, 4 stuks, bleek voor een stabiele bedrijfsvoering in het pilotonderzoek 50% te bedragen; waarbij 70-80% beoogd was. De recirculatiestroom bedroeg derhalve ook 50% en halveerde daarmee de capaciteit van de pilot installatie voor vers influent tot maximaal 2,5 m³/h.

De eerste ionenwisselaar dient ervoor om de hardheidsionen te verwijderen die concurreren met NH_4 -ionen voor de absorptieplaatsen. De tweede ionenwisselaar moet ervoor zorgen dat het ammonium wordt verwijderd.

2.2 HYDRAULISCHE CAPACITEIT

De hydraulische capaciteit van de gehele pilot bedroeg $5 \text{ m}^3/\text{h}$ waarbij de installatieonderdelen van EC tot en met de NF gevoed werden met $2,5 - 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ aan rioolwater en $0,5 - 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ aan concentraat vanuit de NF. Met deze interne recirculatie van het NF-concentraat bedroeg de capaciteit van de dus pilot $5 \text{ m}^3/\text{h}$. De hydraulische capaciteit van de onthardingsionenwisselaar bedroeg $2 \text{ m}^3/\text{h}$ en de hydraulische capaciteit van de NH_4 -ionenwisselaar bedroeg $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Na de NF-membranen is dus een deel van het behandelde water afgetapt en afgevoerd en vervolgens is na de eerste ionenwisselaar nog eens de capaciteit gehalveerd. Voor het aantonen van de werking van de ionenwisselaars was het niet nodig om deze te bedienen op $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Hierdoor kon bespaard worden op de investerings- en exploitatiekosten van de pilot.

2.3 CONCENTRAAT RECIRCULATIE

De recirculatiestroom van het concentraat wordt achter het verdeelpunt voor de afscheiding van de bypass van rioolwater ingeprikt. Hierdoor zal er geen concentraat weglekken in de bypass naar het helofytenfilter.

2.4 BESCHRIJVING VAN PROCESONDERDELEN PILOT

De pilot werd gevoed met influent van de rwzi Terwolde. Dit influent komt qua samenstelling het dichtst bij het afvalwater dat in de toekomst moet worden behandeld. Het influent wordt na voor behandeld te zijn met een beluchte zand-/vetvanger en grof rooster afgetapt en via een trommelzeef met perforaties van 5 mm verpompt naar een buffertank.

AFBEELDING 2.3 PROEFHAL WATERFABRIEK2.0 OP RWZI TERWOLDE (WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE)



Dat het influent alsnog een trommelzeef passeert, heeft te maken met het grove rooster dat een spleetrooster is en een grotere doorlaat heeft. Daarnaast kan het influent bij RWA aanvoer deels onbehandeld door stromen en daarmee grove delen bevatten. Dit is niet acceptabel voor de pilot en daarom een extra grofvuilbehandeling.

Vanuit de buffertank wordt de pilot gevoed met het benodigde debiet en kan een eventuele periode van niet aanvoer influent naar de rwzi worden overbrugd. In de uiteindelijke installatie wordt het rioolwater ook afgevlakt en via een buffer uitgesmeerd over 24 uur. Hiermee kan de hydraulische capaciteit van de technische installatie worden beperkt.

2.4.1 TROMMELZEEF

De trommelzeef bestaat uit een roterende drum die perforaties heeft van 5 mm. Deeltjes groter dan 5 mm worden afgevangen en afgevoerd naar een container. Er is geen nader onderzoek uitgevoerd naar de werking van de trommelzeef.

2.4.2 BUFFERTANK

Het van grofvuil ontdane rioolwater werd opgevangen in een buffer. Vanuit deze buffer werd de pilotinstallatie gevoed. De buffer diende ervoor te zorgen dat in de uren dat geen rioolwater wordt aangevoerd de pilot toch gevoed kon worden. Hiermee was de continuïteit ten aanzien van de beschikbaarheid van rioolwater zeker gesteld. De buffertank was uitgevoerd als een container met een effectieve inhoud van circa 20 m³ en voorzien van een menger.

AFBEELDING 2.4 GROFVUILROOSTER EN BUFFERTANK



2.4.3 FIJNZEEF

De fijnzeef bestaat uit een frame met bak waarin een cassette is geplaatst waarop een doek is gespannen dat kan roteren. Het doek heeft een maaswijdte van 350 µm.

Door aanvoer van rioolwater met onopgeloste bestanddelen wordt een zeefkoek op het doek opgebouwd die uiteindelijk dicht kan slaan waardoor er geen water meer door het doek gaat. Door het doek te verversen, schoon doek voor te draaien, wordt dit voorkomen en kan er rioolwater behandeld blijven worden.

AFBEELDING 2.5 FIJNZEEF IN PROEFHAL



2.4.4 ELECTRO-COAGULATIE OF $FeCl_3$ -DOSERING

In het onderzoek zijn twee verschillende fasen te onderscheiden in de vorm van ijzerdosering. De eerste fase, 1^e “Proof of Concept” (PoC), heeft de ijzerdosering plaatsgevonden door te werken met een Electro-coagulatie eenheid (EC). In de tweede fase, 2^e PoC, is gewerkt met ijzer(3)chloridedosering.

AFBEELDING 2.6 ELECTRO-COAGULATIE UNIT IN PROEFHAL



EERSTE FASE: EC

Hier werd door het aanbrengen van een elektrische gelijkspanning over de elektroden ijzer- en aluminium opgelost en daarmee afgegeven aan het rioolwater. Hiervoor werd een stroom gehanteerd van 400 A en een spanning van 6 tot 12 Volt.

Op basis van ervaringen van de leverancier van de EC is gestart met een pakket elektroden met de volgende verdeling Fe 70% en Al 30%.

Naast het inbrengen van ijzer en aluminium wordt er door de elektrolyse ook loog gevormd. Deze reageert onder andere met het opgeloste ijzer en aluminium maar ook met andere metalen aanwezig in het afvalwater. Een bijeffect van de EC is dus het neerslaan van metaalhydroxiden en daarmee een verlaging van de concentratie aan zware metalen. Het opgeloste ijzer en aluminium dient vervolgens voor de vorming van een fosfaatneerslag en voor het coaguleren van onopgeloste bestanddelen zodat deze kunnen worden afgescheiden van het water.

In eerste instantie is gewerkt met het pakket samengesteld naar de aanbevelingen van de leverancier van de EC: 70% ijzer en 30% aluminium. Omdat aluminium op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS-lijst) staat, is besloten om na de eerste ervaring het elektrode pakket om te vormen naar volledig ijzer.

In deze fase werd de EC gevolgd door een buizenflocculator.

TWEDE FASE: IJZER(III)CHLORIDE-DOSERING

In deze fase is ijzerchloride (FeCl_3) gedoseerd en wel volume proportioneel.

In deze fase is de buizenflocculator vervangen door een flocculatietank met langzame roerder.

Polymeerdosering

Vanwege de kunststofmembranen is in het concept de toepassing van polymeren (PE) ter bevordering van de vlokvorming als ongewenst en niet nodig geacht. De niet wenselijkheid van de polymeren bestond uit het vermoeden dat de polymeren de membranen extra zouden vervuilen en dat deze vervuiling irreversibel aanwezig zou blijven. Daarnaast werd verondersteld dat met de EC, buizenflocculator en DAF geen aanvullende PE-dosering noodzakelijk was.

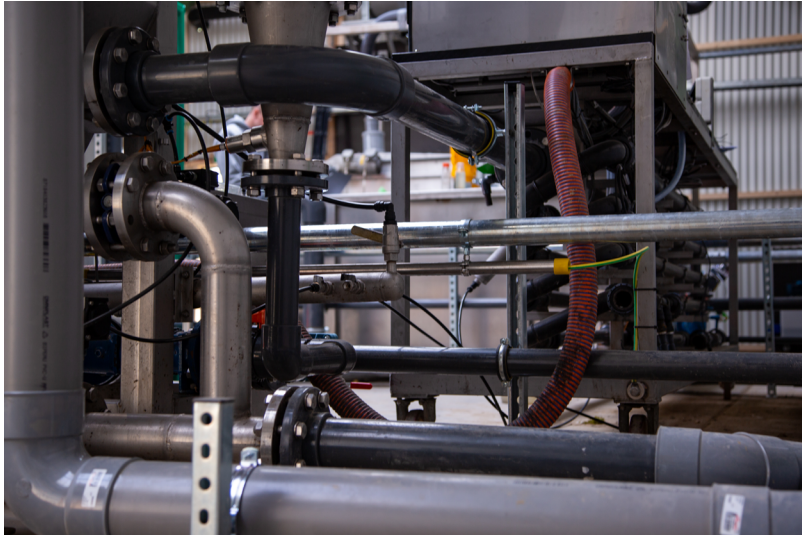
In eerste instantie is de proefperiode derhalve gestart zonder PE-dosering. Al vrij snel is gebleken dat de vlokvorming onvoldoende was, en is besloten alsnog PE te gaan doseren. Hierbij is gekozen voor een anionisch polymeer om ongewenste interactie met de membranen te minimaliseren.

2.4.5 FLOCCULATOR

In de proefinstallatie is een buizenflocculator meegekomen die standaard met de DAF-eenheid wordt meegeleverd. Doel van de buizenflocculator is de vorming van vlokken te stimuleren. In de eerste periode, PoC1, van het onderzoek met inzet van de EC is deze buizenflocculator gebruikt.

De inzet van de EC bracht ook veel gasvorming met zich mee die de werking van de buizenflocculator negatief heeft beïnvloed. De ontgassing was onvolledig voor het binnen gaan van de buizenflocculator met als gevolg gasbellen in de flocculator en daardoor verhoogde turbulentie met een negatief effect op de vlok (vorming en instandhouding).

AFBEELDING 2.7 FLOCCULATOR



Na afloop van de eerste onderzoeksperiode is besloten om de buizenflocculator te vervangen door een flocculatietank. Hiermee kan beter ingespeeld worden op de omstandigheden (verblijftijd en mengenergie) voor een goede vlokvorming en daarmee een verbeterde werking van de DAF. In de tweede periode, PoC2, is dus met een flocculatietank en ijzer(III)chloride en ook met PE gewerkt.

2.4.6 DAF

In de DAF wordt een deelstroom gerecirculeerd. In deze deelstroom wordt onder druk lucht toegevoerd en opgelost. Na inbreng van deze stroom in de DAF, die drukloos is, ontstaan vanuit deze met lucht oververzadigde stroom hele kleine luchtbelletjes die zich hechten aan de aanwezige vlokken. Deze worden via het aanwezige platenpakket, lamellen, omhoog geleid en vormen daar een drijfslaag. Deze drijfslaag wordt met een kettingschraper afgeroomd en afgevoerd. Het van vlokken ontdane water stroomt door naar de voedingsbuffer van de Nanofiltratie.

Met de verplaatsingssnelheid van de kettingschraper kan de concentratie van het flotaat worden beïnvloed en daarmee het volume van de reststroom.

AFBEELDING 2.8 DAF-UNIT



2.4.7 NANOFILTRATIE (NF)

De nanofiltratie bestaat uit modules die gevuld zijn met capillaire membranen, fabricaat NXF type dNF40 met een poriëndiameter van 400 Dalton, met een doorsnede van 0,7 mm (zie bijlage I voor verder specificaties NF membraan). Het voedingswater wordt onder druk gebracht en door de membraanmodules heen gepompt. In het referentieontwerp is uitgegaan van een recovery van 90%, maar in de pilot is uitgegaan van een lagere waarde. Vanwege het beperkte aantal modules en de parallelschakeling daarvan in de pilot, was een recovery van 50% haalbaar. In afbeelding 2.10 is een schematische weergave van de NF opstelling weergegeven.

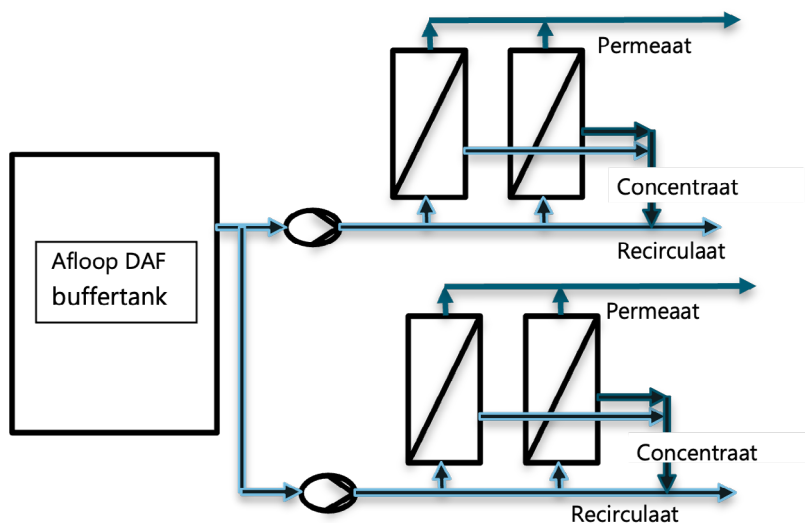
AFBEELDING 2.9 NANOFILTRATIE



Om uiteindelijk de hogere recovery te behalen wordt het tegengehouden water gerecirculeerd en niet alleen over de NF, maar gerecirculeerd vanaf de NF over de EC. De hypothese is dat hiermee de bleed van concentraat verlaagd zou kunnen worden.

De hypothese is zoutophoping te beperken en deze door vorming van neerslagen via het floaat af te voeren. Hierdoor is de concentratie opbouw van ionen lager en kan mogelijk de bleed van de membranen, de afvoer van brijn worden voorkomen. In afbeelding 2.10 is schematisch de opstelling van de membraanmodules weergegeven.

AFBEELDING 2.10 SCHEMATISCHE WEERGAVE OPSTELLING NANOFILTRATIE



2.4.8 IONENWISSELING

De eerste ionenwisselaar dient ervoor om de hardheidsionen te verwijderen die concurreren met NH_4 -ionen voor de absorptieplaatsen. De tweede ionenwisselaar moet ervoor zorgen dat het ammonium wordt verwijderd. De hydraulische capaciteit van de onthardingsion-wisselaar bedroeg $2 \text{ m}^3/\text{h}$ en de hydraulische capaciteit van de NH_4 -ionenwisselaar bedroeg $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

IX-1 ONTHARDING

De nanofiltratiemembranen houden het merendeel van de tweewaardige en hoger valente ionen tegen, maar hebben geen of zeer lage retentie voor de eenwaardige ionen. Het NH_4^+ -ion stroomt dus door het membraan heen en moet na de voorafgaande stappen dus nog worden verwijderd. De verwijdering wordt gedaan met de inzet van ionenwisselaars. De ionenwisselaar voor ammonium is gevoelig voor de aanwezigheid van andere meerwaardige positieve ionen die toch door het nanomembraan heen gaan; de ionenwisselaar heeft een hogere affiniteit voor deze ionen. Om de vervuiling van en werking van de NH_4^+ -ionenwisselaars hars te verbeteren is daarom deze hardheidsionenwisselaar voorgeschakeld. Na het bereiken van zijn maximale uitwisseling wordt het hars geregenereerd met zoutzuur.

IX-2 AMMONIUMVERWIJDERING

De tweede ionenwisselaar dient ervoor om het ammoniumgehalte te verlagen tot aan de waarde die voldoet inclusief het verwijderingsrendement van het helofytenfilter dan wel direct aan effluenteis: $\leq 1 \text{ mg NH}_4^+\text{-N/l}$. Na verzadiging van het hars wordt het geregenereerd met zwavelzuur.

Het gevormde ammoniumsulfaat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) dient te worden afgezet als (grondstof voor) kunstmest of een andere circulaire toepassing.

2.5 OVERIGE ONDERDELEN VAN HET CONCEPT

Naast de in de paragraaf 2.1 genoemde procesonderdelen die zijn opgenomen in de pilot installatie omvat het totale concept nog een aantal onderdelen die niet zijn beproefd in de pilot. Dit zijn het kalkfilter en het helofytenfilter. Deze worden onderstaand kort toegelicht.

2.5.1 KALKFILTER

Het kalkfilter is in de pilot niet toegepast. Echter, het behandelde rioolwater heeft na het doorlopen van de verschillende processtappen een pH die lager is dan 3. Daarnaast heeft het water geen buffercapaciteit meer omdat de meeste zouten uit het water zijn gehaald.

Om dit water te revitaliseren wordt het over een kalkfilter geleid. Dit kalkfilter zorgt voor een pH-correctie en het toevoegen van calcium en magnesium. Vervolgens wordt het in het helofytenfilter geleid om verder te revitaliseren alvorens het uiteindelijk wordt geloosd (in het geval van locatie Wilp op de Twellose beek).

2.5.2 HELOFYTENFILTER

In de pilot was geen helofytenfilter opgenomen. Het helofytenfilter heeft twee functies. De eerste functie is het water dat uit de extractie-installatie komt te revitaliseren en weer leefbaar te maken. De tweede functie is het rioolwater dat bij RWA niet kan worden behandeld, maar

langs de extractielijn wordt geloosd te zuiveren. Uiteindelijk moet het water waarmee de Twellose beek wordt gevoed voldoen aan de gestelde effluenteisen.

Het helofytenfilter bestaat uit verschillende zones: buffer, Azolla zone⁶, en helofytenzone.

2.6 HULPSTOFFEN

2.6.1 EC: VAST IJZER EN/OF ALUMINIUM

In de EC kunnen zowel ijzeren als aluminiumplaten worden gemonteerd als elektrode. De voorkeur gaat uit naar ijzeren platen omdat aluminium als potentieel zeer zorgwekkende stof is aangemerkt. Op aanwijzingen van de leverancier van de EC is gestart met een verhouding van 70% ijzer en 30% aluminiumplaten. Gedurende de eerste periode is getest met verschillende Fe/Al verhoudingen.

Het verbruik van de platen, het oplossen van het vaste metaal via een elektrisch veld, is een deel van het verbruik. De platen worden niet volledig opgelost en er blijft altijd nog een deel over. Tevens zal de kwaliteit en homogeniteit van de platen een rol spelen in het totale verbruik. Dit restant van de elektroden behoort wel tot het verbruik. In de vertaalslag naar de “full scale” zal hier aandacht aan moeten worden besteed om dit goed op kosten te zetten maar dient dit ook te worden meegenomen in de CO₂-footprint

2.6.2 IJZERCHLORIDE (FeCl₃)

De gedoseerde ijzer(III)chloride oplossing is een handelsproduct en bevat 40% FeCl₃.

2.6.3 ZWAVELZUUR

Het zwavelzuur wordt gebruikt voor het aanzuren van het voedingswater van de nanofiltratie. Dit wordt gedaan om scaling van de membranen te voorkomen. Daarnaast wordt zwavelzuur gebruikt voor het regenereren van de NH₄⁺-ionenwisselaar.

Om de IX te regenereren en het verbruik aan zwavelzuur te verminderen en een beter product te krijgen wordt gebruik gemaakt van drie stappen à la een wasmachine: voor-, hoofdwas en spoeling. Het spoelwater wordt op specs gebracht voor de volgende regeneratie (hoofdwas). Het water van de “hoofdwas” is daardoor geconcentreerder en een beter restproduct.

2.6.4 CITROENZUUR

Citroenzuur wordt gebruikt om hardnekkig aanslag van de membranen te verwijderen zonder deze te beschadigen. Met name ingezet om de ijzeraanslag te verwijderen.

2.6.5 NATRIUMHYPOCHLORIET

Natriumhypochloriet wordt gebruikt om de aangroei, biofouling, te verwijderen en de aangroei te verminderen. Hiermee wordt de getracht de drukval over het membraan te vertragen en zo langere draaitijden te verkrijgen.

6 Azolla wordt als een invasieve exoot beschouwd en de kans bestaat dat deze niet mag worden toegepast in het helofytenfilter. Het plantje is in staat om veel fosfaat op te nemen en daarmee bij te dragen aan de fosfaatverwijdering ingeval er verdund rioolwater langs de extractielijn wordt gebypassed. Het plantje kan om worden gebruikt om een bodem waarin het fosfaat reversibel is gebonden te regenereren. Door het creëren van een anaëroob milieu komt het fosfaat los van de bodem en in oplossing waarna het door het Azolla plantje kan worden opgenomen.

2.6.6 NATRONLOOG

Het natronloog wordt gebruikt voor het reinigen van de membranen.

2.6.7 ZOUTZUUR

Het zoutzuur wordt gebruikt voor de regeneratie van de onthardingsionenuitwisselaar. Deze regeneratie vindt in een keer plaats en kent geen uitgebreid “wasprogramma”.

2.6.8 LUCHT

Zowel bij de EC, DAF als bij de Nanofiltratie wordt lucht gebruikt.

LUCHT BIJ EC

Het doel van het inbrengen van lucht in de EC is om ervoor te zorgen dat er zuurstof in het systeem komt die ervoor zorgt dat het Fe^{2+} wordt omgezet naar Fe^{3+} . Het driewaardige ijzer heeft een betere binding met het fosfaat en zorgt ook voor een betere vlokvorming.

LUCHT BIJ DAF

De lucht in de EC wordt gebruikt om een deelstroom van de DAF onder druk te verzadigen met lucht. Na opmengen met de voedingsstroom en inbrengen in de DAF onder atmosferische druk, treedt de oververzadigde lucht uit in kleine belletjes die worden gebruikt om de vlokken op te drijven.

LUCHT BIJ NF

In de NF wordt lucht ingebracht om de membraan-capillairen te reinigen. De lucht, champagneflush, wordt gebruikt om meer turbulentie te krijgen en daardoor meer materiaal dat gehecht is aan het membraan te verwijderen.

2.7 ANALYSES MICROVERONTREINIGINGEN

Om de verwijdering van een breed spectrum aan organische microverontreinigingen te monitoren, zijn 11 gidsstoffen en 8 monitoringsstoffen geanalyseerd (via Waterschap Vallei en Veluwe door Waterlaboratorium Aqualysis). Deze zijn gebaseerd op de richtlijnen van het ministerie van IenW⁷. Volgens de Nederlandse richtlijnen van het Ministerie van IenW dient het verwijderingsrendement berekend te worden over 7 van de 11 gidsstoffen. Hierbij geldt een minimaal verwijderingsrendement over de gehele rwzi in elk monster van 70%. Op basis van deze metingen is onderzocht of aan de doelstelling van het IPMV is voldaan en hoe het DEXfilter presteert ten opzichte van andere gangbare technieken (Tabel 2.1).

⁷ De door STOWA gehanteerde gidsstoffen zijn som 4-,5-methylbenzotriazol, benzotriazol, carbamazepine, diclofenac, gabapentine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, sotalol, trimethoprim en venlafaxine. De stoffen azithromycine, candesartan, clarithromycine, propranolol en sulfamethoxazol zijn monitoringsstoffen.

TABEL 2.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN DE VERSCHILLENDE MICROVERONTREINIGINGEN DOOR CONVENTIONEEL ACTIEF SLIB (RWZI), OZON EN ACTIEFKOOL (STOWA, 2021-15). DIT ZIJN GEMIDDELDEN OP BASIS VAN METINGEN OP VERSCHILLENDE ZUIVERINGEN EN PILOTS

Stof	Verwijdering in rwzi (%)	Verwijdering met ozon (0,7 g O ₃ /g DOC)	Verwijdering met actiefkool (PAK: 15 mg/l)
SOM 4,- en 5,-methylbenzotriazole	10-40	matig	goed
Amisulpride	10-60	goed	goed
Azitromycine	10-60	goed	goed
Benzotriazool	25-60	matig	goed
Candesartan	20-40	matig-voldoende	slecht-matig
Carbamazepine	5-15	goed	voldoende-goed
Citalopram	40-60	goed	goed
Clarithromycine	30-60	goed	matig-voldoende
Diclofenac	10-35	goed	matig-voldoende
Furosemide	30-70	onbekend	onbekend
Gabapentine	30-60	slecht-matig	matig-voldoende
Hydrochloorthiazide	5-25	voldoende-goed	goed
Irbesartan	5-15	matig-voldoende	matig-voldoende
Metoprolol	20-50	matig-voldoende	goed
Propranolol	30-80	matig	matig
Sotalol	15-35	goed	goed
Sulfamethoxazol	50-80	goed	slecht-matig
Trimethoprim	30-80	goed	voldoende-goed
Venlafaxine	5-15	voldoende goed	voldoende-goed

ANALYSES MICROVERONTREINIGINGEN DOOR EU-RICHTLIJN

Naast de analyse voor IPMV, wordt ook gekeken naar de EU-richtlijn. Door de EU is een voorstel gedaan voor een revisie van de Richtlijn Stedelijk Afvalwater⁸. Hierin worden verwijderingsrendementen voorgesteld voor organische microverontreinigingen, die enigszins afwijken van de Nederlandse stoffen voor de bijdrageregeling voor demo's en het IPMV. Er is sprake van twee categorieën stoffen, zie Tabel 2.2. In de revisie wordt gesteld dat rwzi's groter dan 100.000 i.e. moeten zijn voorzien van een aanvullende verwijdering voor OMs en daarnaast kleinere zuiveringen met een capaciteit van 10.000-100.000 i.e. die lozen op gevoelig oppervlaktewater vanwege risico's voor de humane gezondheid of het (water)milieu. E.e.a. dient gerealiseerd te zijn in de periode 2030-2035 voor rwzi's groter dan 100.000 i.e. en uiterlijk in 2040 voor kleinere rwzi's.

TABEL 2.2 DE STOFFENLIJST VAN DE VOORGESTELDE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER IN VERGELIJKING MET DE NEDERLANDSE 7 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN

Categorie 1 EU	Categorie 2 EU	11 Gidsstoffen NL
amisulpride	benzotriazol	carbamazepine
carbamazepine	candesartan	diclofenac
citalopram	irbesartan	hydrochloorthiazide
clarithromycine	som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol	metoprolol
diclofenac		venlafaxine
hydrochloorthiazide		1,2,3-benzotriazool
metoprolol		irbesartan
venlafaxine		som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol
		gabapentine
		sotalol
		thrimethoprim

8 Proposal for a revised Urban Wastewater Treatment Directive (europa.eu)

Het verwijderingspercentage moet conform de nieuwe concept Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater berekend worden over tenminste 6 van de 12 stoffen. Hierbij dient de verhouding tussen stoffen uit Categorie 1 en Categorie 2 altijd 2:1 te zijn. Hiermee zijn de volgende combinaties mogelijk:

- 6 stoffen: 4 stoffen uit categorie 1 en 2 stoffen uit categorie 2
- 9 stoffen: 6 stoffen uit categorie 1 en 3 stoffen uit categorie 2
- 12 stoffen: 8 stoffen uit categorie 1 en 4 stoffen uit categorie 2

De verwijdering wordt conform het concept EU-voorstel berekend op basis van de gemiddelde verwijdering van de beschouwde stoffen in elk 24h- of 48h-monster op basis van concentraties. Het verwijderingsrendement dient minimaal 80% te bedragen.

3

DEMONSTRATIEONDERZOEK PILOT WATERFABRIEK2.0

3.1 INTRODUCTIE

In dit hoofdstuk zijn in de paragrafen 3.1 tot en met 3.7 de test- en bedrijfsvoeringsaspecten van het demonstratieonderzoek met een pilot op rwzi Terwolde beschreven en is de behaalde effluentkwaliteit in paragraaf 3.8 beschreven. De geleerde lessen komen terug in paragraaf 3.9.

3.1.1 DOELSTELLING PILOT

Specifieke vragen die tijdens het pilotproject minimaal beantwoord moesten worden:

- wordt het proof of principle bevestigd: zijn de gehanteerde ontwerpgrondslagen vanuit het referentieontwerp voor de Waterfabriek juist en wordt het proof of concept bereikt?
- daarbij speelt met name de haalbare waterkwaliteit (lees verwijderingsprestaties) bij de specifieke voedingswaterkwaliteit én de omvang en samenstelling van de spuistromen (flotaatslib en IX-regeneratieconcentraat)
- kan het volume aan reststromen voor raffinage in fase 2 worden beperkt (zo laag mogelijk debiet; zo hoog mogelijke concentraties)?
- is het mogelijk producteisen voor eindgebruikers (raffinagelijijn fase 2) te koppelen aan procesinstellingen voor optimale afscheiding van producten (zeefgoed, organisch-slibstroom EC-DAF, NH₄-regeneraat IX, etc.)?
- is de concentratie van zouten door recirculatie van divalente ionen beheersbaar conform het theoretische model (in de basis opgesteld in referentieontwerp); dit in relatie tot drukopbouw en scalingpotentie?
- welke operationele inzichten en te hanteren procesinstellingen voor de praktijkinstallatie zijn robuust en bestendig?
- wat zijn de operationele energie- en chemicaliënverbruik van de installaties?
- vaststelling optimalisaties voor energie- en chemicaliënverbruik
- starten we met een kerstboomconfiguratie of Forced Recirculation-configuratie?
- kunnen we het gedrag van het water/de membranen onder de twee verschillende configuraties modelleren?
- is de scaling beheersbaar (welke CIP-procedure)?
- welke extra mitigerende maatregelen noodzakelijk om operationele risico's te beperken?

Voor het aantonen van het Proof of Concept moest voldaan worden aan 5 criteria:

- Effluentkwaliteit
 - Macro parameters (N, P, organische stof, DS)
 - Metalen
 - Microverontreinigingen
- Energieverbruik ($\leq 3,32$ kWh/m³)
- Operationele kosten met betrekking op Chemicaliën en hulpstoffen ($\leq \text{€ } 0,90/\text{m}^3$)
- Productie van reststromen $\leq 3,3$ m³/d

- Continuïteit in bedrijfsvoering 2 weken (volledig) storingsvrij in bedrijf, waarbij wordt voldaan aan de voorgaande voorwaarden.

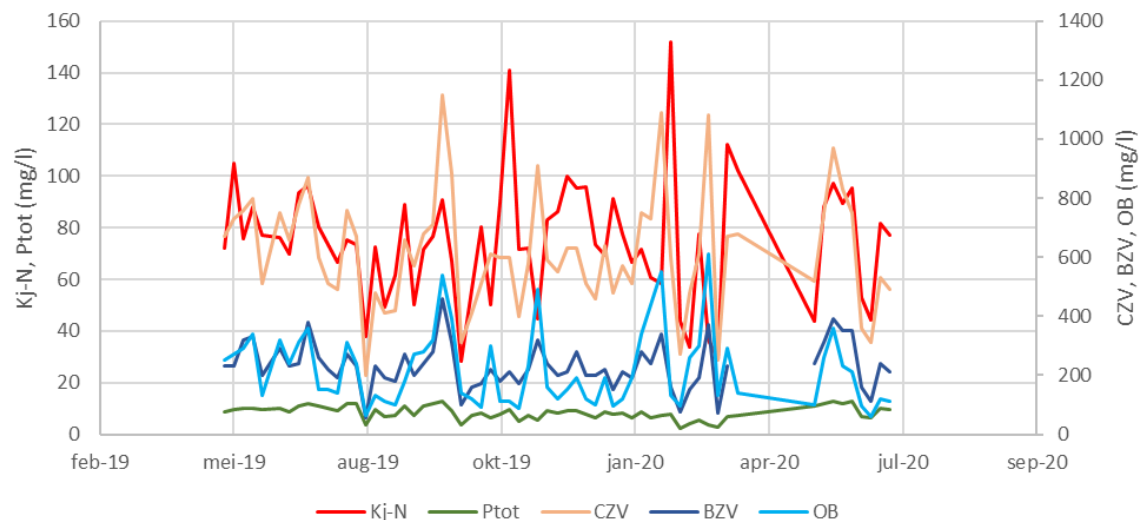
3.1.2 PROEFPERIODE

Het totale pilot-onderzoek heeft geduurd van mei 2019 tot en met juni 2020, waarin twee concepten zijn getest. De eerste periode, Proof of Concept 1 (PoC1) mei 2019 – november 2019, de test met gebruik van de EC-DAF combinatie, en de tweede periode, PoC2 februari 2020 – juni 2020 met inzet van ijzer(III)chloride dosering en een flocculatietank in plaats van de EC met buizenflocculator.

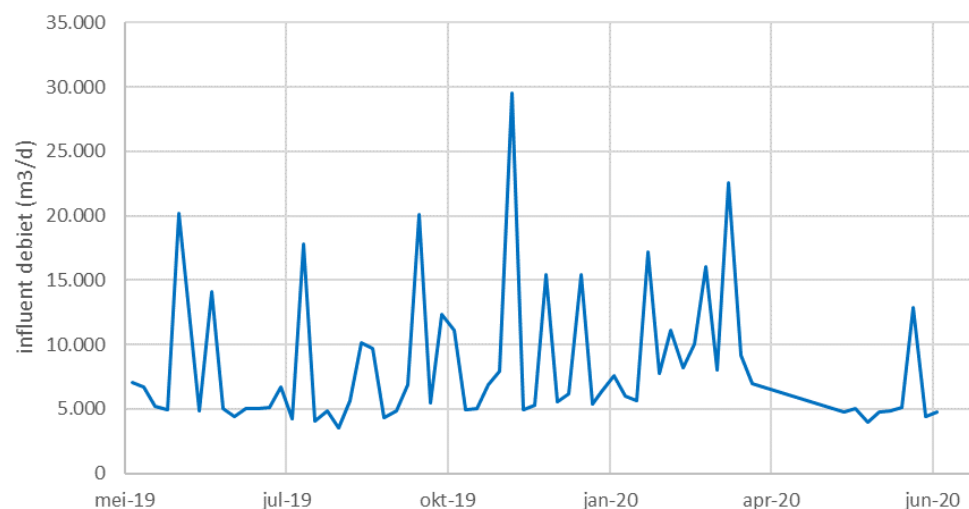
3.2 INFLUENTKwaliteit

Het influentmonsternamepunt bevond zich op het inname punt van rioolwater voor de pilot en kwam overeen met het reguliere influentbemonsteringspunt van de rwzi Terwolde. In afbeelding 3.1 en 3.2 zijn de analysesresultaten van de macroparameters van het influent en het dag debiet van de rwzi Terwolde weergegeven (in bijlage II waarden tabel). Dit om een indruk te krijgen van de variatie in de influentsamenstelling van het rioolwater.

AFBEELDING 3.1 INFLUENTCONCENTRATIES MACRO ELEMENTEN TIJDENS PILOT PERIODE



AFBEELDING 3.2 DAGDEBIETEN RWZI TERWOLDE TIJDENS PILOT PERIODE



De pilot werd gevoed vanuit een buffertank (waterdichte container) met een inhoud van ca 20 m³. Deze container werd bij beschikbaarheid van rioolwater continu gevoed via een pomp met een capaciteit van 10 m³/h. Hierdoor zal enige afvlakking/vertraging in concentraties ten opzichte van het influent hebben plaatsgevonden. Echter, zal de invloed hiervan gering zijn geweest gezien het volume van de buffertank en de pompcapaciteit van de pomp. De verwachting is dat de invloed van het aanvoerende rioolstel op de wisseling in aanvoerconcentraties veel groter is. Het rioolwater wordt met drie persleidingen aangevoerd naar de rwzi Terwolde gevoerd. Twee grote en één kleine persleiding. De twee grote aanvoerleidingen hebben een lengte van kilometers, waarbij de laatste inprik zich ook enkele kilometers afstand van de rwzi Terwolde bevindt. Afhankelijk van de periode van de dag en het vallen van neerslag is de persleiding meer of minder gevuld met afvalwater. De “proppen” weinig tot veel verdund rioolwater komen derhalve na elkaar binnen en bepalen op dat moment de samenstelling van het rioolwater.

Een tweede bepalende factor voor de rioolwatersamenstelling is de lozing van percolaat uit een stortplaats op het rioolstelsel. Dit hoeveelheid percolaat dat wordt geloosd, is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die in de voorafgaande periode is gevallen en de waterbehoefte op de stort. Bij veel en langdurige regenval loopt de stort vol en dit percolaat wordt via het drainage systeem uiteindelijk afgepompt naar de riolering. Dit gaat door totdat de stort leeg is en de lozing stopt. Periodes zonder lozing zie je met name in de zomerperiode. Deze lozingen, met name bij droogweerafvoer, kunnen forse invloed hebben op de rioolwatersamenstelling. Voor Kj-N worden hierdoor in het influent van de rwzi Terwolde zeer hoge waarden aangetroffen. De verwachting is dat ook andere zouten een dergelijk verloop laten zien en daardoor de lading van het influent beïnvloeden en daarmee invloed uitoefenen op de werking van met name de EC.

3.3 TROMMELZEEF

De trommelzeef met perforaties van 5 mm dient ervoor om de kleinere deeltjes en bij bypass de grotere delen af te vangen. De trommelzeef heeft goed en naar verwachting gefunctioneerd.

AFBEELDING 3.3 TROMMELZEEF BOVEN CONTAINER DIE DIENST DOET ALS BUFFER OM PERIODEN ZONDER AANVOER VAN RIOOLWATER TE OVERBRUGGEN EN CONTINU BEDRIJVEN VAN DE PILOT MOGELIJK TE MAKEN

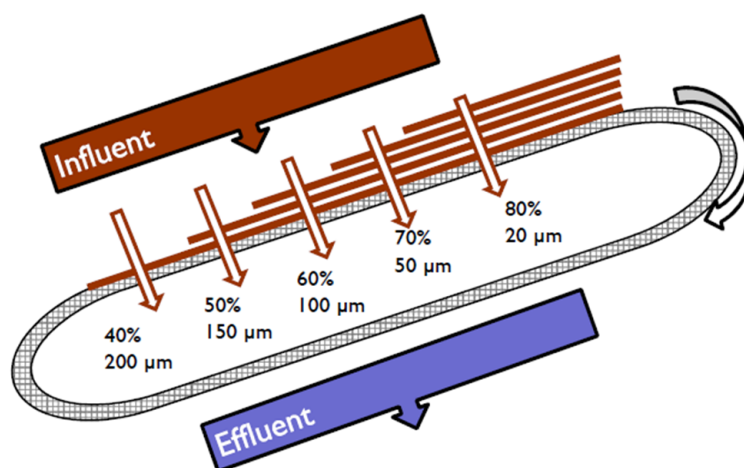


3.4 FIJNZEEF

De fijnzeef heeft een zeefdoek met een maaswijdte van 350 µm en een hydraulische capaciteit van 40 m³/h. Vanwege de beperkte capaciteit van de NF-membranen (totaal inclusief recirculatie 5 m³/h) wordt de fijnzeef maar zeer laag belast met een hoeveelheid van 2,5 m³/h. Onder praktijkomstandigheden is dan ook de verwachting dat het rendement van de fijnzeef lager zal zijn dan behaald tijdens de pilotperiode. Dit heeft te maken met de opbouw van zeefkoek op het filter. Bij de zeer lage belasting tijdens het pilot onderzoek was de koek veel dikker en is daardoor meer materiaal afgevangen. In afbeelding 3.4 is een schematische weergave van het zeefdoek weergegeven.

Indien in de toekomst de hydraulische belasting toeneemt en daarmee minder koekfiltratie zal plaatsvinden, zal door snellere verversing van het zeefdoek meer onopgelost materiaal doorgaan. De verwachting is dat dit niet nadelig zal zijn voor de vervolg processtappen. Mogelijk kan dit zelfs helpen in de DAF omdat meer gevormde neerslag kan worden afgevangen met de iets grotere doorgeslagen deeltjes.

AFBEELDING 3.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET ZEEFDOEK



De zeefgoedproductie is bepaald door de massa zeefgoed productie periodiek te wegen, en betreft het geperste product. Deze productie bedroeg gemiddeld 0,26 kg/h. Met een droge stof percentage van gemiddeld 37,2% (of indamprest IR) komt dit neer op een hoeveelheid onopgeloste stoffen die wordt afgevangen van 97 mg ds/l. In mei 2019 is een onderzoek uitgevoerd waarbij de concentratie aan onopgeloste bestanddelen in het influent en de afloop van de fijnzeef is bepaald. Hierin wordt een verwijdering geconstateerd van 142 mg/l.

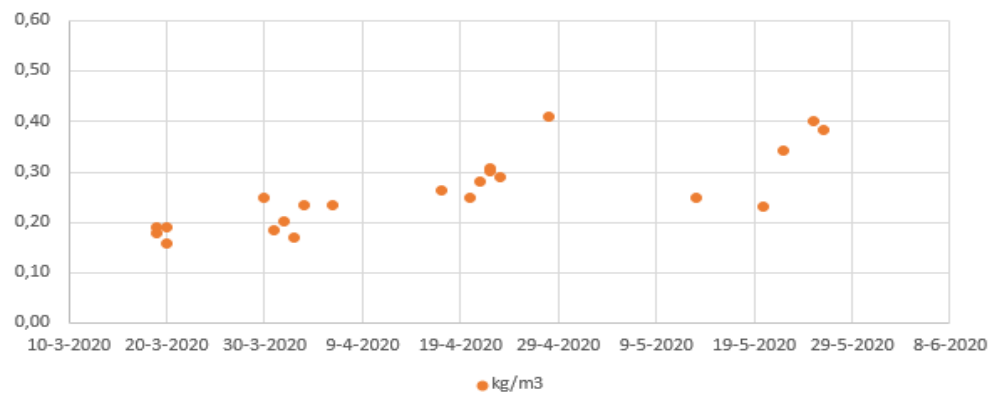
AFBEELDING 3.5 FIJNZEEF EN UITGERPERST ZEEFGOED



TABEL 3.1 ONTWATERINGSPERCENTAGE ZEEFGOED EN CONCENTRATIE ONOPGELOSTE BESTANDELEN OP- EN AFLLOOP FIJNZEEF

datum	IR %	datum	Influent (mg/l)	Af fijnzeef (mg/l)
19-3-20	36,4	10-5-19	390	160
20-3-20	38,0	13-5-19	220	150
23-3-20	41,3	13-5-19	250	110
31-3-20	38,6	14-5-19	220	140
1-4-20	37	15-5-19	370	110
2-4-20	32,3	16-5-19	300	160
6-4-20	38,5	17-5-19	260	140
8-4-20	35,1	17-5-19	210	100
Gemiddelde	37,2		278	136

In afbeelding 3.6 is de zeefgoedproductie per hoeveelheid verwerkt rioolwater weergegeven. Dit betrof de zeefgoedproductie na passage van de zeefgoedpers.

AFBEELDING 3.6 GEPERSTE ZEEFGOEDPRODUCTIE PER M³ BEHANDELD RIOOLWATER

De afbeelding toont een trend van een grotere productie per m³ behandeld rioolwater. Dit is mogelijk het gevolg van een droge warme periode waardoor minder rioolwater wordt aangevoerd. Uit het concentratieverloop in tabel 3.1 komt dit niet duidelijk naar voren. De data zijn te beperkt om hierover harde conclusies te trekken.

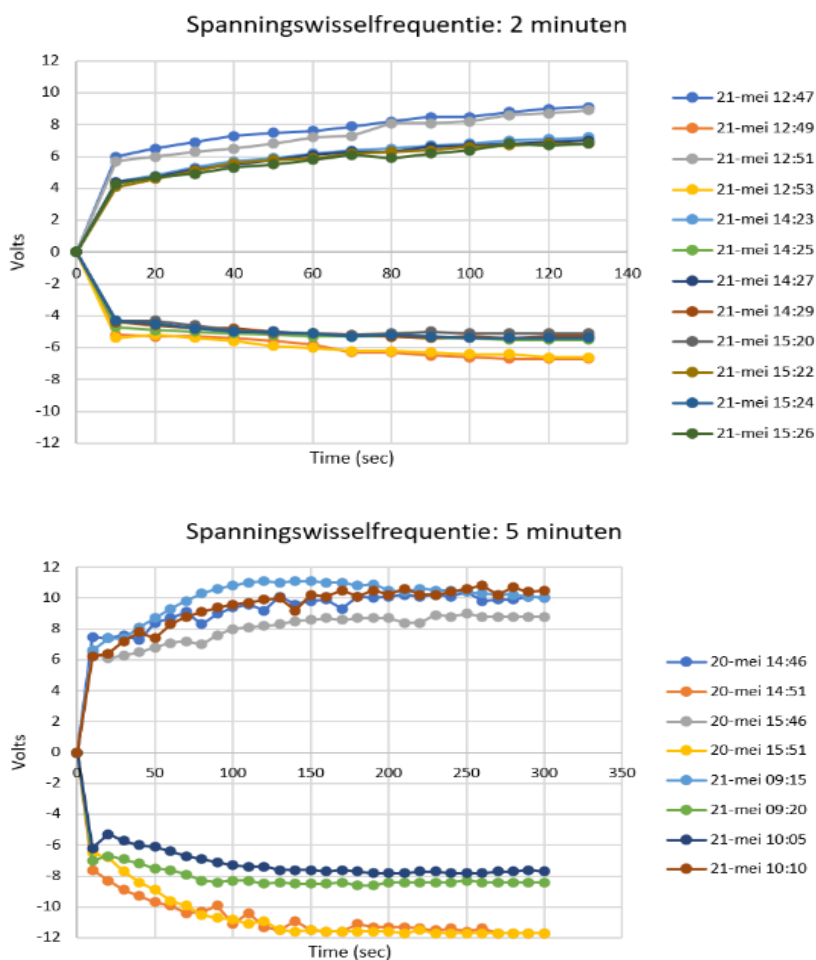
3.5 ELECTRO-COAGULATIE

De ingezette EC betrof een gesloten EC met een hydraulische capaciteit van ca 40-50 m³/h. In de pilot was de hydraulische belasting maximaal 5 m³/h en de EC is daarmee hydraulisch zeer laag belast. De EC werd bedreven met een spanning tussen de 4 en 12 V en een stroomsterkte tussen de 400 en 600 A.

In de eerste fase van het bedienen van de pilot installatie is vastgesteld wat de frequentie diende te zijn van het wisselen van de spanning (elektrode wisseling anode – kathode). De wisseling van elektrode dient ervoor om de opbouw van materiaal op of tegen elektrode aan te verminderen en daarmee ook de spanning laag te houden.

In afbeelding 3.7 is te zien wat het verloop van de spanning was bij een wisseling van 2 en van 5 minuten.

AFBEELDING 3.7 SPANNINGSVERLOOP BIJ 2 EN 5 MINUTEN WISSELFREQUENTIE POLARITEIT VAN DE ELEKTRODEN



De zeer lage hydraulische belasting van de EC zorgde voor een lage langs-stroomsnelheid waardoor de aangroei op de platen relatief snel plaatsvond. Deze vervuiling zorgde voor snel oplopende spanning die onvoldoende is om het ijzer/aluminium op te lossen. Met als gevolg en noodzaak dat de elektrodeplaten vaker gewisseld en gereinigd dienden te worden. Dit was noodzakelijk om binnen de bedrijfsvoeringsgrenzen van de EC te blijven (maximaal 12 V en 600 A).

Aanpassingen van de EC met het doel om de verblijftijd te verkleinen en turbulentie te verhogen, hebben niet tot het gewenste resultaat geleid.

Een andere uitdaging die naar voren kwam, was de omzetting van (tweewaardig) Fe^{2+} naar (driewaardig) Fe^{3+} . In het influent was te weinig/geen zuurstof aanwezig en in de EC werd te weinig zuurstof gevormd om voldoende Fe^{2+} om te zetten naar Fe^{3+} . De omzetting van Fe^{2+} naar Fe^{3+} is nodig voor een goede fosfaatverwijdering en vlokvorming. Door de lage Fe^{3+} -vorming reageerde minder Fe^{2+} dan gewenst met als gevolg oxidatie van Fe^{2+} in de DAF en doorslag van Fe^{3+} naar de NF.

Een poging om via het beluchten van de EC en de afloop van de EC meer Fe^{2+} om te zetten in Fe^{3+} is onvoldoende effectief gebleken om te kunnen voldoen aan de gestelde eisen.

3.6 VLOKVORMING NA EC EN METAALZOUTDOSERING

3.6.1 POLYMEERDOSERING

Na het realiseren van een goede ontgassing en schuimafvoer naar de DAF bleek dat de vlokvorming onvoldoende bleef om het gehalte aan onopgeloste bestanddelen en troebelheid (in NTU) voldoende omlaag te krijgen en te houden. Ondanks de bezwaren van toepassing van een PE is besloten om PE te gaan doseren. Voorafgaand aan de dosering zijn een aantal PE-typen op labschaal beproefd. In deze labschaal-proeven is gekeken naar kationisch (gebruikelijk toegepaste PE bij indikking en ontwatering van slib), maar is ook gekeken naar de toepassing van een anionisch PE. Deze heeft de voorkeur omdat deze vanwege de positieve lading zich niet bindt aan het membraan. Uit de testen is gebleken dat een anionisch PE tot goede vlokvorming leidt. Na behandeling van het in het lab voorbehandelde rioolwater en toepassing van een mini-membraankolom kon worden vastgesteld dat het PE geen negatieve gevolgen had op werking van de membranen.

3.6.2 FLOCCULATOR

In de eerste onderzoeksfase van het pilot onderzoek is gewerkt met de standaard buizenfloculator (BF) behorende bij de DAF. Deze bleek niet in staat om voldoende grote en stevige vlokken te laten ontstaan om de DAF goed te laten werken. De slechte vlokvorming was mede het gevolg van de ontgassing van de aangevoerde stroom na de EC. De in de EC ontstane gassen zorgden voor belvorming in de buizenfloculator met verhoogde turbulentie en uiteen slaan van de vlokken tot gevolg.

3.7 DISSOLVED AIR FLOTATION (DAF)

De DAF-eenheid toegepast in de pilot bezit ook een hydraulische capaciteit van 50 m³/h. Net als bij de EC ontstonden ook hier problemen bij de bedrijfsvoering bij de capaciteit van de pilot van 5 m³/h. De retourstroom van de DAF waarmee water met kleine belletjes ("White"-water) wordt gemaakt, diende te worden geminimaliseerd om niet teveel lucht in het systeem te brengen en er door de grote hoeveelheid lucht teveel turbulentie door de gasbellen ontstaat en de vlokken uit elkaar vallen.

Ook de bovenruimer, waarmee het flotaat van het oppervlak wordt afgeschraapt, diende goed te worden ingeregeld om een voldoende dik flotaat te krijgen.

De buizenfloculator vormde ten gevolge van de gasvorming kleine vlokken die minder goed afgevangen konden worden in de DAF.

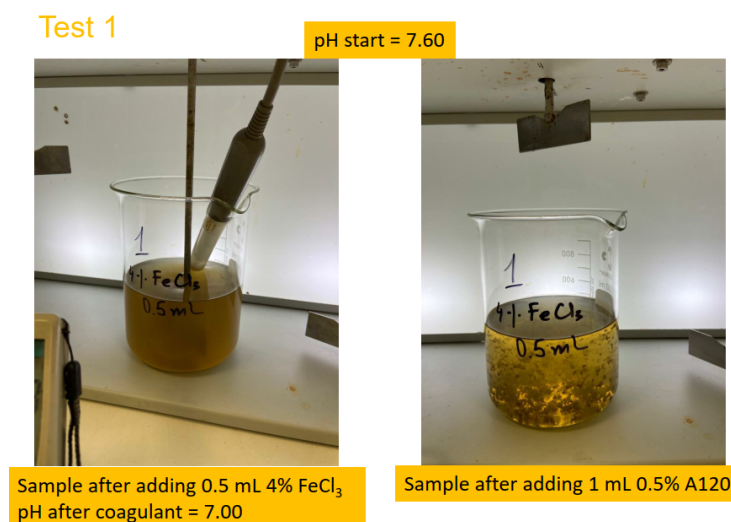
3.7.1 EC-BF-DAF

De combinatie van EC-BF-DAF bleek met de opgestelde pilot onvoldoende in staat om een zodanig stabiel verwijderingsrendement van onopgeloste bestanddelen en fosfaat te geven dat hiermee voldaan kon worden aan de vooraf opgestelde voorwaarde van minimaal 14 dagen continu draaien van de gehele installatie waarbij voldaan zou worden aan alle criteria. In deze onderzoeksfase bedroeg de PE dosering $1,5 \text{ g/m}^3$.

3.7.2 Fe^{3+} -DOSERING MET FT-DAF

Vanwege de tegenvallende vlokvorming met de buizenfloculator is voor de tweede onderzoeksperiode een flocculatietank (FT) gebouwd en geïnstalleerd met een verblijftijd van 10 – 20 minuten en een langzaamdraaiende roerder. Door deze aanpassingen kon de PE-dosering verlaagd worden naar $0,5 \text{ g}$ anionisch PE/ m^3 . Met de toepassing van ijzer(III)chloride dosering kon voldaan worden aan het criterium van 14 dagen continu draaien.

AFBEELDING 3.8 LABTESTEN MET FeCl_3 DOSERINGEN EN POLYMEER



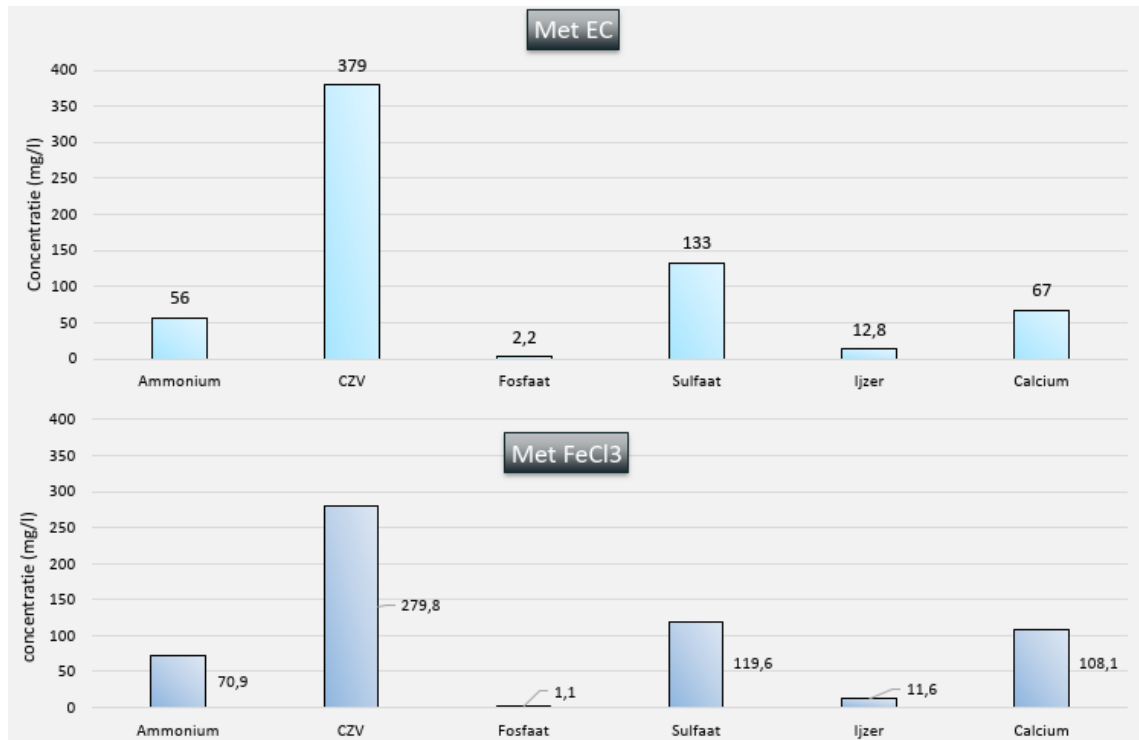
Ter onderbouwing van de voorgestelde aanpassingen zijn labonderzoeken uitgevoerd om daarmee ook doseerverhoudingen af te leiden (afbeelding 3.8). In afbeelding 3.8. is duidelijk het effect van polymeer op de gevormde vlokken te zien. Ook bij de dosering van FeCl_3 bleek het dus nodig om polymeer te blijven doseren om goede afscheidbare vlokken te krijgen.

3.7.3 PRESTATIES COAGULATIE – DAF

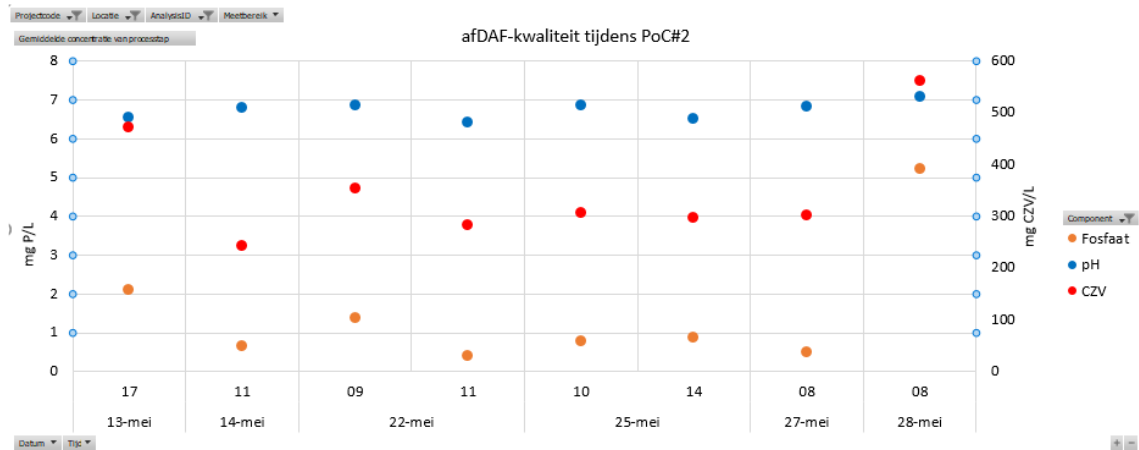
In afbeelding 3.9 zijn voor een aantal parameters de concentraties in de afloop van de DAF weergegeven. De vergelijking op absolute concentraties is relatief omdat geen zicht wordt gegeven op de influentconcentraties (concentraties in oploop EC inclusief recirculatie zijn niet gemeten). Vanwege de droge periode tijdens de proef met FeCl_3 , is aannemelijk dat de influentconcentraties in deze periode hoger waren. Dit is met name te zien aan de concentratie ammonium en calcium. Meer informatie wordt gegeven door te kijken naar de troebelheid van de afloop gedurende deze twee onderzoeksfases, weergegeven in afbeelding 3.9. De waarden voor ammonium en calcium liggen in PoC2 een stuk hoger dan in PoC1.

In afbeelding 3.10 is het verloop van de concentraties van CZV en P en pH gedurende de PoC2 weergegeven. De concentraties in de afloop laten een beperkte variatie zien.

AFBEELDING 3.9 CONCENTRATIES MACRO PARAMETERS POC1 MET EC EN POC2 MET FECL3 IN DE AFLOOP DAF



AFBEELDING 3.10 VERLOOP CONCENTRATIES P EN CZV IN DE AFLOOP VAN DE DAF POC2

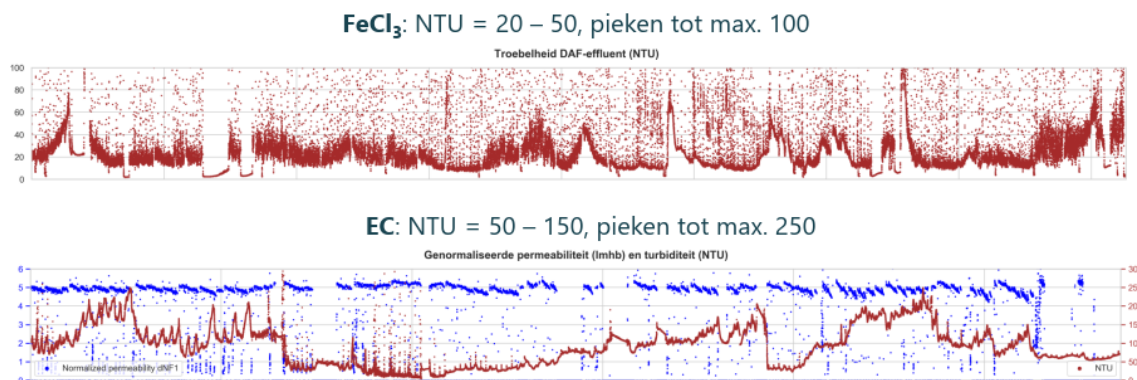


In afbeelding 3.9 is duidelijk te zien dat in de onderzoeksfase met FeCl_3 de werking van de DAF op het afscheiden van onopgeloste bestanddelen aanzienlijk beter was dan in de periode met de EC. Opgemerkt dient hierbij wel te worden dat naast de introductie van FeCl_3 de buizenfloculator voor de periode met FeCl_3 -dosering is vervangen door een floculatietank. Ook deze zal invloed hebben gehad op het coagulatieproces en daarmee op de afscheidende werking van de DAF.

Het CZV-gehalte in de afloop van de DAF is ongeveer gehalveerd ten opzicht van het gehalte aan CZV in het influent. De samenstelling van deze CZV (colloïdaal of opgelost) is tijdens het pilot onderzoek niet onderzocht. Dit wordt één van de onderzoeksvragen voor het onderzoek

na realisatie van de 1e straat van de Waterfabriek Wilp. Dit zal tevens gekoppeld worden aan het onderzoek naar het gehalte aan BZV in de verschillende tussenstappen, waaronder die van de afloop van de NF en de aflopen van de ionenwisselaars. Dit onderzoek zal niet alleen bestaan uit het vaststellen van het gehalte aan BZV, maar ook of dit BZV het gevolg is van het gehalte aan lagere vetzuren. Dit om te achterhalen in hoeverre het aanvoerstelsel en de temperatuur invloed kunnen hebben op de werking van de fysisch-chemische zuiveringsinstallatie. Het onderzoek naar de samenstelling van BZV zal dan tevens inzicht geven in de opbouw van het CZV.

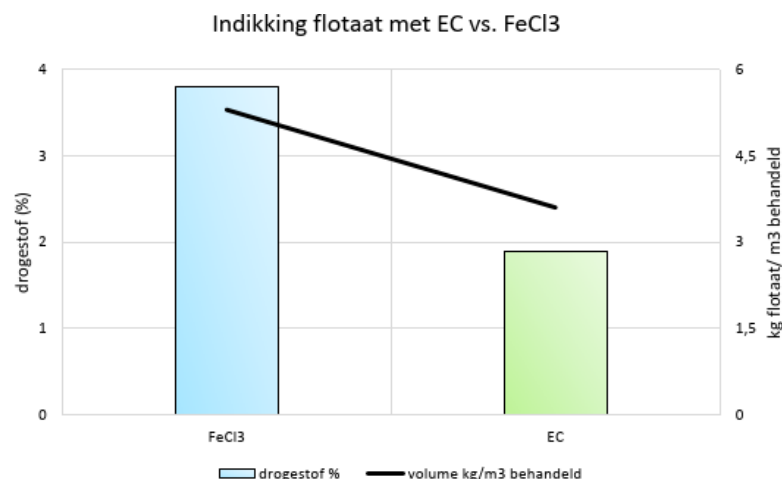
AFBEELDING 3.11 VERLOOP NTU GEHALTE IN ONDERZOEKSPERIODE MET FECL3 EN EC



FLOTAATPRODUCTIE

In afbeelding 3.12 is de flotaatproductie en kwaliteit in drogestof weergegeven. Ook hier is zichtbaar dat de afscheiding met FeCl₃ beter verliep dan gedurende de periode dat gewerkt werd met de EC. Omdat de bedrijfsvoering ten tijde van inzet van de EC lastiger was dan met de FeCl₃-dosering is minder aandacht besteed aan het optimaliseren van de flotaatafscheiding. En ook hier geldt dat de flocculatietank een bijdrage gehad zal hebben aan de gevormde vlokken en daarmee de kwaliteit van het flotaat.

AFBEELDING 3.12 INDIKKING FLOTAAT FLOTAATPRODUCTIE EN DROGESTOFGEHALTE FLOTAAT POC1 (EC) EN POC2 (FECL3)



De flotaatproductie gedurende de twee proefperiodes bedroeg circa 1 m³/d. Voor PoC2 komt dit overeen met een flotaatproductie van circa 9 l/m³ rioolwater. Het flotaat heeft een indamprest van 3,8-4,2%ds. Bij een hogere hydraulische belasting en daarmee grotere aanvoer van

onopgelost materiaal is de verwachting dat het drogestofgehalte van het flotaat hoger zal zijn en verhoudingsgewijs tot een lagere flotaatproductie zal leiden.

3.8 NANOFILTRATIE

De nanofiltratie bleef goed functioneren onder de omstandigheden van de pilot. De aangepaste luchtspoeling, spoelfrequentie en chemische reiniging bleken in staat om de membranen elke keer weer terug te brengen naar de oorspronkelijke druk/permeabiliteit. Mede door de zwavelzuur dosering in de oploop van de NF is scaling voorkomen. Nadeel van deze zwavelzuur dosering is het verlagen van de pH, waarvoor aan het eind van de behandeling gecorrigeerd moet worden.

Na verloop van tijd bleek dat de membranen last hadden van een ernstige vervuiling, bij het inregelen van de electrocoagulatie. Deze vervuiling werd mogelijk veroorzaakt door een neerslag gevormd ten gevolge van de hoeveelheid opgelost ijzer (Fe^{2+}) in de afloop van de DAF. Dit tweewaardige ijzer is onvoldoende uitgevlokt en oxideert ten gevolge van de zuurstof die met het witwater wordt toegevoegd in de DAF tot driewaardig ijzer. Dit driewaardige ijzer reageert in de tussenbuffer en toevoerleidingen naar de NF met de aanwezige opgeloste bestanddelen en gaat alsnog uitvlokken. Tevens zorgde dit mogelijk voor een ijzernerseslag op het membraan. Door een reiniging met citroenzuur konden de membranen naar de oorspronkelijke druk/permeabiliteit worden teruggebracht.

In de periode van PoC2 is dit reinigingsregiem gehandhaafd. De pilot is gedurende een jaar met perioden van korte stops bedreven, dus de ervaringen met de membranen, het reinigen daarvan en of ze ook over een langer termijn standhouden is beperkt. Hierdoor kan nog weinig worden gezegd over de standtijd van de membranen.

3.8.1 OPERATIONELE PRESTATIES NF

Voor de operationele prestaties zijn de volgende parameters beoordeeld:

- Permeaatflux
- Energieverbruik

In tabel 3.2 is hiervan een samenvatting weergegeven die daarna per parameter wordt toegelicht.

TABEL 3.2 OPERATIONELE PARAMETERS REFERENTIE ONTWERP (RO), VOOR EN NA DE INSTALLATIE

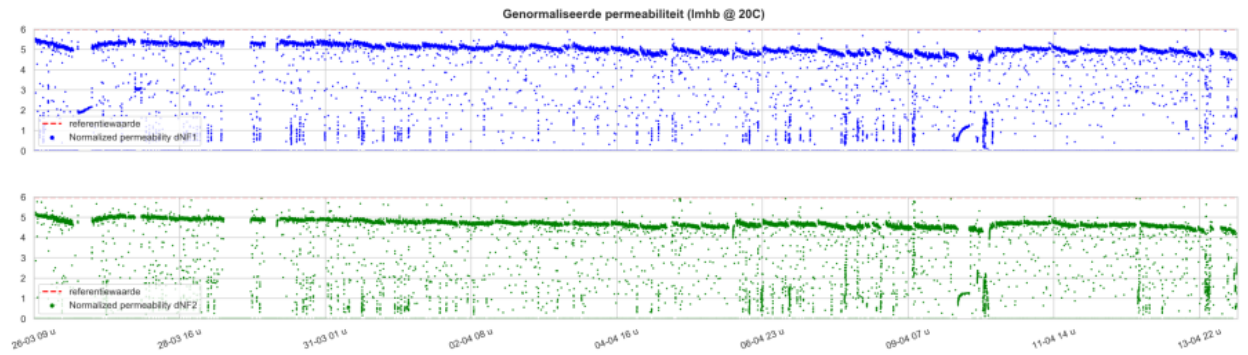
Parameter	Eenheid	RO	Voor pilot	Na pilot
Permeaatflux	$\text{l/m}^2 \cdot \text{h}$	27	20	15
Energieverbruik	kWh/m^3	0,7	-	0,5

3.8.2 PERMEAATFLUX

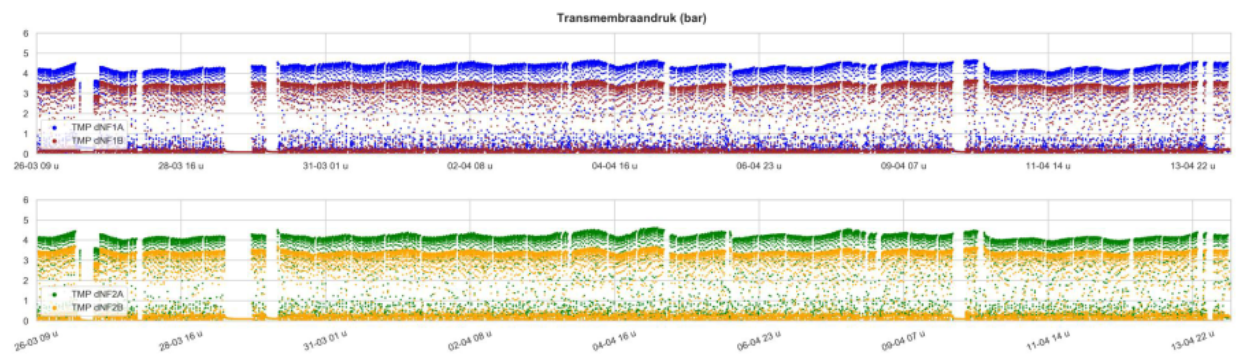
De permeaatflux is (veel) lager dan gedacht in voorafgaand aan pilot opgestelde Referentie ontwerp maar wel zeer stabiel (maar 50% van de aangevoerde hoeveelheid water passeert het membraan tov de verwachte 90%). Het gevolg is dat veel meer membraanoppervlak nodig is om de hoeveelheid rioolwater te verwerken. Dit had mede tot gevolg dat de capaciteit van de pilot voor de verwerking van ruw rioolwater lager uit is gevallen.

De transmembraandruk (TMP) is goed beheersbaar met “air scouring” (luchtspoeling) en chemische reinigingen. In afbeelding 3.13 en 3.14 is dit gevisualiseerd.

AFBEELDING 3.13 GENORMALISEERDE PERMEABILITEIT IN DE TIJD



AFBEELDING 3.14 TRANSMEMBRAANDRUK IN DE TIJD (EFFECT VAN REINIGINGEN)



3.8.3 MEMBRAANINTEGRITEIT

Na afloop van de pilot zijn de membranen voor inspectie afgevoerd naar de fabrikant om de integriteit vast te stellen en is autopsie uitgevoerd op één van de membranen om de vervuiling te onderzoeken naar een jaar bedrijven van de demo.

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de membranen intact waren en er gedurende de periode van het pilotonderzoek geen lekkages in de capillaire membranen zijn opgetreden.

3.9 IONENWISSELAARS

Na de passage van de NF wordt het water behandeld in twee ionenwisselaars. De eerste voor de verwijdering van hardheid (Ca, Mg) en de tweede voor de verwijdering van NH_4^+ . Dit om de concurrentie van meervoudig valente ionen met NH_4^+ in de tweede ionenwisselaar te voorkomen zodat de beoogde NH_4^+ -verwijdering wordt behaald.

De omvang van de toegepaste harsvolumina en opgestelde volumina regeneratietanks bleek ervoor te zorgen dat de concentratie ammoniumsulfaat laag was in de regeneratievloeistof. Daarnaast hebben zich problemen voorgedaan met het maken van de juiste concentratie van de regeneratievloeistof. Deze tegenslag bleek achteraf zeer interessante informatie op te leveren, die aan bod zal komen bij het bespreken van de effluentkwaliteit.

3.10 EFFLUENTKwaliteit

AFBEELDING 3.15 WATERKwaliteiten VISUEEL GEMAAKT VLNR: INFLUENT, FLOTAAT, ELUAAT (AFLOOP-DAF), NF-FILTRAAT, IX-FILTRAAT



3.10.1 MACRO PARAMETERS POC1

In tabel 3.3 en 3.4 is de samenstelling van het effluent voor de macroparameters bij twee bedrijfsvoeringsvormen weergegeven. In de eerste periode werd de pilot alleen in daguren bedreven en aan het einde van de dag gespoeld stilgezet. In de tweede periode binnen PoC1 werd de pilot 24 uur/dag bedreven.

TABEL 3.3 EFFLUENTKwaliteit MACRO PARAMETERS PILOTPERIODE POC1 (DAGUREN)

Parameter	Eenheid	PoC-Eis	7-okt	8-okt	9-okt	10-okt	14-okt	15-okt	16-okt	17-okt
OB	mg/l	30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CZV	mg/l	125	11.8	19.4	39.4	12.8	23.1	44.2	31.5	19.9
BZV	mg/l	20	42	7.1	9.3	4.7	6.8	9.8	8.8	2.2
P-totaal	mg/l	0,15	0.021	0.025	0.109	0.033	0.012	0.055	0.048	0.039
N-totaal	mg/l	4,8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
NH ₄ ⁺ -N	mg/l	1,0	0.151	nb	nb	0.125	0.107	0.212	0.655	0.435

TABEL 3.4 EFFLUENTKwaliteit MACRO PARAMETERS PILOTPERIODE POC1 (CONTINU 24 H/D)

Parameter	Eenheid	PoC-Eis	28-nov	29-nov	30-nov	3-dec	4-dec	5-dec	6-dec	9-dec	11-dec
OB	mg/l	30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CZV	mg/l	125	24.8	9.51	50	50.4	48.4	47.1	23.5	35.8	40.4
BZV	mg/l	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
P-totaal	mg/l	0,15	0	0.03	0.01	<MB	<MB	<MB	<MB	0.03	0.1
N-totaal	mg/l	4,8	nb	nb	nb	Nb	nb	nb	nb	nb	nb
NH ₄ ⁺ -N	mg/l	1,0	nb	nb	<MB	0.31	0.05	1.76*	nb	3.11*	nb

<MB = kleiner dan meetbereik

* Looptijdtesten IX voor bepaling van de doorslagcurve

Gedurende deze periodes van het PoC en bedrijfsvoeringsvormen is voldaan aan de gestelde eisen voor de macro parameters. Het gehalte aan CZV komt overeen met die van een conventioneel actiefslib systeem. De P-totaal, N_{totaal} en NH₄⁺-N gehalten zijn zeer laag. Het BZV-gehalte komt overeen met die van een actiefslibstelsysteem, maar was een paar keer hoger dan in conventioneel rwzi-effluent.

3.10.2 MACRO PARAMETERS POC2

In tabel 3.5 is de samenstelling van het effluent voor de macroparameters in de PoC2, met FeCl_3 en flocculatietank, weergegeven.

TABEL 3.5 EFFLUENTKwaliteit MACRO PARAMETERS POC2

Parameter	eenheid	Eis	Gem.	Max.
Zwevende stof	mg/l	<3	0,0	<5 ¹
CZV	mg/l	<125	74,2	79
BZV	mg/l	<20	30	53
P-totaal	mg/l	<0,15	0,01	0,05
N-totaal	mg/l	<4,8	0,87	1,27
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg/l	<1,0	0,26	0,63

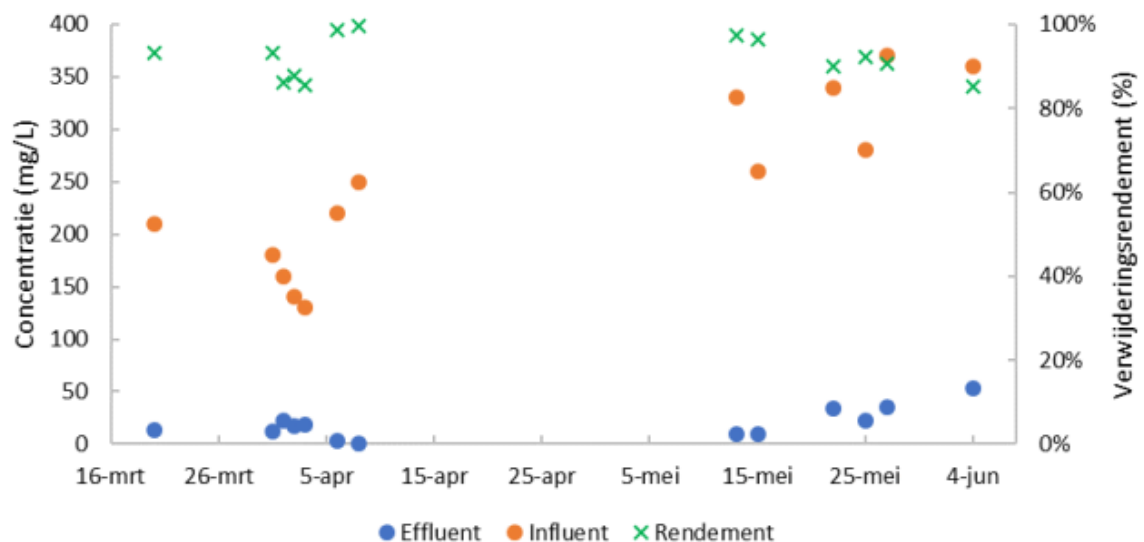
¹ de afloop van IX-2 is onder meetbereik, en dus altijd ruim onder 5 mg/l. Na toepassing Volkert Bakker 0 mg/l.

Ook in deze periode van het onderzoek werd aan de gestelde eisen voor de macroparameters voldaan en werden lage concentraties voor P_{totaal} , N_{totaal} en $\text{NH}_4^+\text{-N}$ behaald. Een uitzondering hierop is BZV, wat hieronder nader wordt besproken.

TOELICHTING BZV

Tijdens het gehele pilot onderzoek bleek de verwijdering van BZV in vergelijking met een conventionele rwzi tegen te vallen. Deze verwijdering werd zelfs lager met toenemende temperatuur. Gedurende de pilot trad er vanaf maart 2019 een zeer droge periode in. Hierdoor liepen de concentraties in het influent op en nam de verblijftijd in het persleidingstelsel toe. Door deze langere verblijftijd en oplopende omgevingstemperatuur werd meer organische stof gehydrolyseerd in het aanvoerende stelsel. De gevormde lagere vetzuren zijn qua molecuulgrootte zodanig dat ze niet (geheel) worden tegen gehouden door het NF-membraan (kleiner dan de cut-off). Deze lagere vetzuren zullen derhalve in een volgende stap, het helofytenfilter verwijderd dienen te worden om aan de effluenteis te kunnen voldoen. In afbeelding 3.16 wordt dit weergegeven.

AFBEELDING 3.16 VERLOOP VAN CONCENTRATIE EN VERWIJDERINGSRENDERMENT BZV IN POC2



3.10.3 ZWARE METALEN POC1 EN POC2

In tabel 3.6 zijn de eisen en behaalde waarden voor zware metalen met de pilot voor de periode PoC1 weergegeven.

TABEL 3.6 EISEN EN BEHAALDE WAARDEN ZWARE METALEN IN POC1

Parameter	eenheid	JG-MKN ¹	PoCI permeaat NF	
Cadmium	µg/l	0,08	0,10	Analysegrens
Chroom	µg/l	3,4	1,0	Analysegrens
Koper	µg/l	2,4	1,0	Analysegrens
Lood	µg/l	1,2	1,0	Analysegrens
Nikkel	µg/l	4,0	2,3	
Zink	µg/l	7,8	9,2	
Kwik	µg/l	0,00007	0,05	Analysegrens
Arseen	µg/l	0,5	1,0	Analysegrens

1) JG-MKN Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm

Met uitzondering van zink wordt voldaan aan de gestelde eisen voor metalen. Voor de meeste waarden worden waarden behaald die beneden de analysegrens van de meetmethode ligt. In PoC2 wordt hier nader op ingegaan.

ZWARE METALEN POC2

De zware metalen worden goed afgevangen. Een deel van de geladen metalen worden waarschijnlijk ook afgevangen in de ionenwisselaars en deze zorgen daarbij dus voor een dubbele barrière. Er zijn echter onvoldoende metingen in de afloop van de NF om de individuele prestaties van de NF en ionenwisselaars vast te stellen. In tabel 3.7 zijn de eisen en behaalde waarden voor zware metalen met de pilot voor de periode PoC2 weergegeven. De weergegeven waarden in het effluent zijn de waarden na toepassen van de Volkert-Bakker methode, waarbij een correctie plaatsvindt voor het aantal waarden dat beneden de detectiegrens ligt. Voor alle parameters met uitzondering van de kwik kan gesteld worden dat voldaan wordt aan de gestelde eisen.

TABEL 3.7 EISEN EN BEHAALDE WAARDEN ZWARE METALEN IN POC2

Parameter	eenheid	Eis	Influent	Effluent
Arseen	ug/l	0,5	2,7	<1*
Cadmium	ug/l	0,08	0,2	0,077
Chroom	ug/l	3,4	6,3	1,6
Koper	ug/l	2,4	87,5	1,0
Kwik	ug/l	0,00007	0,1	<0,05*
Lood	ug/l	1,2	13,6	0,8
Nikkel	ug/l	4	6,4	0,9
Zink	ug/l	7,8	241,7	5,2

* Na toepassing van Volkert Bakker: Effluent=0; Alle waarden liggen onder de rapportagegrens (die hoger ligt dan de eis).

3.10.4 VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN POC1

Voor de eis aan de verwijdering van microverontreinigingen is gekeken naar de in ontwikkeling zijnde lijst van gidsstoffen van I&M en het daaraan gekoppelde verwijderingsrendement van 70% voor 7 van de 11 van deze gidsstoffen. Ten tijde van PoC1 waren de gidsstoffen op de reservelijst nog geen onderdeel van het analysepakket. Deze zijn wel genomen in periode PoC2.

TABEL 3.8 MICRO-VERONTREINIGINGEN EN VERWIJDERINGSRENDEMENT POC1 (DIK GEDRUKTE STOFFEN ZIJN GIDSSTOFFEN)

Parameter	Influent (µg/l)	Effluent (µg/l)	Verwijderingsrendement exclusief RWA
1,2,3-benzotriazool	3,12	3,15	2%
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool	0,74	0,94	<0 ¹ %
carbamazepine	0,46	0,21	55%
claritromycine	0,12	<0,01	>91%
diclofenac	0,41	0,06	87%
gabapentine	1,953	0,101	95%
hydrochloorthiazide	1,72	1,20	30%
irbesartan	0,172	<0,01	>99%
metoprolol	2,45	<0,02	>99%
propranolol	0,08	<0,01	>88%
sotalol	0,85	<0,01	>99%
sulfamethoxazol	0,65	<0,01	>68 ² %
trimethoprim	0,12	<0,01	>92%
venlafaxine	0,112	<0,01	>99%

¹ Een negatief rendement, waarde in het influent lager dan effluent

² 4 van de 6 meetwaarden beneden meetbereik van de meting

In september en oktober 2019 is alleen in daguren gedraaid, waarna in november en december een periode van 24 uur continu is gedraaid. In deze periode kon niet voldaan worden aan de gestelde eis. Op basis van alle opgedane ervaringen en problemen met de continuïteit die met name werd toegeschreven aan de flexibiliteit van de EC en de omzetting van twee- naar driewaardig ijzer is besloten om de pilot aan te passen.

Gedurende PoC1 is een periode in dagbedrijf en een periode 24 uur/dag met de pilot gedraaid. De bedrijfsvoeringswijze heeft invloed op de verwijdering van de gidsstoffen. In tabel 3.9 is dit weergegeven.

TABEL 3.9 VERWIJDERINGSPERCENTAGES DAGBEDRIJF EN 24/7 BEDRIJF POC1 (DIK GEDRUKTE STOFFEN ZIJN GIDSSTOFFEN)

Parameter	Rendement dagbedrijf	Rendement 24/7 bedrijf exclusief RWA
1,2,3-benzotriazool	>96%	-72% ¹
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool	>98%	-133% ¹
carbamazepine	70%	45%
claritromycine	>90%	>93%
diclofenac	>93%	82%
gabapentine	>95%	94%
hydrochloorthiazide	32%	29%
irbesartan	>99%	97%
metoprolol	>99%	>99%
propranolol	>84%	>91%
sotalol	>98%	>99%
sulfamethoxazol	>97%	55%
trimethoprim	>88%	>95%
venlafaxine	>99%	>95%

¹ Het negatieve rendement wordt mogelijk veroorzaakt door opconcentratie van de stof waardoor uiteindelijk meer stof door het membraan gaat

3.10.5 VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN POC2

In PoC2 is de pilot bedreven met de dosering van ijzer(III)chloride en een flocculatietank. In deze periode is geen onderscheid meer gemaakt in dag en continu bedrijf, maar is alleen gekeken naar continu bedrijf (24/7).

In tabel 3.10 staan de resultaten voor de gehele pilot periode weergegeven voor de 11 basis gidsstoffen.

TABEL 3.10 GEMIDDELDE CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT EN VERWIJDERINGSRENDEMENT (DIK GEDRUKTE STOFFEN ZIJN GIDSSTOFFEN)

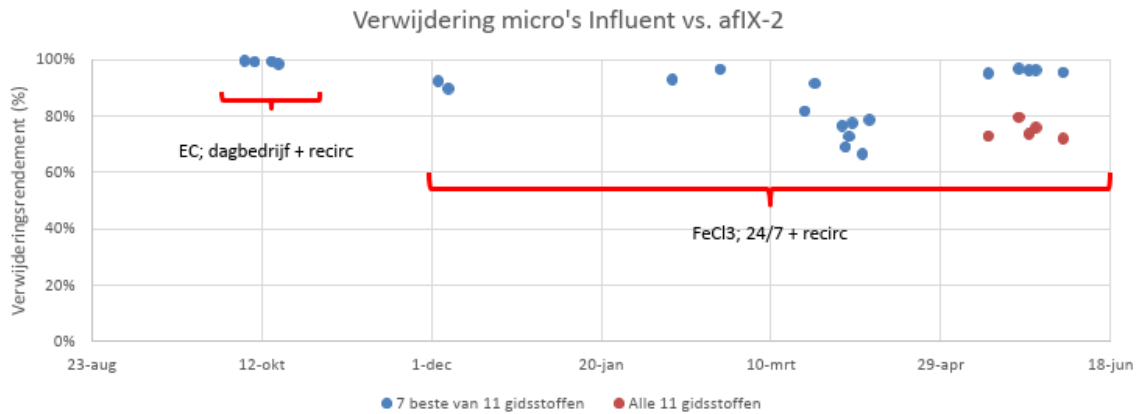
Parameter	Influent (µg/l)	Effluent (µg/l)	Rendement exclusief RWA
1,2,3-benzotriazool	8,58	4,12	52%
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool	1,5	0,668	51%
carbamazepine	1,13	0,768	32%
claritromycine	0,146	<0,01	100%
diclofenac	0,926	<0,088	90%
gabapentine	1,85	0,103	94%
hydrochloorthiazide	3,6	3,06	15%
irbesartan	0,163	<0,01	100%
metoprolol	4,14	0,164	96%
propranolol	0,152	<0,01	100%
sotalol	1,68	0,05	97%
sulfamethoxazol	1,7	<0,202	88%
trimethoprim	0,188	<0,01	100%
venlafaxine	0,108	<0,01	100%
Gemiddelde van 7 beste uit 11 gidsstoffen			97%

Vertaald naar de IPMV-criteria voor verwijdering van organische microverontreinigingen rekening houdend met een standaard RWA/DWA-verhouding zoals bepaald in de webtool STOWA 2020-06 standaard rwzi is 97% rendement exclusief RWA zodoende een overall rendement van 82%.

Daarbij dient wel rekening gehouden te worden dat een WF2.0 in de praktijk (ontwerp Wilp) met een ontvangstbuffer werkt waarmee de bypass zoveel mogelijk voorkomen wordt en een firstflush altijd opgevangen en verwerkt wordt via de waterfabriek en zo met hoog rendement microverontreinigingen verwijderd. Om de gehele RWA-op te vangen en te verwerken via buffers moeten deze echter zeer groot uitgevoerd worden. Deze kosten zijn niet meegenomen in de vergelijking. Daarom gaat de bypass van hemelwater door een wetland/helofytenfilter, waarin op basis van STOWA-onderzoek ook nog residuen worden verwijderd.

Zoals eerder beschreven is in PoC1 de pilot gedurende de dag bedreven. Bij het vergelijken van deze bedrijfsvoering met de continu bedrijfsvoering met zowel de EC als FeCl₃ is te zien dat de continue bedrijfsvoering het verwijderingsrendement verlaagt. Dit is waarschijnlijk het gevolg van vervuiling en concentratie opbouw bij de continue bedrijfsvoering.

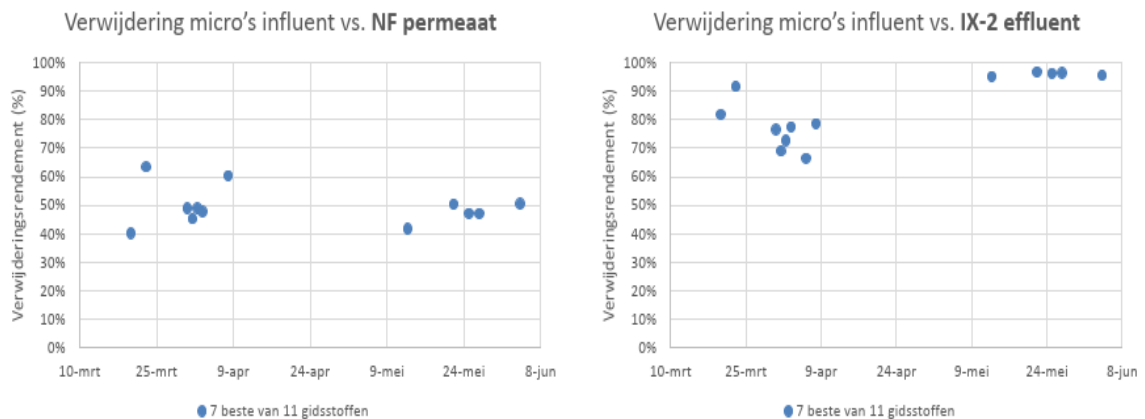
AFBEELDING 3.17 VERLOOP VERWIJDERING GIDSSTOFFEN DAG- EN CONTINU BEDRIJF



VAN POC1 NAAR POC2 AANPASSING REGENERATIE IX

Gedurende de onderzoeksperiode PoC2 is er echter ook sprake geweest van een zeer tegenvallend resultaat. Van begin maart 2020 liep het verwijderingsrendement van de gidsstoffen sterk terug. Deze afname bleek samen te hangen met niet goed functionerende ionenwisselaars. De regeneratie van de ionenwisselaars was door verkeerde aanmaak van de regeneratievloeistof niet volledig. Na het oplossen van dit probleem was de regeneratie van de harsen weer goed en kwam het verwijderingsrendement van de gidsstoffen weer op het oude niveau terug (Afbeelding 3.18). Blijkbaar verwijderen de nanomembranen niet alle gidsstoffen en vindt adsorptie plaats aan de ionenwisselaars. Deze constatering heeft er toe geleid om ook te kijken naar het verwijderingsrendement gidsstoffen in de tussenstap (afloop NF tov influent).

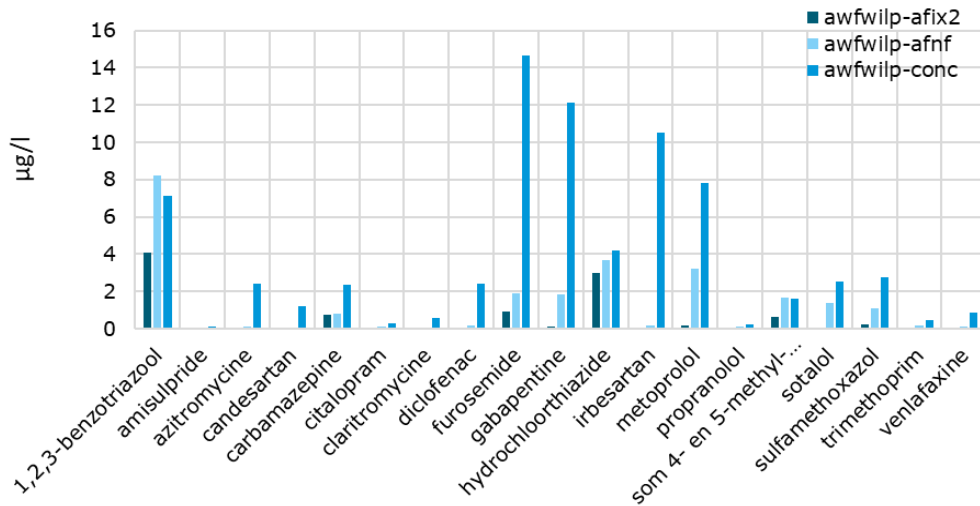
AFBEELDING 3.18 VERWIJDERINGSRENDEMENT INFLUENT-NF EN INFLUENT-IX-2



In afbeelding 3.18 is het resultaat van deze exercitie te zien. De verwijdering van de 7 beste van de 11 gidsstoffen (ca. 50%) door de NF is lager dan verwacht⁹. De Ionenwisselaars zijn nodig om te kunnen voldoen aan de gestelde eisen. In afbeelding 3.19 zijn de concentraties van gidsstoffen (basis+ reserve lijst) in een aantal tussen stappen weergegeven.

⁹ Het lagere verwijderingsrendement is mede mogelijk lager door de wijze hoe het rendement is berekend. Voor dit onderzoek werd gekeken naar het verwijderingsrendement t.o.v. het influent (ruwe rioolwater) en niet het influent (oploop van de NF inclusief recirculatie). Sommige stoffen worden door de recirculatie opgehoopt en kunnen aan het membraan een hoger rendement hebben of wellicht een nadelig effect hebben op de doorslag van andere stoffen.

AFBEELDING 3.19 CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN IN AFLOOP NF, AFLOOP IX-2 EN RECIRCULATIESTROOM (RETENTAAT) NF



In afbeelding 3.19 is duidelijk te zien dat het membraan voor een aantal stoffen de retentie heel goed is. De relatie tussen de concentratie in de afloop van de DAF en het concentraat kan echter niet gelegd worden omdat gegevens over de concentraties aan microverontreinigingen in de oploop van de NF ontbreken.

CONCENTRATIE-EVENWICHT EN -PLAFOND

Tijdens de pilot is het niet voorgekomen dat de concentratie zo hoog is opgelopen dat er concentraat moest worden afgevoerd, bleed, voor het werkend houden van de installatie. Dit is mogelijk het geval door de relatief grote flotaatproductie waarmee veel zouten zijn aangevoerd. De indamprest is steeds beneden de 4% gebleven terwijl een hoger drogestofgehalte was verwacht. Dit heeft te maken de opgestelde DAF capaciteit ten opzichte van het influentdebiet. Indien bij opschaling en daarmee meer samenhang in capaciteit tussen de verschillende installatieonderdelen bestaat, kan dit nog gaan verbeteren en blijft derhalve een punt van aandacht.

Het bovenstaande hangt ook samen met het ontstaan van een concentratie-evenwicht. Dit concentratie evenwicht zou zich theoretisch binnen enkele uren moeten hebben ingesteld. Gedurende PoC1 bij de kortere looptijden zou dit nog niet het geval kunnen zijn geweest, maar bij PoC2 bestaat het vermoeden dat dit wel geval moet zijn geweest.

3.10.6 ECOTOXICOLOGISCHE RISICO'S

De pilot Waterfabriek2.0 zoals voor de locatie Wilp op rwzi Terwolde is getest is zonder neutralisatie uitgevoerd en ook zonder revitaliseringstap van het behandelde rioolwater. Deze stappen zijn nodig wil een ecotoxicologische test (zoals SIMONI-methodiek) nuttig zijn voor de ecologische beoordeling van het behandelde rioolwater. Gezien de processtappen die het rioolwater ondergaat bij het zuiveren kan gesteld worden dat het gezuiverde water zo schoon is dat het geen ecologische waarde heeft. Neutralisatie is in ieder geval noodzakelijk, maar ecologiseren (mineraliseren) door natuurlijke systemen zoals het helofytenfilter zijn dan nodig.

In dit onderzoek zijn geen ecotoxicologische tests uitgevoerd omdat het productwater daar niet geschikt voor is.

3.11 BEPALING OPERATIONEEL ENERGIEVERBRUIK PILOT

3.11.1 METHODE

In de pilotinstallatie zijn geen elektriciteitsverbruikmeters geplaatst bij de individuele processtappen. Om het energieverbruik te bepalen is een verbruikerslijst van onderdelen opgesteld die de pilotinstellingen zoveel mogelijk benaderen met daarin een aanvulling en vertaling naar de praktijkschaal. Het energieverbruik van de onderdelen zijn bepaald aan de hand opgesteld vermogen, bedrijfstijd en opnamepercentage. De grootste energieverbruikers van de pilotinstallatie zijn de EC- en NF-units. Het energieverbruik van deze processtappen is berekend aan de hand van de procesinstellingen uit de pilot (dus gebaseerd op de pilot resultaten).

In onderstaande paragraaf is de energieconsumptie van de belangrijke energieverbruikers in de pilotinstallatie toegelicht.

ENERGIEVERBRUIK PILOTINSTALLATIE

In de verbruikerslijst die in 2018 voor het RO opgesteld is, bedraagt het energieverbruik van de grootste verbruikers (EC en NF) allebei 0,7 kWh per m³ behandeld (2,5 m³/u influent + 2,5 m³/u recirculaat), waarmee ze samen voor ca. 50 % bijdragen aan het totale energieverbruik (op dag-/jaarbasis) van de Waterfabriek Wilp. Zoals genoemd is het energieverbruik van deze processtappen op de pilot met redelijke nauwkeurigheid te berekenen en dus te toetsen.

Tabel 3.11 presenteert een vergelijking van het energieverbruik van de EC en NF in het RO versus de pilotinstallatie. De berekening van de EC is gebaseerd op de stroominbreng (gemiddeld op pilot van 400 A (300 - 500 A) en het operationele voltage (op pilot 8 V (3 - 12 V)). Het energieverbruik van de NF is berekend op basis van het operationele voedingsdebiet (de statische opvoerhoogte), het recirculatie debiet en de operationele drukval (dynamische opvoerhoogte).

In de pilot zijn 2 membraanstacks geïnstalleerd waarover gerecirculeerd wordt. Het is aangenomen dat het transport van NF concentraat naar de DWA-buffer geen extra energie kost, omdat hier gebruik kan worden gemaakt van restdruk in het concentraat (zo gebeurt het ook in de pilotinstallatie). In bijlage III is het energieverbruik in meer detail weergegeven.

TABEL 3.11

VERGELIJKING VAN ENERGIEVERBRUIK EC & NF IN RO EN PILOTINSTALLATIE (POC) - BEREKEND

Parameter	Eenheid	EC	NF
Energieverbruik RO	kWh/m ³ behandeld water ¹⁰	0,7	0,7
Energieverbruik PoC	kWh/m ³ behandeld water	0,7	0,4

Zoals genoemd is het energieverbruik van de overige onderdelen vastgesteld op basis van het geschatte opgenomen vermogen van de pompen, het aantal draaiuren en de opnamepercentage. In bijlage III is het verbruik opgenomen met daarin het geschatte energieverbruik per onderdeel. Het energieverbruik per m³ vers aangevoerd influent is hierin op eenzelfde methode berekend als de operationele kosten. Het totale (geschatte) verbruik van energie is eerst berekend op dagbasis met behulp van het behandeldebiet. Hierbij is rekening gehouden met een vergrote capaciteit van de EC t/m NF vanwege de lagere NF-recovery ten opzichte van het RO. Vervolgens is het totale energieverbruik gedeeld door het verse influentdebiet om tot een energieverbruik per m³ influent te komen. Het totale energieverbruik van de installatie, inclusief de overige processtappen en pompen, bedraagt zodoende 2,3 kWh per m³ aangevoerd influent.

10 Inclusief recirculatiestroom

ONTWIKKELINGEN TEN AANZIEN VAN ENERGIEVERBRUIK NANOFILTRATIE

Het energieverbruik van de nanofiltratie is lager gebleken dan aangenomen. In hoeverre het energieverbruik representatief is voor de daadwerkelijke praktijkinstallatie is onbekend. Dit heeft te maken met de ontwikkeling van de membranen en de modules waarin ze worden toegepast. De ontwikkeling duidt op een hogere toe te passen druk om daarmee een hogere permeaatflux te creëren. Dit heeft dan als voordeel dat er minder membraan-modules behoeven te worden geïnstalleerd, met echter als nadeel dat door de verhoogde druk het energieverbruik zal toenemen. Daarnaast speelt de omvang van de recirculatie en de gewenste stroomsnelheid door de modules een grote rol. Deze kunnen op basis van ervaringen of met een andere basisdruk het energieverbruik fors beïnvloeden.

3.12 OVERIGE OPERATIONELE ASPECTEN

3.12.1 PE-AANMAAK

De aanmaak en daarmee de kwaliteit van het gedoseerde PE is een aandachtspunt. In de pilot werd gewerkt met handgemaakte batches. Dit heeft invloed gehad op de kwaliteit (concentratie en standtijd) van het PE en daarmee op de werking. In de praktijkinstallatie zal dit beter zijn vanwege een goede en geautomatiseerde aanmaakinstallatie.

3.12.2 NF-SKID

Achteraf blijkt dat de keuze van schakeling en het aantal membranen mogelijk optimalisatieruimte heeft. In de pilot werden de 2 sets van 2 in serie staande membranen parallel bedreven. Hierdoor was de recovery laag, 50%, en kon maar relatief weinig ruw rioolwater worden behandeld. Mogelijk had beter gewerkt kunnen worden met alle membranen parallel geschakeld.

3.12.3 IX1 EN IX2

De besturing van de IX was te beperkt uitgevoerd en ingezette regeneratievaten te groot ten opzichte van de harsvolumina. Daarnaast is op 'safe' gespeeld, omdat doorslag van ionenwisselaar 1 tot schade kon leiden in ionenwisselaar 2. Hierdoor vielen de concentraties in het regeneraat aan teruggewonnen stoffen tegen. Daarnaast speelde de beschikbare tijd een rol waardoor voor optimalisatie geen tijd meer was.

3.12.4 CAPACITEITSAFSTEMMING

De pilot bestond uit verschillende procesonderdelen die achteraf qua schaalgrootte onvoldoende pasten bij de omvang van de te behandelen waterstroom. Met name de voorbehandeling van het rioolwater voor de NF was overgedimensioneerd. Bij de EC leidde dit tot versnelde vervuiling van de elektrodeplaten omdat de langstroomsnelheid te laag was.

Bij de DAF was de witwaterstroom groot ten aanzien van de aanvoerstroom waardoor er mogelijk sprake was van een suboptimale afscheiding van de onopgeloste bestanddelen.

3.13 CHEMICALIËNVERBRUIK PILOT

In tabel 3.13 staan per gebruikte chemicalie de verbruiken weergegeven. De verbruiken zijn teruggerekend naar 100% product.

TABEL 3.12 CHEMICALIËNVERBRUIK PILOTINSTALLATIE

Hulpstof	Processtap	Verbruik	Behandeld waterdebiet	Kengetal verbruik	Bron
		kg/d	m ³ /d	kg/m ³ behandeld	
FeCl ₃ 100%	Flocculator	31,9	120	0,0041	1,9 l FeCl ₃ (20%)/uur bij 5 m ³ /h
Anionisch PE	Flocculator	0,1	120	0,0005	Obv pilot instellingen 6 l PE/uur (oplossing 0.5 g/l PE)
NaOH (100%)	NF	0,3	120	0,0021	o.b.v. pilotinstellingen: - debiet NaOH-pomp reiniging NF = 7,5 l/u - tijdsduur dosering reiniging NF = 70 sec - massaconcentratie NaOH = 33% - elke 8 uur reiniging NF
zwavelzuur (100 %)	NF	3,6	120	0,0301	o.b.v. pilotinstellingen: - debiet H ₂ SO ₄ -pomp reiniging NF = 0,375 l/u - tijdsduur dosering reiniging NF = 70 sec - massaconcentratie H ₂ SO ₄ = 37% - elke 8 uur reiniging NF - debiet in-line dosering H ₂ SO ₄ = 375 ml/u
zwavelzuur (100 %)	IX-2	36,5	120	0,4003	o.b.v. vertaling inzichten pilot naar praktijk; toegelicht in hoofdstuk 3.2
natriumhypochloriet (100%)	NF	0,1	120	0,0006	o.b.v. pilotinstellingen: - debiet NaOCl-pomp reiniging NF = 6 l/u - tijdsduur dosering reiniging NF = 70 sec - massaconcentratie NaOCl = 12,5% - elke 8 uur reiniging NF
citroenzuur (100 %)	NF	0,150	120	0,0013	o.b.v. pilotbedrijfsvoering: - concentratie citroenzuur = 25 kg 100% citroenzuur per m ³ - volume = 4 modules * 18 L watervolume/module * 1,25 veiligheidsfactor - elke maand 2 x citroenzuurreiniging
zoutzuur (100 %)	IX-1	5,8	120	0,0633	o.b.v. vertaling inzichten pilot naar praktijk; toegelicht in hoofdstuk 3.2

Het aantal chemicaliën is toegenomen ten aanzien van wat was uitgewerkt in het referentie ontwerp. Zo blijkt dat er voor de vlokvorming toch PE nodig is. Daarnaast is er FeCl_3 ingezet in plaats van vast ijzer (keuze om voor de PoC_2 geen gebruik te maken van de EC). Het totale verbruik is binnen de voorafgestelde KPI voor de pilot gebleven. Echter, het aantal en de benodigde hoeveelheid chemicaliën is t.o.v. een conventioneel actiefslibstelsysteem aanzienlijk.

Zoals al eerder aangegeven is het verbruik van ijzer in de EC hoger dan alleen het verbruik aan ijzer dat gedoseerd moet worden voor de vlokking en fosfaat binding. Dit komt doordat de ijzerelektroden niet volledig op gedoseerd kunnen worden, maar eerder moeten worden vervangen. Het restant aan ijzerelektroden is ook een verbruik, niet nuttig, en dient meege- genomen te worden bij de berekening van de CO_2 -voetafdruk. Tijdens de pilot is niet mogelijk gebleken om die rest hoeveelheid ijzer vast te stellen. Hier zal bij de CO_2 -voetafdruk een aanname voor worden gedaan.

3.14 GELEERDE LESSEN

3.14.1 PILOTOPSTELLING

Het concept Waterfabriek2.0 zoals ontwikkeld voor de locatie Wilp bestaat uit procesprincipes die individueel al zijn uitgewerkt en toegepast maar nog niet in een aaneenschakeling met als toepassing directe behandeling van rioolwater. Vanwege deze toepassing en het nieuwe capillaire nanomembraan is besloten om het concept eerst op pilotschaal te beproeven. Maar zoals altijd speelt geld daarbij een rol. Dit heeft invloed gehad op de uiteindelijk samenge- stelde en gerealiseerd pilot installatie.

Bij het uitwerken van de pilot is gekozen om een pilot uit te voeren met een hydraulische capaciteit van $5 \text{ m}^3/\text{h}$. De membraanmodule is hiervoor specifiek gebouwd. Besloten is de ionenwisseling te splitsen in twee stappen: 1 voor de verwijdering van hogere valente positieve ionen en 1 voor de verwijdering van NH_4 . Vanwege deze extra stap is gekeken naar welke capaciteit benodigd is om de werking van deze installatie onderdelen aan te tonen. Die kon kleiner en heeft geresulteerd in een capaciteit van respectievelijk 2 en $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Hiermee kon een besparing worden behaald. Ook dit procesonderdeel is specifiek voor de pilot gebouwd. Voor de overige onderdelen is gekeken naar wat er op de markt beschikbaar was. Dit heeft ertoe geleid dat de fijnzeef, EC en DAF overgedimensioneerd waren ten opzichte van de benodigde capaciteit. Dit heeft met name voor EC tot problemen geleid die een goede bedrijfsvoering in de weg stond. Door de lage langstroomsnelheid vervuilden de elektroden snel en dienden deze sneller te worden vervangen. Bij de DAF resulteerde dit in een lage hoeveelheid drogestof in het flotaat en een groter volume dan gewenst.

Hoewel de ionenwisselaars specifiek zijn gebouwd voor de pilot, bestond de regeneratie opstelling uit bestaande installatieonderdelen, zoals een IBC, die voor het verkrijgen van inzicht in de concentraties in de regeneratievloeistof te groot waren.

Het pilotonderzoek heeft dus aangetoond dat het gebruikte concept van fysisch chemisch zuiveren zoals Waterfabriek2.0 is opgebouwd werkt, maar dat door de ingezette capaciteiten het inzicht op de vrijkomende grondstoffen beperkt bleef. Waarbij met name het inzicht in de haalbaarheid van een hoge concentratie aan NH_4 in de regeneratiestroom van belang is voor de potentie van dit concept. Hiermee wordt namelijk de kans op het hergebruik of de afzet van deze stroom sterk beïnvloed.

3.14.2 VOLGENDE STAP

De volgende stap is het opschalen van de installatie naar een capaciteit van 50 m³/h aan rioolwater. Voor de eerste procesonderdelen zal dit geen probleem zijn. Inclusief de interne stromen en de recirculatie van het concentraat zal dan een totale hydraulische capaciteit van 80-100 m³/h nodig zijn. Dit komt dan overeen met de capaciteit waar deze onderdelen voor zijn ontworpen.

Voor de membraanmodule zal deze opschaling wel gevolgen hebben. Met name zal aandacht besteed moeten worden aan de opstelling en de mogelijke toe te passen reinigingsprincipes. Vooral de luchtspoeling zal aandacht vragen bij een groot aantal membraanmodules.

3.14.3 EC

In de opgeschaalde versie van de pilot zal nog steeds een EC aanwezig zijn. Om de werking van de EC te verbeteren zal ozon worden gedoseerd. Dit om ervoor te zorgen dat het opgeloste ijzer van de elektroden in de juiste valentie beschikbaar komt. Mogelijk zal dit er ook voor zorgen dat beter ingespeeld wordt op de variaties in influentsamenstelling.

3.14.4 RIOOLWATERTEMPERATUUR EN -KWALITEIT

Een aandachtspunt van de eerste straat zal zijn de invloed van de watertemperatuur op de permeabiliteit van het membraan. Het doel is om met de eerste straat na realisatie en opstart 2,5 jaar onderzoek te doen. Tijdens de pilot onderzoek is dit onvoldoende naar voren gekomen door de ombouw van de pilot in de winterperiode naar de installatie voor PoC2 en een warme winter. Gedurende de onderzoeksperiode van 2,5 jaar zou het derhalve mooi zijn dat er een natte koude winter komt.

Een andere onderzoeksvraag gerelateerd aan de temperatuur is de aanwezigheid van BZV in het effluent door de vorming van lagere vetzuren in het rioolstelsel bij hogere temperaturen. De lagere vetzuren zijn klein hebben een te laag molecuulgewicht om te worden tegengehouden door het membraan. Het onderzoek naar lagere vetzuren kan dan inzicht geven in de samenstelling van de CZV en BZV in de verschillende tussenstappen en de invloed van de processtappen op de verwijdering van deze stoffen.

Een onderzoeksvraag voor de nieuwe installatie zal zijn het toepassingsbereik vast te stellen. Hiermee wordt bedoeld in hoeverre blijft de installatie nog goed en bedrijfszeker werken indien er sprake is van zeer sterk verdund rioolwater en hoe gevoelig de installatie is voor variaties in de rioolwatersamenstelling.

4

ONTWERP EN OPSCHALING 100.000 I.E. WATERFABRIEK2.0

4.1 ONTWERPGRONDSLAGEN WATERFABRIEK2.0 WILP EN 100.000 I.E. WATERFABRIEK2.0

Voor het vergelijken van de verschillende concepten voor de verwijdering van microverontreinigingen wordt een referentie rwzi met een capaciteit van 100.000 inwonerequivalenten (i.e.) gehanteerd. Deze 100.000 i.e. wordt in twee stappen bereikt. In eerste instantie is een ontwerp gemaakt van de Waterfabriek2.0, waarvoor dimensioneringsgrondslagen voor de verschillende installatie onderdelen zijn gehanteerd. Deze grondslagen zijn daar waar voldoende ervaring en inzicht van de pilot Waterfabriek2.0 zoals getest voor locatie Wilp (ontwerpcapaciteit 17.400 - 23.100 i.e.) aangepast. Het ontwerp van Waterfabriek2.0 is vervolgens opgeschaald naar de referentie grootte van 100.000 i.e.

4.1.1 ONTWERPEISEN EN UITGANGSPUNTEN

In tabel 4.1 staan de uitgangspunten voor het ontwerp van Waterfabriek2.0 voor schaal-grootte locatie Wilp en de referentie rwzi. In tabel 4.2 en 4.3 staan respectievelijk de effluent eisen voor de macro-parameters en de zware metalen.

TABEL 4.1 INSTALLATIE UITGANGSPUNTEN ONTWERP WATERFABRIEK2.0 VOOR LOCATIE WILP EN REFERENTIE RWZI WATERFABRIEK2.0

Parameter	Eenheid	Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp	Referentie rwzi Waterfabriek2.0
Ontwerpcapaciteit	i.e. (150 g TZV)	17.400 - 23.150	100.000
Aanvoer communaal	m ³ /d	2.100	12.600 ²
Aanvoer separaat bedrijfsafvalwater	m ³ /d	600	Nvt
Volume per dag	m ³ /d	3.500 ¹	21.000
DWA	m ³ /h	87,5	525
DWA-piek	m ³ /h	n.v.t.	n.v.t.(900)
Ontwerp DWA-piek	m ³ /h	n.v.t.	n.v.t.(1.040)
Minimale hydraulische capaciteit aanvullende zuivering	m ³ /h	n.v.t.	n.v.t.(1.040)
Aanvoer bedrijfsafvalwater	m ³ /h	25	Nvt
RWA	m ³ /h	600	3.200 ³
Onopgeloste bestanddelen	kg/d	1040	5.200
CZV	kg/d	1774	11.000
BZV	kg/d	619	4.400
Kj-N	kg/d	159	1.000
P-totaal	kg/d	25	160

¹ Uitgaande van een jaaraanvoer van 1.250.000 m³ (inclusief regen)

² Gelijke RWA/DWA-verhouding genomen als Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp

³ Gelijke RWA/DWA Waterfabriek2.0 Wilp, maar door grotere rwzi 16 uur/dag aanvoer (12.600/16*4)

TABEL 4.2 EFFLUENTEISEN VAN DE TECHNISCHE INSTALLATIE VAN DE WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWIKKELD VOOR LOCATIE WILP

Parameters	Eenheid	Lozingseis
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	≤ 3 ⁰
CZV	mg/l	≤ 125 ⁰
BZV	mg/l	≤ 20 ⁰
P-totaal	mg/l	≤ 0,15 ⁰
N-totaal	mg/l	≤ 4,8 ⁰
NH ₄ -N	mg/l	≤ 1,0 ⁰

¹⁾ Individuele eis.; ²⁾ Periode gemiddelde eis; ³⁾ Jaargemiddelde eis.

TABEL 4.3 EFFLUENTEISEN METALEN VOOR DE WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWIKKELD VOOR LOCATIE WILP

Parameters	Eenheid	JG-MKN*
Cadmium	µg/l	0,08
Chroom	µg/l	3,4
Koper	µg/l	2,4
Lood	µg/l	1,2
Nikkel	µg/l	4,0
Zink	µg/l	7,8
Kwik	µg/l	0,00007
Arseen	µg/l	0,5

Jaargemiddelde MilieuKwaliteitsNorm

Het Ministerie van I&W is bezig met het opstellen van een lijst van 11 gidsstoffen waarvan het gemiddelde verwijderingsrendement voor een selectie van 7 van deze 11 gidsstoffen minimaal 70% dient te zijn. De selectie van gidsstoffen en het verwijderingspercentage zijn nog volop in ontwikkeling. Naast de genoemde 11 gidsstoffen zijn er nog een achttal reserve stoffen die mogelijk op de lijst kunnen komen te staan.

Om deze reden is vastgesteld dat er in de Waterfabriek2.0 tenminste een 80% verwijderingsrendement moet worden behaald voor een selectie 7 van de 11 gidsstoffen zoals gedefinieerd door het Ministerie van I&W (zie hoofdstuk 3). De verwijdering wordt conform de eisen vanuit het Ministerie van I&W bepaald over de gehele Waterfabriek (effluent t.o.v. influent) in 24- of 48-uurs tijdsproportionele monsters. Per meetmoment mag de selectie te verwijderen gidsstoffen anders zijn, daarom is niet vastgelegd wat de exacte verwijderingsrendementen per gidsstof moeten zijn.

4.1.2 OVERIGE ONTWERPEISEN

BEHANDELING RIOOLWATER: COMMUNAAL EN INDUSTRIEEL

Op de Waterfabriek2.0 locatie Wilp wordt het rioolwater aangevoerd met twee stromen. Eén stroom bestaat uit communaal rioolwater en bij DWA doorloopt dit rioolwater alle aanwezige procesonderdelen. Bij RWA wordt de first flush gebufferd en het teveel wordt gebypassed naar het helofyten filter.

De andere stroom betreft het afvalwater van Attero Wilp en dit wordt met een separate persleiding aangevoerd. Deze stroom dient te allen tijde door alle procesonderdelen te gaan. Deze stroom wordt daarom na passage van een zeefbocht, voor verwijdering van grove delen, in de DWA-buffer gebracht.

ONTVANGWERK, MECHANISCHE ZUIVERING

Vanwege de gevoeligheid van de procesonderdelen voor grove delen is gesteld dat het rioolwater te allen tijde een grofrooster, zand- en vetvanger moet hebben gepasseerd. Om bezinking en ophoping van onopgeloste bestanddelen in de buffer te verminderen dient ook al het rioolwater behandeld te kunnen worden met fijnzeven alvorens te worden gebufferd in de verschillende buffers. Het grofrooster, zand-vetvanger en fijnzeef wordt derhalve uitgelegd op RWA capaciteit. Om te allen tijde te kunnen voldoen aan de afnameverplichting worden deze onderdelen dubbel uitgevoerd.

Het mechanisch voorbehandelde rioolwater wordt in de DWA-buffer opgeslagen om de daggemiddelde afvalwaterproductie over 24 uur te kunnen spreiden. Hiermee wordt de hydraulische capaciteit van de volgende onderdelen kleiner.

DWA-BUFFER LOCATIE WILP

De DWA-buffer dient zo groot te zijn dat het rioolwater over 24 uur per dag kan worden afgevlakt en de technische installatie op een zo gelijkmatig mogelijke hydraulische capaciteit kan draaien.

RWA-BUFFER LOCATIE WILP

De RWA-buffer dient zo groot te zijn dat de inhoud van de persleidingen/first flush volledig kan worden opgevangen. Om in te kunnen spelen op herhalende buien en het verkrijgen van buffercapaciteit dient voor de locatie Wilp per dag 1.000 m³ aan extra water door de technische installatie te kunnen worden behandeld (40 m³/h). Een 100.000 i.e. rwzi dient hier ook rekening mee te houden.

POMPCAPACITEIT

Alle pompen dienen 10% extra capaciteit te hebben ten aanzien van hun ontwerpcapaciteit. Dit om in te kunnen spelen op slijtage en na enige tijd toch te kunnen beschikken over de benodigde capaciteit.

REDUNDANTIE/RESERVESTELLING

Deze fysisch chemische zuivering is nieuw in combinatie van het aantal processtappen voor de behandeling van rioolwater. Daarom is ervoor gekozen om vanaf de DWA-buffer tot aan de afloop van de NF-membranen 4 onafhankelijke straten te realiseren die onafhankelijk van elkaar te bedrijven zijn. Het functioneren van de EC/DAF (FeCl₃)/DAF als voorbehandeling van de Nanofiltratie is door het straten concept losgekoppeld, waardoor de verwachting is dat meer zekerheid is op het beschikbaar hebben van voldoende capaciteit wanneer een straat niet goed blijkt te kunnen functioneren.

Afhankelijk van de opgedane ervaringen kan dit na het opdoen van voldoende praktijkervaring leiden tot een optimalisatie van het aantal straten met eventueel knooppunten waardoor per processtap het aantal objecten kan worden verminderd.

GEUR

Om geuroverlast te beperken zijn alle onderdelen met ruw rioolwater tot aan de DWA-buffer, tussen de afloop nanofiltratie en de ionenwisselaar afgesloten. De diverse onderdelen dienen te worden afgezogen en de afgezogen lucht dient behandeld te worden in geurfilters.

TRANSPORTBEWEGINGEN

De transportbewegingen zijn beperkt tot maximaal 6 dagen per week (maandag tot en met zaterdag).

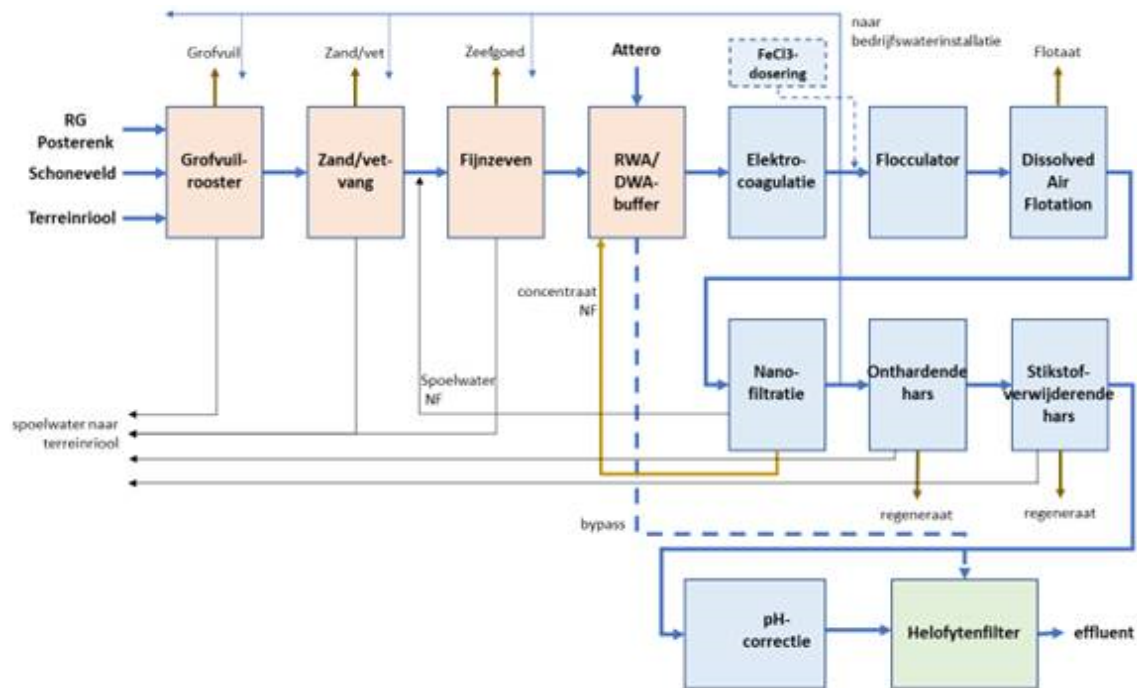
Om deze afvoerbewegingen te beperken mag de omvang van het flotaat niet meer dan drie tankwagens van 36 m³ per dag zijn.

4.2 ONTWERP WATERFABRIEK2.0 VOOR WILP EN REFERENTIE-RWZI FYSISCH CHEMISCH 100.000 I.E.

4.2.1 ZUIVERINGSTREIN

In afbeelding 4.1 is een globaal blokschema van de Waterfabriek2.0 zoals ontworpen voor locatie Wilp opgenomen. In de afbeelding zijn de (interne) water, rest- en spoelwaterstromen gepresenteerd. De waterfabriek kent op hoofdlijnen 3 behandelingsstappen, namelijk de voorbehandeling (lichtbruin), de extractie-installatie (blauw) en het helofytenfilter (groen). De verschillende behandelingsstappen zijn respectievelijk lichtbruin, lichtblauw en lichtgroen gekleurd in afbeelding 4.1. In tabel 4.4 zijn de onderdelen van de Waterfabriek2.0 voor de locatie Wilp en hun functie nader toegelicht.

AFBEELDING 4.1 GLOBAAL BLOKSHEMA VAN DE WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWERPEN VOOR LOCATIE WILP

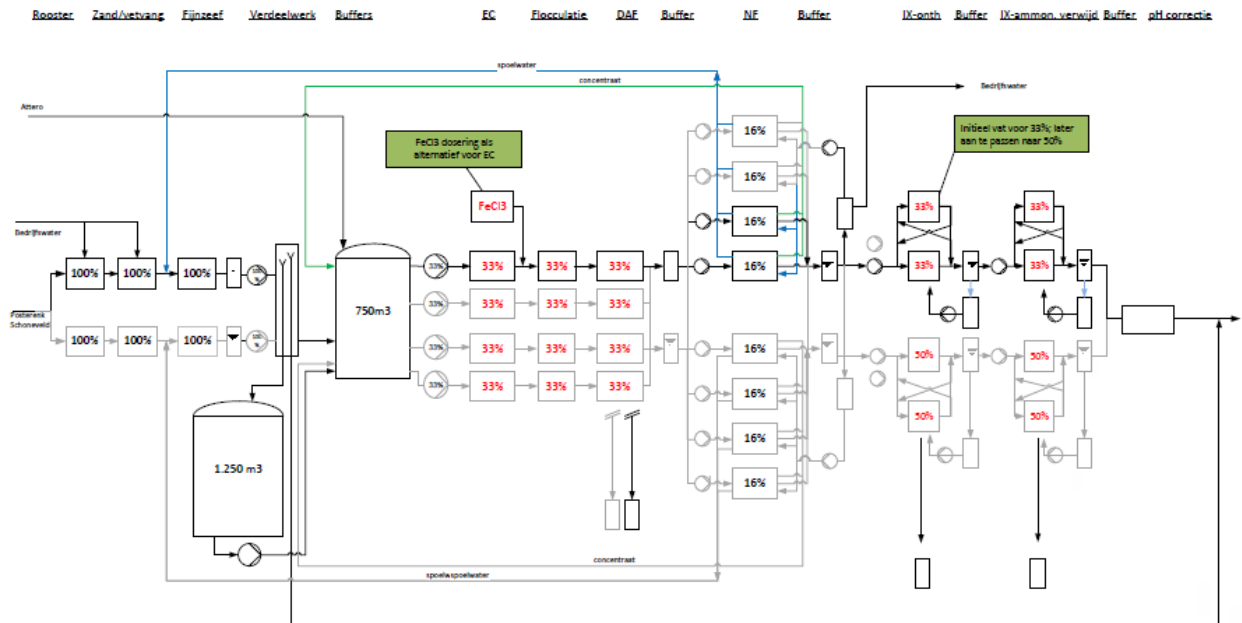


TABEL 4.4 OVERZICHT PROCESONDERDELEN EN HUN FUNCTIES

Onderdeel	Functie
Grofvuilrooster	het verwijderen van roostergoed dat met het rioolwater wordt meegevoerd. De maaswijdte van het grofvuilrooster is 5mm
Zand-/vetvang	het verwijderen van zand en vet, en wassen van zand.
Fijnzeef	Het verwijderen van deeltjes < 0,3mm. Dit is hoofdzakelijk cellulose, afkomstig uit toilet papier, dat kan worden hergebruikt.
Electrocoagulatie (EC)	Het doseren van coagulant door een elektrochemische reactie. De installatie wordt voorbereid voor het later installeren van EC, maar EC wordt in eerste instantie niet gerealiseerd. Bij de EC is ook een beluchting nodig t.b.v. het oxideren van Fe ²⁺ naar Fe ³⁺
IJzer(III)chloride dosering	Het doseren van coagulant
Flocculatie	Het samenklonteren van vlokken, al dan niet met behulp van vlokmiddel, zodat ze in de navolgende stap beter kunnen worden afgescheiden

Onderdeel	Functie
Dissolved Air Flotation (DAF)	Het afscheiden van de vlokken. Hiermee wordt dan ook fosfaat en organische vracht afgescheiden, die later apart kunnen worden opgewerkt om hergebruikt te kunnen worden
Capillaire Nanofiltratie (NF)	Het verwijderen van organische microverontreinigingen en een deel van de 2-waardige ionen. Het concentraat van de NF wordt teruggeleid naar de buffer vóór de coagulatiestap
Ionenwisseling 1 (IX-1)	Het verwijderen van calcium dat nog door de NF is gekomen, ter voorkoming van kalkaanslag op IX-2
Ionenwisseling 2 (IX-2)	Het verwijderen van ammonium. De ammoniumreststroom kan later worden opgewerkt en hergebruikt
Marmerfiltratie (pH-correctie)	Het remineraliseren en aanloggen van effluent van de ionenwisseling. Door filtratie over een bed van kalkkorrels wordt calcium in het water opgelost en stijgt de pH en de buffercapaciteit.

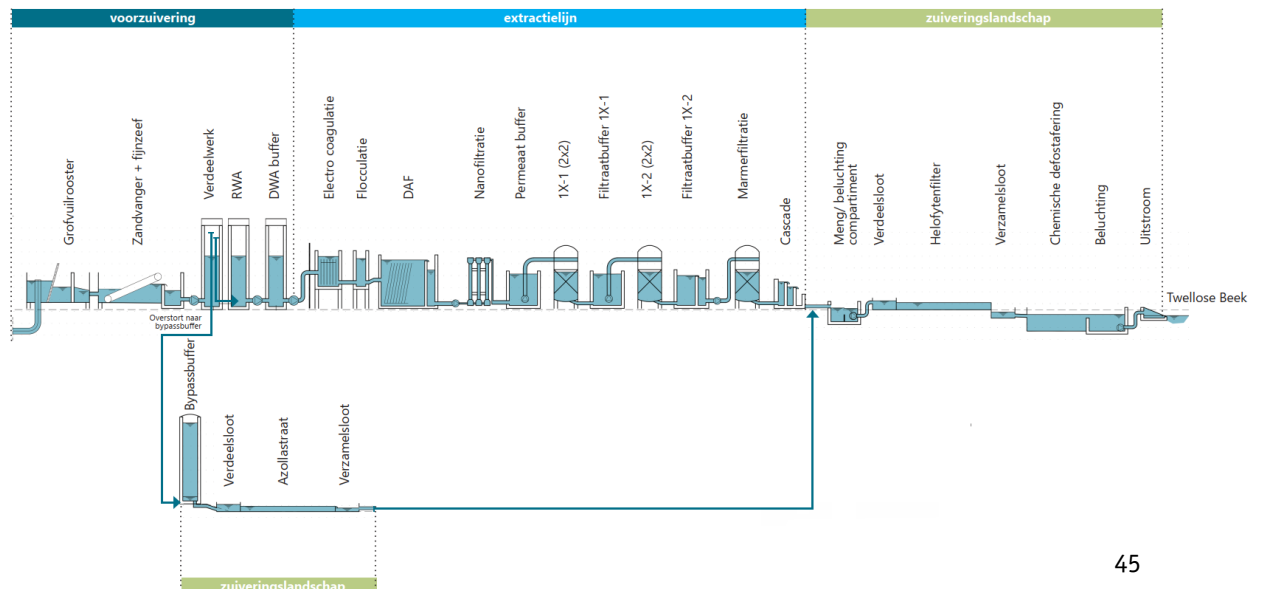
AFBEELDING 4.2 HYDRAULISCH SCHEMA WATEFABRIEK2.0



4.3 STRATENCONCEPT EN GEFASEERDE BOUW

Zoals aangegeven in paragraaf 4.1 is de volgende eis gesteld t.a.v. reservestelling: bij uitval van één ‘unit van een processtap’ dienen de overige units van dezelfde processtap 100% van de ontwerp capaciteit te kunnen verwerken. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het stratenconcept zoals aangegeven in afbeelding 4.3.

AFBEELDING 4.3 BLOKSCHEMA VAN HET STRATENCONCEPT ZOALS ONTWERPEN VOOR LOCATIE WILP



4.4 DIMENSIONERING VAN DE ZUIVERINGSSTAPPEN

Per processtap is in tabel 4.5 aangegeven wat de ontwerpcapaciteit is en de minimum capaciteit. De ontwerpcapaciteit voor locatie Wilp is gebaseerd op een dagaanvoer van 2.100 m³/d. In tabel 4.5 is goed te zien dat de voortrein (Grofvuilrooster, zand-/vetvang, fijnzeef) is uitgelegd op de capaciteit van het aanvoergemaal. Door interne (spoelwater)stromen is de capaciteit van de fijnzeef iets groter dan van de voorgaande twee stappen. Tussen de voortrein en de extractielijn is de dwa-buffer geplaatst, die de debietsvariaties van de voortrein uitvlakt, zodat de capaciteit van de extractielijn kleiner is dan die van de voortrein.

De 24-uur gemiddelde aanvoer naar de Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp bedraagt 158 m³/h. In de extractielijn is een recirculatie vanaf de NF terug naar de electro-coagulatie, hierdoor is de capaciteit van deze onderdelen groter: coagulatie, flocculatie, DAF en NF.

De waterbalans van de Waterfabriek2.0 voor Wilp is als leidraad gebruikt voor de dimensionering van de 100.000 i.e. Waterfabriek2.0. De waterbalans voor deze rwzi is weergegeven in tabel 4.6.

TABEL 4.5 WATERBALANS WATERFABRIEK2.0 VOOR SCHAALGROOTTE LOCATIE WILP PER PROCESSTAP, UITGESPLITST NAAR MAXIMALE EN MINIMALE AANVOER

Parameter	Eenheid	Maximaal	Minimaal	Opmerking
DWA RG Posterenk	m ³ /dag	2.100	700	
Schoneveld	m ³ /dag	52	0	
DWA	m ³ /uur	154	50	
	m ³ /uur	90	29	
RWA	m ³ /uur	520	0	RG Posterenk
	Voeding grofvuilrooster +zandvang			
Spoelwater roostegoed, Zandwasser en fijnzeef	m ³ /uur	20	9	
Ingaand/uitgaand debiet RWA	m ³ /uur	540	n.v.t.	RWA+Schonveld +spoelwater
Ingaand/uitgaand debiet DWA-14 uurs	m ³ /uur	165	59	
	Voeding fijnzeef			
Spoelwater NF	m ³ /uur	18	5	Spoelwater NF van langs-stroomspoeling, drains, chemische reiniging
Ingaand DWA-debiet 14 uurs	m ³ /uur	183	64	DWA-14 uurs
Ingaand debiet RWA	m ³ /uur	558		RWA+Schonveld +spoelwater
Zeefgoed volume	m ³ /uur	0,11 ¹	0.03	
Uitgaand DWA-debiet 14-uurs	m ³ /uur	183	64	minus zeefgoed volumestroom
	Voeding DWA-buffertank			
Ingaand DWA-debiet 14 uurs	m ³ /uur	183	64	
Continue aanvoer Attero (6d/wk)	m ³ /uur	30	0	
Onttrekking RWA-buffer (1000 m ³ /24 uur)	m ³ /uur	40	0	Alleen nodig bij en vlak na RWA
Uitgaand DWA-debiet 24 uur	m ³ /uur	197	43	
	Voeding EC t/m DAF			
Concentraatstroom NF	m ³ /uur	62	13	
Ingaand debiet	m ³ /uur	259	56	Incl. concentraatstroom NF
Flotaatvolume	m ³ /uur	1,3	0,3	
Uitgaand debiet	m ³ /uur	258	56	
	Voeding NF			
Uitgaand debiet langsstroom	m ³ /uur	10	3	
Totaal ingaand debiet	m ³ /uur	248	53	Minus langstroomspoelwater
Uitgaand debiet drainwater	m ³ /uur	4	1	
Totaal uitgaand debiet	m ³ /uur	182	39	Minus drainwater en concentraat

Parameter	Eenheid	Maximaal	Minimaal	Opmerking
Uitgaand debiet naar bedrijfsinstallaties	m ³ /uur	20	9	
	Voeding IX (beide harsen)			
Uitgaand verdunningswatervolumestroom	m ³ /uur	4	1	
Totaal ingaand debiet	m ³ /uur	158	29	
Regenerant- en spoelwatervolume	m ³ /uur	1,1	0,2	
Totaal uitgaand debiet	m ³ /uur	157	29	
	Totaal technische installatie			
Totaal waterverlies	m ³ /uur	2,6	0,6	Zeefgoed, flotaat en regeneraat
Totaal waterverlies	%	1,6	1,8	
Marmerfilter	m ³ /uur			

¹ Indien één procesunit buiten bedrijf is en de andere procesunit het hele voedingsdebiet behandeld wordt het volume zeefgoed/flotaat groter door het lagere drogestofgehalte van de reststromen

² Gecorrigeerd naar gemiddeld dagdebiet over 24 uur bij DWA-belasting

³ Het bedrijfswater wordt afgetapt na de nanofiltratie. Dit water is schoon genoeg om als bedrijfswater gebruikt te worden. Het IX-effluent is schoner, maar te corrosief om te gebruiken als bedrijfswater.

TABEL 4.6 WATERBALANS WATERFABRIEK2.0 OP SCHAAL 100.000 I.E. PER PROCESSTAP, UITGESPLITST NAAR MAXIMALE EN MINIMALE AANVOER

Parameter	Eenheid	Maximaal	Minimaal	Opmerking
	Uitgangspunten			
DWA	m ³ /dag	12.600	6.300	
DWA	m ³ /uur	788	394	
	m ³ /uur	525	263	
RWA	m ³ /uur	3.200	0	
	Voeding grofvuilrooster +zandvang			
Spoelwater roostergoed, Zandwasser en fijnzeef	m ³ /uur	50	35	
Ingaand/uitgaand debiet RWA	m ³ /uur	3.250	n.v.t.	
Ingaand/uitgaand debiet DWA-16 uren	m ³ /uur	575	429	
	Voeding fijnzeef			
Spoelwater NF	m ³ /uur	108	54	Spoelwater NF van langs-stroomspoeling, drains, chemische reiniging
Ingaand DWA-debiet 16 uren	m ³ /uur	683	483	DWA-16 uren
Ingaand debiet RWA	m ³ /uur	3.400		
Zeefgoed volume	m ³ /uur	0,66	0,33	
Uitgaand DWA-debiet 16-uren	m ³ /uur	682	482	minus zeefgoed volumestroom
	Voeding DWA-buffertank			
Ingaand DWA-debiet 16 uren	m ³ /uur	682	482	
Onttrekking RWA-buffer (6000 m ³ /24 uur)	m ³ /uur	250	0	Alleen nodig bij en vlak na RWA
Uitgaand DWA-debiet 24 uur	m ³ /uur	882	316	
	Voeding EC t/m DAF			
Concentraatstroom NF	m ³ /uur	221	79	
Ingaand debiet	m ³ /uur	1.103	395	Incl. concentraatstroom NF
Flotaatvolume	m ³ /uur	6	1	
Uitgaand debiet	m ³ /uur	1097	394	
	Voeding NF			
Uitgaand debiet langsstroom	m ³ /uur	40	25	
Totaal ingaand debiet	m ³ /uur	1.057	369	Minus langstroomspoelwater
Uitgaand debiet drainwater	m ³ /uur	16	4	

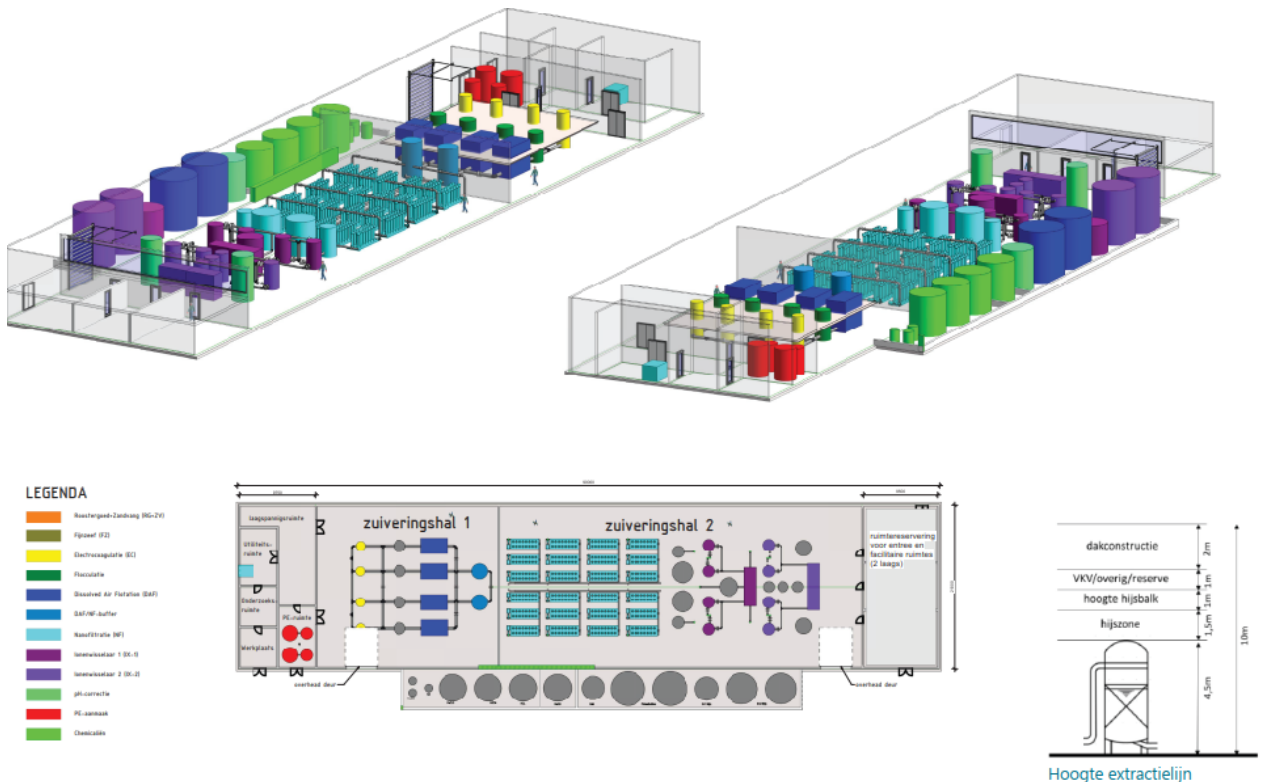
Parameter	Eenheid	Maximaal	Minimaal	Opmerking
Totaal uitgaand debiet	m ³ /uur	820	286	Minus drainwater en concentraat
Uitgaand debiet naar bedrijfsinstallaties	m ³ /uur	80	36	
Voeding IX (beide harsen)				
Uitgaand verdunningswatervolumestroom	m ³ /uur	16	4	
Totaal ingaand debiet	m ³ /uur	724	246	
Regenerant- en spoelwatervolume	m ³ /uur	4,5	1	
Totaal uitgaand debiet	m ³ /uur	720	245	
Totaal technische installatie				
Totaal waterverlies	m ³ /uur	11,2	2,3	Zeefgoed, flotaat en regeneraat
Totaal waterverlies	%	1,3%	0,7%	
Marmfilter	m ³ /uur			

¹ Indien één procesunit buiten bedrijf is en de andere procesunit het hele voedingsdebiet behandeld wordt het volume zeefgoed/flotaat groter door het lagere drogestofgehalte van de reststromen

² Gecorrigeerd naar gemiddeld dagdebiet over 24 uur bij DWA-belasting

³ Het bedrijfswater wordt afgetapt na de nanofiltratie. Dit water is schoon genoeg om als bedrijfswater gebruikt te worden. Het IX-effluent is schoner, maar te corrosief om te gebruiken als bedrijfswater.

AFBEELDING 4.4 MODULAIR FLEXIBEL EN UITBREIDBAAR STRATENCONCEPT VOOR WATERFABRIEK2.0 LOCATIE WILP (17.400 - 23.150 I.E.)



4.5 BESCHRIJVING VAN HET HELOFYTENFILTER

Een conceptuele weergave van het ecologiserende helofytenfilter is weergegeven in afbeelding 4.5. Afbeelding 4.6 schets het ontwerp voor de locatie Wilp.

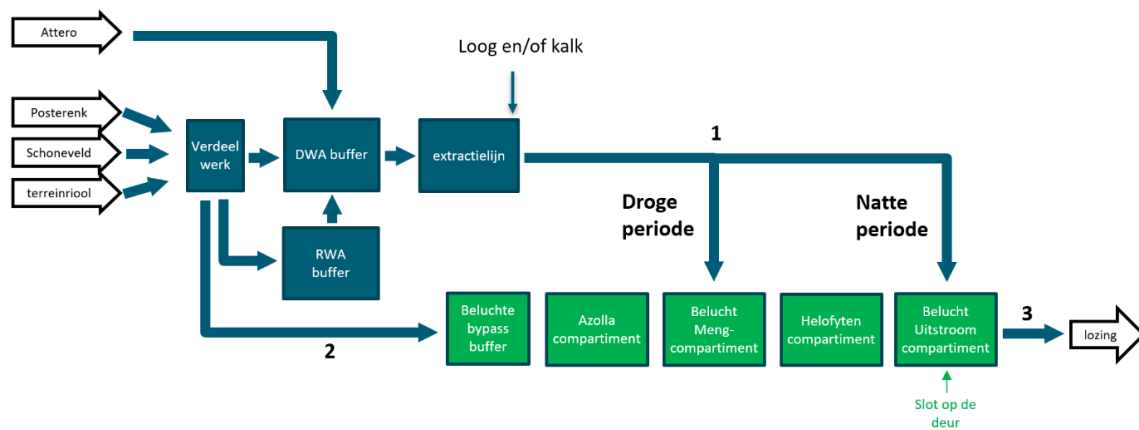
4.5.1 ZUIVERING VAN HET RWA-WATER

Het RWA-water moet biologisch gezuiverd worden om de nutriëntconcentraties te verlagen. Dit gebeurt in twee compartimenten. Het eerste compartiment wordt ingericht met planten/materiaal voor snelle opname van fosfaat en het tweede compartiment is een

heloftytencompartiment. Als zogenaamd 'slot op de deur' is een chemische defosfatering opgenomen. Verder vindt er tussentijdse beluchting plaats. De verschillende stappen worden hieronder nader toegelicht (en in meer detail in de systeemkeuze heloftytenfilter).

- De bypassbuffer is gedimensioneerd om een zo constant mogelijke belasting te verkrijgen van de navolgende stappen (systeemkeuze heloftytenfilter, tabel 4.2). Daarbij is een evenwicht gezocht tussen grootte van de buffer en de frequentie van mogelijke overbelasting. Met de gekozen buffergrootte van 2.000 m³ vindt naar schatting ca. 6x per jaar een overbelasting op van de navolgende stappen (en dus een minder vergaande zuivering). Ter illustratie: om overbelasting helemaal te voorkomen zou ófwel het heloftytenfilter zodanig groot moeten worden gedimensioneerd dat het niet meer op het beoogde terrein zou passen (ca. 2,5x zo groot), ofwel de bypassbuffer zou een volume moeten hebben van ca. 5.000 m³.
- Het 1^{ste} compartiment is bedoeld ter verwijdering van fosfaat. Door de fosfaatverwijdering bovenstrooms van het heloftytencompartiment uit te voeren, wordt voorkomen dat er vaak groot onderhoud op het heloftytencompartiment moet worden uitgevoerd (waar P niet kan worden teruggewonnen en op termijn dus P-ophoping zal optreden). Het heloftytencompartiment is bedoeld om ammonium en eventueel restfosfaat te verwijderen. Dit gebeurt door opname in het groeiende riet en door opname in de bodem. Onderhoud aan het heloftytencompartiment betreft het maaien van riet en het periodiek (eenmaal per meerdere jaren) het vervangen van de complete bodem. Deze vervangingsfrequentie wordt zo veel mogelijk beperkt door de meeste P in het 1e-compartiment af te vangen. De inrichting van dit compartiment dient nog nader uitgewerkt te worden in het Definitief ontwerp.
- Na het heloftytencompartiment is wederom een beluchting opgenomen om er voor te zorgen dat het water dat uiteindelijk voor locatie Wilp in de Twellose beek terecht komt voldoende zuurstof bevat voor een goed functionerend ecosysteem in de Twellose beek.
- Vlak na aanleg zal de fosfaatverwijdering nog beperkt zijn doordat met name het heloftytenfilter de tijd nodig heeft om zich goed te ontwikkelen, en daarom is er ook een chemische defosfatering opgenomen. Hier wordt ijzerchloride gedoseerd, waardoor het fosfaat kan binden en bezinken in het betreffende compartiment. De chemische defosfatering kan ook dienen als 'slot op de deur' voor het geval de biologische fosfaatverwijdering in het 1e compartiment en heloftytencompartimenten (bijvoorbeeld in extreme condities) onvoldoende plaatsvindt.

AFBEELDING 4.5 HET VASTGESTELDE ZUIVERINGSCONCEPT VOOR DE HELOFTYTFILTER (GROENE ONDERDELEN) BIJ WATERFABRIEK2.0 VOOR LOCATIE WILP. STROOM 1 IS WATER UIT DE EXTRACTIELIJN VAN DE WATERFABRIEK, STROOM 2 IS BYPASS-WATER EN STROOM 3 IS HET UITEINDELIJKE EFFLUENT WAARMEE DE TWELLOSE BEEK WORDT GEVOED



4.5.2 ZUIVERING VAN HET WATER UIT DE EXTRACTIELIJN

Het water uit de extractielijn dient mogelijk voorzien te worden van sporenelementen en van zuurstof. De beluchting vindt plaats in het compartiment waar het water wordt toegevoegd. In droge periodes wordt het water uit de extractielijn vóór het helofytencompartiment toegevoegd. In het helofytencompartiment worden dan de sporenelementen op orde gebracht. Om overdimensionering te voorkomen is ervoor gekozen om in natte periodes het water uit de extractielijn ná het helofytencompartiment toe te voegen. Door menging is ook in die condities de waterkwaliteit afdoende.

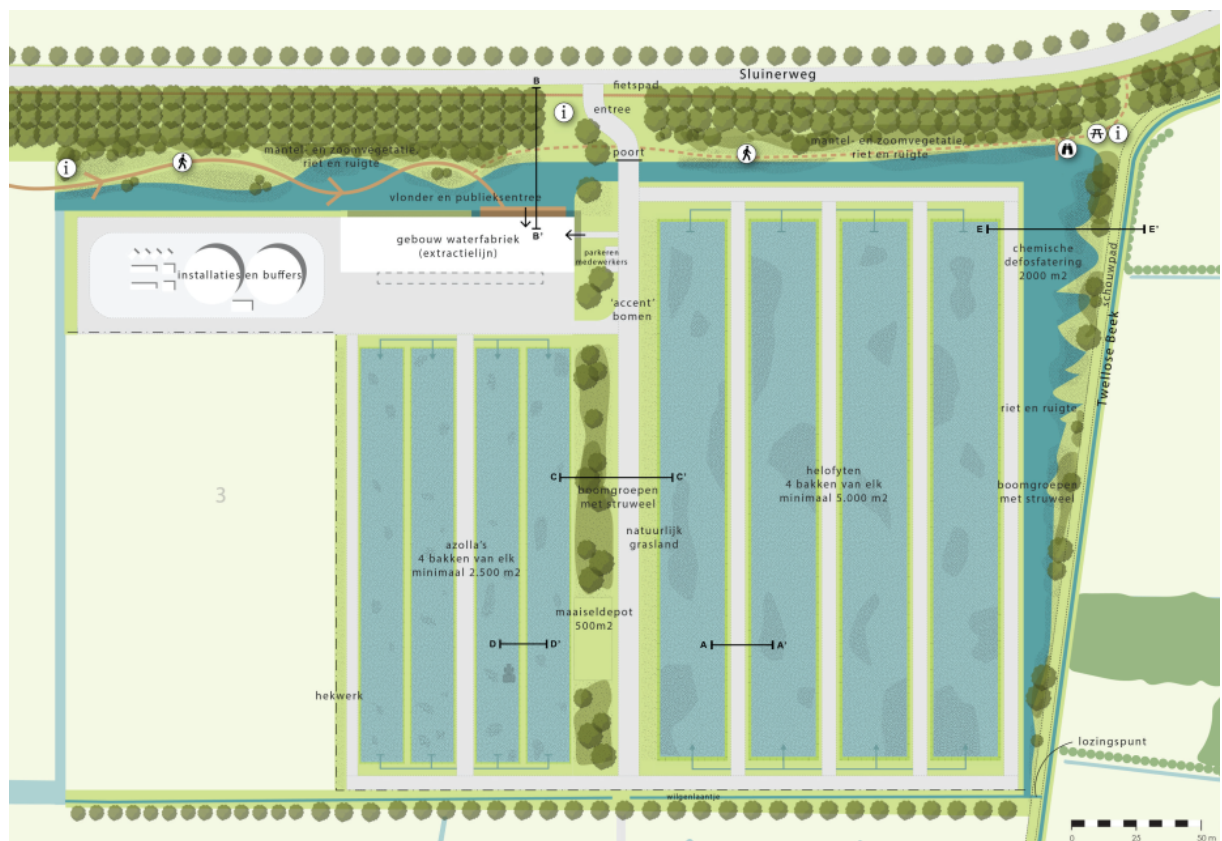
4.5.3 DIMENSIONERING

De dimensionering heeft plaatsgevonden op basis van de vereiste verwijderingspercentages, de hydraulische belasting en uitgevoerde proeven met de uitvoering van het Biocascade-helofytensysteem bij de Radboud Universiteit in Nijmegen. Randvoorwaarde voor de dimensionering was het beschikbare oppervlak. In samenhang met de dimensionering van de bypassbuffer (zie hiervoor in dit hoofdstuk), heeft dit geleid tot de volgende netto oppervlakken (zie ook afbeelding 4.6):

- 1e compartiment: 1 ha
- Helofytencompartiment: 2 ha
- Chemische defosfatering: 0,25 ha

De bruto dimensionering is groter, doordat er sprake is van taluds.

AFBEELDING 4.6 INRICHTING WATERFABRIEK2.0 LOCATIE WILP MET HELOFYTENVELDEN VOLGENS BIOCASCADE



5

DUURZAAMHEID MET BEPALING CO₂-EMISSIE EN MILIEUKOSTENINDICATOR

5.1 WERKWIJZE EN VARIANTEN

De Waterfabriek2.0 wijkt af van de andere systemen die in het IPMV met elkaar worden vergeleken voor de verwijdering van microverontreinigingen. De overige IPMV-systemen zijn meestal nageschakelde technieken of technieken die aanvullend zijn op het bestaande actiefslibstelsysteem. Het concept Waterfabriek2.0 is een complete vervanging van het actiefslibstelsysteem en nabehandeling voor nutriënten organische microverontreinigingen waardoor voor de CO₂-footprintvergelijking van zowel de Waterfabriek2.0 als het conventionele actiefslibstelsysteem met en zonder nabehandeling (GAK) een CO₂-footprint berekend dient te worden. De berekening van CO₂-footprint is uitgevoerd door Witteveen+Bos en RHDHV¹¹. De rapportage van deze CO₂-inimpactanalyse is samengevat in dit hoofdstuk. Voor het vergelijken van de CO₂-footprint van een Waterfabriek2.0 met die van een conventionele rwzi zijn een viertal varianten met elkaar vergeleken.

In dit onderzoek worden vier varianten met elkaar vergeleken op basis van CO₂-impact:

1. het referentie variant van 100.000 i.e.'s, de conventionele rwzi;
2. het referentie variant van 100.000 i.e.'s inclusief (nageschakelde) vergaande N+P verwijdering en verwijdering van microverontreinigingen;
3. Waterfabriek2.0 Wilp opgeschaald naar 100.000 i.e.'s op basis van behaalde pilotresultaten;
4. Waterfabriek2.0 full scale 100.000 i.e.'s op basis van een realistisch ontwerp en verbeteringsmaatregelen.

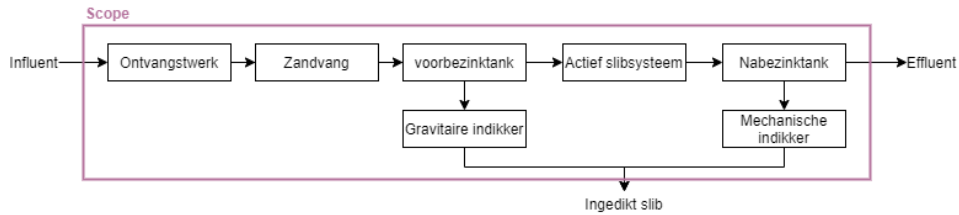
De referentievarianten (1 en 2) zijn opgebouwd op basis van vergelijkbare rwzi's en bijbehorende uitgangspunten die zijn geanalyseerd in praktijkprojecten zoals Circulair ontwerp rwzi Terwolde (Waterschap Vallei en Veluwe) en Asset Life Cycle Management project 5 rwzi's (Waterschap Hollandse Delta).

5.1.1 VARIANT 1 EN 2 RWZI CONVENTIONEEL ZONDER EN MET NABEHANDELING

De scope van de conventionele referentie variant omvat alle processen en installaties binnen de rwzi. De mogelijke waarde van ingedikt slib wordt niet meegenomen, evenals de aanvoer van het influent en afvoer van het effluent wordt buiten de scope gehouden. In afbeelding 5.1 is de scope van de conventionele variant weergegeven.

¹¹ CO₂-inimpactanalyse Waterfabriek Wilp, 129505/22-010.991-rap d.d. 22 juli 2022

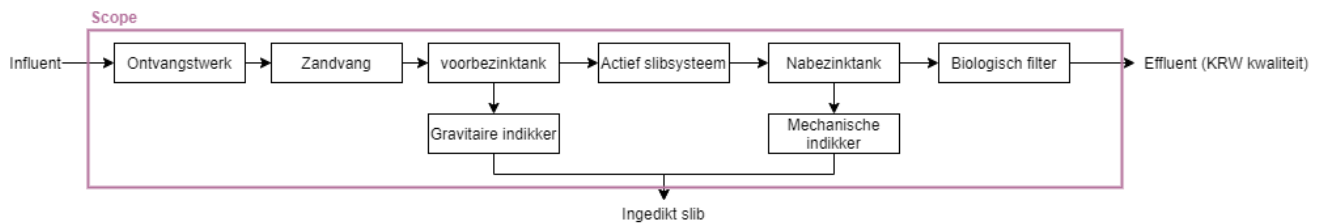
AFBEELDING 5.1 SCOPE VAN DE CONVENTIONELE REFERENTIE RWZI (VARIANT 1)



Variante 2 is gelijk aan variant 1 maar met extra behandelingstap om betere effluentkwaliteit te behalen die richting de KRW-eisen voor oppervlaktewater gaat. De uitbreiding betreft een GAK-installatie voor extra N en P-verwijdering gebaseerd op een fictieve Waterfabriek2.0 (gebaseerd op het Asset Life Cycle Management (ALM) variant voor de rwzi Hellevoetsluis van Waterschap Hollandse Delta).

Slijbgisting, biogaslijn en slijbontwatering van buiten deze scope.

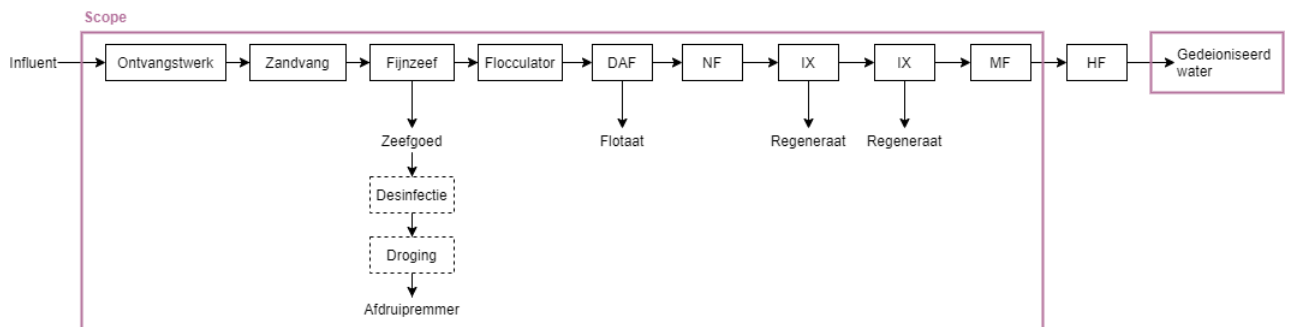
AFBEELDING 5.2 SCOPE VAN CONVENTIONEEL REFERENTIE RWZI + CHEMISCH-BIOLOGISCHE GAK (VARIANT 2)



5.1.2 VARIANT 3 EN 4: WATERFABRIEK2.0 GEËXTRAPOLEERDE PILOT EN WATERFABRIEK2.0 FULL SCALE GEOPTIMALISEERD

De processtappen van de beide Waterfabriek varianten zijn gebaseerd op het technologisch ontwerp. Bij variant 3 zijn de resultaten van de pilot geëxtrapoleerd naar 100.000 i.e. zonder optimalisaties en compensaties voor schaalvoordeel en ontwerpoptimalisaties. Deze vertaling naar een realistische installatie zijn wel toegepast in variant 4 Waterfabriek2.0 full scale. Voor beide varianten focust zich de scope op alle processen en installaties inclusief het eindproduct herbruikbaar (gedeïoniseerd) water, exclusief het helofytenfilter. De andere vrijkomende reststromen worden separaat in paragraaf 5.3 beschouwd.

AFBEELDING 5.3 SCOPE VAN VARIANT 3 EN 4 WATERFABRIEK2.0



5.2 WERKWIJZE CO₂-IMPACTBEREKENING

5.2.1 METHODE

Voor het opstellen van de duurzaamheidsanalyse zijn de volgende stappen doorlopen:

1. vaststellen van de hoeveelheden;
2. opstellen van de CO₂-berekening;
3. analyse en interpretatie van de resultaten.

Het opstellen van de CO₂-berekening vindt plaats door de CO₂-impact per categorie te bepalen, waarin we de volgende categorieën beschouwen: energie, grondstoffen, chemicaliën & hulpstoffen, bouwmaterialen en procesemissies. In tabel 5.1 is voor deze categorieën weergegeven welke database en bepalingsmethoden worden gebruikt om de CO₂-impact te bepalen (zie ook bijlage VII).

TABEL 5.1 BASISDATABASES DUURZAAMHEIDSANALYSE

Categorie	Database & bepalingsmethode
Energie	SimaPro versie 9.11 met EcoInvent 3.6
Chemicaliën, grondstoffen, hulpstoffen	SimaPro versie 9.11 met EcoInvent 3.6
Bouwmaterialen	Nationale Milieudatabase 3.4 via DuboCalc 6.0, SKB-bepalingsmethode
Procesemissies	STOWA 2014-09 met AR5 GWP-waarden

5.2.2 UITGANGSPUNTEN HOEVEELHEDEN

De hoeveelheden energie, procesinstallaties en bijbehorende vrachten/concentraties, chemicaliën en grondstoffengebruik en andere eigenschappen van de conventionele zuivering (variant 1 en 2) is afkomstig uit een ALM-studie van WSHD (2021). Deze zelfde informatie is voor de Waterfabriek2.0-varianten afkomstig uit data uit het pilotonderzoek van Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp. Voor het bepalen van de bouwmaterialen toegepast in de conventionele rwzi maken we gebruik van de informatie uit het STOWA Circular Asset Management Waterschappen (STOWA 2022-19A). In dit STOWA-project is de materialisatie van drie groottes zuiveringen bepaald, welke zijn gebruikt om de materialisatie te schalen tot een 100.000 i.e. zuivering voor dit project. De gegevens voor het nageschakelde chemisch-biologisch filter in variant 2 zijn afkomstig uit de ALM-studie van WSHD. Voor de Waterfabriek2.0-varianten wordt gebruik gemaakt van informatie uit de pilot van Waterfabriek2.0 op rwzi Terwolde voor locatie Wilp. De levensduur van elektrotechnische/ werktuigbouwkundige installaties is gezet op 15 jaar, de levensduur van civiele onderdelen op 30 jaar.

CAPACITEITEN EN AFMETINGEN

De capaciteiten en afmetingen van de onderdelen van variant 1 en 2 zijn samengevat in bijlage VI.

GRONDSTOFFENPRODUCTIE

De grondstoffenproductie in de varianten Waterfabriek2.0 zijn berekend voor de onderstaande grondstoffen.

Zeefgoed

Vanuit zeefgoed wordt cellulosevezel geproduceerd wat afgezet kan worden, of verder kan worden verwerkt tot afdruipremmer. In de CO₂-impactanalyse wordt uitgegaan van het produceren van cellulosevezel en geen verdere verwerking tot afdruipremmer. In de gevoeligheidsanalyse wordt het produceren van afdruipremmer uit cellulose (en dus zeefgoed) wel

weergegeven, inclusief de benodigde grondstoffen voor deze productie. De benodigde grondstoffen en het productieproces van afdruiptremmer uit zeefgoed is gebaseerd op STOWA 2017-29¹².

Flotaat

In de Dissolved Air Flotation (DAF) wordt een drijfslaag gevormd welke als flotaat kan worden afgezet als bitumen, biochar en duurzaam actief kool¹³. Het is echter nog onbekend welke hoeveelheden aan bitumen, biochar of duurzaam actief kool geproduceerd kunnen worden, waardoor flotaat niet is opgenomen als geproduceerde grondstof maar als reststroom. Tevens zijn er nog andere routes voor het verwaarden van flotaat, bijvoorbeeld het vergisten en het produceren van groengas en eventuele winning van struviet.

Ammoniumsulfaat

Ammoniumsulfaat, zijnde het regeneraat van de ionenwisselaar, wordt geproduceerd in de ionenwisselaar door middel van het regenereren van de ammonium-verwijderende hars met zwavelzuur. Het zwavelzuurgebruik is opgenomen als chemicaliënverbruik, daarentegen wordt ammoniumsulfaat opgenomen als af te zetten grondstof.

Water

Het water uit de referentie rwzi is ten dele ontdaan van microverontreinigingen, pathogenen (E-coli, multi-resistentie etc.) en microplastics. Omdat hiervoor geen waarde beschikbaar is in de EcoInvent 3.6 database, wordt in de analyse hier geen CO₂-compensatiewaarde aan toegekend. Het water uit de Waterfabriek is na de ionenwisselaar praktisch gedemineraliseerd en gedesinfecteerd. Na de remineralisatie-stap (marmerfiltratie) heeft het water een ionensamenstelling en zuurgraad die geschikt is voor hoogwaardige toepassing, waarschijnlijk op het niveau van drinkwaterkwaliteit. Dit water kan ingezet worden als vervanging van grondwateronttrekking. In de berekening is uitgegaan van de typering herbruikbaar gedeïoniseerd water.

Fosfaat/struviet

De struvietproductie/fosfaatterugwinning vindt plaats bij de slibverbrandingsinstallatie (SVI), waardoor de afzet van het uiteindelijke product en bijbehorende CO₂-compensatie toekomt aan de SVI en niet aan het waterschap. Om deze reden is fosfaat niet meegenomen als grondstofproductie in een van de varianten en wordt ervan uitgegaan dat fosfaat via de bestaande route wordt verwerking in de sliblijn en eventueel via asrest wordt teruggewonnen (zonder daar baten voor op te nemen).

5.2.3 UITGANGSPUNTEN CO₂-IMPACT

In bijlage II is een overzicht weergegeven welke items uit de databases zijn gebruikt voor de verschillende emissieposten per categorie. Onderstaand zijn nog een aantal toelichtingen gegeven op de verschillende CO₂-impact kengetallen.

ENERGIE

De Nederlandse energiemix (groen-grijs) wordt gebruikt in de CO₂-impactberekening als standaard.

¹² <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202017/STOWA%202017-29.pdf>

¹³ <https://www.waardevolwatersymposium.nl/wp-content/uploads/2020/12/QA-waterfabriek-webinar-16-oktober-2020.pdf>

PROCESEMISSIES

CO₂ waterlijn: STOWA 2014-09: 1,2 kg CO₂/kg CZV verwijderd (influent CZV – effluent CZV – sliblijn CZV)

CH₄ waterlijn: Klimaatmonitor 2019: 7,5 kg CH₄/kg CZV (influent CZV – sliblijn CZV)

N₂O waterlijn: IPCC 2019: 0,016 kg N₂O-N/kg N influent

CHEMICALIËN & GRONDSTOFFEN

Voor chemicaliën & grondstoffen zijn de precieze werkzame stoffen of vergelijkbare materialen/grondstoffen gekozen in de EcoInvent 3.6 database. Zie hiervoor bijlage VI.

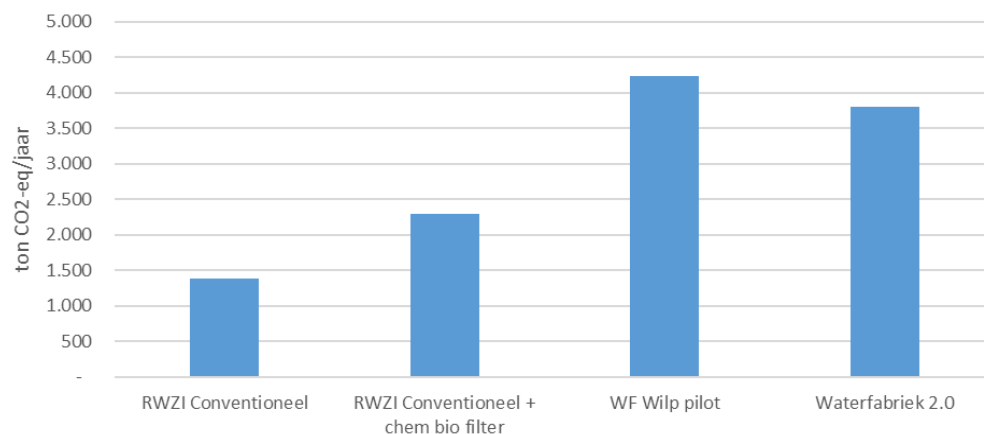
5.3 RESULTATEN CO₂-FOOTPRINT

5.3.1 ELEKTRICITEITSVERBRUIK

De CO₂-impact van het elektriciteitsverbruik van de verschillende beschouwde varianten is in onderstaande afbeelding 5.4 weergegeven. Het CO₂-impactgetal is gebaseerd op de Nederlandse elektriciteitsmix. De Waterfabriek heeft de grootste CO₂-impact omdat het elektriciteitsverbruik van de Waterfabriek hoger is dan van de twee conventionele varianten. Het hogere elektriciteitsverbruik wordt met name veroorzaakt door het toepassen van elektrocoagulatie en de nanofiltratie. Het elektriciteitsverbruik in de conventionele varianten zit met name in de beluchting.

De Waterfabriek2.0 met de uitstekende waterkwaliteit heeft een beduidend, circa 2,5 keer, hoger energieverbruik, wat leidt tot een grotere CO₂-footprint bij gebruik van NL-mix voor elektriciteit. Bij variant 2 waarbij met nabehandeling een betere effluentkwaliteit wordt verkregen dan de conventionele rwzi (variant 1) is al een forse toename in het energieverbruik zichtbaar. Dit zal naar verwachting nog verder toenemen als de waterkwaliteit dichter naar de waterkwaliteit van de Waterfabriek2.0 wordt gebracht.

AFBEELDING 5.4 CO₂-IMPACT ELEKTRICITEITSVERBRUIK

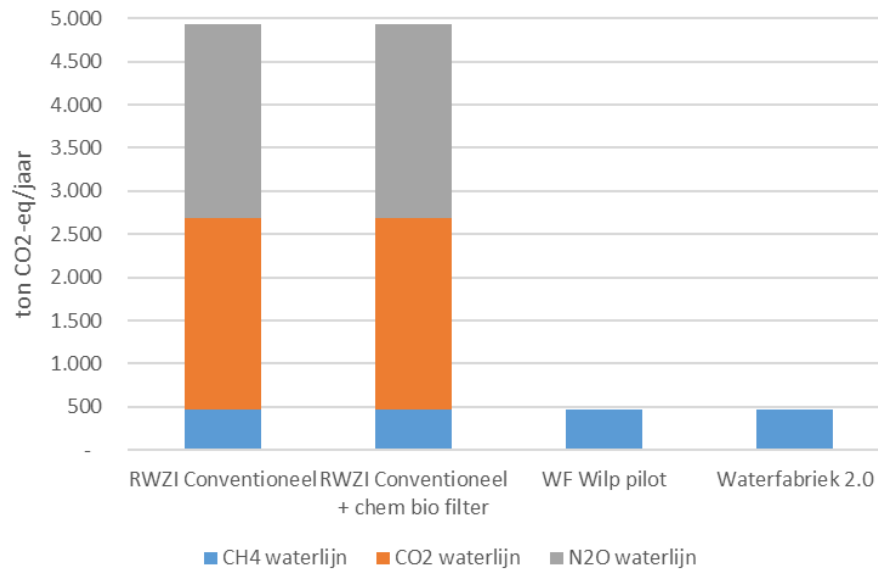


5.3.2 PROCESEMISSIES

Procesemissies komen vrij tijdens verschillende zuiveringsstappen van de rwzi. In de conventionele rwzi wordt CO₂ geproduceerd in het actiefslibstelsysteem en is er een risico op lachgasvorming (N₂O met een CO₂-equivalentfactor van 298). Daarnaast wordt in het ontvangstwerk CH₄ geproduceerd door de afwezigheid van zuurstof, een 28 keer zo sterk broeikasgas als CO₂. In onderstaande afbeelding 5.5 is te zien dat er een groot verschil is tussen de conventionele varianten en de Waterfabriek varianten van de rwzi. De Waterfabriek2.0-varianten

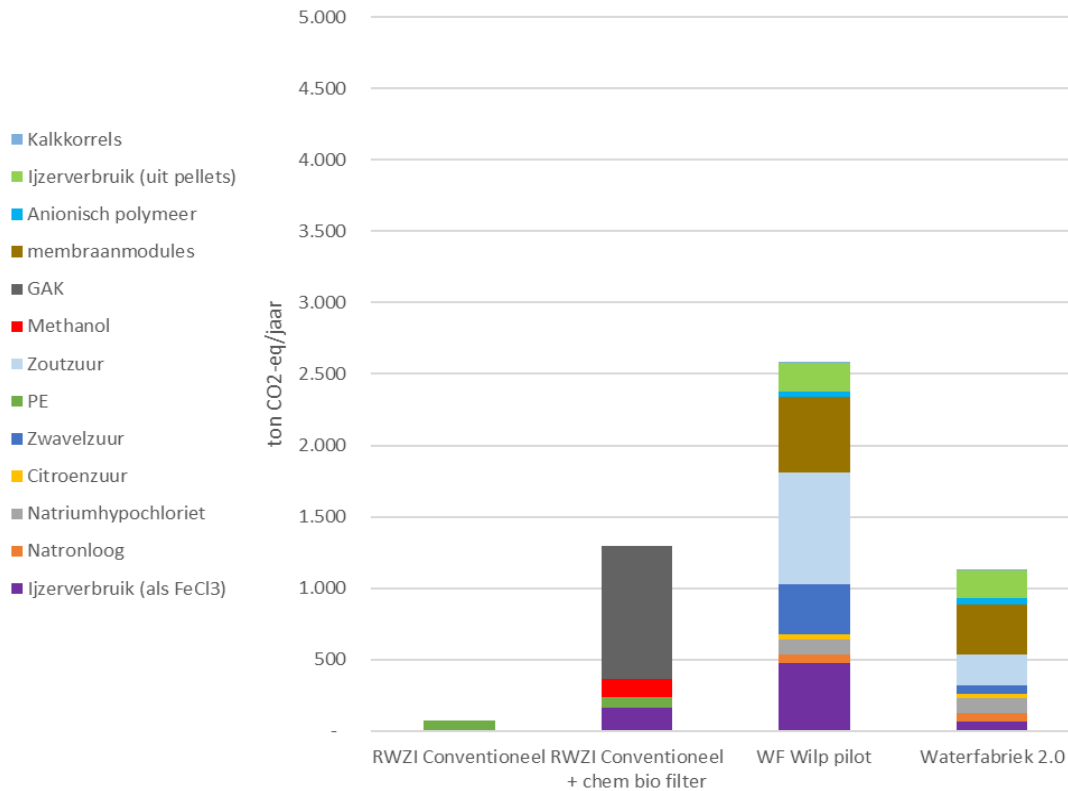
hebben enkel te maken met methaanvorming in het ontvangstwerk, maar er vindt geen productie van N_2O of CO_2 plaats doordat rioolwater in een gesloten systeem fysisch-chemisch wordt gezuiverd zonder biologische omzetting en/of afbraak.

AFBEELDING 5.5 CO_2 -IMPACT PROCESEMISSIES VAN DE VIER VARIANTEN



5.3.3 CHEMICALIËN- EN HUPSTOFFENVERBRUIK

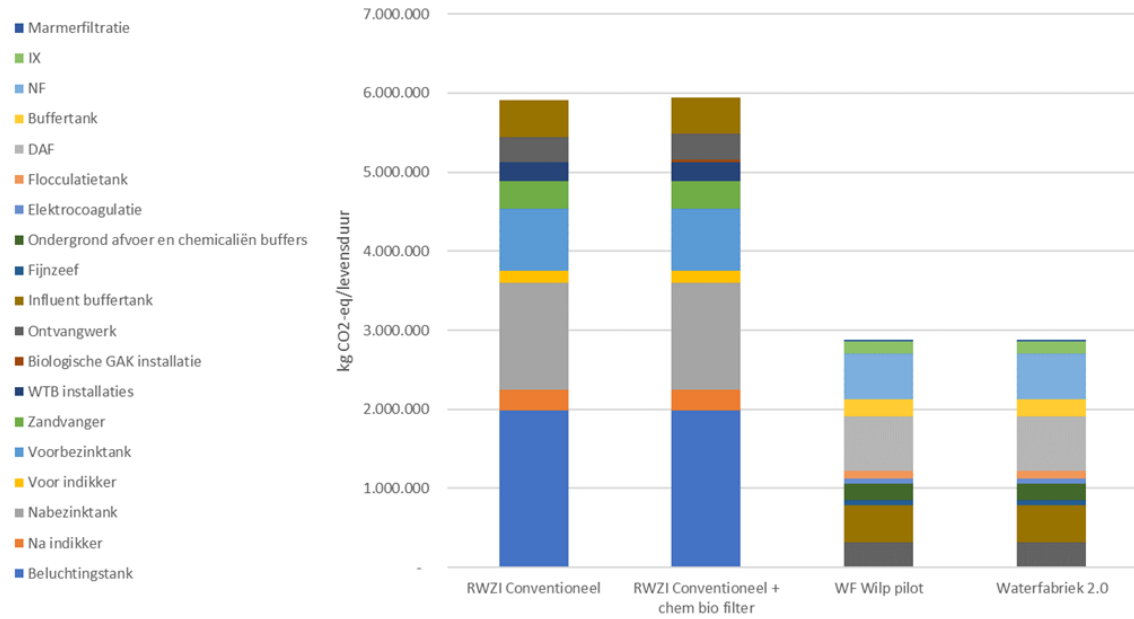
Chemicaliën en grondstoffen worden zowel in de conventionele rwzi als in de Waterfabriek toegepast, echter worden door de verschillende zuiveringstechnieken in de waterfabriek meer chemicaliën toegepast dan in een conventionele zuivering. In afbeelding 5.6 komt duidelijk naar voren dat de Waterfabriek-varianten meer verschillende chemicaliën en grondstoffen gebruiken, en daarbij ook in een grotere mate. Het Waterfabriek2.0 Wilp-pilotvariant heeft een hoge zoutzuurdosering, maar in de Waterfabriek 2.0 variant is deze dosering 75% gereduceerd op basis van het voorontwerp (hoofdstuk 4). De membraanmodules die worden toegepast in de Waterfabriek2.0-varianten hebben een aanzienlijke CO_2 -impact per ton product, waardoor de impact van de membraanmodules ook bij lagere hoeveelheden hoog is. Daarnaast heeft methanol een hoge CO_2 -impact in variant conventioneel+chem bio filter, echter wordt ook 240 ton GAK per jaar toegepast. In variant rwzi conventioneel + chemisch biologisch filter wordt *granular active carbon* (GAK) toegepast voor de verwijdering van nutriënten, welke jaarlijks wordt vervangen.

AFBEELDING 5.6 CO₂-IMPACT CHEMICALIËN- EN GRONDSTOFFENGEBRUIK

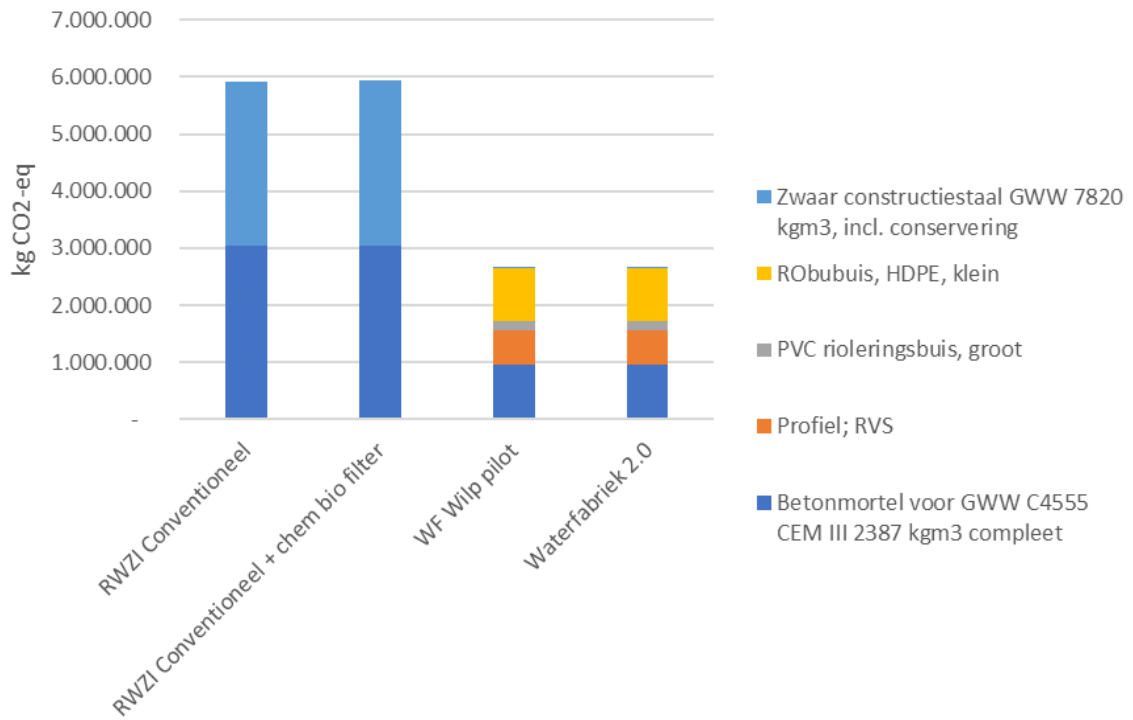
5.3.4 BOUWMATERIALEN

De CO₂-impact van bouwmaterialen voor de conventionele rwzi- varianten is gebaseerd op het STOWA Circular Asset Management project, dat door Witteveen+Bos is uitgevoerd. Zoals beschreven in de introductie zijn de gegevens van de Waterfabriek varianten afkomstig van de pilot Waterfabriek Wilp. Beide berekeningen berusten op een inschatting van totaal toegepaste bouwmaterialen in een gemiddelde rwzi en in de Waterfabriek. In Afbeelding 5.7 en 5.8 zijn de resultaten van de CO₂-impactanalyse voor de materialisatie van de vier varianten weergegeven. In de conventionele rwzi- varianten zorgt met name het staalgebruik voor een grote CO₂-impact. Bij de Waterfabriek zijn zowel het toepassen van HDPE, staal als beton in de installaties verantwoordelijk voor de totale CO₂-impact. Zoals te zien is in afbeelding 6.7 zit de meeste CO₂-impact voor de waterfabriek- varianten met name in het toepassen van HDPE in de nanofiltratie en het staalgebruik in de zandvanger. In afbeelding 6.8 is de CO₂-impact per materiaaltipe weergegeven, ter vergelijking met afbeelding 5.9 waarin de Milieukostenindicator (MKI) is weergegeven. Er is gekozen om ook de MKI weer te geven in afbeelding 5.9 om hier nadrukkelijk te laten zien dat, indien meerdere milieueffecten worden meegenomen, de milieu-impact van de assets van de waterfabriek varianten wel hoger is dan van conventionele varianten. De milieu-impact van de waterfabriek varianten is met name hoger doordat RVS een hoge milieu-impact heeft maar een relatief lagere CO₂-impact.

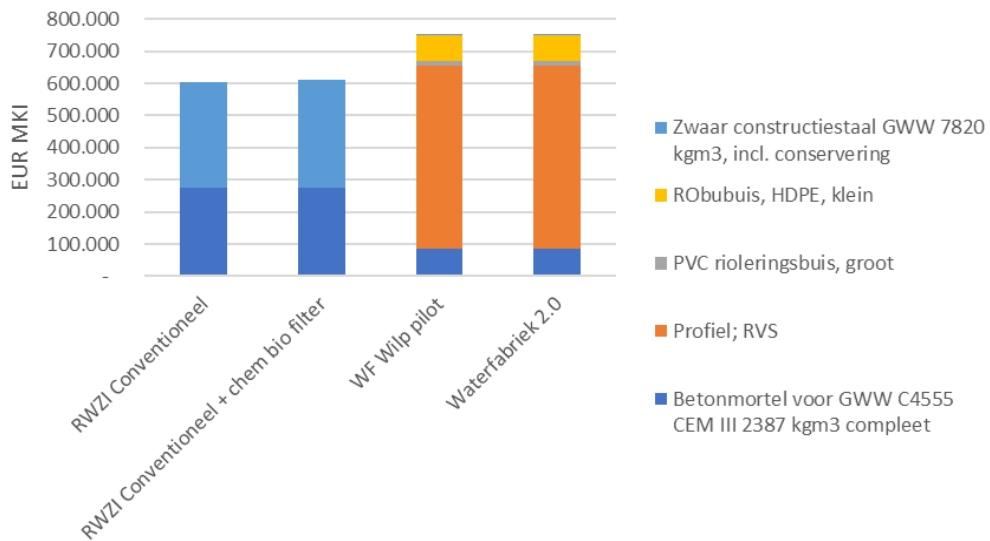
AFBEELDING 5.7 CO₂-IMPACT MATERIALEN PER MATERIAALTYPE, LEVENSDUUR 30 JAAR - VERGELIJKING PER SYSTEEM



AFBEELDING 5.8 CO₂-IMPACT MATERIALEN PER MATERIAALSOORT GECOMBINEERD



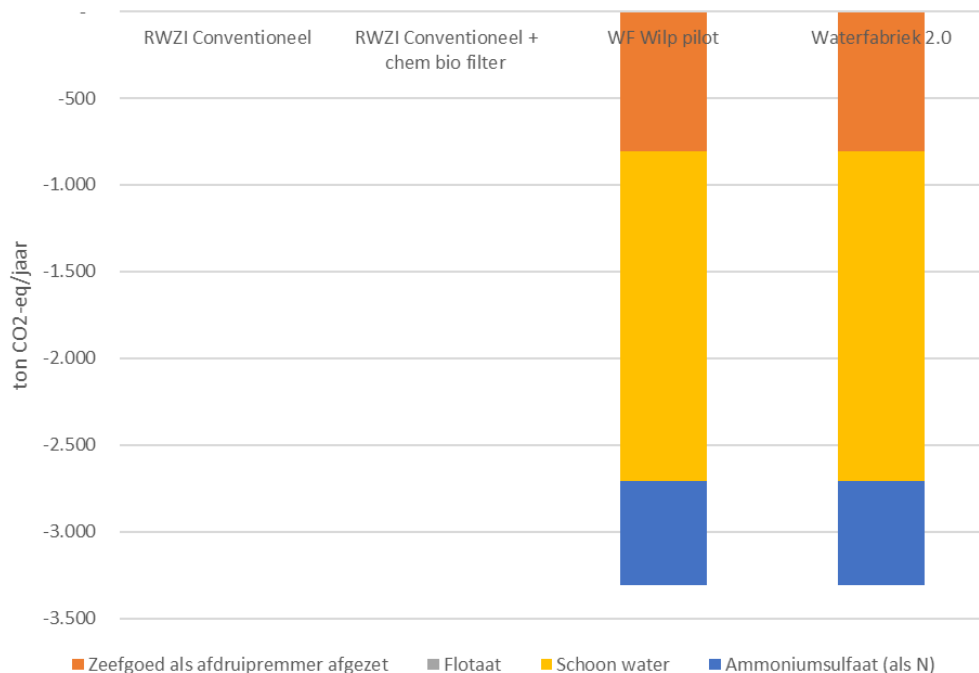
AFBEELDING 5.9 MKI MATERIALEN PER MATERIAALTYPE, LEVENSDUUR 30 JAAR - VERGELIJKING PER SYSTEEM



5.3.5 CO₂-FOOTPRINTREDUCTIE GEPRODUCEERDE GRONDSTOFFEN

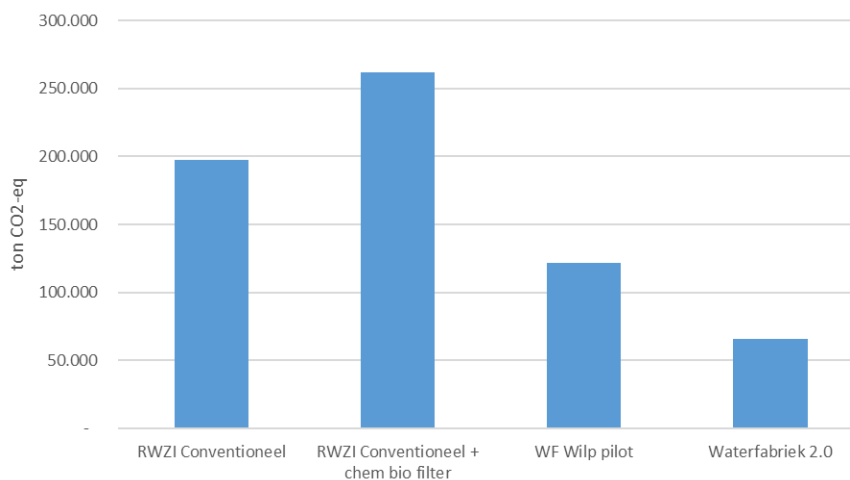
Grondstofproductie omvat alle geproduceerde producten uit de zuivering welke afgezet kunnen worden op de markt. Het doel hiervan is om de productie van nieuwe producten te vervangen, waardoor milieu-impact wordt vermeden. Enkel de varianten Waterfabriek2.0 hebben te maken met grondstofproductie, de productie van energiedragers (groengas, biogas) wordt in deze grafiek niet meegenomen. Zoals beschreven in paragraaf 5.2 hebben we een aantal uitgangspunten gehanteerd voor het bepalen van de mogelijke CO₂-impactbesparing door grondstoffenproductie. In de analyse is de productie van afdruiptremmer (uit zeefgoed), schoon herbruikbaar water (gedeïoniseerd) en ammoniumsulfaat (regeneraat IX) meegenomen. Zoals te zien is in afbeelding 5.10 wordt er totaal ongeveer 3.500 ton CO₂-eq aan grondstoffen bespaard doordat de Waterfabriek primaire grondstoffen vervangt door secundaire grondstoffen. Het is belangrijk hierbij te vermelden dat organisch rijk flotaat niet gespecificeerd is omdat de mogelijke afzetroutes nog in ontwikkeling zijn, en we daardoor nog geen directe CO₂-impact hiervoor kunnen bepalen. Als laagwaardige toepassingsoptie kan de energetische waarde van organisch materiaal worden gebruikt (biogas of groengasroute). Struviet of andere vormen van P-terugwinning worden in alle varianten geproduceerd, maar de afzet van dit product ligt bij de SVI en niet bij het waterschap. Bovendien is deze weg voor beide varianten gelijk.

De variant conventionele rwzi + chemisch/biologisch filter produceert een betere kwaliteit effluent dan variant conventionele rwzi, echter kan deze verbeterde kwaliteit effluent niet uitgedrukt worden in CO₂-impact, de effecten hiervan liggen op het vlak van biodiversiteit en ecologie en zijn in deze analyse dus niet meegenomen.

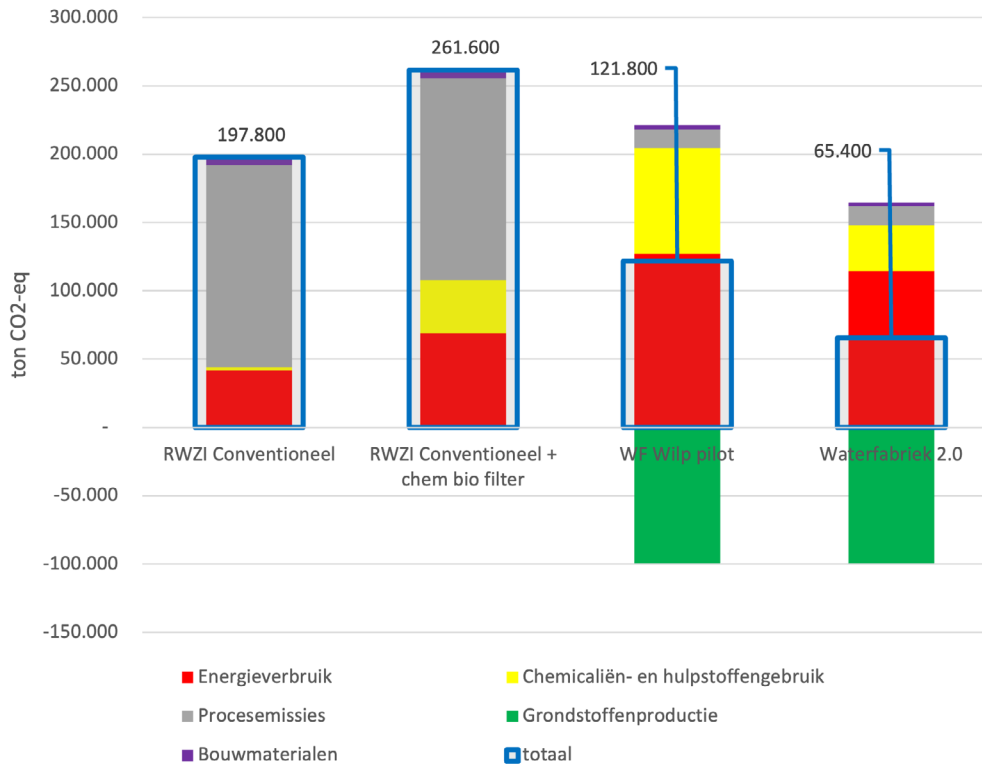
AFBEELDING 5.10 CO₂-COMPENSATIE GRONDSTOFFENPRODUCTIE

5.4 CO₂-IMPACT TOTAALVERGELIJKING

In onderstaande afbeelding 5.11 is de totale CO₂-impact van alle varianten weergegeven, over een levensduur van 30 jaar. Wat duidelijk wordt uit deze grafiek is dat de conventionele rwzi's een hogere CO₂-impact hebben dan de Waterfabriek varianten. In afbeelding 5.12 is de onderverdeling te zien van de verschillende categorieën CO₂-impact en -compensatie. De hogere CO₂-impact in de conventionele varianten wordt met name veroorzaakt door de procesemissies uit de waterlijn, deze vinden namelijk niet of nauwelijks plaats in de Waterfabriek varianten. Daarnaast hebben de Waterfabriek varianten een hogere CO₂-impact voor energiegebruik en chemicaliën- en grondstoffengebruik, maar daarnaast produceren de Waterfabriek varianten ook grondstoffen welke de CO₂-impact compenseren.

AFBEELDING 5.11 CO₂-IMPACT TOTAAL

AFBEELDING 5.12 CO₂-IMPACT TOTAAL OVER 30 JAAR LEVENSDUUR, PER CATEGORIE (TOTALEN ZIJN CIJFERMATIG WEEKGEGEVEN, NEGATIEVE CO₂-EMISSIE (GROEN ONDER DE X-AS) IS GELIJK AAN CO₂-EMISSIEREDUCTIE EN COMPENSEERT EMISSIES BOVEN DE X-AS); HET RESULTETERENDE NETTO RESULTAAT IS GEPRESENTEERD ALS DOORZICHTIGE BLAUWGERANDE STAAF



Het is echter belangrijk te realiseren dat in de huidige manier van rapporteren van de CO₂-impact van het waterschap de procesemissies vaak niet meegenomen worden, dit is momenteel ook nog niet verplicht volgens de Unie van Waterschappen. Indien een vergelijking wordt gemaakt zonder procesemissies heeft de Waterfabriek2.0 nog steeds de laagste CO₂-impact, maar is het verschil met rwzi Conventioneel minimaal.

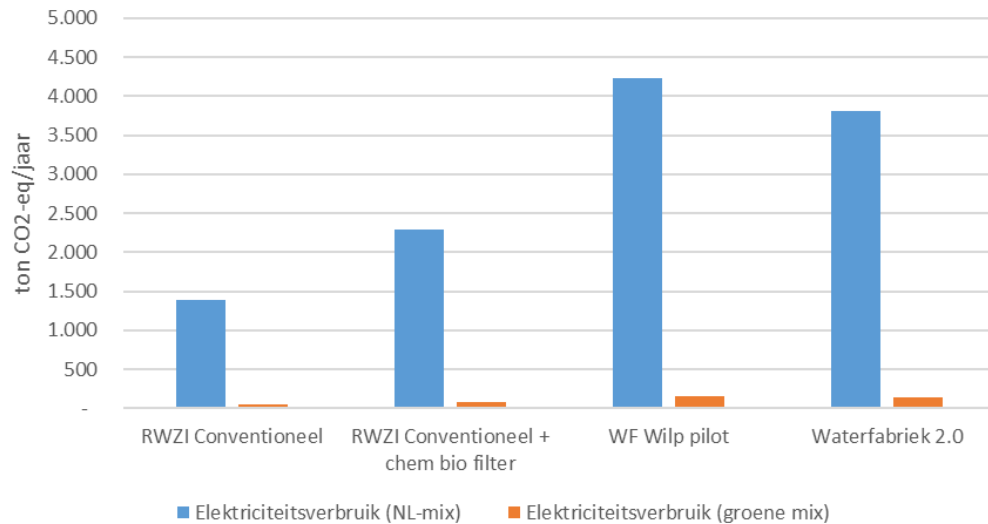
5.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE CO₂-IMPACT

In dit hoofdstuk wordt de gevoeligheid van de resultaten van de CO₂-impactanalyse geanalyseerd. De gevoeligheid van de resultaten wordt op verschillende manieren geanalyseerd, waarbij we zowel kijken naar het type producten welke gekozen zijn voor CO₂-impactberekeningen als de methodiek voor de berekeningen.

5.5.1 ELEKTRICITEITSVERBRUIK

Om een indicatie te geven van de gevoeligheid van de resultaten is in onderstaande afbeelding 5.13 de CO₂-impact van het elektriciteitsverbruik weergegeven voor de verschillende varianten indien de groene mix wordt ingekocht in plaats van de NL-mix. Wat zichtbaar wordt is dat de CO₂-impact aanzienlijk daalt en dat daardoor de CO₂-impact op het totaal ook reduceert. Het is belangrijk hierbij te noemen dat bijvoorbeeld het vergroenen van het elektriciteitsnet, wat leidt tot een lagere CO₂-impact per kWh, geen 'stand a lone' verandering is: door vergroening van het net reduceert ook de CO₂-impact van chemicaliën, bouwmaterialen en andere grondstoffen. In zijn totaliteit daalt de CO₂-impact, met uitzondering van de procesemissies, op deze manier voor alle categorieën, en zullen de onderlinge verschillen mogelijk hetzelfde blijven.

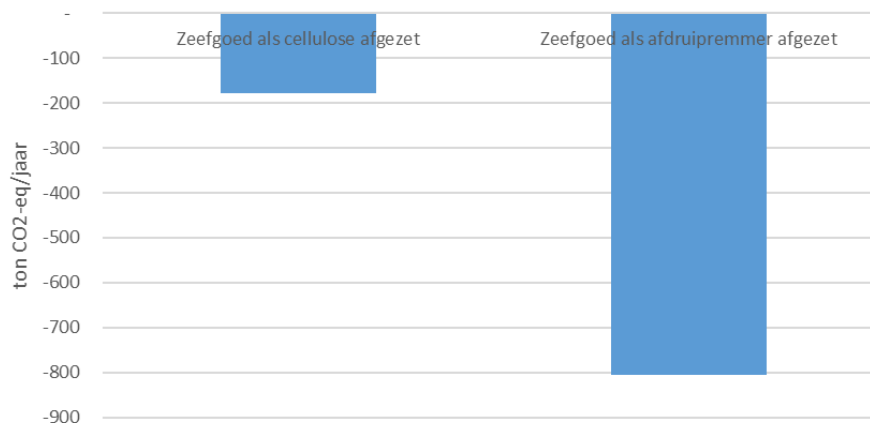
AFBEELDING 5.13 GEVOELIGHEIDSANALYSE ELEKTRICITEITSMIX



5.5.2 GRONDSTOFFENPRODUCTIE

Voor grondstoffenproductie is de productie van afdruipremmer uit zeefgoed gekozen als verwerkingsroute voor in de varianten Waterfabriek2.0. Het is ook mogelijk om cellulose te produceren uit zeefgoed, waardoor een ander CO₂-compensatie ontstaat voor de varianten Waterfabriek. Zoals te zien is in afbeelding 5.14 is het afzetten van zeefgoed als cellulose laagwaardiger in termen van CO₂-compensatie dan de afzet van zeefgoed als afdruipremmer, dit is eveneens inclusief de operationele verbruiken van het produceren van afdruipremmer. Door het nader verkennen van producten en bijbehorende afzetroutes welke ontstaan uit de verwerking van zeefgoed tot cellulose of andere (half)fabricaten kan het definitieve product beter worden bepaald en daarmee de bijbehorende CO₂-compensatie.

AFBEELDING 5.14 GEVOELIGHEIDSANALYSE GRONDSTOFFENPRODUCTIE

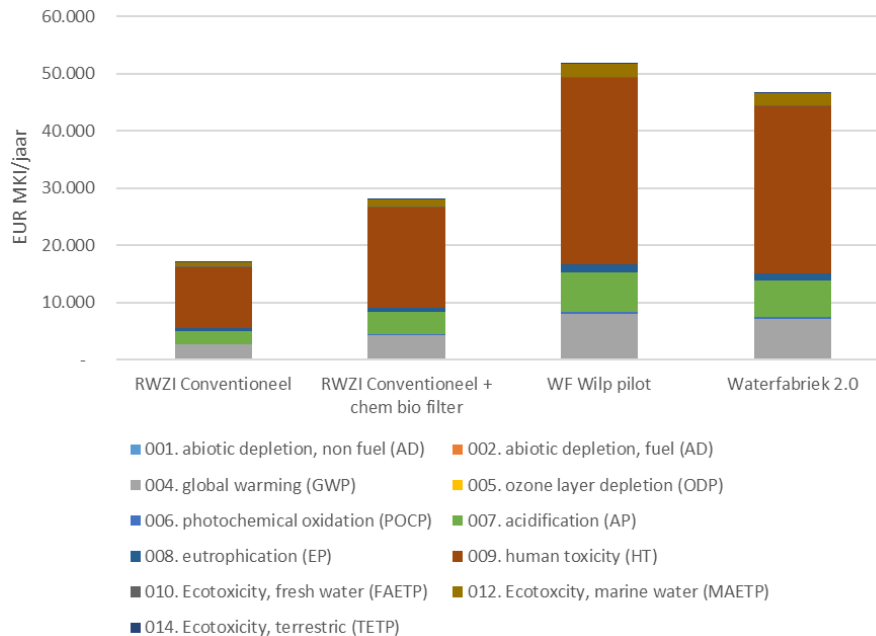


5.5.3 CO₂-IMPACT EN MKI-SCORE

Een belangrijke andere gevoeligheid in de resultaten is terug te leiden naar de scope: in deze studie wordt enkel de CO₂-footprint van de verschillende varianten bepaald. Echter is het zo dat voor een vollediger beeld van de milieu-impact van de verschillende varianten de Milieu Kosten Indicator (MKI) toegepast kan worden. De MKI geeft een waarde in euro, waarbij de euro een indicatie geeft van de schaduwkosten van de impact van bijvoorbeeld een kubieke meter bouw materiaal, een kWh aan grijze elektriciteit en een tonnage metaalzout. De MKI is opgebouwd uit elf milieu-indicatoren die elk een eigen MKI-waarde hebben. In afbeelding

5.15 is als voorbeeld de MKI-score van groene elektriciteit uitgedrukt voor de hoeveelheid elektriciteit die wordt toegepast in de verschillende varianten. De resultaten zijn naar verhouding gelijk met de uitkomsten van de CO₂-impact, echter wordt ook inzichtelijk dat het grootste gedeelte van de MKI-score voor groene elektriciteit wordt bepaald door de *human toxicity* indicator. Het *global warming potential*, ofwel CO₂-impact, neemt een kleiner gedeelte van de totale MKI-score voor zijn rekening.

AFBEELDING 5.15 MKI-SCORE GROENE ELEKTRICITEIT



5.5.4 CO₂-IMPACT DATABASE

Voor het bepalen van de CO₂-impact per product wordt in dit onderzoek de EcoInvent database-versie 3.6 gebruikt in het LCA-programma SimaPro (zie ook bijlage VII). In afbeelding 5.16 wordt het totaal GAK-gebruik voor variant conventioneel + chemisch biologisch filter uitgedrukt in CO₂-impact, waarbij drie verschillende bronnen zijn gekozen voor het CO₂-impact kengetal van *granular activated carbon*. In de eerste staaf (1) wordt het kengetal toegepast uit de databaseversie 3.6, zoals ook toegepast in het hoofdstuk resultaten. Het kengetal van (2) is 10,28 kg CO₂/kg GAK, gebaseerd op het onderzoek van Wessels & Van der Meer (2022), verwijzend naar de methodiek van de Praktijkcode Drinkwater uit 2019. Het laatste resultaat (3) en bijbehorend kengetal zijn afkomstig uit het STOWA-model CO₂-footprint rwzi's. De resultaten zijn niet overeenkomstig, wat komt door verschillende kengetallen voor GAK.

Er zijn verschillende redenen waarom de kengetallen niet overeenkomen met het kengetal toegepast in deze studie, uit EcoInvent 3.6:

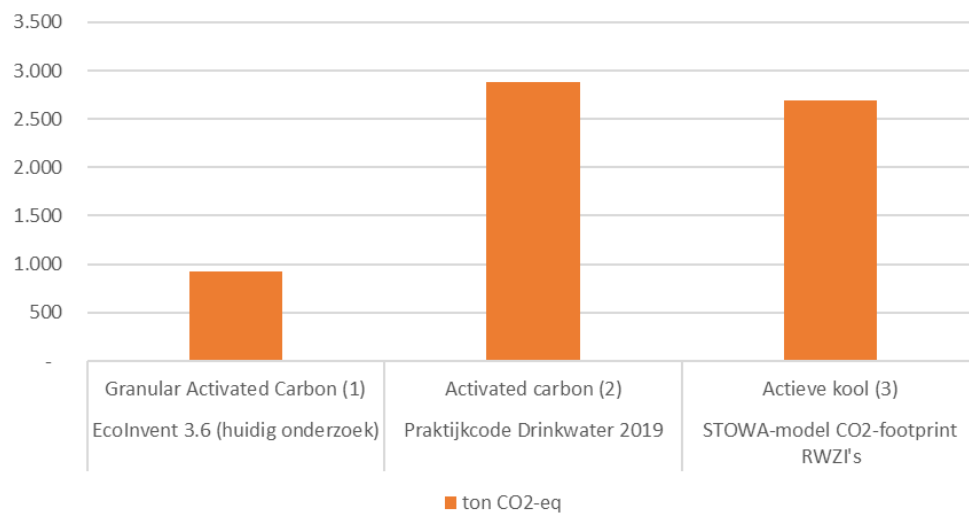
- Andere databases: het CO₂-impactgetal voor GAK uit de Praktijkcode drinkwater (10,38 kg CO₂/kg GAK) is afkomstig uit de AgriFootprint database¹⁴, waardoor het een ander product is dan uit de EcoInvent database;
- Andere rekenmethode: Het kengetal uit het STOWA-model CO₂-footprint rwzi's (9,6 kg CO₂/kg GAK) is gebaseerd op de GER-waarde van actief kool, welke is omgerekend met een factor 0,05844 kg CO₂/MJ.

14 Persoonlijke communicatie met dr. ir. T. van den Brand, KWR (2023)

Verder zijn er nog andere redenen waarom binnen dezelfde gekozen database getallen kunnen afwijken:

- Updates database: de EcoInvent-database wordt met regelmaat geüpdatet omdat de milieu-impact verandert, (onderliggende) data zijn aangepast en/of dat een nieuwe benadering is gekozen om een kengetal te bepalen.
- Door deze aanpassingen veranderen kengetallen zijn EcoInvent-versies onderling niet vergelijkbaar.
- Andere productkeuze: zoals beschreven in paragraaf 5.1 en 5.2 is het type product dat wordt gekozen in de database bepalend voor de CO₂-impact; zo is in dit onderzoek gekozen voor *granular activated carbon*, wat in de EcoInvent-database bestaat uit een mix van nieuwe kool en geregenereerde kool omdat dat op dit moment (2022) in de markt de meest toegepaste vorm is. Daarnaast is het product in dit onderzoek een *market for product*, wat wil zeggen dat dit inclusief transport is en er wordt uitgegaan van de gemiddelde standaarden indien dit product in Europa wordt ingekocht. Door de GAC-mix rekent EcoInvent met een relatief lage CO₂-impact. Indien prominent op verwijdering van micro's wordt ingezet zal een hoogwaardige en puur GAC gekozen worden met een (2 à 3 keer) hogere footprint geproduceerde kool.

AFBEELDING 5.16 CO₂-IMPACT GAK, VERSCHILLENDE KENGETALLEN



5.6 CONCLUSIES CO₂-IMPACT

In deze paragraaf worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen ten aanzien van de vergelijkende CO₂-impactberekening van Waterfabriek2.0 beschreven.

WATERFABRIEK 2.0 HEEFT DE LAAGSTE CO₂-IMPACT

Op basis van de totale CO₂-impact van alle vier de varianten heeft de Waterfabriek2.0 de laagste CO₂-impact over een levensduur van 30 jaar. De conventionele varianten, met name de variant waarbij het effluent wordt nabehandeld om tot een betere effluentkwaliteit te komen, hebben een hogere CO₂-impact. Het zwaartepunt van deze hogere CO₂-impact is met name de uitstoot van procesemissies in het actiefslibstelsysteem en het ontbreken van grondstofproductie, waardoor geen CO₂-compensatie plaatsvindt.

CO₂-COMPENSATIE WATERFABRIEK- VARIANTEN STERK AFHANKELIJK VAN TYPE GECOMPENSEERDE GRONDSTOF

In de Waterfabriek2.0-varianten wordt uitgegaan van de productie van schoon water, cellulose en ammoniumsulfaat. In de CO₂-impactberekening is gerekend met producten waarvan wordt aangenomen dat de geproduceerde producten in de Waterfabriek2.0 deze gaan vervangen. Echter kan in werkelijkheid het type product dat afgezet wordt, en daarmee het product wat het vervangt, afwijken, waardoor de CO₂-compensatie ook verandert. Daarnaast is er momenteel nog onderzoek gaande naar het type producten wat de Waterfabriek kan produceren, waardoor de CO₂-compensatie kan veranderen. Elk nieuw product dat geproduceerd gaat worden zal tot een verlaging leiden van de CO₂-impact.

ZWAARTEPUNT CO₂-IMPACT LIGT NIET BIJ BOUWMATERIALEN

In de analyse komt naar voren dat bouwmaterialen een minimale impact hebben op de totale CO₂-impact bij alle varianten. Bouwmaterialen hebben met name impact in de productie- en realisatiefase en bij einde levensduur, daarentegen worden operationele verbruiken zoals energie en chemicaliën constant gebruikt gedurende de levensduur van 30 jaar, waardoor het zwaartepunt vaker bij deze categorieën ligt. Dit wil niet zeggen dat hier bij het ontwerp en voor de realisatie geen of minder aandacht dient te worden geschonken, maar dat de focus hier zal verschuiven naar het verbruik van primaire grondstoffen en het hergebruik van de materialen aan einde van de levensfase i.p.v. naar de CO₂-impact.

ONDERZOEK AFZETMOGELIJKHEDEN GRONDSTOFFEN WATERFABRIEK2.0

Aansluitend op het eerdere punt dient er verder onderzoek worden gedaan naar de geproduceerde grondstoffen van de Waterfabriek2.0, waarbij gekeken moet worden naar zowel de hoeveelheden als het type product wat wordt afgezet (en daarmee vervangt). Deze informatie kan gebruikt worden om een betere analyse te maken van de CO₂-compensatie door grondstoffenproductie binnen de Waterfabriek2.0.

VERVOLGONDERZOEK MATERIALISATIE WATERFABRIEK2.0

Op basis van het voorontwerp van Waterfabriek2.0 voor de locatie Wilp is de materialisatie van de waterfabriek-varianten in kaart gebracht. Het is wenselijk om in de toekomst een uitgebreid onderzoek te doen naar de materialisatie van de Waterfabriek, zodat de bouwmaterialen gebruikt in de Waterfabriek2.0 specifiekere worden meegenomen in de CO₂-impactanalyse en MKI-berekening.

MKI-BEREKENING EN/OF LEVENSCYCLUSANALYSE (LCA) VAN DE WATERFABRIEK2.0

Om een vollediger beeld te krijgen van de milieu-impact van de Waterfabriek en om deze beter te kunnen vergelijken met een conventionele rwzi kan een MKI-berekening/levenscyclusanalyse worden uitgevoerd. Naast inzicht in het *global warming potential* van de verschillende varianten kunnen door het uitvoeren van een LCA ook andere milieu-impactcategorieën worden meegenomen en onderling worden vergeleken.

6

KOSTENBEREKENING EN VERGELIJKING

De kostenberekening van de 100.000 i.e. Waterfabriek2.0 (variant 3) is gebaseerd op de SSK-raming die is opgesteld ten behoeve van het voorontwerp (VO) van de Waterfabriek2.0 voor de locatie Wilp, met een indexering naar het prijspeil december 2020 voor bouw van een full scale demonstratie-installatie op rwzi Ede (of elders).

Hierbij is in acht genomen dat de Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp circa vijf keer zo klein is (17.400 - 23.150 i.e.) dan de Waterfabriek2.0 met een schaal van 100.000 i.e.. Bij de opschaling naar 100.000 i.e. schaalgrootte zijn bepaalde schaalvoordelen te behalen; zoals fundering, gebouwen, leidingen, installatiegrootte. Daar waar deze worden verwacht is hiermee rekening gehouden in de kostenberekening en weergegeven in bijlage IV en V.

6.1 KOSTEN WATERFABRIEK2.0

6.1.1 BOUW, STICHTINGS- EN KAPITAALKOSTEN

In tabel 6.1 zijn de kosten voor een Waterfabriek2.0 (conform variant 4 uit hoofdstuk 5) in geaggregeerde vorm weergegeven. De bouwkosten zijn met de opgegeven STOWA factor van 1,8 omgerekend naar de stichtingskosten. Voor de jaarlijkse exploitatiekosten is per afschrijvingstermijn voor de verschillende componenten de annuïteit bepaald over afschrijvingstermijnen civiel-bouwkundig, werktuigbouw en elektrotechniek/procesautomatisering.

De gehanteerde uitgangspunten en onderbouwingen voor de kostenberekening staan weergegeven in bijlage IV. In bijlage V zijn bouwkosten nader gespecificeerd.

TABEL 6.1 VAN BOUWKOSTEN NAAR CAPEX VOOR EEN 100.000 I.E. WATERFABRIEK2.0 (IN EUR)

	C	W	E	PA	totaal
Bouwkosten (EUR)	7.600.000	43.240.000	7.260.000	1.020.000	59.120.000
Stichtingskosten (EUR)	13.680.000	77.832.000	13.068.000	1.836.000	106.416.000
CAPEX (annuïtair) (EUR/jaar)	791.000	7.000.300	1.175.400	412.400	9.397.100

C = civiele en bouwkundige constructies; W=werktuigbouwkundige installaties; E = Elektrotechniek; PA= procesautomatisering

De kapitaallasten voor het behandelen van het rioolwater tot herbruikbaar water bedragen hierdoor circa EUR 1,2 per m³ (EUR 9,4 miljoen per jaar op 7,7 miljoen m³ per jaar). Per inwonerequivalent komt dit neer op bijna EUR 94,-; dat is ongeveer 1,4 keer het huidige tarief.¹⁵

6.1.2 OPERATIONELE LASTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

De exploitatiekosten voor de 100.000 i.e. Waterfabriek2.0 (variant 3 uit hoofdstuk 5) van zijn bepaald uitgaande van de onderstaande aannamen.

¹⁵ Tarief Waterschap Vallei en Veluwe 2023 is EUR 65,19 per v.e.

PERSONEEL

Voor het beheren en onderhouden van de gehele installatie is ingeschat dat hiervoor 3 fte noodzakelijk zijn.

HULPSTOFFEN

De schatting van het verbruik aan hulpstoffen is bepaald door gebruik te maken van de resultaten van de pilot plant en een vertaling naar de praktijkschaal.

Ten opzichte van een conventionele rwzi wordt een groter scala aan hulpstoffen gebruikt. In tabel 6.2 is een overzicht weergegeven van de prijzen in EUR/ton inclusief BTW (prijspeil december 2020).

TABEL 6.2 **PRIJZEN (AFGEROND) IN EUR/TON INCLUSIEF BTW PRIJSPEIL DECEMBER 2020 (OPGAVE WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE, MAART 2021)**

product (concentratie)	prijs per ton product
natriumhypochloriet (12,5%)	3.267,--
zoutzuur (30%)	73,--
natronloog (33%)	460,--
zwavelzuur (37%)	242,--
citroenzuur (100%)	9.196,--
kalkkorrels	242,--
demiwater	460,--
natronloog (bulk) (50%)	907,--
ijzer(elektroden)	1.750
ijzerchloride	1.500,--
anionisch polymeer (PE)	3.000,--
Methanol	500,--

ENERGIE

Voor het energieverbruik van de 100.000 i.e. installatie is de verbruikerslijst van de pilot-installatie als uitgangspunt gebruikt zoals samengevat in bijlage III. Omdat het een zeer kleine pilot betrof is de verwachting dat het energieverbruik voor de praktijkinstallatie geoptimaliseerd kan worden.

ONDERHOUDSKOSTEN

Voor de berekening van de onderhoudskosten voor C, E/W/PA zijn respectievelijk 0,5% en 3% van de bouwkosten aangehouden. In tabel 6.3 is een overzicht gegeven van alle OPEX-kosten.

TABEL 6.3 OVERZICHT VAN OPEX-KOSTEN VOOR EEN 100.000 I.E. WATERFABRIEK2.0

onderdeel	waarde				Kosten (EUR/jaar)
personeel	FTE	3			150.000
onderhoudskosten	C	W	E	PA	Totaal onderhoud
	38.000 EUR/j	1.297.200 EUR/j	217.800 EUR/j	30.600 EUR/j	1.583.600
elektriciteit	kWh	29.740.200			2.974.000
chemicaliën					
ijzer	ton/jaar	281			491.750
natriumhypochloriet	ton/jaar	107			49.300
natronloog	ton/jaar	76			34.900
zwavelzuur	ton/jaar	2.331			564.100
zoutzuur	ton/jaar	370			26.900
citroenzuur	ton/jaar	19			176.200
organisch polymeer (PE)	ton/jaar	77			229.900
zuivere zuurstof	ton/jaar	222			44.400
Totaal OPEX (EUR/jaar)					6.175.050

De operationele kosten voor het behandelen van het rioolwater tot herbruikbaar water bedragen hierdoor circa EUR 0,80 per m³ (EUR 6,18 miljoen per jaar op 7,7 miljoen m³ per jaar).

De totale jaarlijkse kosten zonder baten komen daarmee afgerond op EUR 2,0 per m³ behandeld rioolwater of EUR 160 per i.e.; waarbij wel rekening gehouden moet worden met het feit dat de kosten van gehele waterketen zijn van rioolwater naar herbruikbaar water.

6.1.3 POTENTIËLE BATEN

Naast de operationele lasten en exploitatiekosten heeft de Waterfabriek2.0 ook potentiële baten in de vorm van productie van grondstoffen en bruikbaar water. Daarnaast is CO₂-beprijzing door CO₂-emissiereductie een potentiële baat die in de financiële huishouding opgenomen kan worden zodra afgerekend wordt op CO₂-emissies. CO₂ wordt in de kostenvergelijking beprijsd op de conventionele rwzi met nabehandeling (variant 2).

Om deze baten in beeld te brengen is een fictieve berekening opgesteld in tabel 6.4 vanuit de berekende productstromen met actuele marktprijzen voor zover die momenteel realiseerbaar zijn (zie referenties en toelichtingen in tabel 6.4). Aangezien de omvang van de productstromen ook voor een 100.000 i.e. nog redelijk beperkt zullen zijn en de circulaire afzetmogelijkheden in de huidige materialen- en grondstoffeneconomie nog beperkt zijn kunnen niet alle baten meteen verzilverd worden, maar met een circulaire economie voor ogen moet dit op korte termijn kunnen veranderen.

TABEL 6.4 BEREKENDE POTENTIËLE BATEN WATERFABRIEK2.0 (OP SCHAAL 100.000 I.E. CONFORM VARIANT 4)

Product	Vracht afzetbaar product (ton per jaar)	Marktprijs 2022 (EUR/ton; incl. BTW)	Referentie/toelichting	Potentiële baten (EUR/jaar; incl. BTW)
zand	46	7,2	www.grondstofprijns.com	333
cellulose	321	242	STOWA 2019-37 (gewijzigde versie, 2019)	180.500
flotaat	72	150	aanname op basis van biogas/groengas	29.600
NH ₂ SO ₄	332	372	STOWA 2021-35 Stikstofterugwinning	123.900
proceswater	4.360.000 ¹⁶	1,07	www.evides.nl	4.647.800
			totaal	4.982.000

16 Productie herbruikbaar water op basis van een voorzichtige overall recovery over systeem van 56%

In de eindsituatie kan met de te genereren baten vanuit grondstoffen en CO₂-beprijzing meer dan de helft van operationele kosten worden gedekt. Dit levert circa EUR 0,65 per m³ aangevoerd rioolwater op. Daarmee kunnen de totale jaarlijkse kosten beperkt worden tot EUR 1,4 per m³ behandeld rioolwater of te wel EUR 110 per v.e. Hierin is nog niet verdisconteerd dat het water na de ionenwisseling ook afzetbaar is als grondstof voor demiwaterproductie. In dat geval zijn de kosten van het water iets lager omdat de kalkbedfiltratie niet nodig is.

6.2 KOSTEN VAN EEN CONVENTIONELE RWZI MET NABEHANDELING

De kostenberekening van een conventionele 100.000 i.e. rwzi is gebaseerd op kentallen uit de Nederlandse waterzuiveringspraktijk, met als prijspeil december 2017, zoals in de overige studies voor het IPMV. Voor de rwzi is uitgegaan van een actiefslibstelsysteem met biologische P-verwijdering, zonder slibgisting. Om de vergelijkbaarheid te verbeteren is gerekend met een nageschakelde technologie voor de verlaging van nutriënten, en aanvullend een technologie voor de verwijdering van microverontreinigingen conform variant 2 uit hoofdstuk 5. Voor de ramingen is gebruik gemaakt van recente ontwerptrajecten voor beide technologieën, die zijn afgeschaald naar 100.000 i.e.. De prijzen zijn vervolgens gecorrigeerd naar het prijspeil van 2017. Hierbij is uitgegaan van een inflatie van 4,5% gedurende de afgelopen 5 jaar.

6.2.1 BOUW-, STICHTINGS- EN KAPITAALKOSTEN

In tabel 6.5 is een overzicht per discipline gegeven van de bouwkosten en investeringen weergegeven en de vertalingen naar annuïtaire afschrijvingen.

TABEL 6.5 VAN BOUWKOSTEN NAAR STICHTINGSKOSTEN EN CAPEX VOOR EEN CONVENTIONELE RWZI VAN 100.000 I.E. MET NAGESCHAKELDE VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN EN MICROVERONTREINIGINGEN ZOALS VARIANT 2 IS OPGESTELD (IN EUR)

	C – rwzi	W – rwzi	E/PA – rwzi	totaal
Bouwkosten rwzi (EUR)	15.000.000	5.280.000	3.450.000	23.730.000
Bouwkosten Nabehandeling (EUR)	4.450.000	4.000.000	2.500.000	12.250.000
Stichtingskosten (EUR)	35.010.000	16.700.000	10.750.000	63.760.000
CAPEX (annuïtair) (EUR/jaar)	1.947.000	1.444.000	930.000	4.321.000

C = civiele en bouwkundige constructies; W=werktuigbouwkundige installaties; E = Elektrotechniek; PA= procesautomatisering

Op jaarbasis komt de CAPEX en een debiet van 7,7 miljoen m³ per jaar komt dit neer op EUR 0,56 per m³.

6.2.2 OPERATIONELE LASTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN VAN CONVENTIONELE RWZI MET NABEHANDELING

Voor de vergelijking van operationele kosten is gebruik gemaakt van kentallen en de resultaten van de Nederlandse bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer, en de uitgangspunten van de CO₂-footprintberekening uit hoofdstuk 5.

ONDERHOUDSKOSTEN

Voor de berekening van de onderhoudskosten voor C, E/W/PA zijn respectievelijk 0,5% en 3% van de bouwkosten aangehouden.

ENERGIE

Voor het energieverbruik is uitgegaan van het energieverbruik dat is berekend in Hoofdstuk 5.

CHEMICALIËNVERBRUIK

In de rwzi worden geen chemicaliën gebruikt, In de nabehandeling worden methanol en ijzerchloride gedoseerd voor respectievelijk denitrificatie (uitgaand van een ingaande nitraat-concentratie van 8 mg/l) en fosfaatprecipitatie (uitgaand van een totaal fosfor concentratie van 0,7 mg P/l). Voor de effluenteisen voor nitraat en P is uitgegaan respectievelijk 0,5 mg/l en 0,3 mg/l.

TABEL 6.6 OVERZICHT VAN OPEX-KOSTEN VOOR EEN 100.000 I.E. CONVENTIONELE RWZI MET NABEHANDELING

onderdeel		waarde		Kosten (EUR/jaar)
Onderhoudskosten	C	W	E/PA	
	97.250	278.300	179.250	Totaal onderhoud: 554.800
personeel	FTE	2		100.000
elektriciteit	kWh	3.658.500		365.900
chemicaliën				
ijzer	ton/jaar	206		309.000
GAK	Ton/jaar			2.600.000
methanol	ton/jaar	199		99.500
Totaal OPEX (EUR/jaar)				1.429.100

CO₂-BEPRIJZING

Op basis van de rapportage Werken met interne CO₂-beprijzing Een handreiking voor waterschappen (januari 2022) voor de Unie van Waterschappen wordt een CO₂-prijs voorgesteld binnen een range van EUR 100-140 per ton CO₂ voor de periode tot 2030 en EUR 140-290 EUR/ton CO₂ voor de jaren na 2030. Voor deze beprijzing wordt gerekend met EUR 140-290 per CO₂ om ook de potentiële toekomstige waarde van CO₂-emissiereductie in beeld te brengen. Op basis van de in hoofdstuk 5 berekende verschillen in CO₂-emissie tussen variant 4 (2.089 ton per jaar) en variant 2 (8.523 ton per jaar) stoot de conventionele rwzi met nabehandeling op jaarbasis 6.434 ton CO₂ meer uit. Dit komt neer op EUR 0,9 - 1,9 miljoen per jaar.

Op jaarbasis komt de OPEX overeen met €14,30 per i.e. Uitgaand van 7,7 miljoen m³ per jaar komt dit neer op EUR 0,19 per m³. Inclusief CO₂-beprijzing komt hier ten opzichte van variant nog eens EUR 0,11 - 0,25 per m³ bij.

De totale jaarlijkse kosten van variant 2 komen daarmee op circa EUR 0,86 - 1,00 per m³ behandeld rioolwater of EUR 67 - 77 per v.e.. Daarmee is de conventionele behandeling van rioolwater nog steeds ongeveer een factor 1,4 à 2 gunstiger dan de Waterfabriek2.0; aangevende dat impact en waarde van circulaire economie nog moet toenemen voordat een Waterfabriek2.0-concept naast de grotere duurzaamheid ook een aantrekkelijker business case heeft.

7

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

7.1 TRANSITIE NAAR EEN KLIMAATNEUTRALE WATERKETEN

De watersector staat voor een urgente en immense uitdaging. Oppervlaktewater en rwzi-effluent moeten op korte termijn veel schoner om aan de KRW-eisen en de nieuw richtlijn Stedelijk Afvalwater van de EU te voldoen, zoetwaterbeschikbaarheid moet gegarandeerd zijn om droogte te voorkomen en tegelijkertijd moet de waterketen klimaatneutraal en circulair worden om de doelen voor energie, circulair en klimaatneutraal 2030, 2040 en 2050 te halen. Om deze doelen en ambities te halen is omdenken nodig en komt de huidige manier van rioolwaterzuivering in een ander daglicht te staan. De huidige manier van zuiveren breekt waardevolle stoffen af, produceert broeikasgassen en gebruikt elektriciteit en chemicaliën zonder een uitstekende effluentkwaliteit te produceren die aan de toekomstige doelen voldoet. De voor de extra verwijdering van N, P en microverontreinigingen nodige aanvullende zuiveringsstappen vragen nog meer grondstoffen en energie waardoor de duurzaamheid nog verder onder druk komt te staan.

Daarom is Waterfabriek2.0 een nieuw veelbelovend duurzaam, en wellicht noodzakelijk, alternatief voor de conventionele zuivering van rioolwater. Aangetoond is dat Waterfabriek2.0 herbruikbaar water produceert uit rioolwater om het huidige en toekomstige zoetwatertekort tegen te gaan en dat grondstoffen gewonnen kunnen worden voor hoogwaardige circulaire toepassingen. Dit gebeurt met een innovatieve combinatie van bestaande technieken die in de basis geheel fysisch-chemisch zijn, waardoor geen broeikasgassen door afbraak- en omzettingprocessen gevormd worden en met de verwaarding van water en grondstoffen een zo klein mogelijk negatieve milieu- en klimaatimpact wordt bereikt. Door elektrificatie met duurzame energiebronnen en verduurzaming van chemicaliën is een klimaatneutrale zuivering mogelijk.

Met de ontwikkeling van de Waterfabriek2.0 halen we twee primaire doelstellingen in één keer: zeer schoon water bruikbaar voor natuur, landbouw, inductie of zelfs drinkwaterproductie en een toekomstbestendige klimaatneutrale waterzuivering. Een alles in één zuivering waarmee we alle grondstoffen, die we mogelijk kunnen onttrekken, uit het rioolwater halen en opwerken tot bruikbare grondstoffen. Tevens is de technische installatie veel compacter en modulair schakelbaar en worden microverontreiniging, zoals geneesmiddelen en microplastics effectief verwijderd.

Waterfabriek2.0 is dus een integraal innovatief duurzaam zuiveringsconcept van de toekomst dat veel verder gaat dan alle andere aanvullende technieken die binnen het Innovatieprogramma Microverontreinigingen (IPMV) getest en onderling vergeleken zijn. Omdat Waterfabriek2.0 met nanofiltratie en ionenwisseling ook vergaand microverontreinigingen uit rioolwater verwijdert is de rapportage echter wel binnen dit programma uitgewerkt. Daarvoor is een zo eerlijk mogelijke vergelijking opgesteld om Waterfabriek2.0 met andere technieken te kunnen vergelijken maar kan de grote meerwaarde voor duurzaamheid en circulariteit van Waterfabriek2.0 nog niet altijd volledig meegewogen worden.

7.2 AANGETOOND PROOF OF CONCEPT WATERFABRIEK2.0

Waterfabriek2.0 is voor de locatie Wilp van Waterschap Vallei en Veluwe samen met Dutch Water Refinery (een consortium van de ingenieursbureaus Witteveen+Bos en Royal HaskoningDHV), STOWA,, Wageningen UR, Nijhuis Saur en Aquaminerals ontwikkeld en aangetoond als een geheel nieuwe, circulaire manier van rioolwaterzuivering. Via het slim toepassen en combineren van nieuwe technieken zijn hierbij maximaal grondstoffen teruggewonnen uit het rioolwater, zoals cellulose, ammonium, fosfaat en organisch concentraat. Tegelijkertijd produceert Waterfabriek2.0 - met rioolwater als grondstof - schoon en levend water. Zo schoon dat het kwetsbare beken en kleine rivieren kan voeden of voor landbouw en industrie ingezet kan worden waarmee droogte en zoetwatertekorten worden tegengegaan.

AFBEELDING 7.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN WATERFABRIEK2.0 ZOALS ONTWIKKELD VOOR DE LOCATIE WILP



Waterfabriek2.0 is dus een innovatief duurzaam concept om rioolwater op een geheel andere manier te reinigen en tegelijkertijd circulaire grondstoffen en herbruikbaar water te produceren. De technieken die ingezet zijn in de pilot van Waterfabriek2.0 voor locatie Wilp hebben zichzelf afzonderlijk al bewezen, maar de combinatie ervan is uniek en de pilot moest ook bewijzen of ze achter elkaar geschakeld het beoogde resultaat gaan opleveren. De eerste pilot heeft aangetoond dat met het fysisch chemisch scheidingsconcept het gezuiverde water van uitstekende kwaliteit is, medicijnresten vergaand worden verwijderd en grondstoffen zoals cellulose en stikstof uit de reststromen kunnen worden gewonnen. Wel moet er bij de pilot-installatie nog gekeken worden naar het energieverbruik en de operationele kosten en is er nog nader onderzoek nodig om reststromen zo geconcentreerd mogelijk te maken en verder te ontrafelen in afzonderlijke stoffen.

7.3 VERGELIJKING OP BASIS VAN IPMV-CRITERIA

Voor de kwantitatieve beoordeling van Waterfabriek2.0 zoals voor de locatie Wilp ontwikkeld zijn drie criteria gehanteerd op basis waarvan de verschillende concepten voor verwijdering van microverontreinigingen uit rioolwater volgens het IPMV met elkaar kunnen worden vergeleken. De Waterfabriek2.0 kan echter niet direct met een referentietechniek voor verwijdering van microverontreiniging worden vergeleken omdat dit veelal nageschakelde of additionele technieken zijn op een conventionele - reeds bestaande - rwzi. De Waterfabriek2.0 betreft een compleet nieuw concept met gehele vervanging van de conventionele rwzi waarbij naast verwijdering van microverontreinigingen tevens meerdere urgente doelen worden bereikt: vergaande zuivering van rioolwater tot herbruikbaar water,

voorkoming van proces-gerelateerde broeikasgasemissies, productie van grondstoffen in plaats van afbraak. Tevens worden geen schadelijke bijproducten, antibioticaresistente componenten gevormd en worden opkomende aandachtstoffen als micro- en nanoplastics en lange-keten PFAS verwijderd.

In tabel 7.1 is de kwantitatieve beoordeling van de Waterfabriek2.0 op basis van de twee representatieve en relevante variante van de drie vanuit het IPMV gevraagde criteria weergegeven in onderlinge vergelijking.

TABEL 7.1 KWANTITATIEVE BEOORDELING CONVENTIONELE RWZI MET NABEHANDELING EN WATERFABRIEK2.0 (OP SCHAALGROOTTE 100.000 I.E.)

IPMV Criterium	Eenheid	rwzi conventioneel + chemisch-biologisch GAK (voor vergaande N, P en MV verwijdering) (variant 2)	Waterfabriek2.0 full scale (variant 4)
CO ₂ -emissie overall ¹⁷	kg CO ₂ /m ³	0,23	0,06
Verwijderingsrendement P	%	~95%	>99%
Verwijderingsrendement N	%	~90%	>99%
Verwijderingsrendement CZV	%	>95%	>95%
Verwijderingsrendement beste 7 gidsstoffen OMV ¹⁸ IPMV methodiek exclusief RWA/DWA verrekening	% ²	40%	85 – 99%
Verwijderingsrendement beste 7 gidsstoffen OMV volgens IPMV methodiek inclusief RWA/DWA-verrekening	%	40-60%	75-85%
Indicatieve kosten per verwijderde vervuilingseenheid	EUR/v.e. ¹⁹	67 - 77,--	110,-- ²⁰
Indicatieve kosten per m ³ water behandeld	EUR/m ³	0,9 - 1,10	1,4 ¹²

Het derde criterium kosten wordt naast de indicatieve getallen zoals hier samengevat en uitgewerkt in hoofdstuk 6 hier kort separaat toegelicht aangezien de kostenvergelijking van Waterfabriek2.0 (variant 4) met een conventionele rwzi met nabehandeling (variant 2) de nodige nuance vereist. Dit heeft vooral te maken met de potentiële baten die een Waterfabriek2.0 kan hebben bij benutting van het schone water en de geproduceerde grondstoffen. De conventionele behandeling van rioolwater met nabehandeling is in de huidige economie nog ongeveer een factor 1,4 tot 2 gunstiger dan Waterfabriek2.0; aangevende dat de impact en de waarde van circulaire economie nog moet toenemen voordat een Waterfabriek2.0-concept naast de grotere duurzaamheid ook een aantrekkelijker business case heeft. Doordat in de huidige - grotendeels - lineaire economie de afzet van grondstoffen naar een circulaire toepassing nog beperkt is zijn de totale levenscycluskosten van Waterfabriek2.0 nog onzeker. Die kunnen op termijn zeer gunstig zijn indien de circulaire afzet van water en grondstoffen tot wasdom komen, maar moeten onder huidige condities nog hoog ingeschat worden.

7.4 AANBEVELINGEN

De pilot van de Waterfabriek2.0 zoals uitgevoerd op rwzi Terwolde voor de locatie Wilp heeft veel inzicht gebracht en de grote potentie van het concept aangetoond. Daarnaast zijn met de pilot ook de nodige onderzoeksvragen en uitdagingen naar voren gekomen die nader onderzoek vragen.

17 Per m³ behandeld afvalwater

18 Verwijderingsrendement conform de Volkert-Bakker methode voor minimaal 7 van de 11 gidsstoffen elk 24h of 48h debiets- of tijdproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met de verblijftijd in de rioolwaterzuivering.

19 Vervuilingseenheid (of inwonerequivalent) à 150 g TZV

20 Inclusief verwaarding van baten à 0,65 per m³

Kort samengevat zijn de resterende onderzoeksvragen:

7.4.1 OPSCHALING CONCEPT

Op welke schaal is het concept toepasbaar (met EC in combinatie met ondersteunende FeCl₃-doserings) op de infrastructuur in Nederland en de daaraan gekoppelde wisselingen in rioolwatersamenstelling ten gevolge van neerslag?

Daarvoor is de volgende stap het opschalen van de installatie naar een capaciteit van 20 à 50 m³/h aan rioolwater. Voor de eerste procesonderdelen zal dit geen probleem zijn. Inclusief de interne stromen en de recirculatie van het concentraat zal dan een totale hydraulische capaciteit van 80-100 m³/h nodig zijn. Dit komt dan overeen met de capaciteit waar deze onderdelen voor zijn ontworpen.

Voor de membraanmodule zal deze opschaling wel gevolgen hebben. Met name zal aandacht besteed moeten worden aan de opstelling en de mogelijke toe te passen reinigingsprincipes. Vooral de luchtspoeling zal aandacht vragen bij een groot aantal membraanmodules.

7.4.2 ELEKTROCOAGULATIE VERDER ONTWIKKELEN VOOR COMMUNALE TOEPASSING

In de opgeschaalde praktijkversie van Waterfabriek2.0 zal ook een Electro-Coagulatie (EC) aanwezig zijn. Om de werking van de EC te verbeteren zal ozon worden gedoseerd. Dit om ervoor te zorgen dat het opgeloste ijzer van de elektroden in de juiste valentie beschikbaar komt. Mogelijk zal dit er ook voor zorgen dat beter ingespeeld wordt op de variaties in influentsamenstelling. De functie van EC voor rioolwater is het precipiteren van fosfaat, vlokvorming door middel van sweep coagulatie, flocculatie en het invangen van zwevende stof. Daarnaast worden door EC ook deels zware metalen neer geslagen. De gevormde vlokken en precipitaten kunnen met bezinking, flotatie en/of filtratie verwijderd worden. In een EC-reactor hangen metalen (ijzer en/of aluminium) platen die onder spanning worden gezet, waarbij ze afhankelijk van de toegepaste stroomsterkte oplossen in het water. Deze opgeloste metalen functioneren als coagulant van de verontreinigingen (waarbij de verontreinigingen bindingen vormen met het opgeloste metaal). Tevens precipiteren ook de opgeloste (zware) metalen met hydroxides.

ONDERZOEKVRAAG 1: SYSTEEMVERGELIJKING

De afgelopen twee jaar is door de projecten van Nereus en Waterfabriek Wilp veel ervaringen en kennis met EC opgedaan; waarbij is gebleken dat de installaties procestechnologisch dan wel vergelijkbaar werken maar technisch en qua resultaat andere uitkomsten lieten zien. Onduidelijk is waar de verschillen door veroorzaakt worden. Een goede onderlinge vergelijking is aanbevolen door de expertgroep van Waterfabriek Wilp, waar ook Evides onderdeel van uitmaakt; zie de samenstelling van de expertgroep onder Overige opmerkingen.

ONDERZOEKSVRAAG 2: VLOKVORMINGSTIJD

Voor een goede werking van de afscheidingstechniek is goede vlokvorming cruciaal. Een goed flocculatieproces is dus cruciaal in de voorbehandeling van het rioolwater. Uit de onderzoeken van Waterfabriek Wilp en Nereus is gebleken dat vlokvormingstijd essentieel is na EC. Het middels EC gecoaguleerde rioolwater dient aan een flocculatietank gevoed te worden voor optimale vlokvorming. In de flocculatietank worden de juiste procescondities gerealiseerd zodat de gecoaguleerde deeltjes tot grotere vlokken kunnen groeien. Hiervoor is een lage mengenergie (G-waarde = circa 50 s⁻¹) nodig met een verblijftijd van > 10 minuten. Ook de watertemperatuur heeft een grote invloed op de vlokvorming (idealiter ≥ 10 °C). Bij een

lagere temperatuur is een langere verblijftijd nodig (15-30 minuten). Dit dient met pilotonderzoek nader aangetoond en geoptimaliseerd te worden.

ONDERZOEKSVRAAG 3: ZUURSTOFGEHALTE EN PH

Tijdens pilottesten is geconstateerd dat tijdens elektrocoagulatie zowel ijzer in gereduceerde toestand (Fe(II)) als ijzer in geoxideerde toestand (Fe(III)) worden gevormd. Omdat de verwijdering van fosfor en CZV via Fe(III) verloopt zijn testen uitgevoerd om Fe(II) in Fe(III) om te zetten. Door inbreng van zuurstof op de EC is dit gelukt. Het daadwerkelijke effect van zuurstofinbreng op de werking van de EC is nog niet eenduidig vastgelegd in het pilotonderzoek. Daarom dient in het ontwerp de voorziening opgenomen te worden om zuurstof op de EC in te kunnen brengen. Verder is voor de juiste vlokvorming een beperkt pH-gebied (6,0 - 7,4) optimaal; terwijl met EC de pH juist stijgt door hydrolysereacties. Dit dient nader geoptimaliseerd te worden met bijvoorbeeld labonderzoek.

ONDERZOEKSVRAAG 4: DUURZAAMHEID EN EFFECTIVITEIT

Vanuit de lopende onderzoeken en de uitkomsten van dit specifieke STOWA-onderzoek wordt de effectiviteit van EC bepaald en wordt de duurzaamheid ten opzichte van metaalzoutdosering op basis van een CO₂-emissieberekening (een GER-waardeberekening is reeds beschikbaar) opgesteld en gerapporteerd.

7.4.3 ONDERZOEK INVLOED RIOOLWATERTEMPERATUUR EN -KWALITEIT

Een aandachtspunt van de eerste straat zal zijn de invoed van de watertemperatuur op de permeabiliteit van het membraan. Het doel is om met de eerste straat na realisatie en opstart 2,5 jaar onderzoek te doen. Tijdens het pilotonderzoek is dit onvoldoende naar voren gekomen door de ombouw van de pilot in de winterperiode naar de installatie en een relatief warme winter. Gedurende de onderzoeksperiode van 2,5 jaar zou het derhalve mooi zijn dat gunstig zijn als er een natte koude winter komt.

Een andere onderzoeksvraag gerelateerd aan de temperatuur is de aanwezigheid van BZV in het effluent door de vorming van lagere vetzuren in het rioolstelsel bij hogere temperaturen. De lagere vetzuren zijn klein hebben een te laag molecuulgewicht om te worden tegengehouden door het membraan. Het onderzoek naar lagere vetzuren kan dan inzicht geven in de samenstelling van de CZV en BZV in de verschillende tussenstappen en de invloed van de processtappen op de verwijdering van deze stoffen.

Een onderzoeksvraag voor de nieuwe installatie zal zijn het toepassingsbereik vast te stellen. Hiermee wordt bedoeld in hoeverre blijft de installatie nog goed en bedrijfszeker werken indien er sprake is van zeer sterk verdund rioolwater en hoe gevoelig de installatie is voor variaties in de rioolwatersamenstelling.

ONDERZOEKSVRAAG 1: WAT IS DE WATERKWALITEIT BENODIGD VOOR EXTERNE TOEPASSING

Waar moet het productwater van Waterfabriek2.0 aan voldoen om voor verschillende doelstellingen gebruikt te kunnen worden.

- Lozing op oppervlaktewater voor natuurwaarde en droogtebestrijding
 - Chemisch
 - Ecologisch
- Bodeminfiltratie
- Landbouwwater
- Proceswater

ONDERZOEKSVRAAG 2: ROUTES VOOR GRONDSTOFFENOPWERKING

De opwerkingsroutes voor cellulose, organisch concentraat, ammonium en fosfaat moeten verder ontwikkeld en gevalideerd worden. Daarvoor zijn de volgende punten van belang:

- Vaststellen of flotaatconcentratie DAF>6% is in praktijkinstallatie (hiermee wordt extra indikstap voorkomen).
- In welke reststromen bevinden zich de verontreinigingen?
 - Wat betekent dit voor de afzet?
 - Welke aanvullende stappen zijn noodzakelijk om de verontreinigingen te verwijderen?
 - Wat is mogelijk met de regeneratiestroom van de eerste ionenwisselaar?
- Welk aanvullende stappen (anders dan zuivering) zijn noodzakelijk om de reststromen geschikt te maken voor afzet?
- Waar kan het NH₄-regeneraat worden afgezet?
- Waaraan moet het af te zetten NH₄ voldoen (kwaliteitseisen)?
- Wat is de standtijd van de toegepaste membranen?
- Wat is de standtijd van de ionenwisselaarsharsen?

ONDERZOEKSVRAAG 3: TOTALE KETEN CO₂-IMPACT

Analyse van gehele keten met geborgde afzetmogelijkheden van grondstoffen dient beter in beeld te worden gebracht kijken naar de gehele slijblijn en eindverwerking bij de Slibverwerkingsinstallatie (SVI) voor volledig vergelijken van CO₂-impact.

ONDERZOEKSVRAAG 4: VERGUNNING EN HANDHAVING

De waterkwaliteit uit de waterfabrieken is hoog en vanuit het huidige kostenbeeld als te kostbaar worden beschouwd om zomaar op het oppervlaktewater te lozen. Echter, bij afzet naar een afnemer dient er altijd rekening mee te worden gehouden dat deze afnemer niet altijd zal afnemen. Omdat de productie van afvalwater niet is te sturen, zal er altijd de mogelijkheid moeten zijn om het gezuiverde water te lozen op oppervlaktewater.

Voor lozing van gezuiverd afvalwater zijn er vergunningen waaraan moet worden voldaan. De huidige vergunning zijn opgesteld op basis van de huidige technieken, waarbij het water nog rijk is aan vele stoffen. De nu in ontwikkeling zijnde technieken, en met name de technieken toegepast in Waterfabrieken vragen mogelijk om een andere vergunnings- en handhavingssystematiek.

VOORBEELD

Het gezuiverde rioolwater uit de “technische installatie” zal zeker voldoen aan alle chemische eisen. Echter, de ecologische kwaliteit zal anders zijn. Het remineraliseren en revitaliseren is noodzakelijk alvorens het gezuiverde water geloosd kan worden op oppervlaktewater. De ecologische kwaliteit zal sterk verbeteren, maar een negatieve invloed hebben op chemische kwaliteit. Deze kan zodanig verslechteren dat niet meer wordt voldaan aan de chemische kwaliteit. Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door de groei van watervlooien in het laatste deel van de revitalisatievijver die in het monster worden meegenomen. Het water zal dan ecologisch goed zijn, maar tot gevolg hebben dat de fosfaateis wordt overschreden. Het bemonsteren en laten analyseren van het gezuiverde water op een punt zal met de bestaande voorschriften tot het niet voldoen aan de lozingseisen.

Naast de onderzoeken en ontwikkeling van de technieken om het afvalwater weer schoon te krijgen zal onderzocht dienen te worden hoe wet- en regelgeving aangepast moeten worden zodat deze rechtmatig toegepast kunnen worden.

7.4.4 CHEMICALIËNGBRUIK VERDUURZAMEN

Om de werking en duurzaamheid van het Waterfabriek2.0 te verbeteren is extra aandacht nodig voor optimalisatie van chemicaliëngebruik voor reiniging van membranen en regeneratie van de IEX. Met name optimalisatie van de membraanreiniging is daarbij aan te bevelen.

7.5 DOORKIJK

Zoals in 7.1 al genoemd, staat de Nederlandse watersector de komende 10 à 15 jaar voor enorme opgaven. Nederland is op een meerdere onderwerpen in een transitie, waarvan in dit verband de volgende zeer relevant zijn:

- de energietransitie, om los te komen van fossiele brandstoffen;
- de grondstoffentransitie, om te ontwikkelen van een lineaire naar een circulaire economie;
- de watertransitie, om te zorgen dat we in steeds langere periodes van droogte toch voldoende (hoeveelheid én kwaliteit) water hebben voor natuur, landbouw en drinkwater, en dat we in periodes van heftige regenval droge voeten houden.

Daarnaast hebben de waterschappen ambitieuze doelen gesteld voor circulariteit en klimaatvoetafdruk. Met de huidige rwzi's is het praktisch onmogelijk om al deze doelen te bereiken. De komende jaren moet daarom ervaring opgedaan worden met nieuwe technologie.

Behalve de technische en technologische innovatie zal er, opnieuw, sociale innovatie nodig zijn. Juist omdat het tijdspad kort is, moet ook het ontwikkelpad zelf innovatief zijn. Alles moet erop gericht zijn om snelheid te maken. Gelukkig heeft het verleden geleerd dat veel bereikt kan worden door intensieve samenwerking en dat de waterschappen in staat zijn om grote opgaven aan te kunnen. Aangezien alle waterschappen in meer of mindere mate voor deze opgaven staan, ligt het voor de hand om de samenwerking te zoeken. Als de markt, wetenschappelijke onderzoeksinstituten en de waterschappen de handen ineenslaan kunnen de lasten verdeeld worden, en blijft capaciteit en ervaring beschikbaar voor de reguliere processen.

Voor concepten als de Waterfabriek2.0 zoals ontwikkeld voor Wilp is een noodzakelijke vervolgstap de opschaling naar grotere capaciteiten. De kosten hiervan zijn dusdanig dat het niet reëel zou zijn om deze door één individueel waterschap te laten dragen.

Aanbevolen wordt daarom om met minimaal drie waterschappen, één of twee leveranciers en onderzoeksinstituten een versnellingstraject op te zetten. Dit zou er ongeveer als volgt uit kunnen zien.

2023

- Selectie van locaties waar voor 2035 beschikbaarheid van nieuwe technologie noodzakelijk is
- Selectie van locaties waar op kleinere schaal pilots en demo's gerealiseerd kunnen worden
- Bouwen van onderzoeks- en demo-consortium
- Inrichten van een netwerk en financiering waarin geborgd is dat onderzoeksvragen worden afgestemd en verdeeld en waarin kennis wordt gedeeld, vastgelegd en verspreid.

2024-2027

- Uitvoeren van demo's Waterfabriek2.0, gericht op behalen doelen KRW en verwijderen microverontreinigingen:
 - analoog aan het IPMV: lerend implementeren en doorontwikkelen,
 - technologische doorontwikkeling van concepten, gericht op verdere verlaging van klimaatimpact, verhoging van waarde van restwater en –producten, en kosten-efficiëntie.
 - ontwikkeling van afzetmarkt voor grondstoffen en water
 - ontwikkeling van (nationale en internationale) 'marktpotentie'; vanuit de wetenschap dat in korte tijd veel projecten gerealiseerd zullen moeten worden zal in samenspraak met de markt aan een strategie gewerkt worden.

2027-2035

- Ontwerp- en realisatietrajecten met aandacht voor:
 - een slimme fasering van projecten zodat de markt de vraag kan leveren, en
 - voorkomen van dezelfde kinderziekten in elk project
 - dusdanige (modulaire) ontwerpen dat ontwerptrajecten kunnen versnellen

De beschreven uitdagingen gelden voor Nederland als geheel, en moeten daarom ook in gezamenlijkheid worden opgepakt. Dit vraagt om een programmatische sturing om snelheid, focus en effectiviteit te borgen.

BIJLAGE I

DATASHEET GEBRUIKTE NXF MEMBRAAN

DNF40

**PRODUCT DESCRIPTION**

The MexFil™ WMC200 dNF40 nanofiltration modules can be used for:

- Applications to treat ground and surface water, and for reuse of industrial or municipal wastewater effluents;
- The removal of organics, many (micro)pollutants, softening in combination with partial desalination producing potable water or process water;
- A wide range of process applications including caustic cleaning fluid recycling due to the excellent pH tolerance;
- Inside-out operation, typically in a crossflow filtration mode, cleaning regularly by a combination of forward flush, module feed-side drain and a backwash supported by a chemically enhanced forward flush, providing perfect control of the membrane fouling rate;
- Vertical mounting inside a skid being plug-and-play compatible for the replacement of modules in existing installations.

The unique hollow fiber nanofiltration modules replace the 2-step conventional treatment of a hollow fiber ultrafiltration module followed by a spiral wound nanofiltration or reverse osmosis module by one simple step.

MEMBRANE SPECIFICATIONS

Membrane material	Modified PES with a high chlorine tolerance
Nominal MWCO*	400 Da
Nominal membrane rejection for MgSO ₄ **	93%
Membrane charge	Negative charge @ pH=7
Nominal fiber ID	0.7 mm

* Molecular Weight Cut-Off (MWCO) is an estimation as it depends on size, shape, charge and polarity of the compound being tested as well as the test conditions.
** Test conditions: 600 mg/l MgSO₄, 2.5 bar, 25 °C, v=0.5 m/s.

MODULE SPECIFICATIONS**Dimensions**

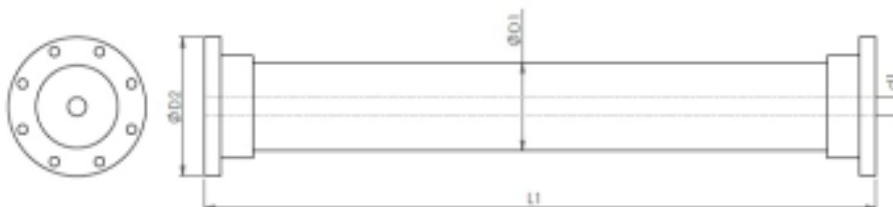
Length (L1)	1537 mm
Outer diameter housing (D1)	200 mm (8 inch)
Inner diameter permeate tube (d1)	42 mm
Nominal membrane area	42 m ²

Connections

Type	200 mm (standard flange; dedicated end caps available)
Outer diameter end cap connector (D2)	315 mm

Materials of constructions

Housing	PVC-U Cream
Internals	ABS/PP
Potting material	Epoxy resin

**PRODUCT CERTIFICATION**

According to NSF, KTW and Kiwa ATA regulations.

NXF Filtration B.V. – Institutenweg 35 – 7521PH Enschede – The Netherlands – +31 (0)85 047 99 00 – www.nxfiltration.com – info@nxfiltration.com

Disclaimer: The statements, technical information and recommendations contained herein are believed to be accurate as of the date hereof. Since the conditions and methods of use of the product and of the information referred to herein are beyond our control, NXF Filtration BV expressly disclaims any and all liability as to any results obtained or arising from any use of the product or reliance on such information. NO WARRANTY OF FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR ANY OTHER WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, IS MADE CONCERNING THE GOODS DESCRIBED OR THE INFORMATION PROVIDED HEREIN.

BIJLAGE II

INFLUENTGEGEVENS RWZI TERWOLDE

In onderstaande tabel zijn de analysesresultaten van de reguliere influentbemonstering van rwzi Terwolde weergegeven gedurende de proefperiode van de pilot.

	CZV	BZV5	NKj	Ntot	Ptot	OB	TZV	Q
	O₂	O₂	N	N	P	NVT	O₂	NVT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	m³ (bem)
05-mei-2019	670	230	72.0	72.0	8.90	250	999	7,028
11-mei-2019	730	230	105	105	9.40	270	1,210	6,688
17-mei-2019	760	320	75.8	75.8	10.0	290	1,106	5,206
23-mei-2019	800	330	87.9	87.9	10.0	340	1,202	4,964
29-mei-2019	510	200	77.3	77.3	9.40	130	863	20,192
09-jun-2019	750	290	76.2	76.2	10.0	320	1,098	4,852
15-jun-2019	660	230	69.7	69.7	8.70	240	979	14,136
21-jun-2019	780	240	93.6	93.6	11.0	310	1,208	4,988
27-jun-2019	870	380	96.4	96.4	12.0	360	1,311	4,432
03-jul-2019	600	260	80.3	80.3	11.0	150	967	5,040
09-jul-2019	510	220	73.4	73.4	10.0	150	845	5,012
15-jul-2019	490	190	66.8	66.8	9.00	140	795	5,136
21-jul-2019	760	270	75.3	75.3	12.0	310	1,104	6,692
27-jul-2019	670	230	73.4	73.4	12.0	240	1,005	4,196
02-aug-2019	200	56.0	37.7	37.7	3.80	66.0	372	17,784
08-aug-2019	480	230	72.4	72.4	9.50	130	811	4,052
14-aug-2019	410	190	49.1	49.1	6.90	110	634	4,868
20-aug-2019	420	180	61.4	61.4	7.40	98.0	701	3,500
26-aug-2019	660	270	88.8	88.8	11.0	180	1,066	5,636
01-sep-2019	570	200	50.4	50.4	7.30	270	800	10,140
07-sep-2019	680	240	71.6	71.6	11.0	280	1,007	9,700
13-sep-2019	710	280	76.5	76.5	12.0	320	1,060	4,336
19-sep-2019	1,150	460	90.6	90.6	13.0	540	1,564	4,820
25-sep-2019	880	310	67.2	67.2	9.20	390	1,187	6,896
01-okt-2019	310	100	28.2	28.2	3.80	140	439	20,088
07-okt-2019	410	160	55.9	55.9	7.20	120	665	5,472
13-okt-2019	510	170	80.5	80.5	8.10	91.0	878	12,298
19-okt-2019	610	220	50.2	50.2	6.30	300	839	11,140
25-okt-2019	600	180	89.8	89.8	7.60	110	1,010	4,932
31-okt-2019	600	210	141	141	9.80	110	1,244	4,984
06-nov-2019	400	170	71.4	71.4	4.90	88.0	726	6,868
12-nov-2019	580	220	72.2	72.2	7.10	230	910	7,900
18-nov-2019	910	320	44.9	44.9	5.30	490	1,115	29,504
24-nov-2019	590	240	83.1	83.1	9.10	160	970	4,892
30-nov-2019	550	200	86.1	86.1	8.30	120	943	5,268
06-dec-2019	630	210	99.7	99.7	9.10	150	1,086	15,400
12-dec-2019	630	280	95.3	95.3	9.10	190	1,066	5,520
18-dec-2019	510	200	95.7	95.7	7.60	120	947	6,184
24-dec-2019	460	200	73.4	73.4	6.40	100	795	15,424

	CZV	BZV5	NKj	Ntot	Ptot	OB	TZV	Q
	O₂	O₂	N	N	P	NVT	O₂	NVT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	m³ (bem)
30-dec-2019	640	220	69.5	69.5	8.70	190	958	5,352
04-jan-2020	480	150	91.0	91.0	7.60	96.0	896	6,340
10-jan-2020	570	210	77.6	77.6	8.30	120	925	7,604
16-jan-2020	510	190	66.4	66.4	6.50	190	813	5,976
22-jan-2020	750	280	71.7	71.7	8.60	340	1,078	5,648
28-jan-2020	730	240	60.7	60.7	6.30	440	1,007	17,212
03-feb-2020	1,090	340	58.4	58.4	7.50	550	1,357	7,784
09-feb-2020	600	160	152	152	7.60	130	1,295	11,064
15-feb-2020	270	78.0	43.6	43.6	2.50	94.0	469	8,168
21-feb-2020	480	150	33.6	33.6	4.00	260	634	10,012
27-feb-2020	610	190	77.4	77.4	5.40	300	964	16,060
04-mrt-2020	1,080	370	36.5	36.5	3.80	610	1,247	7,988
10-mrt-2020	250	73.0	29.4	29.4	2.60	130	384	22,580
16-mrt-2020	670	230	112	112	6.90	290	1,182	9,184
22-mrt-2020	680		102	102	7.40	140	1,146	6,924
09-mei-2020	520	240	43.7	43.7	11.0	100	720	4,728
15-mei-2020	750	310	87.9	87.9	12.0	260	1,152	4,984
21-mei-2020	970	390	97.3	97.3	13.0	360	1,415	3,988
27-mei-2020	830	350	89.6	89.6	12.0	230	1,239	4,760
02-jun-2020	750	350	95.5	95.5	13.0	210	1,186	4,864
08-jun-2020	360	160	53.1	53.1	6.80	94.0	603	5,100
14-jun-2020	310	110	44.2	44.2	6.50	62.0	512	12,908
20-jun-2020	530	240	81.7	81.7	10.0	120	903	4,400
26-jun-2020	490	210	77.1	77.1	9.80	110	842	4,720
Gem (rek):*	618	232	74.7	74.7	8.44	220	960	8,326
Gem (gew):	592	215	69.3	69.3	7.53	224	909	
Max:	1,150	460	152	152	13.0	610	1,564	29,504
Min:	200	56.0	28.2	28.2	2.50	62.0	372	3,500
StdevP:	195	78.1	23.4	23.4	2.57	126	251	5,289
Percentiel (95%)	964	369	105	105	12.0	485	1,309	19,858
Weegfact.deb	8,326	8,348	8,326	8,326	8,326	8,326	8,326	
Aantal:	63	62	63	63	63	63	63	63

BIJLAGE III

ENERGIEVERBRUIK

TABEL III.1 DETAILLERING VAN DE VERBRUIKERSLIJST TER ONDERBOUWING VAN HOOFDSTUK 5 EN 6

Procesonderdeel	Geïnstalleerd vermogen kW	Jaargemiddeld gebruiksniveau %	Draaiuren per uren	Verbruik m ³ behandeld kWh/m ³	Behandeld debiet per dag m ³ /dag	Elektriciteitsverbruik per dag kWh/dag	Bron
Perforatierooster	3	85%	24			61.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Zandvanger	1	85%	24			20.4	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Zandtransportschroef/wasser	1	30%	16			4.8	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Zandopvoerschroef	1.5	30%	16			7.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Blower	1	30%	24			7.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Vetvanger	0.2	30%	24			1.4	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Wormpomp t.b.v. vet verpompen	1.5	30%	16			7.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Pomp naar buffertank	5.8	100%	24			139	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Pomp naar fijnzeven	4.4	100%	24			105	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Fijnzeef	2.5	100%	24			60	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Fijnzeefperspomp	1.5	70%	24			25.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
IJzerchloridedoseerpomp + menger	1.5	100%	24	0.04	5712	228.5	
Polymeerdoseerpomp + menger	1.5	80%	24	0.04	5712	228.5	o.b.v. gegevens pompleverancier
DAF (schraper; luchtinjectie, recirculatiepomp)	24	100%	24	0.1	5712	571	o.b.v. gegevens pompleverancier (NI)
Nanofiltratie	94	100%	24	0.4	564	2.256	berekend o.b.v. operationele drukken pilot
Spoelpomp NF	3.6	70%	36			9.2	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Pomp tussen NF en IX	7.3	100%	24			174.4	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
Pomp tussen IX-1 en IX-2	7.3	100%	24			174.4	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
IX-1 regeneratiepomp	3.6	30%	1.5			1.6	conform RO, draaiuren pilotbedrijf
IX-2 regeneratiepomp	3.6	30%	1.5			1.6	conform RO, draaiuren pilotbedrijf

TABEL III.2 ENERGIEBEREKENING NF

Parameter	Eenheid	Waarde	Formule	Opmerking
pomp rendement	%	75	eta	conservatieve aanname
soortelijk gewicht	kg/m ³	1000	ro	
acceleratie zwaartekracht	m/s ²	9.8	g	
voedingsdebiet	m ³ /s	0.001	Q_voeding	
statische opvoerhoogte (operationele voedingsdruk)	m	50	P_stat	o.b.v. operationele gegevens uit pilot
benodigd vermogen voeding	kW	0.9	$W_{voeding} = Q_{voeding} \cdot g \cdot ro \cdot P_{stat} / 1000 / eta$	
recirculatie debiet	m ³ /s	0.003	Q_rec	o.b.v. instellingen pilot
dynamische opvoerhoogte	m	15	P_dyn	o.b.v. operationele gegevens uit pilot
operationele drukval				
benodigd vermogen recirculatie per stack	kW	0.5	$W_{stack} = Q_{rec} \cdot g \cdot ro \cdot P_{dyn} / 1000 / eta$	
aantal stacks nodig in pilot	#	2	n_stack	
totaal benodigd vermogen recirculatie	kW	1.1	$W_{rec} = W_{stack} \cdot n_{stack}$	
totaal benodigd vermogen	kW	2	$W_{tot} = W_{rec} + W_{voeding}$	

BIJLAGE IV

UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENING

1. Berekening investeringen

Onvolledigheid

In de kostenberekeningen rekening houden met een onvolledigheidsfactor van 25%.

Aannemerskosten

Over kale investeringskosten voor civiele, werktuigbouwkundige, elektrotechnische en procesautomatisering werkzaamheden rekening houden met een opslag van 25%. Deze opslag bestaat uit kosten voor de aannemer om het werk uit te voeren, zoals algemene bouwplaatskosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico.

Bouwkosten en stichtingskosten

Voor de factor van bouwkosten naar stichtingskosten 80% aannemen. Deze bestaat uit kosten voor btw, onvoorzien, engineering, projectmanagement, directievoering, verzekeringen, tijdelijke voorzieningen tijdens ombouw en opstart, opleiding en communicatie.

NB naast bovengenoemde opslagen geen verdere posten onvoorzien opnemen.

2. Berekening jaarlasten

Ten aanzien van de berekening van de jaarlasten de volgende uitgangspunten hanteren:

- Kapitaalslasten worden berekend op basis van lineaire afschrijving over 30 jaar voor civiele onderdelen, 15 jaar voor werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen, 5 jaar voor procesautomatisering en een rente van 4%.
- Onderhoudskosten: 0,5% van de bouwkosten voor civiele onderdelen en 3% van de bouwkosten voor W/E/PA onderdelen.

Overige kosten inclusief btw

- Personeelskosten: € 50.000 per fte per jaar
- Elektriciteit: € 0,10/kWh
- Polymeer: € 3,-/kg ingekocht product
- Zuivere zuurstof: € 0,20/kg
- IJzerchloride en Aluminiumchloride: € 120/ton 40% w/w
- Poedervormig Actief Kool: € 2,0 /kg
- Granulair Actief Kool: € 1.200 /m³
- Gereactiveerd granulair actief kool: € 500 /m³

BIJLAGE V

DETAILLERING INSTALLATIEKOSTEN

WATERFABRIEK2.0 100.000 I.E.

In onderstaande tabel is een schatting weergegeven van de kosten per installatieonderdeel verdeeld over de kosten posten civiel (C), werktuigbouw (W), elektro (E) en automatisering (A) op basis van de bouwkostenramingen conform SSK-methodiek voor Waterfabriek Wilp (december 2020). De inschatting van de Automatiseringskosten betreft een grove schatting daar deze meestal al totaal post wordt gezien.

SCHATTING INSTALLATIEKOSTEN WATERFABRIEK2.0 100.000 I.E. TBV KOSTENRAMING (PRIJSPEIL DECEMBER 2019)

	C	W	E	A	totaal
ontvangwerk	€ 100,000	€ 30,000	€ 50,000	€ 20,000	€ 200,000
grofroosters		€ 500,000	€ 100,000	€ 20,000	€ 620,000
zand/vetvang		€ 500,000	€ 100,000	€ 20,000	€ 620,000
fijnzeef		€ 750,000	€ 130,000	€ 20,000	€ 900,000
Buffertank	€ 1,000,000	€ 200,000	€ 80,000	€ 20,000	€ 1,300,000
EC		€ 9,800,000	€ 1,000,000	€ 135,000	€ 10,935,000
Flocculatietank		€ 400,000	€ 100,000	€ 30,000	€ 530,000
DAF		€ 3,500,000	€ 300,000	€ 125,000	€ 3,925,000
Flotaatbuffer		€ 350,000	€ 50,000	€ 20,000	€ 420,000
NF		€ 12,250,000	€ 2,000,000	€ 225,000	€ 14,475,000
IX1 IX2		€ 9,250,000	€ 500,000	€ 200,000	€ 9,950,000
Marmerfiltratie		€ 3,610,000	€ 100,000	€ 30,000	€ 3,740,000
chemicaliënopslag en dosering	€ 400,000	€ 1,000,000	€ 150,000	€ 125,000	€ 1,675,000
energievoorziening			€ 1,000,000		€ 1,000,000
elektra overige			€ 1,000,000		€ 1,000,000
gebouw	€ 6,000,000	€ 600,000	€ 500,000		€ 7,100,000
luchtbehandeling	€ 100,000	€ 500,000	€ 100,000	€ 30,000	€ 730,000
Bouwkosten	€ 7,600,000	€ 43,240,000	€ 7,260,000	€ 1,020,000	€ 59,120,000
factor Stichtingskosten/ bouwkosten					1,80
IPMV-aanpak (2017)					
Stichtingskosten (incl. BTW)	€ 13,680,000	€ 77,832,000	€ 13,068,000	€ 1,836,000	€ 106,416,000
Annuïteit	€ 791,100	€ 7,000,300	€ 1,175,400	€ 412,400	€ 9,379,200
Onderhoudskosten	€ 38,000	€ 1,297,200	€ 217,800	€ 30,000	€ 1,583,000

BIJLAGE VI

CAPACITEITEN EN HOEVEELHEDEN

VARIANTEN

	Eenheid	Referentie rwzi	Referentie rwzi + N/P verwijdering
		ALM technologie sheet	ALM technologie sheet
Ontwerpcapaciteit en effluentkwaliteit			
biologische capaciteit rwzi	i.e. (150 g TZV)	108.000	108.000
biologische capaciteit rwzi	i.e. (150 g TZV)		
biologische capaciteit totaal	i.e. (150 g TZV)		
hydraulische capaciteit rwzi	m ³ /uur	5.000	5.000
hydraulische capaciteit rwzi	m ³ /uur		
DWA	m ³ /dag		
Jaargemiddeld debiet	m ³ /jaar	8.359.230	8.359.230
jaargemiddeld debiet	m ³ /d	22.902	22.902
	L/d/ie	212	212
hydraulische aanvoer Totaal	m ³ /jaar		
verwachte influentkwaliteit rwzi			
BZV	mg/l		
	kg/d		
CZV	mg/l	449	449
	kg/d		
zwevende stof	mg/l		
	kg/d	923	923
totaal - Nkj	mg/l	40	40
	kg/d		
totaal - N	mg/l		
	kg/d		
totaal - P	mg/l		
	ton/jaar	58,6	58,6
verwachte effluentkwaliteit rwzi			
BZV	kg/d	344	229
	mg/l	15,0	10,0
CZV	kg/d	985	802
	mg/l	43	35
zwevende stof	kg/d	229	69
	mg/l	10,0	3,0
N-totaal	kg/d	183	92
	mg/l	8,0	4,0
Nox-N	kg/d		
	mg/l	5,5	1,5
NO ₂ -N	kg/d		

	Eenheid	Referentie rwzi	Referentie rwzi + N/P
		ALM technologie sheet	ALM technologie sheet verwijdering
	mg/l	0,4	0,4
NH ₄ -N	kg/d		
	mg/l	2,1	2,1
P-afvoer totaal	ton P/jaar	7,7	1,4
invoerwaarden procesemissies			
CZV-aanvoer rwzi	ton CZV/jaar	3.757	3.757
CZV-verwijdering rwzi	ton CZV/jaar	3.398	3.465
CZV-sliblijn rwzi	ton CZV/jaar	1.541	1.541
CZV-afvoer rwzi	ton CZV/jaar	359	293
			0
N-aanvoer farmfrites			0
N-aanvoer rwzi	ton N/jaar	337	337
N-verwijdering rwzi	ton N/jaar	270	303
N-sliblijn rwzi	ton N/jaar		0
N-afvoer rwzi	ton N/jaar	67	33
N-afvoer GAK			
Chemicaliendosering, slibproductie, energieverbruik			
		0	
Ijzerverbruik	ton actief/jaar	0	206
Natronloog	ton actief/jaar	0	0
Natriumhypochloriet	ton actief/jaar	0	0
Citroenzuur	ton actief/jaar	0	0
Zwavelzuur	ton actief/jaar	0	0
PE	ton PE actief/jaar	24,4	24,4
Zoutzuur	ton actief/jaar	0	0
Methanol	ton actief/jaar	0	198,9
Aluminiumchloride	ton/jaar	0	0
C-bron	m ³ /jaar	0	0
GAK	ton/jaar	0	280
Verwijderingspercentage N		82%	90%
slibproductie rwzi	ton ds/jaar	1.447	1.725
slibproductie externe rwzi's	ton ds/jaar		
slibproductie rwzi	ton ds/jaar		
slibproductie totaal	ton ds/jaar	1.447	1.725
tonnage slibkoek na ontwatering	ton ds/jaar	1.375	1.639
volume slibkoek na ontwatering	m ³ /jaar	6.950	7.770
ds% slibkoek na ontwatering		20%	21%
		0	
		0	
Elektriciteitsverbruik rwzi totaal	kWh/jaar	2.223.500	3.658.500
	kWh/ie	21	34
	kWh/m ³	0,27	0,44
Elektriciteitsverbruik rwzi beluchting	kWh/jaar		

		Referentie rwzi	Referentie rwzi + N/P verwijdering
	Eenheid	ALM technologie sheet	ALM technologie sheet
Aardgasgebruik	Nm ³ /jaar		
Bouwmaterialen			
Beton			
Beluchtingstank, aerobe tank	m ³	5.767	5.767
Na indikker	m ³	771	771
Nabezinktank	m ³	3.901	3.901
Voor indikker	m ³	441	441
Voorbezinktank	m ³	2.294	2.294
		-	
Zandvanger *	m ³	1.024	1.024
Leidingen beton*	m ³	1.389	1.389
Staal		-	-
Beluchtingstank, aerobe tank	kg	1.021	1.021
Na indikker	kg	137	137
Nabezinktank	kg	691	691
Voor indikker	kg	78	78
Voorbezinktank	kg	406	406
Zandvanger *	kg	181	181
Leidingen staal*	kg	17	17
WTB installaties*	kg	110	110
Biologische GAK installatie	kg	-	18,746
Leidingen pvc*	kg	8	8

		100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van pilot	100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van realistisch ontwerp
Eenheid			
Ontwerpcapaciteit en effluentkwaliteit			
biologische capaciteit rwzi	i.e. (150 g TZV)		
biologische capaciteit rwzi	i.e. (150 g TZV)		
biologische capaciteit totaal	i.e. (150 g TZV)	100.000	100.000
Verhouding			
DWA RG Posterenk	m ³ /dag		
DWA Schoneveld	m ³ /dag		
continue aanvoer Attero	m ³ /uur		
Aanvoer per uur	m ³ /uur	759	759
Daggemiddeld debiet	m ³ /dag	12.139	12.139
Jaargemiddeld debiet	m ³ /jaar	4.430.600	4.430.600
jaargemiddeld effluent	m ³ /jaar	4.359.710	4.359.710
hydraulische aanvoer Totaal	m ³ /jaar		
verwachte influentkwaliteit rwzi			
BZV	mg/l		
	kg/d		
CZV	mg/l	848	848
CZV	kg/d	10.294	10.294
	kg/d	923	923
totaal - N	mg/l	76	
totaal - P	mg/l	8,3	8,3
	kg/d	101	101
	ton/j	37	
verwachte effluentkwaliteit rwzi			
BZV	mg/l	20	20
	kg/d		
CZV	mg/l	40	40
	kg/d		
zwevende stof	mg/l	0	0
	kg/d		
N-totaal	mg/l	1	1
	kg/d		
NO ₂ -N	mg/l	0	0
NH ₄ -N	mg/l	0,5	0,5
BZV	kg/d	239	239
CZV	kg/d	478	478
zwevende stof	kg/d	-	0
N-totaal	kg/d	12	12
NO ₂ -N	kg/d	-	0
NH ₄ -N	kg/d	6,0	6,0
invoerwaarden procesemissies			
CZV-aanvoer rwzi	ton CZV/jaar	3.757	3.757
CZV-verwijdering rwzi	ton CZV/jaar	3.583	3.583
CZV-sliblijn rwzi	ton CZV/jaar		-
CZV-afvoer rwzi	ton CZV/jaar	174	174

		100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van pilot	100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van realistisch ontwerp
	Eenheid		
		0	-
Nkj-aanvoer rwzi		337	337
N-aanvoer rwzi	ton N/jaar	337	337
N-verwijdering rwzi	ton N/jaar	332	332
N-sliblijn rwzi	ton N/jaar	0	-
N-afvoer rwzi	ton N/jaar	0	-
Geproduceerde grondstoffen			
Roostergoed	ton/jaar	145	145
Zand		46	46
Vet		-	-
Zeefgoed (voor cellulose), en dan bitumen/biochar/actief kool		746	746
Product: Cellulose uit zeefgoed	ton/jaar	321	321
Flotaat (bitumen, biochar, actief kool)	kg/dag	197	197
Product: ds Flotaat, ?	ton/jaar	72	72
Ingaand debiet IX	m ³ /uur		
Regeneraat	mg NH ₄ /L		
Regeneraat totaal	m ³ /dag		
Product: NH ₄ ?	ton NH ₄ /jaar	332	332
Waterstof			
Slib			
Waterproductie		4.359.710	4.359.710
Chemicaliëndosering, slibproductie, energieverbruik			
Ijzerverbruik (als FeCl ₃)	ton/jaar	590	79
Ijzerverbruik (uit pellets)		1.769	1.769
Natronloog	ton/jaar	46	46
Natriumhypochloriet	ton/jaar	40	40
Citroenzuur	ton/jaar	6	6
Zwavelzuur	ton/jaar	2.503	375
Anionisch polymeer	ton PE actief/jaar	12	12,00
Zoutzuur	ton/jaar	861	240
Kalkkorrels	ton/jaar	723	723
	modules/jaar	2.000	1.333
membraanmodules	ton/jaar	67	45
PE	ton PE actief/jaar	0,00	0,00
GAK		0,00	0,00
Methanol		0,00	0,00
slibproductie rwzi	ton ds/jaar		
slibproductie externe rwzi's	ton ds/jaar		
slibproductie rwzi	ton ds/jaar		
slibproductie totaal	ton ds/jaar		
tonnage slibkoek na ontwatering	ton ds/jaar		

		100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van pilot	100.000 ie Waterfabriek2.0 op basis van realistisch ontwerp
	Eenheid		
volume slibkoek na ontwatering	m ³ /jaar		
ds% slibkoek na ontwatering			
Elektriciteitsverbruik rwzitoltaal	kWh/jaar	6.761.900	6.085.700
Aardgasgebruik	Nm ³ /jaar		
Bouwmateriaal gesommeerd			
Ontvangwerk			
Beton	ton	1.389,2	1.389,2
Staal installaties		-	-
GR+ZV (staal)	ton	10,5	10,5
Ondergrond afv en chem buffers		-	-
Beton	ton	483,0	483,0
Staal	ton	8,3	8,3
HDPE	ton	3,1	3,1
PVC	ton	1,0	1,0
Plexiglas	ton	0,6	0,6
Gebouw technische installatie			
Beton	ton	-	-
Staal	ton	65,0	65,0
Bitumen	ton	-	-
Electrocoagulatie		-	-
Staal	ton	6,0	6,0
Flocculatietank		-	-
HDPE	ton	9,3	9,3
DAF		-	-
Staal	ton	63,5	63,5
Buffertank		-	-
HDPE	ton	20,6	20,6
NF		-	-
HDPE	ton	57,0	57,0
IX		-	-
PVC	ton	14,8	14,8
Marmerfiltratie		-	-
Beton	ton	45,8	45,8

GEHANTEERDE WAARDEN ECOINVENT 3.6 (MAART 2023)

Item	Gekozen item uit EcoInvent/DuboCalc
Energie	
Elektriciteit NL-mix	1 kWh Electricity, high voltage {NL} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Elektriciteit groen	1 kWh Electricity, high voltage {NL} electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Chemicaliën, grondstoffen & hulpstoffen	
Ijzerverbruik rwzi	1 kg Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Natronloog	1 kg Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Natriumhypochloriet	1 kg Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Citroenzuur	1 kg Citric acid {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Zwavelzuur	1 kg Sulfuric acid {RoW} market for sulfuric acid Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
PE	1 kg Polyacrylamide {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Zoutzuur	1 kg Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RoW} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Methanol	1 kg Methanol {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Aluminiumchloride	1 kg Aluminum chloride {GLO} market for aluminum chloride Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
C-bron	1 kg Methanol {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
GAK	1 kg Activated carbon, granular {GLO} market for activated carbon, granular Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Kalkkorrels	1 kg Calcium carbonate, precipitated {RER} market for calcium carbonate, precipitated Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
membraanmodules	1 kg Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Anionisch polymeer	1 kg Anionic resin {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Acrylonitrile	1 kg Acrylonitrile {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Ammoniumsulfaat	1 kg Ammonium sulfate, as N {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Waterstofperoxide	1 kg Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RER} market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Azijnzuur	1 kg Acetic acid, without water, in 98% solution state {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Grondstoffenproductie	

Item	Gekozen item uit EcoInvent/DuboCalc
Afdruipremmer	1 kg 0468-fab&Afdruipremmer cellulosevezel; o.b.v. Cellulose fibre, inclusive blowing in {RoW} production Cut-off, U (zonder Borax en Boric acid) (of project 129505 - Waterfabriek Wilp)
Cellulosevezel	1 kg Cellulose fibre, inclusive blowing in {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Regenwater	1 kg Ammonium sulfate, as N {GLO} market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Gedeïoniseerd water	1 kg Water, harvested from rainwater {GLO} market for water, harvested from rainwater Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Onthard water	1 kg Water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)
Materiaalgebruik	Dubocalc 6.0 item
RVS	Profiel; RVS
Beton	Betonmortel voor GWW C4555 CEM III 2387 kgm3 compleet
Wapening	Zwaar constructiestaal GWW 7820 kgm3, incl. conservering
HDPE	RObuis, HDPE, klein
PVC	PVC rioleringsbuis, groot

Grootheid	Eenheid	Waarde	Bron	Alternatieve waarde																
CO2- emissiefactoren - Inkoop Energie																				
NL mix																				
1 kWh Electricity, high voltage (NL) market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2 / kWh	0,6261	Ecoinvent 3.6																	
1 kWh Electricity, high voltage (NL) electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kWh	0,02	Ecoinvent 3.6																	
Biogas	kg CO2/Nm3	2,0	Klimaatmonitor 2019																	
Aardgas	kg CO2/GJ	31,95577		kg CO2/Nm3	1,0	Klimaatmon	0,03165 GJ/Nm3			1,89 kg CO2/Nm https://www		Klimaatmonitor 2019								
Diesel	kg CO2/liter	2,8	Klimaatmonitor 2019																	
1 kg Diesel, low-sulfur (Europe without Switzerland) market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,8																		
Duurzame warmte	kg CO2/GJ	10,0	Klimaatmonitor 2019																	
Overige warmte	kg CO2/GJ	25,0	Klimaatmonitor 2019																	
Vrachtauto > 20 ton	g CO2/tonkm	110,0	Klimaatmonitor 2019																	
CO2- emissiefactoren - inkoop hulpstoffen																				
1 kg Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,807	EcoInvent	EUR MKI/kg	0,1408299					ijzerbruik rwzi										
1 kg Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	1,307	EcoInvent	EUR MKI/kg						Natronloog										
1 kg Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	2,562	EcoInvent	EUR MKI/kg						Natriumhypochloriet										
1 kg Citric acid [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	6,122	EcoInvent	EUR MKI/kg						Citroenzuur										
1 kg Sulfuric acid [RoW] market for sulfuric acid Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,141	EcoInvent	EUR MKI/kg						Zwavelzuur										
1 kg Polyacrylamide [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	2,913	EcoInvent	EUR MKI/kg						PE										
1 kg Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state [RoW] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,908	EcoInvent	EUR MKI/kg						Zoutzuur										
1 kg Methanol [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,655	EcoInvent	EUR MKI/kg						Methanol										
1 kg Aluminium chloride [GLO] market for aluminium chloride Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	5,396	EcoInvent	EUR MKI/kg						Aluminiumchloride										
1 kg Methanol [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,655	EcoInvent	EUR MKI/kg						C-bron										
1 kg Activated carbon, granular [GLO] market for activated carbon, granular Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	3,323	EcoInvent	EUR MKI/kg						GAK										
1 kg Calcium carbonate, precipitated [RER] market for calcium carbonate, precipitated Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	1,440	EcoInvent	EUR MKI/kg						Kalkkorrels										
1 kg Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	8,925	EcoInvent	EUR MKI/kg						membraanmodules										
1 kg Anionic resin [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	3,432	EcoInvent	EUR MKI/kg						Anionisch polymeer										
1 kg Acrylonitrile [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	3,122	EcoInvent	EUR MKI/kg						Acrylonitrile										
1 kg Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state [RER] market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state [RER]	kg CO2/kg	1,149	EcoInvent	EUR MKI/kg						Ammoniumsulfaat										
1 kg Acetic acid, without water, in 98% solution state [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	1,620	EcoInvent	EUR MKI/kg																
1 kg Iron pellet [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,1108	EcoInvent	EUR MKI/kg																
1 kg calceetkorrels	kg CO2/kg	0,00047	AquaMinerals	EUR MKI/kg																
1 kg Polysulfone [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	7,8983899	EcoInvent	EUR MKI/kg																
CO2 emissiefactoren - grondstoffen																				
1 kg 0468-fab&Afdruipremmer cellulosevezel; o.b.v. Cellulose fibre, inclusive blowing in [RoW] production Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,2337	EcoInvent																	
1 kg Cellulose fibre, inclusive blowing in [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,5550	EcoInvent																	
1 kg Ammonium sulfate, as N [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	1,82	EcoInvent																	
1 kg Water, harvested from rainwater [GLO] market for water, harvested from rainwater Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,00024	EcoInvent																	
1 kg Water, deionised (Europe without Switzerland) market for water, deionised Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,00044	EcoInvent																	
1 kg Water, completely softened [RER] market for water, completely softened Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,00039	EcoInvent																	
CO2 emissiefactoren - bouwmaterialen																				
1 kg 0353-fab&Polytheen, HDPE, granulaat (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	2,3171	EcoInvent																	
1 kg 0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21.5% Staal) market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	1,1057	EcoInvent																	
1 kg 0356-fab&PVC, granulaat (o.b.v. Polyvinylchloride, suspension polymerised [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	2,4418	EcoInvent																	
1 kg 0196-fab&PMMA, acryl (o.b.v. Polymethyl methacrylate, sheet [GLO] market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	8,7640	EcoInvent																	
1 kg 0161-fab&Betonmortel C20/25 (o.b.v. CEM III), 2407 kg/m3 (of project 129505 - Waterfabriek Wilp) market for Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)	kg CO2/kg	0,0682	EcoInvent																	
CO2 emissiefactoren - Procesemissies																				
CO2 emissie	kg CO2/kg CZV verwijderd	1,2	STOWA 2014-09																	
			Zuivering van stedelijk afvalwater; procesgegevens afvalwaterbehandeling, CBS 2021																	
CZV verwijdering obv droge stof productie	kg ds/kg CZV verwijderd	0,49																		
CH4 emissie waterlijn	kg CO2-eq/ kg CZVinfluent	0,21	Klimaatmonitor 2019	kg CH4/ kg CZV	0,0075					28 kg CO2/kg CH4										
CH4 emissie silibijn	kg CO2-eq/ kg ds	0,056	Klimaatmonitor 2019	kg CH4/ kg ds	0,002					28 kg CO2/kg CH4										
N2O emissie waterlijn	kg CO2-eq/kg N influent	6,66	IPCC 2019	kg N2O N/kg N	0,016					1,57 ton N naar N2O										
N2O emissie Anamnox	kg CO2-eq/kg N influent	6,10	STOWA 2013-39	kg N2O/ kg N	0,023															
N2O emissie Nereda	kg CO2-eq/kg Nkg influent	1,8285	STOWA 2013-29	kg N2O/ kg Nkg influent	0,0069															
CH4 emissie Nereda	kg CO2-eq/kg CZV influent	0,0252	STOWA 2013-29	kg CH4/kg CZV	0,0009															
CZV silbelasting Nereda	kg CZV/kg d.s.	0,12	https://edepot.wur.nl/339089																	
CZV silbelasting regulier																				
CZV naar silb	% van influent	59%																		
MKI																				
groen grijs verhouding elektriciteit	% groen	26.30%	https://opendata.cbs.nl/stafine/#/CBS/nl/dataset/80030NED/table?fromstatweb																	
MKI groen	MKI/kWh	0,022709	Dubocai: 6.0																	
MKI grijs	MKI/kWh	0,067565	Dubocai: 6.0																	
MKI groen grijs mix	MKI/kWh	0,0557679																		
MKI aardgas	MKI/Nm3	0,0129	https://viewer.milieudatabase.nl/producten	Gaslevering extern, Gaslevering, extern; 1 m3 (forfaitair per jaar)																
Ontwerpuitgangspunten																				
Qmax	L/e./h	40	https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/afvalwaterbehandeling2008.pdf																	
Uitgangspunten berekeningen																				
Percentage cellulose in zeefgoed		43%	https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202020/STOWA%202020-01%20MONITORING%20CELLULOZPLA.pdf																	
Gewicht membranen NF	kg/module	33,5	https://rxfiltration.com/app/uploads/WRC200F-PVC-U-dNF40-IRD-TDS_20210316-1.pdf																	
Molmassa ammoniumsulfaat	g/mol	132,1392	Wikipedia																	
N in ammoniumsulfaat		14																		
		11%																		
Percentage waterverlies t.a.v. influent	%	1,60%	108757-20-007-990-rapd02-Technologisch Ontwerp VO Wilp																	
Diesel MJ/kg	MJ/kg	44	https://nl.wikipedia.org/wiki/Zwavelrij_gesmolten_olie																	
Beton	levensduur in jaren	50																		
Staal	levensduur in jaren	50																		
HDPE	levensduur in jaren	50																		
PVC	levensduur in jaren	50																		
Plexiglas	levensduur in jaren	50																		
Theoretische levensduur en Restlevensduur:																				
Theoretische levensduur (TLD)																				
Civiel	50 jr.																			
Persleidingen (transportleidingen)																				
cf. MKI 1999, m.u.v. asbestcement:	50 jr.																			
Ruw afvalwater, goede coating, niet geventileerd,	20 jr.																			
Ruwe afvalwater, geen/slechte coating, geventileerd	10 jr.																			