



HAALBAARHEIDS- STUDIE GE(O)ZOND



HAALBAARHEIDSSTUDIE GE(O)ZOND

RAPPORT

2020

25

ISBN 978.90.5773.904.0



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR Bram Martijn (PWN)
Ruud van der Neut (PWN)
Martin Spruijt (PWN)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Alex Sengers (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)
Arjen van Nieuwenhuijzen (Witteveen+Bos)
Cora Uijterlinde (STOWA)
Coert Petri (Waterschap Vallei en Veluwe)
Erik Driessen (Isle Utilities)
Frans Visser (Waterschap Vallei en Veluwe)
Gerard Rijs (Rijkswaterstaat)
George Zoutberg (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Harm Baten (Hoogheemraadschap van Rijnland)
Herman Evenblij (Royal HaskoningDHV)
Ivor Rohof (Waterschap Vechtstromen)
Jimmy van Opijnen (Royal HaskoningDHV)
Mirabella Mulder (Mirabella Mulder Waste Water Management)
Paula van den Brink (Evides)
Rob van de Sande (Waterschap Aa en Maas)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-25
ISBN 978.90.5773.904.0

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

GE(O)ZOND VERWIJDERT MICROVERONTREINIGINGEN UIT GEZUIVERD AFVALWATER EN BIEDT PERSPECTIEF VOOR HERGEBRUIK VAN EFFLUENT VAN RWZI'S.

'Hoe houden we ons oppervlakte- en drinkwater in de toekomst schoon en gezond?'

Met die vraag zijn PWN, PWNT en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) eind 2016 gezamenlijk een project gestart om microverontreinigingen uit afvalwater te halen. Huidige en voorziene wetgeving in Europa (KRW) stellen strengere eisen aan het gezuiverde afvalwater waaronder microverontreinigingen. Als gevolg van deze strengere eisen zal de effluentkwaliteit beter zijn dan de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Dit is wenselijk vanuit bronbescherming en het milieubelang en het opent kansen voor hergebruik van effluent in de waterketen. Drinkwaterbedrijf PWN, PWNT en HHNK werken gezamenlijk aan het verder zuiveren van afvalwater als bron voor hoogwaardig hergebruik, waarbij het doel is om bij te dragen aan een maatschappelijke oplossing die ook (kosten)technisch haalbaar is. Het gezamenlijke belang in dit project vloeit voort uit de unieke situatie aan het IJsselmeer: RWZI Wervershoof loost indirect effluent bestaande uit onder andere medicijnresten, microplastics en antibiotica resistente bacteriën in het IJsselmeer, alwaar PWN kilometers verderop water inneemt ten behoeve van drink- en industriewater.

Het project 'Ge(O)zond' bestaat uit twee installaties: de demo Micro's en de pilot Circulair. Het doel van de demo Micro's is om microverontreinigingen te verwijderen in een demoreactor met ozon. De "Pilot Circulair" is gericht op hoogwaardig hergebruik en het sluiten van de waterketen met behulp van ozon, inline coagulatie en keramische microfiltratie. Eerder onderzoek in het Ge(O)zond project heeft aangetoond dat de 11 I&W gidsstoffen voor medicijnresten voor meer dan 98% verwijderd worden bij ozonisatie in combinatie met waterstofperoxide, met een beheersing van de bromaatvorming. Naast verwijdering van medicijnresten door ozonisatie, wijzen onderzoeksresultaten uit dat de inpassing van keramische membraanfiltratie leidt tot een effectieve verwijdering van antibiotica resistente bacteriën, verschillende virussen, somatische colifagen en protozoa. Tevens hebben bioassays voor hormonen, genotoxiciteit en oxidatieve stress een algehele afname laten zien in toxiciteitseffecten.

De onderzoeksresultaten op het gebied van zowel waterkwaliteit als bedrijfsvoering geven aanleiding tot het bouwen van een demonstratiepilot circulair dat zal worden opgeleverd in 2021. Op deze manier zet Pilot Circulair in op een circulaire waterketen als middel om een toekomstbestendige industrie- en drinkwatervoorziening te garanderen en hiermee een bijdrage te leveren aan het realiseren van een circulaire economie vóór 2050.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

‘Hoe houden we ons oppervlakte- en drinkwater in de toekomst schoon en gezond?’

Met die vraag zijn PWN, PWNT en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) eind 2016 gezamenlijk een project gestart om microverontreinigingen uit afvalwater te halen. Huidige en voorziene wetgeving in Europa (KRW) stellen strengere eisen aan het gezuiverde afvalwater waaronder organische microverontreinigingen. Als gevolg van deze strengere eisen zal de effluentkwaliteit beter zijn dan de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Dit is zeer wenselijk vanuit bronbescherming en het milieubelang en het opent kansen voor hergebruik van effluent in de waterketen. Drinkwaterbedrijf PWN, PWNT en HHNK werken gezamenlijk aan het verder zuiveren van afvalwater als bron voor hoogwaardig hergebruik, waarbij het doel is om bij te dragen aan een maatschappelijke oplossing die ook (kosten)technisch haalbaar is. Het gezamenlijke belang in dit project vloeit voort uit de unieke situatie aan het IJsselmeer: RWZI Wervershoof loost indirect effluent bestaande uit onder andere medicijnresten, microplastics en antibiotica resistente bacteriën in het IJsselmeer, alwaar PWN kilometers verderop water inneemt ten behoeve van drink- en industriewater.

Het project ‘Ge(O)zond’ bestaat uit twee installaties. Het doel van deze installaties is om microverontreinigingen te verwijderen in een demoreactor en **Pilot Circulair** is gericht op hoogwaardig hergebruik en het sluiten van de waterketen met behulp van ozon, inline coagulatie en keramische microfiltratie. Eerder onderzoek in het Ge(O)zond project heeft aangetoond dat de 11 I&W gidsstoffen voor medicijnresten voor meer dan 98% verwijderd worden bij ozonisatie in combinatie met waterstofperoxide, met een beheersing van de bromaatvorming. Naast verwijdering van medicijnresten door ozonisatie, wijzen onderzoeksresultaten uit dat de inpassing van keramische membraanfiltratie leidt tot een effectieve verwijdering van antibiotica resistente bacteriën, verschillende virussen, somatische colifagen en protozoa. Tevens hebben bioassays voor hormonen, genotoxiciteit en oxidatieve stress een algehele afname laten zien in toxiciteitseffecten.

Zowel onderzoeksresultaten op het gebied van waterkwaliteit als operationele fluxverbetering geven aanleiding tot het bouwen van een demonstratiepilot circulair dat zal worden opgeleverd in 2021. Het onderzoek naar verwijdering van OMV's heeft plaatsgevonden van 2016 tot en met 2019 met bench-scale experimenten en een kleine pilotopstelling met batchgewijze proeven (0,1 m³/uur, C0.4 membraan). In 2020 zal de focus in het onderzoek zijn op de optimalisatie van O₃/H₂O₂ inbreng in relatie tot omzetting omv's en fluxverbetering met inachtneming van minimale bromaatvorming. Tevens zal de O₃/H₂O₂ geoptimaliseerd worden met minimale dosis H₂O₂ met behoud van maximale controle bromaatvorming. Membraanperformance is verder onderdeel van studie, alsmede de invloed van fluctuaties in de watermatrix. Het onderzoek in 2020 zal zodanig worden omkaderd dat de resultaten zorgen voor een goede overgang naar de demonstratiepilot circulair van 5 m³/uur (continu) in 2021. Hierin zal stabiele waterkwaliteit (output) onder continue bedrijfsvoering inclusief online monitoring en terugkoppeling in het proces centraal staan. De vastgestelde waterkwaliteit in een continu systeem wordt uiteindelijk gerelateerd aan het referentiekader van WRK water in relatie tot hergebruikseisen.

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 onderzoeklijnen 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.

HAALBAARHEIDSTUDIE GE(O)ZOND

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	BESCHRIJVING EN ACHTERGROND TECHNIEK	1
1.1	Processchema water-hergebruik	3
1.2	Verwijdering van organische microverontreinigingen in het buitenland	4
1.3	Voorgaand onderzoek Ge(O)zond	4
	1.3.1 Omzetting organische microverontreinigingen	5
	1.3.2 Toxiciteit	6
1.4	Vervolgonderzoek	9
1.5	Technology Readiness Level (TRL)	9
1.6	CO ₂ footprint	10
1.7	Kosten per m ³ behandeld afvalwater	11
2	PLAN VAN AANPAK VERVOLGTRAJECT	12
2.1	Projectfasering	12
2.2	Projectbegroting 2020/2021	13
2.3	Projectteam	14
2.4	Risicobeheersing	14
3	LITERATUUR	15
BIJLAGE 1	MODEL CO ₂ -FOOTPRINT GE(O)ZOND	17
BIJLAGE 2	WAARDES VOOR INVOER MODEL CO ₂ -FOOTPRINT	25
BIJLAGE 3	KOSTEN PER M ³	26

1

BESCHRIJVING EN ACHTERGROND TECHNIEK

'Hoe houden we ons oppervlakte- en drinkwater in de toekomst schoon en gezond?'

Met die vraag zijn PWN, PWNT en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) eind 2016 gezamenlijk een project gestart om microverontreinigingen uit afvalwater te halen. De afgelopen jaren is in grote delen van het land de waterkwaliteit duidelijk verbeterd. Deze kwaliteit is (meestal) voldoende voor gebruiksfuncties, bijvoorbeeld als zwemwater. De afgelopen decennia is flink in het afvalwatersysteem geïnvesteerd om de emissie van nutriënten (stikstof en fosfaat) naar het oppervlaktewater te verlagen. Ditzelfde oppervlaktewater is tevens de bron voor drinkwater. Huidige en voorziene wetgeving in Europa (KRW) stellen strengere eisen aan het gezuiverde afvalwater waaronder organische microverontreinigingen. Als gevolg van deze strengere eisen zal de effluentkwaliteit beter zijn dan de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Dit is zeer wenselijk vanuit bronbescherming en het milieu-belang en het opent kansen voor hergebruik van effluent in de waterketen.

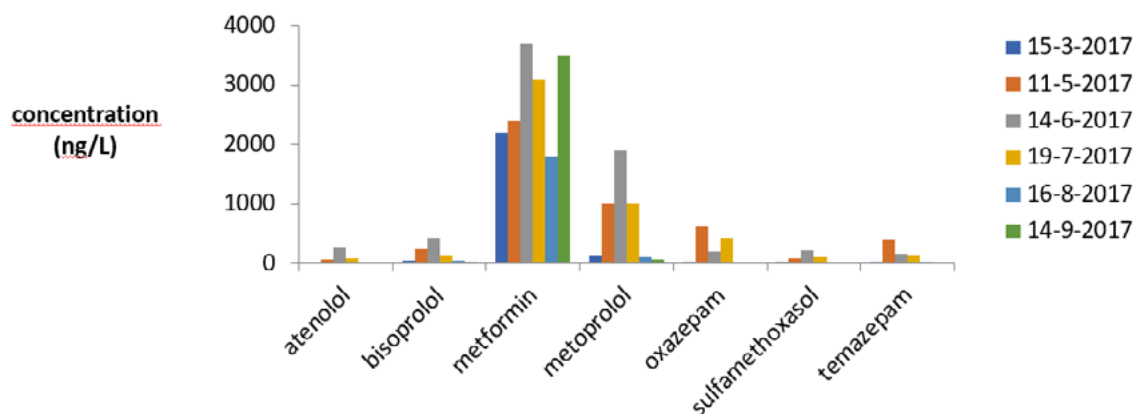
De afgelopen decennia is flink in het afvalwatersysteem geïnvesteerd om de emissie van nutriënten (stikstof en fosfaat) naar het oppervlaktewater te verlagen. De laatste jaren is de focus ook komen te liggen op microverontreinigingen. Op dit moment komt jaarlijks ruim 140 ton medicijnresten en 30 ton röntgencontrastmiddelen via het riool in het oppervlaktewater. De verwachting is dat dit, door de vergrijzing van de bevolking en klimaatsverandering/ langdurige droogte, alleen maar meer wordt, aldus het RIVM (Moermond et al., 2016). Daarnaast werd RWZI-effluent voorheen louter gezien als restproduct maar zien we het nu steeds vaker als bron van zoet water.

Drinkwaterbedrijf PWN en HHNK werken gezamenlijk aan het verder zuiveren van afvalwater als bron voor hoogwaardig hergebruik. Op deze manier willen wij bijdragen aan een maatschappelijke oplossing die ook (kosten)technisch haalbaar is. Het gezamenlijke belang in dit project vloeit voort uit de unieke situatie aan het IJsselmeer: RWZI Wervershoof loost indirect effluent bestaande uit onder andere medicijnresten, microplastics en antibiotica resistente bacteriën in het IJsselmeer, alwaar PWN kilometers verderop water inneemt ten behoeve van drink- en industriewater.

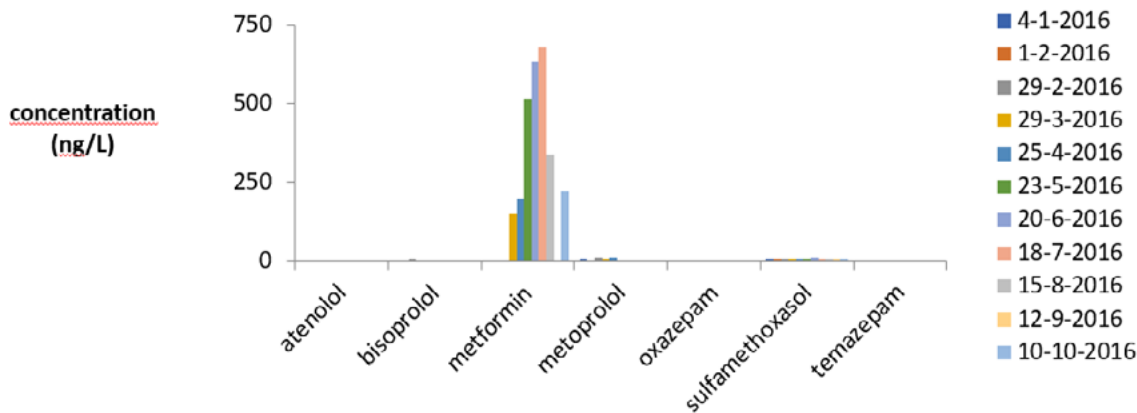


In verkennende analyses naar de aanwezigheid van medicijnresten in afvalwater en water uit het IJsselmeer is het type en hoeveelheid van organische microverontreinigingen (OMV's) vastgesteld voor meerdere maanden (Farley, 2018). De concentratie voor meer dan 75 OMV's zijn gemeten. Figuur 1 geeft een selectie weer van OMV's met de hoogste concentratie in RWZI Wervershoof effluent. Verder laat figuur 2 zien dat ook in het IJsselmeer een hoge concentratie metformine ten opzichte van andere organische microverontreinigingen waar te nemen is.

FIGUUR 1 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN IN WERVERSHOOF RWZI EFFLUENT (FARLEY, 2018)

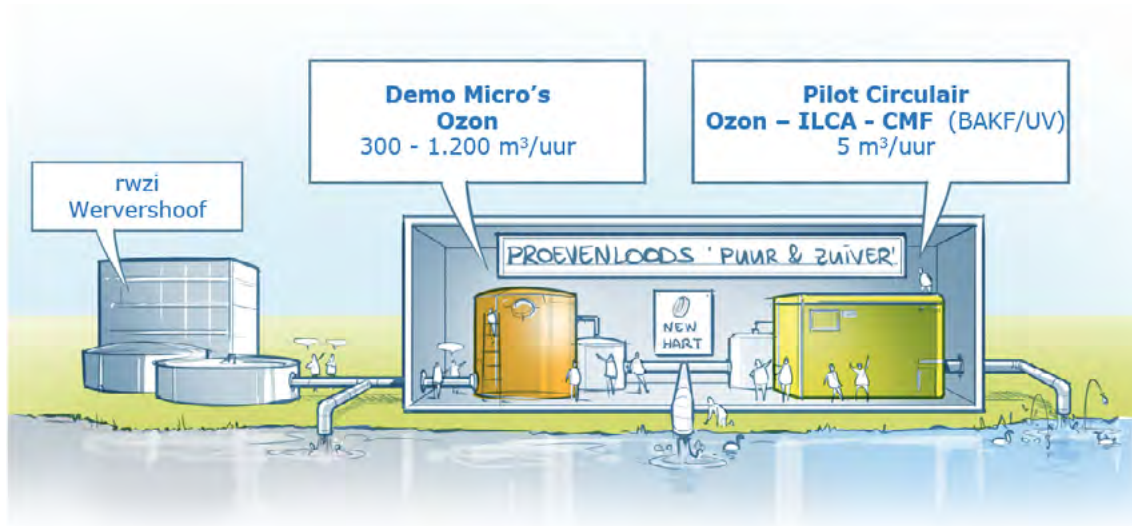


FIGUUR 2 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN IN IJSSELMEERWATER (FARLEY, 2018)



De concentraties van OMV's zijn in RWZI Wervershoof effluent meer dan 4 keer zo hoog als in het water van het IJsselmeer. Het lozen van RWZI effluent heeft dan ook een significant effect op de waterkwaliteit van het IJsselmeer. Voor PWN en HHNK is dit de aanleiding om gezamenlijk onderzoek te doen met als overkoepelend doel hergebruik in plaats van lozing van RWZI effluent.

Dit onderzoeksproject 'Ge(O)zond' bestaat uit twee testinstallaties die worden opgeschaald en in een proevenloods ondergebracht. Het doel van deze testinstallaties is om microverontreinigingen te verwijderen in een demoreactor en onderzoek te doen gericht op hoogwaardig hergebruik en het sluiten van de waterketen met een pilot circulair.



Deze haalbaarheidsstudie gaat uitsluitend in op de **Pilot Circulair**. Het doel is om te onderzoeken of hoogwaardig hergebruik van afvalwater als bron voor industriewater, koelwater en/of halffabricaat voor drinkwater mogelijk is.

1.1 PROCESSEMA WATER-HERGEBRUIK



Het doel van het proces is om RWZI effluent dat wordt geleverd volgens conventionele methodes te behandelen ten behoeve van hergebruik. Dit houdt in dat onder andere organische OMV's, waaronder medicijnresten, moeten worden verwijderd. Dit gebeurt in de eerste stap via geavanceerde oxidatie (O₃/H₂O₂) om het water te ontdoen van OMV's. Vervolgens is er een in-line coagulatie (ILCA) stap ten behoeve van een optimale keramische microfiltratie (ceramic MF) om gesuspendeerde deeltjes, microplastics en bacteriën/virussen te verwijderen. Een eventuele nabehandeling zal plaatsvinden door biologische actieve koolfiltratie en/of UV/H₂O₂ toe te passen. In het onderzoek wordt gekeken in hoeverre en op welke manier specifieke technieken bijdragen aan de verwijderingspercentages van voor de locatie relevante

OMV's inclusief medicijnresten (waaronder de 11 I&W gidsstoffen). Daarnaast worden randvoorwaarden zoals kwaliteitseisen in beeld gebracht om rwzi effluent te kunnen toepassen voor hoogwaardig hergebruik. Voorbeelden zijn industrie-, zwem-, of drinkwater.

Een monitoringsplan bestaande uit chemische en toxicologische (bioassays) analyse is onderdeel van het onderzoeksprogramma. Op basis van de analyseresultaten gedurende het onderzoek zal worden bepaald welke nabehandeling nodig wordt geacht (GAC/UV) om hergebruik mogelijk te maken

1.2 VERWIJDERING VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN IN HET BUITENLAND

De uitvoering van het verwijderen van microverontreinigingen uit communaal afvalwater zijn in Zwitserland en Duitsland in het meest vergevorderde stadium. In het Stowa rapport *Verwijdering van microverontreinigingen uit effluënten van RWZI's* (Bechger et al., 2015) zijn de praktijkervaringen in Duitsland en Zwitserland in kaart gebracht. In beide landen is veel onderzoek gedaan naar de verwijdering van microverontreinigingen en zijn praktijk installaties gebouwd voor de verwijdering.

Onder andere ozonisatie is een full-scale geïmplementeerde techniek. Ozon is een reactieve stof die in water direct en indirect reageert met een groot scala aan organische stoffen. Dit maakt ozon geschikt om microverontreinigingen, waaronder medicijnresten, in het effluent af te breken. Inzet van ozon kent de volgende nadelen:

- Bij de afbraak van microverontreinigingen met ozon ontstaan metabolieten. Metabolieten kunnen toxisch en zelfs toxischer zijn dan de initiële verontreinigingen. Nader onderzoek is nodig om dit definitief vast te kunnen stellen. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het naschakelen met een zandfilter.
- Hoe hoger de concentratie Dissolved Organic Carbon (DOC) in het effluent, hoe meer ozon wordt gevraagd om een bepaald verwijderingsrendement te realiseren. De concentratie DOC in het effluent van Nederlandse rwzi's is niet bekend aangezien het nauwelijks wordt gemeten. De DOC concentratie in effluënten van zuiveringen in West-Europa varieert tussen 7-15 mg/l.
- Bromide dat aanwezig is in het effluent wordt, onder aanwezigheid van ozon, omgezet in het bromaat, een verdacht carcinogene stof. De bromide concentraties in Nederlandse rwzi effluënten zijn niet goed bekend. Afhankelijk van de concentratie bromide kan een bepaalde hoeveelheid ozon worden gedoseerd, daarboven ontstaat bromaat. In Duitsland en Zwitserland is de ozon dosering daarom beperkt tot 1,0-1,5 g O₃/g DOC wanneer het effluent wordt geloosd in oppervlaktewaters. De bromaatconcentratie moet < 30 µg/l blijven voor lozing in oppervlaktewaters en < 1 µg/l in drinkwater.

De combinatie van technieken die in het voorgestelde processchema in pilot circulair zijn opgenomen, is nieuw. Resultaten (verwijderingspercentages medicijnresten en chemisch- en toxicologische screening) op bench- en batch-gewijze pilotscale geven aanleiding tot vervolgonderzoek en worden beschreven in de volgende paragraaf.

1.3 VOORGAAND ONDERZOEK GE(O)ZOND

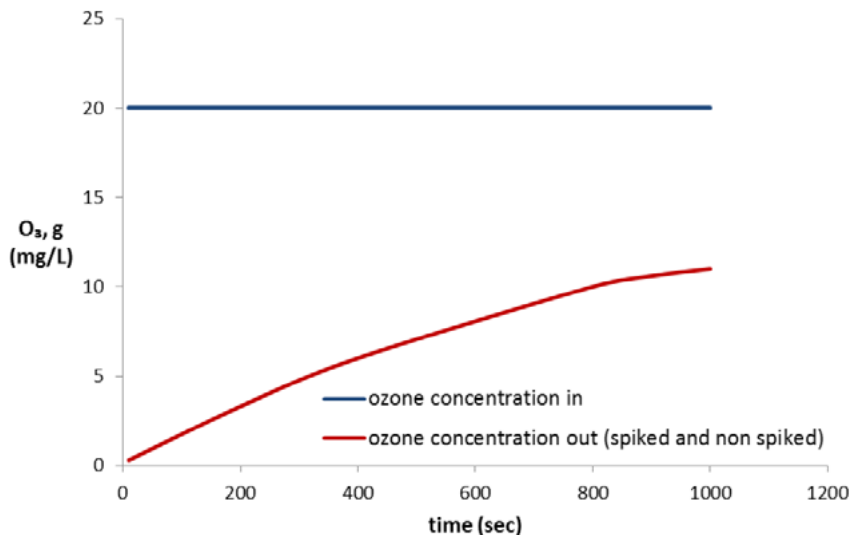
Er zijn tal van parameters die relevant zijn voor de bepaling van de waterkwaliteit na behandeling van RWZI effluent. De verwijdering van onder andere de 11 gidsstoffen van I&W is daar één van. Daarnaast is het van zeer groot belang de toxiciteitseffecten te beschouwen middels bioassays voor het vaststellen van de waterkwaliteit en opties voor hergebruik.

1.3.1 OMZETTING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

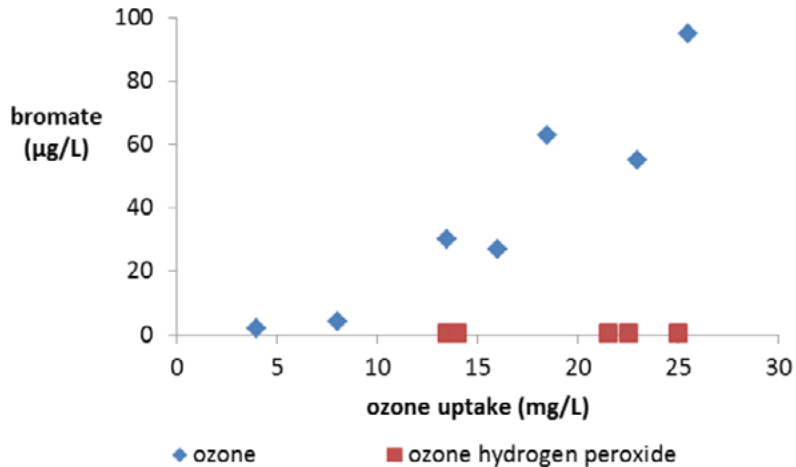
Verwijderingspercentages zijn bepaald in voorgaand onderzoek voor bench-scale ozonisatie systemen. Hierbij is gekeken naar verschillende ozondoseringen. Verder is ook een SIX® (ionen wisseling) voorbehandeling onderzocht met als doel bepalen of de ozon-vraag vermindert in het systeem door natuurlijk organisch materiaal (NOM) verwijdering alsmede bromide en daarmee effectievere medicijnrest-verwijdering en verminderde bromaatvorming (Farley, 2018). Uitgaande van een DOC van 10-12 mg/l in het effluent van RWZI Wervershoof (analyse-resultaten van Waterproef (WP) en Het WaterLaboratorium (HWL)) staat de lage dosering gelijk aan 0,5 – 0,6 g O₃/g DOC. De waargenomen verwijdering, dat niet alle stoffen met een hoog rendement worden verwijderd bij deze dosering, lijken te kloppen met de buitenlandse ervaringen. Verkennend onderzoek met ozonisatie heeft aangetoond dat hogere ozondoseringen resulteert in beter afbraak van organische microverontreinigingen.

Voor het RWZI effluent (met en zonder spiking met medicijnen) is de ozonconcentratie bepaald in de gasfase als een functie van de tijd in de experimenten (figuur 3). De ozonopname voor beide experimenten (met en zonder spiking) is hetzelfde, wat impliceert dat de opname van ozon wordt veroorzaakt door de water matrix. Hierdoor kunnen de ozondoseringen ten behoeve van OMV verwijdering ook voor water matrixen zonder spiking bepaald worden.

FIGUUR 3 OZONCONCENTRATIE (GASFASE) VOOR OZONISATIE VAN RWZI EFFLUENT MET EN ZONDER SPIKING MET MEDICIJNEN ALS FUNCTIE VAN DE TIJD



Wat betreft ozonisatie en bromaatvorming zijn bench-scale experimenten uitgevoerd. De resultaten hiervan wijzen uit dat onder een combinatie van O₃ en H₂O₂ behandeling (een advanced oxidation process (AOP)), bromaatvorming kan worden beheerst. Bij een ozon dosering van 20 mg/L (2,3 g O₃ / g DOC) of hoger in rwzi Wervershoof effluent in combinatie met 83 mg/L H₂O₂, worden de 11 I&W gidsstoffen voor medicijnresten voor meer dan 98% verwijderd met een bromaatconcentratie van niet meer dan 2 µg/L in RWZI wervershoof effluent (Delfos, 2019). Bij een ozondosering van 3,06 mg/L (0,35 gO₃ / g DOC) wordt meer dan 75% van de 11 I&W gidsstoffen afgebroken.

FIGUUR 4 BROMAATVORMING BIJ O₃ BEHANDELING EN O₃/H₂O₂ (AOP) BEHANDELING

Daarnaast is ook aangetoond dat moeilijk af te breken stoffen als Iopromide met O₃/H₂O₂ behandeling goed te verwijderen zijn. In de tabel hieronder zijn de resultaten van verwijdering van medicijnresten (inclusief I&W gidsstoffen) voor bench-scale experimenten weergegeven.

FIGUUR 5 VERWIJDERINGSPERCENTAGES VAN MEDICIJNEN (SPIKED) IN EFFLUENT VOOR VERSCHILLENDE OZON-REGIMES (1, 2, 3, 4) EN AOP (5, 6)

Compound	Unit	Blank	Ozonation				O ₃ /H ₂ O ₂ advanced oxidation	
		Regime 0	Regime 1	Regime 2	Regime 3	Regime 4	Regime 5	Regime 6
Diclofenac	[ng/L]	1988	94%	100%	100%	100%	100%	100%
Metoprolol	[ng/L]	2303	38%	99%	100%	100%	99%	100%
Trimethoprim	[ng/L]	1738	84%	100%	100%	100%	100%	100%
Sulfamethoxazol	[ng/L]	977	90%	100%	100%	100%	100%	100%
Carbamazepine	[ng/L]	1546	86%	100%	100%	100%	100%	100%
Sotalol	[ng/L]	2813	80%	100%	100%	100%	100%	100%
Propranolol	[ng/L]	1701	78%	100%	100%	100%	100%	100%
Hydrochlorothiazide	[ng/L]	10215	26%	100%	100%	100%	98%	100%
Clarithromycine	[ng/L]	5120	75%	99%	99%	99%	100%	100%
Benzotriazol	[µg/L]	21	39%	86%	100%	100%	99%	100%
4-Methylbenzotriazol	[µg/L]	9	36%	98%	100%	100%	99%	100%
5-Methylbenzotriazol	[µg/L]	8	38%	96%	100%	100%	99%	100%
Ibuprofen	[ng/L]	39971	20%	90%	98%	100%	99%	100%
17β Estradiol (E2)	[pg EEQ/L]	9264	NVT	95%	100%	100%	97%	98%
Iopromide	[ng/L]	1453	4%	51%	84%	96%	88%	98%
Metformin	[ng/L]	2486	16%	-3%	53%	70%	70%	73%
Ozon uptake	[mg/L]	-	3.05	6.98	13.19	18.25	12.96	22.68
DOC	[mgC/L]	8.65	8.44	8.72	8.70	8.49	8.03	8.23
Ozone uptake/DOC	[mg O ₃ /mg DOC]	-	0.36	0.80	1.52	2.15	1.61	2.76
H ₂ O ₂	[mgO ₃ /mgH ₂ O ₂]	-	-	-	-	-	1:4	1:4

1.3.2 TOXICITEIT

Verder is in voorgaand onderzoek op zowel bench-scale als bij de pilotopstelling in Wervershoof gekeken naar toxiciteitseffecten van het behandelde effluent. Zo is de aanwezigheid van micro-organismen onderzocht voor- en na de behandeling met O₃, O₃/H₂O₂ en ILCA/CMF in het TKI project 'sluiten van de watercyclus in Noord-Holland' in samenwerking met KWR. Verder zijn ook de ozonisatie (O₃) en geavanceerde oxidatie (O₃/H₂O₂) experimenten op bench-scale onderworpen aan toxiciteitstesten.

In het TKI project 'sluiten van de watercyclus in Noord-Holland' in samenwerking met KWR is naar voren gekomen dat antibiotica resistente genen en (natuurlijke) virussen worden verwij-

derd in het proces van ozonisatie – ILCA – CMF. Voor alle O₃ en O₃/H₂O₂ regimes geldt dat de bioactiviteit afneemt op basis van bioassays voor hormonen, genotoxiciteit en oxidatieve stress. Voorts is aangetoond dat protozoa worden verwijderd door voornamelijk de keramische membranen tot onder de detectielimiet op basis van analyse van de indicator Clostridia. Verder geldt dat E coli- en campylobacteriën, colifagen en natuurlijke virussen in vergelijkbare hoeveelheid aanwezig zijn met WRK water. Verder wordt verwacht op basis van verkennend onderzoek in TKI 'sluiten van de watercyclus Noord-Holland' dat wat betreft de anorganische parameters SO₄²⁻ en Cl punt van aandacht zijn. Bij het onderzoek naar hergebruik zullen de chemische- en biologische waterkwaliteitsparameters in beschouwing worden gehouden en waar nodig uitgebreid langs de lijnen van voorgaande onderzoeken.

1.3.2.1 BIOASSAYS

Experimenten met bioassays voor hormonen, genotoxiciteit en oxidatieve stress voor en na O₃ en O₃/H₂O₂ op bench-scale laten een algehele afname zien van toxiciteitseffecten door behandeling met O₃ of O₃/H₂O₂ (figuur 6). Verder blijkt uit de resultaten van de CALUX bioassays dat zowel mogelijk gevormde gebromeerde bijproducten en medicijn metabolieten die ontstaan zijn in het proces van (geavanceerde) oxidatie geen significante invloed hebben op de toxiciteit van het behandelde effluent.

FIGUUR 6 EFFECT VAN OZONISATIE EN GEAVANCEERDE OXIDATIE OP DE BIOACTIVITEIT IN RWZI EFFLUENT MATRIX TEN OPZICHTE VAN ONBEHANDELDE EFFLUENT (BLANK)

Bioassay	Characterisation	Unit	Blank	Ozonation	Advanced Oxydation
Act 17B Estradiol (E2)	Oestrogenic hormones	[pg/EEQ/L]	654	63	<34
Act flutamide	Anti-androgenic hormones	[ng FEQ/L]	7008	<1400	<1400
Act dexamethasone	Glucocorticoids	[ng DEQ/L]	138	37	<4.3
Act curcumine	Oxidative stress	[µg CEQ/L]	129	<100	<100
Act actinomycin	Genotoxicity response	[ng AEQ/L]	<10	25	<10
Ozone uptake		[mg/L]	0	18.43	24.98
H2O2		[weight:weight]	-	-	1:4

1.3.2.2 ANTIBIOTICA RESISTENTIE

In samenwerking met Het Waterlaboratorium (HWL) in Haarlem zijn studies gedaan naar de detectie van antibiotica resistente (AR) bacteriën in RWZI effluent. Verder is ook onderzocht wat de invloed is van ozonisatie en keramische microfiltratie op de aanwezigheid van AR bacteriën in de water matrix.

In de eerste 3 bemonsteringen van het RWZI Wervershoof effluent zijn bacteriën met genen die coderen voor de ESBL enzym alsook voor de carbapenemase-resistentie aangetroffen. Deze resultaten zijn in lijn met het onderzoek van het RIVM (Schmitt et al., 2017). Carbapenemase zijn een klasse van reserve-antibiotica, gebruikt als laatste redmiddel bij infecties die veroorzaakt worden door bijzonder resistente micro-organismen (BRMO). Infecties met NDM- carbapenemase kunnen slechts behandeld worden met polymyxine, colistine of tigecycline; antibiotica met (ernstige) bijwerkingen. Problematisch is, dat de genen die coderen voor carbapenemase zijn gelegen op plasmiden, wat potentiële uitwisseling van resistentie tussen bacteriën in het milieu mogelijk maakt.

De waarden die zijn vermeld in onderstaande figuur 7 geven een indicatie over het aantal in monsters aanwezige genkopieën. In geen van de monsters zijn vancomycine-resistente enterokokken (vanA en vanB gen) aangetroffen.

FIGUUR 7 RESISTENTIE GENEN IN HET RWZI WERVERSHOOF EFFLUENT (ROOD GEEFT AANWEZIGHEID VAN DE RESISTENTIE GENEN AAN)

Datum	Monster	Locatie	Vol (mL)	ESBL - resistentiegenen				Carbapenemase resistentiegen				Vancomycine resistentiegen	
				CTX-M1	CTX-M2	SHV	CTX-M9	KPC	VIM	Oxa-48	NDM	vanA	vanB
1-9-2017		Blanco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-9-2017	10300312	PAN-PI-RWZI-EFFA	150	28.9	31.7	0	30.6	0	38.7	35	44.6	0	0
1-9-2017	10300312	PAN-PI-RWZI-EFFB	150	28.7	32	0	31.1	0	45.22	37.6	41.5	0	0
18-8-2017	10300310	Blanco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-8-2017	10300310	PAN-PI-RWZI-EFFA	200	30.1	31.9	0	30.4	0	39.8	33.4	0	0	0
18-8-2017	10300310	PAN-PI-RWZI-EFFB	150	30.4	33.1	0	31.3	0	40	34	0	0	0
25-8-2017	10300311	Blanco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-8-2017	10300311	PAN-PI-RWZI-EFFA	160	34.8	0	0	0	0	0	37	0	0	0
25-8-2017	10300311	PAN-PI-RWZI-EFFB	160	34.2	0	0	0	0	0	35.6	0	0	0

In het vervolg onderzoek naar de AR bacteriën/genen in de monsters van het RWZI influent, RWZI effluent, na de ozon en na de keramische membraanfiltratie zijn carbapenem-resistentie genen aangetroffen in het RWZI influent (ruw) (KPC, Oxa-48, VIM en IMP gen), maar ook in het RWZI effluent en na de behandeling met de ozon (VIM/IMP gen). Welke bacteriën dragers zijn van deze genen is niet vastgesteld.

ESBL-resistentie genen komen in Wervershoof structureel voor in de RWZI effluent en na de behandeling met de ozon (CTX-M1, CTX-M2 en CTX-M9 gen). Het gemiddeld aantal kolonies geïsoleerd met gebruik van de ESBL medium was voor het RWZI influent, RWZI effluent en na de behandeling met ozon, respectievelijk $8.5E+04$ kve/mL, $1.0E+03$ kve/mL en $4.0E+03$ kve/mL. In de monsters na de keramische membraanfiltratie zijn er geen ESBL resistente bacteriën/genen gevonden. De selectie van 15 morfologisch verschillende kolonies op de ESBL medium behoorde tot de volgende soorten: *E. coli*, *Pseudomonas protegens*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Pseudomonas rodesiae*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas oleovorans*, *Aeromonas media* en *Aeromonas veronii*.

De RWZI Wervershoof ontvangt water waarin klinisch relevante genen aanwezig zijn. Het effluent van de RWZI bevat nog steeds bacteriën met carbapenemase- en ESBL- resistentie genen. Om te voorkomen dat deze resistentiegenen in het milieu terecht komen, is nazuivering van het RWZI effluent wenselijk. Antibiotica-resistentie genen waren gevonden ook na de behandeling met ozon. Dat was niet het geval bij de monsters na de keramische membraanfiltratie.

De resultaten van deze dataset indiceren dat nazuivering van het RWZI effluent, bestaande uit combinatie van verschillende zuiveringstechnieken, tot een effectieve verwijdering van de AR bacteriën kan leiden en hiermee de verspreiding van AR bacteriën in het (water)milieu via de RWZI's kan beperken.

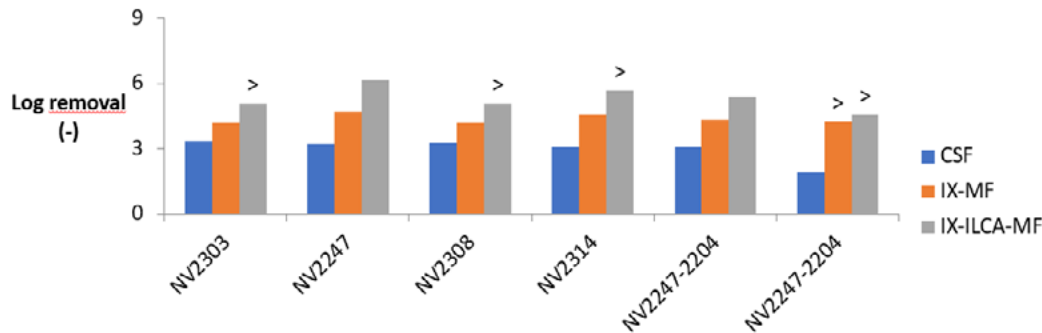
1.3.2.3 VIRUSVERWIJDERING CMF

In samenwerking met KWR is onderzoek gedaan naar natuurlijke virusmerkers voor virusverwijdering in zuiveringsprocessen bij PWN Andijk (Hornstra, 2019). Bij PWN drinkwaterproductielocatie Andijk wordt zuivering toegepast door middel van CMF. Een groot deel van de virussen wordt verwijderd in deze processtap. Aangezien in het Ge(o)zond proces ook een CMF processtap wordt geïmplementeerd, is dit onderzoek met name relevant voor de waterkwaliteit parameters met betrekking tot hergebruik.

KWR heeft een methode ontwikkeld om de verwijdering van virussen te duiden uitgedrukt in log removal value (LRV) met behulp van virusmerkers in een full scale installatie. Naast virussen is ook de verwijdering van somatische colifagen en *Campylobacter* bepaald voor de

CMF stap in het proces. Door de lage concentratie van dergelijke colifagen en *Campylobacter* in het ruwe water, is het niet mogelijk om maximale LRV's te bepalen in de CMF processtap. Echter, hoge LRV's kunnen wel vastgesteld worden voor virusmerkers die in hoge concentraties aanwezig zijn in water en makkelijk te kwantificeren. Uit verschillende metingen met nieuwe virusmerkers blijkt dat CMF een virusverwijdering van 3,6 log (september) en 4,1 log (december) bewerkstelligt. Wanneer een ILCA processtap vooraf gaat aan CMF, wordt een logverwijdering van 5,1 bereikt. Figuur 5 laat de logverwijdering van de virusmerkers (NV) zien in december voor coagulatie en zandfiltratie (CSF), ion-exchange met daarop volgend CMF (IX – MF) en ion-exchange, ILCA en CMF (IX – ILCA – MF).

FIGUUR 8 LOGVERWIJDERING VAN VIRUSMERKERS VOOR CSF, IX-MF EN IX-ILCA-MF (FULL SCALE)



1.4 VERVOLGONDERZOEK

Voortvloeiend uit deze resultaten wordt in het vervolgonderzoek ingezet op het bereiken van maximale verwijderingspercentages op grotere schaal met minimale bromaatvorming. Verder wordt onderzocht welke fundamentele mechanismes ten grondslag liggen aan O_3/H_2O_2 AOP. In de pilot circulair wordt onderzocht hoe pathogenen, waaronder virussen en (antibiotica resistente) bacteriën, kunnen worden verwijderd. Daarnaast wordt gekeken hoe een maximaal verwijderingspercentage voor OMV's in het algemeen kan worden bereikt en specifiek ook gidsstoffen van I&W. Hierbij wordt beoogd om een minimale bromaatvorming te bereiken door middel van ozonisatie in combinatie met waterstofperoxide op grotere schaal.

Het onderzoek als geheel heeft als doel om te onderzoeken wat en in hoeverre OMV's en micro-organismen (waaronder virussen en (antibiotica resistente) bacteriën worden verwijderd door O_3/H_2O_2 , ILCA en CMF. De analyseresultaten zullen worden vergeleken met waterkwaliteitseisen voor verschillende doeleinden zoals WRK/industrie en drinkwater. Hiervoor zijn WRK, het infiltratiebesluit en de drinkwaterwet van belang. Zo kan worden afgewogen hoe de afstand tussen analyseresultaten en kwaliteitseisen kan worden gedicht met aanpassingen in het processchema O_3/H_2O_2 – ILCA – CMF en/of een nabehandelingstap zoals GAC of UV. Op deze manier wordt ingezet op een hoge effluentkwaliteit en ervaring opgedaan welke factoren in bedrijfsvoering en implementatie van technieken hier aan bijdragen.

1.5 TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

Op basis van de resultaten uit onderzoek dat is beschreven in voorgaande is de TRL op dit moment TRL4. Wanneer de combinatie van technieken O_3/H_2O_2 , ILCA en CMF wordt opgeschaald naar een 1 – 5 m³/h reactor, wordt TRL 5 gerealiseerd in 2021. Hier zullen inbreng en dosering van ozon, type coagulatie/coagulant, flux, vervuiling membraan, verhouding van technieken ten opzichte van elkaar en fluctuatie van effluentkwaliteit RWZI onderzocht

worden. Het doel van dit onderzoek is om de opgedane ervaring en kennis bij te laten dragen aan een optimale start en bedrijfsvoering van opgeschaalde reactortypes in de toekomst zodat in 2025 TRL7 is bereikt.

1.6 CO₂ FOOTPRINT^{[BIJLAGE 1][BIJLAGE 2]}

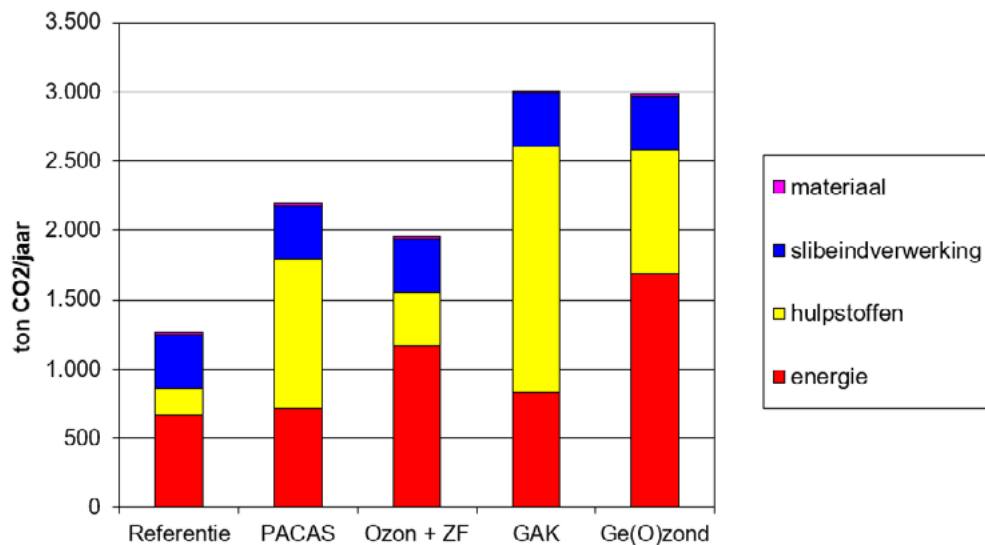
De uitgangspunten voor de berekening van de CO₂ footprint zijn als volgt:

- Behandelde jaarhoeveelheid is 5.365.500 m³
- Dosering Ozon 1,6 g O₃ / g DOC (>98% verwijderingsrendement, Delfos (2019))
- Dosering H₂O₂ voor AOP is 10 mg/L
- Energieverbruik en factor omzetting O₂ -> O₃ is berekend naar ratio van Ozon+ZF referentietechniek
- Berekening chemicaliën voor ILCA+CMF conform PWNT engineering Heat&Mass methodologie
- FeCl₃ is coagulant in ILCA met dosering 10 mg Fe³⁺/L
- Opgenomen in de CO₂ footprint zijn O₃/H₂O₂ - ILCA - CMF, geen eventuele nabehandeling
- Vermeden CO₂ met betrekking tot hergebruik is niet opgenomen in de berekening
- Energie ILCA/CMF 0,047 kwh/m³ (conform PWNT engineering ILCA-CMF methodologie)

Ge(O)zond heeft een grotere CO₂ footprint in vergelijking met de referentietechnieken PACAS en Ozon+ZF en een lagere CO₂ footprint dan GAK. Het doel in Ge(O)zond echter is niet uitsluitend het verwijderen van medicijnresten en in het onderzoek wordt ingezet op een waterkwaliteit die significant beter is dan de referentie RWZI. Het beoogde hoge verwijderingsrendement van de 11 I&W gidsstoffen is hoger dan de referentietechnieken en kunnen worden onderbouwd met resultaten uit voorgaand onderzoek.

Hoewel het belangrijk is om in het onderzoek de verwijdering van de 11 I&W gidsstoffen op te nemen, is dit niet het hoofddoel met betrekking tot hergebruik. Primair aan het onderzoek is om het hele palet aan verontreinigingen te beschouwen en op zoek te gaan naar de chemisch en biologische kaders van hergebruik. Bij hergebruik wordt ook CO₂ uitstoot vermeden door voorkoming van voorbehandeling methodes ten behoeve van WRK, (halffabricaat) drink- of industrie/koel water dat niet is opgenomen in de CO₂ footprint.

FIGUUR 9 CO₂ FOOTPRINT TOTALE RWZI INCLUSIEF VERWIJDERING MICRO'S



1.7 KOSTEN PER M³ BEHANDELD AFVALWATER^[BIJLAGE 3]

De uitgangspunten voor de berekening zijn:

- Kosten procesinstallatie, civiele onderdelen en investeringskosten gebaseerd op intern rapport optie voor Google Agriport van RWZI Wervershoof
- Personeel: 1,5 FTE
- Energie en chemicaliënverbruik gebaseerd op hoeveelheden uit de CO₂ footprint (100.000 ie) en kostprijs conform 'richtlijnen haalbaarheidsstudie onderzoeksprogramma microverontreinigingen uit afvalwater'.
- Onderhoudskosten 3% van de bouwkosten voor W/E/PA onderdelen en 0,5% civielkosten
- Opbrengst/ vermeden kosten mbt hergebruik niet meegerekend
- 1,6 g O₃/g DOC dosering: verwijderingsrendement >98% (Delfos, 2019)

	Eenheid	PACAS	Ozon + ZF	GAK	Ge(O)zond
CO ₂ footprint	g CO ₂ / m ³	116	118	325	307
Kosten	€/m ³	0,05	0,17	0,26	0,43
Verwijderingsrendement gidsstoffen Min I&W	%	70-75%	80-85%	80-85%	>98%

2

PLAN VAN AANPAK VERVOLGTRAJECT

2.1 PROJECTFASERING

Het onderzoek naar verwijdering van OMV's heeft plaatsgevonden van 2016 tot en met 2019 (fase 0) met bench-scale experimenten en een kleine pilotopstelling met batch-gewijze proeven (0,1 m³/uur, C0.4 membraan). De resultaten van de kleine pilotopstelling en bench-scale experimenten zijn reeds beschreven.



• FASE 1 (2020)

In de volgende fase van pilot circulair is het doel om de huidige kleine batch-modus pilotopstelling (0,1 m³/uur) te onderwerpen aan de volgende onderzoeksdoeleinden:

- Optimalisatie O₃/H₂O inbreng in relatie tot omzetting OMV's en fluxverbetering met inachtneming van minimale bromaatvorming
- Waterstofperoxide hoeveelheid ten opzichte van ozondosering bepalen met optimale verwijderingspercentage van OMV's
- Membraanperformance: bepalen optimale parameters ILCA en CMF ten behoeve van fluxverbetering en reinigingsregime ((chemische) backwash)
- Invloed onderzoek van fluctuatie in rwzi effluent (UVT/DOC/PO₄³⁻/Cl⁻) op het proces
- Referentiestof(fen) met betrekking tot omzetting OMV's en (online) procesparameters (UVT, zeta potential (ILCA), streaming potential) vaststellen om proces te monitoren en sturen
- Vaststellen in hoeverre en welke parameters als referentiekader dienen in relatie tot hergebruikseisen, met name voor WRK water

Het doel van fase 1 is om zo veel mogelijk inzicht en ervaring te verschaffen hoe de technieken zich tot elkaar verhouden met betrekking tot verwijderingspercentage van OMV's en micro-organismen. Dit wordt concreet ingevuld door een student van de universiteit van New Hampshire onderzoek te laten doen naar voorgaande. Het onderzoek zal zodanig worden omkaderd dat de resultaten zorgen voor een goede overgang naar de pilotreactor van 5 m³/uur (continu) in fase 2. In fase 1 wordt onderzocht hoe de techniekparameters als inbreng, dosering, flux, vervuiling, soort coagulatie en verandering in watercompositie van rwzi effluent zich verhouden tot de waterkwaliteit en de bedrijfsvoering van het proces.

• FASE 2 (2021)

In fase 2 wordt de kleine batch gewijze pilotreactor opgeschaald naar een opstelling die 5 m³/uur (continu) rwzi effluent behandelt. De doelen in het kort:

- Stabiele waterkwaliteit (output) verkrijgen in continue pilotopstelling met fluctuerende rwzi effluent kwaliteit
- Dynamische bedrijfsvoering: online monitoring en terugkoppeling in het proces (bijvoorbeeld met UVT₂₅₄)
- Op basis van vastgestelde waterkwaliteit in continu systeem, gericht inpassen van nabehandelmethodes als GAC/UV/[...] en onderzoeken wat de invloed is van dergelijke technieken op de waterkwaliteit.

Eind 2021 zal worden geëvalueerd welke waterkwaliteit kan worden behaald, en wat nodig wordt geacht dit te verbeteren voor hergebruik. Na 2021 zal met nieuw onderzoek en de resultaten uit voorgaand onderzoek, keuzes worden gemaakt voor het pilot/demo reactorontwerp op grotere schaal. Om de juiste keuzes te maken is het noodzakelijk om voor de kleine testopstellingen te begrijpen hoe de technieken zich verhouden tot elkaar en wat de fundamentele mechanismen zijn in het proces zodat vanuit die context een goede implementatie volgt op grotere schaal.

2.2 PROJECTBEGROTING 2020/2021

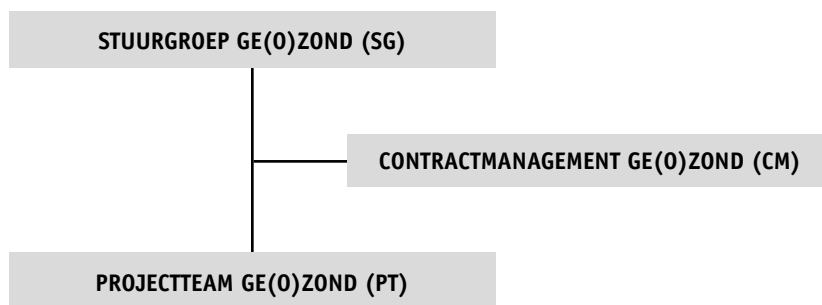
2020	€
Kapitaalslasten pilot 0.1 m ³ /u	5.000
Gebruiksgoederen/energie	5.000
O ₃ generator/inbreng	40.000
Online sensor	40.000
Analyse HWL/KWR/Waterproef	175.000
Personeel	100.000
Overig	20.000
Totaal	385.000
2021	€
Kapitaalslasten nieuwe pilot 5 m ³ /u	108.000
Gebruiksgoederen	60.000
Energieverbruik	5.000
Online sensor	40.000
Analyse HWL/KWR/Waterproef	175.000
Personeel	200.000
Overig	30.000
Totaal	618.000
Totaal 2020/2021	€ 1.003.000

De begroting is opgesteld met behulp van de interne documenten 'Plan van aanpak Ge(O)zond water, 19 november 2019' en 'Onderzoeksprogramma Ge(O)zond water, 18 oktober 2019'.

2.3 PROJECTTEAM

In het projectteam (PT) van Ge(O)zond zitten voor de pilot circulair:

Drinkwatertechnoloog bronbescherming (PL PWN)	Ruud van der Neut
Adviseur communicatie	Jojanneke van Mourik
Procestechnoloog Pilot Adviseur (PWNT)	Bram Martijn
Procestechnoloog Pilot (PL PWNT)	Martin Spruijt
Projectondersteuning (agenda lid)	Linda Greydanus
MSc student	University of New Hampshire



2.4 RISICOBEBEERSING

Afgesproken met PWN(T) en HHNK is dat elke stuur- en projectgroep vergadering de risico's en beheersmaatregelen actief doorgelopen worden, ge-update en waar nodig bijgestuurd. Doel is de risico's vroegtijdig te herkennen en gezamenlijk te verkleinen.

3

LITERATUUR

M. Bechger, A. Deeke, A. Koenis, A. Fischer, T. Flaming, D. Piron, G. Rijs en C. Uijterlinde (2015).

Verwijdering van microverontreinigingen uit effluenten van rwzi's.

STOWA rapportnr 2015-27. STOWA - Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort

B. Delfos (2019). Impact of ozonation and O_3/H_2O_2 advanced oxidation on degradation of pharmaceuticals in waste water treatment plant effluent. (Master Thesis Water Technology at Wetsus)

D. J. Farley (2018). Investigation into the application of ozonation for reuse of secondary wastewater effluent *Master's Theses and Capstones*. 1233.

L. Hornstra (2019). Natuurlijke virusmerkers voor virusverwijdering in zuiveringsprocessen bij productielocatie Andijk. *KWR 2019.020*

C.T.A. Moermond, C.E. Smit, R.C. van Leerdam, N.G.F.M. van der Aa en M.H.M.M Montforts (2016)

Geneesmiddelen en waterkwaliteit. *RIVM rapportnr 2016-0111*. RIVM – Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven

H. Schmitt et al. (2017). Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke maatregelen. *RIVM Rapport 2017-0058*. RIVM – Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven

BIJLAGEN

BIJLAGE 1

MODEL CO₂-FOOTPRINT GE(O)ZOND

HANDLEIDING

Dit model berekent de CO₂ footprint voor het zuiveren van communaal afvalwater in Nederland conform STOWA 2012-06. Dit model gaat specifiek in op de CO₂-footprint voor verwijdering van microverontreinigingen.

De basisgegevens kunnen worden ingevuld in het tabblad "Invulblad". Als een onderdeel niet wordt ingevuld dan wordt hier niets voor berekend.

NB: bij gebruik opgeloste hulpstoffen geleverde hoeveelheid invullen; % opgelost hulpstoffen vastgezet op de meest voorkomende percentages; hoeveelheid eventueel corrigeren.

Voorbeeld: geleverd ijzerchloride 40% 265.780 ton => 265.780 ton invullen; indien geleverd 45% => $265780 \cdot 40/45 = 236.249$ ton invullen

In het standaard rekenmodel zijn realistische waarden ingevuld voor de verwijdering van microverontreinigingen met de referentietechnieken voor een rwzi van 100.000 inwoner-equivalenten voor de volgende 4 varianten:

1. Referentie rwzi met voorbezinking en gisting zonder vergaande verwijdering van microverontreinigingen;
2. PACAS;
3. Nabehandeling rwzi-effluent met ozon en zandfiltratie;
4. Nabehandeling rwzi-effluent met GAK-filtratie.

Er kan 1 extra techniek worden toegevoegd in vergelijking met deze 4 varianten.

Voor de uitgangspunten van de referentie rwzi en de technieken 1 en 4 wordt verwezen naar STOWA 2015-27 voor techniek 2 naar STOWA 2018-02 en voor techniek 3 naar STOWA 2017-36. NB voor referentietechnieken dient voor rioolwater naar communale Nederlandse rwzi's een DOC-waarde van 11 mg/l te worden aangehouden.

De CO₂-footprint voor deze technieke wordt vergeleken met de 3 referentie-technologieën voor aanvullende vergaande verwijdering van microverontreinigingen en wordt gepresenteerd in Tabblad CO₂-footprint micro's: Dit tabblad dient als input conform de notitie richtlijnen haalbaarheidsstudies verwijdering micro's uit rwzi-afvalwater.

Ter informatie worden tevens de totale CO₂-footprints gepresenteerd in:

- Tabblad CO₂-footprint tot berek
- Tabblad Grafiek CO₂-footprint totaal

Voor vragen, opmerkingen en verbeteringsuggesties kunt u contact opnemen met Mirabella Mulder (mmulder@mirabellamulder.nl)

Versie 5

Datum: 26-10-2019

Opstelling model: Mirabella Mulder Waste Water Management

INVULBLAD PARAMETERS: GEEL GEARCEERDE VELDEN INVULLEN VOOR ZOVER VAN TOEPASSING

Onderwerp	Eenheid	Parameter per jaar					Invulhulp
		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	
Naam	Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	Ge(O)zond		
Hoeveelheden							
Aanvoer rioolwater	m ³	7.665.000	7.665.000	7.665.000	7.665.000	Niet aanpasbaar	
Influent CZV	kg	3.831.681	3.831.681	3.831.681	3.831.681	Niet aanpasbaar	
Influent Nkj	kg	359.588	359.588	359.588	359.588	Niet aanpasbaar	
Effluent Nitot	kg	52.140	52.140	52.140	52.140	Niet aanpasbaar	
Verwijderde i.e. 150 g TZV	i.e.150 g TZV	97.225	97.225	97.225	97.225	Niet aanpasbaar	
Behandelde i.e. in influent 150 g TZV	i.e.150 g TZV	100.000	100.000	100.000	100.000	Niet aanpasbaar	
DOC effluent	mg/l	11	11	11	11	Niet aanpasbaar	
Dimensionering verwijdering micro's							
Minimale jaarhoeveelheid nabehandeling	m ³ /jaar	5.365.500	5.365.500	5.365.500	5.365.500		
Behandelde jaarhoeveelheid nabehandeling	m ³ /jaar	5.365.500	5.365.500	5.365.500	5.365.500	Te behandelen jaarhoeveelheid minimaal 70%	
Geproduceerd slib	ton ontwaterd slib	6.100	6.100	6.100	6.100	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling	
Drogestofgehalte slib	%	21,10%	21,10%	21,10%	21,10%	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling	
Geproduceerd slib	ton ds	1.287	1.287	1.287	1.287		
Transport vloeibaar slib	km	50	50	50	50	Niet aanpasbaar	
Transport vloeibaar slib	ton	0	0	0	0	Niet aanpasbaar	
Transport ontwaterd slib	km	100	100	100	100	Niet aanpasbaar	
Transport ontwaterd slib	ton	6.100	6.100	6.100	6.100	Niet aanpasbaar	

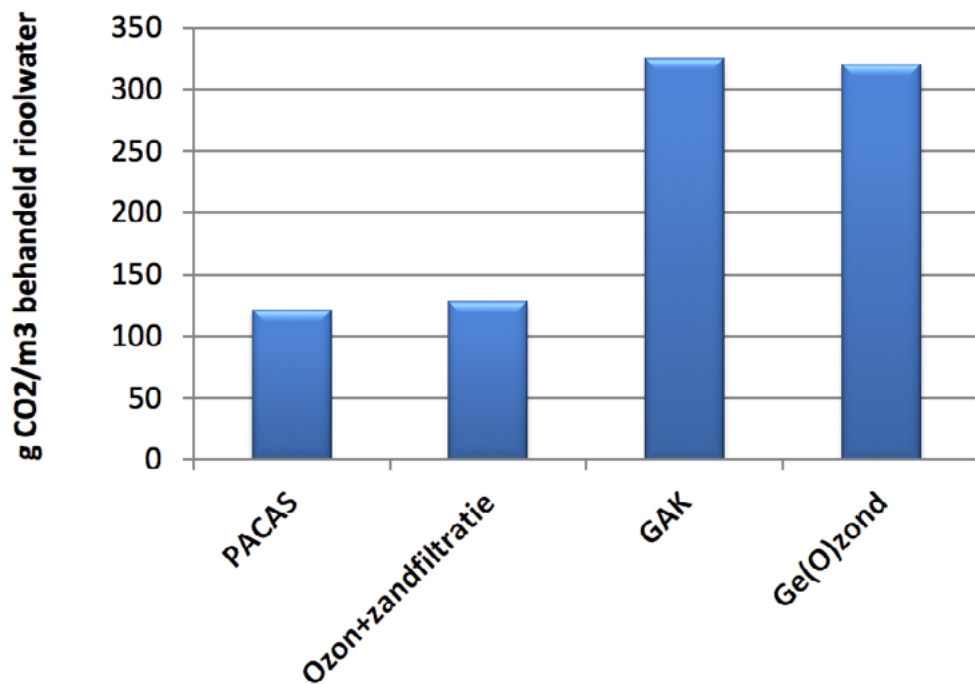
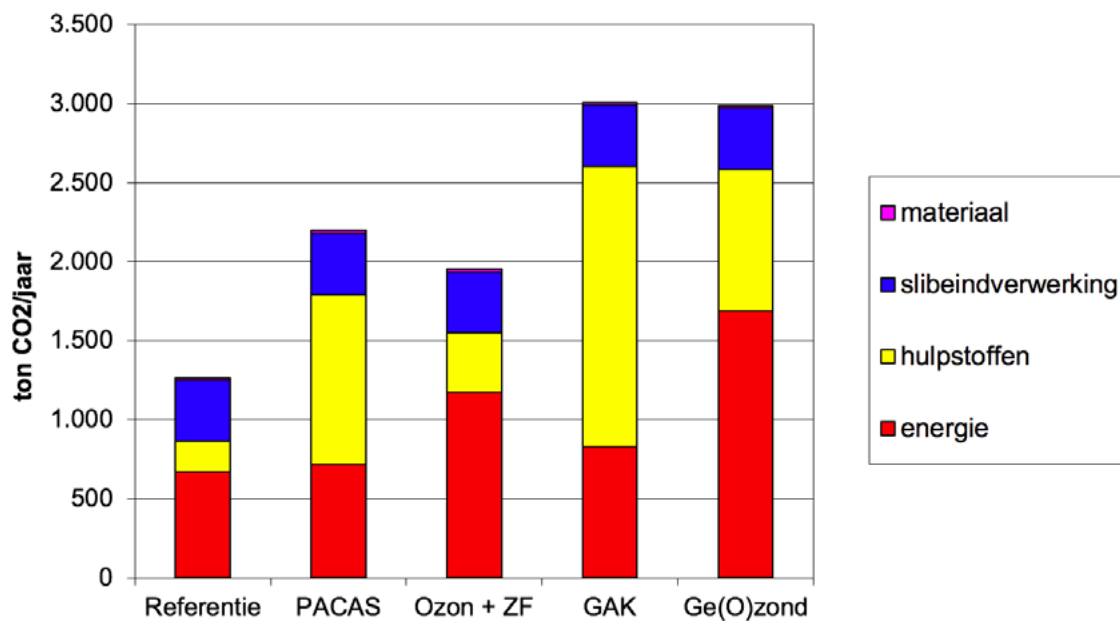
Onderwerp	Eenheid	Parameter per jaar					Parameter per jaar	Parameter per jaar	Parameter per jaar	Invalhulp
		Variant 1 Referentie	Variant 2 PACAS	Variant 3 Ozon + ZF	Variant 4 GAK	Variant 5 Ge(O)zond				
Inkoop energie rwzi exclusief verwijdering micro's										
Inkoop energie										
- Inkoop elektriciteit	kWh	1.193.548	1.193.548	1.193.548	1.193.548	1.193.548	1.193.548	1.193.548	Niet aanpasbaar	
- Inkoop aardgas	Nm ³	3.710	3.710	3.710	3.710	3.710	3.710	3.710	Niet aanpasbaar	
- Inkoop warmte	GJ								Niet aanpasbaar	
Inkoop brandstoffen										
- Diesel	kg	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	Niet aanpasbaar	
Inkoop energie rwzi voor verwijdering micro's										
Inkoop energie										
Inkoop elektriciteit	kWh	0	91.104	654.591	4.380	1.640.213			Excl. opvoeren effluent en spoelwater; excl. productie en behandeling spoelwater	
Overig invloed nabehandeling op rwzi										
Opvoeren rioolwater	meter	0	0	8	8	8			Bij nageschakelde behandeling 8 meter opvoeren conform standaard	
Percentage spoelwater		0%	0%	10%	10%	10%			Bij nageschakelde behandeling 10% spoelwater toepassen conform standaard	
Gebruik spoelwater	m ³	0	0	536.550	536.550	536.550				
Afvoeren spoelwater	m ³	0	0	536.550	536.550	536.550				
Inkoop hulpstoffen										
Actieve kool	kg		91.980		83.200				NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool	
Actieve kool geregenereerd	kg				312.000				NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool	
Actieve kool biologische oorsprong	kg								NB CO2-waarde obv haalbaarheidsstudie biokolen	
Aluminiumchloride, hydratevorm	kg								Voor chemicaliën let op % oplossing (zie opmerking handleiding cel A8)	
Aluminiumsulfaat, poedervorm	kg									
Antiscalants (polycarboxylaten)	kg									

Onderwerp	Eenheid	Parameter per jaar					Parameter per jaar Variant 5 Ge(O)zond
		Variant 1 Referentie	Variant 2 PACAS	Variant 3 Ozon + ZF	Variant 4 GAK	Variant 5 Ge(O)zond	
Azijnzuur	kg	98%					
Bio-ethanol	kg	100%					
Calciumoxide (ongeblijst kalk; poeder)	kg	100%					
Citroenzuur	kg	50%					
Glycerine uit epichloorhydrine	kg	100%					
Glycerine uit koolzaadolie	kg	100%					
IJzer(III)chloride	kg	40%	260.000	260.000	260.000	649.550	
IJzerchloridesulfaat	kg	100%					
IJzersulfaat	kg	100%					
Kalkhydraat	kg	100%					
Kalkmelk op basis van geblijst kalk	kg	100%					
Koolstofdioxide, vloeibaar	kg	100%					
Magnesiumchloride	kg	54%					
Magnesiumchloride, anhydride	kg	100%					
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	kg	100%					
Magnesiumoxide	kg	100%					
Melasse uit suikerbieten	kg	100%					
Methanol	kg	100%					
Natriumaluminaat oplossing	kg	38%					
Natriumchloride (zout), poedervorm	kg	100%					
Natriumhypochloriet	kg	15%				11.870	
Natronloog kwikcelproces	kg	50%					
Natronloog, membraanproces	kg	50%					
Natronloog, productiemix	kg	50%					
Polymeer, anionisch	kg	100%					
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg	100%					
Polymeer, kationisch, poeder	kg	100%					
Polymeer, kationisch, vloeibaar	kg	100%	23.168	23.168	23.168	23.168	
			22.083				

Onderwerp	Eenheid	Parameter per jaar					Invulhulp
		Variant 1 Referentie	Variant 2 PACAS	Variant 3 Ozon + ZF	Variant 4 GAK	Variant 5 Ge(O)zond	
Polyaluminiumchloride	kg	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	Niet aanpasbaar
Polyaluminiumsulfaat, poeder	kg	100%	100%				
Waterstofperoxide	kg	50%				115.134	
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	kg	36%					
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	kg	100%					
Zoutzuur uit het Mannheim proces	kg	100%					
Zuurstof (vloeibaar)	kg	100%		445.337		944.320	
Zwavelzuur, vloeibaar	kg	100%				1.442	
Materialen							
Gewapend beton	m3	3.800	3.805	4.050	4.030	3.800	
Levensduur gewapend beton	jaar	30	30	30	30	30	Niet aanpasbaar

CO₂-FOOTPRINT VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN UIT RWZI-AFVALWATER

		Ref	PACAS	Ozon+zandfiltratie	GAK	-1
CO ₂ -footprint totaal	ton CO ₂ /jr	1265	2198	1953	3009	2986
behandelde hoeveelheid	m ³ /jaar	0	7.665.000	5.365.500	5.365.500	5.365.500
CO ₂ -footprint verwijdering micro's	g CO ₂ /m ³		122	128	325	321

CO₂ footprint verwijdering micro'sCO₂ footprint totale rwzi inclusief verwijdering micro's

AFVALWATERZUIVERING IN GER-WAARDEN

Primair energieverbruik	ton CO ₂ /jaar		ton CO ₂ /jaar		ton CO ₂ /jaar		ton CO ₂ /jaar		ton CO ₂ /jaar	
Totaal	1265	100%	2198	100%	1953	100%	3009	100%	2986	100%
energie	670	53%	718	33%	1169	60%	827	27%	1688	57%
hulpstoffen	193	15%	1072	49%	380	19%	1778	59%	896	30%
slibeindverwerking	386	30%	391	18%	386	20%	386	13%	386	13%
materiaal	17	1,3%	17	1%	18	1%	18	1%	17	1%

	Omreken-factor	Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	Ge(O)zond
	kg CO ₂ /eenheid	ton CO ₂ /jaar	ton CO ₂ /jaar	ton CO ₂ /jaar	ton CO ₂ /jaar	ton CO ₂ /jaar
Inkoop energie		670	718	1.014	672	1.533
Inkoop energie						
Inkoop elektriciteit	0,53 kWh	628	676	972	630	1.491
Inkoop aardgas	1,79 Nm ³	7	7	7	7	7
Inkoop warmte	1110,00 GJ	0	0	0	0	0
Inkoop brandstoffen				0	0	0
Diesel	2,21 kg	35	35	35	35	35
Overig invloed nabehandeling op rwzi		0	0	155	155	155
Energieverbruik opvoeren rioolwater	0,53 kWh	0	0	99	99	99
Energieverbruik productie en bewerking spoelwater	0,53 kWh	0	0	56	56	56
Inkoop hulpstoffen		193	1.072	380	1.778	896
Actieve kool	9,60 kg	0	883	0	799	0
Actieve kool geregenereerd	2,52 kg	0	0	0	786	0
Actieve kool biologische oorsprong	3,94 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumchloride, hydraatvorm	0,35 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	0,55 kg	0	0	0	0	0
Antiscalants (polycarboxylaten)	1,73 kg	0	0	0	0	0
Azijnzuur	3,06 kg	0	0	0	0	0
Bio-ethanol	4,12 kg	0	0	0	0	0
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	0,34 kg	0	0	0	0	0
Citroenzuur	0,90 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit epichloorhydrine	5,96 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit koolzaadolie	5,84 kg	0	0	0	0	0
IJzer(III)chloride	0,38 kg	99	99	99	99	248
IJzerchloridesulfaat	0,72 kg	0	0	0	0	0
IJzersulfaat	0,20 kg	0	0	0	0	0
Kalkhydraat	0,26 kg	0	0	0	0	0
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	0,25 kg	0	0	0	0	0
Koolstofdioxide, vloeibaar	0,64 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride	0,07 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, anhydride	1,38 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	0,19 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumoxide	0,16 kg	0	0	0	0	0
Melasse uit suikerbieten	0,36 kg	0	0	0	0	0
Methanol	2,20 kg	0	0	0	0	0
Natriumaluminaat oplossing	0,47 kg	0	0	0	0	0
Natriumchloride (zout), poedervorm	0,19 kg	0	0	0	0	0
Natriumhypochloriet	0,15 kg	0	0	0	0	2
Natronloog kwikcelproces	0,66 kg	0	0	0	0	0

	Omreken-factor	Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	Ge(O)zond
	kg CO₂/eenheid	ton CO₂/jaar	ton CO₂/jaar	ton CO₂/jaar	ton CO₂/jaar	ton CO₂/jaar
Natronloog, membraanproces	0,60 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, productiemix	0,67 kg	0	0	0	0	17
Polymeer, anionisch	4,48 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch, vloeibaar	3,64 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, poeder	5,00 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, vloeibaar	3,90 kg	90	86	90	90	90
Polyaluminiumchloride	1,13 kg	4	4	4	4	4
Polyaluminiumsulfaat, poeder	1,01 kg	0	0	0	0	0
Waterstofperoxide	1,21 kg	0	0	0	0	139
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	0,05 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	1,64 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit het Mannheim proces	0,41 kg	0	0	0	0	0
Zuurstof (vloeibaar)	0,42 kg	0	0	187	0	397
Zwavelzuur, vloeibaar	0,12 kg	0	0	0	0	0
Materialen		17	17	18	18	17
Gewapend beton	133,00 m3	17	17	18	18	17
Slibeindverwerking		386	391	386	386	386
Droging en verbranding van ontwaterd slib	0,05 kg	305	310	305	305	305
Transport vloeibaar slib	0,13 tonkm	0	0	0	0	0
Transport ontwaterd slib	0,13 tonkm	81	82	81	81	81

BIJLAGE 2

WAARDES VOOR INVOER MODEL

CO₂-FOOTPRINT

Ozon/H ₂ O ₂	dosering	DOC horstermeer	minimale jaarhoeveelheid te behandelen effluent	Totaal	2x (1,6 g O ₃ /g doc)	
O ₃	0,8 mg / mg DOC	11 mg/L	5.365.500 m ³	47.216 kg	94.432	
O ₂				472.160 (per kg O ₃ 10 kg O ₂ verbruik)	944.320	
H ₂ O ₂	10 mg/L		5.365.500 m ³	53.655 kg	107.310 kg 50% oplossing	
kwh (naar ratio met ozon+ZF)	1.388.035 kWh			1388035		
ILCA+CMF				INVOER		
NaOH	1 mg OH- /L		5.365.500 m ³	5.365 kg OH-	12.622 kg NaOH	25.245 kg 50% NaOH
H ₂ O ₂ (35%)	2 L/day		5.365.500 m ³	9.892 L	11.177 kg 35%	7.824 kg 50%
H ₂ SO ₄ (40%)	7,6 L/day		5.365.500 m ³	2.774 L	3.606 Kg	1.442 kg 100%
NaOCl (15%)	27,1 L/day		5.365.500 m ³	9.892 L	11.869 kg 15%	
FeCl ₃	10 mg Fe ₃₊ /L			53.655 kg Fe ₃₊	155.820 kg FeCl ₃ 100%	389.550 kg FeCl ₃ 40%
energie	252.178 kWh					
Overzicht/totaal	kg					
O ₂	472.160 kg					
H ₂ O ₂ 50%	115.134 kg					
NaOH 50%	25.245 kg					
NaOCl 15%	11.869 kg					
FeCl ₃	389.550 kg 40%					

BIJLAGE 3

KOSTEN PER M³

Kosten 100.000 i.e.:		euro
Personeel	1,5 FTE	75.000
Energie		160.000
Chemicaliën totaal		275.000
Kapitaalslasten		1.288.837
Onderhoudskosten		506.170
Totaal		1.832.959

= € 0,43 / m³

		euro
Chemicaliën	O ₂	188864
	FeCl ₃	46680
	Overig	39456

			rente 4%	afschrijving (jaarlijks)
Kapitaalslasten	Procesinstallatie	10.520.000	10.940.800	15 jaar - 729.387
	Civiel	5.240.000	5.449.600	30 jaar - 181.653
	Investeringskosten	5.479.000	5.666.960	15 jaar - 377.797
			Totaal	1.288.837

		Onderhoud (jaarlijks)
Procesinstallatie		315.600
Civiel		26.200
Investeringskosten		164.370
Totaal		506.170