



stowa

PILOTONDERZOEK VERGELIJKING OXIDATIEVE TECHNIEKEN EFFLUENT RWZI AARLE-RIXTEL



RAPPORT

2020
41

PILOTONDERZOEK VERGELIJKING OXIDATIEVE
TECHNIEKEN EFFLUENT RWZI AARLE-RIXTEL
VERWIJDERING ORGANISCHE
MICROVERONTREINIGINGEN UIT EFFLUENT

RAPPORT

2020

41



ISBN 978.90.5773.907.1



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Bart Verberkt, Waterschap Aa en Maas
Jos van Lankveld, Waterschap Aa en Maas
Maarten Nederlof, Waterschap Aa en Maas
Maria Colina Alonso, Waterschap Aa en Maas (stagiaire)
Robert Kras, Waterschap Aa en Maas
Roel Trijbels, Waterschap Aa en Maas
Wim van der Hulst, Waterschap Aa en Maas

BEGELEIDINGSCOMMISSIE OXIDATIEVE TECHNIEKEN

Amanda Vierwind, Sweco
Arnoud de Wilt, RHDHV
Bernadette Lohmann, Waterschap Zuiderzeeland
Cora Uijterlinde, STOWA
Els Schuman, LeAF
Gerard Rijs Water, Verkeer en Leefomgeving, RWS
Erik Knol, Hoogheemraadschap Delfland
John Koop, Waterschap Hunze en Aa's
Joop Kruithof
Maaïke Hoekstra, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Maarten Schaafsma, Waterschap Rijn en IJssel
Manon Bechger, Waternet
Marlies Verhoeven, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Mirabella Mulder, STOWA, Mirabella Mulder Waste Water Management
Patricia Clevering-Loeffen, Sweco
Robert Kras (vz), Waterschap Aa en Maas
Ruud Schemen, Waterschap de Dommel
Ruud van der Neut, PWN

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-41
ISBN 978.90.5773.907.1

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

TEN GELEIDE

OZON IS AANTREKKELIJKE TECHNOLOGIE VOOR BEHANDELING VAN GEZUIVERD AFVALWATER AARLE-RIXTEL

Zowel Ozon en UV+H₂O₂ verwijderen medicijnresten effectief uit het afvalwater en voldoen daarmee aan de doelen uit het programma Medicijnresten uit Water van het ministerie van IenW. Maar ook hebben beide oxidatieve technieken bij toepassing op het effluent van Aarle Rixtel van het Waterschap Aa en Maas hun eigen aandachtspunten.

Het terugdringen van de emissie van medicijnresten en andere (organische) microverontreinigingen via het effluent van rwzi's op het ontvangend oppervlaktewater is de laatste jaren een steeds groter aandachtspunt geworden. Organische microverontreinigingen, waaronder medicijnresten, zijn in het oppervlaktewater ongewenst omdat ze leiden tot risico's voor de ecologie en moeten bij drinkwaterproductie vanuit oppervlaktewater worden verwijderd.

Op de rwzi Aarle Rixtel is daarom in het kader van het Innovatie Programma Microverontreinigingen van STOWA en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, pilotonderzoek gedaan naar de toepassing van twee oxidatieve technieken, ozon met biologische nabehandeling (O₃ + Bio) en UV-straling met waterstofperoxide (UV + H₂O₂). Ozon is een techniek die al op rwzi's in het buitenland wordt toegepast om medicijnresten te verwijderen uit het effluent. De techniek UV + H₂O₂ is een veelbelovende techniek die nog niet wordt toegepast op rwzi's, maar wel bij de verwijdering van gewasbeschermingsmiddelen uit afvalwater van de glastuinbouw en bij drinkwaterproductie.

Voor behandeling van het afvalwater van rwzi Aarle Rixtel scoort toepassing van ozon op het gebied van verwijderingsrendement en bijbehorend energieverbruik. In het algemeen wordt de voorkeur voor een techniek bepaald door de lokale situatie. Het gewenste verwijderingsrendement van medicijnresten op de betreffende zuivering is mede bepalend voor de techniekkeuze, de doseringen en de capaciteit van de installatie, en heeft invloed op de aandachtspunten van de technologieën. Daarnaast zijn ook kosten en duurzaamheid van belang bij de uiteindelijke keuze.

Het "innovatieprogramma microverontreinigingen uit afvalwater" (IPMV) van STOWA en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, maakt onderdeel van het uitvoeringsprogramma "ketenaanpak medicijnresten uit water" van het ministerie.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

AFKORTINGENLIJST

BZV	Biochemisch Zuurstof Verbruik
CFD	Computational Fluid Dynamics
CZV	Chemisch Zuurstof Verbruik
DBS-waarde	DrinkwaterBronSignalerings-waarde
DOC	Dissolved Organic Carbon, opgelost organische koolstof
DWA	Droog Weer Aanvoer
ESW	Effect Signaal Waarde
GER	Gross Energy Requirement, bruto energieverbruik
HCK-methode	Hulst Colina Kras methode, voor omgang met meetwaarden onder de Rapportagegrens
LVSP	Large Volume Solid Phase Extraction, methode om organische microverontreinigingen in het watermonster te concentreren
MBBR	Moving Bed Bio Reactor
Ministerie van IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
OB	Onopgeloste Bestanddelen
PACAS	Powdered Activated Carbon in Activated Sludge
PAK	Poly Aromatische Koolwaterstof
PAICI	Poly-aluminiumchloride
PNEC	Predicted No Effect Concentration
RWA	Regen Weer Aanvoer
RIVM	RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
Simoni methode	Slimme Integrale MONItoring methode, om risico's van organische microverontreinigingen voor het ecosysteem te bepalen
TOC	Total Organic Carbon, totaal organisch koolstof
UV	Ultra Violet (straling)
UV-T	UV-Transmissie
WSAM	Waterschap Aa en Maas
XAD-concentrerend	Methode om organische microverontreinigingen in het watermonster te concentreren middels XAD-hars (Polyaromatische adsorberende kunsthars)

SAMENVATTING

Op de rwzi Aarle-Rixtel heeft een pilot onderzoek plaatsgevonden, waarbij twee oxidatieve technieken voor verwijdering van organische microverontreinigingen zijn vergeleken. Het gaat om de technieken:

- ozon met biologische nabehandeling (O₃ + Bio),
- UV-licht met waterstofperoxide (UV + H₂O₂).

DOEL

Betreft het verwijderingsrendement van medicijnresten zijn twee doelen te onderscheiden:

- 80% verwijderingsrendement t.o.v. het effluent van de rwzi, van 16 geselecteerde medicijnen¹ uit het Aquon geneesmiddelenpakket. Deze 16 stoffen zijn in een eerder onderzoek in het effluent van rioolwaterzuiveringen van waterschap Aa en Maas aangetroffen.
- 70% verwijderingsrendement t.o.v. het influent van de rwzi, van 7 van de 11 gidsstoffen² zoals gedefinieerd door het ministerie van IenW.

Deze twee technieken zijn naast elkaar getest met als doel om de (maximale) prestaties van beide technieken te onderzoeken. Het zijn nog geen vastgestelde streefwaarden omdat er geen grenswaarden voor medicijnresten in rwzi-effluent zijn vastgesteld.

Naast het verwijderingsrendement op betreffende geneesmiddelen is in het onderzoek ook aandacht voor energie- en chemicaliënverbruik, kosten en de mogelijke vorming van ongewenste nevenproducten, en verwijderingsrendement op niet-geneesmiddelen.

FASERING PILOT ONDERZOEK

In het pilot onderzoek worden verschillende fasen onderscheiden:

- *Inregelperiode*: In het eerste deel van fase 1 (september t/m november 2018) is de leveranciers de mogelijkheid geboden om de optimale instellingen te bepalen om een verwijderingsrendement van 80% te behalen.
- *Vergelijkende test*: In de periode van november 2018 tot en met januari 2019 heeft de vergelijkende test plaatsgevonden, waarin de prestaties van de technieken vergeleken zijn.
- *Vervolgonderzoek*: Op basis van de resultaten van de vergelijkende test zijn in de periode maart t/m juni 2019 de optimalisatiemogelijkheden en specifieke aandachtspunten van beide technieken verder onderzocht. Bij O₃ heeft het vervolgonderzoek zich gericht op het beperken en voorkomen van bromaatvorming en is de relatie tussen de specifieke ozondosering (dat is de ozondosering in gram ozon per gram opgelost organisch materiaal, aangeduid als g O₃ / g DOC) en het verwijderingsrendement bepaald. Bij UV + H₂O₂ heeft het vervolgonderzoek zich gericht op voorbehandeling van het afvalwater om de UV-transmissie te verhogen en zodoende het energieverbruik van de techniek te beperken.

RESULTATEN

Gedurende de inregelperiode hebben de leveranciers de instellingen bepaald waarmee 80% van de medicijnresten uit het effluent verwijderd zouden kunnen worden. Deze instellingen zijn toegepast tijdens de uitvoering van de vergelijkende test:

- 1 Carbamazepine, Clarithromycine, Clindamycine, Clozapine, Diclofenac, Gabapentine, Hydrochloorthiazide, Irbesartan, Lidocaïne, Metformine, Metoprolol, Oxazepam, Sotalol, Sulfamethoxazol, Trimethoprim en Valsartan.
- 2 1,2,3-Benzotriazool, Carbamazepine, Clarithromycine, Diclofenac, Hydrochloorthiazide, Methyl-1H-Benzotriazool, Metoprolol, Propanolol, Sotalol, Sulfamethoxazol en Trimethoprim.

O₃ + Bio : 1,2 g O₃ / g DOC
 UV + H₂O₂ : 15 m³/uur, 30 ppm H₂O₂, 2 UV-reactoren met ieder 12 UV-lampen (lage druk, 600W per lamp) in bedrijf

De belangrijkste resultaten van de vergelijkende test en enkele indicatieve kenmerken zijn voor beide oxidatieve technologieën weergegeven in de tabel 1.1.

TABEL 1.1

OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE RESULTATEN VAN BEIDE OXIDATIEVE TECHNOLOGIEËN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST EN DE HIERUIT BEREKENDE INDICATIEVE KENMERKEN VOOR EEN FULL SCALE NABEHANDELINGSINSTALLATIE MET EEN CAPACITEIT VAN 1,4 X DWA

	Eenheid	O ₃	O ₃ + Bio	UV + H ₂ O ₂
Verwijderingsrendement:				
16 geselecteerde medicijnen (t.o.v. effluent)	%	86 ¹⁾	86	41 ²⁾
7 van de 11 gidsstoffen (t.o.v. influent)				
• Volledig effluent behandeld	%	97 ¹⁾	97	84
• 80% (1,4 x DWA) behandeld	%	90 ¹⁾	90	78
Energieverbruik	kWh/m ³	0,2	0,3	1,0
Chemicaliënverbruik		0,13 kg O ₂ /m ³	0,13 kg O ₂ /m ³	H ₂ O ₂ : 0,03 kg/m ³ , Reinigingschemicaliën
GER-waarde	MJ/m ³	2,2	3,3	12,5
CO₂ footprint bij 70% effluentbehandeling	gCO ₂ /m ³	150	180	600
Eco-toxiciteit reductie	%	50-75	50-75	50-75
Totale kosten ³⁾	€/m ³	0,12 ⁴⁾	0,22 ⁴⁾	0,29
Aandachtspunten		Bromaat-productie	Bromaat-productie	Energieverbruik

1. Met aannahme dat in bio-stap geen verwijdering van medicijnen plaats vindt
2. Hoger rendement (85 %) op 2 dagen met relatief hoge UV-transmissie (circa 60%) in het rwzi effluent t.g.v. verdunning met regenwater (UV-Transmissie op DWA dagen circa 40%). Ook bij verhoging UV-transmissie (circa 60%) middels voorbehandeling met zandfilter en coagulant-dosering, worden rendementen boven 80% behaald tijdens het vervolgonderzoek.
3. Voor een zuivering met een capaciteit van circa 300.000 inwonerequivalent.
4. Bij O₃ productie uit lucht: bij O₃: €0,09/m³, bij O₃+ Bio: €0,19/m³

Bij O₃+ Bio worden bij de vergelijkende test beide doelen voor verwijderingsrendement gehaald en blijkt bromaatvorming een belangrijk aandachtspunt te zijn. Tijdens de vergelijkende test werd gemiddeld 19 µg/l bromaat gevormd, hetgeen veel hoger is dan de drinkwaternorm (1 µg/l). Bromaatvorming wordt gestimuleerd door de relatief hoge bromide concentraties in het afvalwater van Aarle-Rixtel en de hoge specifieke ozondosering. De relaties tussen bromaatvorming, specifieke ozondosering, verwijderingsrendement en de bromide concentratie in het afvalwater zijn in het vervolgonderzoek bepaald.

Bij UV + H₂O₂ is tijdens de vergelijkende test het doel voor 70% verwijdering van gidsstoffen ten opzichte van het influent wel gehaald, maar het doel van 80% verwijderingsrendement van 16 medicijnen ten opzichte van het effluent is niet gehaald. De UV-transmissie van het afvalwater van Aarle-Rixtel is laag, waardoor veel UV-lampen nodig zijn om een hoog rendement te halen, hetgeen resulteert in een hoog energieverbruik. Bij het vervolgonderzoek is 80% verwijdering van 16 medicijnen alsnog behaald door de UV dosis te verhogen, waarbij het energieverbruik 1,5 kW/m³ was. Ook is in het vervolgonderzoek gebleken dat de UV-transmissie van het afvalwater verhoogd kan worden door middel van voorbehandeling met een zandfilter met coagulantdosering. Dit is positief voor verwijderingsrendement en energieverbruik, met

1,0 kW/m³ werd het verwijderingsrendement van 16 medicijnen ten opzichte van het effluent verhoogd van 41 naar 80%. Het energieverbruik blijft echter relatief hoog.

CONCLUSIE

Op basis van deze pilot test is ozon (+ biologische nabehandeling) een meer aantrekkelijke technologie voor de verwijdering van medicijnresten uit het effluent van rwzi Aarle-Rixtel dan UV + H₂O₂.

Ozon gevolgd door een biologische nabehandeling (O₃ + Bio) scoort beter op het gebied van verwijderingsrendement. O₃ + Bio scoort ook beter op andere aspecten. Ondanks het veel hogere behaalde rendement ligt het energie- en chemicaliënverbruik voor O₃ aanzienlijk lager dan UV + H₂O₂, evenals de kosten en de investering.

Het merendeel van de afzonderlijke medicijnen wordt door O₃ + Bio beter verwijderd dan door UV + H₂O₂. Qua röntgencontrastmiddelen en andere bijvangst-stoffen zuivert UV + H₂O₂ soms wel beter dan O₃ + Bio.

Bij O₃ + Bio is de bromaatvorming een belangrijk aandachtspunt, hetgeen beperkt dient te worden.

Bromaatvorming is onder controle (< 2 µg/l) te houden door de maximale specifieke O₃-dosering aan te passen aan het bromide gehalte in het afvalwater.

Dit betekent wel dat zonder aanvullende maatregelen een verwijderingsrendement van 80% t.o.v. effluent niet haalbaar is bij hoge bromide gehalten in het afvalwater omdat dan de specifieke O₃-dosering wordt verlaagd. Een verwijderingsrendement van 70% op de gidsstoffen t.o.v. het influent van de rwzi blijft wel haalbaar indien een lagere O₃-dosering van 0,5-0,7 g O₃ / g DOC wordt aangehouden. Bij een ontwerpdebiet 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een gemiddeld rendement van 90% t.o.v. het influent behaald op 7 van de 11 gidsstoffen.

Bij UV + H₂O₂ is het belangrijkste aandachtspunt het hoge energieverbruik, die het gevolg is van de lage UV-transmissie van het effluent waardoor veel UV-lampen nodig zijn om de gewenste UV-dosis te bereiken. Het energieverbruik is te beperken door het afvalwater voor te behandelen met een zandfilter met coagulantdosering, waardoor de UV-transmissie van het afvalwater toeneemt. Het energieverbruik blijft echter relatief hoog, namelijk een factor 3 à 4 hoger ten opzichte van O₃ + Bio.

Beide technieken zijn effectief in verlaging van de ecotoxiciteit van het afvalwater. De berekende Simoni-score laat een reductie zien van 50-75%, echter deze resultaten moeten beschouwd worden als een globale indicatie omdat de onderzoeksmethode nog in ontwikkeling is voor toepassing op rwzi effluent en er slechts een beperkt aantal monsters geanalyseerd is.

In de rwzi zelf werd gedurende de pilottest een gemiddeld verwijderingsrendement van 40% behaald van 16 geselecteerde medicijnen.

AANBEVELINGEN

Verwijderingsrendement

Aanbevolen wordt om te bepalen welk verwijderingsrendement van medicijnresten op welke zuivering gewenst is in relatie tot de aanvaardbare concentratie in het oppervlaktewater per stof (mede in relatie tot eventuele drinkwaterproductie benedenstreams) en de gewenste reductie van ecotoxicologische effecten. Dit is bepalend voor techniekkeuze, de doseringen en de capaciteit van de installatie, en heeft invloed op de aandachtspunten van de technologieën (bromaatvorming, energieverbruik).

Vooronderzoek toepasbaarheid

Om de specifieke aandachtspunten van de technieken vooraf in te schatten, wordt aanbevolen om eerst een effluentmonster van de rwzi te analyseren. Op basis van het bromide gehalte kan een inschatting worden gemaakt van het risico op bromaatvorming bij de toepassing van de O₃-technologie, en op basis van de UV-transmissie kan een inschatting worden gemaakt van de benodigde UV-lampen en het bijbehorende energieverbruik bij toepassing van UV + H₂O₂.

Bij hoge bromide concentratie of lage UV-transmissie kan een “strengonderzoek” uitgevoerd worden om de herkomst te achterhalen, en de mogelijkheden ter verbetering te bepalen.

Ozon: bromaatvorming beperken

Om bromaatvorming te beperken wordt aanbevolen om de specifieke O₃-dosering, en daarmee de streefwaarde voor verwijderingsrendement, af te stemmen op het bromidegehalte in het afvalwater.

Aanbevolen wordt ook om onderzoek uit te voeren naar beperking van de bromaatvorming middels:

- H₂O₂ dosering op “andere condities” dan getest tijdens het vervolgonderzoek
- aanpassing van de ozon doseermethode
- onderzoek naar mogelijkheden om gevormd bromaat uit behandeld water te verwijderen

UV+H₂O₂: energieverbruik beperken

Om het energieverbruik te beperken wordt aanbevolen om het afvalwater voor te behandelen ter verhoging van de UV-transmissie.

Aanbevolen wordt ook om de mogelijkheden te onderzoeken en te volgen, ter verdere verlaging van het energieverbruik, zoals energiezuinige UV-lampen en optimale reactorconfiguratie.

Biologische nabehandeling na oxidatieve technologie

De werking van een biologische nabehandelingsstap ter verwijdering van eventueel gevormde schadelijke metabolieten is tijdens de pilot test niet aangetoond. Bovendien is de investering voor een biologisch zandfilter erg hoog in verhouding tot de investering voor de oxidatieve techniek. Daarom wordt aanbevolen om de noodzaak van een biologische nabehandeling verder te onderzoeken.

Combinatie met nutriëntenverwijdering

Bij toepassing van een technologie ter verwijdering van medicijnresten wordt aanbevolen om de mogelijkheden te onderzoeken om dit te combineren met nutriëntenverwijdering.

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.

PILOTONDERZOEK VERGELIJKING OXIDATIEVE TECHNIEKEN EFFLUENT RWZI AARLE-RIXTEL VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN UIT EFFLUENT

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	AFKORTINGENLIJST	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Pilot onderzoek medicijnrestenverwijdering op rwzi Aarle-Rixtel	2
2	THEORIE	4
	2.1 Ozon	4
	2.1.1 Reacties	4
	2.1.2 Aandachtspunten	4
	2.2 UV + H ₂ O ₂	5
	2.2.1 Reacties:	5
	2.2.2. Aandachtspunten:	5
3	UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	6
	3.1 Rwzi Aarle-Rixtel, beschrijving pilot opstelling	6
	3.2 Pilot Ozon + Bio	7
	3.3 Pilot UV + H ₂ O ₂	9
	3.4 Opzet van het onderzoek	12
	3.4.1 Verwijderingsrendement	12
	3.4.2 Testperioden	13
	3.4.3 Monsternamepunten en monstername	13
	3.4.4 Monitoringsparameters / Analysepakketten	14
	3.4.5 Verwerking meetgegevens, omgang rapportagegrens	16

4	RESULTATEN	18
4.1	Uptime en robuustheid pilot installaties	18
4.2	Inregelperiode, optimale instellingen	19
4.2.1	Pilot Ozon + Bio	19
4.2.2	Pilot UV + H ₂ O ₂	19
4.3	Verwijdering medicijnresten tijdens vergelijkende test	19
4.3.1	Overzicht gemiddeld verwijderingsrendement	19
4.3.2	Ozon + Bioreactor	22
4.3.3	UV + H ₂ O ₂	23
4.3.4	RWZI	24
4.3.5	RWZI plus Ozon + Bioreactor	24
4.3.6	RWZI plus UV + H ₂ O ₂	25
4.4	Verwijdering afzonderlijke componenten	26
4.4.1	Overzicht medicijnen en gidsstoffen	26
4.4.2	Vergelijking oxidatieve technologieën	27
4.4.3	Verwijdering met O ₃ -technologie: aandeel O ₃ en aandeel Bioreactor	28
4.4.4	Verwijdering met UV + H ₂ O ₂ -technologie: aandeel UV + H ₂ O ₂ en aandeel katalysator	29
4.5	Röntgencontrastmiddelen	30
4.6	Bromide en Bromaat	30
4.7	Waterstofperoxide (H ₂ O ₂)	32
4.8	Ecotoxiciteit (SIMONI)	32
4.9	PNEC en DBS waarden	35
4.10	Stikstof, fosfor en zuurstofverbruik	35
4.11	Bacteriologie	37
4.12	Bijvangst, overige micro's	38
5	VERVOLGONDERZOEK	39
5.1	Inleiding	39
5.2	Uitvoering van het onderzoek	39
5.2.1	Testopzet	39
5.2.2	Monsternamen en monitoringsparameters	43
5.3	Resultaten	45
5.3.1	Verwijdering in RWZI	45
5.3.2	O ₃ -pilot	46
5.3.3	UV-pilot	51
6	DOORVERTALING NAAR FULL-SCALE	56
6.1	Configuratie bij opschalen	56
6.2	Energieverbruik	57
6.3	Chemicaliën verbruik	58
6.4	Duurzaamheid en GER waarde	58
6.5	CO ₂ footprint	59
6.5.1	Standaard rekenmodel	59
6.5.2	Ozon	59
6.5.3	UV + H ₂ O ₂	61
6.6	Investing	62
6.7	Totale kosten per m ³ water	63
6.8	Kosten per inwonerequivalent	64

7	CONCLUSIE	65
7.1	Hoofdconclusie vergelijking oxidatieve technieken	65
7.2	Overzichtstabel	66
7.3	Ozon + biologische nabehandeling	67
7.4	UV + H ₂ O ₂	68
7.5	Medicijnrestenverwijdering in de rwzi	70
8	AANBEVELINGEN	71
	LITERATUURLIJST	73
	BIJLAGEN	74
BIJLAGE 1	THEORIE O ₃ , DIRECTE REACTIE	75
BIJLAGE 2	THEORIE UV + H ₂ O ₂	77
BIJLAGE 3	UV+H ₂ O ₂ : AFBRAAK DOOR FOTOLYSE EN OXIDATIE	79
BIJLAGE 4	RWZI AARLE-RIXTEL, BLOKSCHEMA EN BELANGRIJKSTE EQUIPMENT	80
BIJLAGE 5	P&ID PILOT O ₃	81
BIJLAGE 6	P&ID PILOT UV + H ₂ O ₂	82
BIJLAGE 7	ANALYSES AQUON	83
BIJLAGE 8	HCK METHODE VERSUS VOLKERT BAKKER METHODE	85
BIJLAGE 9	MEDICIJN CONCENTRATIES IN RWZI INFLUENT EN EFFLUENT	88
BIJLAGE 10	MEDICIJN CONCENTRATIES IN RWZI EFFLUENT: STEEKMONSTERS VERSUS VERZAMELMONSTERS	91
BIJLAGE 11	RESULTATEN INREGELPERIODE O ₃ -PILOT	94
BIJLAGE 12	VERWIJDERINGSRENDEMENT PER BEMONSTERINGSDAG	96
BIJLAGE 13	RELATIE UV-TRANSMISSIE EN DOC, EN RELATIE UV-TRANSMISSIE EN VERDUNNING	98
BIJLAGE 14	RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGSDAG (SELECTIE)	101
BIJLAGE 15	OVERIGE CONCLUSIES	108
BIJLAGE 16	BROMIDE EN BROMAAT TIJDENS INREGELPERIODE	109
BIJLAGE 17	ECOTOXICITEIT (SIMONI), INDIVIDUELE TESTEN	111
BIJLAGE 18	PNEC EN DBS WAARDEN	115
BIJLAGE 19	STIKSTOF, FOSFOR, CZV EN BZV	123
BIJLAGE 20	BIJVANGST OVERIGE COMPONENTEN	127
BIJLAGE 21	INVESTERING EN KOSTEN	141
BIJLAGE 22	RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGSDAG	147
BIJLAGE 23	WEBTOOL 2020-06, DWA DEBIET, RWA BYPASS ETC	194
BIJLAGE 24	VERWIJDERING GIDSSTOFFEN IN RWZI	196
BIJLAGE 25	RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN NIJHUIS WATER TECHNOLOGY	200
BIJLAGE 26	RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN REMMEN UV TECHNOLOGY + JOTEM WATERBEHANDELING	220
BIJLAGE 27	RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN O ₃ -PILOT	227
BIJLAGE 28	RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN UV-PILOT	232
BIJLAGE 29	ONTWERPUITGANGSPUNTEN FULL SCALE OZON-INSTALLATIE	234

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Medicijnresten in het oppervlaktewater en medicijnrestenverwijdering op de rioolwaterzuiveringen (rwzi's) die lozen op dat oppervlaktewater, staan volop in de belangstelling. De reden hiervoor is dat de medicijnresten een milieurisico vormen, effecten kunnen hebben op de ecologie en verwijderd moeten worden bij de drinkwaterproductie vanuit oppervlaktewater.

Medicijnresten worden door de bevolking af- en uitgescheiden via urine en ontlasting (ingenomen medicijnen) en via afspoelen van de huid (crèmes), en worden via het rioolstelsel naar de rwzi's van de waterschappen getransporteerd. Sommige medicijnresten worden op de rwzi goed verwijderd terwijl andere nauwelijks verwijderd worden. Verwijderingspercentages variëren per rwzi en zijn ook seizoensafhankelijk. Naar schatting wordt op de rwzi gemiddeld circa 40% van de medicijnresten verwijderd³. Via het effluent van de rwzi's wordt in Nederland jaarlijks minstens 140 ton geneesmiddelresten geloosd op het oppervlaktewater (1), dit is exclusief de röntgencontrastmiddelen. Dit kan effect hebben op het ecosysteem doordat de medicijnresten kunnen leiden tot bijvoorbeeld gedragsverandering, weefselschade en effecten op de voorplanting bij waterorganismen.

Om de ecotoxiciteit te bepalen voor medicijnen wordt onder andere (d.w.z. naast bioassays) de Predicted No-Effect Concentration (PNEC) gebruikt. Dit is de concentratie van een chemische stof waarboven schadelijke effecten mogelijk optreden bij de meest gevoelige soorten in het ecosysteem. Bij de drinkwaterbereiding wordt als generiek streefwaarde voor microverontreinigingen een drinkwaterbronsignaleringswaarde (DBS-waarde) gehanteerd van 0,1 µg/l. Van diverse medicijnen worden de NEC en/of de DBS in oppervlaktewater overschreden. (2)

Onderzoek rondom de rwzi's van Waterschap Aa en Maas (WSAM) (3) bevestigt dat de PNEC en DBS van diverse medicijnen ook worden overschreden in het oppervlaktewater van WSAM. De PNEC waarde benedenstrooms van enkele rwzi's (ook rwzi Aarle-Rixtel) wordt structureel overschreden door diclofenac (pijnstiller) en claritromycine (antibioticum). De concentratie van de medicijnen valsartan, gabapentine, irbesartan, metformine en hydrochloorthiazide in het oppervlaktewater nabij de rwzi's van WSAM ligt regelmatig boven de DBS waarde (0,1 µg/l), en draagt bij aan de overschrijding van de DBS waarde bij het stroomafwaarts gelegen drinkwaterinnamepunt Keizersveer.

Waterschap Aa en Maas erkent dat aanvullende zuiveringsstappen voor zowel nutriënten als medicijnresten gewenst zijn om effecten van lozingen van effluent van onze zuiveringen op het ontvangend oppervlaktewater te verminderen. Vandaar dat het thema medicijnresten ook opgenomen is in de bestuurlijk vastgestelde Afvalwaterstrategie. In de Afvalwaterstrategie staat onder andere genoemd dat een pilot wordt uitgevoerd met vergaande verwijdering

3 Gemiddelde van de verwijderingspercentages van ieder individueel medicijn.

van medicijnresten en dat Aa en Maas anticipeert op mogelijke regelgeving maatregelen bij de technologiekeuze van verwijdering van medicijnen. Met deze medicijnenpilot wordt invulling gegeven aan dit onderdeel van de Afvalwaterstrategie.

1.2 PILOT ONDERZOEK MEDICIJNRESTENVERWIJDERING OP RWZI AARLE-RIXTEL

Stowa heeft een inventarisatie gemaakt van de technologische mogelijkheden om geneesmiddelen uit afvalwater te verwijderen (4). Mede op basis van dit rapport heeft Waterschap Aa en Maas (WSAM) besloten om een pilot onderzoek uit te voeren waarbij twee oxidatieve technieken worden vergeleken in twee aparte pilot-installaties. Het gaat om de technieken:

- ozon met biologische nabehandeling ($O_3 + \text{Bio}$)
- UV-straling met waterstofperoxide ($UV + H_2O_2$)

Het doel van de pilot is het behalen van minimaal 80% verwijderingsrendement t.o.v. het effluent van de rwzi. Dit verwijderingsrendement is arbitrair gekozen en dient om inzicht te krijgen welke verwijdering mogelijk is. Dit bij gebrek aan normen voor effluent en/of oppervlaktewater. Hiervoor zijn 16 medicijnresten geselecteerd uit het Aquon geneesmiddelenpakket (zie paragraaf 3.4.4.) die aantoonbaar aanwezig waren in het effluent van rwzi Aarle-Rixtel bij de eerste zeven maanden van een meetprogramma “een jaar lang maandelijks steekmonster” (3). Een verwijderingsrendement van 80% in de nazuiveringsstap is als streven gesteld om te komen tot vergaande verwijdering van vrijwel alle probleemstoffen.

Daarnaast worden op verzoek van het Ministerie van IenW, die het pilot onderzoek mede gefinancierd heeft, 11 gidsstoffen (zie paragraaf 3.4.4.) gemeten. Landelijk worden deze gidsstoffen gebruikt om onderzoeken te vergelijken. Hierbij wordt een minimaal verwijderingsrendement aangehouden van 70% voor 7 van de 11 gidsstoffen bij vergelijking van de kwaliteit van het effluent van de zuiveringstechniek t.o.v. het rwzi influent. Naast geneesmiddelen worden nog diverse andere componenten en parameters gemeten (zie paragraaf 3.4.4.).

Beide pilot installaties verwerken effluent van de rwzi Aarle-Rixtel.

Op deze manier wordt inzicht verkregen in het verwijderingsrendement van beide technieken op organische microverontreinigingen op een rioolwaterzuivering en kunnen de prestaties van beide technieken onderling vergeleken worden. Daarnaast is in het onderzoek ook aandacht voor energie- en chemicaliënverbruik, kosten en de mogelijke vorming van ongewenste nevenproducten.

Puntsgewijs samengevat zijn de onderzoeksvragen:

1. Hoe groot is het verwijderingsrendement op 16 medicijnresten? Is een rendement van 80% t.o.v. effluent rwzi haalbaar?
2. Hoe groot is het rendement van rwzi én de twee technieken op de 11 stoffen die door RWS in 2018 zijn benoemd als gidsstoffen?
3. Wat is de zuivering op overige microverontreinigende stoffen, en hoe relevant is dat? Hoe zit het met de ecotoxicologische risico's van het geloosde effluent voor het ontvangend oppervlaktewater?
4. Zijn er overige aandachtspunten bij rwzi Aarle-Rixtel, waar bij keuze van de techniek en dimensionering rekening mee moet worden gehouden? Nevenverontreinigingen, optimalisaties in riool en/of eerdere processtappen op de rwzi, e.d.
5. Wat zijn bij Aarle-Rixtel de beste instellingen? Hoe zit het daarbij met bedrijfsvoeringsaspecten zoals kosten, energie- en chemicaliëninput, e.d.?

Het onderzoek is ingedeeld in verschillende perioden:

- *Inregelperiode*: In het eerste deel van de onderzoeksfase 1 (september t/m november 2018) is de leveranciers de mogelijkheid geboden om de optimale instellingen te bepalen om een verwijderingsrendement van 80% te behalen.
- *Vergelijkende test*: In de periode van november 2018 tot en met januari 2019 heeft de vergelijkende test plaatsgevonden, waarbij de pilot installaties op een vaste instelling draaiden.
- *Vervolgonderzoek*: (fase 2) Op basis van de resultaten van de vergelijkende test, zijn in de periode maart tot en met juni 2019 vervolgtesten uitgevoerd naar optimalisatiemogelijkheden en specifieke aandachtspunten van beide technieken.

Waterschap Aa en Maas heeft het onderzoek beschreven in 3 afzonderlijke rapporten. Deze 3 rapporten zijn samengevoegd in dit Stowa rapport. Eerst worden de inregelperiode en de vergelijkende test beschreven en daarna het vervolgonderzoek. De resultaten zijn doorvertaald naar een full scale installatie, waarna de conclusies en aanbevelingen van het volledige pilot onderzoek volgen.

2

THEORIE

In het buitenland (Duitsland, Zwitserland) wordt verwijdering van organische microverontreinigingen al op diverse rwzi's toegepast (5). De technieken die daar toegepast worden, zijn oxidatieve technieken (ozonisatie) en adsorptie met actief kool (poeder en granulair).

In Nederland zijn de ervaringen met medicijnrestenverwijdering op rwzi's vooral opgedaan op pilot schaal. Ook hier zijn de gebruikte technieken vooral ozonisatie en adsorptie aan actief kool.

Bij de pilot test op rwzi Aarle-Rixtel wordt gebruik gemaakt van twee verschillende technieken:

- ozon met biologische nabehandeling ($O_3 + \text{Bio}$)
- UV + H_2O_2 .

In dit hoofdstuk volgt een korte beschrijving van deze technieken. Zie de bijlagen 1 en 2 voor meer detail.

2.1 OZON

2.1.1 REACTIES

Voor het verwijderen van microverontreinigingen uit afvalwater is oxidatie door middel van ozonolyse een zeer geschikte techniek. O_3 is een sterke oxidator. Bovendien is O_3 erg instabiel en valt uiteen waarbij hydroxylradicalen ontstaan die nog sterkere oxidatoren zijn. Bij deze techniek zullen twee type reacties optreden.

1. *Directe reactie:* dit is de reactie waarbij O_3 reageert als oxidator. O_3 is selectief en heeft een voorkeur voor bepaalde verbindingen zoals alkenen, aromaten en gesubstitueerde benzeenringen. Medicijnen waar deze groepen in aanwezig zijn, zullen relatief goed verwijderd worden door de directe reactie met O_3 . De directe reactie met overige verbindingen (o.a. bromide) zal in veel mindere mate plaatsvinden, hetgeen ook afhankelijk is van de concentratie O_3 en de concentratie van de diverse aanwezige reactanten. Naar schatting reageert 70% van de ozon via de directe reactie. Meer informatie over de directe reactie staat in bijlage 1.
2. *Indirecte reactie:* De indirecte reactie is de reactie met hydroxylradicalen, welke een zeer korte levensduur hebben. Deze reactie is niet selectief, en zal plaatsvinden met meer verschillende organische moleculen. De aanwezigheid van radicaalvangers (scavengers) zoals nitriet en (bi) carbonaat zal de effectiviteit van de indirecte reactie nadelig beïnvloeden. Naar schatting reageert 30% van de ozon via de indirecte reactie.

2.1.2 AANDACHTSPUNTEN

Metabolieten: Medicijnen worden niet volledig afgebroken tot CO_2 en H_2O maar er ontstaan tussenproducten (metabolieten), welke nog steeds een milieurisico kunnen vormen. Daarom is het belangrijk om na de ozon-behandeling de ecotoxiciteit te bepalen van het gezuiverde water en indien noodzakelijk een nabehandelingsstap toe te passen, bijvoorbeeld adsorptie met actief kool of een biologische (filtratie)stap. In het buitenland wordt zandfiltratie als nageschakelde techniek toegepast, omdat op deze rwzi's doorgaans al een zandfilter aanwezig is voor polishing van het rwzi effluent.

Bromaat: Bromide (Br⁻) dat in het water aanwezig is kan met O₃ reageren tot bromaat (BrO₃⁻), dat verdacht carcinogene eigenschappen heeft. Bij de drinkwaterproductie met ozonoxidatie is bromaat een belangrijk aandachtspunt (6) en mede daarom dient de lozing op het oppervlaktewater zoveel mogelijk beperkt te worden. In het drinkwaterbesluit is een bromaatnorm opgenomen van 1 µg/l en na desinfectie met ozon een bromaatnorm van 5 µg/l. Drinkwaterbedrijven hanteren soms een nog strengere interne bedrijfsnorm van bijvoorbeeld 0,5 µg/l.

Factoren die bromaatvorming beïnvloeden zijn o.a. de bromideconcentratie, de specifieke ozondosering, de rest ozonconcentratie, het ozondoseerpunt, combinatie van O₃ met H₂O₂ etc. Indien bromaat eenmaal gevormd is, dan is het vrijwel onmogelijk om dit weer uit het water te verwijderen.

2.2 UV + H₂O₂

2.2.1 REACTIES:

De oxidatieve techniek UV in combinatie met H₂O₂ is een veelbelovende techniek (4), die nog niet wordt toegepast op rwzi's. Wel is er ervaring met deze techniek bij de verwijdering van gewasbeschermingsmiddelen uit afvalwater van de glastuinbouw, en bij de verwijdering van organische microverontreinigingen bij drinkwaterproductie. Door H₂O₂ te bestralen met UV-C (254 nm) worden hydroxylradicalen geproduceerd. Bij deze techniek treden meerdere reacties op.

1. *Fotolyse:* Medicijnen die UV-straling absorberen, kunnen afgebroken worden door fotolyse.
2. *Oxidatie met hydroxylradicalen:* zie beschrijving indirecte reactie bij O₃ (paragraaf 2.1.1.).
3. *Oxidatie met H₂O₂:* Een beperkt deel van de medicijnresten zal door H₂O₂ afgebroken worden, aangezien H₂O₂ in vergelijking met ozon een zwakke oxidator is.

Bepaalde medicijnen zullen vooral afgebroken worden door fotolyse (bv diclofenac, sotalol en röntgencontrastmiddelen), terwijl andere nauwelijks gevoelig zijn voor fotolyse en vooral door oxidatie worden omgezet (bv carbamazepine en metoprolol). In bijlage 3 is voor diverse stoffen de afbraak door middel van fotolyse en oxidatie met hydroxylradicalen weergegeven.

2.2.2. AANDACHTSPUNTEN:

Metabolieten: Net zoals beschreven in paragraaf 2.1.2. bij O₃, worden de medicijnen niet volledig afgebroken met UV + H₂O₂ en kan het noodzakelijk zijn om een nabehandelingsstap toe te passen.

UV transmissie: De UV-transmissie is de doorlaatbaarheid van UV-straling door water. Dit wordt beïnvloed door de concentratie en het type verbindingen die in het water zijn opgelost. Hoe lager de UV-transmissie van het afvalwater, hoe minder ver de UV-straling in de vloeistof doordringt en hoe minder effectief H₂O₂ omgezet wordt naar hydroxylradicalen. Hierdoor zullen meer UV-lampen benodigd zijn om hetzelfde verwijderingsrendement te behalen, hetgeen tot een hoger energieverbruik leidt. De UV-transmissie kan eventueel verhoogd worden door middel van een voorbehandelingsstap (bv filtratie, adsorptie).

Overmaat H₂O₂: H₂O₂ wordt in overmaat gedoseerd, het grootste deel (ca 80% in de pilot) van de toegevoegde H₂O₂ wordt niet verbruikt en blijft in het water aanwezig. Middels een eenvoudige nabehandeling (bijvoorbeeld een katalytisch bed) kan het overmaat H₂O₂ omgezet worden naar H₂O en O₂.

3

UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

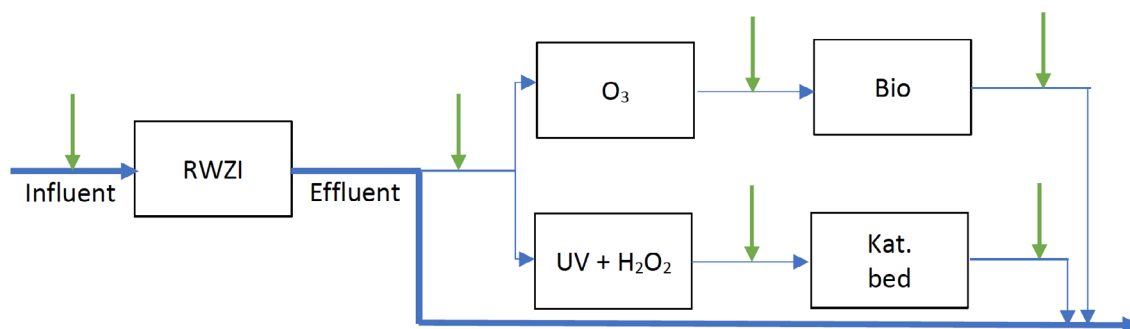
3.1 RWZI AARLE-RIXTEL, BESCHRIJVING PILOT OPSTELLING

De pilot test wordt uitgevoerd op de rwzi Aarle-Rixtel. Dit is één van de zeven rwzi's van Waterschap Aa en Maas. De capaciteit van rwzi Aarle-Rixtel bedraagt circa 300.000 inwoner-equivalent, deze vuilvracht is voor circa 70% afkomstig van inwoners en voor circa 30% van industrie. Op een droge dag (DWA) ligt het influentdebiet op 50.000 m³/dag, ofwel gemiddeld ruim 2.000 m³/uur. Bij RWA kan maximaal 14.000 m³/uur verwerkt worden.

De rwzi bestaat uit 2 parallelle zuiveringsstraten, met ieder één beluchtingstank en 5 nabezinktanks. Via de 10 nabezinktanks loopt het gezuiverde water naar de effluentgoot, waarna het wordt geloosd op het oppervlaktewater. In bijlage 4 is het proces van de rwzi Aarle-Rixtel schematisch weergegeven.

Ten behoeve van het pilot onderzoek naar medicijnrestenverwijdering zijn bij de effluentgoot twee pilotinstallaties geplaatst. In de effluentgoot is een zuigkorf gemonteerd, waarvandaan water wordt verpompt naar beide pilotinstallaties. Op deze manier wordt zeker gesteld dat beide installaties hetzelfde water verwerken en een goede vergelijking kan worden gemaakt tussen de technieken. In de beginfase van de test is door middel van labtesten (CZV, onopgeloste bestanddelen (OB), UV-T etc.) bevestigd dat het inkomende water van beide technieken identiek was. In onderstaande afbeelding (figuur 3.1) is schematisch een overzicht van de opstelling weergegeven, en in figuur 3.2 een foto van beide pilot opstellingen naast de effluentgoot.

FIGUUR 3.1 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE OPSTELLING VAN O₃ + BIO EN DE UV + H₂O₂ PILOT INSTALLATIES, INCLUSIEF MONSTERPUNTEN (GROENE PIJLTJES)



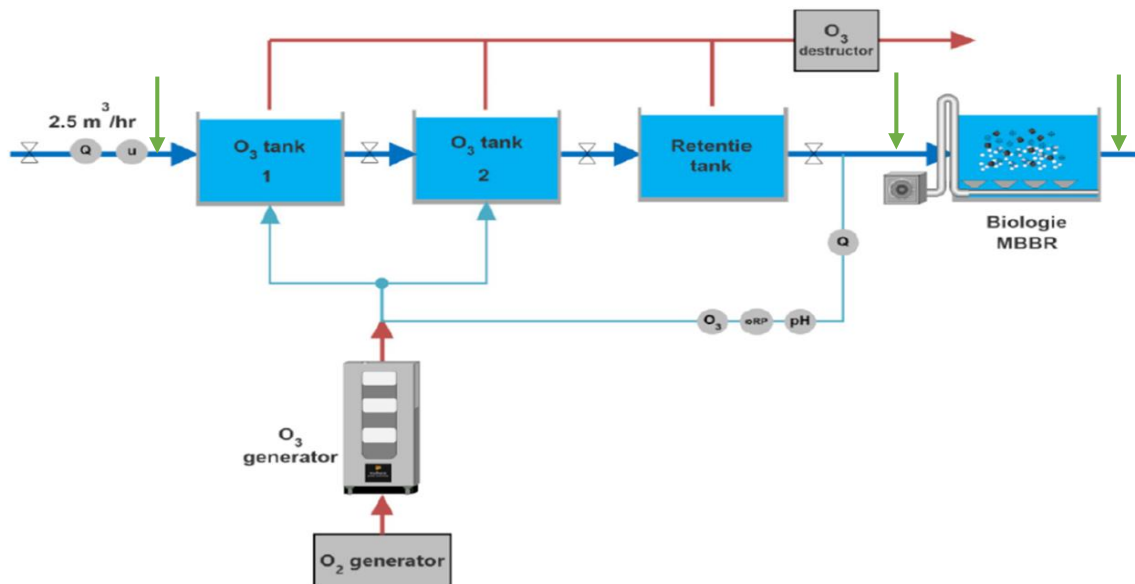
FIGUUR 3.2 OPSTELLING VAN BEIDE PILOT INSTALLATIES NAAST DE EFFLUENTGOOT, MET RECHTS DE O₃ + BIO PILOT EN LINKS DE UV + H₂O₂ PILOT

3.2 PILOT OZON + BIO

De leverancier van de O₃ pilotinstallatie is Nijhuis Water Technology.

In figuur 3.3 is de pilot installatie schematisch weergegeven. Zie bijlage 5 voor de P&ID.

De capaciteit van de pilot installatie bedraagt 1 tot 2,5 m³/h, gedurende de test is er met een debiet van 2 m³/h gewerkt.

FIGUUR 3.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE O₃ + BIO PILOT INSTALLATIE (FIRMA NIJHUIS WATER TECHNOLOGY), INCLUSIEF MONSTERPUNTEN (GROENE PIJLTJES)

De pilot installatie bestaat uit twee ozon-reactoren, een ozon-generator en een retentietank. De O₃-reactie vindt in principe plaats in de O₃-reactoren, de retentietank is bedoeld om extra verblijftijd te creëren om zeker te stellen dat de ozon voldoende tijd heeft om te reageren. De tanks hebben allen een volume van 1,2 m³. Bij een debiet van 2 m³/h bedraagt de verblijftijd in iedere tank 36 minuten, en in totaal is de verblijftijd in de 3 tanks 108 minuten.

Het effluent van de rwzi wordt vanuit de effluentgoot verpompt naar de installatie. Het debiet wordt ingesteld door middel van het inregelen van een handafsluiter en wordt continue gemeten. Ook de fractie opgelost organische koolstof (DOC) van het effluent wordt continue gemeten om ozon met een vaste O₃/DOC verhouding te kunnen doseren (=specifieke ozondosering).

O₃ wordt geproduceerd met een O₃-generator die werkt op het principe van corona discharge in zuurstof gas. Hiermee wordt een relatief hoge O₃ concentratie verkregen van 13 tot 20% O₃ in O₂. De gebruikte zuurstof wordt uit de lucht onttrokken door met een membraan N₂ en O₂ te scheiden (O₂ generator in figuur 3.3).

De O₃ wordt middels een ventury gedoseerd in de circulatiestroom. De hoeveelheid O₃ wordt op het setpoint voor de gewenste specifieke O₃ dosering (g O₃/ g DOC) geregeld op basis van de gemeten DOC-concentratie en het debiet van de toevoerstream. Regeling vindt plaats door het O₃ gehalte in de gasstream te variëren door het vermogen van de generator aan te passen. De specifieke O₃ dosering kan grofweg ingesteld worden in de range van 0,5 tot 1,5 g O₃/ g DOC, hetgeen mede afhankelijk is van het debiet en de DOC-concentratie in het afvalwater. De circulatiestroom wordt teruggevoerd naar beide O₃ reactoren en verzorgt de menging in de tanks.

Het afgas van de O₃-reactoren en de retentietank wordt via een O₃ destructor afgevoerd naar de buitenlucht. In de O₃ destructor wordt O₃ katalytisch omgezet naar O₂.

Het behandelde water komt na de retentietank terecht in de biologische nabehandelingstank. Deze is uitgevoerd als Moving Bed Bio Reactor (MBBR) waarin zich biomassa op dragermateriaal bevindt. De MBBR wordt geënt met actief slib van rwzi Aarle-Rixtel. In de MBBR kunnen afbraakproducten, zoals gemakkelijk afbreekbaar BZV en mogelijk gevormde (schadelijke) metaboliëten, worden afgebroken. De MBBR heeft een volume van 0,75 m³, en daarmee bedraagt de verblijftijd 23 minuten.

Na behandeling in de MBBR wordt het effluent stroomafwaarts geloosd op de effluentgoot van de rwzi.

De pilot installatie is opgesteld in een afgesloten container om de veiligheid te waarborgen. De container is voorzien van O₃-detectie. Wanneer de detector O₃ meet, dan wordt de installatie uitgeschakeld, gaat een alarmlicht branden en treedt een waarschuwingssignaal in werking.

FIGUUR 3.4 FOTO'S VAN DE O₃-PILOT. OP DE FOTO LINKSBOVEN IS DE OZON GENERATOR TE ZIEN. OP DE FOTO RECHTSBOVEN ZIJN OP DE ACHTERGROND DE OZON REACTOREN TE ZIEN. LINKSONDER DE CONTAINER WAARIN DE PILOT INSTALLATIE IS OPGESTELD, EN OP DE FOTO RECHTSONDER IS HET DRAGERMATERIAAL TE ZIEN WAAROP DE BIOMASSA IN DE MBBR GAAT GROEIEN

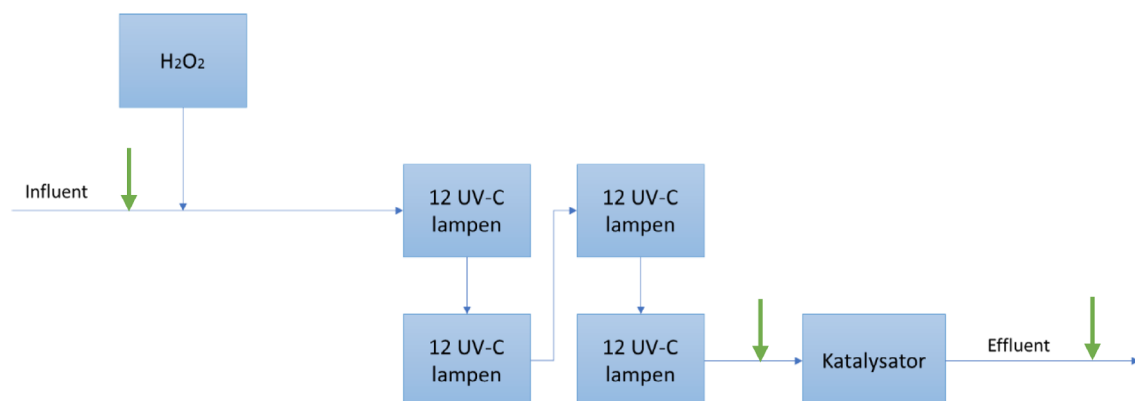


3.3 PILOT UV + H₂O₂

De leverancier van de UV + H₂O₂ pilotinstallatie is Van Remmen UV Techniek, die voor de bouw van de pilot installatie samenwerkt met Jotem Waterbehandeling.

In figuur 3.5 is de pilot installatie voor UV in combinatie met H₂O₂ schematisch weergegeven. Zie bijlage 6 voor de P&ID. De capaciteit van de pilot installatie bedraagt 15 tot 100 m³/h. Dit is mede afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater en het gewenste verwijderingsrendement. Gedurende de test wordt met verschillende debieten gewerkt. De UV-dosis kan geregeld worden door het debiet door de reactor te variëren.

FIGUUR 3.5 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE UV + H₂O₂ PILOT INSTALLATIE (FIRMA VAN REMMEN UV TECHNIEK), INCLUSIEF MONSTERPUNTEN (GROENE PIJLTJES)



De belangrijkste componenten van de pilot installatie zijn het H₂O₂ doseersysteem, de UV-reactoren en het katalysatorbed⁴.

Het effluent van de rwzi wordt vanuit de effluentgoot naar de pilot installatie verpompt. Het debiet wordt continue gemeten en wordt geregeld met een toerengeregelde pomp. De UV-transmissie van de toevoerstream wordt continue gemeten, hier wordt echter niet op geregeld. Wanneer de samenstelling van het water verandert, zal de UV-transmissie veranderen en daardoor zal ook het verwijderingsrendement variëren.

In de pilot installatie wordt H₂O₂ in overmaat aan het afvalwater gedoseerd. Bij hogere H₂O₂-dosering zullen meer hydroxylradicalen gevormd worden, hoewel de vorming van hydroxylradicalen met name wordt bepaald door de UV-dosis. De gewenste H₂O₂-dosering is afhankelijk van de samenstelling van het water, bij drinkwaterbereiding wordt gewerkt in de range 5-15 ppm, terwijl bij de glastuinbouw gewerkt wordt met doseerconcentraties tot 50 ppm. De H₂O₂ dosering vindt plaats door handmatige instelling van een doseerpomp, welke H₂O₂ (35%) aanzuigt vanuit een opslagtank. Nadat H₂O₂ is gedoseerd aan het effluent, wordt de H₂O₂ concentratie regelmatig gecontroleerd met een natchemische analysekit (Prominent Dulcotest DT4B).

Vervolgens wordt het water naar de UV reactoren geleid. Het water passeert vier reactoren die in serie staan. Elke reactor bevat 12 lage druk UV-C lampen, met een vermogen van 600 W per lamp. In deze reactoren worden de hydroxylradicalen gevormd, die vervolgens de medicijnen oxideren. Iedere reactor heeft een volume van 0,35 m³. Bij een debiet van 100 m³/h bedraagt de verblijftijd in iedere reactor 13 seconden, zodat de verblijftijd in de 4 reactoren op 50 seconden uitkomt. Bij een lager debiet wordt de verblijftijd langer, zo is de verblijftijd bij 15 m³/h 84 seconden per reactor en in de 4 reactoren gezamenlijk wordt de verblijftijd dan 336 seconden (bijna 6 minuten).

In de reactoren wordt slechts een beperkt deel van de H₂O₂ omgezet (20%), zodat na de reactoren nog relatief veel H₂O₂ aanwezig is in het behandelde water. Om het resterende H₂O₂ af te breken, wordt het water door een katalysatorbed gevoerd, waarin H₂O₂ katalytisch wordt omgezet in H₂O en O₂. Na het katalysatorbed wordt het water stroomafwaarts geloosd op de effluentgoot van de rwzi.

Het verwijderingsrendement is afhankelijk van de UV-dosis, welke afhankelijk is van de gemiddelde intensiteit van de straling en de gemiddelde bestralingstijd volgens onderstaande formule:

$$D = I * \tau$$

D = UV dosis [J/m²]

I = intensiteit [W/m²]

τ = bestralingstijd [s]

De enige variabele die aangepast kan worden om de UV-dosis in de pilotinstallatie te variëren en daarmee het verwijderingsrendement te beïnvloeden, is de bestralingstijd. Deze wordt bepaald door het debiet en daarmee dus de verblijftijd in de reactoren. Echter in de praktijk beïnvloedt het debiet ook de manier waarop water door de reactor stroomt, en hiermee samenhangend de spreiding en hoogte van verblijftijd en intensiteit, hierdoor is deze lineaire relatie alleen geldig binnen nauwe marges. Meer informatie hierover staat in bijlage 2.

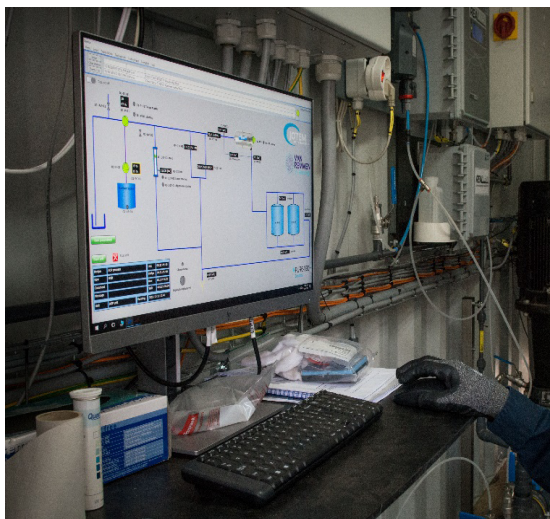
4 Samenstelling katalysatorbed is confidencieel (specifieke kennis firma van Remmen)

De intensiteit van de straling is afhankelijk van het vermogen van de UV-lampen en van de UV-transmissie van het water. Het vermogen van de UV-lampen ligt vast. De transmissie van het afvalwater zal variëren afhankelijk van de samenstelling en zoals eerder vermeld wordt er tijdens de vergelijkende test niet geregeld op UV-transmissie. Daardoor zal de UV-dosis variëren: bij hoge UV-transmissie is de UV-dosis hoger en zal een hoger rendement behaald worden, en bij lage transmissie zal een lager rendement behaald worden. Een extra factor die meespeelt is dat bij een lage transmissie vaak meer organisch materiaal aanwezig is, dat in de oxidatie reactie competitie aangaat met de doelstoffen (organische microverontreinigingen). Vervuiling van de UV-lampen wordt periodiek (eenmaal per 2-4 weken) verwijderd middels een (citroen)zuurspoeling.

FIGUUR 3.6 DE OPSTELLING VAN DE UV + H₂O₂ PILOT



FIGUUR 3.7 FOTOS VAN DE UV-PILOT. OP DE FOTO LINKSBOVEN ZIJN DE 4 UV-REACTOREN TE ZIEN MET IEDER 12 UV-LAMPEN. OP DE FOTO RECHTSBOVEN IS AAN DE RECHTERZIJDE DE BLAUWE TANK TE ZIEN WAARIN HET KATALYSATORBED ZICH BEVINDT, EN IN HET MIDDEN DE ACHTERZIJDE VAN DE UV-REACTOREN. OP DE FOTO LINKSONDER EEN UV-LAMP EN OP DE FOTO RECHTSONDER IS HET BEDIENINGSPANEEL TE ZIEN



3.4 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het pilot onderzoek is geïnitieerd en opgezet door WSAM, maar gedurende het voorbereidingstraject (inregelperiode) bleek het onderzoek goed te passen in het landelijke programma medicijnrestenverwijdering. Door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is extra budget beschikbaar gesteld, en zijn een aantal extra onderzoeksaspecten meegenomen in het vergelijkende onderzoek. Deze extra onderzoeksaspecten betreffen vooral monsternamen (verzamelmonsters, extra monster van rwzi influent inclusief correctie voor rwzi-verblijftijd), analyses (gidsstoffen), ecotoxicologische risico's van het te lozen rwzi effluent en interpretatie van de resultaten (Volkert Bakker methode).

In onderstaande paragrafen wat meer detail over de opzet van het WSAM onderzoek, inclusief de aanvullingen en extra onderzoeksaspecten van IenW.

3.4.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT

WATERSCHAP AA EN MAAS DOEL: 80% VERWIJDERING VAN MEDICIJNRESTEN T.O.V. EFFLUENT

Zoals in de inleiding is beschreven, heeft Waterschap Aa en Maas als doel van de pilot gedefinieerd om minimaal 80% verwijderingsrendement te behalen t.o.v. het effluent van de rwzi. Hierbij wordt gekeken naar het gemiddelde verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen uit het Aquon geneesmiddelenpakket (zie paragraaf 3.4.4.) over de gehele onderzoeksperiode van de vergelijkende test (berekenningsmethodiek: zie paragraaf 3.4.5.).

Het doel van 80% verwijderingsrendement t.o.v. effluent is hoog ingezet, en is gebaseerd op:

- Streven naar hogere rendementen dan de resultaten van het PACAS onderzoek (7) op rwzi Papendrecht (verwijderingsrendement 80% t.o.v. influent). In dit onderzoek verbeterde de SIMONI score, maar de resulterende score bleef duidelijk boven 1. Een SIMONI score boven 1 in oppervlaktewater wordt uitgelegd als een indicatie voor een verhoogd ecologisch risico.
- Aanname dat een maximaal presterende enkelvoudige zuiveringstechniek een rendement van iets boven 80% kan halen; in dit doel zit dus ook ambitie om de techniek zeer goed te laten zuiveren.
- Het feit dat er nog geen normen zijn, dus is het zinvol te verkennen welk verwijderingsrendement haalbaar is.

IENW 70% VERWIJDERING VAN MEDICIJNRESTEN T.O.V. INFLUENT

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft als voorwaarde voor een financieringsbijdrage een verwijderingsrendement van tenminste 70% benoemd t.o.v. het influent van de rwzi, bij ieder individueel monster. Dit percentage is zo gekozen dat dit haalbaar is met technieken of een combinatie van technieken om gericht op organische micro's vergaand te zuiveren, maar net niet haalbaar met technieken die gericht zijn op bijvoorbeeld vergaande nutriënten verwijdering (zoals een lager belaste rwzi, met een vierde trap zandfilter). Hierbij wordt gekeken naar het gemiddelde verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen (zie paragraaf 3.4.4. en voor berekeningsmethodiek 3.4.5.).

Bij de aanname dat er circa 40% verwijdering van medicijnresten in de rwzi plaatsvindt, betekent dit dat de nageschakelde techniek nog ongeveer 50% t.o.v. het effluent moet verwijderen indien het volledige effluentdebiet wordt behandeld. Hieruit volgt dat het doel van WSAM een stuk hoger ligt dan de "resultaatverplichting" van IenW.

3.4.2 TESTPERIODEN

Het pilotonderzoek is onderverdeeld in verschillende perioden.

INREGELPERIODE

In het eerste deel van onderzoekfase 1 is de leveranciers de mogelijkheid geboden om de optimale instellingen te bepalen, waarmee een verwijderingsrendement van 80% behaald wordt. De eerste weken (augustus 2018) zijn bedoeld als opstartperiode om de pilotinstallaties in bedrijf te nemen, de kinderziektes te verhelpen en de installaties in te regelen. Daarna volgt de echte inregelperiode (september t/m november 2018), waarin verschillende instellingen van de pilot getest kunnen worden en de optimale instelling bepaald wordt. In deze periode worden gedurende 8 weken 2 steekmonsters per week genomen rondom de pilot installaties. Deze steekmonsters worden geanalyseerd op een “beperkt analysepakket” (zie paragraaf 3.4.4.).

Na de inregelperiode volgt een periode waarin alle analyseresultaten verzameld en geïnterpreteerd worden om tot optimale instellingen te komen. Op basis van deze resultaten komt de leverancier van de pilot installatie tot een advies voor de optimale instellingen om minimaal 80% verwijderingsrendement van medicijnresten t.o.v. het effluent te behalen.

VERGELIJKENDE TEST

In de periode van november 2018 tot en met januari 2019 heeft de vergelijkende test plaatsgevonden. Gedurende de vergelijkende test draaiden de pilot installaties op de vaste optimale instelling zoals door de leveranciers geadviseerd op basis van de resultaten van de inregelperiode.

De onderzoeksperiode van de vergelijkende test was gepland voor 4 weken, maar heeft langer geduurd doordat enkele bemonsteringsdagen vervallen zijn en later ingehaald zijn. Gedurende de vergelijkende test worden twee tijdsproportionele verzamelmonsters per week genomen rondom de pilot installaties en het influent van de rwzi. Deze zijn geanalyseerd op een “uitgebreid analysepakket” (zie paragraaf 3.4.4.).

TABEL 3.1 MONSTERSCHEMA GEDURENDE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST

Fase	Duur	Aantal monsters	Type monster	Analysepakket
Inregelfase	8 weken	2x per week	Steekmonsters	Beperkt
Vergelijkende test	4 weken	2x per week	24 uur- verzamelmonsters (tijdsproportioneel)	Uitgebreid

VERVOLGONDERZOEK

De aandachtspunten en optimalisatiemogelijkheden die uit de vergelijkende test zijn voortgekomen voor beide technologieën, zijn in de periode van januari tot en met juni 2019 verder onderzocht. Details van dit onderzoek zijn beschreven in hoofdstuk 5.

3.4.3 MONSTERNAMEPUNTEN EN MONSTERNAME

Monstername vindt plaats door het gecertificeerde lab Aquon.

De verschillende monsterpunten rondom de pilot installaties zijn schematisch weergegeven in figuur 3.1 in paragraaf 3.1.

STEEMONSTERS:

Gedurende de inregelperiode zijn steekmonsters genomen door Aquon.

Ook de vaststelling van de identieke samenstelling van het toevoerwater naar beide pilot installaties en het effluent van de rwzi, heeft plaatsgevonden op basis van steekmonsters.

De monsters die hiervoor zijn gebruikt zijn niet door Aquon genomen, maar door getraind rwzi-personeel.

VERZAMELMONSTERS

Gedurende de vergelijkende test is gebruik gemaakt van tijdsproportionele verzamelmonsters rondom de pilot installaties. Een uitzondering is het monsterpunt tussen de UV-reactoren en het katalysatorbed, welke niet is uitgevoerd met een monsterkast en waarvan steekmonsters zijn genomen.

Tijdens de vergelijkende test is ook het influent van de rwzi bemonsterd, met de bestaande monsterkast van de rwzi. Dit is een debietsproportioneel verzamelmonster. Om rekening te houden met de verblijftijd in de rwzi, zijn de rwzi-influentmonsters steeds 24 uur eerder genomen. Overigens klopt deze “verblijftijdscorrectie” niet helemaal: op een droge dag is de verblijftijd in de rwzi ongeveer 2 dagen, terwijl de verblijftijd op een regendag minder dan een halve dag kan zijn. (Zie ook paragraaf 3.1 en de gegevens van de rwzi in bijlage 4).

De verzamelmonsters worden gekoeld bewaard.

Identiek aan de bemonstering van de rwzi begint een bemonsteringsdag om 09:00 op de voorgaande dag en eindigt op de bemonsteringsdag om 09:00. (Als voorbeeld: Indien een bemonsteringsdag op donderdag valt, dan wordt op woensdag 09:00 de monsterkast gestart en deze wordt op donderdag 09:00 gestopt. Monsternamen vanuit het monstervat vindt op donderdag plaats.)

MONSTERNAME BIJ DWA EN RWA

Op regendagen treedt verdunning op van het influent en het effluent van de rwzi, en zullen meer medicijnconcentraties onder of rondom de rapportagegrens liggen. Voor een goede beoordeling van zowel de analyseresultaten als de prestaties van de pilot installaties tijdens de vergelijkende test, worden bij de beoordeling alleen monsters meegenomen van bemonsteringsdagen waarop het influentdebiet lager is dan 2x DWA (<100.000 m³/dag). Bij hogere debieten vervalt de monsternamen, en wordt deze op een later tijdstip ingehaald. Enkele keren is monsternamen bij hogere influentdebieten (>100.000 m³/dag) toch uitgevoerd. Deze zijn dan geanalyseerd op een beperkt analysepakket (zie paragraaf 3.4.4.) om een idee te verkrijgen wat de invloed is van veel regenwater op concentraties en rendementen. Deze RWA-bemonsteringsdagen worden niet meegenomen in de uiteindelijke berekening van het verwijderingsrendement van de technieken gedurende de vergelijkende test.

3.4.4 MONITORINGSPARAMETERS / ANALYSEPAKKETTEN

Om de prestaties van de pilot installaties (en de rwzi) goed te kunnen beoordelen, worden de monsters op een uitgebreid analysepakket geanalyseerd. Tijdens de inregelperiode worden circa 50 parameters geanalyseerd, en tijdens de vergelijkende test is het analysepakket verder uitgebreid tot ruim 400 parameters.

Een overzicht van de doelstoffen en analysepakketten is weergegeven in tabel 3.2. Meer detail over de analysemethoden is te vinden in bijlage 7.

TABEL 3.2 MONITORINGSPARAMETERS GEDURENDE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST

Doelstoffen	Analyses
Waterkwaliteitstesten	Macroparameters (o.a. CZV, BZV, OB, TOC, Nkj, NH ₄ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N, Ptot, PO ₄ -P). Transmissie 254 nm. <i>Overigens: niet bicarbonaat</i>
Medicijnen	Aquon pakket geneesmiddelen (28 medicijnen). <i>In monsters vanaf februari 2019 is dit pakket uitgebreid tot 35 stoffen</i>
Specifiek bij Ozon techniek	Bromide, Broomaat
Specifiek bij effluent UV/katalysator	waterstofperoxide
Alleen bij <u>vergelijkende test</u> :	Ecotoxiciteit (Simoni) Gidsstoffen (min. IenW) die niet in pakket geneesmiddelen AQUON zitten Hormonen Industriële producten Gewasbeschermingsmiddelen Personal care products Pathogenen etc

Details van het Aquon pakket hormoon en geneesmiddelen, de 16 geselecteerde medicijnen en de 11 gidsstoffen van het ministerie van IenW, zijn weergegeven in onderstaande tabel 3.3.

TABEL 3.3 OVERZICHT AQUON PAKKET "HORMOON EN GENEESMIDDELEN", AANGEVULD MET DE RESTERENDE 3 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN VAN HET MINISTERIE VAN IENW.

Nr.	Naam	Aquon pakket (28)	Geselecteerde medicijn (16)	Gids-stoffen I&W (11)
1	Amidotrizoïnezuur	1		
2	Bezafibraat	1		
3	Carbamazepine	1	1	1
4	Ciprofloxacine	1		
5	Clarithromycine	1	1	1
6	Clindamycine	1	1	
7	Clozapine	1	1	
8	Diaminomethylideenureum	1		
9	Diclofenac	1	1	1
10	Dimetridazol	1		
11	Dipyridamol	1		
12	Fenazon (antipyrene)	1		
13	Gabapentine	1	1	
14	Hydrochlorothiazide	1	1	1
15	Ibuprofen	1		
16	Irbesartan	1	1	
17	Jopamidol	1		
18	Ketoprofen	1		
19	Lidocaïne	1	1	
20	Metformine	1	1	
21	Metoprolol	1	1	1
22	Oxazepam	1	1	
23	Pipamperon	1		
24	Pentoxifylline	1		
25	Sotalol	1	1	1
26	Sulfamethoxazol	1	1	1
27	Trimethoprim	1	1	1
28	Valsartan	1	1	
29	1,2,3-Benzotriazool			1
30	Methyl-1H-Benzotriazool			1
31	Propranolol			1

3.4.5 VERWERKING MEETGEGEVENS, OMGANG RAPPORTAGEGREN

BEREKENING VERWIJDERINGSRENDEMENT

Voor het berekenen van het verwijderingsrendement per component is de volgende formule gebruikt:

$$\frac{C_{toevoer} - C_{afvoer}}{C_{toevoer}} * 100\%$$

WSAM: gemiddeld verwijderingsrendement over gehele periode.

Voor iedere bemonsteringsdag is het verwijderingsrendement over de nageschakelde techniek per medicijn of gidsstof berekend met bovenstaande formule. Vervolgens is het gemiddelde verwijderingsrendement per dag genomen van de 16 medicijnen of gidsstoffen. Om het uiteindelijke verwijderingsrendement over de periode van de vergelijkende test te bepalen is het gemiddelde genomen van alle bemonsteringsdagen.

Voor de 16 geselecteerde medicijnen zou het aldus berekende gemiddelde verwijderingsrendement over de gehele periode minimaal 80% moeten zijn om het vooraf gedefinieerde doel van WSAM te behalen.

Op vergelijkbare manier kan ook het gemiddelde verwijderingsrendement over de rwzi of over de rwzi plus nageschakelde technologie berekend worden.

Ministerie IenW: gemiddelde verwijderingsrendement per dag.

Om de prestaties van de pilot te kunnen vergelijken met de streefwaarde/ richtwaarde van het Ministerie van IenW, wordt gekeken naar het gemiddelde verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen per bemonsteringsdag. Voor iedere bemonsteringsdag is het verwijderingsrendement over de rwzi plus nageschakelde techniek per afzonderlijke gidsstof berekend met bovenstaande formule. Vervolgens is het gemiddelde verwijderingsrendement per dag berekend door het gemiddelde te bepalen van de 7 hoogste rendementen.

Op vergelijkbare manier kan ook het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 of 11 gidsstoffen over de rwzi of over de nageschakelde technologie berekend worden.

VERWERKING VAN MEETWAARDEN ONDER DE RAPPORTAGEGREN

Iedere meetmethode voor een medicijn of component heeft een rapportagegrens. Indien de concentratie onder de rapportagegrens ligt, kan op verschillende manieren met de resultaten worden omgegaan.

HULST-COLINA-KRAS METHODE (HCK)

Bij resultaten onder de rapportagegrens wordt gerekend met 50% van de rapportagegrens. Bovendien telt het berekende rendement alleen mee als het groter is dan 80%. Deze tweede regel is om te voorkomen dat het gemiddelde verwijderingsrendement op een bemonsteringsdag nadelig wordt beïnvloed door componenten die in de toevoer net boven de rapportagegrens liggen en na behandeling onder de rapportagegrens liggen. Pas als de concentratie in de toevoer 2,5 x hoger ligt dan de rapportagegrens, kan theoretisch 80% rendement behaald worden indien wordt gerekend met 50% van de rapportagegrens.

VOLKERT BAKKER METHODE (8)

Bij resultaten onder de rapportagegrens, wordt gerekend met een rekenwaarde die afhankelijk is van het aantal meetwaarden boven en onder de rapportagegrens. Indien in een meetreeks 40% van de resultaten onder de rapportagegrens liggen, dan wordt de rekenwaarde 100 - 40 = 60% van de rapportagegrens. Het nadeel van deze methode is dat bij een lopend onderzoek

de rekenwaarde geen vaste waarde is, maar dat deze varieert doordat de meetreeks steeds groter wordt, en het percentage resultaten boven en onder de rapportagegrens bij elk nieuw resultaat verandert. Een ander nadeel is dat het ministerie van IenW een bepaald zuiveringsrendement eist bij iedere meting, maar dat berekende rekenwaarden ook door metingen op andere momenten worden bepaald.

Om beide methodieken te vergelijken is een deel van de resultaten bewerkt volgens beide methoden, waaruit blijkt dat het verschil tussen beide methoden klein is (zie bijlage 8). De resultaten in dit rapport zijn volgens de HCK methode berekend.

4

RESULTATEN

De gemiddelde concentraties van afzonderlijke medicijnen in het influent en effluent van rwzi Aarle-Rixtel is weergegeven in bijlage 9, en komen goed overeen met eerdere metingen en het landelijk beeld. Bovendien zijn de gemiddelde concentraties die zijn gemeten in steekmonsters en in verzamelmonsters onderling vergeleken in bijlage 10, en hieruit blijkt dat de gemiddelde concentraties goed overeenkomen.

4.1 UPTIME EN ROBUUSTHEID PILOT INSTALLATIES

Beide pilot installaties hebben gedurende de vergelijkende test goed gedraaid. De streefwaarde voor minimaal 85% uptime is voor beide installaties behaald.

UV + H₂O₂

Gedurende de vergelijkende test zijn geen storingen opgetreden.

De UV + H₂O₂ pilot installatie had tijdens de inregelperiode wel regelmatig last van storingen waardoor bemonsteringsdagen niet door konden gaan en later zijn ingehaald. De oorzaak van deze storingen is vooral doordat deze pilot nieuw gebouwd is voor de test, en dat er nog wat kinderziektes inzaten. De storingen hadden niet direct te maken met het UV + H₂O₂ proces, maar met de randapparatuur eromheen, zoals een falende klep, een defecte printplaat van een instrument, aanzuigproblemen van de watertoevoer naar de pilot, een regeling die niet werkte t.g.v. een programmeerfout e.d.

De in-line H₂O₂-analyser werkt niet goed op het effluent van rwzi Aarle-Rixtel, hetgeen ondanks onderzoek door de leverancier, gedurende de gehele test niet opgelost is. Daarom is de H₂O₂ dosering handmatig ingesteld door de leverancier en regelmatig gecontroleerd. Aangezien H₂O₂ in een groot overmaat gedoseerd wordt, is dit geen probleem (zie beschrijving pilotinstallatie).

O₃ + BIO

De O₃ pilot installatie is een bestaande pilot installatie, waar wat kleine modificaties zijn aangebracht ten behoeve van de test op rwzi Aarle-Rixtel. De installatie heeft vrijwel probleemloos gedraaid, gedurende de gehele testperiode.

Tijdens de vergelijkende test is eenmalig een storing opgetreden. Door een verstopping in de gasafslaten van de reactietanks varieerde de druk in het systeem sterk en werd de ozon onregelmatig in de tanks gedoseerd. Hierdoor ontstonden grote bellen en werd de ozon overdracht slechter. Ten gevolge van deze storing geeft de bemonsteringsdag van 18 december geen representatief beeld.

Een tweede bemonsteringsdag die geen representatief beeld geeft tijdens de vergelijkende test is 13 december. De oorzaak is geen storing maar een planningsfout waardoor het wekelijkse klein onderhoud plaatsgevonden heeft op deze bemonsteringsdag waardoor de ozondosering gedurende 3 á 4 uur heeft uitgestaan. Bovendien is onderhoud gepleegd aan de inline DOC meter, welke na schoonmaak een herstelperiode heeft om op de werkelijke waarde te komen.

Gedurende circa 12 uur heeft de DOC-analyzer een te lage concentratie aangegeven en is er dus relatief te weinig O₃ gedoseerd.

Tijdens de inregelperiode heeft eenmaal een storing plaatsgevonden. Op 4 oktober 2018 is een defect opgetreden aan de elektrische voedingen aan beide O₃-generatoren waardoor geen ozon is gedoseerd.

4.2 INREGELPERIODE, OPTIMALE INSTELLINGEN

4.2.1 PILOT OZON + BIO

Om de optimale instellingen te bepalen om een minimaal verwijderingsrendement van 80% te behalen, heeft de leverancier in de inregelperiode de specifieke O₃-dosering op verschillende waarden ingesteld en daarbij de rendementen bepaald. De resultaten van de inregelperiode staan in dit rapport beschreven in bijlage 11.

Op basis van deze resultaten heeft de leverancier voor de vergelijkende test een specifieke ozondosering van 1,2 g O₃ / g DOC geadviseerd.

4.2.2 PILOT UV + H₂O₂

Om de optimale instellingen te bepalen om een minimaal verwijderingsrendement van 80% te behalen, heeft de leverancier in de inregelperiode op verschillende instellingen getest qua debiet, H₂O₂-dosering en UV-dosis (mede t.g.v. variërende UV-transmissie van het effluent van de rwzi). Op basis van de resultaten heeft de leverancier geadviseerd om in de vergelijkende test te werken met een debiet van 15 m³/h waarbij 2 van de 4 reactoren (24 lampen) in bedrijf zijn. De geadviseerde H₂O₂-dosering is 30 ppm H₂O₂. De reden waarom is gekozen voor een relatief laag debiet is om eventuele problemen met drukval t.g.v. vervuilde filters van het katalysatorbed e.d. te voorkomen. De prestaties bij de instelling 15 m³/h en 2 reactoren zullen vergelijkbaar zijn met de prestaties bij de instelling 30 m³/h en 4 reactoren. De UV-transmissie van het effluent van rwzi Aarle-Rixtel varieert. Bij een UV-transmissie van het effluent van 60% komen de geadviseerde settings overeen met een UV-dosis van 17.000 J/m² en bij een UV-transmissie van 40% resulteert dit in een UV-dosis van 11.000 J/m².

4.3 VERWIJDERING MEDICIJNRESTEN TIJDENS VERGELIJKENDE TEST

Gedurende de vergelijkende test hebben 10 bemonsteringsdagen plaatsgevonden, waarvan er 2 niet zijn meegerekend bij bepaling van het gemiddelde zuiveringsrendement over alle monsters. Dit i.v.m. een te hoog influentdebiet (4 en 10 december). Bovendien zijn bij de ozon pilot de 2 bemonsteringsdagen waarop te weinig ozon is gedoseerd (13 en 18 december) niet meegenomen bij de berekening van het gemiddelde verwijderingsrendement. Zodoende zijn er bij de UV+H₂O₂ pilot 8 bemonsteringsdagen meegenomen, en bij de O₃+Bio pilot 6 bemonsteringsdagen.

4.3.1 OVERZICHT GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT

De verwijderingsrendementen van medicijnresten zijn allereerst bepaald over de rwzi zelf (dus zonder nageschakelde oxidatieve techniek), waarbij de concentratie in het effluent van de rwzi wordt vergeleken met de concentratie in het influent.

Daarnaast zijn de verwijderingsrendementen van beide nageschakelde technieken bepaald door de concentratie in de afvoer van de pilot installaties te vergelijken met de toevoer van de pilot (is effluent rwzi).

Tenslotte zijn de verwijderingsrendementen bepaald voor de combinatie van de rwzi met

beide nageschakelde technieken, waarbij de afvoer van de nageschakelde technieken wordt vergeleken met het influent van de rwzi.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de 16 geselecteerde medicijnen en voor de 11 gidsstoffen, en bovendien is voor beide oxidatieve technieken het verwijderingsrendement berekend voor de 7 best verwijderde gidsstoffen. Voor deze 7 gidsstoffen is vervolgens het rendement berekend voor de combinatie van de rwzi met oxidatieve techniek. De 7 best verwijderde gidsstoffen zijn voor beide technieken niet altijd dezelfde, dus ook voor combinatie rwzi met nageschakelde techniek wordt naar verschillende gidsstoffen gekeken.

In de volgende hoofdstukken zijn de gemiddelde resultaten per bemonsteringsdag van de vergelijkende test in figuren weergegeven, en de bijbehorende getallen zijn in bijlage 12 terug te vinden. De gemiddelde verwijderingsrendementen van de pilot gedurende de gehele vergelijkende test staan in onderstaande tabel 4.1.

TABEL 4.1

GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN, DE 11 GIDSSTOFFEN EN 7 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE RWZI, IN DE OXIDATIEVE TECHNIEKEN EN IN DE COMBINATIE VAN RWZI + OXIDATIEVE TECHNIEKEN⁵, ZOALS BEPAALD TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

	Gemiddeld verwijderingsrendement (%) t.o.v. influent			Gemiddeld verwijderingsrendement (%) t.o.v. effluent	
	RWZI	RWZI + UV/H ₂ O ₂	RWZI + O ₃ +Bio	UV/H ₂ O ₂	O ₃ +Bio
16 geselecteerde medicijnen	41	68	93	41	86
11 gidsstoffen	46	74	96	51	91
7 van de 11 gidsstoffen UV/H ₂ O ₂	55	84		60	
7 van de 11 gidsstoffen O ₃	53		97		92

Met deze tabel kan snel een beeld verkregen worden over de gemiddelde afbraak van een groep stoffen in de rwzi en/of in beide oxidatieve technieken. Zo blijkt bijvoorbeeld in de rwzi al circa 40-55% afbraak plaats te vinden. Afhankelijk van de oxidatieve techniek en de groep stoffen die beschouwd wordt, wordt het totaal verwijderingsrendement door naschakeling van een oxidatieve techniek verhoogd tot 68 tot 97% t.o.v. het influent. Naschakeling van O₃ levert hogere verwijderingsrendementen dan naschakeling van UV + H₂O₂.

VERWIJDERINGSRENDEMENT INCLUSIEF RWA BYPASS

In bovenstaande beschrijving en in tabel 4.1 zijn de verwijderingsrendementen in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde techniek berekend door de concentratie in het effluent van de nageschakelde techniek te vergelijken met de concentratie het influent van de rwzi. Deze methode is conform de rekenregels van ministerie van I en W om het rendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen te berekenen.

In praktijk zal de nageschakelde techniek niet ontworpen worden om het volledige (RWA) debiet van de rwzi te behandelen, maar zal DWA+ behandeld worden. Die "+" staat dan voor bijvoorbeeld een factor 1,5. Dat betekent dat het grootste deel van het DWA water altijd behandeld wordt, maar bij hogere debieten tijdens RWA zal een deel van het water gebypassed worden en niet nabehandeld worden in de nageschakelde oxidatieve installatie.

Dan wordt op jaarbasis bijvoorbeeld 80% van het afvalwatervolume wel nabehandeld en 20% niet.

Een inschatting van het percentage van de jaarvracht aan medicijnresten (gidsstoffen), die wordt verwijderd in de combinatie van de rwzi met nageschakelde techniek, is gemaakt door

5 Bij de berekening van het verwijderingsrendement van de combinatie van rwzi + oxidatieve techniek is ervan uitgegaan dat het volledige effluentdebiet behandeld wordt middels de oxidatieve techniek.

te corrigeren voor het “bypass-percentage” van de nabehandlingsstap. Zodoende wordt het verwijderingsrendement over de combinatie van de rwzi met de nabehandlingsstap gelijk aan de som van het verwijderingsrendement in de rwzi plus het verwijderingsrendement in de nabehandlingsstap vermenigvuldigd met het behandelingspercentage. Zie ook onderstaande formule:

$$R_{\text{combinatie}} = R_{\text{rwzi}} + R_{\text{nabehandeling}} * \% \text{behandeld}$$

Met $R_{\text{combinatie}}$ = verwijderingsrendement over rwzi + nabehandeling
 R_{rwzi} = verwijderingsrendement in rwzi
 $R_{\text{nabehandeling}}$ = verwijderingsrendement in nabehandelingstap
 $\% \text{behandeld}$ = Percentage van rwzi effluent dat op jaarbasis nabehandeld wordt

Met de Stowa webtool (21) is voor rwzi Aarle-Rixtel op basis van de influentdebieten van 2017 t/m 2019 bepaald dat bij een ontwerpdebiet van de nageschakelde techniek van 3000 m³/h (=1,4 x DWA) 100% van het DWA debiet, 80% van het jaarvolume en 84% van de jaarlijkse medicijnvracht wordt behandeld. De resultaten van de webtool staan in bijlage 23.

Bij 40% verwijdering in de rwzi en met een nabehandelingstechniek die 80% verwijderingsrendement heeft, is met de webtool berekend dat op jaarbasis 81% van de medicijnen verwijderd wordt in de combinatie van de rwzi en de nageschakelde techniek. Met een nageschakelde techniek die 70% of 90% verwijderd, wordt op jaarbasis 76% respectievelijk 86% van de medicijnen verwijderd.

De resultaten van de bemonsteringsdagen van de vergelijkende test zijn gebruikt om het verwijderingsrendement in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde techniek bij verschillende verwerkingspercentages door te rekenen. De uitkomsten hiervan staan in tabel 4.2.

TABEL 4.2 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT OP JAARVRACHTBASIS VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN, 11 GIDSSTOFFEN EN 7 VAN DE 11 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN IN DE COMBINATIE RWZI + NAGESCHAKELDE TECHNIEK BIJ VERSCHILLENDE VERWERKINGSPERCENTAGES VAN DE JAARVRACHT AAN MEDICIJNEN (T.G.V. RWA BYPASS), DOORGEREKEND OP BASIS VAN DE RESULTATEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 1998 T/M 15 JANUARI 2019)

	Verwerking jaarvracht medicijnen				
	100%	84%	50%	30%	0%
O₃ + Bio					
16 geselecteerde medicijnen	93	84	66	55	39
11 gidsstoffen	96	88	70	60	45
7 van de 11 gidsstoffen	97	90	77	69	57
UV + H₂O₂					
16 geselecteerde medicijnen	66	62	52	47	38
11 gidsstoffen	74	69	59	53	44
7 van de 11 gidsstoffen	84	78	69	64	57

Bij een verwerkingspercentage van 100% vindt geen RWA bypass plaats en wordt hetzelfde rendement verwacht als in tabel 4.1 bij RWZI+ nageschakelde technieken. Bij een verwerking van 0% vindt geen nabehandeling plaats en wordt hetzelfde rendement verwacht als in tabel 4.1 in de kolom RWZI. Er zijn wat kleine verschillen tussen tabel 4.1 en bovenstaande tabel 4.2. Dit wordt veroorzaakt doordat bij de berekeningsmethode met RWA bypass enkele componenten niet worden meegenomen bij de HCK methode als de concentratie in het effluent lager is dan 2,5 maal de rapportagegrens, zoals beschreven in hoofdstuk 3.4.5.

Een verwerkingspercentage van 84% van de jaarvracht aan medicijnen (komt overeen met 80% van het jaarvolume aan afvalwater) geeft de resultaten voor 3000 m³/h ontwerpcapaciteit van de nabehandlingsstap. Met beide technieken wordt dan gemiddeld meer dan 70% van de jaarvracht van 7 van de 11 gidsstoffen verwijderd. Bij 50% verwerking wordt bij UV de 70% verwijdering niet meer gehaald, en bij 30% verwerking wordt met O₃ het 70%-verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen niet meer gehaald.

Opvallend is dat in de rwzi zelf al gemiddeld bijna 60% verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen wordt bereikt.

Opmerking:

Er zijn kleine verschillen in het gemiddelde verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen in de rwzi, doordat bij de verschillende berekeningsmethoden de 7 best verwijderde gidsstoffen niet altijd identiek zijn. De verschillende berekeningsmethodieken voor het gemiddelde verwijderingsrendement in de rwzi zijn:

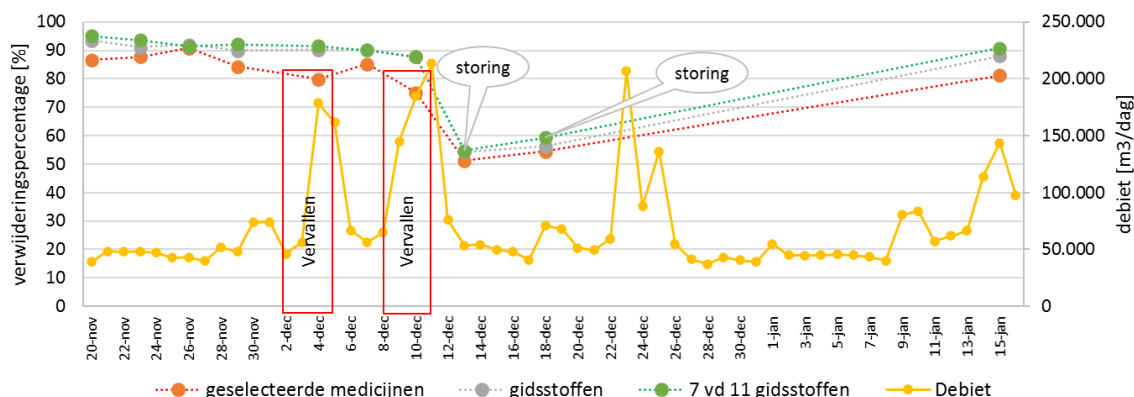
1. op basis van de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 **in de rwzi** (gemiddeld verwijderingsrendement is 60%, bijlage 24)
2. op basis van de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 **in de combinatie van de rwzi en de nageschakelde techniek** (rendement is 57% voor zowel UV als voor O₃, tabel 4.2)
3. op basis van de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 **in de nageschakelde techniek** (rendement is 55% voor UV en 53% voor O₃, tabel 4.1)

4.3.2 OZON + BIOREACTOR

Het verwijderingsrendement van medicijnresten in de nageschakelde techniek O₃ + Bioreactor is tijdens de vergelijkende test berekend door de concentratie in de afvoer van de pilotinstallatie te vergelijken met de toevoer (=rwzi-effluent). Per bemonsteringsdag is het gemiddelde verwijderingsrendement van de 16 geselecteerde medicijnen, de 11 gidsstoffen en de 7 best verwijderde gidsstoffen in de nageschakelde techniek O₃ + Bioreactor weergegeven in figuur 4.1.

Het gemiddelde verwijderingsrendement gedurende de vergelijkende test is weergegeven in tabel 4.1 in paragraaf 4.3.1.

FIGUUR 4.1 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN GIDSSTOFFEN VAN O₃+BIO IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET INFLUENTDEBIET, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). DE SPECIFIEKE OZONDOSERING WAS 1,2 G O₃/G DOC, ECHTER OP 2 DAGEN WAS DE OZONDOSERING LAGER T.G.V. EEN STORING



Uit figuur 4.1 blijkt dat het gemiddelde verwijderingsrendement op de 2 bemonsteringsdagen (13 en 18 december) met een storing aanzienlijk lager ligt dan de overige bemonsteringsdagen.

Bij de berekening van de gemiddelde verwijderingsrendementen zijn de 2 bemonsteringsdagen met aanwijsbare storing buiten beschouwing gelaten. De O₃-pilot installatie heeft op de resterende 6 bemonsteringsdagen gemiddeld 86% van de 16 geselecteerde medicijnen verwijderd. Daarmee wordt het doel van 80% gehaald.

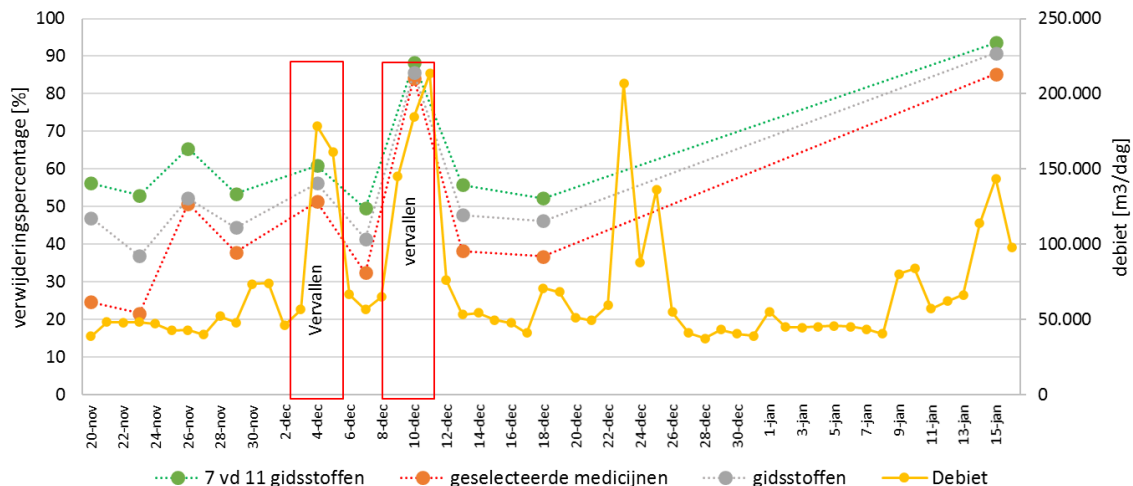
Het verwijderingsrendement van de O₃-pilotinstallatie voor de 11 gidsstoffen komt op 91%, en indien de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 worden beschouwd, dan wordt een verwijderingsrendement van 92% behaald t.o.v. het effluent.

4.3.3 UV + H₂O₂

Het verwijderingsrendement van medicijnresten in de nageschakelde techniek is tijdens de vergelijkende test berekend door de concentratie in de afvoer van de pilotinstallatie te vergelijken met de toevoer (=rwzi-effluent). Per bemonsteringsdag is het gemiddelde verwijderingsrendement van de 16 geselecteerde medicijnen, de 11 gidsstoffen en de 7 best verwijderde gidsstoffen in de nageschakelde techniek UV + H₂O₂ weergegeven in figuur 4.2.

Het gemiddelde verwijderingsrendement gedurende de vergelijkende test is weergegeven in tabel 4.1 in paragraaf 4.3.1.

FIGUUR 4.2 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN GIDSSTOFFEN VAN UV + H₂O₂ IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET INFLUENTDEBIET, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



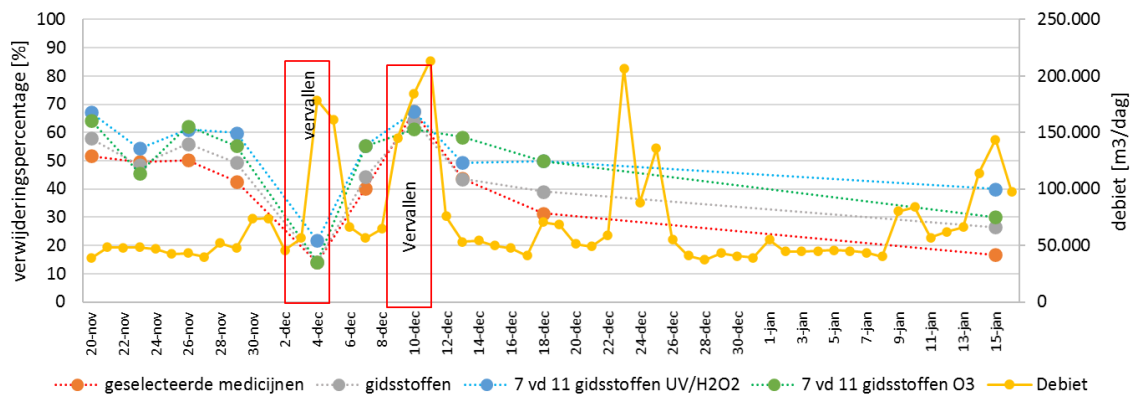
Uit figuur 4.2 blijkt dat het gemiddelde verwijderingsrendement over het algemeen veel lager ligt dan 80%, en slechts op 2 bemonsteringsdagen (10 december en 15 januari) meer dan 80% bedraagt. Op beide dagen is het influent verdund t.g.v. regenval op de bemonsteringsdag zelf en de voorafgaande dagen, waardoor de UV-transmissie hoger is (ca 60-70%) dan op de DWA dagen (circa 40%). Dit resulteert in een hogere UV-dosis. Op de vervallen RWA bemonsteringsdag (4 december) ligt het rendement echter niet veel hoger dan de andere dagen door de korte verblijftijd van regenwater in de rwzi waardoor het effluent nog niet veel verdund is en de UV-transmissie weliswaar verhoogd is (50%), maar niet zo hoog als beide andere dagen. Het effect van verdunning op UV-transmissie is weergegeven in bijlage 13.

In de UV + H₂O₂-pilot installatie is op de 8 goedgekeurde bemonsteringsdagen gemiddeld 41% van de 16 geselecteerde medicijnen verwijderd. Daarmee wordt het doel van 80% niet gehaald. Het verwijderingsrendement in de UV + H₂O₂-pilotinstallatie voor de 11 gidsstoffen bedraagt gemiddeld 51%. Indien de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 worden beschouwd, dan wordt een verwijderingsrendement van 60% behaald t.o.v. het effluent.

4.3.4 RWZI

Het verwijderingsrendement van medicijnresten in de rwzi zelf, dus zonder oxidatieve techniek, is tijdens de vergelijkende test berekend door de concentratie in het effluent van de rwzi te vergelijken met de concentratie in het influent. Per bemonsteringsdag is het gemiddelde verwijderingsrendement van de 16 geselecteerde medicijnen en van de 11 gidsstoffen weergegeven in figuur 4.3. Bovendien is het verwijderingsrendement weergegeven van de 7 best verwijderde gidsstoffen middels de nageschakelde techniek (zie paragrafen 4.3.2. en 4.3.3.). Doordat de 7 best-verwijderde gidsstoffen bij O_3 en bij UV niet identiek zijn, resulteert dit in 2 aparte series resultaten in de grafiek.

FIGUUR 4.3 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN GIDSSTOFFEN IN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET INFLUENTDEBIET, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



Uit figuur 4.3 en tabel 4.1 (in paragraaf 4.3.1) blijkt dat er in de rwzi gemiddeld circa 40 tot 50% medicijnen wordt verwijderd. Indien de 16 geselecteerde medicijnen worden beschouwd, dan wordt gemiddeld 41% verwijderd, van de 11 gidsstoffen wordt gemiddeld 46% verwijderd en indien de beste 7 van de 11 gidsstoffen wordt bekeken dan wordt gemiddeld ruim 50% verwijderd.

Op de “droge” bemonsteringsdagen (DWA=50.000 m³/d) is het verwijderingsrendement in de rwzi vrij stabiel.

Op basis van de 3 bemonsteringsdagen met relatief hoog debiet valt geen relatie op te maken tussen het influent debiet en het verwijderingsrendement van medicijnresten in de rwzi. De 3 bemonsteringsdagen met hoog debiet (2 vervallen RWA dagen op 4 en 10 december, en de goedgekeurde bemonsteringsdag op 15 januari met hoog debiet (97.000 m³/d) en ook hoog debiet op voorgaande dagen), vertonen niet alle 3 hetzelfde beeld. Tweemaal is het rendement relatief laag en eenmaal is het rendement juist iets hoger dan gemiddeld. Het effect van regen-aanvoer op het berekende rendement wordt o.a. beïnvloed door het tijdstip van de regenbui ten opzichte van de bemonsteringsdag, de grootte van de regenbui en de snelheid waarmee het influentdebiet oploopt.

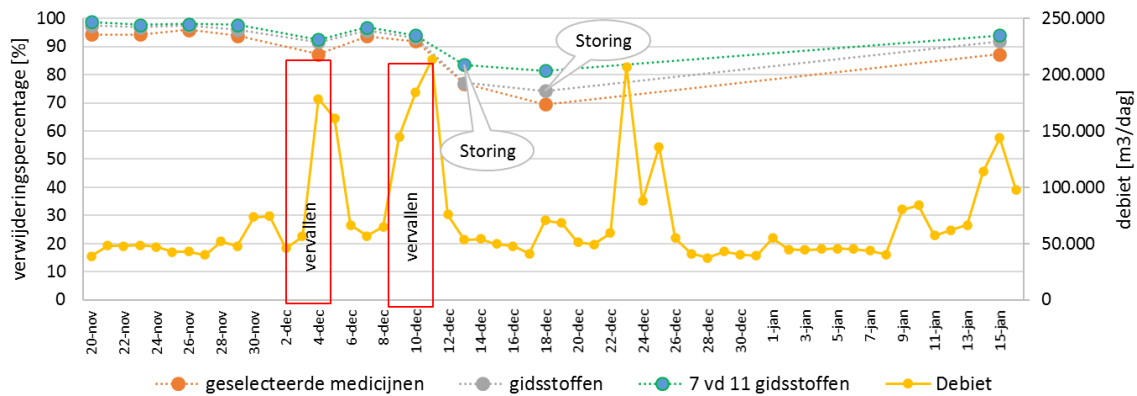
4.3.5 RWZI PLUS OZON + BIOREACTOR

Het verwijderingsrendement van medicijnresten in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde techniek O_3 + Bioreactor, is tijdens de vergelijkende test berekend door de concentratie in de afvoer van de pilotinstallatie te vergelijken met het influent van de rwzi. Per bemonsteringsdag is het gemiddelde verwijderingsrendement van de 16 geselecteerde medicijnen, de 11 gidsstoffen en de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi + nageschakelde techniek O_3 + Bioreactor weergegeven in figuur 4.4.

Het gemiddelde verwijderingsrendement gedurende de vergelijkende test is weergegeven in tabel 4.1 in paragraaf 4.3.1.

FIGUUR 4.4

GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN GIDSSTOFFEN VAN DE COMBINATIE RWZI PLUS O₃+BIO VAN DE RWZI AARLE-RITTEL EN HET INFLUENTDEBIET, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). DE SPECIFIEKE OZONDOSERING WAS 1,2 G O₃/G DOC, ECHTER OP 2 DAGEN WAS DE OZONDOSERING LAGER T.G.V. EEN "TECHNISCHE STORING"



Uit figuur 4.4 blijkt dat het gemiddelde verwijderingsrendement op de 2 bemonsteringsdagen (13 en 18 december) met een "storing" aanzienlijk lager ligt dan de overige bemonsteringsdagen.

Bij de berekening van de gemiddelde verwijderingsrendementen zijn de 2 bemonsteringsdagen met aanwijsbare storing buiten beschouwing gelaten. In de combinatie van de RWZI +O₃-pilot installatie is op de resterende 6 bemonsteringsdagen gemiddeld 93% van de 16 geselecteerde medicijnen verwijderd. Het verwijderingsrendement van de combinatie RWZI + O₃-pilotinstallatie voor de 11 gidsstoffen komt op 96%, en indien de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 worden beschouwd, dan wordt een verwijderingsrendement van 97% behaald. Daarmee wordt de streefwaarde van het ministerie van IenW van 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen ruimschoots behaald t.o.v. het influent bij verwerking van het volledige effluentdebiet.

Bij een ontwerpcapaciteit van de nageschakelde techniek van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een verwijderingsrendement ten opzichte van het influent behaald van 84% van 16 geselecteerde medicijnen, 88% van de 11 gidsstoffen en 90% van 7 van de 11 gidsstoffen.

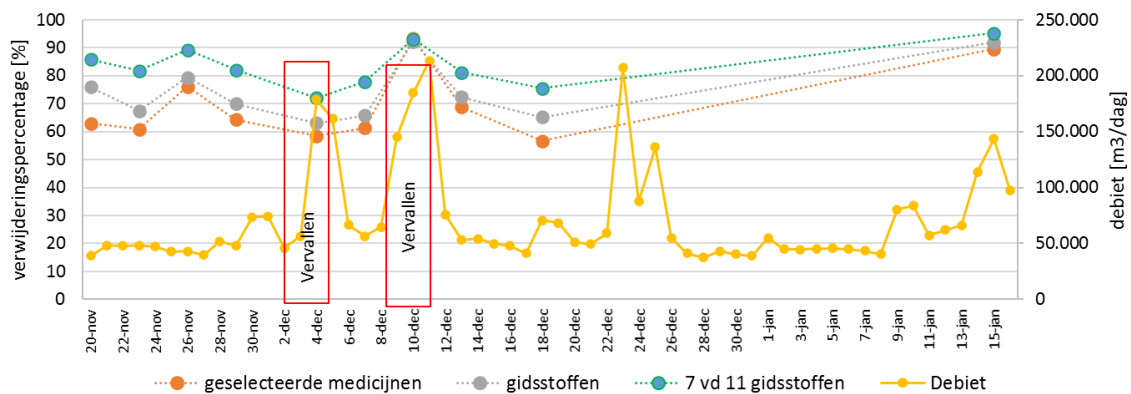
4.3.6 RWZI PLUS UV + H₂O₂

Het verwijderingsrendement van medicijnresten in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde techniek UV + H₂O₂, is tijdens de vergelijkende test berekend door de concentratie in de afvoer van de pilotinstallatie te vergelijken met het influent van de rwzi.

Per bemonsteringsdag is het gemiddelde verwijderingsrendement van de 16 geselecteerde medicijnen, de 11 gidsstoffen en de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi + nageschakelde techniek UV + H₂O₂ weergegeven in figuur 4.5.

Het gemiddelde verwijderingsrendement gedurende de vergelijkende test is weergegeven in tabel 4.1 in paragraaf 4.3.1.

FIGUUR 4.5 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN GIDSSTOFFEN VAN DE COMBINATIE RWZI PLUS UV + H₂O₂ VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET INFLUENTDEBIET, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



Uit figuur 4.5 en tabel 4.1 blijkt dat in de combinatie rwzi + UV + H₂O₂ gemiddeld 68% van de 16 geselecteerde medicijnen is verwijderd.

Het verwijderingsrendement in de combinatie van rwzi en de UV + H₂O₂-pilotinstallatie voor de 11 gidsstoffen bedraagt gemiddeld 74%. Indien de 7 best verwijderde gidsstoffen van de 11 worden beschouwd, dan wordt een verwijderingsrendement van 84% behaald. Daarmee wordt de streefwaarde van het Ministerie van IenW van 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen ruimschoots behaald t.o.v. het influent bij verwerking van het volledige effluent-debiet.

Bij een ontwerpcapaciteit van de nageschakelde techniek van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een verwijderingsrendement ten opzichte van het influent behaald van 62% van 16 geselecteerde medicijnen, 69% van de 11 gidsstoffen en 78% van 7 van de 11 gidsstoffen.

4.4 VERWIJDERING AFZONDERLIJKE COMPONENTEN

4.4.1 OVERZICHT MEDICIJNEN EN GIDSSTOFFEN

De waarden die genoemd zijn in het vorige hoofdstuk 4.3. betreffen steeds gemiddelde verwijderingsrendementen van alle geselecteerde medicijnen of gidsstoffen tezamen.

In de bijlagen 14 en 22 zijn de analyseresultaten voor de afzonderlijke componenten in grafiekvorm weergegeven voor alle meetdagen, inclusief de hieruit berekende verwijderingsrendementen. Dit is gedaan voor zowel de toe- en afvoer van de rwzi als ook voor beide oxidatieve technieken.

De gemiddelde verwijderingsrendementen van alle meetdagen van de afzonderlijke componenten in de RWZI, in de nageschakelde oxidatieve technieken en in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde technieken staan weergegeven in tabel 4.3.

TABEL 4.3 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN IN DE RWZI, IN DE OXIDATIEVE TECHNIEKEN EN IN DE COMBINATIE VAN RWZI + OXIDATIEVE TECHNIEKEN, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). GIDSSTOFFEN ZIJN MET HOOFDLETTERS GESCHREVEN. DE RENDEMENTEN VAN CLINDAMYCINE EN PROPANOLOL ZIJN NIET WEERGEGEVEN OMDAT DE CONCENTRATIES ONDER DE RAPPORTAGEGRENSEN LIGGEN

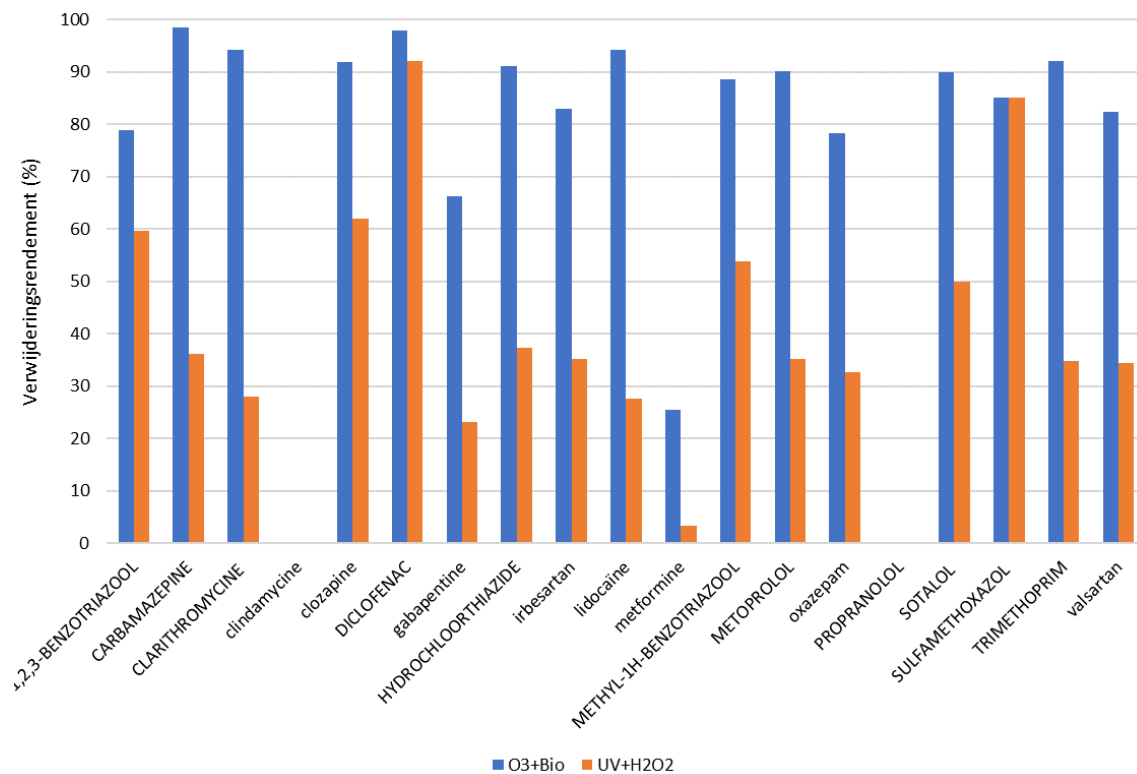
	Gemiddeld verwijderingsrendement (%) t.o.v. influent			Gemiddeld verwijderingsrendement (%) t.o.v. effluent	
	RWZI	RWZI + UV + H ₂ O ₂	RWZI + O ₃	UV + H ₂ O ₂	O ₃
1,2,3-BENZOTRIAZOOL	74	90	94	60	79
CARBAMAZEPINE	44	64	99	36	98
CLARITHROMYCINE	38	60	97	28	94
Clindamycine	-	-	-	-	-
Clozapine	22	72	94	62	92
DICLOFENAC	3	92	98	92	98
Gabapentine	39	57	79	23	66
HYDROCHLOORTHIAZIDE	27	55	93	37	91
Irbesartan	16	46	86	35	83
Lidocaïne	14	43	94	28	94
METHYLBENZOTRIAZOOL	71	88	98	54	88
Metformine	98	98	97	3	25
METOPROLOL	31	59	93	35	90
Oxazepam	20	48	82	33	78
PROPANOLOL	-	-	-	-	-
SOTALOL	55	78	95	50	90
SULFAMETHOXAZOL	91	98	98	85	85
TRIMETHOPRIM	22	52	94	35	92
Valsartan	86	93	98	34	82

Deze tabel 4.3 is een samenvatting van de resultaten die in bijlagen 14 en 22 grafisch zijn weergegeven. Met deze tabel kan snel een beeld verkregen worden over de gemiddelde afbraak van een specifieke component in de rwzi en/of in beide oxidatieve technieken. Zo blijkt bijvoorbeeld dat metformine vrijwel volledig in de rwzi wordt verwijderd en nauwelijks wordt verwijderd met de oxidatieve technieken. Daarentegen wordt diclofenac nauwelijks in de rwzi afgebroken, maar vindt de afbraak voornamelijk plaats in de oxidatieve techniek.

4.4.2 VERGELIJKING OXIDATIEVE TECHNOLOGIEËN

Voor beide oxidatieve technieken is het gemiddelde verwijderingsrendementen van alle meetdagen van de afzonderlijke componenten ook nog eens weergegeven in figuur 4.6.

FIGUUR 4.6 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN MET UV + H₂O₂ EN MET O₃ + BIOREACTOR VANUIT HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RITTEL, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). DE RENDEMENTEN VAN CLINDAMYCINE EN PROPANOLOL ZIJN NIET WEERGEGEVEN OMDAT DE CONCENTRATIES ONDER DE RAPPORTAGEGRENZEN LIGGEN



Uit figuur 4.6 blijkt dat het verwijderingsrendement van O₃ voor alle componenten hoger ligt dan UV + H₂O₂. Dat komt overeen met het beeld dat het gemiddelde verwijderingsrendement van de geselecteerde medicijnen en gidsstoffen bij O₃ veel hoger lag dan bij UV+H₂O₂ met de geteste instellingen in de pilottest.

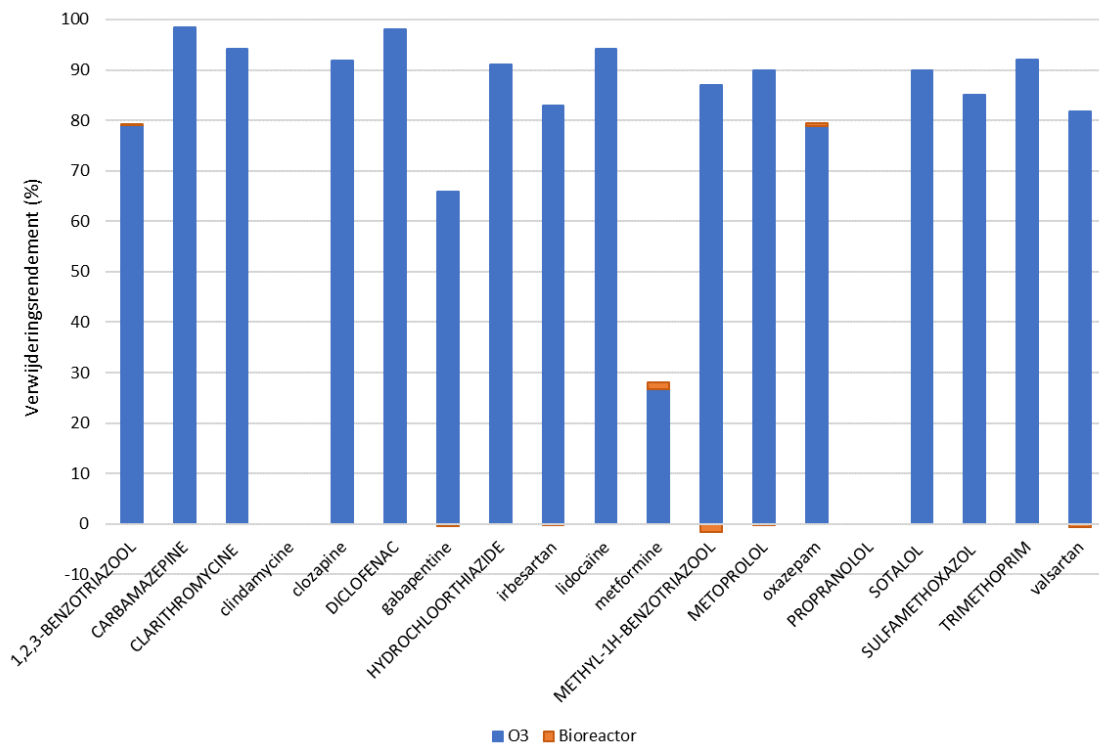
Voor een aantal componenten (diclofenac, sulfamethoxazol) zijn de verwijderingsrendementen voor beide technologieën vergelijkbaar.

Ook blijkt uit de figuur dat het rendement van afzonderlijke componenten onderling sterk kan wisselen. Zo wordt diclofenac zeer goed (>90%) verwijderd door zowel O₃ als UV + H₂O₂. Daarentegen wordt metformine door beide technologieën slechts in beperkte mate verwijderd (0-25%).

4.4.3 VERWIJDERING MET O₃-TECHNOLOGIE: AANDEEL O₃ EN AANDEEL BIOREACTOR

In de O₃-pilot installatie kan verwijdering van medicijnen plaatsvinden door de reactie met ozon, maar ook door biologische omzetting in de bioreactor. Om de bijdrage van de O₃ behandeling en de bioreactor in de O₃-pilot installatie inzichtelijk te maken, zijn de verwijderingsrendementen voor beide zuiveringsstappen uitgezet in figuur 4.7.

FIGUUR 4.7 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDERM PER COMPONENT UITGESPLITST IN BIJDRAGE DOOR O₃-BEHANDELING EN DOOR BIOLOGISCHE NABEHANDELING TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (6 BEMONSTERINGSDAGEN)



In deze figuur betekent een oranje blokje bovenop de blauwe balk een positief aanvullend verwijderingsrendement van de biologische nabehandeling bovenop het rendement van ozon. Een negatief oranje blokje onder de x-as betekent dat de biologische nabehandeling het overall verwijderingsrendement verlaagd. Uit deze figuur blijkt dat de biologische behandeling, zoals die gerealiseerd is in de pilottest (MBBR), geen aantoonbaar effect heeft op het verwijderen van medicijnen.

De MBBR is geënt met actief slib uit de rwzi Aarle-Rixtel, en op het dragermateriaal is aangroei van biomassa geconstateerd. De bioreactor is niet specifiek bedoeld om medicijnen te verwijderen (anders waren deze in de aeratietank van de rwzi al afgebroken), maar is vooral bedoeld om eventueel gevormde (schadelijke) metabolieten en bij ozonbehandeling gevormde BZV om te zetten. Het nut van de bioreactor zou dan uit de biologische effectmetingen (Simoni) moeten blijken. De bioreactor kan ook een rol spelen bij nutriëntenverwijdering, met name door verdere afbraak van (geoxideerde organische) stikstofhoudende verbindingen en nitrificatie.

4.4.4 VERWIJDERING MET UV + H₂O₂-TECHNOLOGIE: AANDEEL UV + H₂O₂ EN AANDEEL KATALYSATOR

In de UV + H₂O₂ pilot wordt het behandelde water na de UV-reactor door een katalysatorbed geleid om de overmaat aan H₂O₂ te verwijderen. Om te bepalen of er ook verwijdering van medicijnresten in het katalysatorbed optreedt, is de toe- en afvoer van het katalysatorbed enkele keren bemonsterd en geanalyseerd op medicijnresten. Hieruit blijkt dat het katalysatorbed geen aantoonbaar effect heeft op het verwijderen van medicijnen. Dit was ook de verwachting.

4.5 RÖNTGENCONTRASTMIDDELEN

Omdat de verwachting was dat röntgencontrastmiddelen beter verwijderd worden door UV + H₂O₂ dan door O₃ + Bio, zijn de verwijderingsrendementen van de geanalyseerde röntgencontrastmiddelen in onderstaande tabel 4.4 weergegeven voor beide technieken. De röntgencontrastmiddelen waarvoor in de tabel geen percentage staat ingevuld zijn wel meegenomen in het analyseprogramma. Echter liggen de concentraties van deze röntgencontrastmiddelen in het effluent van de rwzi onder de rapportagegrens en zijn de rendementen hierdoor niet te bepalen.

TABEL 4.4 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN RÖNTGENCONTRASTMIDDELEN MET UV + H₂O₂ EN MET O₃ + BIOREACTOR T.O.V. EFFLUENT RWZI, GEDURENDE DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

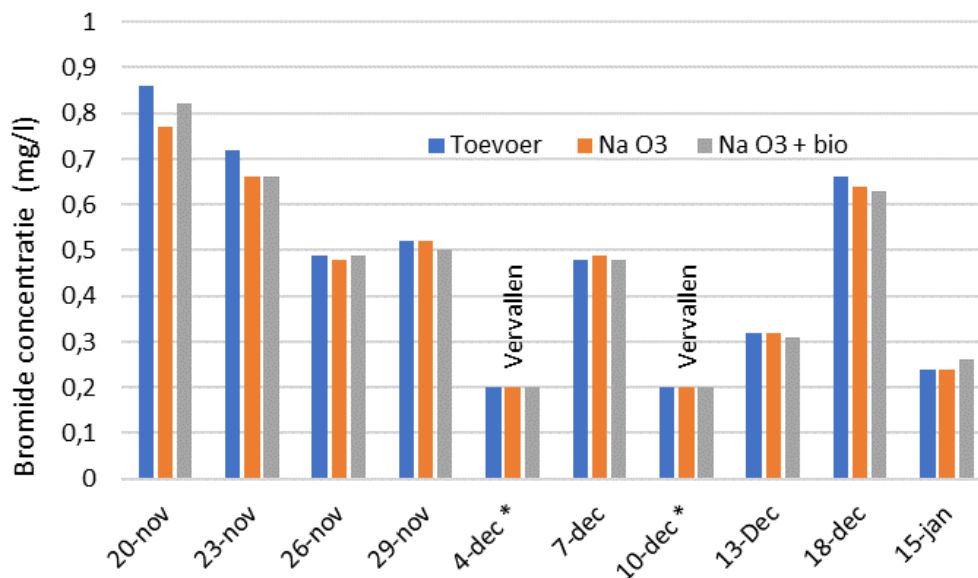
	UV + H ₂ O ₂ verwijd. (%)	O ₃ + Bio verwijd. (%)
Amidotrizoïnezuur	-	-
Johexol	-	-
Jomeprol	83	52
Jopamidol	-	-
Jopromide	80	56
jotalaminezuur	-	-
joxitalaminezuur	83	38

Uit deze tabel blijkt het verwijderingsrendement van de röntgencontrastmiddelen met UV + H₂O₂ inderdaad veel hoger te liggen dan O₃ + Bioreactor, ondanks dat het gemiddelde verwijderingsrendement van de geselecteerde medicijnen en gidsstoffen bij UV + H₂O₂ juist veel lager lag in de pilottest dan bij O₃ + Bioreactor. Deze röntgencontrastmiddelen maken geen deel uit van het lijstje gidsstoffen en ook niet van de het lijstje geselecteerde medicijnresten

4.6 BROMIDE EN BROMAAT

Bij toepassing van O₃ als oxidatieve techniek is bromaatproductie een belangrijk aandachtspunt (zie paragraaf 2.1.2). In figuur 4.8 zijn de bromide concentraties in de toe- en afvoer van de O₃-pilot weergegeven die gemeten zijn tijdens de vergelijkende test. De metingen die tijdens de inregelperiode zijn uitgevoerd, staan in bijlage 16.

FIGUUR 4.8 BROMIDE CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). (RAPPORTAGEGREN 0,2 MG/L)



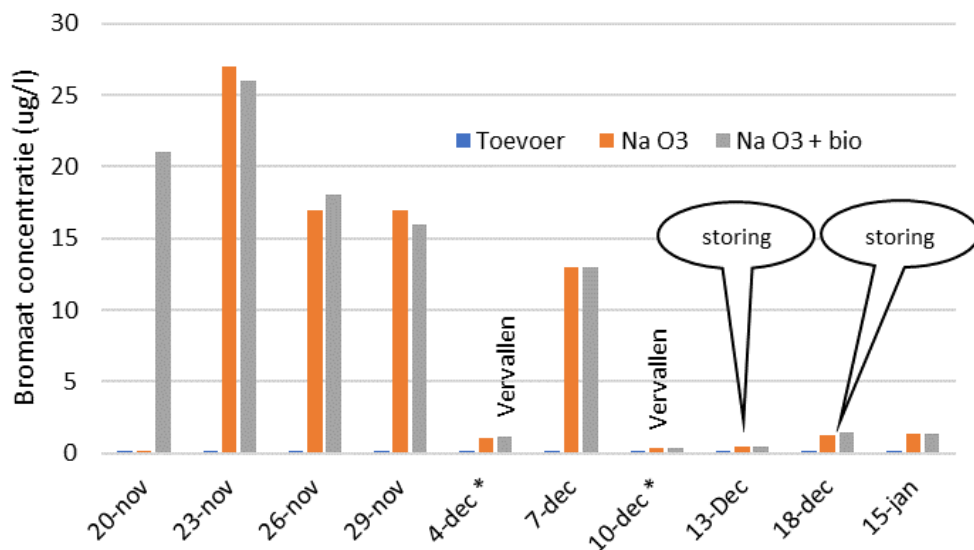
Uit figuur 4.8 blijkt dat de bromide concentratie in het afvalwater van rwzi Aarle-Rixtel relatief hoog ligt (200-1.000 $\mu\text{g/l}$) in vergelijking met andere rwzi's (Oijen, Leiden, Epe, Amersfoort, Bennekom, Ede, Nijkerk), waar gemiddeld ruim onder de 300 $\mu\text{g/l}$ gemeten is (*opgevraagd per e-mail of telefoon*). Ook op rwzi Groote Lucht (Delfland) werden relatief hoge bromide concentraties aangetroffen (200-800 $\mu\text{g/l}$) (9).

Op RWA dagen worden lagere bromide concentraties gemeten, hetgeen ook de verwachting is omdat verdunning met regenwater plaatsvindt.

Verder blijkt de bromide concentratie voor en na de nageschakelde technologie vrijwel gelijk te zijn, omdat er slechts een relatief klein deel van de bromide wordt omgezet naar bromaat en verder wordt bromide niet verwijderd.

De bromaat concentraties in de toe- en afvoer van de O_3 -pilot tijdens de vergelijkende test, zijn weergegeven in figuur 4.9. De metingen die tijdens de inregelperiode zijn uitgevoerd, staan in bijlage 16.

FIGUUR 4.9 BROMAAT CONCENTRATIE ($\mu\text{G/L}$) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O_3 -PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). (RAPPORTAGEGREN 0,2 $\mu\text{G/L}$)



Uit figuur 4.9 blijkt dat de bromaatconcentratie in het huidige effluent van rwzi Aarle-Rixtel onder de rapportagegrens ligt ($<0,2 \mu\text{g/l}$).

Na de behandeling met ozon worden verhoogde bromaatconcentraties aangetroffen.

Op de dagen waar de bromide concentratie in het afvalwater 500 $\mu\text{g/l}$ of hoger is en waarop de O_3 -dosering (1,2 gO_3/gDOC) probleemloos heeft gedraaid, wordt een gemiddelde bromaat concentratie van 19 $\mu\text{g/l}$ gemeten (range 13-27 $\mu\text{g/l}$). Dat is ruimschoots boven de norm die in hoofdstuk 2.1.2. is genoemd. Op de dagen waar de bromide concentratie in het afvalwater laag (ca 200-300 $\mu\text{g/l}$) is ten gevolge van RWA en op de dagen dat minder O_3 is gedoseerd tgv storing, zijn bromaat concentraties rondom 1 $\mu\text{g/l}$ of lager gemeten.

Opmerking:

Het BrO_3 resultaat van 20-nov “na O_3 ” is opvallend, deze is $< 0,2 \mu\text{g/l}$ (= rapportagegrens) maar naar verwachting zou deze ca 21 $\mu\text{g/l}$ moeten bedragen, omdat na de bioreactor 21 $\mu\text{g/l}$ bromaat gemeten wordt. Navraag bij het laboratorium levert geen bijzonderheden. Dit resultaat is buiten beschouwing gelaten.

VERGELIJKING MET BROMAATPRODUCTIE OP RWZI GROOTE LUCHT/ DELFLAND (9)

Bij de testen op rwzi Groote Lucht werd ook bromaatproductie waargenomen.

In de pilot op rwzi Groote Lucht werd een relatief hoge bromaatconcentratie gevonden in vergelijking met de pilot op rwzi Aarle-Rixtel: tijdens de vergelijkende test op rwzi Aarle-Rixtel werd op de representatieve dagen een gemiddelde bromaat concentratie van 19 µg/l aangetroffen hetgeen vergelijkbaar is met de tweede testperiode op rwzi Groote Lucht, maar de specifieke O₃-dosering lag op Aarle-Rixtel (1,2 gO₃/gDOC) wel hoger dan op Groote Lucht (0,8 gO₃/gDOC) en ook de gemiddelde bromide concentratie in het afvalwater lag op Aarle-Rixtel hoger (600 µg/l) dan op Groote Lucht (350 µg/l).

4.7 WATERSTOFFEROXIDE (H₂O₂)

De beoogde dosis waterstofperoxide bij de UV installatie bedroeg 30 ppm. Doordat de dosering niet werd gestuurd, zal de werkelijke dosering hebben kunnen afwijken. Een afwijking van 10% is te verwachten, hetgeen geen probleem is aangezien een flinke overmaat gedoseerd werd waarvan circa 80% zou overblijven. De leverancier controleerde de H₂O₂ concentratie voor en na de UV-reactor en na het katalysatorbed wekelijks met handmetingen, waarbij werd bevestigd dat er circa 30 ppm werd gedoseerd waarvan ruim 20 ppm overbleef na de reactor. Als grens voor het peroxide gehalte in te lozen effluent is 1 ppm gesteld; bij deze concentratie in ontvangend oppervlaktewater is enig effect op het waterleven te verwachten. In het katalysatorbed zou de peroxide moeten worden omgezet. Uit de handmetingen en uit de metingen van Aquon bleek het peroxidegehalte na het katalysatorbed steeds onder 1 mg/l te liggen, waarmee voldaan wordt aan de gestelde lozingsvoorwaarde voor H₂O₂.

4.8 ECOTOXICITEIT (SIMONI)

De methode ter bepaling van de ecotoxiciteit van rwzi effluent is nog volop in ontwikkeling. Er dient meer ervaring te worden gedaan met de uitvoering en interpretatie van de resultaten van deze testen.

Het effect op de ecotoxiciteit van beide oxidatieve technologieën is bepaald met dezelfde methode als die ook gebruikt is bij de pilotprojecten op rwzi's Papendrecht (7), de Groote Lucht (9) en op rwzi Wervershoof. In deze methode is gebruik gemaakt van de Simoni-methode, die ontwikkeld is voor het beoordelen van het oppervlaktewater. In oppervlaktewater vindt bemonstering plaats door middel van passieve sampling, terwijl bij rwzi-effluenten debiets- of tijdsproportioneel wordt bemonsterd met de bestaande bemonsteringsapparatuur. Voor de testen is water ter extractie (met XAD) aangeboden aan het RIVM laboratorium. Ook de presentatie van de meetresultaten vindt plaats conform de vermelde pilotprojecten, waarbij – zoals gebruikelijk is voor oppervlaktewater- de resultaten van de 14 individuele effectmetingen (bioassays) werden opgeteld tot één score (de Simoni-score) (7, 17).

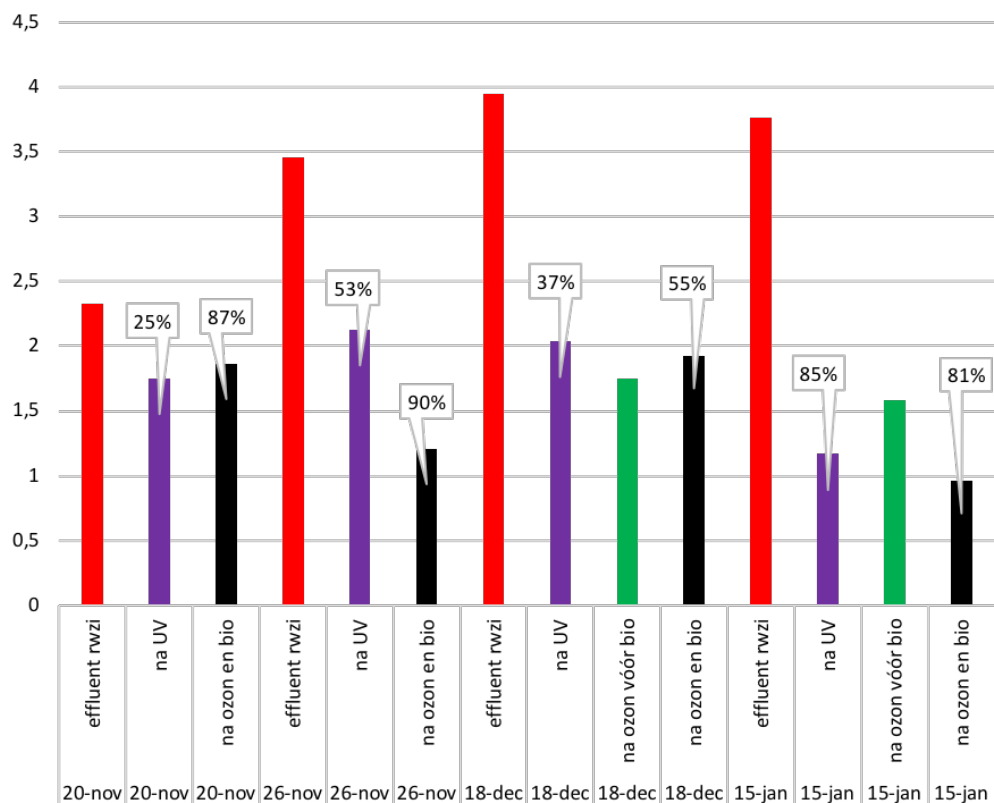
ONTWIKKELING ANALYSEMETHODE VOOR ECOTOXICITEIT RWZI EFFLUENT:

Eind 2018 is onderzoek gaan lopen met als doel deze methode door te ontwikkelen tot een eenvoudige, robuuste methode voor het kunnen beoordelen van ecotoxicologische risico's van rwzi-effluenten. Rwnzi Aarle-Rixtel is één van de rwzi's die in dit onderzoek is meegenomen. Dit heeft eind 2019 geleid tot een voorlopige handreiking, waarbij gekozen is voor een andere extractiemethode (Large Volume Solid Phase Extraction LVSP) en een beperkt aantal bioassays voor het vaststellen van het ecotoxicologisch effect van effluent (16). Ook de manier waarop de resultaten gepresenteerd zullen worden, wordt anders dan één Simoni-getal per monster. Deze nieuwe methode was echter nog niet beschikbaar tijdens de pilot-proef op Aarle-Rixtel. Daarom zijn de resultaten van het in deze zuiveringspilot uitgevoerde ecotoxicologische onderzoek niet vergelijkbaar met toekomstige resultaten van de methode volgens de voorlopige handreiking.

De Simoni-scores staan weergegeven in figuur 4.10. De resultaten van de individuele testen, die samen de Simoni-score vormen, staan in bijlage 17. De individuele Simoni-scores worden berekend met de uitslag van de individuele testen (hoeveelheid effect dat overeen komt met $\mu\text{g/l}$ van een bepaalde stof) en de Effect Signaal Waarde (ESW) van de betreffende test. Voor sommige testen is de ESW gerelateerd aan een ecologisch effect, maar voor andere testen is de ESW gebaseerd op de range van gemeten concentraties in oppervlaktewater. Rwnzi effluent is geen oppervlaktewater. Bovendien zijn de ESW waarden afgeleid voor gebruik bij passieve sampling en dus veelal niet passend voor de hier toegepaste extractiemethode met XAD. Conclusie uit dit alles: beschouw de gepresenteerde Simoni-score slechts als indicatie.

De referentie bij oppervlaktewater is dat bij een SIMONI-score boven 1 er enig risico / toxicologisch effect begint te ontstaan. Bij een score boven 2 wordt dit effect waarschijnlijker en iets om in aanpak van de problematiek rekening mee te houden.

FIGUUR 4.10 SIMONI-SCORE VAN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O_3 EN UV + H_2O_2 -PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST. BIJ DE AFVOER NA UV + H_2O_2 EN O_3 + BIO IS HET VERWIJDERINGSRENDEMENT VERMELD VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN T.O.V. EFFLUENT



Uit figuur 4.10 blijkt dat het effluent van de rwzi een hoge Simoni-score heeft van bijna 4, maar na beide oxidatieve technieken is dit effect gedaald tot onder de waarde van 2. Hieruit blijkt dat beide oxidatieve technieken de ecotoxiciteit van het effluent verlagen. Met beide oxidatieve technieken wordt bij een hoog verwijderingsrendement van 80 á 90 % een Simoni-score van iets boven 1 verkregen. Bij een lager verwijderingsrendement van 50% wordt met beide technieken een score van circa 2 gehaald. Of en hoeveel toxiciteit er is in het effluent c.q. het ontvangende oppervlaktewater, dat voor 40% bestaat uit effluent, valt lastig te zeggen wegens het nog niet ontwikkeld zijn van de test- en scoringsmethode voor rwzi-effluent en het niet hebben gemeten in oppervlaktewater.

Daarmee valt ook niet te zeggen of de score van “1” en/of van “2” goed genoeg is.

De berekende Simoni-scores van het onbehandelde effluent van rwzi Aarle-Rixtel liggen in dezelfde orde grootte als de scores van het onbehandelde effluent bij de ozon pilottest op rwzi de Groote Lucht (9) en de PACAS pilottest op rwzi Papendrecht (7). Ook de scores van het rwzi-effluent na behandeling komen qua orde grootte overeen met de resultaten van de 2 andere pilotprojecten.

Uit de scores van de 14 individuele testen (zie bijlage 17) blijkt dat de totale Simoni score met name wordt bepaald door de PRX- (gerelateerd aan toxische componenten) en de NRF-calux testen (gerelateerd aan aanwezigheid sterk oxidatieve stoffen) en in mindere mate door de ER- (oestrogene werking) en PAH-calux (Poly Aromatische Koolwaterstoffen PAK's). De lagere score na ozon en UV wordt ook bepaald door lagere scores op deze vier calux-testen. De antibiotica-testen tellen heel beperkt mee in de totale score, terwijl de overige testen geen significant effect laten zien. Ook bij de in het lab uitgevoerde testen met XAD concentraat bleek er nagenoeg geen effect bij testen met levende organismen zoals algen, watervlooien en microtox (bacteriën).

Doordat de gehanteerde onderzoeksmethode ontwikkeld is voor oppervlaktewater en nog in ontwikkeling is voor toepassing op rwzi effluent, moeten de resultaten slechts beschouwd worden als een globale indicatie. Bovendien zijn er slechts een beperkt aantal monsters geanalyseerd.

De resultaten van 20 november 2018 van het effluent van de rwzi en van het water na behandeling met O₃ zijn opvallend. De score in het effluent van de rwzi is op 20 november relatief laag t.o.v. de overige rwzi-effluent resultaten, hetgeen niet verklaard kan worden door verdunningseffecten t.g.v. RWA. De score na behandeling met O₃ lijkt relatief hoog in vergelijking met de overige resultaten met vergelijkbaar verwijderingsrendement.

De verwachting is dat de Simoni-score na behandeling in de bioreactor daalt door afbraak van metaboliëten of gelijk blijft. Er zijn 2 monsters genomen voor de bioreactor. Op 18 december ligt de Simoni-score na de bioreactor iets hoger dan daarvoor, terwijl op 15 januari wel een duidelijke daling gezien wordt. De indruk is dat er in de bioreactor “weinig gebeurt”, dus dat het verschil in Simoni-score binnen de nauwkeurigheid van de methode ligt.

4.9 PNEC EN DBS WAARDEN

In de inleiding (paragraaf 1.1.) is beschreven dat de PNEC en DBS waarden in het oppervlaktewater worden overschreden voor diverse medicijnresten. De verwachting is dat de concentraties in het effluent dalen na toepassing van de oxidatieve technieken. In onderstaande tabel 4.5 zijn de gemiddelde concentraties in het effluent na de oxidatieve technieken weergegeven. De waarden die na behandeling onder de kritische concentraties liggen zijn schuingedrukt in groen aangegeven. In de bijlage 18 zijn voor de afzonderlijke bemonsteringsdagen van de vergelijkende test de concentraties in het effluent voor en na behandeling weergegeven in grafieken inclusief de PNEC of DBS waarde.

TABEL 4.5 GEMIDDELTE CONCENTRATIE VAN DIVERSE MEDICIJNEN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST IN HET EFFLUENT VAN AARLE-RIXTEL VOOR EN NA DE OXIDATIEVE TECHNIEKEN. VAN DEZE MEDICIJNEN LIGT DE CONCENTRATIE IN HET OPPERVLAKTEWATER REGELMATIG BOVEN PNEC OF DBS WAARDEN.

	PNEC / DBS (µg/l)	Effluent (µg/l)	Na O ₃ +Bio (µg/l)	Na UV+H ₂ O ₂ (µg/l)
Diclofenac	PNEC = 0,1	0,3	< 0,01	0,02
Clarithromycine	PNEC = 0,04	0,09	< 0,01	0,06
Valsartan	DBS = 0,1	0,8	0,12	0,44
Gabapentine	DBS = 0,1	1,3	0,4	0,8
Irbesartan	DBS = 0,1	1,5	0,2	0,8
Metformine	DBS = 0,1	2,5	1,5	2,1
Hydrochloorthiazide	DBS = 0,1	0,6	< 0,1	0,5

Uit de tabel blijkt dat de concentraties in het effluent weliswaar dalen na behandeling met de oxidatieve technieken, maar dat niet alle componenten onder de kritische concentraties komen te liggen. Bij O₃ worden de PNEC waarden niet meer overschreden, maar slechts 1 van de 5 componenten komt onder de DBS waarde. Bij UV + H₂O₂ wordt alleen voor diclofenac de PNEC waarde bereikt, de overige componenten blijven boven de PNEC of DBS-waarde. Met O₃ worden lagere concentraties bereikt dan met UV, hetgeen te verklaren is doordat het verwijderingsrendement tijdens de vergelijkende test bij de O₃-pilot hoger lag.

Belangrijke conclusie is dus dat de zuiveringstechnieken een sprong vooruit zijn in de lozing van knelpuntstoffen. Echter zelfs bij ozon met een ingesteld doel van een hoog verwijderingsrendement blijken nog niet alle problemen volledig opgelost. Zie verder paragraaf 4.12 "bijvangst, overige micro's".

4.10 STIKSTOF, FOSFOR EN ZUURSTOFVERBRUIK

Doordat de nageschakelde techniek diverse verbindingen oxideert, kan dit effect hebben op de concentraties van diverse "macro-parameters" en nutriëntverbindingen in het effluent. Denk hierbij aan stikstof- en fosforcomponenten, chemisch en biologisch zuurstofverbruik e.d. De concentraties stikstof- en fosfaatverbindingen en de concentraties CZV, BZV en opgeloste bestanddelen in het effluent van de rwzi en in de afvoer van de oxidatieve technieken op de afzonderlijke bemonsteringsdagen van de vergelijkende test zijn in grafieken weergegeven in de bijlage 19. De gemiddelde concentraties tijdens de vergelijkende test zijn in tabellen 4.6 en 4.7 weergegeven.

TABEL 4.6 GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN DIVERSE MACROPARAMETERS EN NUTRIËNTVERBINDINGEN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST IN HET EFFLUENT VAN AARLE-RIXTEL VOOR EN NA DE O₃-PILOT

		Effluent	Na O ₃	Na O ₃ +Bio
N-totaal	(mg/l)	6,1	6,2	6,1
N-Kjeldahl	(mg/l)	4,4	4,2	4,1
NH ₄ -N	(mg/l)	2,5	2,4	2,4
NO ₃ -N	(mg/l)	1,5	2,0	1,9
NO ₂ -N	(mg/l)	0,2	0,0	0,0
P-totaal	(mg/l)	0,48	0,50	0,45
PO ₄ -P	(mg/l)	0,18	0,22	0,21
CZV	(mg/l)	44	36	35
BZV	(mg/l)	3,8	5,9	5,3

TABEL 4.7 GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN DIVERSE MACROPARAMETERS EN NUTRIËNTVERBINDINGEN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST IN HET EFFLUENT VAN AARLE-RIXTEL VOOR EN NA DE UV + H₂O₂-PILOT

		Effluent	Na UV+H ₂ O ₂
N-totaal	(mg/l)	6,1	6,3
N-Kjeldahl	(mg/l)	4,2	3,6
NH ₄ -N	(mg/l)	2,4	1,7
NO ₃ -N	(mg/l)	1,7	2,1
NO ₂ -N	(mg/l)	0,2	0,7
P-totaal	(mg/l)	0,45	0,46
PO ₄ -P	(mg/l)	0,15	0,23
CZV	(mg/l)	43	38
BZV	(mg/l)	3,6	3,6

Uit deze tabellen blijkt dat de verschillen in N-concentraties voor en na de oxidatieve technieken beperkt zijn. De concentratie N-totaal blijft gelijk. Er is een kleine verschuiving van de componenten naar de geoxideerde vorm zichtbaar. Kjeldahl-N daalt enkele tienden mg/l en de som van de concentraties nitraat en nitriet nemen toe. Hieruit wordt geschat dat ca 0-10% van de organische N-verbindingen wordt geoxideerd. De verwachting is dat nitriet volledig wordt geoxideerd tot nitraat, hetgeen bij de O₃-pilot ook wordt waargenomen. Opvallend dat bij UV + H₂O₂ de concentratie NO₂-N juist toeneemt van gemiddeld 0,2 naar 0,7 mg/l. Een waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat in het katalysatorbed NO₂-N wordt gevormd, aangezien de NO₂-N concentratie voor het katalysatorbed in een drietal steekmonsters gemiddeld lager lag (0,2 mg/l) dan na het katalysatorbed.

De concentratie P-totaal blijft gelijk, hetgeen ook de verwachting is. PO₄-P neemt enigszins toe met minder dan 0,1 mg/l, waaruit kan worden afgeleid dat circa 0-20% van de organische P-verbindingen worden geoxideerd.

CZV neemt af met ca 10-20%, hetgeen betekent dat een deel van de organische verbindingen wordt geoxideerd tot CO₂ en ontwijkt. Bij O₃ is de daling groter dan bij UV + H₂O₂, waarschijnlijk doordat het rendement ook hoger is

BZV neemt bij O₃ toe met circa 1,5 mg/l tot 5 mg/l, dus een deel van de organische verbindingen wordt omgezet tot makkelijker afbreekbare verbindingen. De effectiviteit van de bioreactor is beperkt want in de bioreactor treedt nauwelijks daling van de BZV op. Het effect bij UV geeft een wisselend beeld, soms wordt een daling waargenomen van de BZV en soms een stijging. Gemiddeld blijft BZV na de UV + H₂O₂ pilot gelijk.

4.11 BACTERIOLOGIE

Enkele monsters van de vergelijkende test zijn bacteriologisch onderzocht. De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.8. Te zien is dat effluent van de rwzi voor de technieken aanzienlijke aantallen bacteriën bevat. Ter vergelijking: de signaalwaarde (intensiveren monitoring, evt. zwemverbod) in zwemwater is voor E-coli 1.800 kve/dl en voor enterococcon 400 kve/dl. Beide technieken verwijderen bacteriën tot in concentraties onder de signaal waarde zwemwater, m.u.v. het ozonmonster van 18 december (storing O₃-dosering). De mate van verwijdering verschilt wel flink per monster en steriel is dit water nog niet.

TABEL 4.8 AANTAL BACTERIËN (KVE/DL) IN EFFLUENT VAN RWZI AARLE-RIXTEL EN IN DE BEHANDELDE WATERSTROMEN

	Escherichia coli				Intestinale enterococcon			
	20-nov 2018	26-nov 2018	18-dec 2018	15-jan 2019	20-nov-2018	26-nov-2018	18-dec-2018	15-jan-2019
Effluent rwzi	25900	23700	36200	31400	3600	5200	6400	9800
Na ozon			12700	40			1800	78
Na ozon + Bio	78	75	8600	40	40	78	1500	120
Na UV + H ₂ O ₂	1300	78	410	160	160	40	40	77
			Reductiefactor als log.					
Na ozon			0,45	2,89			0,55	2,10
Na ozon + Bio	3,46	2,50	0,62	2,89	1,95	1,82	0,63	1,91
Na UV + H ₂ O ₂	2,24	2,48	1,95	2,29	1,35	2,11	2,20	2,10

De EU heeft recent een richtlijn afgegeven (10) voor gebruik van rwzi effluent in de landbouw, zie tabel 4.9. Na de aanvullende zuiveringstechnieken wordt slechts altijd voldaan aan kwaliteitsklasse D.

TABEL 4.9 KWALITEITSKLASSE VAN BEHANDELD AFVALWATER, TOEGESTAAN GEBRUIK IN DE LANDBOUW EN IRRIGATIEMETHODE

Kwaliteitsklasse en bijbehorende eis E-coli (CFU/100 ml)	Gebruik in:	Toedieningsmethode
A < 10	All food crops, including root crops consumed raw and food crops where the edible part is in direct contact with reclaimed water	All irrigation methods
B < 100	Food crops consumed raw where the edible part is produced above ground and is not in direct contact with reclaimed water, processed food crops and non-food crops including crops to feed milk- or meat-producing animals	All irrigation methods
C < 1.000		Drip irrigation* only
D < 10.000	Industrial, energy, and seeded crops	All irrigation methods

4.12 BIJVANGST, OVERIGE MICRO'S

Naast geneesmiddelen was er ook interesse om de verwijderingsrendementen te kennen van vele andere stoffen, die in andere studies als aandacht-stof / probleemstof voor ecologie en/of drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater zijn aangemerkt. Deze stoffen zijn daarom geanalyseerd, tenzij bleek dat analyse extreem prijzig zou worden. Als bijvangst komen dan naast de gevraagde stof andere stoffen mee. In bijlage 7 staat beschreven welke stofpakketten door welk lab zijn geanalyseerd. In totaal is geanalyseerd op zo'n 350 organische micro's. Het betreft 4 monsterrondes met drie monsters per ronde: effluent rwzi, water na ozon en water na UV.

Van deze micro's zijn er zo'n 70 in één of meerdere monsters aangetroffen. Slechts 30 stoffen zijn in zoveel monsters gevonden, dat op basis van de resultaten iets gezegd kan worden over de verwijderingsrendementen bij de toegepaste technieken. Dit is uitgezet in grafieken voor enkele stoffen in bijlage 20. De belangrijkste stoffen / ervaringen zijn bovendien weergegeven in tabel 4.10.

TABEL 4.10 AANWEZIGHEID VAN DIVERSE ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN IN HET EFFLUENT VAN RWZI AARLE-RIXTEL EN HUN AFBREEKBAARHEID DOOR UV EN OZON

stoffen	Aanwezigheid in effluent rwzi	Extra zuivering door UV/Ozon
EDTA (industriële complexvormer)	Orde grootte 200 µg/l; DBS 1 µg/l	50-80%
Acesulfame-K (kunstmatige zoetstof)	0,9-4 µg/l; DBS 1 µg/l	40-80%, UV marginaal beter
GenX, PFOS, PFOA	Tot bijna oppervlaktewater jaargemiddelde norm van 0,048 µg/l PFOA en 0,118 µg/l GenX	Nihil
AMPA (bestanddeel zepen, afbraak glyfosaat (herbicide))	2-5 µg/l ; DBS 1µg/l	Concentraties nemen wat toe
Bisfenol A (industrie)	Tot 2x norm van 64 µg/l adhoc monster	onder norm
Diethyltolylfluamide (DEET)	0,08-0,11 µg/l ; DBS 0,1 µg/l	9 van de 12 keer onder rapportagegrens 0,02 µg/l
Carbendazim (fungicide)	Onder norm MAC = 0,6 µg/l	Ozon tot onder rapportagegrens 0,01 µg/l, UV breekt ook wat af
Imidacloprid (insecticide)	3 tot 6x oppervlaktewater-norm jaargemiddelde 0,0083 µg/l	Ozon doet iets, UV tot onder rapportagegrens 0,005 µg/l
Oestron (hormoon)	10x tot eenmalig 1000x norm van 0,32 µg/l (i-MTR)	Beide technieken tot ong. norm oppervlaktewater
Tetraglyme (koelmiddel/de-icing)	0,03 tot 0,09 µg/l; DBS 0,1 µg/l	3 metingen met toename

Conclusie is dat bepaalde probleemstoffen niet of te weinig worden verwijderd, waar de problematiek van andere stoffen geheel door de twee geteste aanvullende zuiveringstechnieken kan worden opgelost. Voor zover uit deze tabel een voorkeur valt af te leiden in techniekkeuze, is er een zwakke voorkeur voor UV wegens de grotere afbraak van imidacloprid en acesulfame.

5

VERVOLGONDERZOEK

5.1 INLEIDING

Na de vergelijkende test heeft een vervolgonderzoek plaatsgevonden, waarin de optimalisatiemogelijkheden en de specifieke aandachtspunten van beide technologieën verder zijn onderzocht.

O₃ + BIO

Tijdens de vergelijkende test werd 86% verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent gehaald, waarmee het doel van 80% behaald werd. Een aandachtspunt bij toepassing van de ozon technologie op rwzi Aarle-Rixtel bleek de bromaatproductie te zijn. Het bromaatgehalte in het behandelde water lag gemiddeld op 19 µg/l hetgeen hoger is dan de drinkwaternorm (drinkwaterbesluit: 1 µg/l, na desinfectie met ozon: 5 µg/l).

Daarom heeft het vervolgonderzoek voor de O₃-pilot zich gericht op bromaatvorming en op de relatie tussen de specifieke ozon dosering (g O₃/g DOC) en het verwijderingsrendement.

UV + H₂O₂

Tijdens de vergelijkende test werd een verwijderingsrendement van 41% van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent behaald, hetgeen betekent dat de streefwaarde van 80% niet werd gehaald op de geadviseerde settings. Daarom is in het vervolgonderzoek voor de UV-pilot allereerst onderzocht of een verwijderingsrendement van 80% van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent alsnog haalbaar is door aanpassing van de instellingen (hogere dosering UV).

Bovendien bleek tijdens de vergelijkende test het energieverbruik erg hoog te liggen, hetgeen veroorzaakt werd door de lage UV-transmissie van het effluent van rwzi Aarle-Rixtel, waardoor veel UV-lampen nodig waren. Daarom heeft het tweede deel van het vervolgonderzoek zich gericht op voorbehandeling van het afvalwater om de UV-transmissie te verhogen en daarmee het energieverbruik te verminderen.

5.2 UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

5.2.1 TESTOPZET

O₃ + BIO

Het vervolgonderzoek richt zich op het voorkomen/ beperken van bromaatvorming en op de relatie tussen de specifieke ozon dosering (g O₃/g DOC) en het verwijderingsrendement.

Vooronderzoek in het laboratorium van Nijhuis Water Technology

Op het laboratorium van Nijhuis heeft eerst vooronderzoek plaatsgevonden (zie figuur 5.1 en 5.2) om details van het vervolgonderzoek te bepalen met name gericht op bromaatproductie en DOC verlaging.

Het vooronderzoek heeft zich gericht op het effect van voorbehandeling en nabehandeling met actief kool, voorbehandeling met een zandfilter al dan niet in combinatie met een coagulant, en het doseren van H_2O_2 (30 ppm) ter beperking van bromaatvorming. Aan het afvalwater is extra bromide toegevoegd en er zijn testen uitgevoerd met 2 verschillende specifieke O_3 -doseerconcentraties. Het rapport van dit onderzoek is bijgevoegd in bijlage 25.

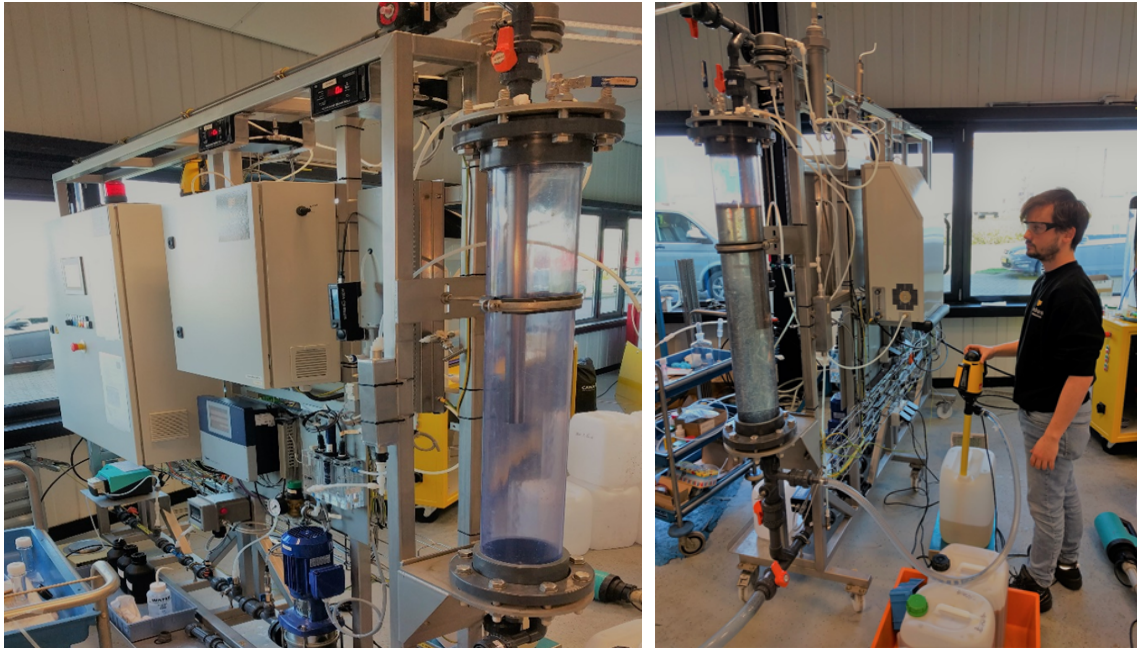
Op basis van het vooronderzoek is besloten om in het vervolg van de pilot het effect van verschillende O_3 -doseringen te onderzoeken en het effect van H_2O_2 dosering ter beperking van bromaatvorming.

Ondanks dat het labonderzoek een positief resultaat liet zien van het effect van actief kool op de beperking van bromaatvorming en het wegnemen van bromide, wordt toepassing van actief kool niet meegenomen in het vervolgonderzoek op rwzi Aarle-Rixtel. Het labonderzoek is met vers actief kool uitgevoerd en de verwachting is dat de absorptie zal verminderen in de loop van de tijd. Om dit te onderzoeken zal een duurtest uitgevoerd moeten worden, waarvoor tijdens de vervolgtest op rwzi Aarle-Rixtel geen ruimte was.

FIGUUR 5.1 VOORBEREIDEND ONDERZOEK BIJ NIJHUIS WATER TECHNOLOGY. OP DE LINKER FOTO DE KOLOMMEN DIE GEVULD KUNNEN WORDEN MET ACTIEF KOOL, ZAND ETC, DE MIDDELSTE EN DE RECHTER FOTO'S TONEN DE OZON REACTOR MET HET EFFLUENT VAN RWZI AARLE-RIXTEL VÓÓR BEHANDELING (MIDDEN) EN NÁ BEHANDELING MET OZON (RECHTS)



FIGUUR 5.2 VOORBEREIDEND ONDERZOEK BIJ NIJHUIS WATER TECHNOLOGY



Pilot installatie

Er wordt gebruik gemaakt van dezelfde pilot installatie als in het eerste deel van het onderzoek.

Aanpassing O₃-doseerlocatie

De ozondosering wordt verplaatst van de recirculatiestroom naar de toevoer van de pilot, waar de ozon direct met het influent wordt opgemengd met een statische menger en vervolgens in de ozonreactor wordt gebracht.

De reden voor deze aanpassing is dat op deze nieuwe locatie (toevoer van de pilot) hogere concentraties reactieve componenten (DOC) aanwezig zijn, en dat de kans dus groter is dat O₃ met een organische component reageert en er een lagere kans is op een reactie van O₃ met bromide waarbij bromaat wordt geproduceerd. Door goede menging worden lokale hoge concentraties O₃ voorkomen. Bij slechtere menging zal rondom de lokale hoge O₃ concentratie de DOC weg reageren waardoor de kans groter wordt dat O₃ met bromide reageert en dus bromaat gevormd wordt.

Specifieke O₃-dosering

Verschillende settings voor de specifieke O₃-dosering worden ingesteld (range 0 - 1,2 g O₃/g DOC), waarbij het verwijderingsrendement en de bromaatvorming wordt bepaald.

Volgens de literatuur (12) is bromaatvorming bij een specifieke O₃ dosering lager dan 0,6 g O₃/g DOC beperkt (12), daarboven wordt het risico op bromaatvorming hoger. De resultaten van de inregeltest lijken dit ook aan te geven. Een lagere specifieke O₃-dosering heeft ook andere voordelen zoals verlaging energieverbruik, een kleinere installatie en lagere kosten. Echter wordt bij lagere O₃-dosering ook een lager verwijderingsrendement verkregen. Daarom wordt de relatie tussen de specifieke O₃-dosering en bromaatvorming (en verwijderingsrendement) met effluent van rwzi Aarle-Rixtel verder onderzocht.

H₂O₂-dosering

Door H₂O₂ te doseren voorafgaand aan de O₃ dosering, is de verwachting dat minder bromaat wordt gevormd. H₂O₂ reageert met tussenproducten van de reactie van bromide naar bromaat,

waardoor deze terugreageren naar bromide (12). Zodoende zal minder bromaat geproduceerd worden. Bovendien zal een deel van de O_3 met H_2O_2 reageren, waardoor de kans op de directe reactie van O_3 met bromide ook kleiner wordt.

De bromaatvorming wordt onderzocht bij een aantal verschillende H_2O_2 doseringen in de range van 0 tot 60 ppm.

UV + H_2O_2

Verwijderingsrendement 80%

Het vervolgonderzoek richt zich allereerst op het aantonen dat 80% verwijdering van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. effluent mogelijk is met UV+ H_2O_2 . Om dat te bereiken wordt een hogere UV-dosis ingesteld. Net als bij de vergelijkende test worden 2 van de 4 plug flow reactoren met 12 lampen in bedrijf genomen, maar nu wordt een lager debiet verwerkt.

Smart regeling UV dosis

In de oorspronkelijke pilot installatie was de UV-dosis een resultante van het ingestelde debiet en de transmissie van het afvalwater. Gedurende het vervolgonderzoek wordt de UV dosis automatisch geregeld door het debiet te regelen op basis van de in-line meting van de UV-transmissie.

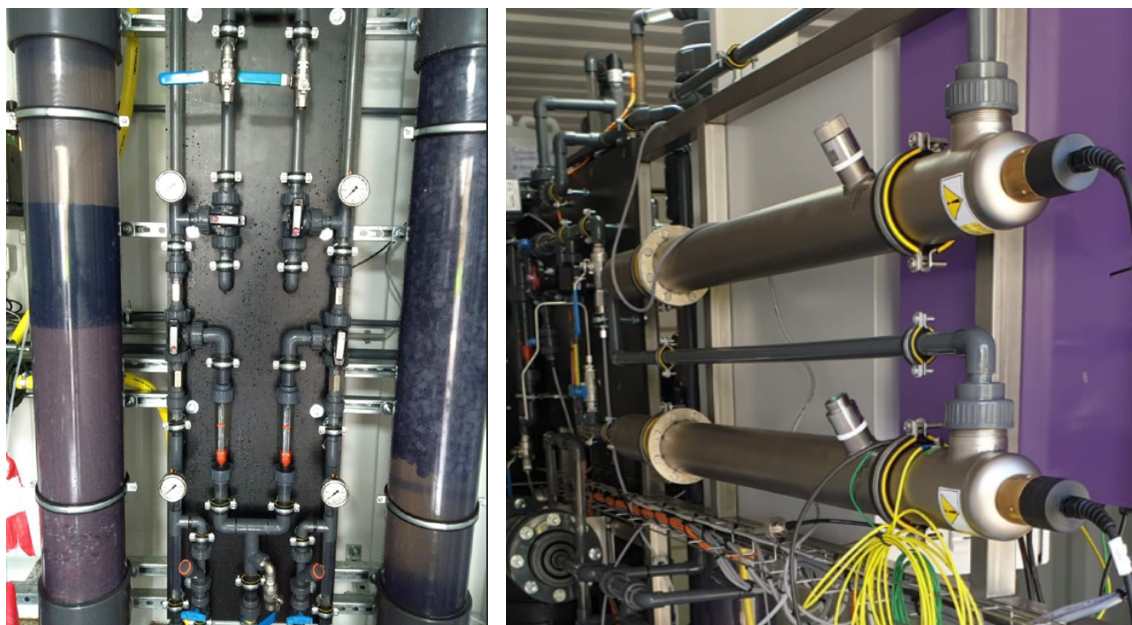
Voorbehandeling afvalwater

Het doel van de voorbehandeling van het afvalwater is verhoging van de UV-transmissie, als gevolg waarvan het energieverbruik in de UV-pilot zal dalen. Het streven is om de UV-transmissie met 20%-punten te verhogen, dus grofweg van 40% naar 60%.

Vooronderzoek

Om de optimale voorbehandelingstechniek te bepalen, hebben de firma's Jotem Waterbehandeling en Van Remmen UV Technology vooraf kolomtesten uitgevoerd met het effluent op de rwzi Aarle-Rixtel (zie figuur 5.3). Bij dit vooronderzoek zijn testen uitgevoerd met twee verschillende kolommen die gevuld waren met respectievelijk bio-carriers en met zand. Op beide kolommen is zowel met als zonder coagulantdosering (ijzerchloride of poly-aluminiumchloride) getest. Uit het vooronderzoek bleek het zandfilter met poly-aluminiumchloride (PAlCl) als coagulant het beste resultaat op te leveren en hiermee werd een verhoging van de UV-transmissie van ruim 20%-punten verkregen. Een beknopt rapport van het vooronderzoek is opgenomen in bijlage 26.

FIGUUR 5.3 TESTOPSTELLING VAN VAN REMMEN UV TECHNOLOGY EN JOTEM WATERBEHANDELING. OP DE LINKER FOTO DE VOORBEREIDENDE KOLOMPROEF MET LINKS DE KOLOM MET ZAND EN RECHTS DE KOLOM MET BIOCARIERS. OP DE RECHTER FOTO DE TWEE UV BUISREACTOREN



Pilot installatie

Op basis van de resultaten van het vooronderzoek is de pilot installatie aangepast. Er zijn 2 parallelle zandfilter-kolommen toegevoegd met PAI₃Cl dosering. De hoogte van het zandfilter is 1,2 m en de diameter is 0,192 m. Bij een oppervlaktebelasting van 7,5 m³/uur kan 0,2 m³/h via ieder zandfilter verwerkt worden, en is de verblijftijd in het zandfilter 11 minuten. Het zandfilter bevat geen biologie.

De UV-transmissie in zowel de toevoer als de afvoer van het zandfilter wordt continue gemeten. Omdat de hydraulische capaciteit van het zandfilter beperkt is, konden de 4 plugflow reactoren niet meer gebruikt worden. Deze reactoren zijn vervangen door twee in serie geplaatste buisreactoren, welke allebei waren voorzien van één low pressure UV-lamp van 205 W. Dit zijn dus andere lampen dan in fase 1 gebruikt zijn (zie figuur 5.3). Het nageschakelde katalysatorbed is vervangen door een kleinere uitvoering.

Als aluminium coagulant (PAI₃Cl) wordt Kemira PAX18 gebruikt. Gedurende de test zijn verschillende PAI₃Cl-doseringen (range 0 - 12 ppm als Al) en verschillende setpoints voor de UV-dosis (14.000 en 18.000 J/m²) ingesteld. Om de resultaten van de buisreactoren en de plugflow reactoren aan elkaar te kunnen relateren, zijn allereerst metingen uitgevoerd zonder PAI₃Cl dosering op een UV-dosis waarbij het verwijderingsrendement van de plugflow reactoren in het voorgaande pilot onderzoek al bepaald was.

Gedurende het vervolgonderzoek wordt de H₂O₂ dosering ingesteld op 30 ppm, hetgeen vergelijkbaar is met de dosering die is gebruikt tijdens de vergelijkende test.

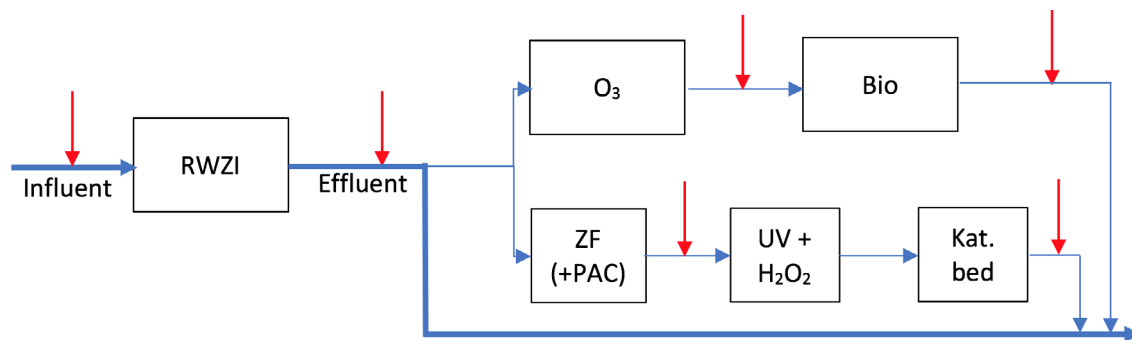
5.2.2 MONSTERNAME EN MONITORINGSPARAMETERS

Monsternamen, monstername en monsterschema zijn in grote lijnen vergelijkbaar met het eerste deel van de pilot test.

MONSTERNAMEPUNTEN

De verschillende monsterpunten rondom de rwzi en de pilot installaties zijn schematisch weergegeven in figuur 5.4.

FIGUUR 5.4 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE OPSTELLING VAN O₃-BIO PILOT EN DE UV+H₂O₂ PILOT MET ZANDFILTER, INCLUSIEF MONSTERPUNTEN (RODE PIJLTJES)



MONSTERNAME

Monstername vindt plaats door het gecertificeerde laboratorium Aquon.

Er wordt gebruik gemaakt van tijdsproportionele 24-uursverzamelmonsters. Deze worden gekoeld bewaard voordat geanalyseerd wordt.

Het influent van de rwzi wordt bemonsterd met de bestaande monsterkast van de rwzi. Dit is een debietsproportioneel verzamelmonster. Om rekening te houden met de verblijftijd in de rwzi, zijn de rwzi-influentmonsters steeds 24 uur eerder genomen. Overigens klopt deze “verblijftijdscorrectie” niet helemaal: op een droge dag is de verblijftijd in de rwzi ongeveer 2 dagen, terwijl de verblijftijd op een regendag minder dan een halve dag kan zijn.

Identiek aan de bemonstering van de rwzi begint een bemonsteringsdag om 09:00 uur op de voorgaande dag en eindigt op de bemonsteringsdag om 09:00 uur.

Als voorbeeld: Indien een bemonsteringsdag op donderdag valt, dan wordt op woensdag 09:00 uur de monsterkast gestart en deze wordt op donderdag 09:00 uur gestopt. Monstername vanuit het monstervat vindt op donderdag plaats. Het verzamelen van het monster start al op woensdag.

Monstername bij DWA en RWA

Op regendagen treedt verdunning op van het influent en het effluent van de rwzi, en zullen meer medicijnconcentraties onder of rondom de rapportagegrens liggen. Tijdens het vervolgonderzoek gaan ingeplande bemonsteringsdagen altijd door ongeacht het influentdebiet. Dit in tegenstelling tot de vergelijkende test, waarbij bemonsteringsdagen waarop het influentdebiet hoger was dan 2x DWA (>100.000 m³/dag) zijn vervallen.

MONITORINGSPARAMETERS / ANALYSEPAKKETTEN

Het analysepakket tijdens het vervolgonderzoek is vergelijkbaar met het basispakket dat gedurende de inregelperiode is gehanteerd.

Een overzicht van de doelstoffen en analysepakketten is weergegeven in tabel 5.1.

TABEL 5.1

ANALYSEPAKKET TIJDENS VERVOLGONDERZOEK

Doelstoffen	Analyses
Waterkwaliteitstesten	Macroparameters (o.a. CZV, BZV, OB, TOC, Nkj, NH ₄ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N, Ptot, PO ₄ -P, onopgeloste bestanddelen). Transmissie 254 nm. <i>Overigens: niet bicarbonaat</i>
Medicijnen	Aquon pakket geneesmiddelen (<i>vanaf februari 2019 is dit pakket uitgebreid van 28 tot 35 stoffen</i> Gidsstoffen (Ministerie van IenW) die niet in pakket geneesmiddelen AQUON zitten (uitgezonderd propranolol)
Overig	Bromide, Bromaat Glymes E-coli en intestinale enterococcen

De gidsstof propranolol wordt niet meegenomen bij de analyses, omdat voor deze ene component speciaal een extra analysepakket uitgevoerd moest worden hetgeen tot veel extra kosten leidt. Bovendien lagen de resultaten tijdens de vergelijkende test in alle gevallen onder de rapportagegrens (<1 µg/l). Er blijven dus 10 gidsstoffen over.

Bromide en bromaat worden tijdens het vervolgonderzoek niet alleen geanalyseerd op de afloop van de ozonpilot, maar worden nu ook geanalyseerd op de afvoer van de UV-pilot om te bevestigen dat er geen bromaat gevormd wordt bij de UV+H₂O₂ technologie.

Tijdens het vervolgonderzoek worden geen ecotoxiciteitstesten (Simoni) uitgevoerd.

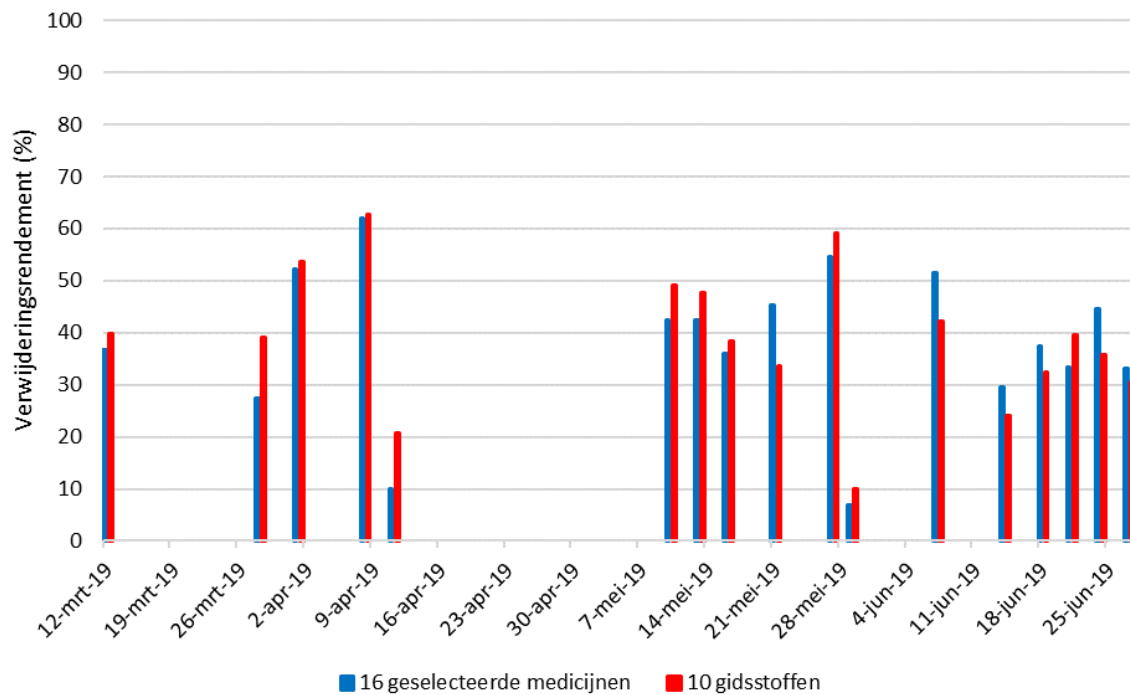
VERWERKING MEETGEGEVENS EN ONGANG MET DE RAPPORTAGEGRENSEN

Net als bij het eerste deel van het pilot onderzoek wordt gewerkt volgens de HCK methode voor omgang met waarden onder de rapportagegrens. Ook de berekening van verwijderingsrendementen gebeurt volgens dezelfde methodiek als bij de vergelijkende test.

5.3 RESULTATEN**5.3.1 VERWIJDERING IN RWZI**

Het gemiddelde verwijderingsrendement van medicijnresten in de rwzi Aarle-Rixtel is in figuur 5.5 weergegeven voor de afzonderlijke bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek. Bovendien is in tabel 5.2 het gemiddelde van alle verwijderingsrendementen van het gehele vervolgonderzoek en de standaarddeviatie weergegeven. Tenslotte zijn in bijlage 24 de gemiddelde verwijderingsrendementen van de afzonderlijke gidsstoffen in de rwzi gedurende de vergelijkende test en gedurende het vervolgonderzoek in tabelvorm weergegeven, evenals het berekende gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi. Het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi is in bijlage 24 ook nog eens grafisch weergegeven per bemonsteringsdag gedurende de verschillende onderzoeksperioden. Voor de 5 eerste bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek is ook het verwijderingsrendement per gidsstof per bemonsteringsdag grafisch weergegeven in bijlage 24.

FIGUUR 5.5 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNRESTEN EN VAN 10 GIDSSTOFFEN⁶ IN DE RWZI AARLE-RIXTEL GEDURENDE HET VERVOLGONDERZOEK



TABEL 5.2 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT EN STANDAARD DEVIATIE VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN EN 10 GIDSSTOFFEN (EXCL. PROPANOLOL) IN RWZI AARLE-RIXTEL GEDURENDE HET VERVOLGONDERZOEK

	Gemiddeld (%)	St. dev. (%)
16 geselecteerde medicijnen	38	14
10 gidsstoffen	39	13

Uit figuur 5.5 en tabel 5.2 blijkt dat gemiddeld bijna 40% van de medicijnresten verwijderd wordt in de rwzi zelf. Dit is vergelijkbaar met het eerdere onderzoek.

De verwijderingsrendementen op de afzonderlijke bemonsteringsdagen variëren flink: op de bemonsteringsdag met het laagste rendement wordt minder dan 10% verwijderd, terwijl op de beste bemonsteringsdag meer dan 60% verwijderd wordt. De standaarddeviatie bedraagt circa 14%. Een mogelijke verklaring voor deze variaties in verwijderingsrendement is de combinatie van regenweeraanvoer en verblijftijd in de rwzi. Zo valt de bemonsteringsdag 29 mei, waarop een laag verwijderingsrendement in de rwzi wordt behaald, op een regendag na een droge periode. Het influentmonster is sterk verdund, terwijl het rwzi effluent, dat 24 uur later wordt bemonsterd, relatief minder verdund is en waardoor voor enkele medicijnen negatieve verwijderingsrendementen worden berekend. Voor het lage rendement op 11 april of het hoge rendement op 8 april is de relatie met plotselinge regenweer minder duidelijk aangezien in deze periode geen sterke debietsverhoging ten gevolge van regen is opgetreden.

5.3.2 O₃-PILOT

De resultaten van het onderzoek naar beperking van bromaatvorming en het onderzoek naar de relatie tussen de specifieke O₃-dosis en het verwijderingsrendement zijn in de volgende paragrafen beschreven. In bijlage 27 zijn de rendementen en de bromaatconcentraties van de afzonderlijke bemonsteringsdagen weergegeven.

⁶ De gidsstof propanolol is niet geanalyseerd

5.3.2.1 AANPASSING O₃-DOSEERLOKATIE: EFFECT OP BROMAATVORMING

Tijdens de vergelijkende test werd gemiddeld 19 µg/l bromaat aangetroffen in het behandelde water, bij een specifieke O₃-dosering van 1,2 g O₃/g DOC en een bromide concentratie hoger dan 0,5 mg/l in het te behandelen water.

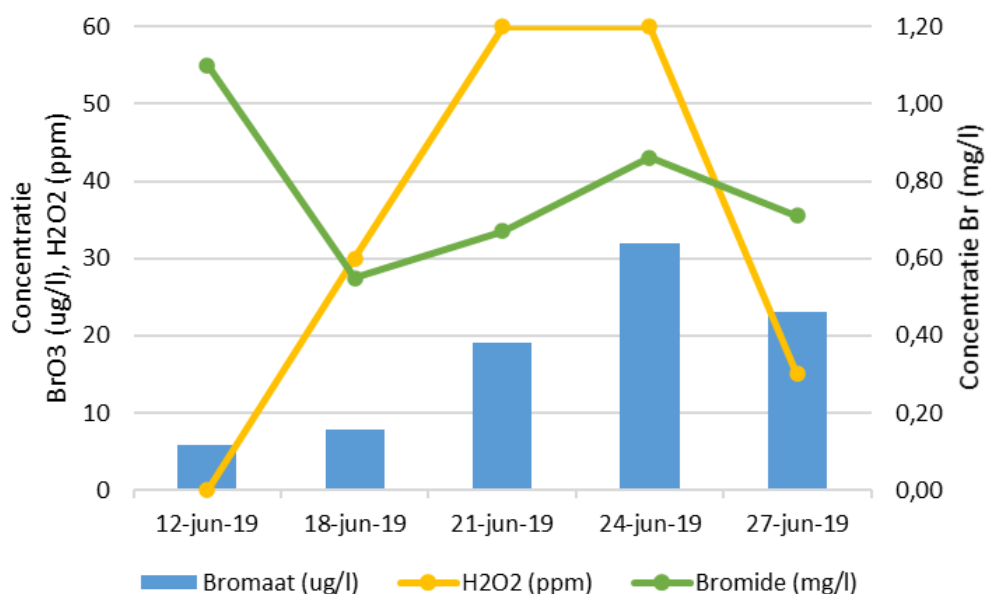
De geproduceerde bromaatconcentraties op de afzonderlijke bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek zijn in bijlage 27 weergegeven. Hieruit blijkt dat tijdens het vervolgonderzoek op 2 bemonsteringsdagen (27 en 29 mei) 9 µg/l bromaat aangetroffen werd bij een (lagere) O₃-dosis van 0,75 g O₃/g DOC. Op 4 bemonsteringsdagen (18, 21, 24 en 27 juni) met identieke O₃-dosis als bij de vergelijkende test (1,2 g O₃/g DOC) werd gemiddeld 21 µg/l bromaat gevonden (range 8-32 µg/l), maar op deze bemonsteringsdagen werd tevens H₂O₂ gedoseerd (15-60 ppm) wat de vergelijking lastig maakt.

Door het beperkte aantal bemonsteringsdagen en doordat de condities op deze bemonsteringsdagen niet identiek zijn aan de vergelijkende periode, is het effect van aanpassing van het doseerlocatie lastig vast te stellen. Het is wel duidelijk dat de aanpassing van de doseerlocatie niet heeft geleid tot sterke vermindering van de bromaatvorming.

5.3.2.2 H₂O₂ DOSERING: EFFECT OP BROMAATVORMING

De bromaatvorming in de O₃-pilot bij enkele H₂O₂-doseerconcentraties (0-60 ppm) is weergegeven in figuur 5.6. Deze resultaten zijn bij een specifieke O₃-dosering van 1,0 tot 1,2 g O₃/g DOC en een bromide concentratie in het afvalwater groter dan 0,5 mg/l.

FIGUUR 5.6 GEVORMDE BROMAATCONCENTRATIES IN DE OZON PILOT BIJ VERSCHILLENDE H₂O₂ DOSERINGEN, BIJ EEN O₃-DOSERING VAN 1,0 TOT 1,2 G O₃/G DOC EN EEN BROMIDEGEHALTE HOGER DAN 0,5 MG/L



Uit figuur 5.6 blijkt dat er nog steeds bromaat gevormd wordt. De bromaatconcentraties op de afzonderlijke meetdagen wisselen sterk hetgeen niet altijd goed verklaard kan worden. Zo is op 12 juni de bromaatconcentratie opvallend laag (6 µg/l), terwijl de bromideconcentratie op die dag juist hoog is (1,1 mg/l) en de voorgaande dagen geen RWA dagen waren. Er is geen duidelijke relatie tussen H₂O₂ dosering en bromaatvorming te zien. Op de 2 bemonsteringsdagen met de hoogste H₂O₂ dosering (60 ppm) worden hoge bromaat concentraties gevormd (19 en 32 µg/l). De gemiddelde bromaatconcentratie van de 4 bemonsteringsdagen met H₂O₂ dosering bedraagt 21 µg/l, hetgeen vergelijkbaar is met de waarnemingen tijdens de verge-

lijkende test. Uit deze resultaten blijkt dus niet dat H_2O_2 dosering leidt tot vermindering van bromaatproductie.

Op basis van het voorbereidende labonderzoek en de literatuur (12) was de verwachting dat de bromaatproductie lager zou worden door H_2O_2 -dosering. De resultaten van het beperkte aantal bemonsteringsdagen met H_2O_2 -dosering komen niet overeen met deze verwachting.

HYPOTHESE:

De vorming van bromaat verloopt via verschillende reactiemechanismen, dit is schematisch weergegeven in figuur 5.7. Een mogelijke verklaring voor de tegenvallende resultaten is dat de reactieroute (pathway 1) naar bromaat veel meer gaat optreden bij hoge dosering van H_2O_2 . Via deze route wordt bromide met hydroxylradicalen naar bromaat omgezet via meerdere tussenproducten. De laatste stappen in deze reactieroute zijn reacties van de tussenproducten met ozon naar bromaat. Indien er (te) veel H_2O_2 wordt gedoseerd, worden meer hydroxylradicalen gevormd en vervolgens worden meer tussenproducten gevormd. De kans wordt dan groter dat een tussenproduct nog een "restje" O_3 tegenkomt en doorreageert tot bromaat.

Bij lagere H_2O_2 -dosering zou de terugreactie naar bromide van de gevormde tussenproducten waaronder broomzuur van de reactieroute van bromide met O_3 (pathway 2) naar bromaat de overhand hebben.

FIGUUR 5.7 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE REACTIEROUTES VAN BROMIDE NAAR BROMAAT

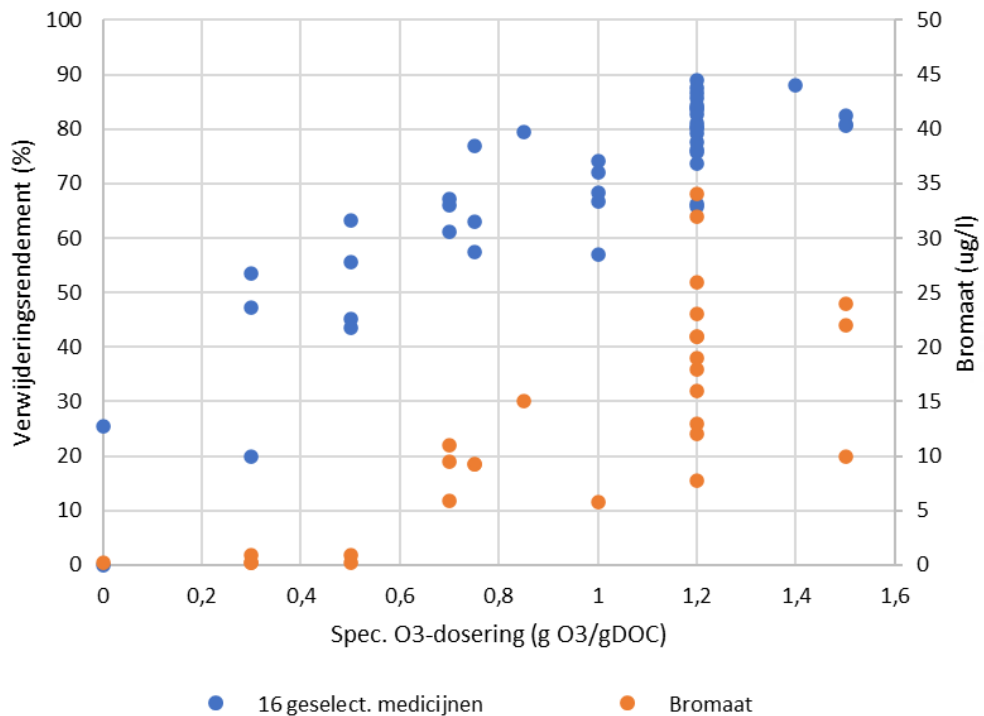


5.3.2.3 RELATIE SPECIFIEKE O_3 -DOSERING, VERWIJDERINGSRENDEMENT EN BROMAATVORMING

De verwijderingsrendementen en de bromaatconcentraties bij verschillende specifieke O_3 -doseringen zijn in bijlage 27 weergegeven voor de afzonderlijke bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek. De resultaten voor alle bemonsteringsdagen waarop het bromidegehalte hoger dan 0,3 mg/l was gedurende de gehele pilot testperiode (inregelperiode, vergelijkende test en vervolgonderzoek) zijn weergegeven in figuur 5.8. De omstandigheden tijdens het vervolgonderzoek verschillen niet van de inregelperiode en de vergelijkende test, daarom kunnen alle resultaten in één grafiek gecombineerd worden.

FIGUUR 5.8

GEVORMDE BROMAATCONCENTRATIES EN VERWIJDERINGSRENDEMENT MEDICIJNRESTEN (TEN OPZICHTE VAN HET EFFLUENT) BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN GEDURENDE DE VOLLEDIGE PILOTTTESTPERIODE VOOR ALLE BEMONSTERINGSDAGEN WAAROP HET BROMIDEGEHALTE MINIMAAL 0,3 MG/L WAS



Uit figuur 5.8 blijkt dat zowel het verwijderingsrendement als de bromaatproductie toenemen bij hogere specifieke O₃-dosering.

VERWIJDERINGSRENDEMENT

Om een verwijderingsrendement van 80% van de 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent te behalen, moet circa 1,2 g O₃/g DOC gedoseerd worden (dit was ook de aanbevolen instelling van Nijhuis Water Technology na de inregelperiode). Bij een dosering van 0,5 g O₃/g DOC wordt circa 50% rendement behaald.

BROMAATVORMING

In de effluentmonsters met bromide gehalten hoger dan 0,3 mg/l, wordt nauwelijks (<1 µg/l) bromaat geproduceerd bij specifieke O₃-doseringen van 0,5 g O₃/g DOC en lager. Boven een specifieke ozondosering van 0,5 g O₃/g DOC gaat bromaatvorming optreden. Aanvankelijk 5-10 µg/l bromaat bij 0,7 g O₃/g DOC, maar bij hogere O₃-doseringen lopen de concentraties verder op en zijn bromaatconcentraties boven 30 µg/l aangetroffen bij 1,2 g O₃/g DOC.

HYPOTHESE:

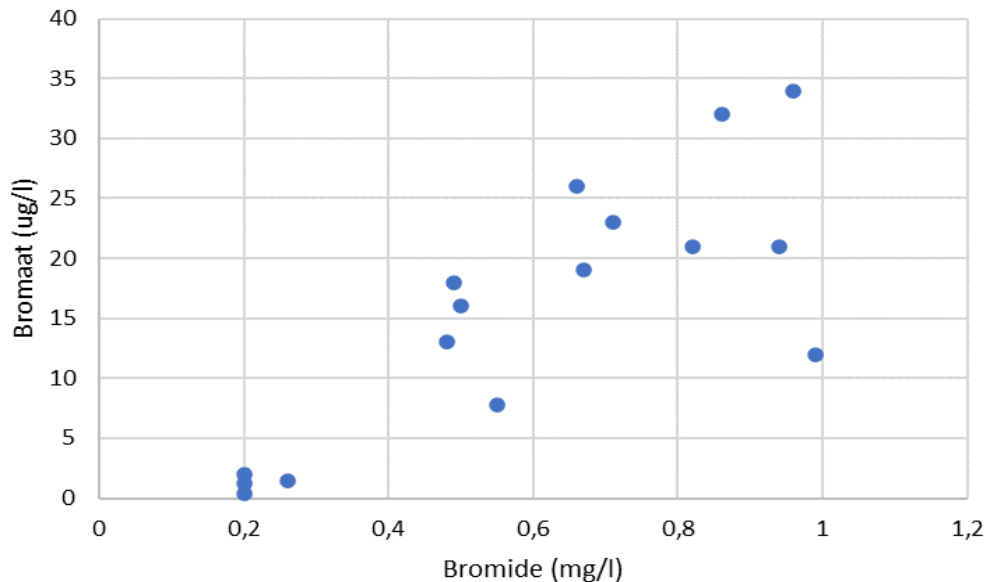
De DOC-componenten die snel reageren met O₃ worden eerst omgezet. De aanwezige O₃ reageert direct weg met de betreffende DOC-componenten en er is nauwelijks rest-O₃ gehalte in het water aanwezig. Deze snelle reactie verloopt tot circa 0,5 g O₃/g DOC, daarna zijn de meeste snel-afbreekbare componenten verbruikt (afhankelijk van de watermatrix). Daarna worden de componenten die wat minder snel reageren omgezet. Het verwijderingsrendement neemt minder snel toe en het O₃ gehalte (rest O₃) in het water zal toenemen. Opgelost ozon is beschikbaar voor reactie met alle aanwezige componenten. Bij een verhoogde concentratie opgelost O₃ is de kans op verdere transformatie van bromide naar bromaat ook verhoogd. Dat verklaart waarom boven een specifieke O₃-dosering van 0,5 g O₃/g DOC bromaatproductie gaat optreden.

5.3.2.4 RELATIE BROMIDECONCENTRATIE EN BROMAATVORMING

De bromaat en bromide concentraties van de afzonderlijke bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek zijn in bijlage 27 weergegeven. De bromaat en bromide concentraties van alle bemonsteringsdagen van de gehele pilot testperiode (inregelperiode, vergelijkende test en vervolgonderzoek) waarop de specifieke O_3 -dosering op 1,2 g O_3 /g DOC stond ingesteld, zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 5.9.

FIGUUR 5.9

GEVORMDE BROMAATCONCENTRATIES BIJ VERSCHILLENDE BROMIDECONCENTRATIES GEDURENDE DE VOLLEDIGE PILOTTSTPERIODE VOOR ALLE BEMONSTERINGSDAGEN WAAROP DE SPECIFIEKE O_3 -DOSERING STOND INGESTELD OP 1,2 G O_3 /G DOC



Uit figuur 5.9 blijkt dat de bromaatproductie toeneemt bij hogere bromide concentraties in het afvalwater. Bij een bromidegehalte onder 0,25 mg/l blijft de bromaatconcentratie onder 2 µg/l. Bij bromidegehalten boven 0,5 mg/l worden bromaatconcentraties boven 10 µg/l gevormd.

5.3.2.5 CONCLUSIES VERVOLGONDERZOEK O_3 -PILOT

- Toenemende specifieke O_3 -dosering levert hoger verwijderingsrendement, van de 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent.
 - Bij 0,5 g O_3 /g DOC → verwijderingsrendement 50%
 - Bij 1,2 g O_3 /g DOC → verwijderingsrendement 80%
- Toenemende specifieke O_3 -dosering leidt tot meer bromaatproductie.

Bij bromidegehalten > 0,3 mg/l:

 - Tot 0,5 g O_3 /g DOC → bromaat < 1 µg/l
 - Boven 0,5 g O_3 /g DOC → bromaatvorming, oplopend tot ruim 30 µg/l ⁷
- Toenemende bromide gehalten leiden tot meer bromaatproductie.

Bij specifieke O_3 -dosering 1,2 g O_3 /g DOC:

 - Tot 0,25 mg/l bromide → bromaat < 2 µg/l
 - Boven 0,25 mg/l bromide → bromaatvorming, oplopend tot ruim 30 µg/l ⁸
- Effectiviteit van H_2O_2 -dosering ter beperking van bromaatproductie is tijdens de pilottest niet aangetoond.
- Effectiviteit van aanpassing O_3 -doseerlocatie ter beperking van bromaatproductie is tijdens de pilottest niet aangetoond.

⁷ Bij specifieke ozondosering 1,2 g O_3 /g DOC en 1 mg/l bromide

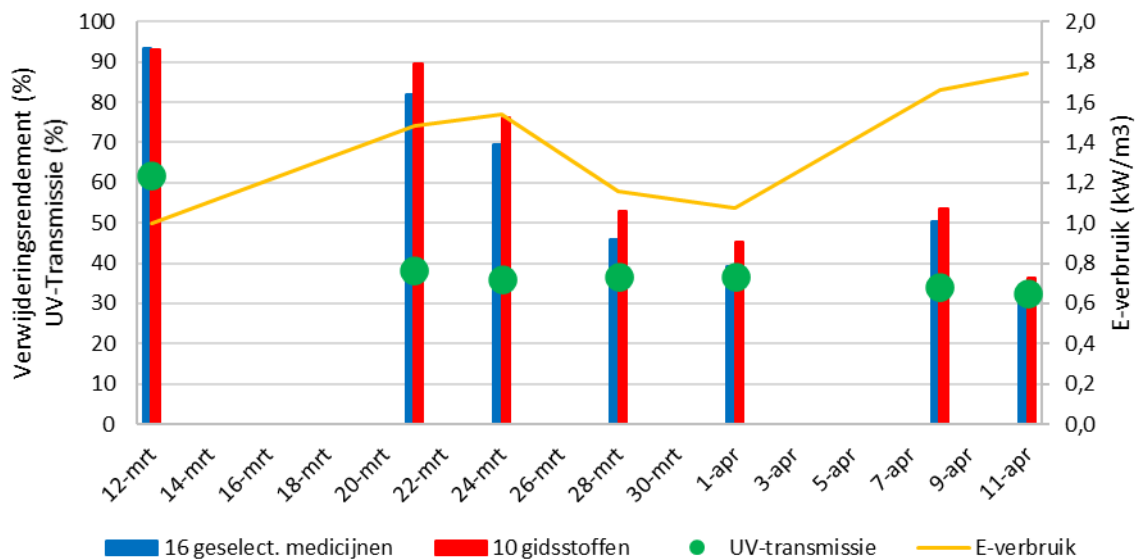
⁸ Bij 1 mg/l bromide

5.3.3 UV-PILOT

5.3.3.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT STREEFWAARDE 80%

Het eerste deel van het vervolgonderzoek met de UV-pilot heeft zich gericht op het behalen van de streefwaarde van 80% voor het verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent. Om dit te bereiken is op de eerste 3 bemonsteringsdagen (12, 21 en 24 maart 2019) een hoge UV-dosis ingesteld (18.000 J/m²). Op de eerste bemonsteringsdag (12 maart 2019) was de smart regeling nog niet in bedrijf genomen, na 12 maart 2019 is de “smart regeling” in bedrijf genomen, waarbij het debiet naar de UV-reactor geregeld wordt op basis van de UV-transmissie. Na 24 maart is de UV-dosis verlaagd naar 14.000 J/m². De verwijderingsrendementen en het energieverbruik van de UV-lampen zijn weergegeven in figuur 5.10. De setpoints voor de UV-dosis zijn weergegeven in bijlage 28. Ook de verwijderingsrendementen in de combinatie van de rwzi en de UV-pilot zijn weergegeven in bijlage 28.

FIGUUR 5.10 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNRESTEN EN 10 GIDSSTOFFEN⁹, DE UV-TRANSMISSIE VAN HET RWZI EFFLUENT EN HET ENERGIEVERBRUIK VOOR DE UV-LAMPEN IN DE UV-PILOT GEDURENDE HET VERVOLGONDERZOEK



Op de eerste bemonsteringsdag (12 maart 2019) was de smart regeling nog niet in bedrijf, en was de UV-transmissie van het effluent hoog (62%) ten gevolge van regen, hetgeen het relatief hoge rendement en lagere energieverbruik verklaart.

Uit figuur 5.10 blijkt dat de streefwaarde van 80% verwijdering gehaald wordt, op de eerste twee bemonsteringsdagen met een hoge UV-dosis van 18.000 J/m². Aangezien op de eerste bemonsteringsdag (12 maart) de UV-transmissie van het afvalwater relatief hoog was (62%) t.g.v. regen, bevestigt met name de tweede dag (21 maart) dat 80% haalbaar is bij een “gangbare” UV-transmissie van 38%. Het energieverbruik van de UV-lampen bedraagt dan circa 1,5 kWh/m³.

Bij de lagere UV-dosis (14.000 J/m², 28 maart t/m 11 april) wordt een verwijderingsrendement van 40-50% behaald, bij een energieverbruik van 1,1 tot 1,7 kW/m³. Bij constante UV-dosis varieert het energieverbruik per m³ verwerkt water omdat door de regeling het debiet verlaagd wordt bij lagere transmissie terwijl het aantal UV-lampen gelijk blijft.

Ondanks het hoge energieverbruik ligt het rendement op de laatste bemonsteringsdag (11-april) relatief laag. De reden hiervan is niet helemaal duidelijk, mogelijke verklaringen

⁹ De gidsstof propanolol is niet geanalyseerd

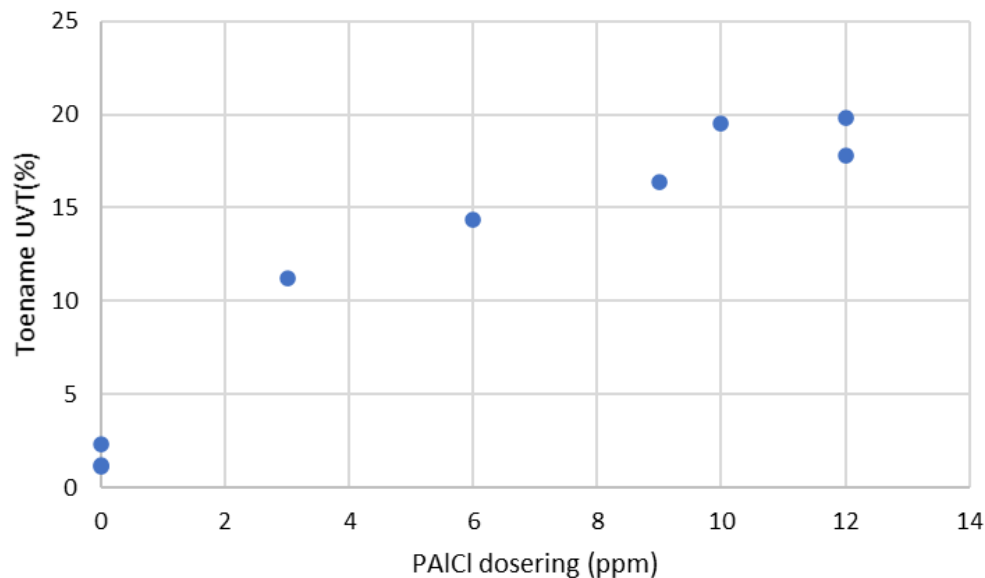
zijn de relatief erg lage UV-transmissie van het rwzi effluent op die dag (32%) maar vermoedelijk ook doordat de UV-lampen vervuild raakten en gereinigd moesten worden. Ook op 8 april zijn de prestaties al minder goed: weliswaar wordt een verwijderingsrendement van 50% behaald, maar wel bij een relatief hoog energieverbruik ten opzichte van de voorgaande dagen. Op 8 april was de UV-transmissie van het rwzi effluent ook relatief laag, en ook zou vervuiling van de UV-lampen al een rol kunnen spelen.

In bijlage 28 zijn de verwijderingsrendementen weergegeven van de combinatie van de rwzi plus de UV-pilot. Hieruit blijkt dat de verwijdering van de 10 gidsstoffen (exclusief propanol) steeds boven 70% ligt, uitgezonderd 11-april. Dit betekent dat het verwijderingsrendement van de 7 beste van de 11 gidsstoffen nog hoger zal liggen. Ook in de vergelijkende test lag het rendement van de gidsstoffen boven 70%.

5.3.3.2 VOORBEHANDELING TER VERHOOGING UV-TRANSMISSIE

Ter verhoging van de UV-transmissie werd het effluent van rwzi Aarle-Rixtel voorbehandeld met een zandfilter, waaraan coagulant gedoseerd kon worden. De UV-transmissie verhoging bij verschillende doseringen van coagulant (PAI_{Cl} = poly-aluminiumchloride) is weergegeven in figuur 5.11.

FIGUUR 5.11 VERHOOGING UV-TRANSMISSIE (%-PUNTEN) IN HET ZANDFILTER BIJ VERSCHILLENDE DOSEERCONCENTRATIES COAGULANT (PAI_{Cl} = POLY-ALUMINIUMCHLORIDE, UITGEDRUKT IN PPM AL)



Uit figuur 5.11 blijkt dat een verhoging van de UV-transmissie verkregen kan worden met een zandfilter in combinatie met coagulantdosering. Een verhoging van de UV-transmissie van 15-20 %-punten wordt bereikt bij 6-12 ppm PAI_{Cl} dosering. De metingen zijn gedaan in de periode 24 juni tot 4 juli, waarin de gemiddelde UV-transmissie van het afvalwater vóór het zandfilter 40% was.

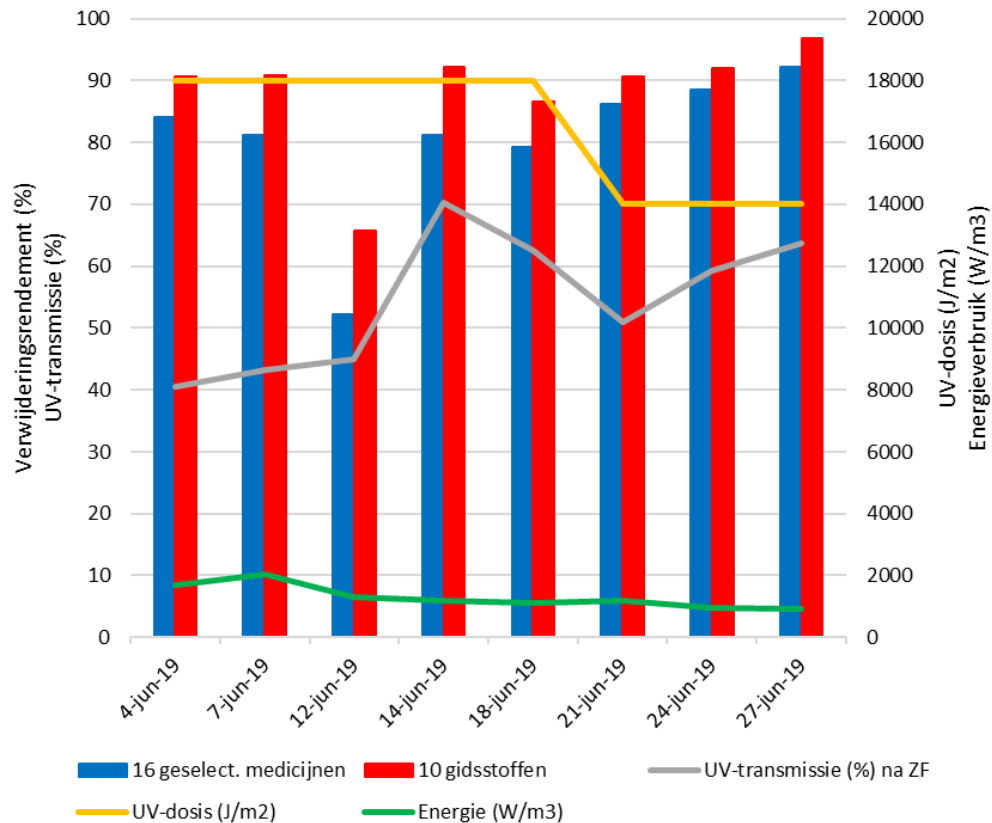
Indien er geen coagulant wordt gedoseerd dan blijft de verhoging van de UV-transmissie met alleen het zandfilter beperkt tot 1 á 2 %-punten.

5.3.3.3 MEDICIJNVERWIJDERING INCLUSIEF VOORBEHANDELING

De resultaten van de UV pilot met voorgeschakeld zandfilter met PAICI dosering worden in deze paragraaf besproken. Er zijn verschillende PAICI doseringen ingesteld, resulterend in verschil in UV-transmissie. Er zijn 2 instellingen van de UV dosis getest.

De verwijderingsrendementen van medicijnen op de verschillende bemonsteringsdagen zijn weergegeven in figuur 5.12. In de figuur zijn ook de UV-transmissie van het afvalwater, het energieverbruik van de UV-lampen en de ingestelde UV-dosis weergegeven.

FIGUUR 5.12 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN (T.O.V. RWZI EFFLUENT), DE UV-TRANSMISSIE VAN HET AFVALWATER NA HET ZANDFILTER (DE EERSTE 3 DAGEN ZONDER PALCL-DOSERING), DE INGESTELDE UV-DOSIS EN HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE UV-LAMPEN IN DE UV-PILOT GEDURENDE HET VERVOLGONDERZOEK



UV-TRANSMISSIE

Op de eerste 3 bemonsteringsdagen (4, 7 en 12 juni) werd geen coagulant (PAICI) gedoseerd, hetgeen ook blijkt uit de relatief lage UV-transmissie (40-45%) van het afvalwater. Daarna wordt wel coagulant gedoseerd, oplopend van 5 tot 12 ppm. De UV-transmissie van het afvalwater neemt hierdoor toe, en waarden van 60% worden bereikt.

VERGELIJKING BUISREACTOR MET PLUG-FLOW REACTOR

De resultaten van de eerste dagen zonder PAICI dosering bevestigen dat de buisreactoren vergelijkbare prestaties geven als de voorheen gebruikte plug-flow reactoren. Bij een hoge UV-dosis van 18.000 J/m² wordt ruim 80% verwijderingsrendement t.o.v. het effluent gehaald met een energieverbruik van de UV-lampen van 1,5-2 kW/m³ (4 en 7 juni).

Opvallend is dat het verwijderingsrendement op de 3^e dag (12 juni) tegenvalt t.o.v. de voorgaande dagen met hetzelfde setpoint voor UV-dosis. Het lagere rendement komt wel overeen met een lager energieverbruik. Voor het verschil met de voorgaande dagen met

hetzelfde setpoint voor de UV-dosis is niet direct een verklaring te geven. Wel trad op die dag een storing op aan de in-line UV-transmissie meting op de toe- en afvoer van het zandfilter en mogelijk heeft dit invloed gehad op de regeling van de UV-dosis, of is er door overdosering van PAIcI extra vervuiling op de UV-lampen opgetreden.

VERWIJDERINGSRENDEMENT, ENERGIEVERBRUIK EN UV-DOSIS

Door de voorbehandeling van het afvalwater met een zandfilter met PAIcI dosering verbetert de UV transmissie en is minder energie nodig om een gelijk verwijderingsrendement van medicijnresten te behalen, of wordt een hoger rendement behaald bij hetzelfde energieverbruik (zelfde aantal UV-lampen in bedrijf per m³ behandeld water).

Uit figuur 5.12 blijkt dat op alle bemonsteringsdagen waarop PAIcI wordt gedoseerd aan het zandfilter (14 t/m 27 juni), hoge verwijderingsrendementen worden behaald met minder energieverbruik dan zonder PAIcI dosering.

Voor de 16 geselecteerde medicijnen komt het gemiddelde verwijderingsrendement t.o.v. het effluent met PAIcI dosering op 83% en voor de 10 gidsstoffen (dus exclusief propanolol) op 89%, bij een UV-dosis van 14.000 en 18.000 J/m². Dit komt overeen met een energieverbruik van de UV-lampen van circa 1 kWh/m³, hetgeen vergelijkbaar is met de resultaten tijdens de vergelijkende test. Het verschil is dat er zonder voorbehandeling van het afvalwater tijdens de vergelijkende test slechts 41% verwijderingsrendement t.o.v. het effluent werd gehaald, en dat het verwijderingsrendement met voorbehandeling dus veel hoger (ruim 80%) ligt.

Uit figuur 5.12 blijkt ook dat voorbehandeling met PAIcI dosering leidt tot lager energieverbruik om hetzelfde rendement te behalen. Om ruim 80% verwijderingsrendement t.o.v. het effluent te behalen bij een UV-dosis van 18.000 J/m² bedraagt het energieverbruik zonder PAIcI dosering (4 en 7 juni) gemiddeld 1,9 kW/m³, terwijl met PAIcI dosering (14 en 18 juni) het energieverbruik veel lager is en 1,1 kW/m³ bedraagt. Dit is een besparing van 0,8 kW/m³. Gebaseerd op het energieverbruik van een zandfilter achter O₃ (2) wordt het energieverbruik van de voorbehandeling met het zandfilter geschat op 0,1 kW/m³.

Het verschil tussen een UV-dosis van 14.000 en 18.000 J/m² is op basis van de resultaten niet te bepalen. In figuur 5.12 ligt het verwijderingsrendement bij een UV-dosis van 18.000 J/m² gemiddeld (85%) iets lager dan bij 14.000 J/m² (91%), terwijl de verwachting juist is dat bij een hogere UV-dosis een hoger verwijderingsrendement wordt verkregen. Dit wordt verklaard doordat de UV-lampen op 19 juni chemisch gereinigd zijn, en dat daarna het setpoint voor de regeling van de UV-dosis is verlaagd van 18.000 J/m² naar 14.000 J/m². Daarnaast zou ook een rol kunnen spelen dat het zandfilter met PAIcI coagulant niet alleen de UV-transmissie verbetert, maar dat ook radical scavengers in het zandfilter met PAIcI dosering verwijderd worden. Na enkele weken procesvoering is het zandfilter wellicht beter ingeregeld en worden radical scavengers beter verwijderd, hetgeen een positief effect heeft op de effectiviteit van de oxidatieve technologie.

VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN COMBINATIE RWZI + UV-PILOT

De gemiddelde verwijderingsrendementen van medicijnen in de combinatie van de rwzi plus de UV-pilot, inclusief voorbehandeling met zandfilter, zijn per bemonsteringsdag weergegeven in figuur B28.3 in bijlage 28. Het gemiddelde verwijderingsrendement t.o.v. het effluent inclusief voorbehandeling en PAIcI dosering is voor de 16 geselecteerde medicijnen 93% en voor de 10 gidsstoffen (dus exclusief propanolol) ligt het gemiddelde op 93%. Het gemiddelde verwijderingsrendement van de 10 gidsstoffen ligt op alle afzonderlijke bemonsteringsdagen

dus ver boven de 70% t.o.v. het influent. Het rendement van 7 van de 11 gidsstoffen zal nog hoger liggen. Op basis van de resultaten valt niet te zeggen bij welke UV-dosis (of energieverbruik) 70% verwijderingsrendement t.o.v. het influent behaald wordt.

VERWIJDERINGSRENDEMENT IN ZANDFILTER

De gemiddelde verwijderingsrendementen van medicijnen in het zandfilter zijn per bemonsteringsdag weergegeven in figuur B28.4 in bijlage 28. Het gemiddelde verwijderingsrendement varieert per bemonsteringsdag en er komen zowel negatieve als positieve waarden voor. Het gemiddelde over alle bemonsteringsdagen bedraagt voor de 16 geselecteerde medicijnen -4% en voor de 10 gidsstoffen -3%. Hieruit volgt dat er geen verwijdering van medicijnen plaatsvindt in het zandfilter, en dat de verwijdering van medicijnen plaatsvindt in zowel de rwzi als in de UV-pilot.

5.3.3.4 BROMAAT

De resultaten van de bromaatanalyses in de afvoer van de UV-pilot liggen op de 7 bemonsteringsdagen van het eerste deel van het vervolgonderzoek in alle gevallen onder de rapportagegrens van 0,2 µg/l. Vanuit de gebruikte UV-pilot komt geen meetbare hoeveelheid bromaat in het effluent.

Dit komt overeen met de ervaring van de leverancier (van Remmen UV Technology), die geen situaties kent van bromaatvorming bij toepassing van lage druk UV-lampen. Bij toepassing van midden druk UV-lampen kan wel bromaatvorming plaatsvinden.

5.3.3.5 CONCLUSIES UV-PILOT

1. Verwijderingsrendement van 80% van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent is alsnog aangetoond.
2. Het bijbehorende energieverbruik van de UV-lampen is hoog (1,5kW/m³), omdat veel lampen benodigd zijn door de relatief lage UV-transmissie van het effluent.
3. De UV-transmissie van het afvalwater kan verhoogd worden met een zandfilter met coagulant-dosering. Dit resulteert in een lager energieverbruik of een hoger verwijderingsrendement;
 - a. Met 6-12 ppm coagulant (PAlCl) wordt een verhoging van de UV-transmissie bereikt van 15-20 %-punten, en wordt de UV-transmissie verhoogd van 40-45% tot 60%.
 - b. Met hetzelfde energieverbruik als bij de vergelijkende test (1 kW/m³) wordt nu ruim 80% verwijderingsrendement behaald van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent, terwijl bij de vergelijkende test slechts 41% rendement werd behaald.
 - c. De voorbehandeling resulteert in een lager energieverbruik, maar het energieverbruik blijft hoog.
4. In het zandfilter worden geen medicijnresten verwijderd.
5. Er is geen bromaat gemeten in het effluent van de UV-pilot na het katalysatorbed.

6

DOORVERTALING NAAR FULL-SCALE

Om de resultaten van de pilot te vertalen naar de praktijk worden de testresultaten op hoofdlijnen doorvertaald naar full scale installatie voor rwzi Aarle-Rixtel. Voor zover mogelijk wordt hierbij gebruik gemaakt van de informatie in Stowa rapporten (4, 9).

De resultaten van de vergelijkende test worden als eerste uitgangspunt gebruikt, het verwijderingsrendement is daarmee niet gelijk voor beide technieken (O_3 kwam op 86% en UV + H_2O_2 op 41% van de 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het rwzi effluent). Daarnaast zijn ook resultaten van het vervolgonderzoek gebruikt voor de doorvertaling naar full scale, hetgeen dan in de tekst vermeld is.

Bij opschaling wordt uitgegaan van een hydraulische capaciteit van de nageschakelde techniek van nominaal 2.000 m³/h en maximaal 3.000 m³/h. Deze capaciteit komt overeen met 1,4 x DWA (19, zie ook bijlage 23) en hiermee wordt 100% van de DWA-aanvoer behandeld, 80% van het jaarvolume en 84% van de jaarlijkse medicijnvracht.

6.1 CONFIGURATIE BIJ OPSCHALEN

O_3

Opschaling van pilot naar full scale vindt voornamelijk plaats door volumevergroting van de reactoren. Het uitgangspunt is dat er twee ozonreactoren en drie O_3 generatoren gebruikt worden.

Dit komt overeen met het ontwerp van bijvoorbeeld rwzi Aken en ook bij de doorrekening van rwzi Groote Lucht (9) is van deze configuratie uitgegaan.

De capaciteit van één ozonreactor is 1.500 m³/h en in principe zal per reactor één O_3 generator in bedrijf zijn. De extra O_3 generator is voor opvang van pieken en voor redundantie.

Het ontwerp van de ozon installatie van rwzi Groote Lucht (9) lijkt niet alleen qua configuratie (2 reactoren, 3 generatoren, diffusors etc) ook optimaal voor rwzi Aarle-Rixtel, maar bovendien komt de capaciteit goed overeen. De te behandelen effluenten van rwzi Groote Lucht en rwzi Aarle-Rixtel zijn qua debiet en DOC concentratie vergelijkbaar en de gewenste ozondosering (g O_3 /g DOC) is van dezelfde orde grootte. Daardoor zijn de benodigde en de maximaal beschikbare ozon-productie capaciteit qua orde grootte ook vergelijkbaar. In bijlage 29 zijn de uitgangspunten van het ontwerp van de ozon installatie van rwzi Aarle-Rixtel en Groote lucht in tabelvorm weergegeven.

UV + H_2O_2

Bij UV + H_2O_2 wordt opgeschaald door het aantal reactoren te vergroten. Bij de pilot werd gewerkt met vier in serie geschakelde plugflow reactoren met ieder 12 UV-lampen. Bij verwerking van 3.000 m³/h zijn 400 plugflow reactoren benodigd. Een alternatief is een CSTR met 48 UV lampen, waarvan 100 reactoren nodig zijn om 3.000 m³/h te verwerken. In beide gevallen zijn in totaal 4.800 UV-lampen benodigd.

6.2 ENERGIEVERBRUIK

Het energieverbruik van beide oxidatieve technologieën is ingeschat op basis van de resultaten van de pilot test en op basis van de kentallen die genoemd worden in het Stowa rapport (4). De inschatting van het energieverbruik wordt vooral gemaakt op basis van de benodigde dosis (O_3 of UV) tijdens de vergelijkende test en de belangrijkste energieverbruikers, en niet direct door het energieverbruik van de pilot installaties zelf tijdens de pilot test.

In het Stowa rapport (4) worden de volgende kentallen voor energieverbruik genoemd:

O_3	0,1 kWh/m ³
O_3 + bio	0,2 kWh/m ³
UV + H_2O_2	0,4 kWh/m ³

Ter referentie wordt het energieverbruik vergeleken met het energieverbruik van rwzi Aarle-Rixtel. Dit bedraagt de afgelopen jaren circa 0,2 kWh/m³.

De kentallen voor het energieverbruik van de nageschakelde technieken zijn relatief hoog in vergelijking met het energieverbruik van de rwzi Aarle-Rixtel.

Bij de O_3 -technologie is de O_3 -generator de belangrijkste verbruiker. Opvallend is het grote verschil tussen O_3 en O_3 + Bio ten gevolge van het nageschakeld biologische effluentfilter waarbij de toevoer- en terugspoelpompen belangrijke verbruikers zijn. De verwachting is dat de O_3 productie relatief meer energie zal vergen en dat de nageschakelde biostap minder energie verbruikt. Bij de UV + H_2O_2 technologie zal een groot deel van de energie verbruikt worden door de UV-lampen.

O_3 + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSSTAP

In het Stowa rapport van rwzi De Groote Lucht (9) wordt het energieverbruik van de ozon-technologie doorgerekend voor een full scale installatie op de rwzi De Groote Lucht. Hieruit wordt geconcludeerd dat de inschatting van het energieverbruik goed overeenkomt met de kentallen die in het Stowa rapport (4) worden genoemd. Aangezien de capaciteit, de specifieke O_3 -dosering en de watersamenstelling (DOC) van rwzi De Groote Lucht in dezelfde orde van grootte liggen als die van rwzi Aarle-Rixtel, kunnen de kentallen van het Stowa onderzoek ook gebruikt worden voor een grove inschatting van het energieverbruik op rwzi Aarle-Rixtel. Aldus zal het extra energieverbruik van O_3 (en O_3 + Bio) op orde grootte 0,1-0,2 kWh/m³ liggen, om een verwijderingsrendement t.o.v. het effluent van 80% te behalen. Dit betekent dat het energieverbruik op de zuivering Aarle-Rixtel met 50-100 % zal toenemen.

De pilot installatie op rwzi Aarle-Rixtel was voorzien van een kleine O_3 -generator waarmee maximaal 100 g O_3 /uur geproduceerd kon worden. Het energieverbruik wordt voornamelijk bepaald door de O_3 -generator en de koeling en bedraagt op pilot schaal 20 kW/kg O_3 . Op grote schaal (> 6 kg O_3 / uur) wordt een efficiëntere installatie gebruikt waarbij als kental voor energieverbruik 10 kW/kg O_3 wordt gehanteerd.¹⁰ Bij een specifieke O_3 -dosering van 1,2 g O_3 / g DOC resulteert dit in een energieverbruik van 0,36 kW/m³ tijdens de pilot test. Voor een full scale installatie komt het energieverbruik op 0,18 kW/m³ behandeld afvalwater. Deze waarde is hoger dan het kental uit het Stowa rapport en betekent een verdubbeling van het energieverbruik van de rwzi Aarle-Rixtel. Het energieverbruik van 0,18 kW/m³ behandeld afvalwater is gebruikt voor doorrekening van de kosten en de GER waarde.

¹⁰ Informatie leverancier (Nijhuis Water Technology) over energieverbruik pilot schaal en full scale

UV + H₂O₂

Tijdens de pilot test op rwzi Aarle-Rixtel bleek het energieverbruik van alleen de UV-lampen al fors hoger te liggen dan het kental van 0,4 kWh/m³ dat in het Stowa rapport (4) wordt genoemd. Tijdens de vergelijkende test werd 15 m³/h verwerkt met 24 UV-lampen van 600 W. Ofwel een energieverbruik van circa 1 kWh/m³. Dit betekent dat het energieverbruik op de rwzi Aarle-Rixtel met 500% zal toenemen. Bovendien werd met dit energieverbruik slechts een gemiddeld verwijderingsrendement van 41% behaald. Tijdens het vervolgonderzoek is de UV-dosis verder verhoogd en werd 80% verwijderingsrendement ten opzichte van het effluent behaald met een energieverbruik van 1,5 kWh/m³.

De oorzaak van het hoge energieverbruik is de lage UV-transmissie van het afvalwater. Indien de UV-transmissie van het afvalwater verhoogd wordt door bijvoorbeeld een voorbehandelingsstap, zal het energieverbruik minder hoog worden. Echter indien gestreefd wordt naar 80 % verwijderingsrendement zal het energieverbruik ook bij een hoge transmissie nog steeds hoog zijn. Zo was tijdens het vervolgonderzoek de UV-transmissie door voorbehandeling verhoogd tot 60%, en lag het energieverbruik om een verwijderingsrendement van 80% ten opzichte van het effluent te behalen op 1 kWh/m³ hetgeen nog steeds hoog is.

Ook waren er tijdens de vergelijkende test enkele RWA dagen met hogere UV-transmissie (60%) waarop weliswaar een rendement van 80% behaald werd, maar het energieverbruik van 1 kWh/m³ bedroeg.

6.3 CHEMICALIËN VERBRUIK**O₃ + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSSTAP**

Voor deze techniek worden geen chemicaliën gebruikt. Voor de productie van O₃ wordt zuurstof uit de lucht onttrokken. Dit is ook het uitgangspunt in het Stowa rapport "verkenning technologieën (4).

Bij grote installaties is het gebruik van vloeibare zuurstof een optie. Bij een omzettingsrendement van O₂ naar O₃ van 10%, een DOC concentratie in het effluent van 11 mg/l en een O₃ doseerconcentratie van 1,2 g O₃/g DOC, komt het zuurstofverbruik op 0,13 kg O₂/m³.

UV + H₂O₂

Het grootste verbruik aan chemicaliën is het verbruik aan H₂O₂. Daarnaast worden chemicaliën gebruikt bij de periodieke reiniging van de UV-lampen (o.a. citroenzuur), maar ten opzichte van het verbruik aan H₂O₂ is het verbruik aan reinigingschemicaliën klein.

In het Stowa rapport (4) wordt een kental van 0,02 kg/m³ genoemd voor chemicaliënverbruik. Tijdens de vergelijkende test is 30 ppm H₂O₂ gedoseerd, hetgeen een factor 1,5 hoger is dan het Stowa kental.

Het verbruik aan reinigingschemicaliën is beperkt t.o.v. het verbruik aan H₂O₂, maar zal wel een factor 2,5 x hoger liggen dan het uitgangspunt in Stowa rapport (4) doordat het aantal lampen bij opschaling naar full scale op rwzi Aarle-Rixtel een factor 2,5 x hoger ligt.

6.4 DUURZAAMHEID EN GER WAARDE

De (Gross Energy Requirement) GER waarde is een maat voor het bruto energieverbruik van de betreffende technologie. Bij de bepaling van de GER waarde wordt het chemicaliënverbruik meegenomen door deze uit te drukken in de bruto energie inhoud van de stof. De getallen die genoemd worden, zijn gebaseerd op grijze elektriciteit.

O₃ + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSSTAP

In paragraaf 6.2 is beschreven dat het energieverbruik van de O₃ techniek bij full scale toepassing op rwzi Aarle-Rixtel wat hoger ligt dan op rwzi Groote Lucht (9) en hoger is dan het kental uit het Stowa rapport (4). Het chemicaliënverbruik is vergelijkbaar, zie paragraaf 6.3., het eventuele verbruik aan vloeibare zuurstof is dus niet meegenomen. Door het hogere energieverbruik wordt de GER waarde ingeschat op 3,3 MJ/m³, hetgeen hoger is dan het Stowa kental (2,2 MJ/m³). Indien alleen O₃ wordt meegenomen komt de GER waarde op circa 2,2 MJ/m³, hetgeen ook hoger is dan het bijbehorende Stowa kental (1,5 MJ/m³).

UV + H₂O₂

In de voorgaande paragrafen (6.2 en 6.3) is een inschatting gegeven van het energie- en chemicaliënverbruik van de UV + H₂O₂ technologie. Daarnaast blijkt de GER waarde van deze technologie voornamelijk bepaald te worden door het energieverbruik (90%) en in mindere mate door het chemicaliënverbruik (10%) (4). Op basis daarvan wordt ingeschat dat bij toepassing van de UV + H₂O₂ technologie op full scale rwzi Aarle-Rixtel, de GER waarde een factor 2,5 x hoger is dan het kental (5,0 MJ/m³) dat genoemd wordt in het Stowa rapport (4), en uitkomt op circa 12,5 MJ/m³. Deze GER waarde is geschat voor een energieverbruik van 1 kW/m³ en dus voor een verwijderingsrendement van 41% van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent. Om 80% verwijdering te bereiken is 1,5 kW/m³ nodig, en wordt de GER waarde 18 MJ/m³.

6.5 CO₂ FOOTPRINT

6.5.1 STANDAARD REKENMODEL

De CO₂ footprint van de ozon en UV pilot is berekend met het standaard rekenmodel dat gebruikt wordt bij de “haalbaarheidsstudies verwijdering micro’s uit rwzi-afvalwater” van Stowa (Mirabella Mulder, versie 5, 26-10-2019). Dit model berekent de CO₂ footprint voor het zuiveren van communaal afvalwater in Nederland conform STOWA 2012-06 en gaat specifiek in op de CO₂ footprint voor verwijdering van microverontreinigingen.

Met dit model wordt de CO₂ footprints van enkele standaard technieken voor verwijdering van microverontreinigingen berekend, en deze kunnen worden vergeleken met de berekende CO₂ footprint van een extra toegevoegde techniek. De standaard technieken zijn:

- PACAS
- Nabehandeling rwzi effluent met ozon en zandfiltratie
- Nabehandeling rwzi effluent met GAK filtratie

In het rekenmodel kan steeds 1 extra techniek worden doorgerekend.

Uitgangspunten in het standaard rekenmodel zijn:

- standaard rwzi van 100.000 ie
- DOC=11 mg/l, dat komt ook redelijk overeen met rwzi AR
- PACAS: 15 mg/l dosering en behandeling 80% van het jaarvolume
- O₃ dosering 0,7 g O₃/g DOC, met zandfilter
- Behandeling van 70% van het jaarvolume via de nabehandeling

6.5.2 OZON

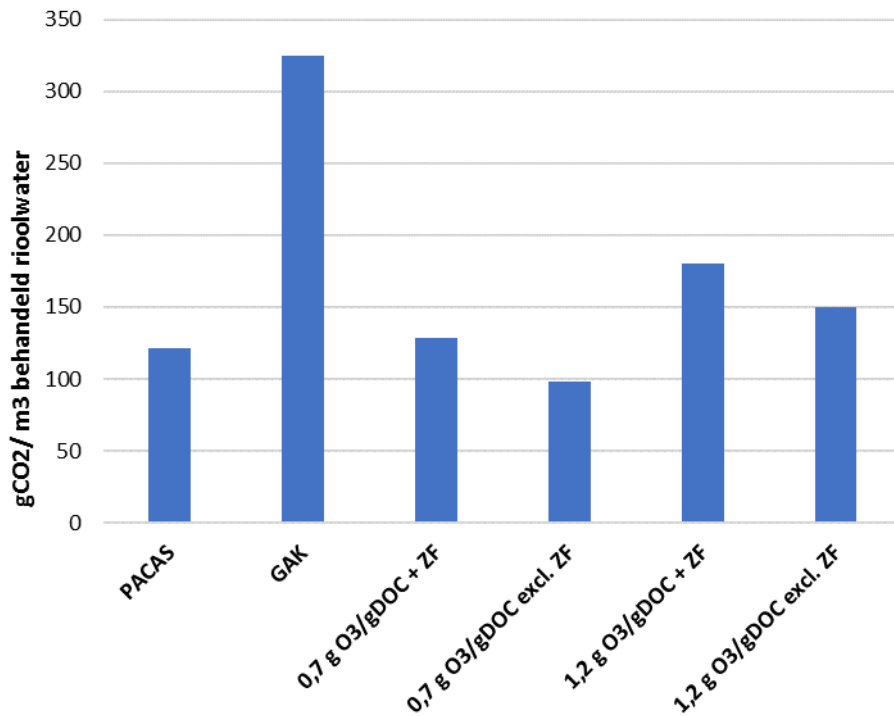
Op basis van de resultaten van de pilottest op rwzi Aarle-Rixtel zijn als extra varianten voor ozon alle onderstaande combinaties doorgerekend:

- Ozondosering: 0,7 en 1,2 gO₃/gDOC
- Ozon met en zonder zandfilter
- Verwerking van 70% en 85% van het jaardebiet

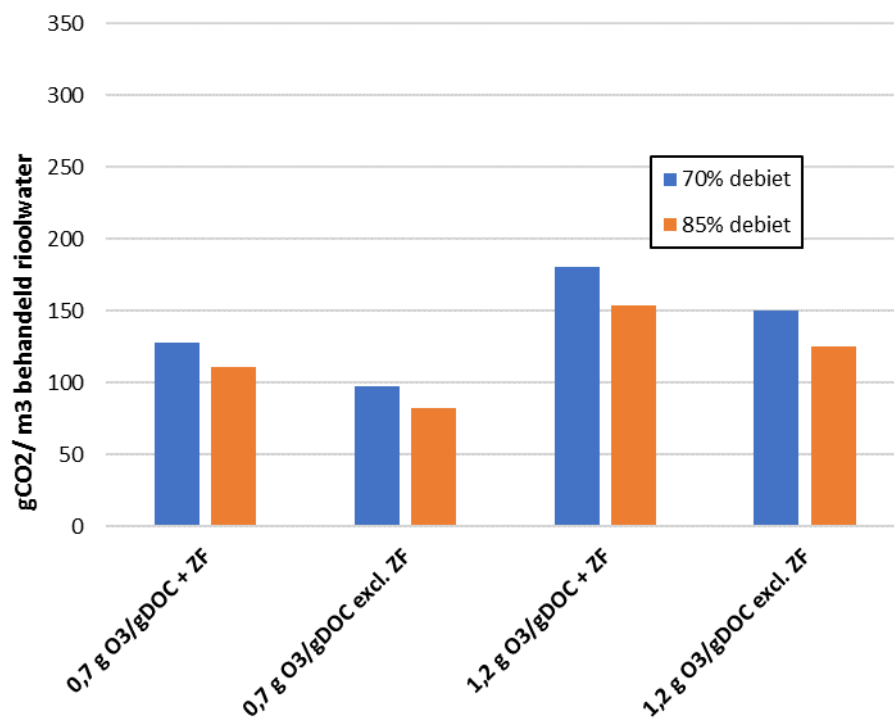
Bij de berekening van de CO₂ footprint van de O₃ techniek is uitgegaan van hetzelfde energieverbruik voor ozonproductie als de standaard variant, te weten 45 W/m³ voor menging, O₃-inbreng, warmte en koeling, en 10 KWh per kg geproduceerde O₃.

De resultaten zijn weergegeven in de figuren 6.1 en 6.2.

FIGUUR 6.1 CO₂ FOOTPRINT VAN DE STANDAARD VARIANTEN VOOR VERWIJDERING VAN MICROVERONTREINIGINGEN EN VAN DE OZONTECHNIEK MET EN ZONDER ZANDFILTER EN BIJ TWEE VERSCHILLENDE OZON DOSEERCONCENTRATIES, BIJ VERWERKING VAN 70% VAN HET JAARVOLUME



FIGUUR 6.2 CO₂ FOOTPRINT VAN DE OZONTECHNIEK MET EN ZONDER ZANDFILTER EN BIJ TWEE VERSCHILLENDE OZON DOSEERCONCENTRATIES, BIJ VERWERKING VAN 70% EN 85% VAN HET JAARVOLUME



Uit figuur 6.1 blijkt voor de standaard varianten:

- GAK heeft een erg hoge CO₂ footprint (325 gCO₂/m³) in vergelijking met PACAS (122 gCO₂/m³) en ozon 0,7 g O₃/gDOC + Zandfilter (122 gCO₂/m³)
- PACAS heeft een iets lagere CO₂ footprint dan 0,7 g O₃/gDOC + Zandfilter (namelijk 122 tov 128 g CO₂/m³)

Uit de figuren 6.1 en 6.2 blijkt voor de ozon varianten:

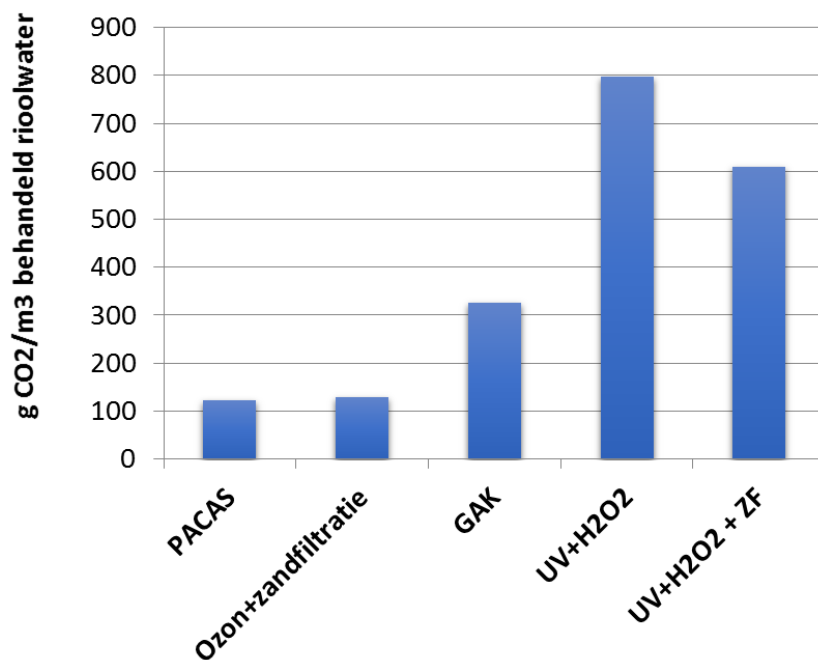
- Het zandfilter bij de standaard O₃ variant (70% jaardebiet verwerking, 0,7 gO₃/gDOC) levert een bijdrage van 30 g CO₂/m³, ofwel circa 25% van de CO₂ footprint. Zonder zandfilter daalt de CO₂ footprint tot 98 gCO₂/m³, waarmee de CO₂ footprint van deze variant lager wordt dan de CO₂ footprint van alle standaard varianten.
- Verhoging van de O₃-dosering van 0,7 naar 1,2 gO₃/gDOC) resulteert in een hogere CO₂ footprint. Met zandfilter komt deze variant op 180 g CO₂/m³ en zonder zandfilter op 150 gCO₂/m³. Dit is een verhoging van respectievelijk 40% en ca 50%. Met een ozondosering van 1,2 g O₃/ gDOC komt deze O₃ variant met of zonder zandfilter op een hogere CO₂ footprint dan de standaard PACAS variant (122 gCO₂/m³) maar blijft nog steeds aanzienlijk lager dan GAK.
- Verhoging van het ontwerpdebiet door de O₃-installatie resulteert in een lagere CO₂ footprint. Bij een debietsverhoging van 70% naar 85% van het jaarvolume, daalt de CO₂ footprint van de standaard O₃ variant (0,7 gO₃/gDOC) met zandfilter van 128 naar 111 gCO₂/m³ en zonder zandfilter van 98 naar 82 gCO₂/m³, en komt daarmee op de laagste CO₂ footprint van de beschouwde standaard varianten. Bij een hogere dosering van 1,2 gO₃/gDOC daalt de CO₂ footprint bij debietsverhoging van 70% naar 85% van 180 naar 154 gCO₂/m³ voor de variant met zandfilter, en van 150 naar 125 gCO₂/m³ zonder zandfilter. Dit laatste getal is vergelijkbaar met de CO₂ footprint van de standaard PACAS variant.

6.5.3 UV + H₂O₂

Op basis de resultaten van de pilottest op rwzi Aarle-Rixtel zijn extra varianten voor UV + H₂O₂ doorgerekend bij verwerking van 70% van het jaardebiet, met en zonder voorbehandeling. Daarbij is voor het energieverbruik van de UV-lampen 1,5 kW/m³ aangehouden bij de variant zonder voorbehandeling en 1 kW/m³ bij de variant met voorbehandeling. Met deze energieverbruiken van de UV lampen is tijdens de pilottest een verwijderingsrendement van medicijnresten van 80% t.o.v. het effluent behaald. De CO₂ footprint van de varianten is weergegeven in figuur 6.3.

FIGUUR 6.3

CO₂ FOOTPRINT VAN DE STANDAARD VARIANTEN VOOR VERWIJDERING VAN MICROVERONTREINIGINGEN EN VAN DE UV + H₂O₂ TECHNIEK MET EN ZONDER VOORBEHANDELING (ZANDFILTER MET COAGULANTDOSERING), BIJ VERWERKING VAN 70% VAN HET JAARVOLUME



Uit figuur 6.3 blijkt voor de UV + H₂O₂ varianten:

- De CO₂ footprint van UV + H₂O₂ bedraagt 800 gCO₂/m³ en ligt aanzienlijk hoger dan de overige standaard varianten. Het verschil bedraagt ruim een factor 6 t.o.v. de PACAS variant en de ozon variant, en een factor 2,5 t.o.v. de GAK variant.
- Toepassing van een voorbehandeling (zandfilter met coagulantdosering) levert een flinke verlaging van de CO₂ footprint (200 g CO₂/m³), maar de CO₂ footprint blijft desondanks een factor 5 hoger dan de standaard ozon en PACAS varianten en een factor 2 hoger t.o.v. de standaard GAK variant.

Opmerking:

De CO₂ footprint van de UV + H₂O₂ techniek met de settings van de vergelijkende test, waarbij 41% verwijderingsrendement werd behaald ten opzichte van het effluent met een energieverbruik van de UV lampen van 1 kW/m³, bedraagt 600 g CO₂/m³. Dit is een factor 5 hoger dan de standaard ozon en PACAS varianten en een factor 2 hoger t.o.v. de standaard GAK variant.

6.6 INVESTERING

O₃ + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSSTAP

In de vorige paragrafen is beschreven dat een full scale O₃-installatie op rwzi Aarle-Rixtel vergelijkbaar zal zijn met Groote Lucht aangezien de capaciteit, de specifieke O₃-dosering en de watersamenstelling (DOC) van rwzi Groote Lucht in dezelfde orde grootte liggen. In het Stowa rapport van rwzi De Groote Lucht (9) komt de investeringsraming van de O₃-installatie op rwzi De Groote Lucht op ca. €8 miljoen (incl. BTW). Een grove inschatting van de investering voor een full scale installatie op rwzi Aarle-Rixtel komt hoger uit en bedraagt op basis van de Stowa kentallen (4) € 10 miljoen en op basis van de resultaten van de pilot test bijna € 12 miljoen. De inschatting is weergegeven in bijlage 21. Indien er na de O₃-techniek ook nog een biologische nabehandelingsstap wordt toegepast, wordt de investering aanzienlijk hoger.

De investering voor een zandfilter op rwzi Aarle-Rixtel wordt geschat op ordegrrootte € 25 mln, waarmee de investering voor een ozon installatie met zandfilter uitkomt op ordegrrootte € 37 mln. Ten opzichte van de ozoninstallatie is de investering voor het zandfilter dus veel hoger. Een belangrijke vraag is daarom in hoeverre een biologische nabehandelingsstap noodzakelijk is na de oxidatieve technieken.

UV + H₂O₂

In samenwerking met de leverancier van Remmen is een hele grove inschatting van de investeringskosten gemaakt voor een full scale installatie op rwzi Aarle-Rixtel, welke in bijlage 21 is weergegeven. Indien uitgegaan wordt van de kentallen uit het Stowa rapport (4) komt de investering op circa €12 miljoen (incl BTW). Voor de full scale installatie gebaseerd op de resultaten van de pilottest komt de investering op €24 miljoen (incl.BTW). Het verschil wordt veroorzaakt doordat op basis van de pilotresultaten een factor 2,5 meer UV-lampen en reactoren benodigd zijn.

6.7 TOTALE KOSTEN PER M³ WATER

De totale kosten zijn te splitsen in kapitaalslasten (afschrijving, rente) en operationele kosten (energie- en chemicaliënverbruik, personeelskosten, onderhoud).

O₃ + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSSTAP

In de voorgaande paragrafen is al beschreven dat een full scale O₃-installatie op rwzi Aarle-Rixtel wat meer energie zal verbruiken dan op rwzi De Groote Lucht, dat het chemicaliënverbruik vergelijkbaar zal zijn en dat de investering hoger ligt in vergelijking met de rwzi De Groote Lucht. Voor rwzi De Groote Lucht (9) zijn de totale kosten doorgerekend, en deze komen op € 0,07 /m³. Dit komt goed overeen met het kental uit Stowa rapport (4). De totale kosten voor rwzi Aarle-Rixtel zullen hoger liggen dan het Stowa kental en zijn doorgerekend in bijlage 21.

In deze doorrekening bedragen de kosten € 0,12 /m³ voor zowel de variant o.b.v. de Stowa kentallen als de variant die gebaseerd is op de pilotresultaten met ozon-productie uit vloeibare zuurstof. Indien bij de variant die gebaseerd is op de pilot resultaten, net als de Stowa variant, wordt uitgegaan van ozonproductie uit lucht, dan liggen de kosten wat lager en komen uit op € 0,09 /m³.

Bij een biologische nabehandelingsstap met een zandfilter, waarvan de investering wordt geschat op € 25 mln, nemen de kosten toe met circa € 0,10 /m³, en komen dan uit op circa € 0,22 /m³ en € 0,19 /m³ voor een O₃-installatie met biologische nabehandelingsstap waarbij ozon wordt geproduceerd uit vloeibare zuurstof respectievelijk uit lucht.

UV + H₂O₂

Op basis van de voorgaande paragrafen kan beredeneerd worden dat de totale kosten per m³ voor een full-scale UV + H₂O₂ installatie hoger zullen zijn dan het kental (€0,14 /m³) in het Stowa rapport (4).

De belangrijkste kostenposten zijn de kapitaalslasten en de kosten voor energieverbruik. De kapitaalslasten zullen een factor 2 hoger liggen, en de energiekosten zullen 2,5 hoger liggen. Ook de kosten voor onderhoud (periodiek vervangen UV-lampen) en chemicaliën zullen hoger liggen dan het Stowa uitgangspunt,

Op basis daarvan is de verwachting dat de kosten minimaal een factor 2 hoger liggen dan het kental in het Stowa rapport (4).

In bijlage 21 zijn de kosten doorgerekend en deze komen op circa €0,29 /m³ hetgeen inderdaad

een factor 2 is. Deze kosten zijn alleen voor UV + H₂O₂, dus exclusief een voor- of nabehandelingstap.

6.8 KOSTEN PER INWONEREQUIVALENT

In de vorige paragraaf zijn de totale kosten per behandelde m³ berekend. Indien wordt aangenomen dat 80% van het gemiddelde jaardebiet (80% van 26.000.000 m³/jaar) via de oxidatieve technologie behandeld wordt, en dat de capaciteit van rwzi Aarle-Rixtel 300.000 i.e. bedraagt, dan kunnen de kosten ook uitgedrukt worden per inwonerequivalent (i.e.).¹¹

O₃

De nabehandelingstap met alleen O₃, waarbij O₃ wordt geproduceerd uit vloeibare zuurstof of uit lucht, resulteert in een toename van de kosten van ca € 8,32 respectievelijk € 6,24 per inwonerequivalent. Dat is circa 15% stijging ten opzichte van het huidig tarief.

O₃ + BIOLOGISCHE NABEHANDELINGSTAP

De nabehandelingstap met O₃ en een biologisch zandfilter, waarbij O₃ wordt geproduceerd uit vloeibare zuurstof of uit lucht, resulteert in een toename van de kosten van ca € 15,25 respectievelijk € 13,17 per inwonerequivalent. Dat is circa 25 - 30% stijging ten opzichte van het huidig tarief.

UV + H₂O₂

De nabehandelingstap met UV + H₂O₂ resulteert in een toename van de kosten van ca € 20,10 per inwonerequivalent. Dat is circa 40% stijging ten opzichte van het huidig tarief.

¹¹ De kosten zijn uitgedrukt per i.e. voor alleen de rwzi Aarle-Rixtel. De kosten voor de aanvullende techniek op rwzi Aarle-Rixtel zijn dus niet doorberekend naar het tarief voor de overige rwzi's van WSAM.

7

CONCLUSIE

In paragraaf 7.1 zijn de hoofdconclusies van de pilot test beschreven. In de paragrafen daarna worden de conclusies in meer detail weergegeven. Bovendien zijn in bijlage 15 nog enkele overige bevindingen en conclusies van de vergelijkende test beschreven.

7.1 HOOFDCONCLUSIE VERGELIJKING OXIDATIEVE TECHNIEKEN

Op basis van deze pilot test is ozon (+ biologische nabehandeling) een meer aantrekkelijke technologie voor de verwijdering van medicijnresten uit het effluent van rwzi Aarle-Rixtel dan UV + H₂O₂.

Ozon gevolgd door een biologische nabehandeling (O₃ + Bio) scoort beter op het gebied van verwijderingsrendement: met O₃ + Bio wordt met een specifieke ozondosering van 1,2 g O₃/ g DOC een verwijderingsrendement van 86% van 16 geselecteerde medicijnen behaald ten opzichte van het reguliere rwzi effluent, waarmee het doel van 80% verwijdering ten opzichte van het effluent ruimschoots gehaald wordt. Voor 7 van de 11 gidsstoffen is het rendement met O₃ + Bio t.o.v. influent zelfs 97% bij verwerking van het volledige effluent-debiet. Bij een ontwerpcapaciteit van de nabehandelingsstap van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een rendement behaald van 90% ten opzichte van het influent voor 7 van de 11 gidsstoffen.

Bij UV + H₂O₂ was tijdens de vergelijkende test het gemiddelde rendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent slechts 41%. Wel werd met UV + H₂O₂ het rendement van 70% op de gidsstoffen bereikt t.o.v. het influent van de rwzi: bij verwerking van het volledige effluent-debiet wordt 84% rendement behaald, en bij een ontwerpcapaciteit van de nabehandelingsstap van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een rendement van 78% behaald.

In het vervolgonderzoek bleek een verwijderingsrendement van ruim 80% van de 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. effluent wel haalbaar door verhoging van de UV-dosis van 11.000 naar 18.000 J/m².

O₃ + Bio scoort ook beter op andere aspecten. Ondanks het veel hogere behaalde rendement ligt het energie- en chemicaliënverbruik voor O₃ aanzienlijk lager dan UV + H₂O₂, evenals de kosten en de investering.

Het merendeel van de afzonderlijke medicijnen wordt door O₃ + Bio beter verwijderd dan door UV + H₂O₂. Qua röntgencontrastmiddelen en andere bijvangst-stoffen zuivert UV + H₂O₂ soms wel beter dan O₃ + Bio.

Bij O₃ + Bio is de bromaatvorming een belangrijk aandachtspunt, hetgeen beperkt dient te worden.

Bromaatvorming is onder controle ($< 2 \mu\text{g/l}$) te houden door de maximale specifieke O_3 -dosering aan te passen aan het bromide gehalte in het afvalwater.

Dit betekent wel dat zonder aanvullende maatregelen een verwijderingsrendement van 80% t.o.v. effluent niet haalbaar is bij hoge bromide gehalten in het afvalwater omdat dan de specifieke O_3 -dosering wordt verlaagd. Een verwijderingsrendement van 70% op de gidsstoffen t.o.v. het influent van de rwzi blijft wel haalbaar indien een lagere O_3 -dosering van 0,5-0,7 g O_3 / g DOC wordt aangehouden. Bij een ontwerpcapaciteit van de nabehandeling van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een gemiddeld rendement van 90% behaald ten opzichte van het influent behaald op 7 van de 11 gidsstoffen.

Bij UV + H_2O_2 is het belangrijkste aandachtspunt het hoge energieverbruik, die het gevolg is van de lage UV-transmissie van het effluent waardoor veel UV-lampen nodig zijn om de gewenste UV-dosis te bereiken. Het energieverbruik is te beperken door het afvalwater voor te behandelen met een zandfilter met coagulantdosering, waardoor de UV-transmissie van het afvalwater toeneemt, maar het energieverbruik en de kosten blijven relatief hoog.

Beide technieken zijn effectief in verlaging van de ecotoxiciteit van het afvalwater. De berekende Simoni-score laat een reductie zien van 50-75%, echter deze resultaten moeten beschouwd worden als een globale indicatie omdat de onderzoeksmethode nog in ontwikkeling is voor toepassing op rwzi effluent en er slechts een beperkt aantal monsters geanalyseerd is.

7.2 OVERZICHTSTABEL

De belangrijkste resultaten en parameters van beide oxidatieve technologieën tijdens de vergelijkende test zijn in overzichtstabel 7.1 weergegeven, zodat de technologieën gemakkelijk vergeleken kunnen worden. In deze tabel zijn ook de resultaten van alleen O_3 -technologie opgenomen zodat voor beide technologieën alleen de oxidatieve stap vergeleken kan worden, dus in beide gevallen geen biologische nabehandeling.

TABEL 7.1 OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE RESULTATEN VAN BEIDE OXIDATIEVE TECHNOLOGIEËN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST EN DE HIERUIT BEREKENDE INDICATIEVE KENMERKEN VOOR EEN FULL SCALE NABEHANDELINGSINSTALLATIE MET EEN CAPACITEIT VAN 1,4 X DWA

	Eenheid	O_3	O_3 + Bio	UV + H_2O_2
Verwijderingsrendement:				
16 geselecteerde medicijnen (t.o.v. effluent)	%	86 ¹⁾	86	41 ²⁾
7 van de 11 gidsstoffen (t.o.v. influent)				
• Volledig effluent behandeld	%	97 ¹⁾	97	84
• 80% (1,4 x DWA) behandeld	%	90 ¹⁾	90	78
Energieverbruik	kWh/m ³	0,2	0,3	1,0
Chemicaliënverbruik		0,13 kg O_2 /m ³	0,13 kg O_2 /m ³	H_2O_2 : 0,03 kg/m ³ , Reinigingschemicaliën
GER-waarde	MJ/m ³	2,2	3,3	12,5
CO₂ footprint bij 70% effluentbehandeling	gCO ₂ /m ³	150	180	600
Eco-toxiciteit reductie	%	50-75	50-75	50-75
Investering	€	12 mln	37 mln ³⁾	24 mln
Totale kosten ⁴⁾	€/m ³	0,12 ⁵⁾	0,22 ⁵⁾	0,29
Aandachtspunten		Bromaat-productie	Bromaat-productie	Energieverbruik

1. Met aanname dat in bio-stap geen verwijdering van medicijnen plaats vindt
2. Hoger rendement (85 %) op 2 dagen met relatief hoge UV-transmissie (circa 60%) in het rwzi effluent tgv verdunning met regenwater (UV-Transmissie op DWA dagen circa 40%). Ook bij verhoging UV-transmissie (circa 60%) middels voorbehandeling met zandfilter en coagulant-dosering, worden rendementen boven 80% behaald tijdens het vervolgonderzoek.
3. Afhankelijk van type nabehandeling: schatting is voor biologisch zandfilter investering, de investering voor bioreactor met slib op drager is wellicht lager.
4. Voor een zuivering met een capaciteit van circa 300.000 inwonerequivalent.
5. Bij O₃ productie uit lucht: bij O₃: €0,09/m³, bij O₃+ Bio: €0,19/m³

7.3 OZON + BIOLOGISCHE NABEHANDELING

Op basis van de resultaten van de inregelperiode is de vergelijkende test uitgevoerd met een specifieke O₃-dosering van 1,2 g O₃/g DOC. Op deze instelling is een hoog verwijderingsrendement gehaald, en is gebleken dat bromaat een serieus aandachtspunt is.

VERWIJDERINGSRENDEMENT

- Het doel van minimaal 80% verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent is behaald. Tijdens de vergelijkende test was het gemiddelde verwijderingsrendement 86%.
- De streefwaarde van het Ministerie van IenW van 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen t.o.v. het influent, is ruimschoots gehaald. Tijdens de vergelijkende test is een gemiddeld verwijderingsrendement van 97% behaald, bij verwerking van het volledige effluentdebiet, en bij een ontwerpcapaciteit van de nabehandelingsstap van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een rendement behaald van 90% ten opzichte van het influent voor 7 van de 11 gidsstoffen.
- Een hogere specifieke O₃-dosering levert een hoger verwijderingsrendement. Bij het vervolgonderzoek werd bij 0,5 g O₃/g DOC een rendement van de 16 geselecteerde medicijnen van circa 50% behaald ten opzichte van het effluent, en bij 1,2 g O₃/g DOC werd ruim 80% verwijderingsrendement behaald.

AANDACHTSPUNT: BROMAAT

Tijdens de vergelijkende test is gebleken dat:

- Op DWA dagen wordt gemiddeld 19 µg/l bromaat gevormd (range 13-27 µg/l), hetgeen veel hoger is dan de drinkwaternorm (drinkwaterbesluit: 1 µg/l, na desinfectie met ozon 5 µg/l).
- Op DWA dagen is een relatief hoge bromide concentratie aanwezig in het afvalwater van rwzi Aarle-Rixtel (ordegrootte 0,5-0,9 mg/l), hetgeen bromaatvorming bevordert.
- Op RWA dagen wordt nauwelijks bromaat geproduceerd (< 1 µg/l), doordat t.g.v. verdunning een lagere bromide concentratie aanwezig is (< 0,3 mg/l).
- Bij lagere specifieke O₃ dosering (t.g.v. storing en tijdens de inregelperiode) wordt minder bromaat geproduceerd.

Bij het vervolgonderzoek is de relatie bepaald tussen bromaatvorming en de specifieke O₃-dosering en het bromide gehalte in het afvalwater. Bromaatvorming neemt toe bij toenemende specifieke O₃-dosering en bij toenemend bromide gehalte in het afvalwater.

Bromaatvorming is onder controle (< 2 µg/l) te houden door de maximale specifieke O₃-dosering, en daarmee de streefwaarde voor maximaal verwijderingsrendement, aan te passen aan het bromidegehalte in het afvalwater.

Zolang het bromide gehalte onder 0,25 mg/l ligt, kan een specifieke ozondosering van 1,2 g O₃/g DOC worden toegepast en kan een hoog rendement (80% van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. effluent) worden verkregen. Bij bromidegehalten tussen 0,25 en 1,0 mg/l dient de

ozondosering verlaagd te worden tot 0,5 g O₃ / g DOC om bromaatvorming te beperken. Dan kan een rendement van 50% (16 geselecteerde medicijnen t.o.v. effluent) worden verkregen, hetgeen nog steeds overeenkomt met een rendement hoger dan 70% van de 7 beste van de 11 de gidsstoffen t.o.v. het influent.

De effectiviteit van H₂O₂-dosering ter beperking van bromaatvorming is tijdens de pilottest niet aangetoond.

Betreft enkele andere aspecten zijn de volgende conclusies getrokken:

ENERGIE EN CHEMICALIËN

- De resultaten van de vergelijkende test liggen wat hoger dan de kentallen zoals genoemd in Stowa rapport 2017-36 (4) en 2018-46 (9).
- Het energie verbruik van alleen O₃ bedraagt circa 0,2 kWh/m³ en van de combinatie O₃ + Bio 0,3 kWh/m³. Dit is een toename van het huidige energieverbruik van rwzi Aarle-Rixtel van respectievelijk 100 en 150%.
- Er worden geen extra chemicaliën verbruikt indien O₃ uit lucht wordt geproduceerd. Bij gebruik van vloeibare zuurstof wordt circa 13 kg O₂ /m³ verbruikt.

KOSTEN EN INVESTERING

- De resultaten van de vergelijkende test liggen wat hoger dan de kentallen zoals genoemd in Stowa rapport 2017-36 (4) en 2018-46 (9).
- De investering voor een O₃-installatie met 3.000 m³/h capaciteit (=1,4 x DWA), waarmee 80% van het jaarvolume wordt behandeld en waarmee een gemiddeld verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen van 90% wordt behaald ten opzichte van het influent, bedraagt ordegrrootte € 12 miljoen, en voor een combinatie van O₃ met biologische nabehandeling circa € 37 miljoen. De investering voor de nabehandelingsstap is dus veel hoger dan de investering voor de oxidatieve techniek.
- De kosten voor behandeling van het effluent met alleen O₃ bedragen € 0,12 per m³ bij productie van O₃ uit vloeibare zuurstof. Voor behandeling van het effluent met de combinatie van O₃ met biologische nabehandeling bedragen de kosten circa € 0,22 per m³.

OVERIGE CONCLUSIES

- Sommige medicijnen worden zeer effectief met O₃ verwijderd (bijvoorbeeld diclofenac), terwijl andere stoffen veel minder goed worden afgebroken (metformine).
- In de biologische nabehandelingsstap (MBBR, bioreactor met slib op drager) worden geen medicijnen verwijderd. Het effect op ecotoxiciteit door afbraak van transformatieproducten van geavanceerde oxidatie is nog onduidelijk. De verwijdering van BZV is gering, en er is geen nutriëntenverwijdering waargenomen in de bioreactor.

7.4 UV + H₂O₂

Op basis van de resultaten van de inregelperiode is de vergelijkende test uitgevoerd op de volgende instellingen:

- 15 m³/h effluent
- 2 van de 4 UV-reactoren in bedrijf, met ieder 12 UV-lampen
- 30 ppm H₂O₂ dosering

Bij een UV-transmissie van het afvalwater van 60% komt dit overeen met een UV-dosis van 17.000 J/m² en bij een UV-transmissie van 40% resulteert dit in een UV-dosis van 11.000 J/m². Op deze instelling lag het verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent op de helft van de gewenste waarde, en bleek het energieverbruik erg hoog te liggen. Oorzaak van het tegenvallende rendement en het hoge energieverbruik is de lage UV-transmissie (circa 40%) van het afvalwater.

VERWIJDERINGSRENDEMENT

- Het doel van minimaal 80% verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent is niet behaald tijdens de vergelijkende test. Het gemiddelde verwijderingsrendement was 41%.
- De streefwaarde van het Ministerie van IenW van 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen t.o.v. het influent is ruimschoots gehaald. Tijdens de vergelijkende test is een gemiddeld verwijderingsrendement van 84% behaald bij verwerking van het volledige effluentdebiet, en bij een ontwerpcapaciteit van de nabehandelingsstap van 1,4 x DWA, waarbij 80% van het jaarvolume wordt behandeld, wordt een rendement van 78% behaald.
- De oorzaak van het tegenvallende verwijderingsrendement is de lage UV-transmissie van het afvalwater waardoor veel UV-lampen benodigd zijn om op de gewenste UV-dosis te komen. Op 2 dagen met relatief hogere UV-transmissie (circa 60%) t.g.v. regenval werd wel een verwijderingsrendement van 85% behaald. Tijdens het vervolgonderzoek is de UV-transmissie verhoogd door voorbehandeling van het afvalwater, en werd ook een hoog rendement (80%) behaald.
- Tijdens het vervolgonderzoek is een verwijderingsrendement van 80% van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent alsnog aangetoond door de UV-dosis verder te verhogen. Het bijbehorende energieverbruik van de UV-lampen is hoog (1,5 kW/m³) omdat veel lampen benodigd zijn door de relatief lage UV-transmissie van het effluent.

ENERGIEVERBRUIK

- Het energieverbruik tijdens de pilot test lag hoger dan het kental dat genoemd wordt in Stowa rapport 2017-36 (4).
- Het energieverbruik tijdens de vergelijkende test bedraagt circa 1 kWh/m³, hetgeen een factor 2,5 hoger is dan het Stowa kental. Dit is een toename van het huidige energieverbruik van rwzi Aarle-Rixtel van 500%. Met dit energieverbruik wordt een gemiddeld verwijderingsrendement van 41% verkregen van de 16 geselecteerde stoffen ten opzichte van het effluent.
- Het energieverbruik bij een verwijderingsrendement van 80% bedraagt 1,5 kWh/m³.
- Door voorbehandeling met een zandfilter met coagulantdoserings (6-12 ppm PAlCl) is de UV-transmissie van het effluent verhoogd met 20 %-punten van 40-45% tot 60%. Bij hetzelfde energieverbruik van de UV-lampen als bij de vergelijkende test (1 kW/m³) wordt dan ruim 80% verwijderingsrendement behaald van 16 geselecteerde medicijnen ten opzichte van het effluent. Het energieverbruik is echter nog steeds relatief hoog.

Betreft enkele andere aspecten zijn de volgende conclusies getrokken:

CHEMICALIËNVERBRUIK

- Het chemicaliënverbruik tijdens de vergelijkende test lag wat hoger dan het kental dat genoemd wordt in Stowa rapport 2017-36 (4).
- De chemicalie die vooral verbruikt wordt is H₂O₂. De dosering bedraagt 30 mg/l hetgeen

een factor 1,5 x hoger is dan het Stowa kental. Daarnaast worden chemicaliën gebruikt bij de periodieke reiniging van de UV-lampen.

KOSTEN EN INVESTERING

- De berekende kosten en investering op basis van de resultaten van de vergelijkende test liggen hoger dan de kentallen zoals genoemd in Stowa rapport 2017-36 (4).
- De investering voor een UV + H₂O₂-installatie met 3.000 m³/h capaciteit, bedraagt orde-grootte € 24 miljoen, hetgeen een factor 2 hoger is dan berekend o.b.v. kentallen Stowa. Het verschil wordt veroorzaakt doordat 2,5 x zoveel UV-lampen en reactoren nodig zijn
- De kosten voor behandeling van het effluent bedragen € 0,29 per m³. Dit is 2 x zo hoog als het kostenkental uit het Stowa rapport.
- Opmerking: met deze investering/ kosten wordt een gemiddeld verwijderingsrendement van 41% verkregen van de 16 geselecteerd stoffen t.o.v. het effluent. De kosten en de investering zullen nog hoger zijn bij een verwijderingsrendement van 80%.
- De voorbehandeling van afvalwater is een extra kostenpost. Gebaseerd op de kosten voor een zandfilter achter O₃ (4, en zie bijlage 21) bedragen de extra kosten voor behandeling van water in een zandfilter circa € 0,10/m³.

OVERIGE CONCLUSIES

- Sommige medicijnen worden zeer effectief met UV + H₂O₂ verwijderd (bijv. diclofenac), terwijl andere stoffen veel minder goed worden afgebroken (metformine).
- Overmaat aan H₂O₂ wordt effectief in het katalysatorbed verwijderd.
- Röntgencontrastmiddelen worden door UV + H₂O₂ beter verwijderd dan door O₃.
- In het voorgeschakeld zandfilter worden geen medicijnresten verwijderd.

7.5 MEDICIJNRESTENVERWIJDERING IN DE RWZI

In de rwzi zelf werd gedurende de pilottest een gemiddeld verwijderingsrendement van 40% behaald van 16 geselecteerde medicijnen.

8

AANBEVELINGEN

VERWIJDERINGSRENDEMENT

Aanbevolen wordt om te bepalen welk verwijderingsrendement van medicijnresten op welke zuivering gewenst is in relatie tot de aanvaardbare concentratie in het oppervlaktewater per stof (mede in relatie tot eventuele drinkwaterproductie benedenstrooms) en de gewenste reductie van ecotoxicologische effecten. Dit is bepalend voor techniekkeuze, de doseringen en de capaciteit van de installatie, en heeft invloed op de aandachtspunten van de technologieën (bromaatvorming, energieverbruik).

OZON: BROMAATVORMING BEPERKEN

Aanbevelingen voor de O₃ techniek zijn met name gericht op het beperken van de bromaatproductie. Een aantal aanbevelingen die uit de resultaten van de vergelijkende test volgden, zijn in het vervolgonderzoek reeds verder onderzocht. Uit de pilot test worden de volgende aanbevelingen gedaan om bromaatvorming te beperken:

- Specifieke O₃-dosering, en daarmee de streefwaarde voor verwijderingsrendement, verlagen, afhankelijk van het bromidegehalte in het afvalwater.
- Een “strengonderzoek” uitvoeren om de herkomst van het hoge bromidegehalte in het afvalwater van rwzi Aarle-Rixtel te achterhalen, en de mogelijkheden ter reductie van het bromidegehalte te bepalen.
- Onderzoeken of middels H₂O₂ dosering de bromaatvorming alsnog beperkt kan worden op “andere condities” dan getest tijdens het vervolgonderzoek.
- Onderzoeken of de bromaatvorming beperkt kan worden door een andere ozon doseermethode (diffusor i.p.v. injectie).
- Onderzoek naar de mogelijkheden om gevormd bromaat te verwijderen uit het behandelde water.

UV + H₂O₂: ENERGIEVERBRUIK BEPERKEN

Aanbevelingen voor de UV + H₂O₂ techniek zijn met name gericht op verlaging van het energieverbruik. Een aantal aanbevelingen die uit de resultaten van de vergelijkende test volgden, zijn in het vervolgonderzoek reeds verder onderzocht. Uit de pilot test worden de volgende aanbevelingen gedaan om het energieverbruik te beperken:

- Toepassing van voorbehandeling van het afvalwater middels een zandfilter met coagulantdosering (PAlCl), ter verhoging van de UV-transmissie.
- Een “strengonderzoek” uitvoeren om de herkomst van de slechte transmissie van het afvalwater van rwzi Aarle-Rixtel te achterhalen, en de mogelijkheden ter verbetering van de transmissie te bepalen.
- Onderzoek naar mogelijkheden ter verdere verlaging van het energieverbruik, zoals energiezuinige UV-lampen, effectievere voorbehandeling, optimale reactorconfiguratie, herkomst lage UV-transmissie.

BIOLOGISCHE NABEHANDELING NA OXIDATIEVE TECHNOLOGIE

De ozon pilot was voorzien van een biologische nabehandelingsstap ter verwijdering van eventueel gevormde schadelijke metabolieten. Tijdens de pilot is de werking van deze stap niet aangetoond.

Aanbevolen wordt om de noodzaak van de biologische nabehandeling verder te onderzoeken. De investering voor een biologisch zandfilter is erg hoog in verhouding tot de investering voor de oxidatieve techniek, daarom dient de noodzaak van een nabehandelingsstap goed afgewogen te worden.

COMBINATIE MET NUTRIËNTENVERWIJDERING

Bij toepassing van een technologie ter verwijdering van medicijnresten wordt aanbevolen om de mogelijkheden te onderzoeken om dit te combineren met nutriëntenverwijdering.

VOORONDERZOEK OZON TOEPASSING: BROMIDE CONCENTRATIE

Om het risico op bromaatvorming vooraf in te schatten bij de toepassing van ozon op een rwzi, wordt aanbevolen om eerst het bromide gehalte in het afvalwater te bepalen.

VOORONDERZOEK UV + H₂O₂ TOEPASSING: UV-TRANSMISSIE

Om een inschatting te krijgen van de hoeveelheid benodigde UV-lampen en het bijbehorende energieverbruik bij toepassing van UV + H₂O₂ op een rwzi, wordt aanbevolen om eerst de UV-transmissie van het rwzi effluent te bepalen.

LITERATUURLIJST

1. Moermond, C.T.A. e.a., Geneesmiddelen en waterkwaliteit, RIVM Briefrapport 2016-0111
2. Bannink, A. e.a., Jaarrapport 2018, RIWA-Maas
3. Schoffelen, N. Geneesmiddelen rwzi's Aa en Maas, 2018
4. Stowa 2017-36, Verkenning technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater
5. Morgenschweis, C., Verwijdering van medicijnresten op rwzi's komt dichterbij, Land+Water 2017-9
6. Versteegh, J.F.M., e.a., Bromaat tijdens de drinkwaterproductie en in drinkwater, RIVM 1995
7. Stowa 2018-02, PACAS - Poederkooldosering in actiefslib voor verwijdering van microverontreinigingen
8. Stowa 2013-W01, Watergerelateerde emissies vanuit rwzi's in het kader van de iPRTR
9. Stowa 2018-46, Zoetwaterfabriek awzi De Groote Lucht: pilotonderzoek ozonisatie en zandfiltratie
10. EU richtlijn, Proposal for a Regulation of the European parliament and of the council on minimum requirements for water reuse, 2018
11. WSAM, Jaarverslag rwzi's 2013
12. Solterman, F. e.a., Options and limitations for bromate control during ozonation of wastewater, 2016
13. Evenblij, H. e.a., Rangschikking rwzi's op basis van metingen aan geneesmiddelen, H₂O Water Matters, September 2019
14. Yurkanis Bruice, P. Organic chemistry, 2001
15. Stowa 2018-67, Proof of concepten laboratoriumonderzoek verwijdering microverontreinigingen uit rwzi effluent met het O₃-step filter
16. Ecofide, Handreiking uitvoeren van biologische effectmonitoring bij vergaande zuivering van rwzi-effluenten, versie 0.6, 2019
17. Stowa 2016-15, Ecologische Sleutel factor Toxiciteit
18. Presentatie bij STOWA excursie naar Duitsland, november 2019
19. Stowa 2020-06, Verwijdering van organische microverontreinigingen

BIJLAGEN

- BIJLAGE 1: THEORIE O₃, DIRECTE REACTIE
- BIJLAGE 2: THEORIE UV + H₂O₂
- BIJLAGE 3: UV + H₂O₂: AFBRAAK DOOR FOTOLYSE EN OXIDATIE
- BIJLAGE 4: RWZI AARLE-RIXTEL, BLOKSCHEMA EN BELANGRIJKSTE EQUIPMENT
- BIJLAGE 5: P&ID PILOT O₃
- BIJLAGE 6: P&ID PILOT UV + H₂O₂
- BIJLAGE 7: ANALYSES AQUON
- BIJLAGE 8: HCK METHODE VERSUS VOLKERT BAKKER METHODE
- BIJLAGE 9: MEDICIJNCONCENTRATIES IN RWZI INFLUENT EN EFFLUENT
- BIJLAGE 10: MEDICIJNCONCENTRATIES IN RWZI EFFLUENT: STEEKMONSTERS VERSUS VERZAMELMONSTERS
- BIJLAGE 11: RESULTATEN INREGELPERIODE O₃-PILOT
- BIJLAGE 12: VERWIJDERINGSRENDEMENT PER BEMONSTERINGSDAG
- BIJLAGE 13: RELATIE UV-TRANSMISSIE EN DOC, EN RELATIE UV-TRANSMISSIE EN VERDUNNING
- BIJLAGE 14: RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGSDAG (SELECTIE)
- BIJLAGE 15: OVERIGE CONCLUSIES
- BIJLAGE 16: BROMIDE EN BROMAAT TIJDENS INREGELPERIODE
- BIJLAGE 17: ECOTOXICITEIT (SIMONI), INDIVIDUELE TESTEN
- BIJLAGE 18: PNEC EN DBS WAARDEN
- BIJLAGE 19: STIKSTOF, FOSFOR, CZV EN BZV
- BIJLAGE 20: BIJVANGST OVERIGE COMPONENTEN
- BIJLAGE 21: INVESTERING EN KOSTEN
- BIJLAGE 22: RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGSDAG (TOTAAL)
- BIJLAGE 23: WEBTOOL STOWA 2020-06, DWA DEBIET, RWA BYPASS ETC
- BIJLAGE 24: VERWIJDERING GIDSSTOFFEN IN RWZI
- BIJLAGE 25: RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN NIJHUIS WATER TECHNOLOGY
- BIJLAGE 26: RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN REMMEN UV TECHNOLOGY + JOTEM WATERBEHANDELING
- BIJLAGE 27: RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN O₃-PILOT
- BIJLAGE 28: RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN UV-PILOT
- BIJLAGE 29: ONTWERPUITGANGSPUNTEN FULL SCALE OZON-INSTALLATIE

BIJLAGE 1

THEORIE O₃, DIRECTE REACTIE

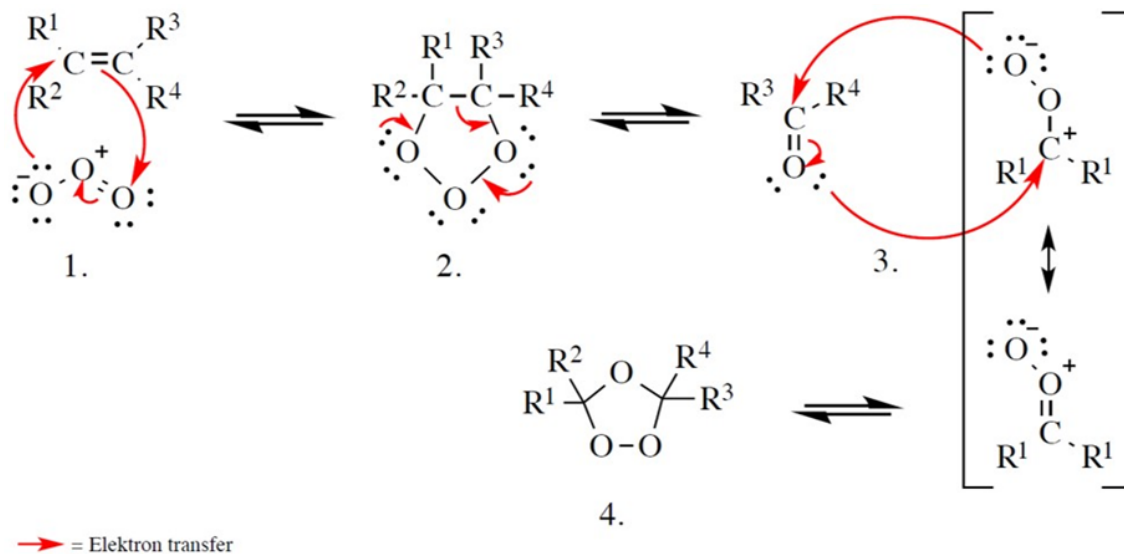
In hoofdstuk 2.1.1. is beschreven dat bij de oxidatie met ozon twee reacties optreden, namelijk de directe reactie met O₃ en de indirecte reactie met hydroxylradicalen. In deze bijlage is wat meer achtergrond van de directe reactie beschreven.

Directe reactie:

De directe reactie is de reactie waarbij O₃ als oxidator reageert met de reactant. O₃ is selectief en heeft een voorkeur voor groepen met een hoge electronendichtheid. Bij de reactie tussen O₃ en het elektronrijke medicijn, zal O₃ elektronen opnemen die door het medicijn worden gedoneerd en zal een binding worden gevormd. Voorbeelden van deze groepen zijn o.a. alkenen (π-bindingen) en aromaten (π-bindingen). Medicijnen waar deze groepen in aanwezig zijn, zullen relatief goed verwijderd worden door de directe reactie met O₃. De directe reactie met overige verbindingen (o.a. bromide) zal in veel mindere mate plaatsvinden, hetgeen ook afhankelijk is van de concentratie O₃ en de concentratie van de diverse aanwezige reactanten. Naar schatting reageert 70% van de ozon via de directe reactie.

In figuur B1.1 is het reactiemechanisme weergegeven van een ozonolyse reactie, waarbij O₃ reageert met een alkeen en een ozonide als eindproduct ontstaat.

FIGUUR B1.1 REACTIEMECHANISME VAN EEN OZONOLYSE REACTIE



Het reactiemechanisme bestaat uit vier verschillende stappen.

Stap 1: Bij deze reactie heeft O₃ zowel een elektrofiel als nucleofielkarakter. Het elektrofiële zuurstofatoom van O₃ zal (π) elektronen opnemen van het ene koolstofatoom van de alkeen. Het nucleofiele zuurstofatoom van O₃ zal elektronen doneren aan het andere koolstofatoom van de alkeen. Hierdoor wordt een ringstructuur gevormd, namelijk een molozide (zie stap 2).
Stap 2: De molozide structuur is instabiel. Als gevolg hiervan vindt intramoleculaire verschuiving van vrije elektronenparen plaats, waardoor het molecuul zal worden opgesplitst in een keton en carbonyloxyde (zie stap 3).

Stap 3: Deze twee gevormde groepen zullen weer met elkaar reageren doordat de carbonyloxide resonantiestructuren bevat en dipool-dipool ladingen ontstaan.

Stap 4: De reactie van stap 3 resulteert in een ozonide molecuul, wat tevens het eindproduct is (14).

Andere groepen die goed reageren met O_3 zijn gesubstitueerde benzeenringen met hydroxylgroepen, aminegroepen en etherverbindingen omdat deze groepen sterk activerend zijn (15). Dit betekent dat deze groepen elektronen doneren aan de benzeenring, waardoor de ring geactiveerd is. Wanneer deze groepen elektronen doneren aan de benzeenring, zal O_3 deze groepen aanvallen vanwege de resulterende positieve lading in de groep. In dit geval zal O_3 elektronen doneren.

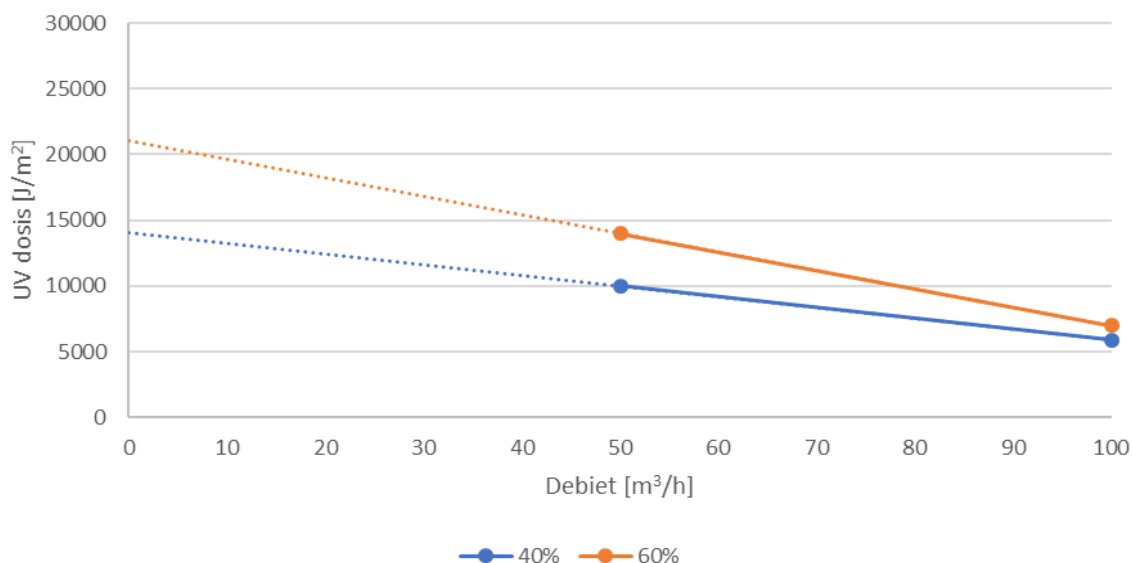
BIJLAGE 2

THEORIE UV + H₂O₂

In hoofdstuk 3.3. is beschreven dat het verwijderingsrendement afhankelijk is van de UV-dosis, en dat de UV-dosis wordt bepaald door de intensiteit van de straling en de bestralingstijd. Daarmee is de UV-dosis ook afhankelijk van de reactor configuratie. Van Remmen heeft verschillende typen reactoren die ingezet kunnen worden, afhankelijk van de toepassing, de samenstelling van het water en het gewenste rendement. De verschillende typen reactoren zijn een buisreactor met één UV-lamp, een plug flow reactor met 12 UV-lampen en een tank reactor met 48 UV-lampen.

Van deze reactoren is door middel van CFD modelering de relatie tussen UV-dosis en het debiet bepaald voor enkele combinaties van debiet en UV-transmissie. Onderstaande figuur B2.1 geeft de resultaten weer van de CFD-modelering van de 4 in serie geschakelde plug flow reactoren. Deze grafiek is gemaakt middels CFD modelering voor vier meetpunten, te weten een combinatie van twee verschillende debieten (50 m³/h en 100 m³/h) en twee verschillende transmissies (40% en 60%).

FIGUUR B2.1 RELATIE TUSSEN UV DOSIS EN DEBIET VOOR 4 IN SERIE GESCHAKELDE PLUG FLOW REACTOREN, BIJ TWEE VERSCHILLENDE TRANSMISSIES (40% EN 60%) GEMAAKT MIDDELS EEN CFD MODELERING (BRON: VAN REMMEN)



Het verband tussen de UV-dosis en het debiet is in een geïdealiseerd geval, dat niet corrigeert voor hydraulische effecten, lineair. Volgens de eerder gepresenteerde formule zal de UV-dosis verdubbelen bij halvering van het debiet (en dus verdubbeling van de bestralingstijd). Om een inschatting te verkrijgen van de UV-dosis bij een bepaald debiet, kan een lineair verband tussen de meetpunten aangenomen worden. Deze aanname is alleen binnen marges bruikbaar, bij een relatief hoog, of relatief laag, debiet zal de verandering in hydrauliek ook invloed hebben op de dosis. Hiervoor wordt in deze vereenvoudigde lineaire relatie niet gecorrigeerd.

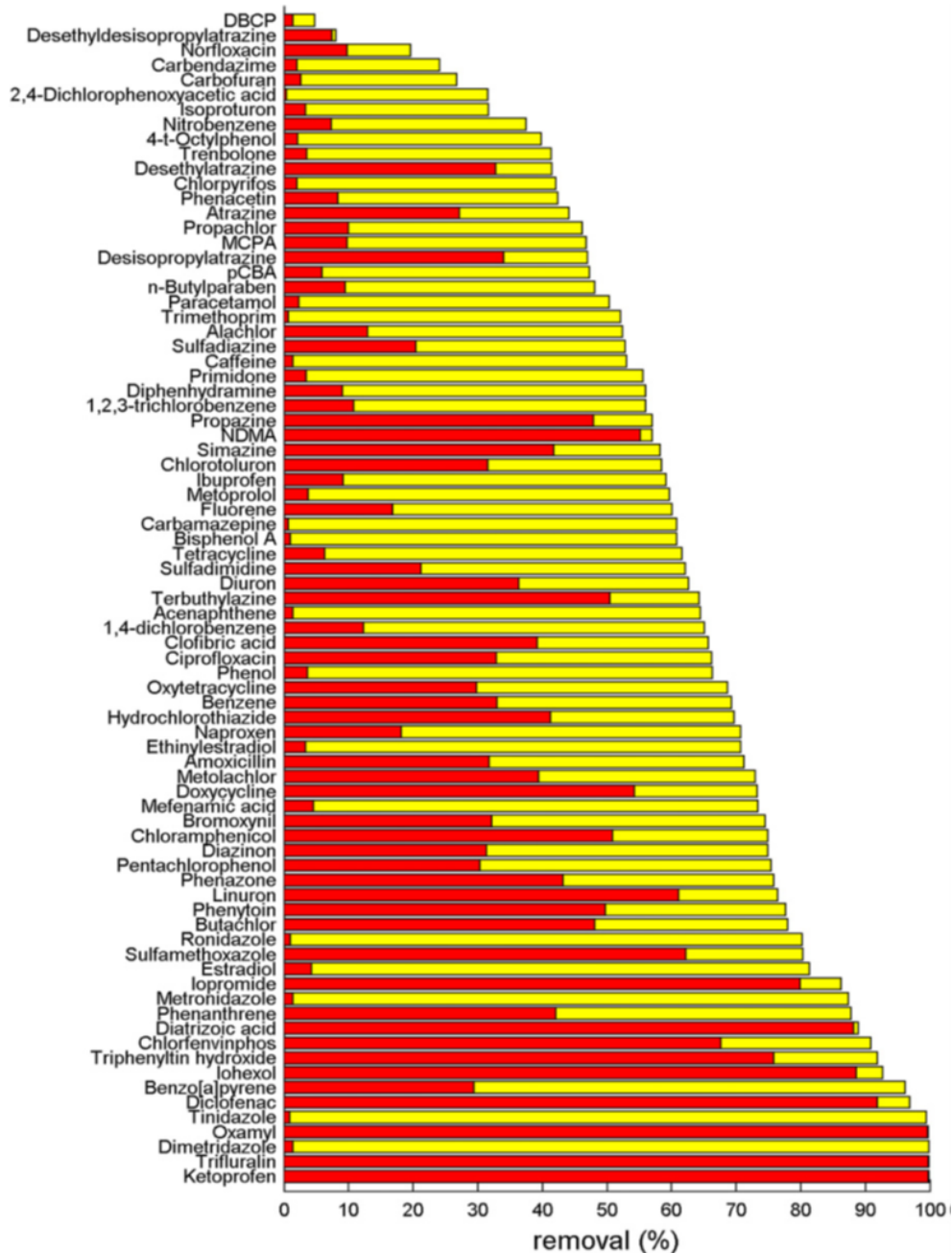
Om de UV dosis te bepalen bij een andere transmissie dan 40% of 60%, kan op basis van de twee lijnen in de grafiek een schatting worden gemaakt. Echter omdat de transmissie ook het lichtbeeld beïnvloedt en in extreem lage gevallen lichtdode, of in extreem hoge gevallen overlap van lichtgebieden oplevert, is het belangrijk voorzichtig te zijn met deze schatting. Wanneer debiet en/of transmissie sterk afwijken, is het uitvoeren van een CFD calculatie de enige manier om een precieze UV-C dosis te bepalen. Hiermee wordt gecorrigeerd voor lichtspreading, verblijftijd en verblijftijdspreiding en andere zaken waarin een lineair model tekort schiet.

BIJLAGE 3

UV+H₂O₂: AFBRAAK DOOR FOTOLYSE EN OXIDATIE

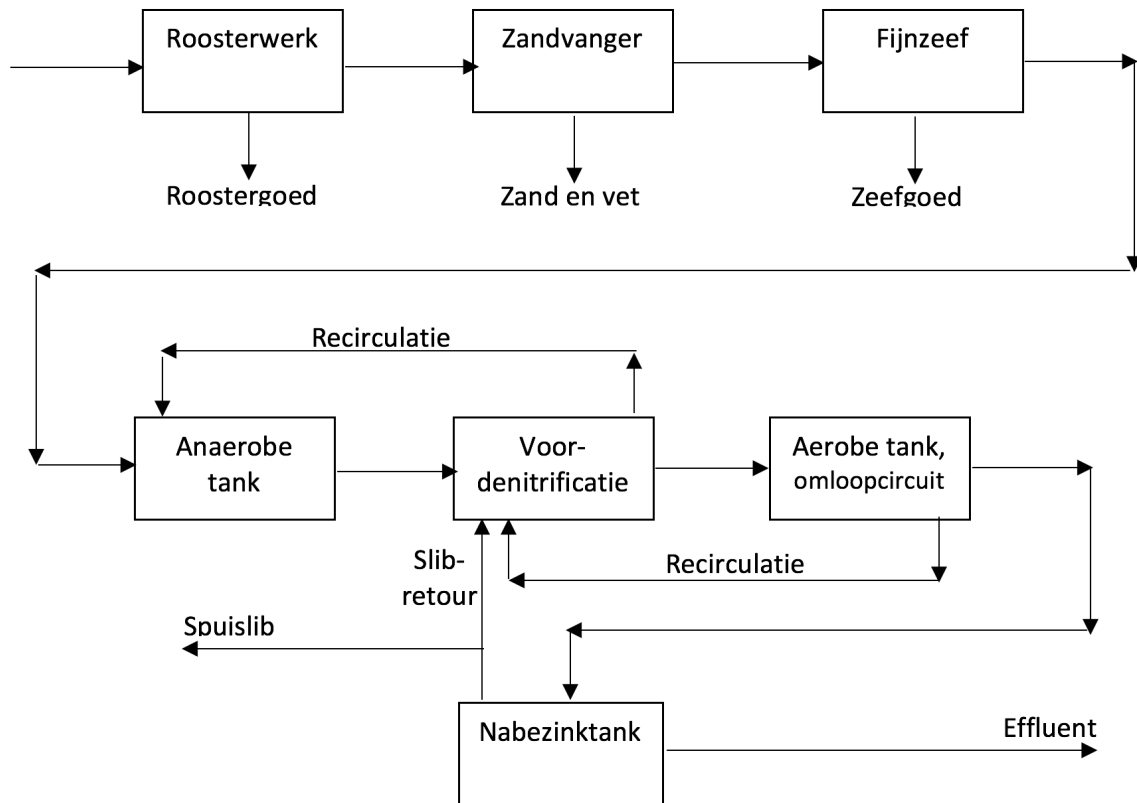
In hoofdstuk 2.2 1 is beschreven dat de afbraakreacties bij UV + H₂O₂ zowel door middel van fotolyse als door oxidatie kunnen plaatsvinden. In figuur B3.1 is voor verschillende componenten weergegeven welk deel van de verwijdering plaatsvindt door fotolyse en welk deel door oxidatie met hydroxylradicalen.

FIGUUR B3.1 VERWACHTE VERWIJDERINGSRENDEMENT PER MEDICIJN DOOR MIDDEL VAN FOTOLYSE (ROOD) EN OXIDATIE DOOR HYDROXYLRADICALEN (GEEL)



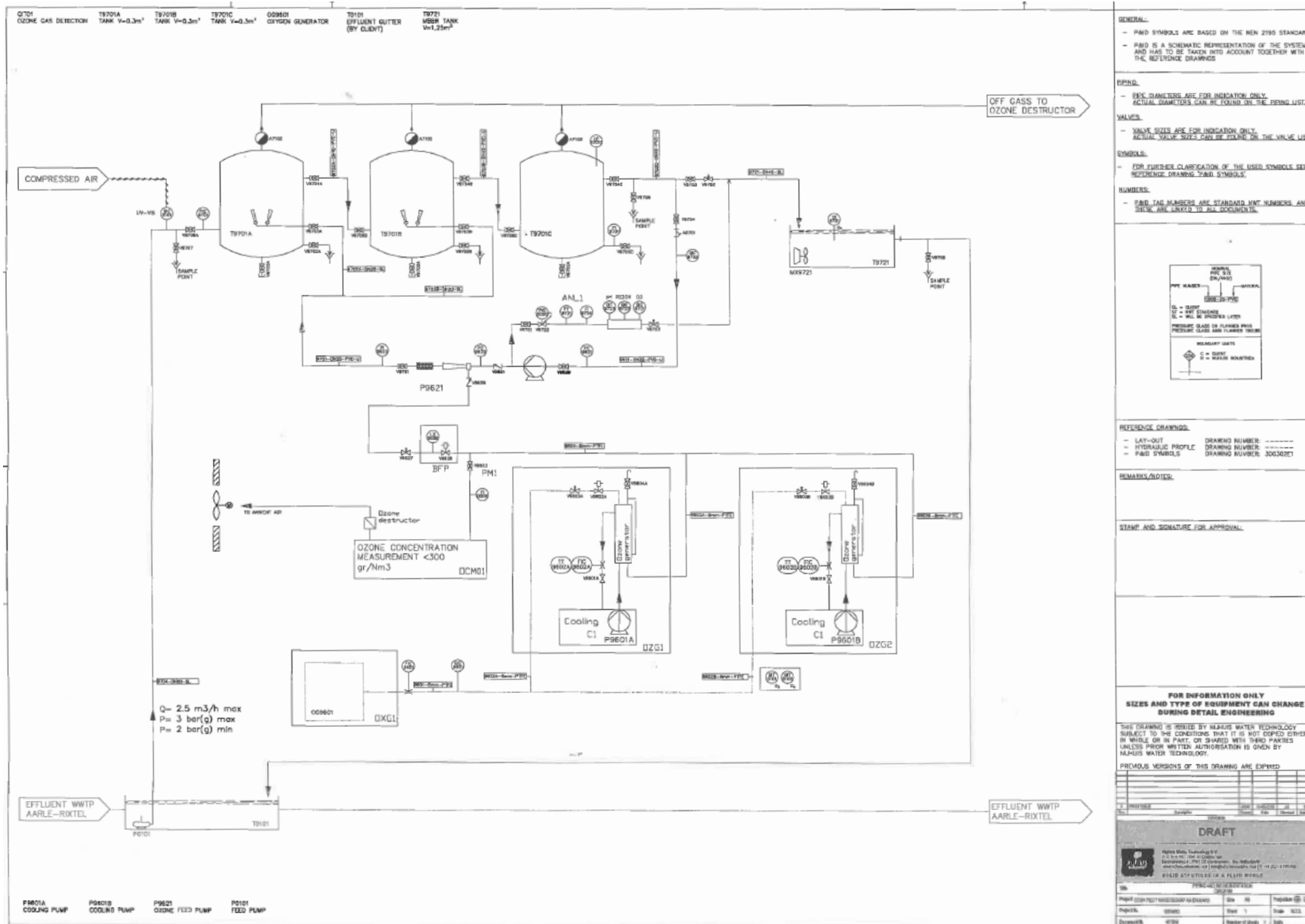
BIJLAGE 4

RWZI AARLE-RIXTEL, BLOKSCHEMA EN BELANGRIJKSTE EQUIPMENT



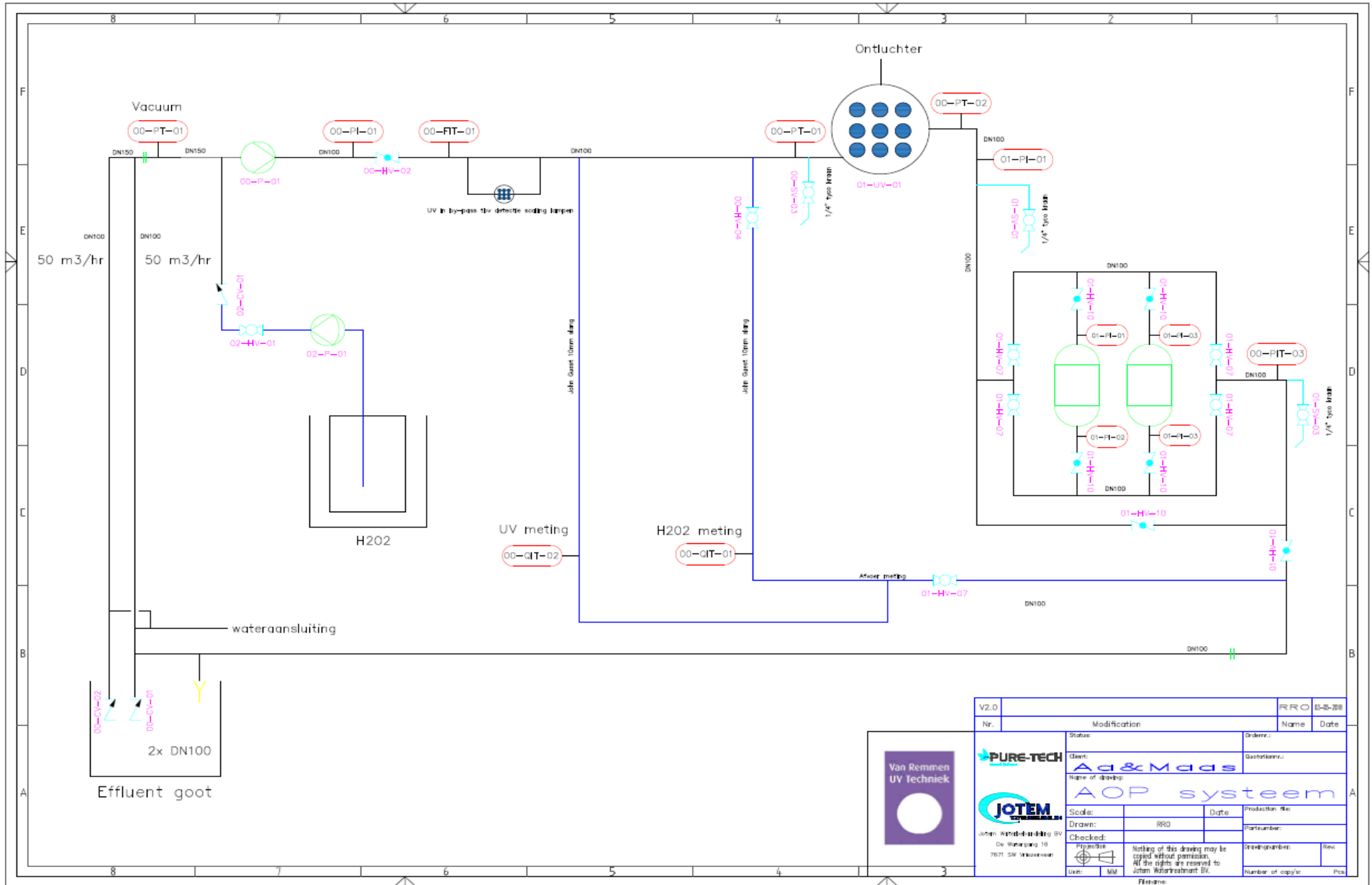
Equipment	Capaciteit/ afmetingen	Opmerking
Roosterwerk	4 stuks	Stappenrooster. 6 mm
Zandvanger	400 m ² , 625 m ³	Type Dorr
Fijnzeven	8 * 400 m ³ /h	Salsness
Anaerobe tank	2 * 3.500 m ³	
Voordenitrificatie tank	2 * 3.200 m ³	
Omloopcircuit	2 * 12.800 m ³	Bellenbeluchting
Nabezinktank	10 * 1.800 m ²	
Voorindikking	3 stuks a 240 m ² en 960 m ³	Gravitair
Slibontwatering	2 * 40 m ³ /h	Centrifuge

P&ID PILOT O₃



P&ID PILOT UV + H₂O₂

82



STOWA 2020-41 PILOONDERZOEK VERGELIJKING OXIDATIEVE TECHNIEKEN EFFLUENT RWZI AARLE-RIJTEL



V2.0		RRO 05-08-2008	
Nr.	Modification	Name	Date
Status:		Ordernr.:	
Client:		Geplaatst:	
Name of drawing:			
AOP systeem			
Scale:	Date:	Production file:	
Drawn:	RRO	Partnumber:	
Checked:		Drawingnumber:	
Project:		Rev:	
User: MM		Number of copies:	
File name:		Pos:	

PURE-TECH
JOTEM
 John Waterbehandeling BV
 De Wijkweg 10
 7621 SW Wassenaar

Nothing of this drawing may be copied without permission. All the rights are reserved to John Waterbehandeling BV.

BIJLAGE 7

ANALYSES AQUON

Alle monsters betreffen water.

Bij de volumeproportionele monsters heeft Aquon ook de opgevangen hoeveelheden gecheckt t.o.v. het aantal pulsen; het monster is altijd representatief gebleken. Het watermonster is na binnenkomst opgedeeld in analyses die extern plaats hebben gevonden en analyses die AQUON zelf heeft verricht.

AQUON:

- Pakket hormonen en geneesmiddelen. Geen extractie maar directe injectie ter analyse LC-TQMS
- H₂O₂
- E-coli en intestinale enterococci
- Gewasbeschermingsmiddelen pakketten B, chloorfenoxycarbonzuren, Pakket C
- CZV, BZV5, onopgelost, zuurstof%, N diverse vormen, Ptot en ortho, pH, EGV, sulfaat, carbonaat, bromide

UITBESTEED:

- Simoni (extractie RIVM, analyses door BDS en Waterproof)
- KBSP 3 en 4 Pakketten hormonen, enkele geneesmiddelen en industriële stoffen (Omegam)
- KRW brede screening Perceel 4: o.a. benzotriazolonen, weekmakers
- KBSP3_KRW en KBSP3_extra o.a. röntgencontrastmiddelen en EDTA
- Glyfosaat, AMPA en glufosinaat
- GenX, PFOA en PFOS Omegam
- Acesulfame Waterlab Noord
- Bromaat: eerst Omegam, met ook analyse op chloraat. Aan einde instelfase geswitched naar Waterlab Zuid (veel lagere rapportagegrens, veel duurder en daarom chloraat geschrapt)

PROCES BINNEN AQUON:

Voor de start van het vergelijkingsonderzoek heeft AQUON onderzocht of met filtratie van influent de rapportagegrens kon worden verlaagd tot hetzelfde niveau als dat van effluent. Dat bleek mogelijk. Hierop zijn alle monsters gefilterd met 0,45 µm. Er is niet gemeten aan hoeveelheid of samenstelling van het filterresidu.

Van het pakket hormonen en geneesmiddelen heeft AQUON indicaties afgegeven van de kwaliteit, zie tabel B7.1. Xgem betekent hierbij het gemiddelde terugvindingspercentage van een spike. Bij een nauwkeurige analyse zit dit getal tussen 95 en 105%. Verreweg de meeste stoffen worden met deze recovery geanalyseerd. Metformine, sotalol, diaminomethylideenureum (guanylureum, afbraakproduct metformine), hydrochloorthiazide en jopamidol scoren een slechtere recovery, en zijn met geel gemarkeerd in de tabel. Het getal van de meetonzekerheid geeft aan hoe groot de spreiding wordt bij herhaalde analyse van hetzelfde monster. Hoe groter dit getal hoe groter de spreiding en hoe minder nauwkeurig dus het analyseresultaat is. De drie slechtste zijn diaminomethylideenureum, hydrochloorthiazide

en jopamidol. Iets minder slecht scoren de analyses op pipamperon, sotalol en dipyridamol. Ook de componenten met hoge meetonzekerheid zijn met geel gemarkeerd in de tabel.

TABEL B7.1

PRESTATIEKENMERKEN AQUON, SEPTEMBER 2018. DE GEEL GEMARKEERDE VAKKEN SCOREN RELATIEF SLECHT

	Xgem	n	Meetonzekerheid
Fenazon(antipyrine)	95,79141	70	34,38164
Amidotrizoïnezuur	100,8998	70	44,52412
Dimetridazol	100,4139	70	24,99795
Hydrochlorothiazide	61,41288	70	89,62131
Ibuprofen	95,24103	70	48,24666
Metformine	79,34994	70	55,79243
Diaminomethyldeureum	70,41896	70	70,77458
Bezafibraat	98,13406	71	29,66683
Carbamazepine	99,95589	71	24,28359
Ciprofloxacin	93,1886	71	38,81931
Clarithromycine	97,62147	71	27,44173
Clindamycine	101,832	71	27,00858
Clozapine	92,20793	71	40,49649
Diclofenac	98,41509	71	27,02264
Dipyridamol	99,17489	69	65,55108
Gabapentine	101,5178	71	22,59969
Irbesartan	101,6231	71	24,4889
Jopamidol	53,41921	71	108,2144
Ketoprofen	100,9066	71	22,47773
Lidocaine	102,7166	71	22,6488
Metoprolol	98,88053	71	22,07512
Oxazepam	100,9876	71	25,92842
Pentoxifylline	95,55298	71	27,02539
Pipamperon	92,13895	71	69,06256
Sotalol	71,21334	71	65,88425
Sulfamethoxazol	99,13984	71	22,34202
Trimethoprim	85,00564	71	44,35769
Valsartan	97,83843	71	23,93764

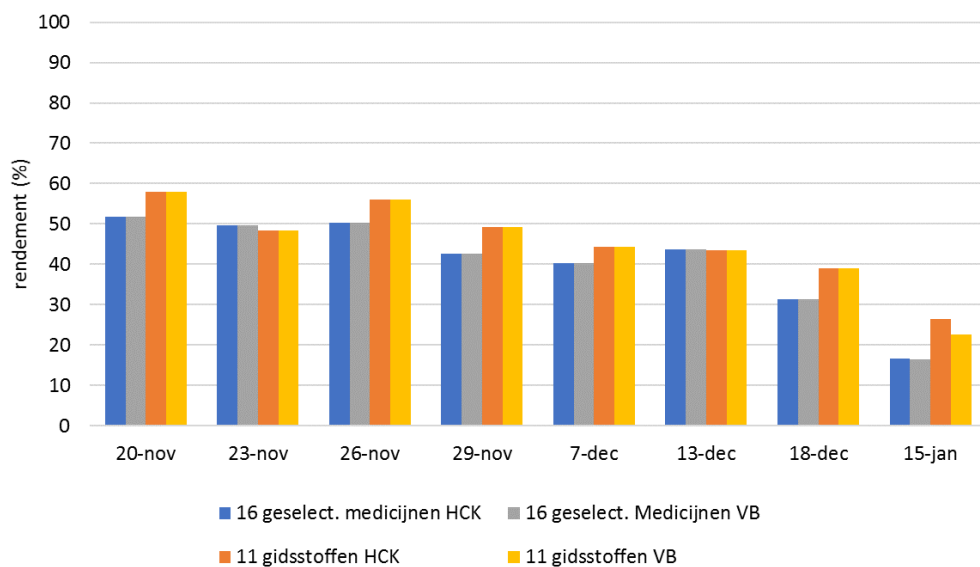
BIJLAGE 8

HCK METHODE VERSUS VOLKERT BAKKER METHODE

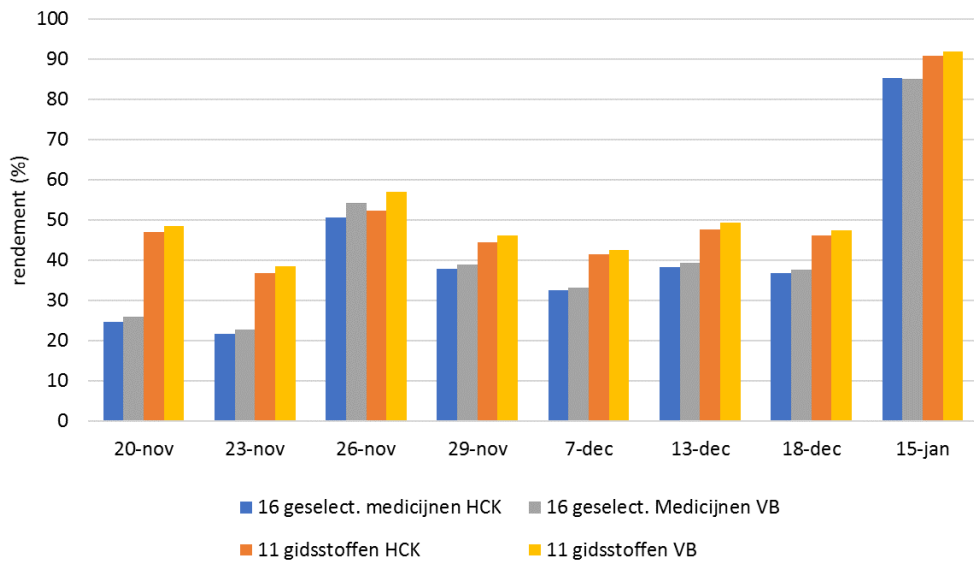
Indien de analyseresultaten onder de rapportagegrens liggen, is bij de berekeningen in het hoofdrapport steeds gewerkt met de Hulst-Colina-Kras methode (HCK) en niet met de Volkert Bakker methode (zie hoofdstuk 3.4.5).

Ter vergelijking van beide methoden zijn de verwijderingsrendementen over de rwzi en over beide oxidatieve technieken in deze bijlage ook berekend volgens de Volkert Bakker methode. Zie onderstaande figuren B8.1 t/m B8.3 van het verwijderingsrendement van medicijnen en gidsstoffen in de rwzi en in beide oxidatieve technieken op de afzonderlijke meetdagen tijdens de vergelijkende test, zoals berekend volgens beide methoden.

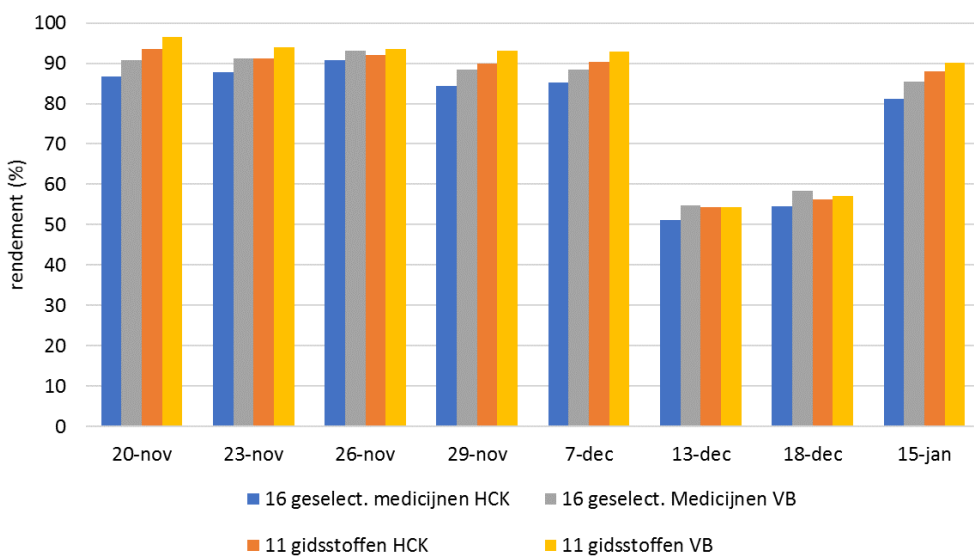
FIGUUR B8.1 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN EN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE RWZI OP DE AFZONDERLIJKE MEETDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019), BEREKEND VOLGENS DE HCK METHODE EN VOLGENS DE VOLKERT BAKKER (VB) METHODE



FIGUUR B8.2 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN EN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE UV + H₂O₂ PILOT OP DE AFZONDERLIJKE MEETDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019), BEREKEND VOLGENS DE HCK METHODE EN VOLGENS DE VOLKERT BAKKER (VB) METHODE.



FIGUUR B8.3 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN EN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE OZON + BIO PILOT OP DE AFZONDERLIJKE MEETDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019), BEREKEND VOLGENS DE HCK METHODE EN VOLGENS DE VOLKERT BAKKER (VB) METHODE



De gemiddelde waarden van beide methoden over de gehele onderzoeksperiode van de vergelijkende test zijn in onderstaande tabel B8.1 weergegeven. Bij beide methoden zijn bij de berekening van het gemiddelde rendement over de onderzoeksperiode alle 8 de bemonsteringsdagen in beschouwing genomen, en ook bij de bepaling van de rekenwaarde volgens de Volkert Bakker methode zijn alle 8 de bemonsteringsdagen meegenomen. De 2 storingsdagen bij de O₃ pilot zijn nu dus wel meegenomen, in tegenstelling tot de berekening in het “hoofdrapport”.

TABEL B8.1

GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN EN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE RWZI EN IN DE AFZONDERLIJKE OXIDATIEVE TECHNIEKEN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019), BEREKEND VOLGENS DE HCK METHODE EN VOLGENS DE VOLKERT BAKKER METHODE

	Verwijderingsrendement (%)		
	RWZI	UV + H ₂ O ₂	O ₃ + Bio
HCK Methode			
16 geselecteerde medicijnen	41	41	78
11 gidsstoffen	46	51	82
Volkert Bakker Methode			
16 geselecteerde medicijnen	41	42	81
11 gidsstoffen	45	53	84

Uit de grafieken en de tabel blijkt dat het verschil tussen beide methoden klein is (< 5%). In de meeste gevallen geeft de HCK methode iets lagere waarden dan de Volkert Bakker methode. Aangezien de HCK-methode een stuk eenvoudiger is, is bij de berekeningen in het rapport steeds volgens de HCK methode gewerkt en is de Volkert Bakker methode verder buiten beschouwing gelaten.

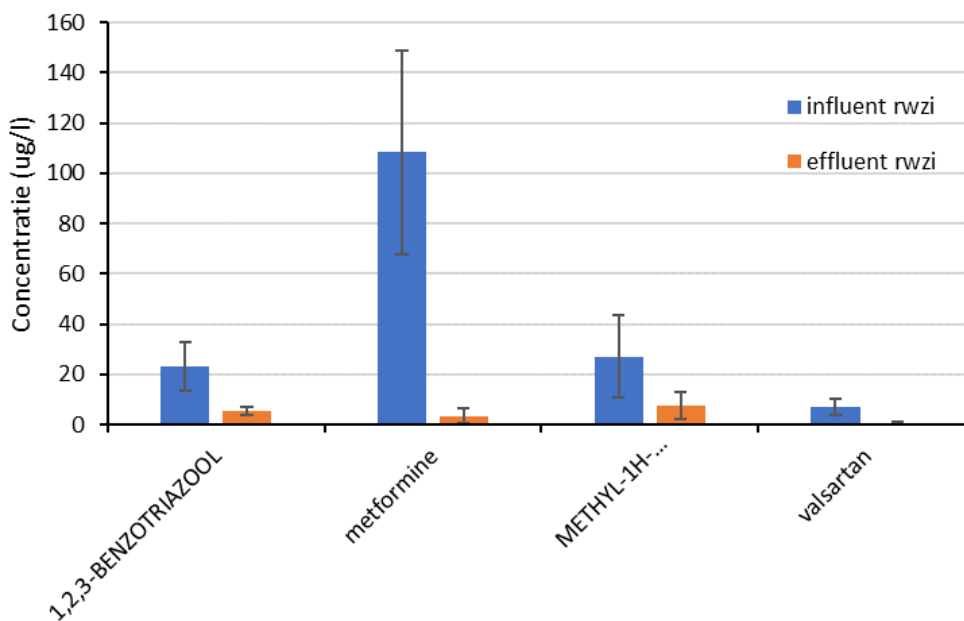
BIJLAGE 9

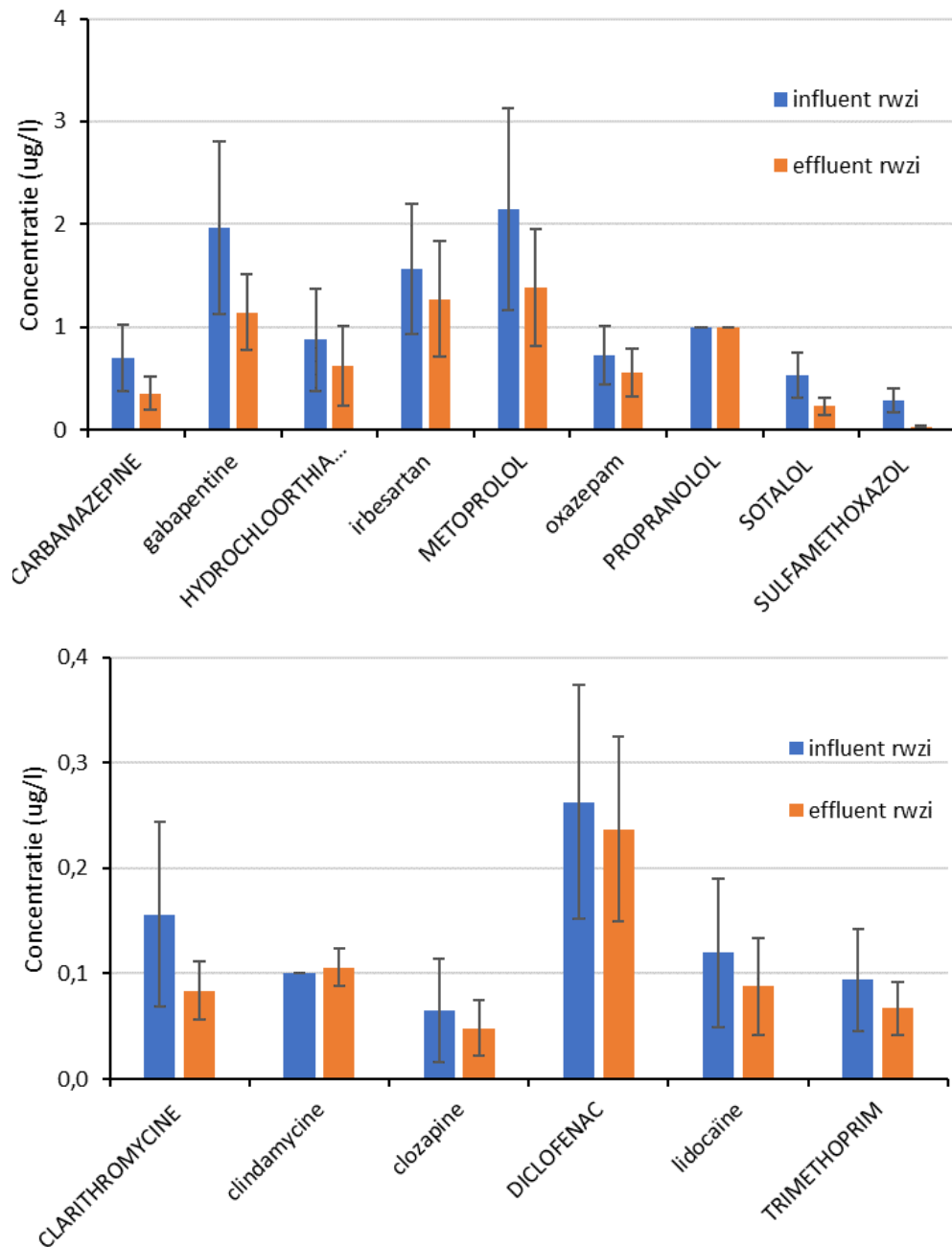
MEDICIJN CONCENTRATIES IN RWZI

INFLUENT EN EFFLUENT

De medicijnconcentraties in het influent en in het effluent van de rwzi Aarle-Rixtel zijn gedurende de vergelijkende test geanalyseerd op verzamelmonsters. De gemiddelde concentraties van zowel het influent als het effluent zijn in drie grafieken (figuur B9.1) met verschillende y-as weergegeven. Hierin staan de 16 door Aa en Maas benoemde medicijnen en de 11 gidsstoffen IenW (deels zijn dit dezelfde stoffen). De resultaten van de twee bemonsteringsdagen met hoog influent debiet ($>100.000 \text{ m}^3/\text{d}$), zijn meegenomen in de grafieken.

FIGUUR B9.1 GEMIDDELTE CONCENTRATIE INCLUSIEF STANDAARDDEVIATIE VAN MEDICIJNEN EN GIDSSTOFFEN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN RWZI AARLE-RIXTEL DIE AANWEZIG ZIJN IN RELATIEF HOGE, MEDIUM EN LAGE CONCENTRATIE. HET BETREFT 10 TIJDSPROPORTIONELE 24-UURSVERZAMELMONSTERS DIE GENOMEN ZIJN TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). DE COMPONENTEN IN HOOFDLETTERS ZIJN GIDSSTOFFEN. PROPRANOLOL LIGT IN ALLE GEVALLEN ONDER DE RAPPORTAGEGREN VAN $1 \mu\text{G}/\text{L}$. CLINDAMYCINE LIGT IN ALLE GEVALLEN ONDER DE RAPPORTAGEGREN VAN $0,1 \mu\text{G}/\text{L}$ UITGEZONDERD 1 EFFLUENTMONSTER ($0,16 \mu\text{G}/\text{L}$)





Uit deze grafieken blijkt:

1. Concentratie medicijnen in influent rwzi:

De gemiddelde concentratie van verschillende medicijnen in het influent van de rwzi verschilt sterk qua hoogte. Gemiddeld is metformine in de hoogste concentratie aanwezig (> 100 µg/l), terwijl andere medicijnen in veel lagere concentraties (< 0,1 µg/l) aanwezig zijn. Overigens zijn in de grafiek alleen de medicijnen weergegeven die regelmatig boven de rapportagegrens liggen. Er zijn daarnaast nog een groot aantal medicijnen en microverontreinigingen waarvan de concentratie onder de rapportagegrens ligt. De hoogte van de rapportagegrens varieert per component, maar van diverse componenten is de rapportagegrens 0,01 µg/l of nog lager.

De gemeten concentraties komen goed overeen met de gemiddelde concentraties die in het eerdere onderzoek (3, zie inleiding) gemeten zijn in het influent van rwzi Aarle-Rixtel, zeker

indien rekening wordt gehouden met de standaard deviaties in beide series metingen. De enige opvallende afwijking is het medicijn hydrochloorthiazide, waarvan de gemiddelde concentratie in het onderzoek van 2017 een factor 6 hoger lag dan de gemiddelde waarde die gemeten is tijdens de pilot. De metingen van 2017 hebben echter een zeer hoge standaarddeviatie (> 200%, wellicht ook t.g.v. steekmonsters, daarmee ligt het resultaat van het vergelijkend onderzoek ook binnen de betrouwbaarheids grens).

2. Concentratie medicijnen in effluent rwzi:

De concentratie van verschillende medicijnen in het effluent van de rwzi verschilt nog steeds qua hoogte, maar t.o.v. het influent zijn de verschillen kleiner. Dat komt met name omdat de componenten die in relatief hoge concentratie in het influent aanwezig waren, in veel lagere concentratie in het effluent aanwezig zijn. Vooral voor metformine blijkt dit duidelijk uit figuur B9.1.

De gemeten concentraties en de standaarddeviatie daarin komen goed overeen met de gemiddelde concentraties die in het eerdere onderzoek (3, zie inleiding) gemeten zijn in het effluent van rwzi Aarle-Rixtel.

3. Verwijdering medicijnen in rwzi:

De concentratie in het effluent ligt voor alle medicijnen lager dan de concentratie in het influent. Dat betekent dat de medicijnen voor een deel in de rwzi worden verwijderd.

Met name de componenten die in hogere concentraties aanwezig zijn in het influent, vertonen een veel lagere concentratie in het effluent en worden dus relatief goed verwijderd in de rwzi. Het duidelijkste voorbeeld is metformine. Dit geeft een kanttekening: als je onderzoeken gaat vergelijken op het verwijderingsrendement op een totaalvracht aan geneesmiddelen, dan vergelijk je eigenlijk alleen maar het rendement op enkele stoffen (de stoffen die hier zijn genoemd in figuur B9.1. "hoge concentraties").

4. Standaard deviatie:

De standaard deviaties van de concentraties in het influent en effluent variëren per component. Voor de meeste componenten ligt de standaard deviatie in de range van 30-70%. Het gemiddelde van de standaard deviaties van alle componenten ligt op circa 50%. Een relatief groot verschil in concentraties tussen verschillende monsters en dus een hoge standaard deviatie, komt overeen met de verwachting, aangezien de concentraties met name flink verdund kunnen worden door regenval. In mindere mate zouden de variaties verklaard kunnen worden door wisselend medicijnverbruik door de bevolking, per week of per weekdag. In het algemeen kunnen variaties in medicijnconcentraties ook door het seizoen beïnvloedt worden, maar in de onderzoeksperiode van 2 maanden zal dit effect beperkt zijn. Bij seizoen-effect valt te denken aan het meer of minder verbruik van bepaalde medicijnen per seizoen, en de variërende temperatuur in de beluchtingstank die de activiteit van het slib beïnvloedt. Bij een vergelijking tussen de zomerperiode en de winterperiode is er in de zomerperiode een hoger zuiveringsrendement en zijn er lagere effluentconcentraties (13).

5. Opvallende resultaten:

De concentratie van propranolol (gidsstof) ligt bij alle analyseresultaten van zowel influent als effluent onder de rapportagegrens (1 µg/l).

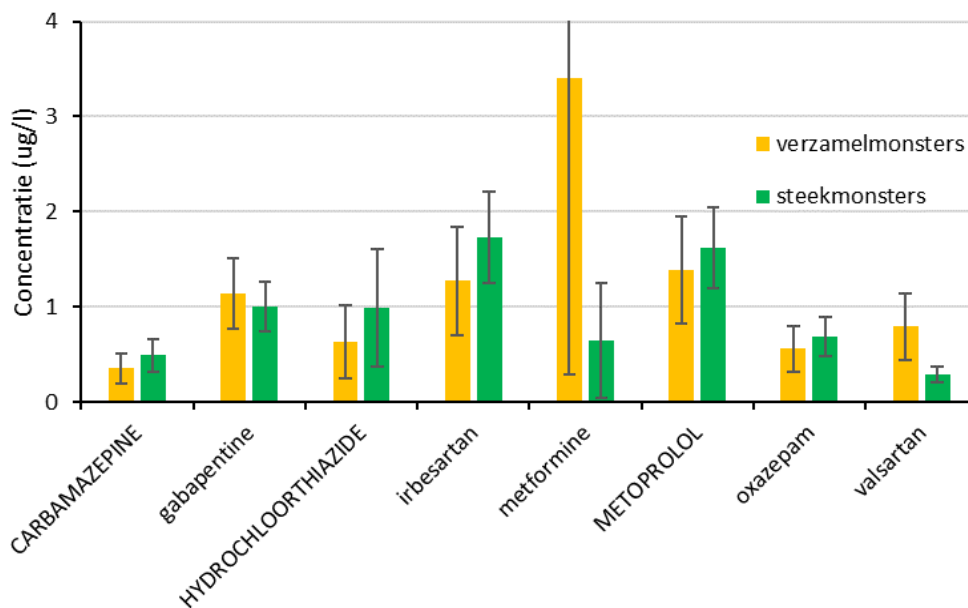
Ook de concentratie van clindamycine (1 van de 16 door WSAM geselecteerde medicijnen, antibioticum) ligt met uitzondering van één effluentmonster steeds onder de rapportagegrens (0,1 µg/l). Dit is opvallend, aangezien clindamycine geselecteerd is op basis van analyseresultaten uit eerder onderzoek in 2017 waarin wel 5 van de 7 analyseresultaten boven de rapportagegrens lagen.

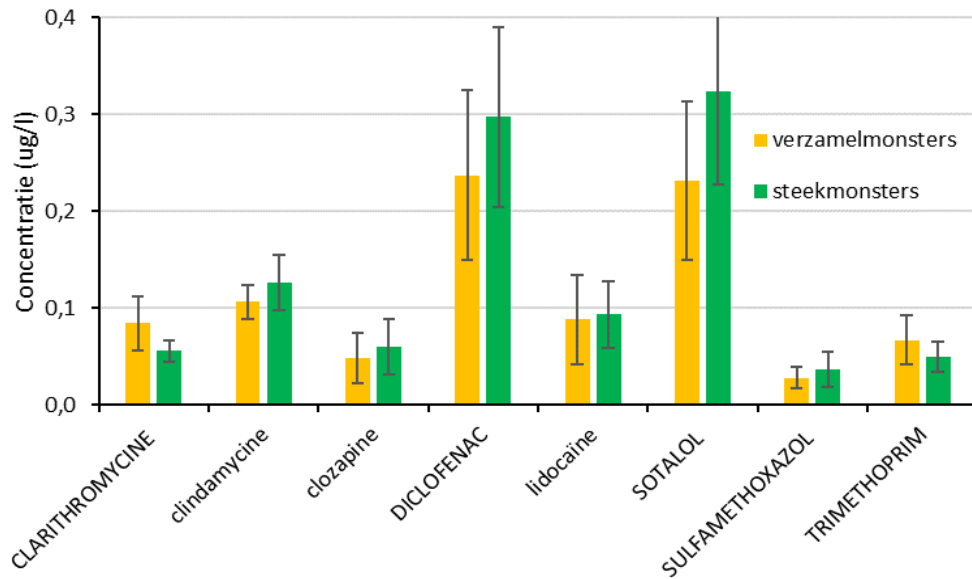
BIJLAGE 10

MEDICIJN CONCENTRATIES IN RWZI EFFLUENT: STEEKMONSTERS VERSUS VERZAMELMONSTERS

Tijdens de inregelperiode zijn de medicijnconcentraties in het effluent van rwzi Aarle-Rixtel gemeten op steekmonsters, terwijl gedurende de vergelijkende test de analyses zijn uitgevoerd op tijdsproportionele 24-uursverzamelmonsters. De gemiddelde concentraties van de medicijnen in de steek- en verzamelmonsters zijn in twee grafieken (figuur B10.1) met verschillende y-as weergegeven. De resultaten van de twee bemonsteringsdagen die tijdens de vergelijkende test vervallen t.g.v. hoog influent debiet ($>100.000 \text{ m}^3/\text{d}$), zijn wel meegenomen in de grafieken.

FIGUUR B10.1 GEMIDDELD CONCENTRATIE INCLUSIEF STANDAARDEVIATIE VAN MEDICIJNEN DIE AANWEZIG ZIJN IN HET EFFLUENT VAN RWZI AARLE-RIXTEL. HET BETREFT 21 STEEKMONSTERS TIJDENS DE INREGELPERIODE (18 SEPTEMBER T/M 14 NOVEMBER 2018) EN 10 TIJDSPROPORTIONELE 24-UURSVERZAMELMONSTERS TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). DE COMPONENTEN IN HOOFDLETTERS ZIJN GIDSSTOFFEN VAN MINISTERIE VAN IENW





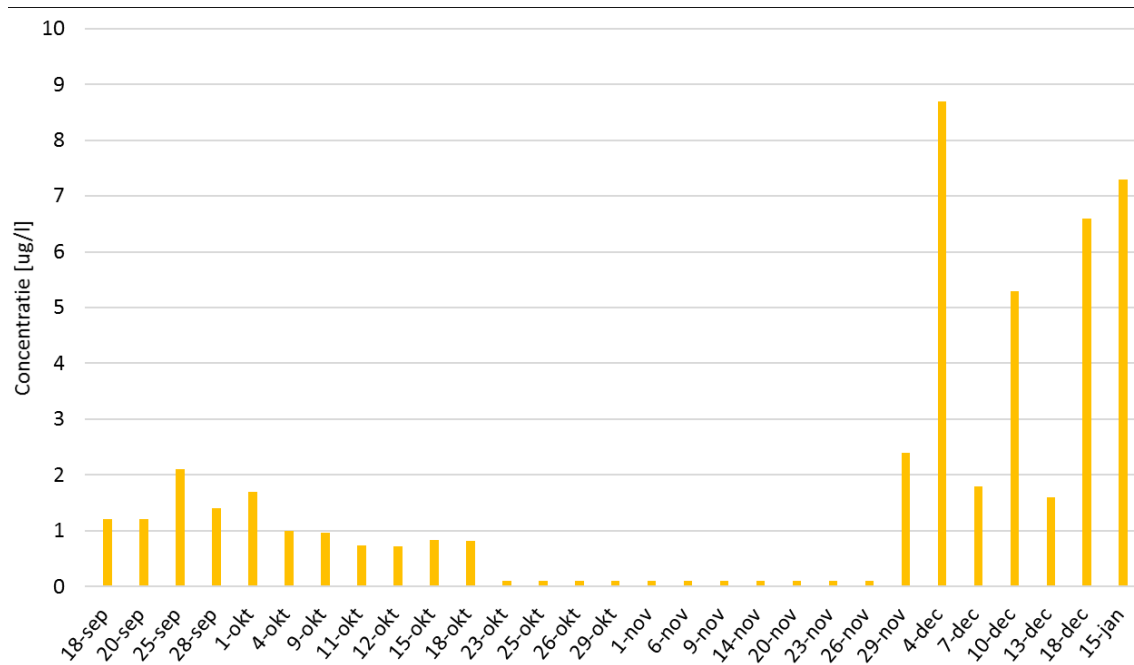
Uit deze grafieken blijkt dat de gemiddelde concentraties in de steek- en verzamelmonsters van het effluent van de rwzi goed overeenkomen en dat de verschillen binnen de standaarddeviatie vallen. De standaard deviaties van de steek- en verzamelmonsters zijn meestal vergelijkbaar. De verwachting dat verzamelmonsters tot een lagere standaard deviatie leiden, is bij dit onderzoek niet aangetoond. Gemiddeld ligt de standaard deviatie bij de verzamelmonsters zelfs wat hoger dan bij de steekmonsters, absoluut en procentueel. Blijkbaar is het volume van de rwzi en de verblijftijd in de rwzi dusdanig groot dat sterke variaties in concentraties worden uitgevlakt, mochten deze al aanwezig zijn in het influent. In de discussie over het meetprotocol van gidsstoffen blijkt dus dat steekmonsters van het effluent eigenlijk even goed zijn als verzamelmonsters, en dat de discussie of verzamelmonsters over een periode van 24 of 48 uur of een week genomen zouden moeten worden, niet erg relevant is. Het is de verwachting dat de variaties in het influent van de zuivering groter zijn dan in het effluent, doordat het egaliserende effect van het rwzi-volume ontbreekt. Daarom kunnen de verschillen tussen steek- en verzamelmonsters van het influent wel tot grotere verschillen leiden.

Bij twee medicijnen (metformine en valsartan) is het verschil tussen de verzamelmonsters en de steekmonsters van het effluent wel opvallend.

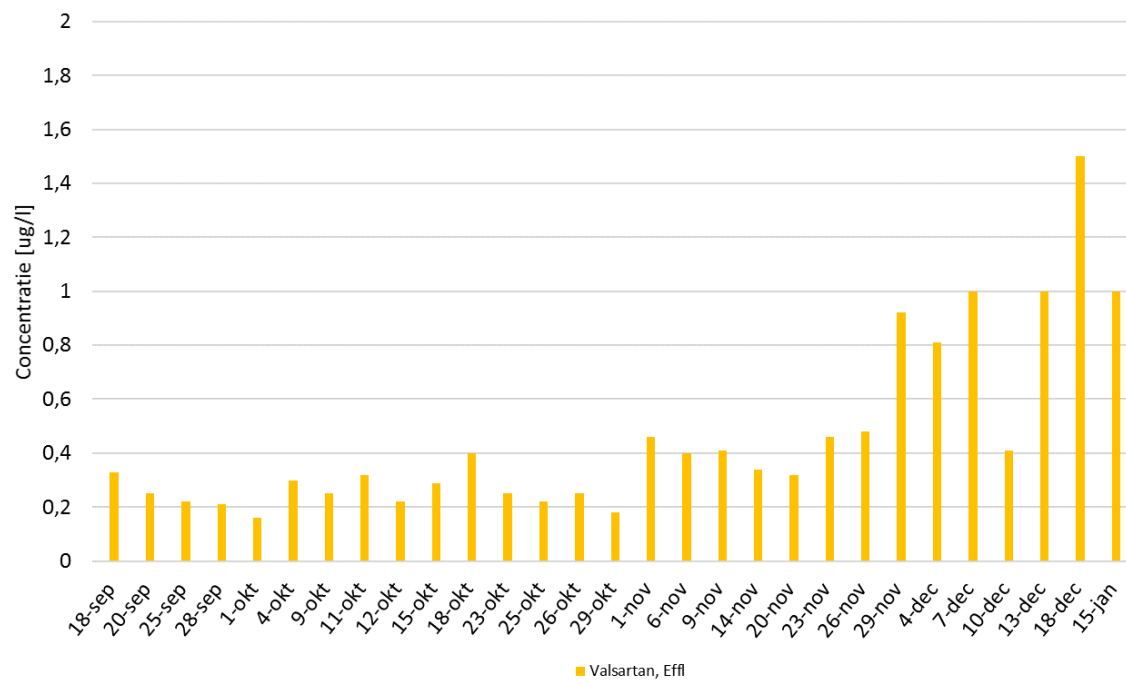
- *Metformine*: De gemiddelde concentratie in de verzamelmonsters ligt een factor 5 hoger dan de gemiddelde concentratie in de steekmonsters. Het verschil ligt nog wel binnen de standaard deviatie, welke in beide meetseries ruim 90% is. Ook opvallend is dat in beide meetseries meerdere achtereenvolgende monsters onder de rapportagegrens liggen. De laatste 10 van de 21 monsters van de inregelperiode (23 oktober tot half november) liggen onder de rapportagegrens, evenals de eerste 3 van de 10 monsters van de vergelijkende test (november). Dit is duidelijk te zien in figuur B10.2. Een mogelijke verklaring is dat metformine in de rwzi goed wordt verwijderd, waardoor een klein verschil in verwijderingspercentage of influentconcentratie of -vracht een relatief grote variatie geeft in de effluentconcentratie. Bij het laboratorium zijn geen aanwijzingen dat er iets is misgegaan bij de analyse.
- *Valsartan*: De resultaten zijn per monsterdag weergegeven in figuur B10.3. De gemiddelde concentratie in de verzamelmonsters ligt bijna een factor 3 hoger dan de gemiddelde concentratie in de steekmonsters, hetgeen buiten de standaarddeviaties ligt. Net als bij

metformine is een mogelijke verklaring dat valsartan in de rwzi goed wordt verwijderd, waardoor een klein verschil in verwijderingspercentage of influentconcentratie of -vracht een relatief grote variatie geeft in de effluentconcentratie.

FIGUUR B10.2 MEETRESULTATEN VAN DE CONCENTRATIE METFORMINE ($\mu\text{g/L}$) IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL OP ALLE BEMONSTERINGSDAGEN TIJDENS INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B10.3 MEETRESULTATEN VAN DE CONCENTRATIE VALSARTAN ($\mu\text{g/L}$) IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL OP ALLE BEMONSTERINGSDAGEN TIJDENS INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



BIJLAGE 11

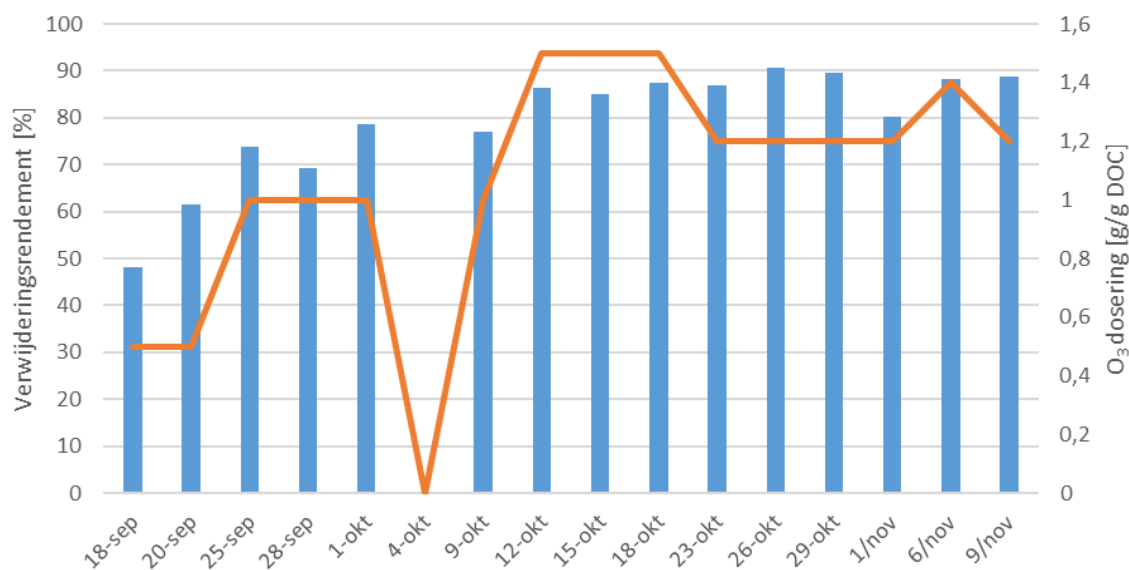
RESULTATEN INREGELPERIODE O3-PILOT

In de inregelfase zijn de optimale instellingen bepaald om tijdens de vergelijkende test een verwijderingsrendement van minimaal 80% te behalen.

SPECIFIEKE O₃-DOSERING VERSUS GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT

Om de relatie te bepalen tussen de specifieke O₃ dosering en het verwijderingsrendement zijn tijdens de inregelperiode verschillende specifieke O₃ doseringen ingesteld, die geregeld werden middels de in-line DOC-analyzer in de toevoerleiding. De concentraties van 16 geselecteerde medicijnen in steekmonsters van de toe- en afvoer van de pilotinstallatie zijn gemeten en hieruit is het gemiddelde verwijderingsrendement per bemonsteringsdag berekend. In figuur B11.1 zijn de specifieke O₃ doseringen en de gemiddelde verwijderingsrendementen weergegeven.

FIGUUR B11.1 SPECIFIEKE O₃-DOSERING (ORANJE LIJN) EN GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN (BLAUWE BALKJES) OP BASIS VAN STEEKMONSTERS VAN DE O₃ PILOT INSTALLATIE GEDURENDE DE INREGELFASE (18 SEPTEMBER T/M 9 NOVEMBER 2018)



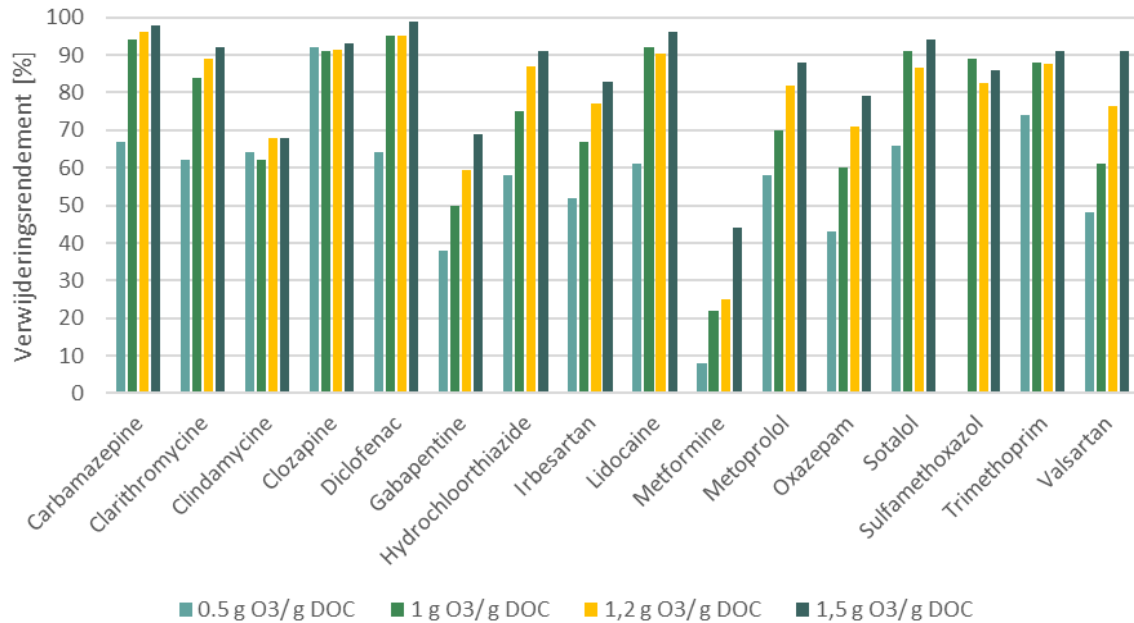
Uit deze figuur blijkt dat bij hogere specifieke ozondosering een hoger verwijderingsrendement behaald wordt. Bij een specifieke O₃ dosering van 1,2 g O₃/g DOC en hoger wordt een verwijderingsrendement groter dan 80% gerealiseerd. Op basis van deze resultaten heeft de leverancier geadviseerd om tijdens de vergelijkende test een O₃ dosering van 1,2 g O₃ /g DOC toe te passen.

Opvallend is de meting op 4 oktober: door een storing is op deze dag geen O₃ gedoseerd, en is het verwijderingsrendement 0%. Dit is ook de verwachting. Afgezien van deze dag zijn de bemonsteringsdagen voorspoedig verlopen en zijn geen verstoringen opgetreden tijdens de inregelfase.

SPECIFIEKE O₃-DOSERING VERSUS VERWIJDERING AFZONDERLIJKE COMPONENTEN

De verwijderingsrendementen van de 16 afzonderlijke componenten bij verschillende specifieke O₃ doseringen zijn weergegeven in figuur B11.2.

FIGUUR B11.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT OP BASIS VAN STEEKMONSTERS VAN 16 GESELECTEERDE MEDICIJNEN BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN IN DE O₃-PILOT INSTALLATIE GEDURENDE DE INREGELFASE (18 SEPTEMBER T/M 9 NOVEMBER 2018)



Enkele zaken die uit deze grafiek blijken:

- Het verwijderingsrendement van de meeste medicijnen neemt toe bij hogere specifieke O₃-dosering.
- Het grootste verschil in verwijderingsrendementen is te zien bij verhoging van de O₃ dosering van 0,5 naar 1,0 g/g DOC.
- Vanaf 1,0 g O₃/g DOC leidt een verdere verhoging van de specifieke O₃-dosering naar hogere waarde voor de meeste medicijnen nauwelijks tot verdere verhoging van het rendement.
- De afbraak van enkele medicijnen wordt nauwelijks beïnvloed door de specifieke O₃-dosering (bv clindamycine, clozapine)
- Enkele medicijnen worden slecht verwijderd door O₃ (duidelijkste voorbeeld: metformine)
- Enkele componenten (carbamazepine, clozapine, diclofenac, trimetroprim) worden zeer goed verwijderd door O₃ met rendementen ruim boven de 80%, sommige zelfs al bij 0,5 g O₃/g DOC (clozapine).
- Bij een specifieke O₃-dosering van 1,2 g O₃/g DOC wordt voor 11 van de 16 medicijnen een verwijderingsrendement van 80% of hoger behaald, met uitzondering van clindamycine, gabapentine, metformine, oxazepam en valsartan.

Deze resultaten komen overeen met de resultaten van het Stowa onderzoek op rwzi De Groote Lucht (9). Ook daar neemt het verwijderingsrendement vooral toe bij een O₃ dosis verhoging van 0,5 naar 1,0 g O₃/g DOC. Wel valt op dat de verwijderingsrendementen van de componenten op rwzi De Groote Lucht hoger liggen (10 – 20%) dan op rwzi Aarle-Rixtel. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is het verschil in watermatrix.

BIJLAGE 12

VERWIJDERINGSRENDEMENT PER BEMONSTERINGSDAG

Het gemiddelde verwijderingsrendement tijdens de vergelijkende test is in tabel B12.1 weergegeven. Het gemiddelde verwijderingsrendement over de vergelijkende test is berekend exclusief de RWA dagen. Voor de ozon pilot zijn de 2 dagen met technische storing buiten beschouwing gelaten.

TABEL B12.1 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT PER BEMONSTERINGSDAG EN OVER DE GEHELE PERIODE VAN DE VERGELIJKENDE TEST (EXCLUSIEF RWA EN VOOR O₃ EXCL. TECHNISCHE STORING (NB: GEEL GEMARKEERD))

UV + H ₂ O ₂ (t.o.v. effluent)					RWA		RWA					Gemiddelde
	20-nov	23-nov	26-nov	29-nov	4-dec	7-dec	10-dec	13-dec	18-dec	15-jan		
gemid. Rendement medicijnen	24,6	20,2	50,7	35,7	51,3	29,2	74,2	36,4	34,3	80,7	39,0	
gemid. Rendement geselecteerde medicijnen	24,6	21,7	50,7	37,8	51,4	32,5	84,1	38,2	36,8	85,2	40,9	
gemid. Rendement gidsstoffen	46,9	36,9	52,3	44,4	56,3	41,5	85,7	47,8	46,2	90,8	50,8	
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen	56,3	53,0	65,4	53,5	60,9	49,5	88,3	55,8	52,2	93,6	59,9	

NB: 7 gidsstoffen zijn de 7 beste voor combinatie rwzi + UV/H₂O₂

O ₃ + Bio (t.o.v. effluent)					RWA		RWA		techn. probl.	techn. probl.	Gemiddelde
	20-nov	23-nov	26-nov	29-nov	4-dec	7-dec	10-dec	13-dec	18-dec	15-jan	
gemid. Rendement medicijnen	86,7	87,7	90,8	79,0	76,4	79,9	63,8	51,2	50,2	76,9	83,5
gemid. Rendement geselecteerde medicijnen	86,7	87,7	90,8	84,3	79,9	85,3	75,1	51,2	54,5	81,2	86,0
gemid. Rendement gidsstoffen	93,5	91,1	92,1	90,0	90,2	90,2	87,7	54,4	56,3	87,9	90,8
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen	95,1	93,7	91,5	92,2	91,6	90,1	87,7	54,7	59,4	90,8	92,2

NB: 7 gidsstoffen zijn de 7 beste voor combinatie rwzi + O₃

RWZI					RWA		RWA					Gemiddelde
	20-nov	23-nov	26-nov	29-nov	4-dec	7-dec	10-dec	13-dec	18-dec	15-jan		
gemid. Rendement medicijnen	58,9	58,5	57,1	54,4	23,0	49,1	70,2	52,0	40,7	24,5	49,4	
gemid. Rendement geselecteerde medicijnen	51,7	49,6	50,2	42,7	14,0	40,3	67,3	43,7	31,4	16,7	40,8	
gemid. Rendement gidsstoffen	57,9	48,4	56,0	49,3	14,0	44,3	64,3	43,5	39,0	26,5	45,6	
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen UV/H ₂ O ₂	67,1	54,4	61,0	59,8	21,7	55,3	67,4	49,3	49,9	39,9	54,6	
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen O ₃	64,3	45,7	62,3	55,3	14,1	55,3	61,2	58,3	49,9	30,0	52,6	

NB: 7 gidsstoffen zijn de 7 beste voor combinatie rwzi + AOP-techniek

UV + H ₂ O ₂ + RWZI (t.o.v. influent)					RWA		RWA					Gemiddelde
	20-nov	23-nov	26-nov	29-nov	4-dec	7-dec	10-dec	13-dec	18-dec	15-jan		
gemid. Rendement medicijnen	68,1	67,4	78,8	71,5	62,3	66,8	93,2	73,3	61,9	89,9	72,2	
gemid. Rendement geselecteerde medicijnen	62,9	60,8	76,1	64,2	58,5	61,4	93,4	68,7	56,7	89,5	67,5	
gemid. Rendement gidsstoffen	76,0	67,4	79,4	70,0	63,1	65,8	92,3	72,4	65,2	92,0	73,5	
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen	85,9	81,8	89,3	82,0	72,1	78,0	93,2	81,2	75,5	95,3	83,6	

NB: 7 gidsstoffen zijn de 7 beste voor combinatie rwzi + UV/H₂O₂

O ₃ + Bio + RWZI (t.o.v. influent)					RWA		RWA		techn. probl.	techn. probl.	Gemiddelde
	20-nov	23-nov	26-nov	29-nov	4-dec	7-dec	10-dec	13-dec	18-dec	15-jan	
gemid. Rendement medicijnen	94,0	94,1	95,4	93,6	87,6	94,2	91,9	80,1	72,1	87,8	93,2
gemid. Rendement geselecteerde medicijnen	94,3	94,3	95,9	93,9	87,2	93,7	91,9	76,8	69,5	87,2	93,2
gemid. Rendement gidsstoffen	97,4	96,8	97,5	96,0	91,6	95,6	93,0	77,2	74,3	91,8	95,9
gemid. Rendement 7 vd 11 gidsstoffen	98,8	97,8	98,1	97,7	92,6	96,8	94,0	83,6	81,4	94,0	97,2

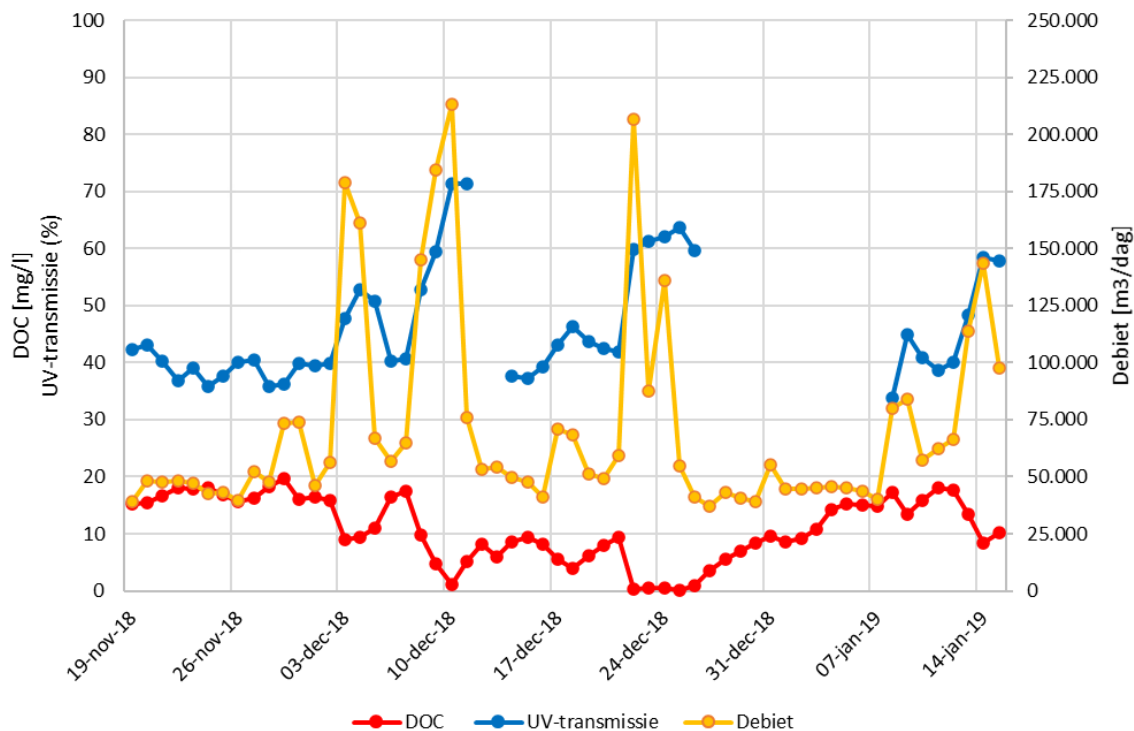
NB: 7 gidsstoffen zijn de 7 beste voor combinatie rwzi + O₃

BIJLAGE 13

RELATIE UV-TRANSMISSIE EN DOC, EN RELATIE UV-TRANSMISSIE EN VERDUNNING

In de toevoer van effluent van rwzi Aarle-Rixtel naar de ozon-pilot was een in-line DOC analyzer geplaatst, en de toevoer naar de UV-pilot werd in-line gemeten op UV-transmissie (T10, %@254nm). De gegevens van beide metingen zijn in figuur B13.1 weergegeven, evenals het influentdebiet.

FIGUUR B13.1 IN-LINE METINGEN VAN DOC-CONCENTRATIE EN UV-TRANSMISSIE IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET INFLUENTDEBIET

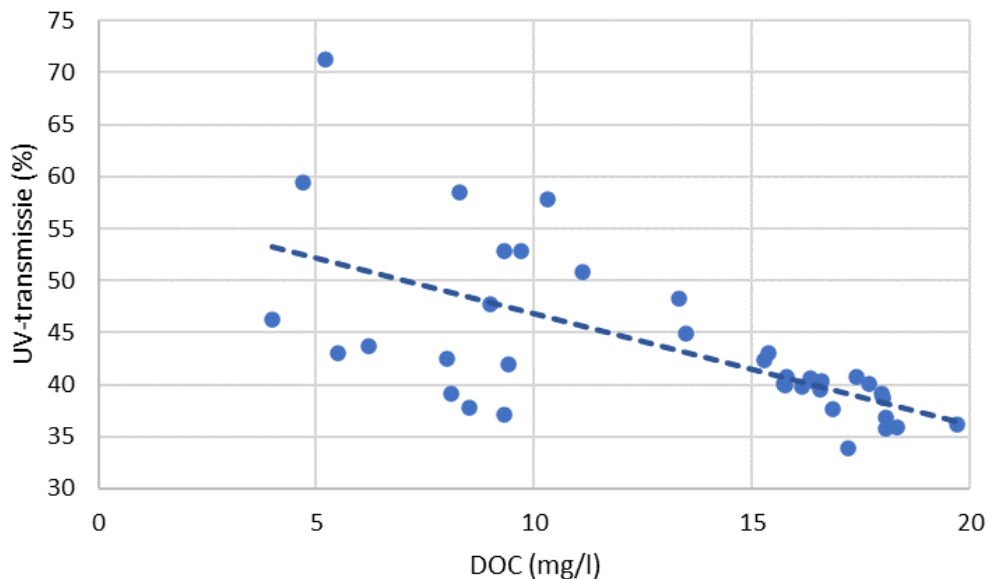


Uit figuur B13.1 blijkt dat de UV-transmissie op droge dagen aan het begin van de vergelijkende test (eind november, debiet circa 50.000 m³/dag) circa 40% bedraagt en dat de DOC-concentratie op 15-20 mg/l ligt. Bij toenemend debiet t.g.v. regenval neemt de UV-transmissie toe en neemt de DOC af. De UV-transmissie neemt toe tot ruim 60-70%, en de DOC neemt af tot onder 10 mg/l, en bereikt zelfs waarden onder het minimum bereik van de analyzer (4 mg/l). Na de regenperiode daalt de UV-transmissie weer en is na enkele dagen weer terug op de oorspronkelijke waarde. Helaas ontbreken er meetgegevens van de UV-transmissie direct na de RWA perioden van 8-11 december en 22-24 december. Wel is te zien dat de UV-transmissie tijdens de RWA piek op 11 december oploopt tot 71%, en dat de trend na 3 dagen op 14 december alweer gedaald is en stabiel ligt op 38%.

De DOC loopt na een regenperiode veel geleidelijker op en is pas na 1 á 2 droge weken weer op de oorspronkelijke waarde terug. Na de RWA-periode van 8-11 december blijft de DOC gedurende 10 dagen¹² lager dan voorheen en komt op ca 10 mg/l uit. Na de RWA dagen van 22-24 december duurt het een week voordat de DOC weer 10 mg/l is en 10 dagen tot de DOC 15 mg/l is.

Bij verdunning neemt de UV-transmissie dus toe, en neemt de DOC-concentratie af. In figuur B13.2 zijn de UV-transmissie en de DOC tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt dat bij hoge DOC concentratie (15-20 mg/l) de UV-transmissie laag is. Bij lage DOC concentratie (<10 mg/l) is het beeld in het algemeen dat de UV-transmissie toeneemt. De relatie is echter niet scherp maar meer een puntenwolk om de trendlijn. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt doordat UV-transmissie na een RWA periode sneller terugkeert op de oorspronkelijke waarden dan de DOC-concentratie. De betrouwbaarheid van de analyzers en de afzonderlijke metingen kan ook een oorzaak zijn.

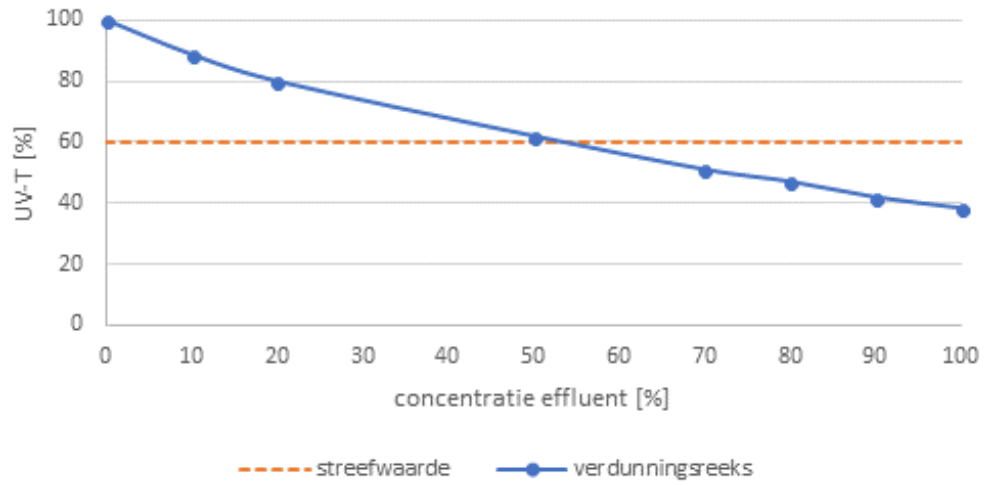
FIGUUR B13.2 RELATIE TUSSEN DE IN-LINE METINGEN VAN UV-TRANSMISSIE EN DOC-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL



De relatie tussen UV-transmissie en verdunning is verder onderzocht op het rwzi lab door het effluent van rwzi Aarle-Rixtel te verdunnen met demiwater, en vervolgens de UV-transmissie te bepalen met een portable UV-transmissie meter. De metingen zijn uitgezet in figuur B13.3. Het effluent had oorspronkelijk een UV-transmissie van 40%. Na 1:1 verdunning neemt de UV-transmissie toe tot 60%. Een verdunningsfactor 5 en 10 geeft een verhoging van de UV-transmissie tot respectievelijk 80% en 90%. De UV-transmissie van demiwater is 100%.

¹² De dagen na 11 december zijn niet allemaal volledig droog, op enkele dagen (17 en 18 dec) wordt circa 20.000 m³/dag extra influent aangevoerd t.g.v. regen

FIGUUR B13.3 RELATIE TUSSEN DE UV-TRANSMISSIE EN VERDUNNING VAN HET EFFLUENT VAN DE RWZI AARLE-RIXTEL MET DEMIWATER



BIJLAGE 14

RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGS-DAG (SELECTIE)

De analyseresultaten van de 19 afzonderlijke componenten en de hieruit berekende rendementen zijn voor alle componenten in bijlage 22 weergegeven. Dit is gedaan voor zowel de verwijdering in de rwzi zelf, de verwijdering in beide pilot installaties en de verwijdering in de combinatie van de rwzi plus de beide pilots.

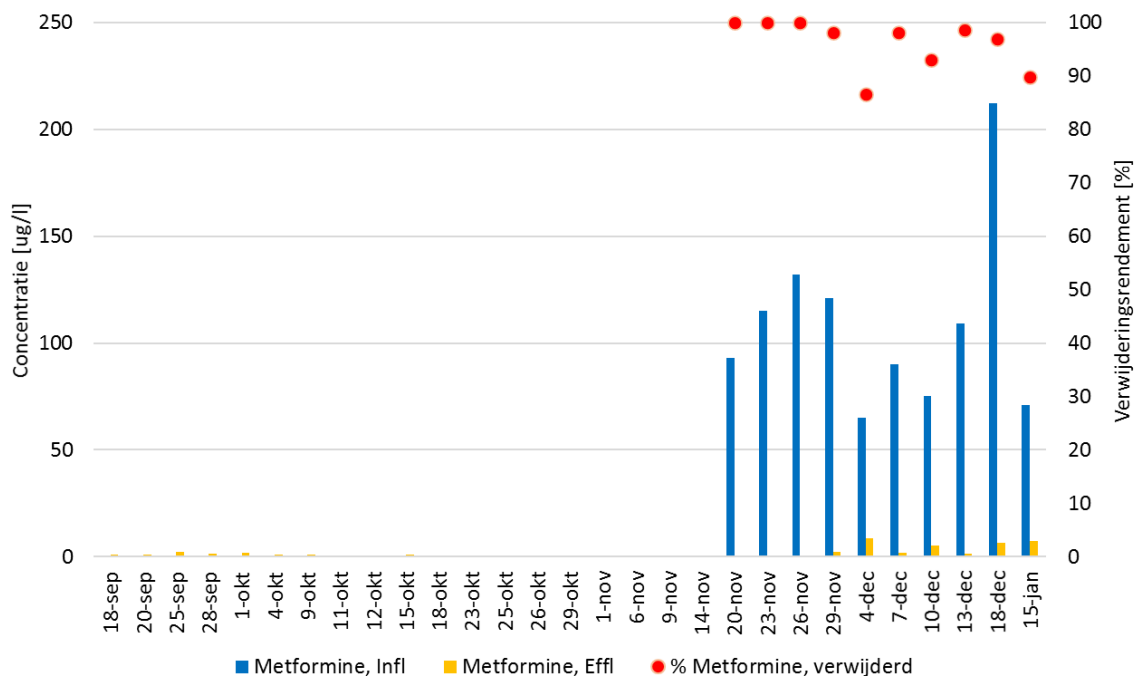
Voor enkele componenten worden in deze bijlage 14 de figuren van de resultaten afzonderlijk weergegeven en besproken.

VERWIJDERING IN RWZI:

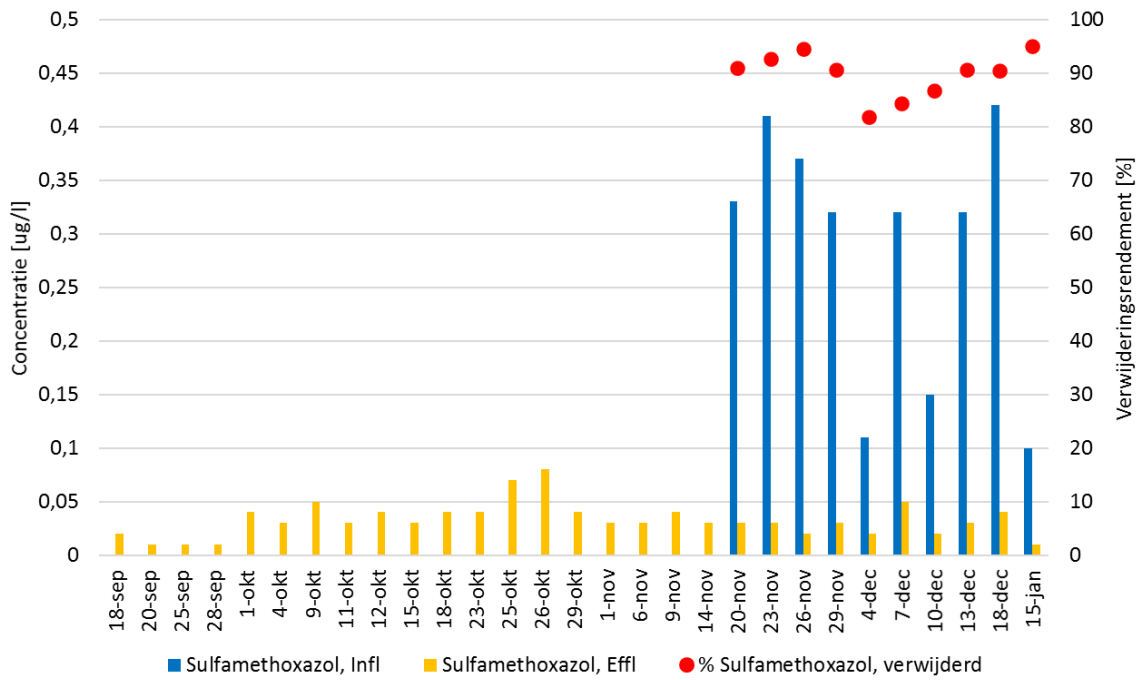
De concentratie van alle afzonderlijke medicijnen/ gidsstoffen in de toe- en afvoer van de rwzi en het hieruit berekende verwijderingsrendement staat weergegeven in de figuren in bijlage 22.

Om duidelijk te maken dat sommige componenten in de rwzi veel beter verwijderd worden dan andere, zijn in de figuren B14.1 t/m B14.4 de grafieken van enkele opvallende componenten ook hieronder weergegeven.

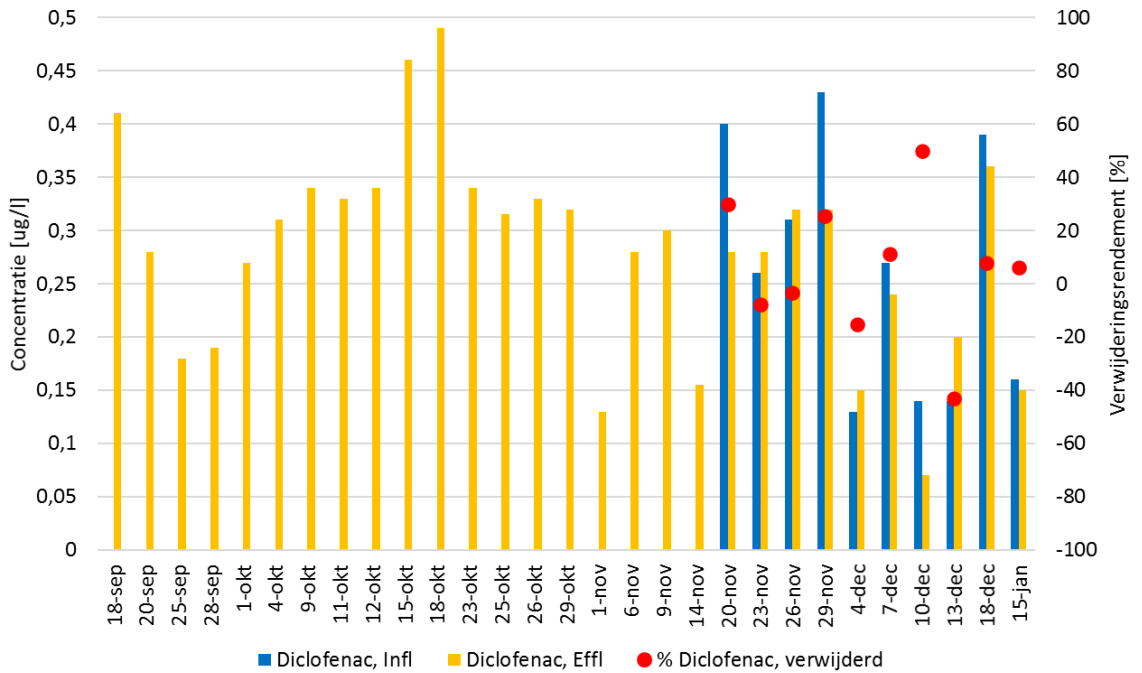
FIGUUR B14.1 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



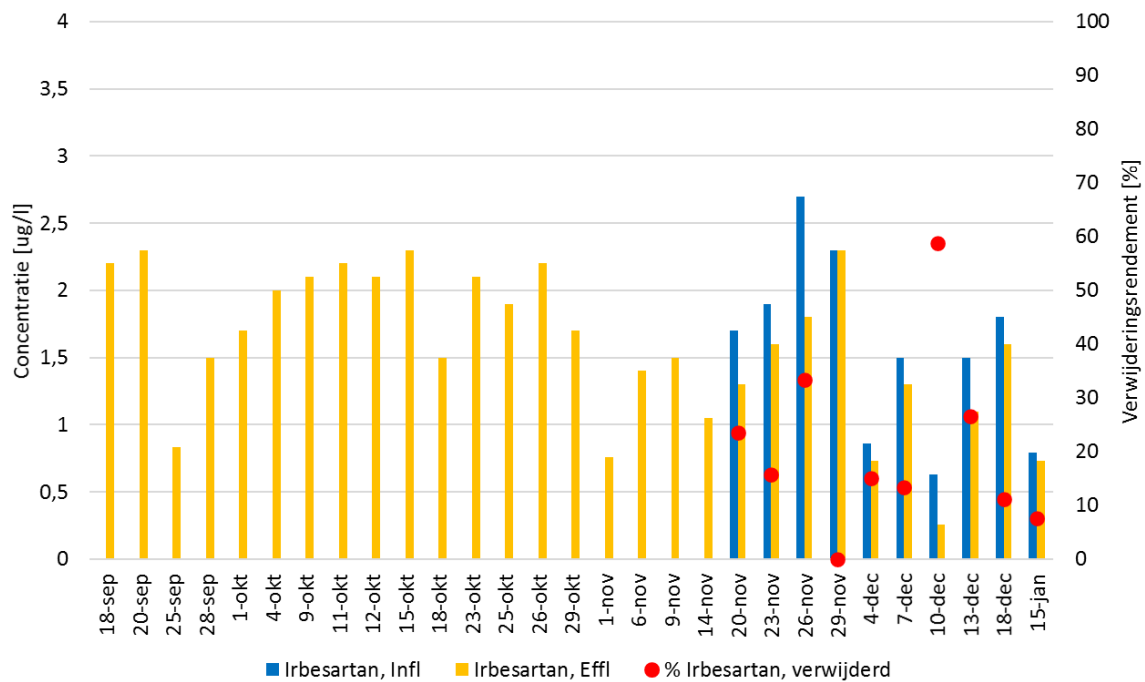
FIGUUR B14.2 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B14.3 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B14.4 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



Uit deze figuren blijkt dat de componenten metformine en sulfamethoxazol op alle bemonsteringsdagen met een zeer hoog rendement worden verwijderd in de rwzi, terwijl diclofenac (let op schaal y-as: verwijderingsrendement van -100 tot 100%) en irbesartan in de rwzi slechts in geringe mate worden verwijderd.

De verwachting is dat de concentratie van alle medicijnen in het influent van de rwzi (24-uurs-verzamemonsters) een vergelijkbare trend vertoont, indien wordt aangenomen dat medicijnverbruik redelijk constant is en dat daarom de variaties in concentraties met name ontstaan door wisselingen in debiet t.g.v. regenval en droge dagen. Die relatie zien we niet altijd terug in de grafieken (zie ook bijlage 22). Wel blijkt dat de concentratie van medicijnen op de dagen met een hoog aanvoerdebiet (RWA: 4 december, 10 december en 15 januari) lager ligt dan het gemiddelde.

VERWIJDERING MET UV + H₂O₂ TECHNOLOGIE:

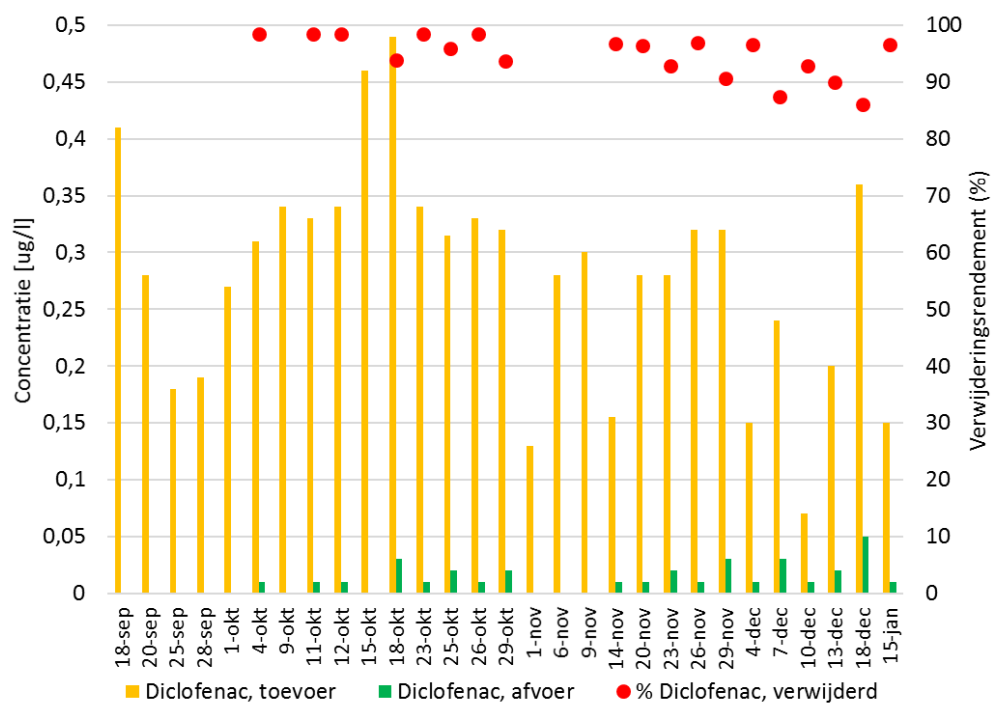
De concentratie van alle afzonderlijke medicijnen/ gidsstoffen in de toevoer en de afvoer van de UV + H₂O₂ pilot installatie en de hieruit berekende verwijderingsrendementen zijn weergegeven in de figuren in bijlage 22.

Om duidelijk te maken dat sommige componenten met UV + H₂O₂ veel beter verwijderd worden dan andere, zijn in figuren B14.5 en B14.6 de grafieken voor diclofenac en gabapentine ook hieronder weergegeven.

FIGUUR B14.5

DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE

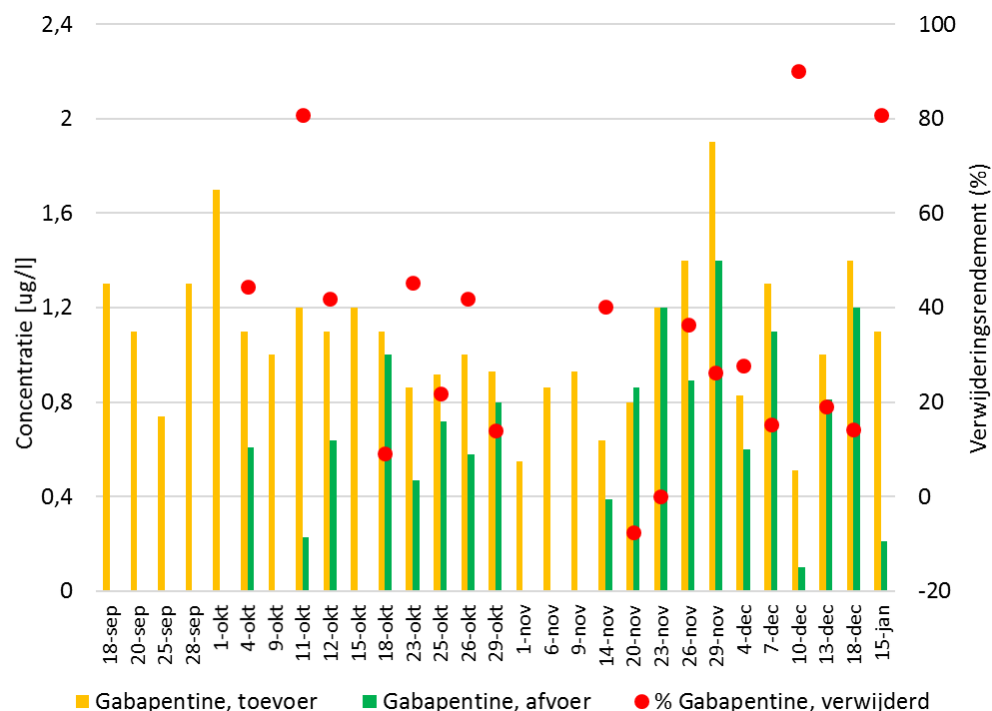
VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B14.6

DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE

VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



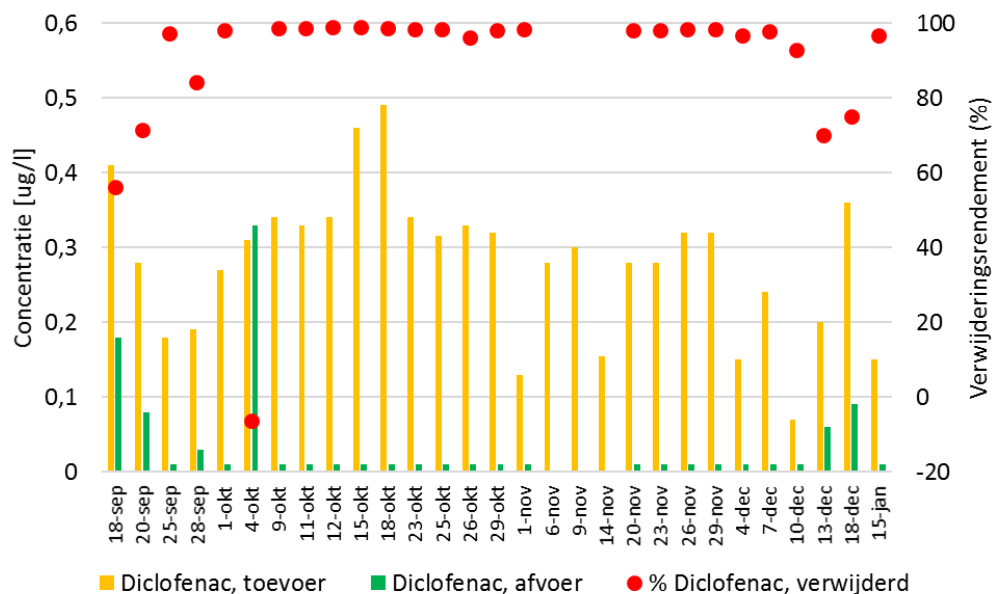
Uit figuur B14.5 blijkt dat diclofenac op alle bemonsteringsdagen met een zeer hoog rendement (>80%) wordt verwijderd. Gabapentine wordt veel minder goed verwijderd met de toegepaste UV-dosis blijkt uit figuur B14.6. In de periode van de vergelijkende test (vanaf 20 november 2018) ligt het verwijderingsrendement van gabapentine meestal onder de 40% en wordt slechts twee keer een verwijderingsrendement hoger dan 80% behaald. Op beide dagen met hoog verwijderingsrendement is de UV-transmissie van het water hoger t.g.v. verdunning met regenwater, waardoor de resulterende UV-dosis hoger is.

VERWIJDERING MET O₃ TECHNOLOGIE:

De concentratie van alle afzonderlijke medicijnen/ gidsstoffen in de toevoer en de afvoer van de O₃-pilot installatie en de hieruit berekende verwijderingsrendementen zijn weergegeven in de figuren in bijlage 22.

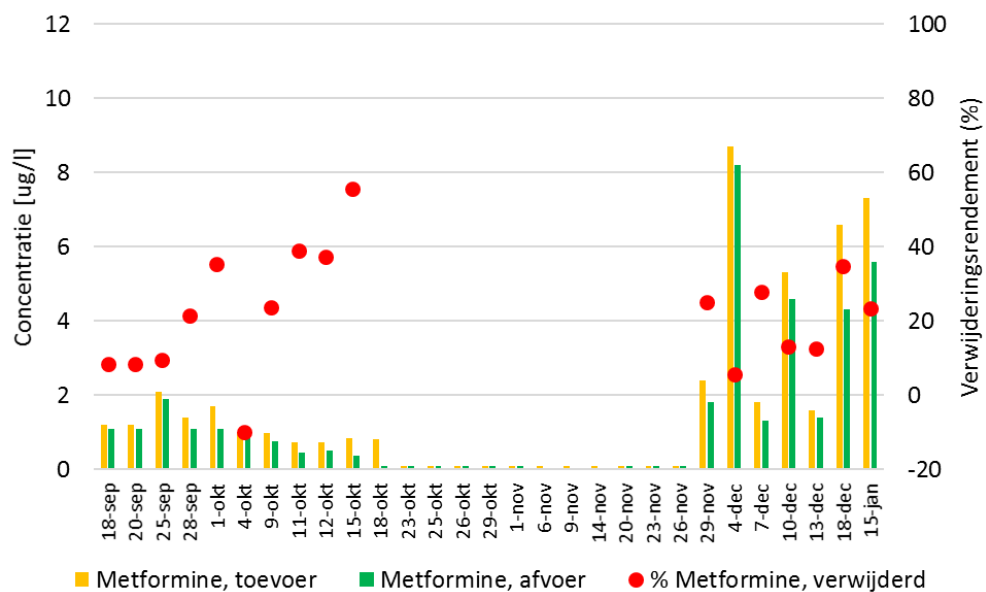
Om duidelijk te maken dat sommige componenten met O₃ veel beter verwijderd worden dan andere, zijn in de figuren B14.7 en B14.8 de grafieken voor diclofenac en metformine ook hieronder weergegeven.

FIGUUR B14.7 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B14.8

DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



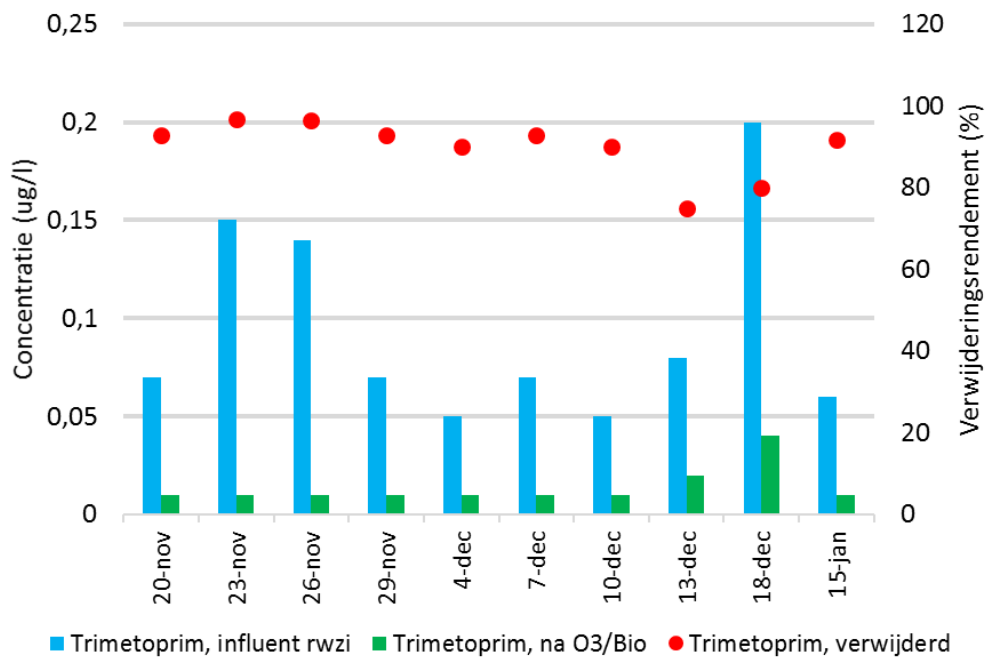
Uit figuur B14.7 blijkt dat diclofenac op alle bemonsteringsdagen met een zeer hoog rendement (>90%) wordt verwijderd, uitgezonderd beide dagen waarop een technische storing optrad bij de O₃-dosering, waarop desondanks toch nog een verwijderingsrendement van 70% behaald werd. Metformine wordt met de toegepaste O₃-dosering veel minder goed verwijderd blijkt uit figuur B14.8. In de periode van de vergelijkende test (vanaf 20-nov-2018) ligt het verwijderingsrendement op alle bemonsteringsdagen onder de 40%.

COMBINATIE VAN RWZI MET OXIDATIEVE TECHNOLOGIE:

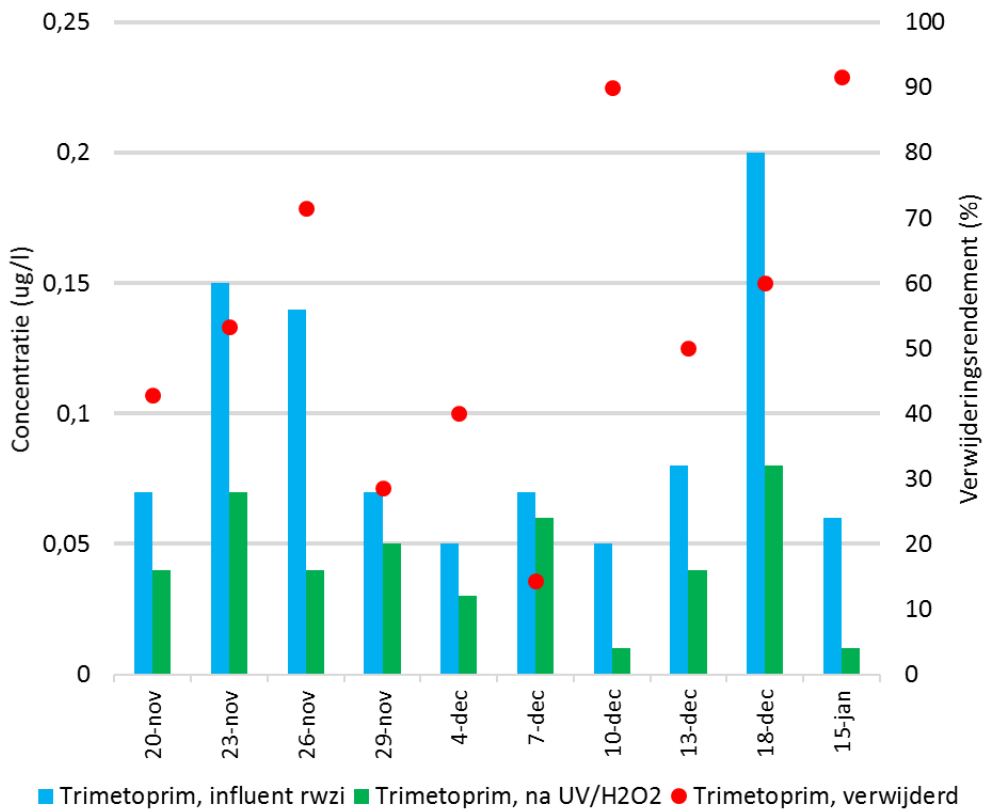
Tenslotte zijn in de figuren in bijlage 22 de concentratie van alle afzonderlijke medicijnen/gidsstoffen in het influent van de rwzi en de afvoer van beide pilot installaties (zowel O₃ als UV + H₂O₂) weergegeven, en de hieruit berekende verwijderingsrendementen over de combinatie van rwzi plus de betreffende nageschakelde techniek weergegeven.

Het meest opvallende verschil tussen de combinatie van rwzi met nageschakelde AOP technologie is te zien voor trimetoprim. De grafieken van trimetoprim zijn ook nog eens hieronder weergegeven in de figuren B14.9. en B14.10. Deze stof wordt in de rwzi in beperkte mate afgebroken (gemiddeld 22%) en het verschil in verwijderingsrendement tussen beide AOP's komt dan tot uiting indien de combinatie rwzi + AOP wordt beschouwd. Duidelijk is te zien dat de verwijdering in de combinatie van rwzi + O₃ een stuk hoger ligt (gemiddeld 90%) dan de verwijdering in de combinatie rwzi + UV + H₂O₂ (gemiddeld 52%).

FIGUUR B14.9 DE CONCENTRATIE TRIMETOPRIM IN HET INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B14.10 DE CONCENTRATIE TRIMETOPRIM IN HET INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV + H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



BIJLAGE 15

OVERIGE CONCLUSIES

Naast de vergelijking van twee oxidatieve methoden voor medicijnrestenverwijdering, is bij het onderzoek veel overige informatie beschikbaar gekomen. In deze bijlage een weergave van de “overige conclusies” die uit het onderzoek afgeleid kunnen worden.

MEDICIJN CONCENTRATIES IN AFVALWATER RWZI AARLE-RIXTEL

- De concentraties medicijnen in het influent en effluent van rwzi Aarle-Rixtel komen overeen met de landelijke gegevens en met eerder onderzoek dat op rwzi Aarle-Rixtel heeft plaatsgevonden.
- De gemiddelde concentraties medicijnen in steekmonsters en 24-uurs tijdsproportionele verzamelmonsters komen goed overeen en de verschillen vallen binnen de standaarddeviatie.
- De hoogte van de concentratie van verschillende medicijnen verschilt sterk. Diverse medicijnen zijn in relatief hoge concentratie aanwezig in het influent (hoogste: metformine gemiddeld 100 µg/l), terwijl andere medicijnen in veel lagere concentraties aanwezig zijn (bijv. clozapine 0,06 µg/l) of onder de rapportagegrens liggen.

VERWIJDERING MEDICIJNEN IN RWZI AARLE-RIXTEL

- In de rwzi Aarle-Rixtel werd tijdens de vergelijkende test een verwijderingsrendement van medicijnen van ruim 40% behaald.
- Sommige medicijnen worden in de rwzi met hoog rendement verwijderd (metformine 98%), terwijl andere medicijnen nauwelijks worden verwijderd in de rwzi (diclofenac 3%)

VERWIJDERINGSRENDEMENT AFZONDERLIJKE MEDICIJNEN EN SPECIFIEKE O₃-DOSERING

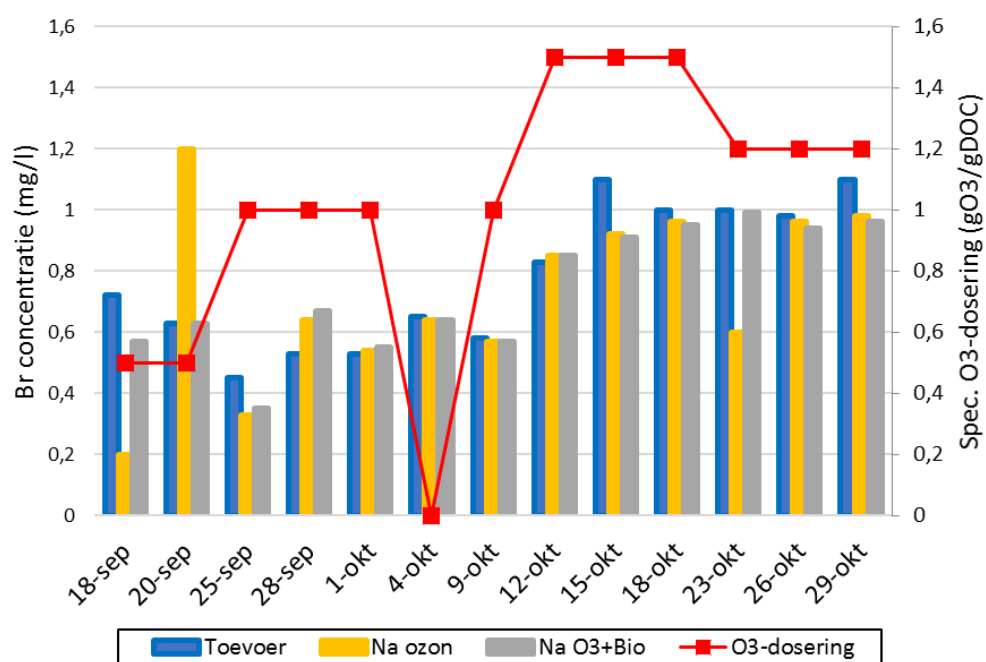
Het verwijderingsrendement van de meeste medicijnen neemt toe bij verhoging van de specifieke O₃-dosering. Het grootste verschil wordt gezien bij verhoging van 0,5 naar 1,0 g O₃/gDOC. Verdere verhoging levert een minder groot verschil. Voor enkele stoffen wordt weinig effect gezien van toenemende O₃ concentratie (bv clozapine).

BIJLAGE 16

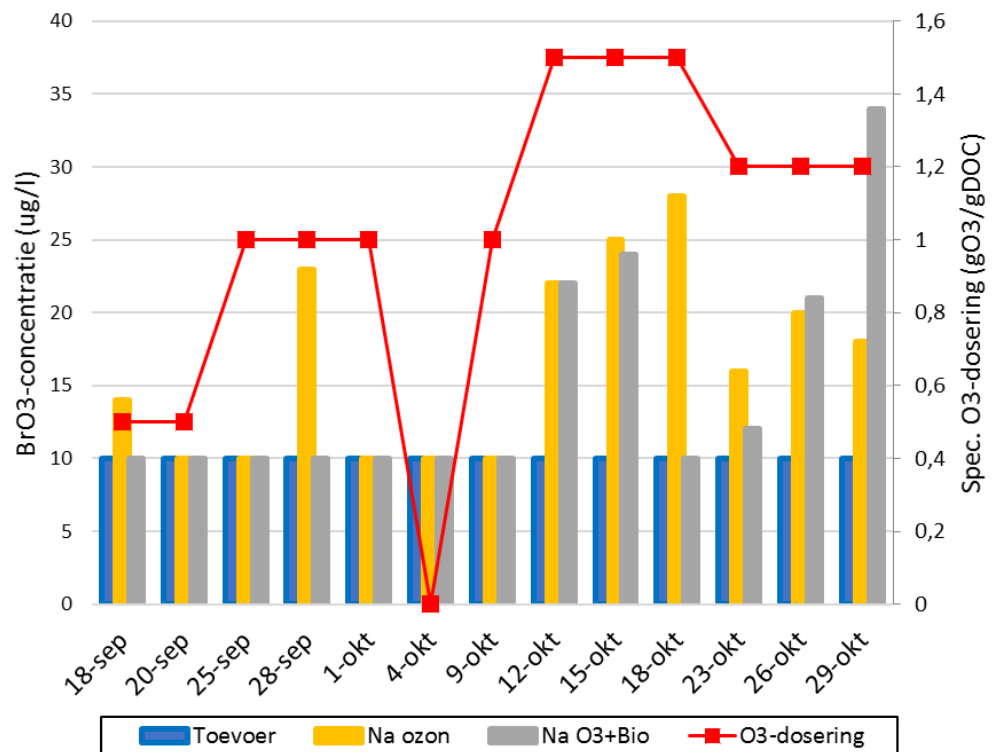
BROMIDE EN BROMAAT TIJDENS INREGELPERIODE

De bromide- en bromaat concentraties die gemeten zijn tijdens de inregelperiode zijn in onderstaande figuren B16.1 en B16.2 weergegeven.

FIGUUR B16.1 BROMIDE CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE (18 SEPTEMBER T/M 29 OKTOBER 2018) (RAPPORTAGEGREN 0,2 MG/L)



FIGUUR B16.2 BROMAAT CONCENTRATIE ($\mu\text{g/L}$) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O_3 -PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE (18 SEPTEMBER T/M 29 OKTOBER 2018) (RAPPORTAGEGREN 10 $\mu\text{g/L}$)



Gedurende de inregelperiode is bromaat geanalyseerd met een te hoge rapportagegrens (10 $\mu\text{g/l}$) waardoor deze vaak < 10 $\mu\text{g/l}$ gerapporteerd is. Tijdens de vergelijkende test zijn de bromaat analyses uitgevoerd met een andere analysemethode met lagere rapportagegrens (0,2 $\mu\text{g/l}$).

Tijdens de inregelperiode komen op 5 van de 13 bemonsteringsdagen (18 en 28 september, 18, 23 en 29 oktober) opvallende resultaten voor bij de bromaat analyses. Het betreft verschillen in concentraties voor en na de bioreactor, terwijl daar geen verschil verwacht wordt. Ook voor bromide zijn er opvallende resultaten tijdens de inregelperiode. Er wordt geen of nauwelijks verschil verwacht in bromide concentratie tussen de 3 monsterpunten, maar op enkele bemonsteringsdagen (meest opvallend: 18 en 20 september, 20 oktober) worden flinke verschillen aangetroffen.

Het verband tussen de hoogte van de specifieke ozondosering en de bromaatproductie is op basis van de resultaten van de inregelperiode lastig te bepalen, door de toen nog gehanteerde hoge rapportagegrens (10 $\mu\text{g/l}$) van bromaat en doordat de bromideconcentraties in het influent van de rwzi varieerden. Bij lage ozondosering (< 1,0 gO_3/gDOC) lagen de bromaatconcentraties na de ozonbehandeling steeds onder de 10 $\mu\text{g/l}$ (= rapportagegrens), maar was ook de bromide concentratie relatief lager (0,4-0,7 mg/l). Bij hogere O_3 -dosering (> 1,0 gO_3/gDOC) werd 15-25 $\mu\text{g/l}$ bromaat aangetroffen in de afvoer van de ozon pilot, maar in die periode lag de bromide concentratie ook hoger (0,8-1,1 mg/l).

BIJLAGE 17

ECOTOXICITEIT (SIMONI), INDIVIDUELE TESTEN

De resultaten van de individuele testen zijn weergegeven in de drie tabellen B17.1 A, B en C. De uitslagen van de bioassays zijn uitgedrukt in toxic units (TU) of toxic equivalents in µg/l of ng/l van de bepaalde stof. De ESW en de weegfactor van de individuele testen zijn ook weergegeven in de tabellen. Deze tabellen zijn een kopie uit de Simoni excel sheet (17).

TABEL B17.1 A RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST, UITGEDRUKT IN TOXIC UNITS (TU) OF EQUIVALENTEN (µG OF NG) VAN EEN BEPAALDE STOF. OOK DE ESW EN DE WEEGFACOR IS WEERGEGEVEN PER INDIVIDUELE TEST. DAPHNIA VELD IS NIET GEANALYSEERD (NA)

	Datum	in situ		algemeen		
		Daphnia veld	Microtox	Algentox	Daphniatox	cyto CALUX P
		% sterfte	TU	TU	TU	TU
effluent rwzi	20-11-18	NA	0,020	0,01	0,01	0,000
na uv	20-11-18	NA	0,023	0,01	0,01	0,000
na ozon en bio	20-11-18	NA	0,017	0,00	0,00	0,000
effluent rwzi	26-11-18	NA	0,023	0,01	0,01	0,000
na uv	26-11-18	NA	0,029	0,00	0,01	0,000
na ozon en bio	26-11-18	NA	0,014	0,00	0,00	0,000
effluent rwzi	18-12-18	NA	0,034	0,01	0,01	0,000
na uv	18-12-18	NA	0,027	0,01	0,01	0,000
na ozon vóór bio	18-12-18	NA	0,011	0,00	0,01	0,000
na ozon en bio	18-12-18	NA	0,023	0,00	0,01	0,000
effluent rwzi	15-01-19	NA	0,037	0,01	0,01	0,143
na uv	15-01-19	NA	0,014	0,00	0,00	0,000
na ozon vóór bio	15-01-19	NA	0,015	0,00	0,00	0,000
na ozon en bio	15-01-19	NA	0,006	0,00	0,00	0,000
ESW		20	0,05	0,05	0,05	0,05
gewicht		2	2	2	2	2

TABEL B17.1 B RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST, UITGEDRUKT IN TOXIC UNITS (TU) OF EQUIVALENTEN (μg OF ng) VAN EEN BEPAALDE STOF. OOK DE ESW EN DE WEEGFACOR IS WEERGEGEVEN PER INDIVIDUELE TEST. DE CODERING VAN DE ANTIBIOTICA TESTEN WORDEN IN DE TEKST VAN DEZE BIJLAGE TOEGELICHT

	Datum	ER CALUX ng EEQ/L	anti-AR CALUX μg FEQ/L	GR CALUX ng DEQ/L	Antibiotica activiteit				
					T	Q	M+B	S	A
					ng OEQ/L	ng FEQ/L	ng PEQ/L	ng SEQ/L	ng NEQ/L
effluent rwzi	20-11-18	1,330	199,50	66,50	0,00	0,00	66,00	170,00	720,00
na uv	20-11-18	0,551	20,90	0,00	0,00	0,00	57,00	69,00	640,00
na ozon en bio	20-11-18	0,304	9,50	18,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
effluent rwzi	26-11-18	2,755	10,45	80,75	0,00	0,00	69,00	0,00	800,00
na uv	26-11-18	1,140	19,95	0,00	0,00	0,00	51,00	0,00	560,00
na ozon en bio	26-11-18	0,000	1,81	19,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
effluent rwzi	18-12-18	1,425	9,50	82,65	0,00	0,00	69,00	170,00	720,00
na uv	18-12-18	0,842	17,40	6,13	0,00	0,00	51,00	120,00	560,00
na ozon vóór bio	18-12-18	0,124	10,60	37,12	0,00	0,00	48,00	0,00	200,00
na ozon en bio	18-12-18	0,235	7,69	52,54	0,00	0,00	42,00	0,00	130,00
effluent rwzi	15-01-19	0,428	25,65	61,75	0,00	0,00	48,00	0,00	130,00
na uv	15-01-19	0,114	21,85	0,00	0,00	0,00	22,00	0,00	0,00
na ozon vóór bio	15-01-19	0,000	9,14	21,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
na ozon en bio	15-01-19	0,000	5,50	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ESW		0,5	25	100	250	100	50	100	500
gewicht		1	1	1	1	1	1	1	1

TABEL B17.1 C RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST, UITGEDRUKT IN TOXIC UNITS (TU) OF EQUIVALENTEN (μg OF ng) VAN EEN BEPAALDE STOF. OOK DE ESW EN DE WEEGFACOR IS WEERGEGEVEN PER INDIVIDUELE TEST. P53+CALUX IS NIET GEANALYSEERD (NA)

	Datum	DR CALUX	PAH CALUX	PPARg CALUX	Nrf2 CALUX	PRX CALUX	p53 CALUX	p53+ CALUX
		pg TEQ/L	ng BEQ/L	ng REQ/L	μg CEQ/L	?	ng AEQ/L	μg CEQ/L
effluent rwzi	20-11-18	0,0	199,5	0,00	8,55	25,65	0,00	NA
na uv	20-11-18	0,0	92,2	0,00	66,50	20,90	0,00	NA
na ozon en bio	20-11-18	0,0	104,5	0,00	79,80	23,75	0,00	NA
effluent rwzi	26-11-18	0,0	180,5	0,00	123,50	38,00	0,00	NA
na uv	26-11-18	0,0	83,6	0,00	85,50	22,80	0,00	NA
na ozon en bio	26-11-18	0,0	10,5	0,00	47,50	19,00	0,00	NA
effluent rwzi	18-12-18	0,0	361,0	0,00	104,50	61,75	0,00	NA
na uv	18-12-18	0,0	82,4	0,00	82,41	22,89	0,00	NA
na ozon vóór bio	18-12-18	0,0	388,8	0,00	46,84	25,63	0,00	NA
na ozon en bio	18-12-18	0,0	93,8	0,00	56,30	32,84	0,00	NA
effluent rwzi	15-01-19	0,0	86,5	0,00	45,60	66,50	0,00	NA
na uv	15-01-19	0,0	62,7	0,00	45,60	15,20	0,00	NA
na ozon vóór bio	15-01-19	0,0	143,8	0,00	46,22	26,70	0,00	NA
na ozon en bio	15-01-19	0,0	28,0	0,00	30,00	17,00	0,00	NA
ESW		50	150	10	10	3	0,005	0,005
gewicht		1	1	1	1	1	0,5	0,5

In de onderstaande drie tabellen B17.2 A, B en C zijn de resultaten van de individuele testen weergegeven, zoals deze bijdragen aan de Simoni score. Ook deze tabellen zijn een kopie uit de Simoni excel sheet (17). De getallen die in deze tabel zijn weergegeven zijn eenheidsloos, en zijn de uitslagen van de individuele testen uitgedrukt in toxic units of -equivalenten gedeeld door de ESW (zie tabel B17.1 voor deze data). Om tot de Simoni score van het monster te komen, worden de getallen uit tabel B17.2 (afzonderlijke bioassays/ESW) vermenigvuldigd

met hun afzonderlijke weegfactor (zie tabel B17.1), waarna de som van deze uitkomsten wordt gedeeld door de som van de weegfactoren en een "correctiefactor". Meer detail van de berekeningsmethodiek is te vinden in Stowa 2016-15 (17).

TABEL B17.2 A RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST. DE GETALLEN ZIJN EENHEIDSLOOS EN ZIJN BEREKEND DOOR DE UITSLAG (IN TOXIC UNITS OF EQUIVALENTEN) TE DELEN DOOR DE ESW. DAPHNIA VELD IS NIET GEANALYSEERD (NA)

	Datum	Daphnia veld	Microtox	Algentox	Daphniatox	cyto CALUX w ater
effluent rwzi	20-11-18	NA	0,40	0,11	0,11	0,00
na uv	20-11-18	NA	0,46	0,11	0,11	0,00
na ozon en bio	20-11-18	NA	0,34	0,06	0,06	0,00
effluent rwzi	26-11-18	NA	0,46	0,11	0,23	0,00
na uv	26-11-18	NA	0,57	0,06	0,11	0,00
na ozon en bio	26-11-18	NA	0,29	0,00	0,06	0,00
effluent rwzi	18-12-18	NA	0,68	0,11	0,17	0,00
na uv	18-12-18	NA	0,55	0,11	0,11	0,00
na ozon vóór bio	18-12-18	NA	0,21	0,00	0,11	0,00
na ozon en bio	18-12-18	NA	0,45	0,06	0,11	0,00
effluent rwzi	15-01-19	NA	0,74	0,23	0,11	2,85
na uv	15-01-19	NA	0,29	0,00	0,00	0,00
na ozon vóór bio	15-01-19	NA	0,31	0,06	0,00	0,00
na ozon en bio	15-01-19	NA	0,12	0,06	0,00	0,00

TABEL B17.2 B RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST. DE GETALLEN ZIJN EENHEIDSLOOS EN ZIJN BEREKEND DOOR DE UITSLAG (IN TOXIC UNITS OF EQUIVALENTEN) TE DELEN DOOR DE ESW. DE CODERING VAN DE ANTIBIOTICA TESTEN WORDEN IN DE TEKST VAN DEZE BIJLAGE TOEGELICHT

	Datum	ER CALUX	anti-AR CALUX	GR CALUX	Antibiotica activiteit					
					T	Q	M+B	S	A	Totaal
effluent rwzi	20-11-18	2,66	7,98	0,67	0,00	0,00	1,32	1,70	1,44	0,89
na uv	20-11-18	1,10	0,84	0,00	0,00	0,00	1,14	0,69	1,28	0,62
na ozon en bio	20-11-18	0,61	0,38	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
effluent rwzi	26-11-18	5,51	0,42	0,81	0,00	0,00	1,38	0,00	1,60	0,60
na uv	26-11-18	2,28	0,80	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	1,12	0,43
na ozon en bio	26-11-18	0,00	0,07	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
effluent rwzi	18-12-18	2,85	0,38	0,83	0,00	0,00	1,38	1,70	1,44	0,90
na uv	18-12-18	1,68	0,70	0,06	0,00	0,00	1,02	1,20	1,12	0,67
na ozon vóór bio	18-12-18	0,25	0,42	0,37	0,00	0,00	0,96	0,00	0,40	0,27
na ozon en bio	18-12-18	0,47	0,31	0,53	0,00	0,00	0,84	0,00	0,26	0,22
effluent rwzi	15-01-19	0,86	1,03	0,62	0,00	0,00	0,96	0,00	0,26	0,24
na uv	15-01-19	0,23	0,87	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,09
na ozon vóór bio	15-01-19	0,00	0,37	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
na ozon en bio	15-01-19	0,00	0,22	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABEL B17.2 C RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE BIOASSAY TESTEN VAN DE ECOTOXICITEITSANALYSE (SIMONI) VOOR 4 MONSTERDAGEN VAN DE VERGELIJKENDE TEST. DE GETALLEN ZIJN EENHEIDSLOOS EN ZIJN BEREKEND DOOR DE UITSLAG (IN TOXIC UNITS OF EQUIVALENTEN) TE DELEN DOOR DE ESW. P53+CALUX IS NIET GEANALYSEERD (NA)

	Datum	DR CALUX	PAH CALUX	PPARg CALUX	Nrf2 CALUX	PRX CALUX	p53 CALUX	p53+ CALUX
effluent rwzi	20-11-18	0,00	1,33	0,00	0,86	8,55	0,00	NA
na uv	20-11-18	0,00	0,61	0,00	6,65	6,97	0,00	NA
na ozon en bio	20-11-18	0,00	0,70	0,00	7,98	7,92	0,00	NA
effluent rwzi	26-11-18	0,00	1,20	0,00	12,35	12,67	0,00	NA
na uv	26-11-18	0,00	0,56	0,00	8,55	7,60	0,00	NA
na ozon en bio	26-11-18	0,00	0,07	0,00	4,75	6,33	0,00	NA
effluent rwzi	18-12-18	0,00	2,41	0,00	10,45	20,58	0,00	NA
na uv	18-12-18	0,00	0,55	0,00	8,24	7,63	0,00	NA
na ozon vóór bio	18-12-18	0,00	2,59	0,00	4,68	8,54	0,00	NA
na ozon en bio	18-12-18	0,00	0,63	0,00	5,63	10,95	0,00	NA
effluent rwzi	15-01-19	0,00	0,58	0,00	4,56	22,17	0,00	NA
na uv	15-01-19	0,00	0,42	0,00	4,56	5,07	0,00	NA
na ozon vóór bio	15-01-19	0,00	0,96	0,00	4,62	8,90	0,00	NA
na ozon en bio	15-01-19	0,00	0,19	0,00	3,00	5,67	0,00	NA

De 5 antibiotica scores gaan om groepen antibiotica: T = tetracyclines, Q = quinilonen, M+B = macroliden, S = Sulfonamides en A = Aminoglycosiden. Het rekenkundig gemiddelde van deze vijf testen vormt de totale score van de antibiotica.

In de tabellen B17.2 zijn de zwaar meetellende resultaten rood of oranje gemaakt om deze te laten opvallen. Dit zijn kleurcoderingen zoals aanwezig in de Simoni-excel (17). Overigens betreft dit kleurcoderingen die zijn ontwikkeld voor oppervlaktewater. Rwnz effluent is geen oppervlaktewater. Bovendien zijn de meeste testuitslagen qua kleurcodering gebaseerd op een maatlat ontwikkeld uit testresultaten met passieve sampling; hier is direct uit water geëxtraheerd. Getallen en kleuren moeten daarom worden gezien als indicatie.

Uit de scores van de 14 individuele testen (de 5 antibiotica-testen tellen als één score) blijkt dat de totale Simoni score met name wordt bepaald door de PRX- (gerelateerd aan toxische componenten) en de NRF-calux testen (gerelateerd aan aanwezigheid sterk oxidatieve stoffen) en in mindere mate door de ER- (oestrogene werking) en PAH-calux (Poly Aromatische Koolwaterstoffen PAK's). De lagere score na ozon en UV wordt ook bepaald door lagere scores op deze vier calux-testen. De antibiotica-testen tellen heel beperkt mee in de totale score, terwijl de overige testen geen significant effect laten zien. Ook bij de in het lab uitgevoerde testen met XAD concentraat bleek er nagenoeg geen effect bij testen met levende organismen zoals algen, watervlooien en microtox (bacteriën).

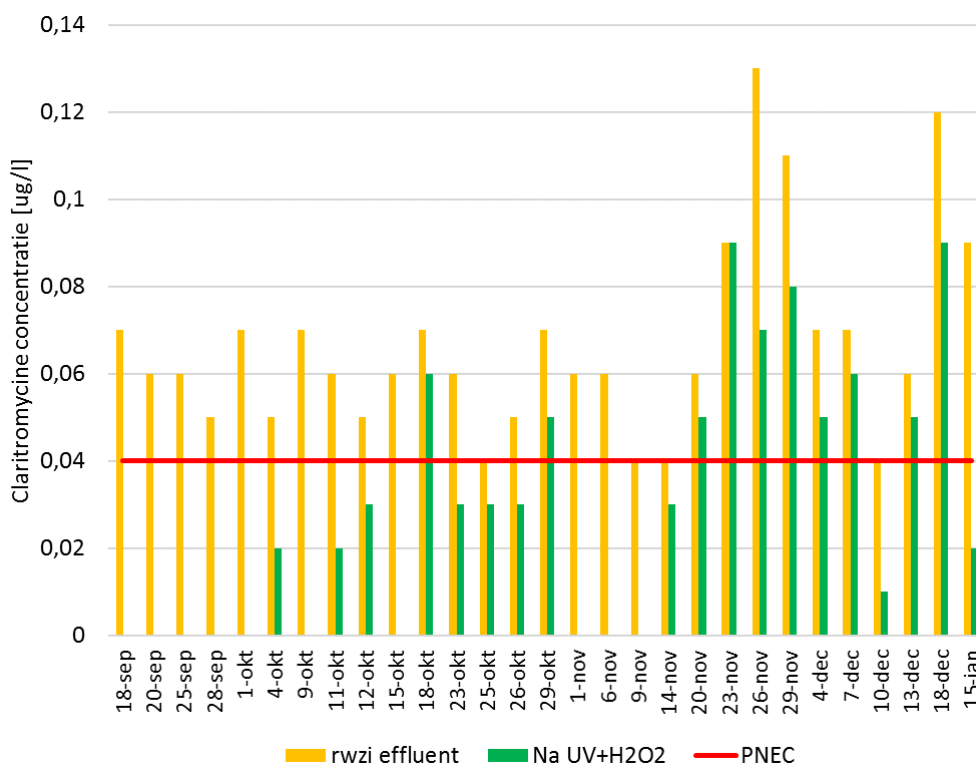
BIJLAGE 18

PNEC EN DBS WAARDEN

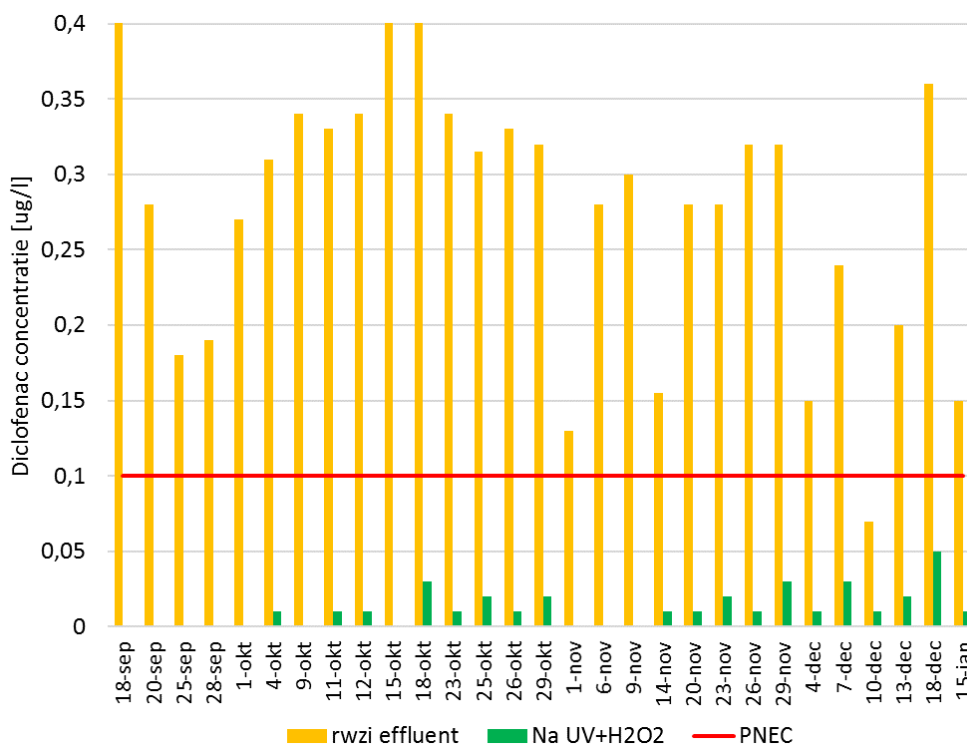
Onderstaande figuren geven de concentratie weer van diverse medicijnen in het effluent van rwzi Aarle-Rixtel, voor en na de behandeling met oxidatieve methoden tijdens de inregelperiode en de vergelijkende test. De concentratie van de betreffende medicijnen liggen in het oppervlaktewater regelmatig boven de PNEC of DBS waarden. In de figuren zijn ook de PNEC of DBS waarden weergegeven.

RESULTATEN NA UV+H₂O₂ BEHANDELING (FIGUUR B18.1 T/M B18.7):

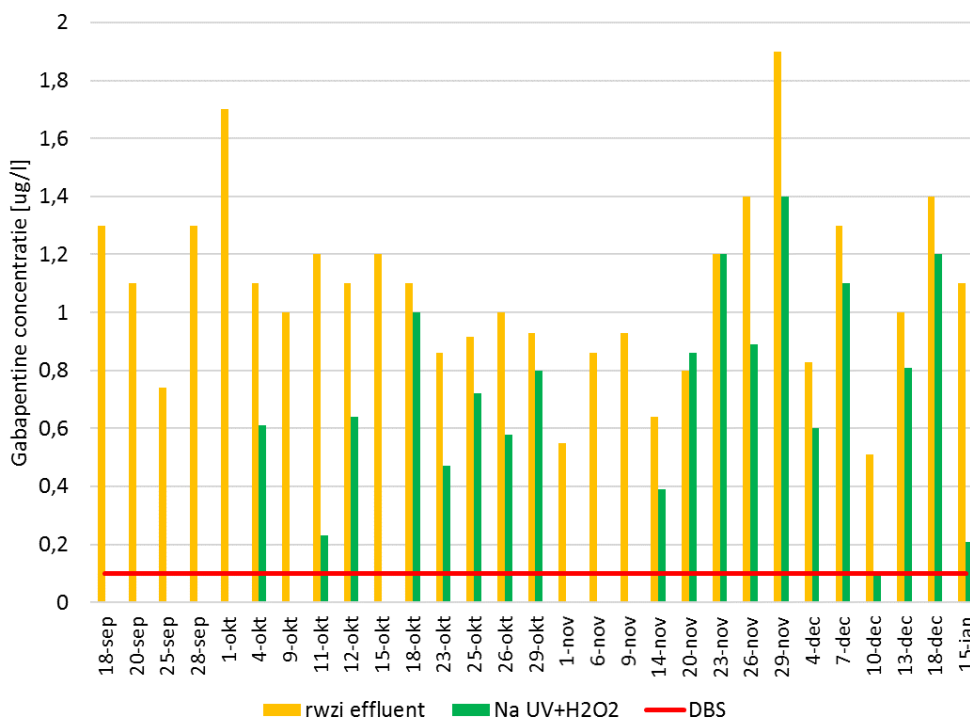
FIGUUR B18.1 CLARITROMYCINE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE PNEC WAARDE



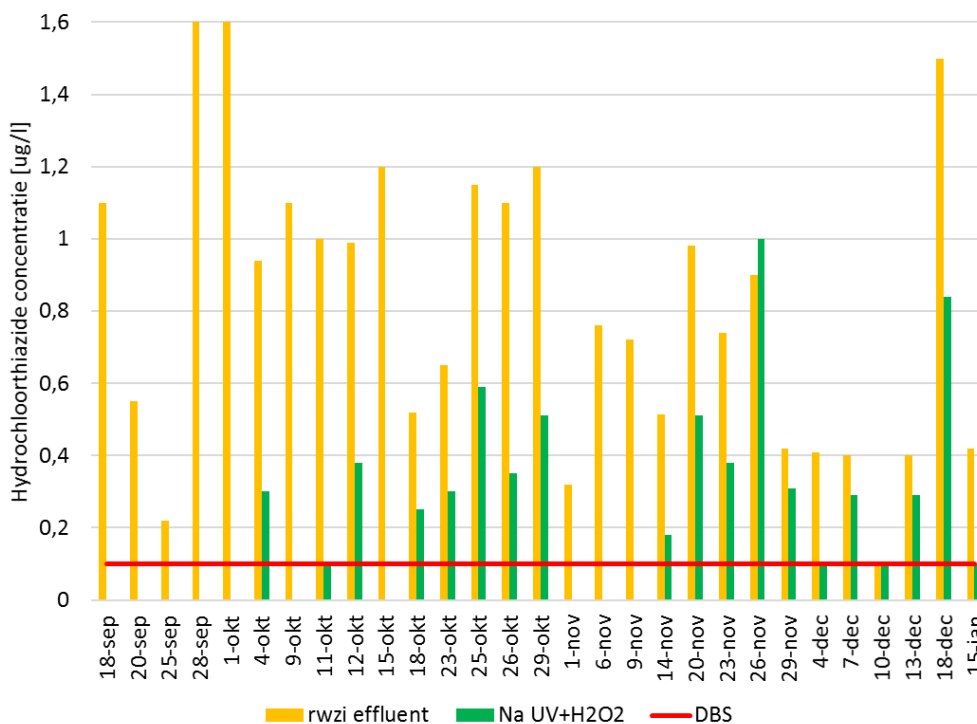
FIGUUR B18.2 DICLOFENAC CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE PNEC WAARDE



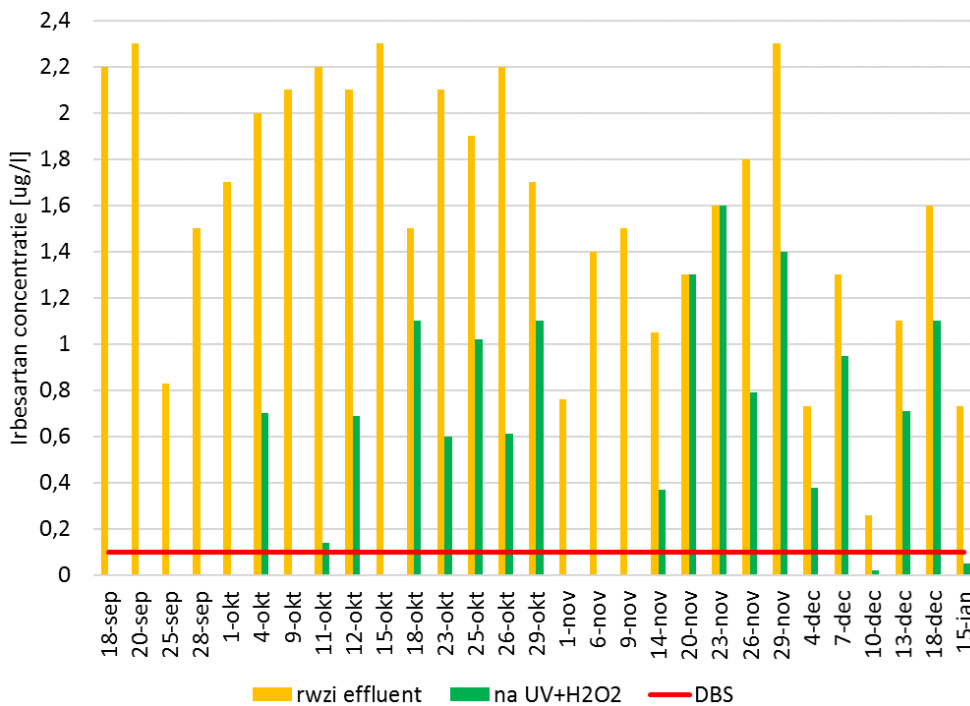
FIGUUR B18.3 GABAPENTINE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE



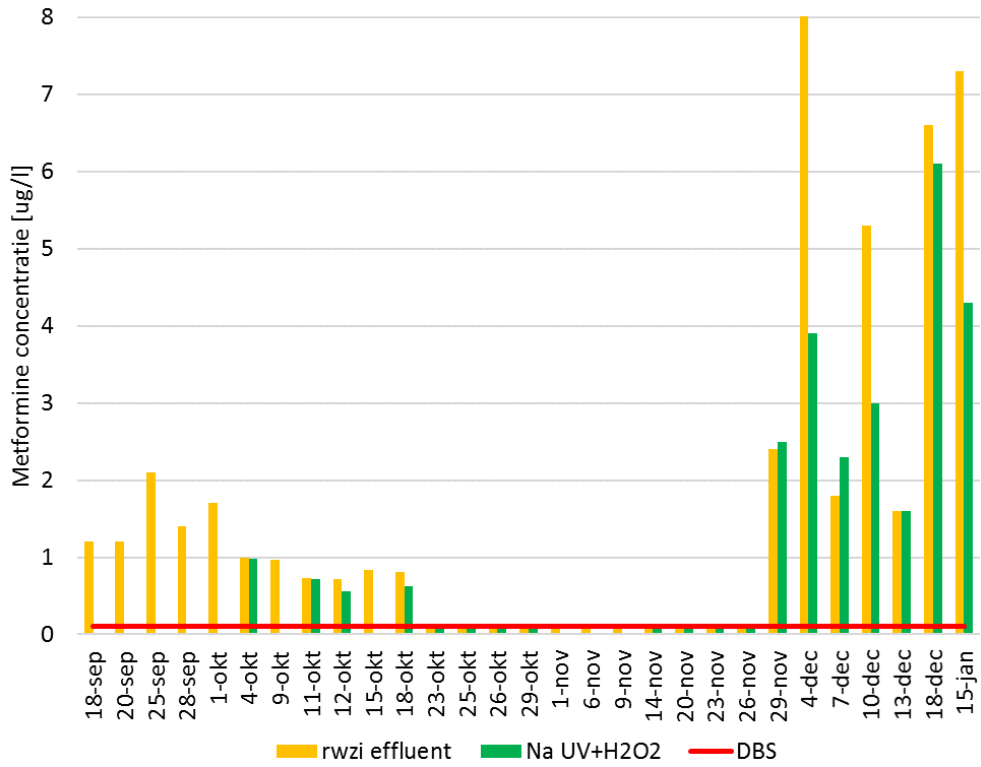
FIGUUR B18.4 HYDROCHLOORTHIAZIDE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE. RESULTATEN 28-SEPT EN 1-OCT ZIJN RESPECTIEVELIJK 1,9 EN 3,2 UG/L



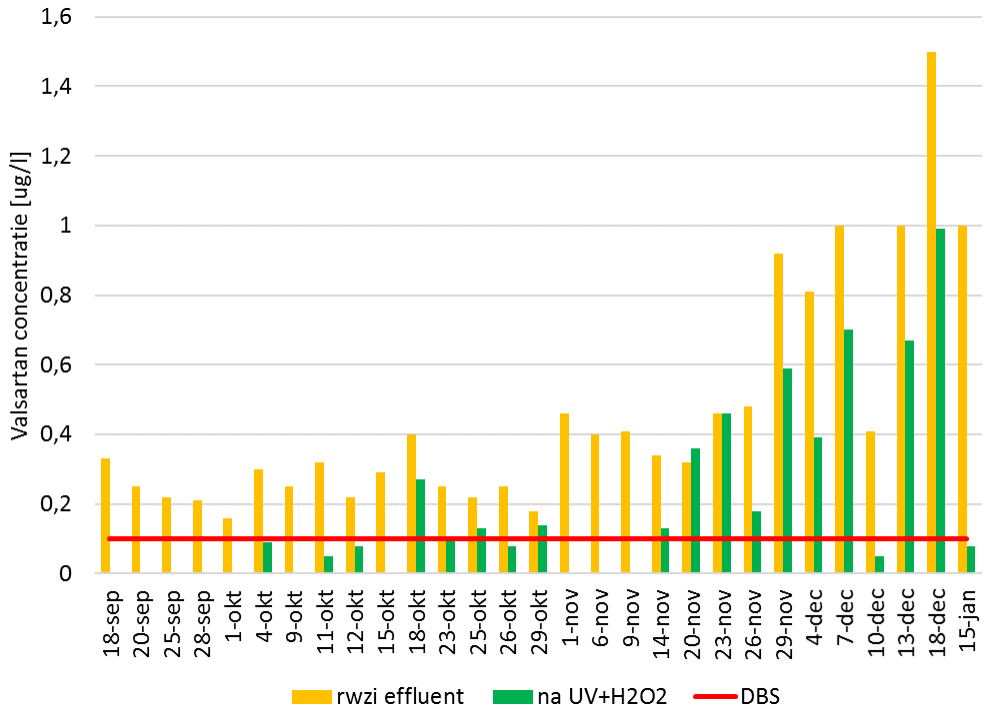
FIGUUR B18.5 IRBESARTAN CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE



FIGUUR B18.6 METFORMINE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE. RESULTAAT 4-DEC IS 8,7 UG/L

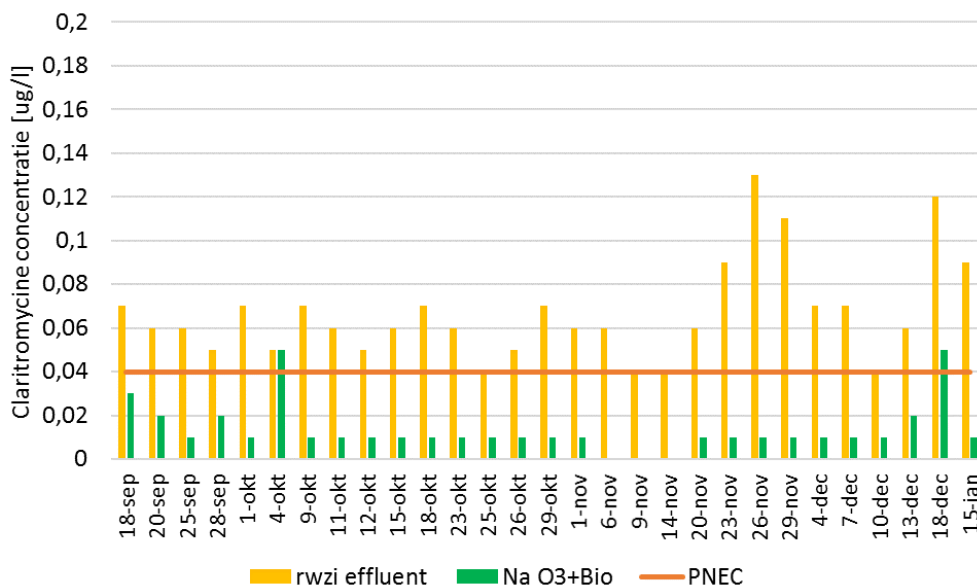


FIGUUR B18.7 VALSARTAN CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE UV + H₂O₂-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE

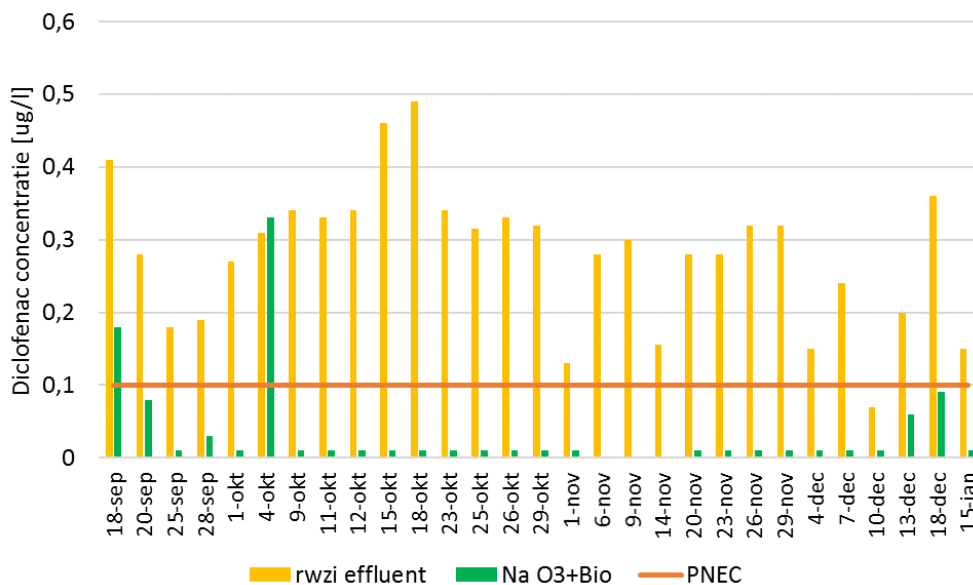


RESULTATEN NA O₃+BIO BEHANDELING (FIGUUR B18.8 T/M B18.14):

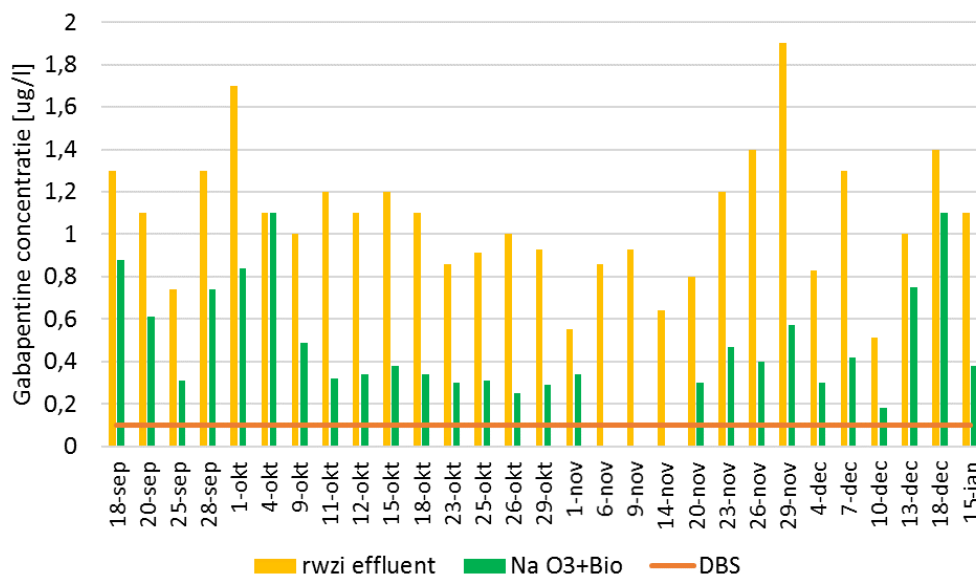
FIGUUR B18.8 CLARITROMYCINE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE PNEC WAARDE.



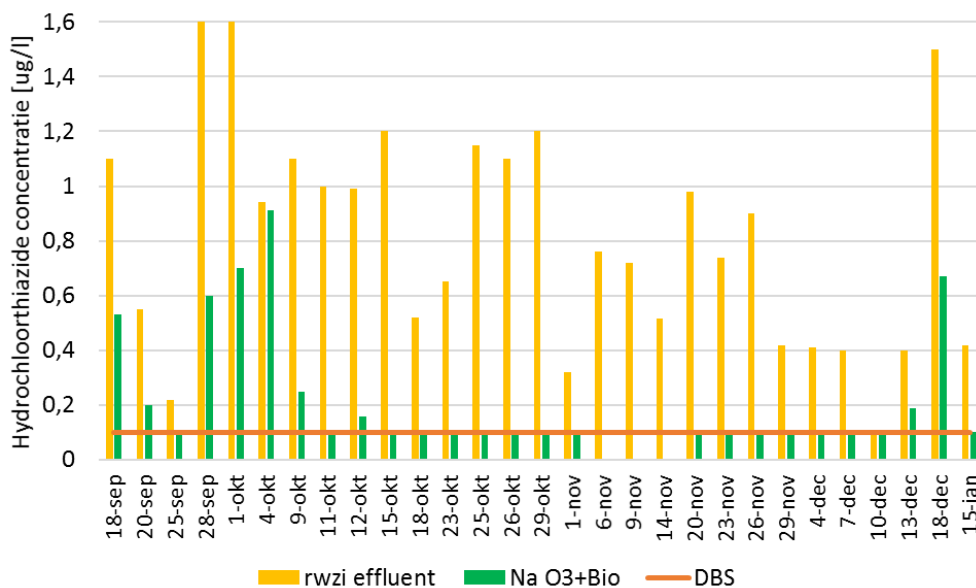
FIGUUR B18.9 DICLOFENAC CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE PNEC WAARDE



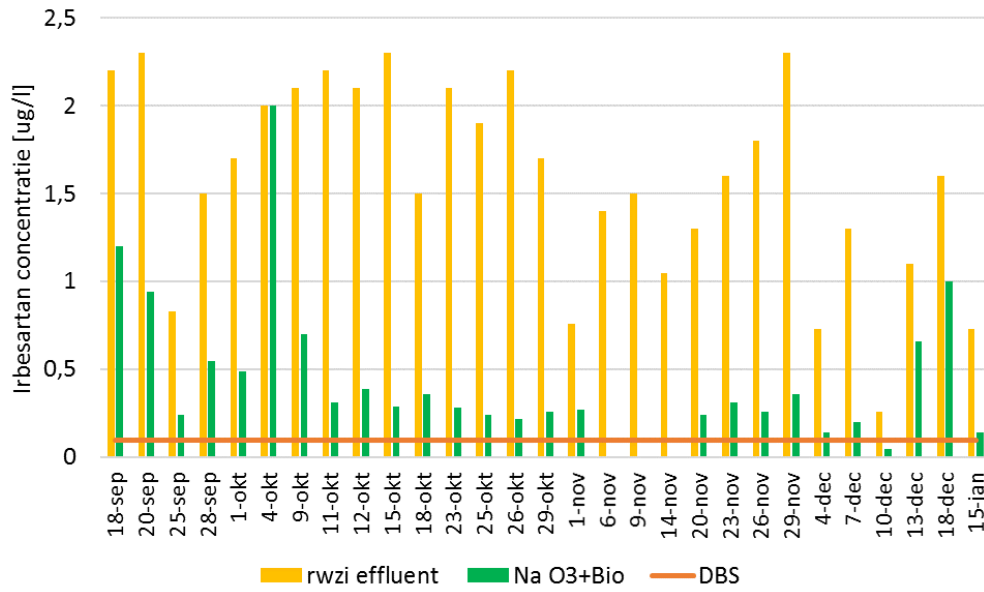
FIGUUR B18.10 GABAPENTINE CONCENTRATIE ($\mu\text{G/L}$) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O_3 -PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE



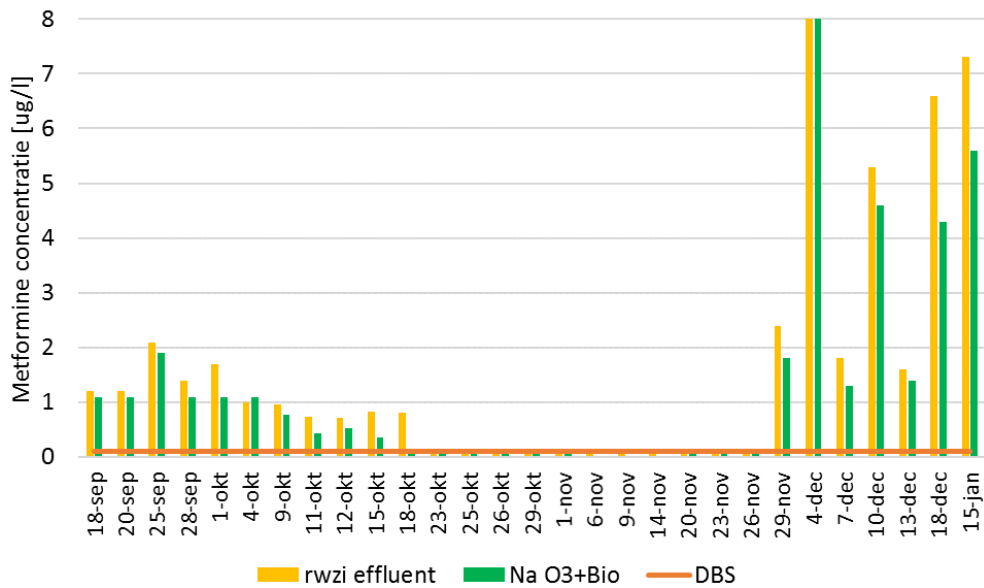
FIGUUR B18.11 HYDROCHLOORTHIAZIDE CONCENTRATIE ($\mu\text{G/L}$) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O_3 -PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE. RESULTATEN 28-SEPT EN 1-OCT ZIJN RESPECTIEVELIJK 1,9 EN 3,2 $\mu\text{G/L}$



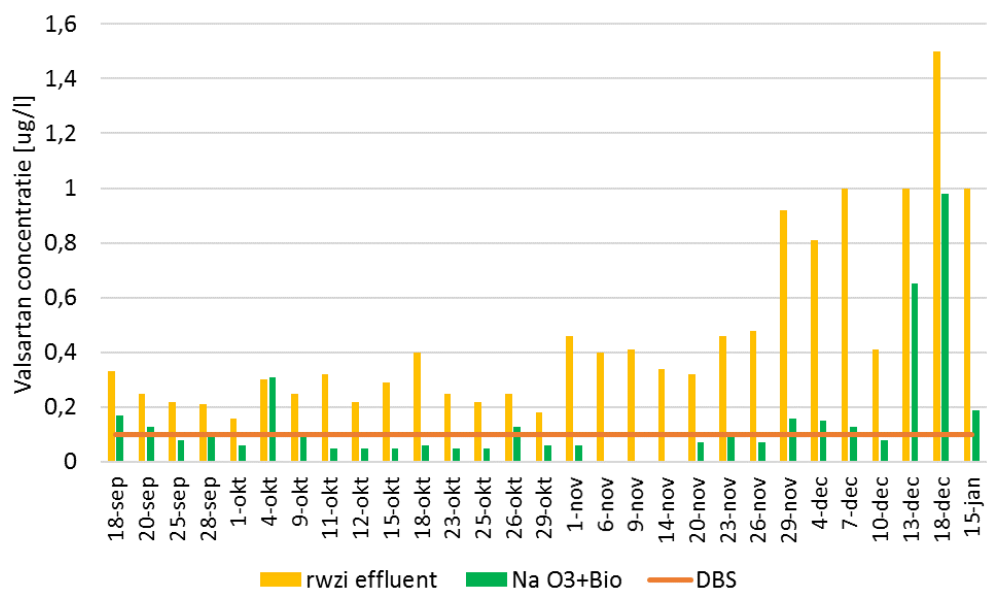
FIGUUR B18.12 IRBESARTAN CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE



FIGUUR B18.13 METFORMINE CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE. RESULTAAT 4-DEC IS 8,7 UG/L



FIGUUR B18.14 VALSARTAN CONCENTRATIE (µG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE O₃-PILOT INSTALLATIE TIJDENS DE INREGELPERIODE EN DE VERGELIJKENDE TEST EN DE DBS WAARDE

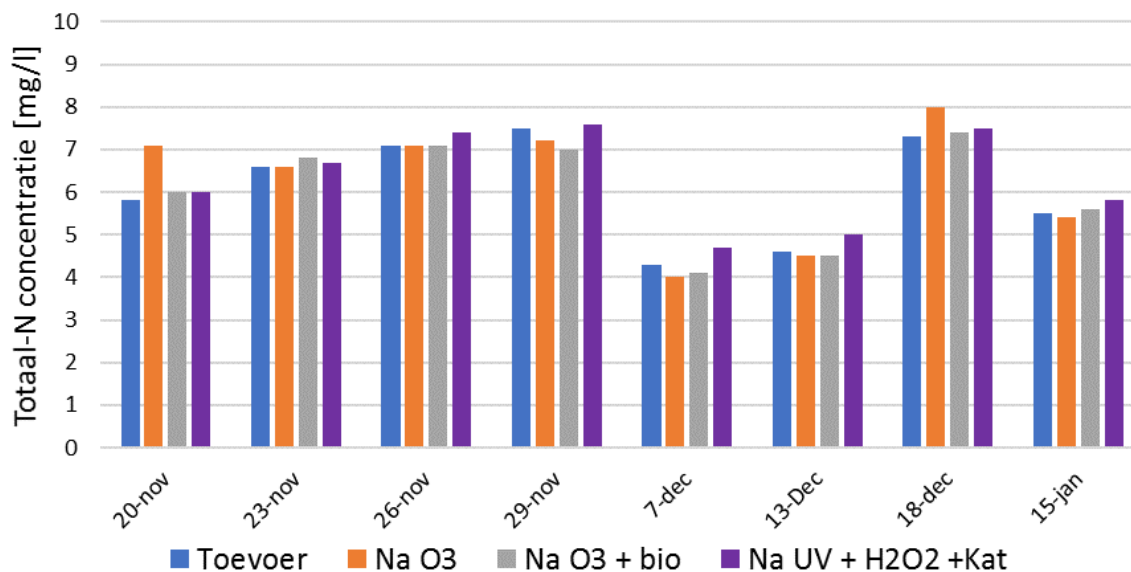


BIJLAGE 19

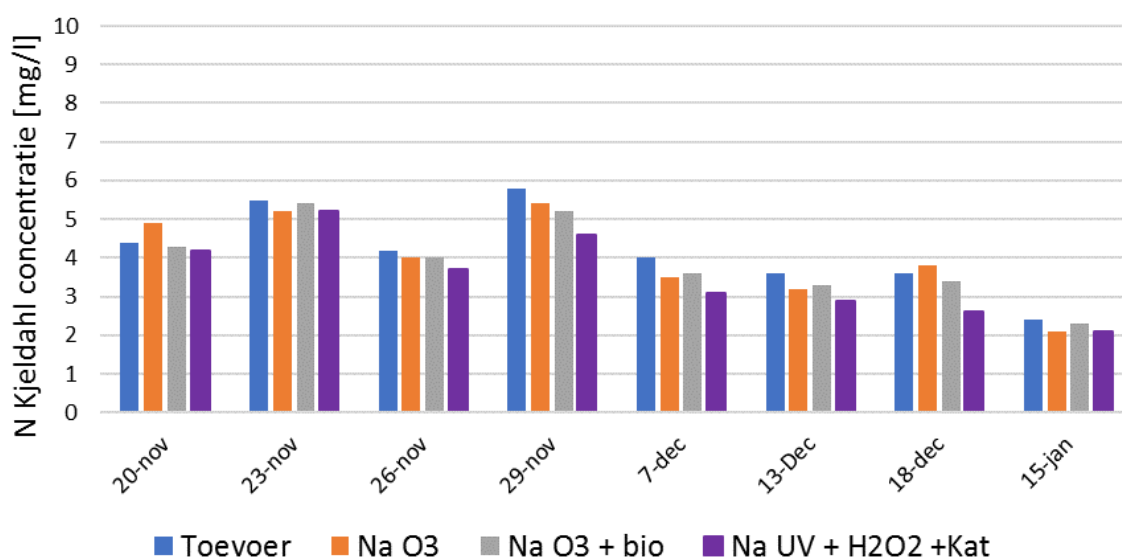
STIKSTOF, FOSFOR, CZV EN BZV

Onderstaande figuren geven de concentratie weer van diverse stikstof componenten, fosfor, CZV en BZV in het effluent van rwzi Aarle-Rixtel, voor en na de behandeling met oxidatieve methoden.

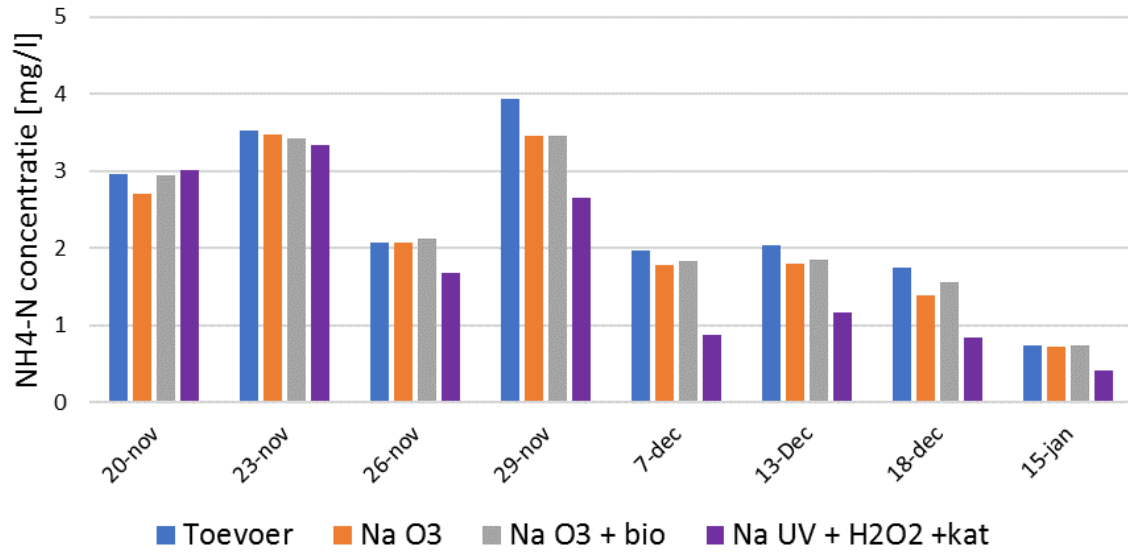
FIGUUR B19.1 TOTAAL-N CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



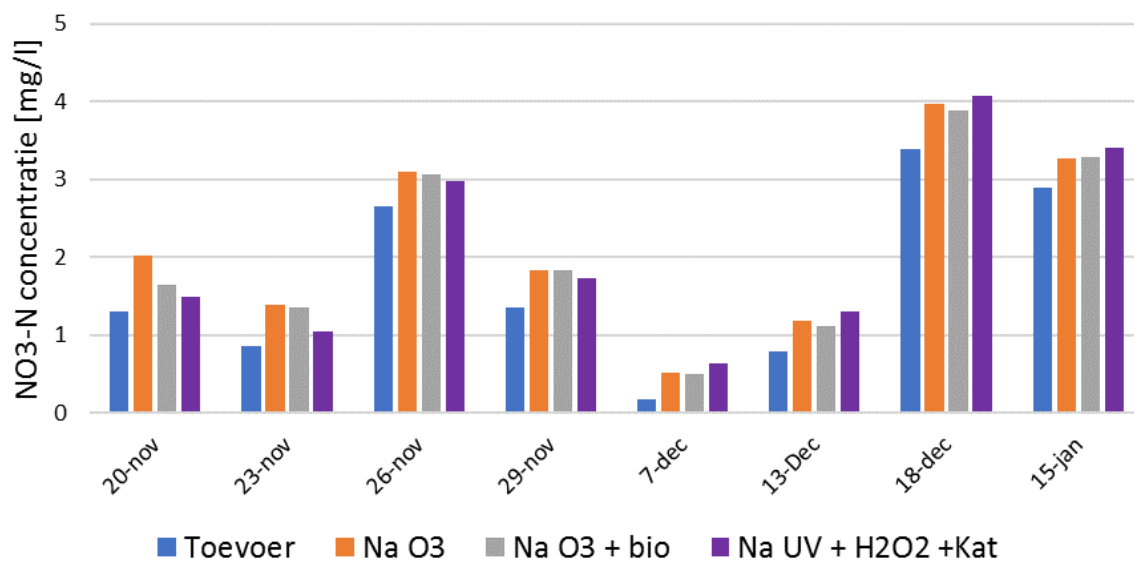
FIGUUR B19.2 KJELDAHL-N CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



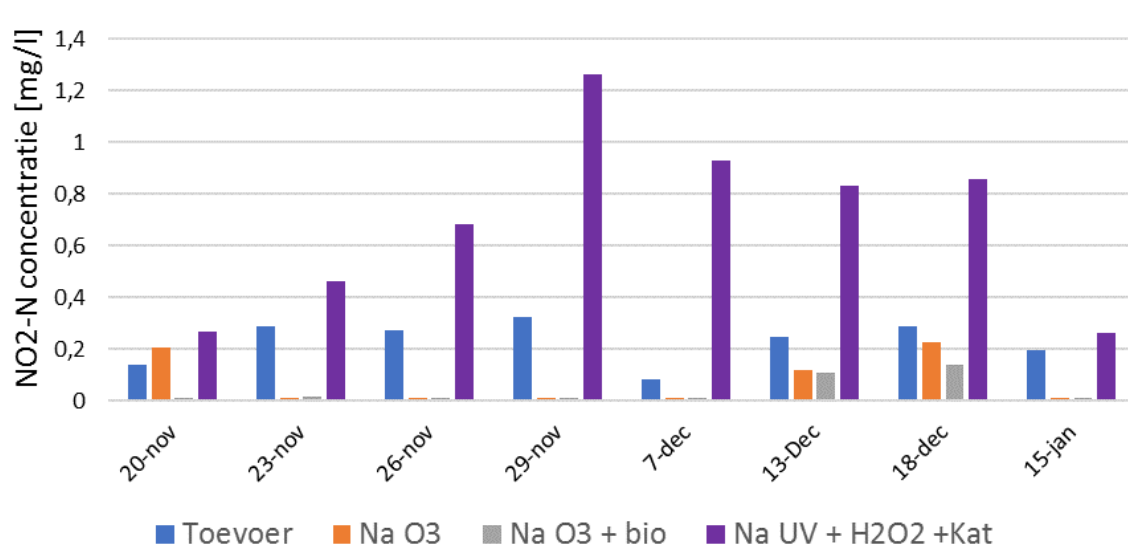
FIGUUR B19.3 AMMONIUM (NH₄-N) CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



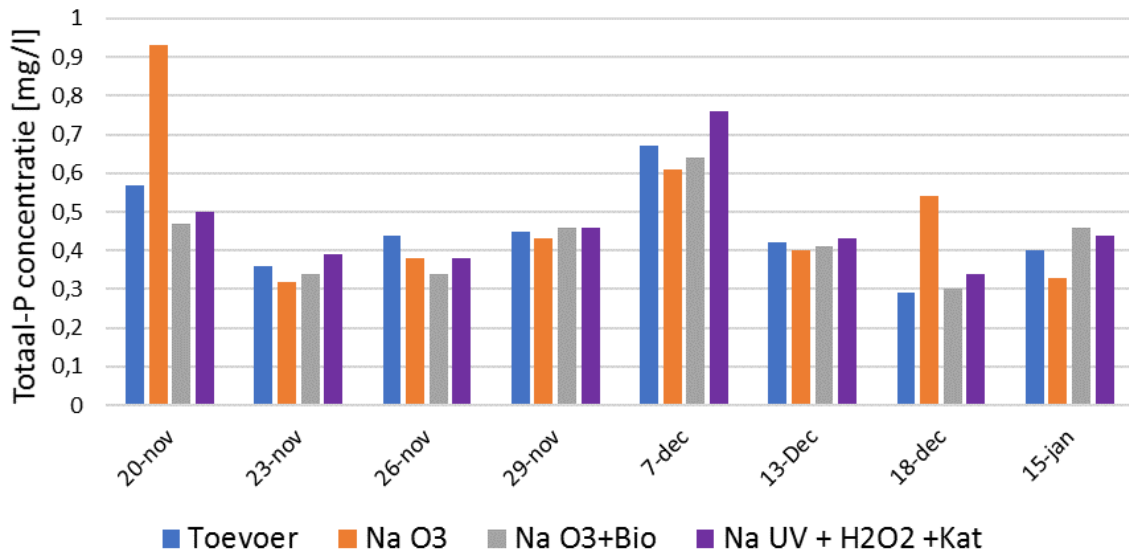
FIGUUR B19.4 NITRAAT (NO₃-N) CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



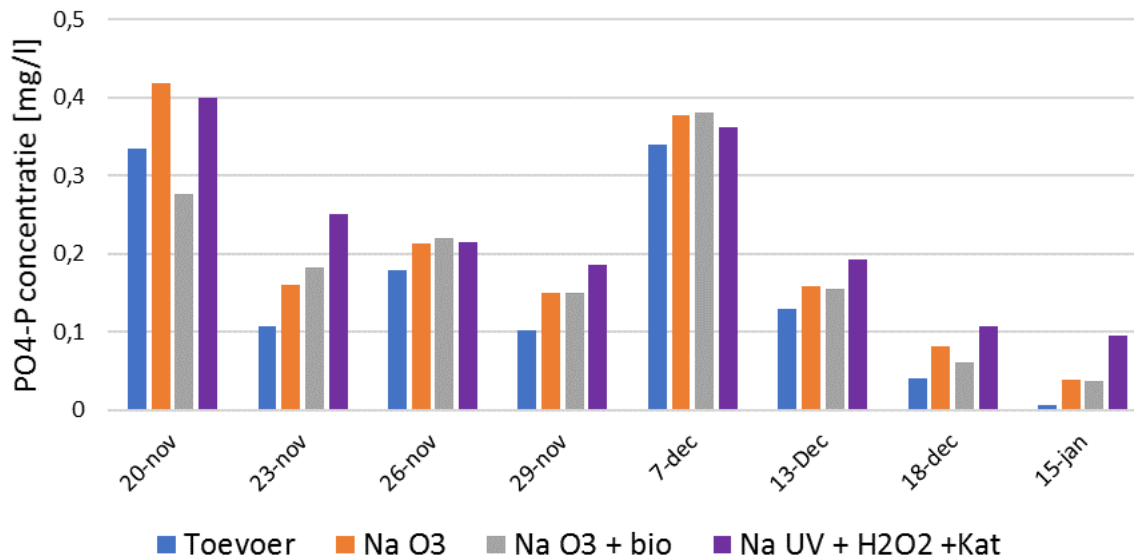
FIGUUR B19.5 NITRIET (NO₂-N) CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



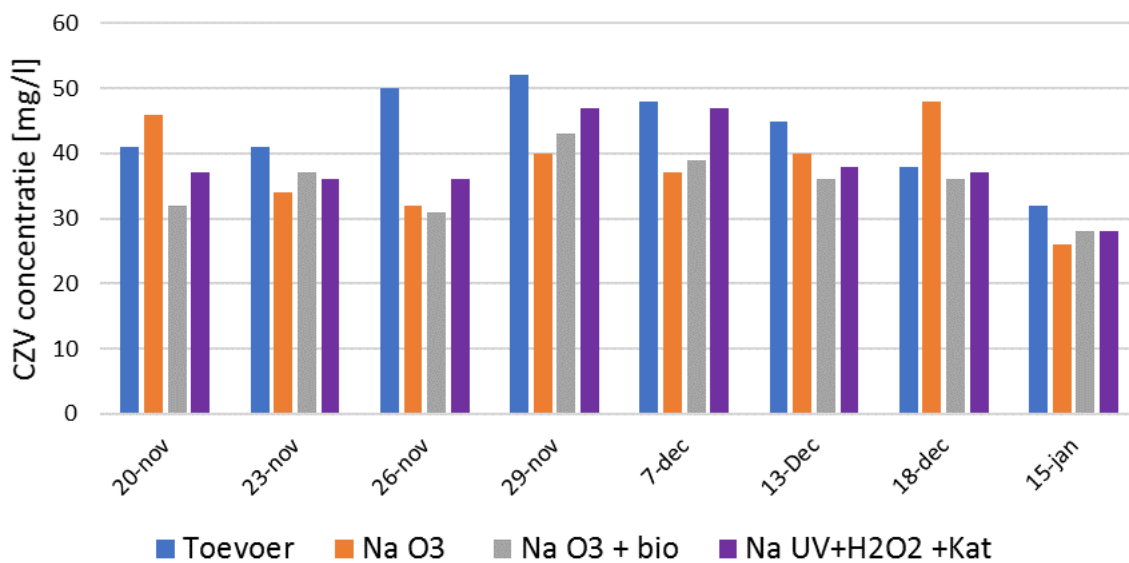
FIGUUR B19.6 TOTAAL FOSFOR (P) CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



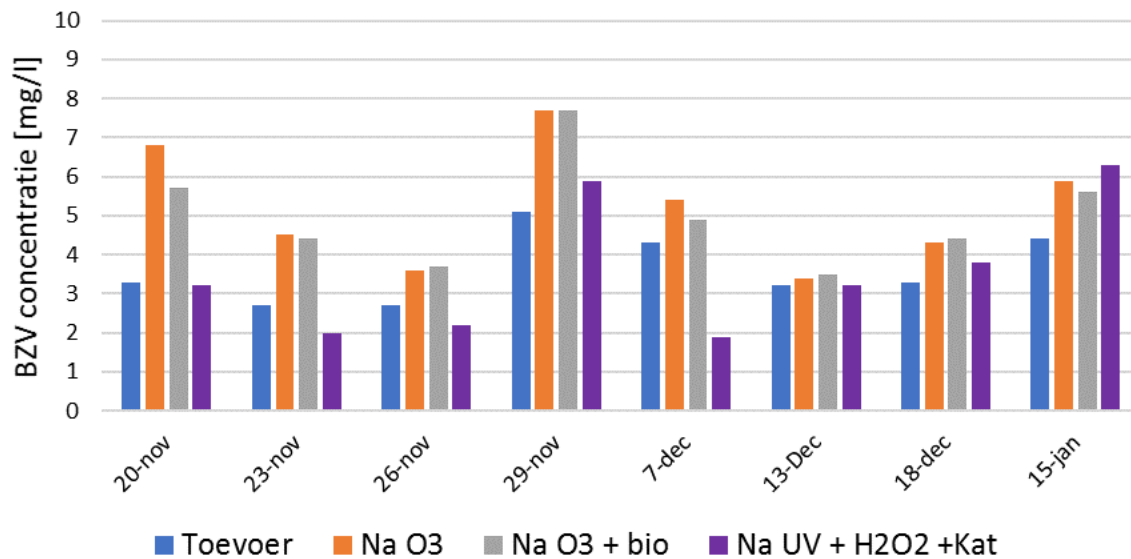
FIGUUR B19.7 ORTHO FOSFAAT (PO₄-P) CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



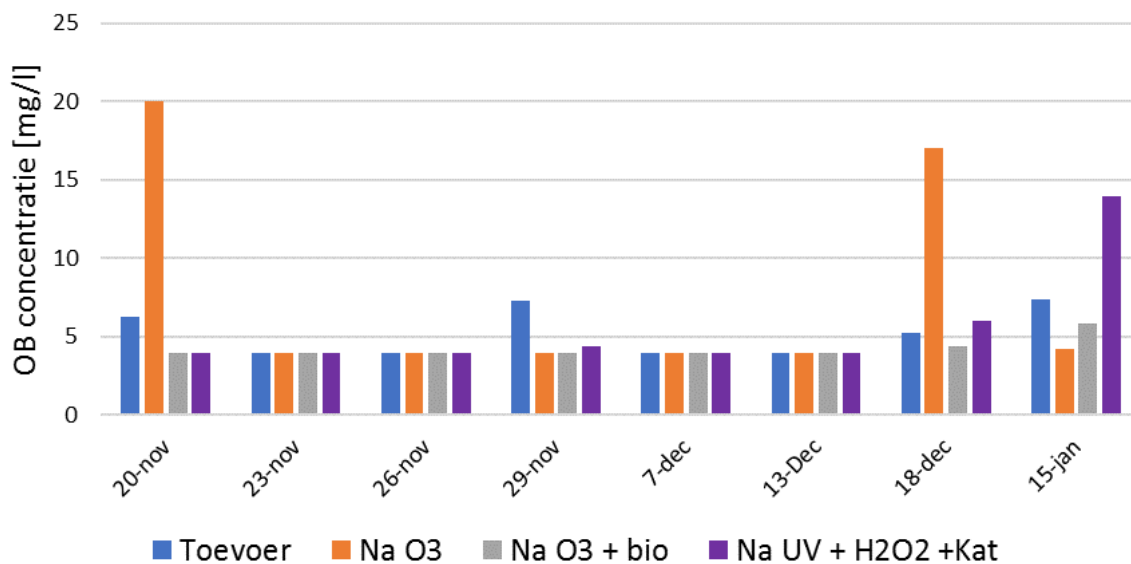
FIGUUR B19.8 CZV CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



FIGUUR B19.9 BZV CONCENTRATIE (MG/L) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST

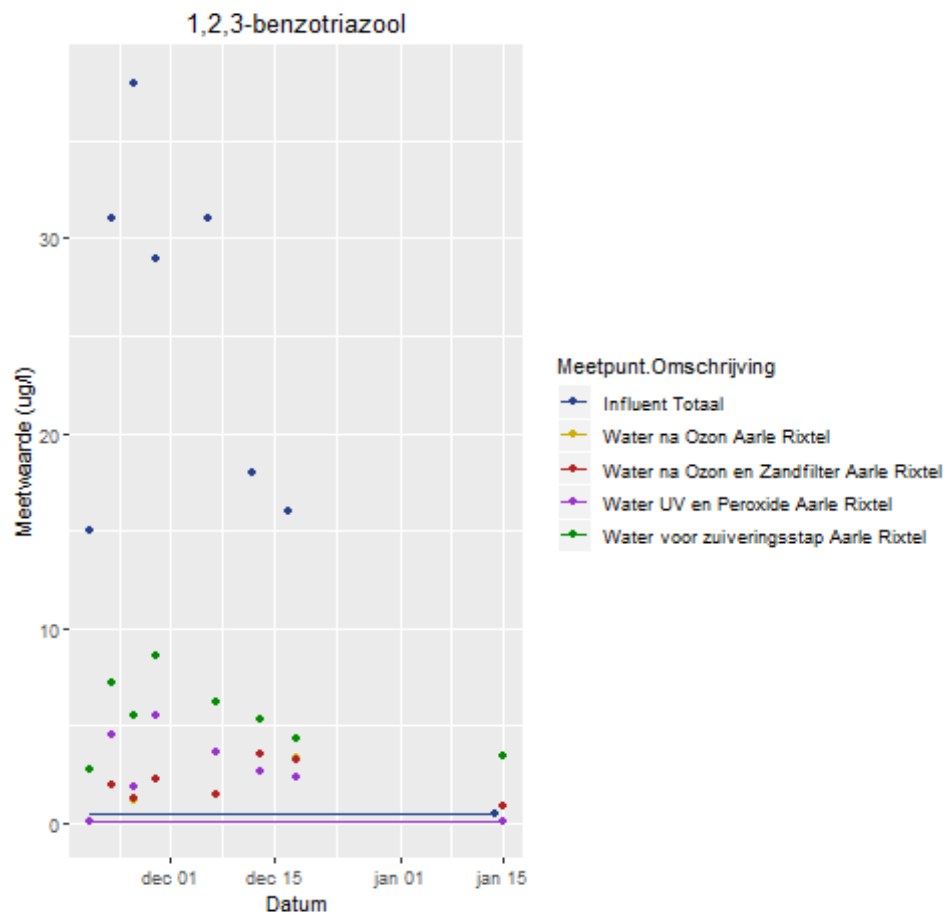


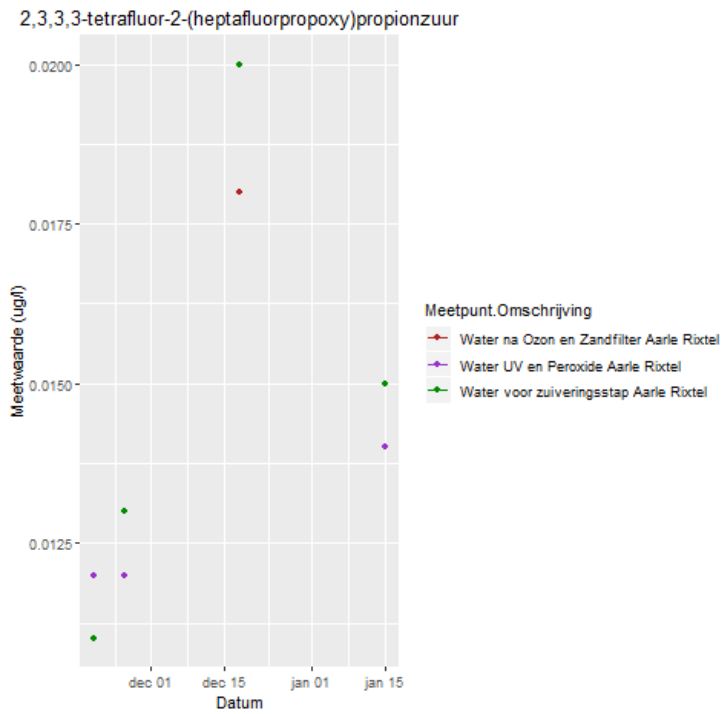
FIGUUR B19.10 CONCENTRATIE (MG/L) ONOPGELOSTE BESTANDELEN (OB) IN DE TOE- EN AFVOER VAN DE PILOT INSTALLATIES TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST



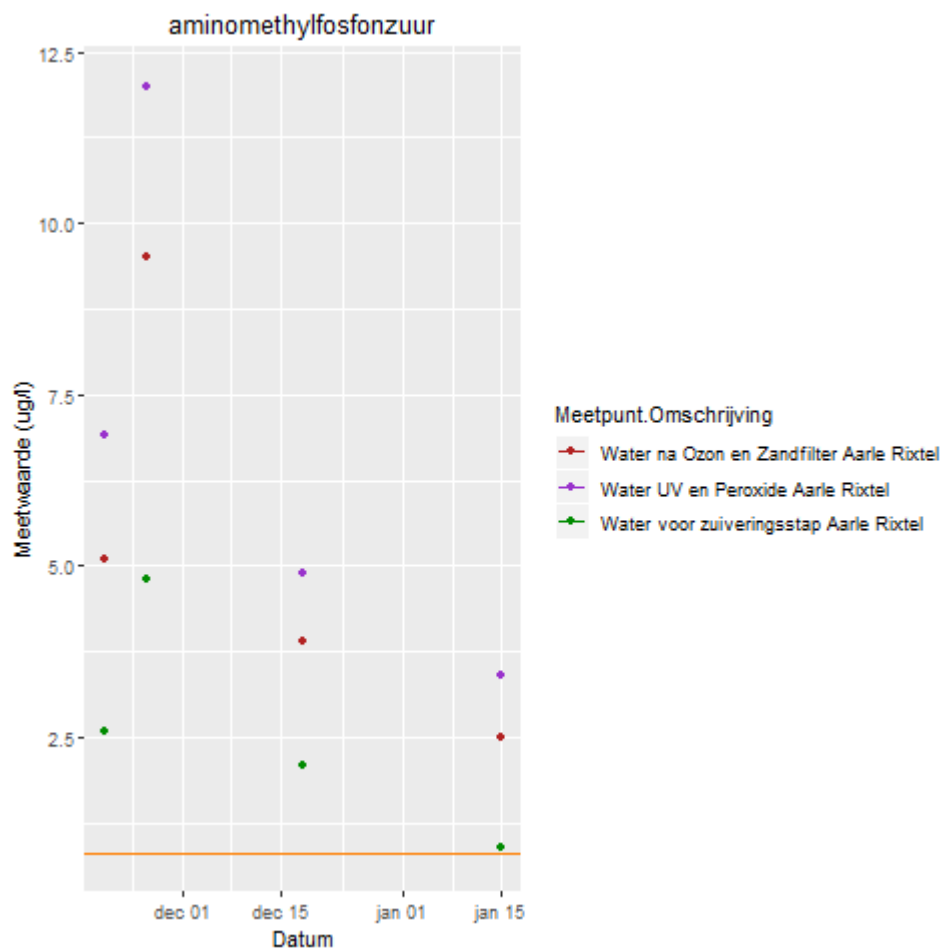
BIJLAGE 20

BIJVANGST OVERIGE COMPONENTEN

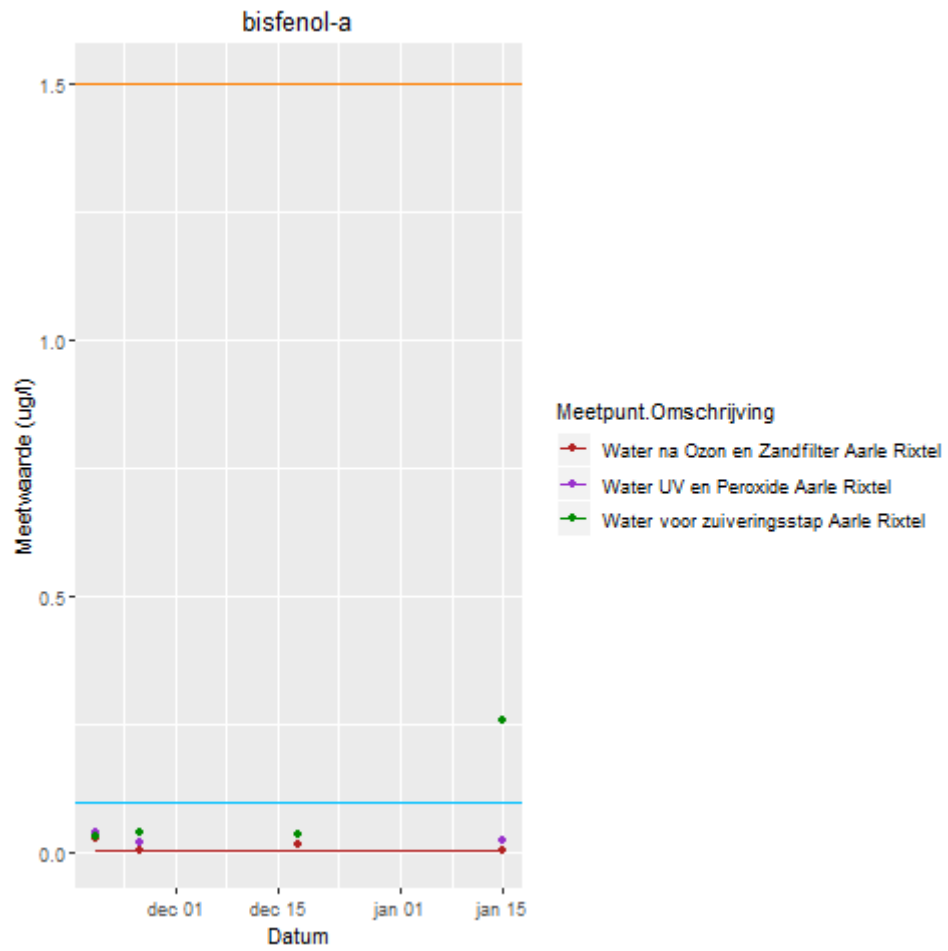




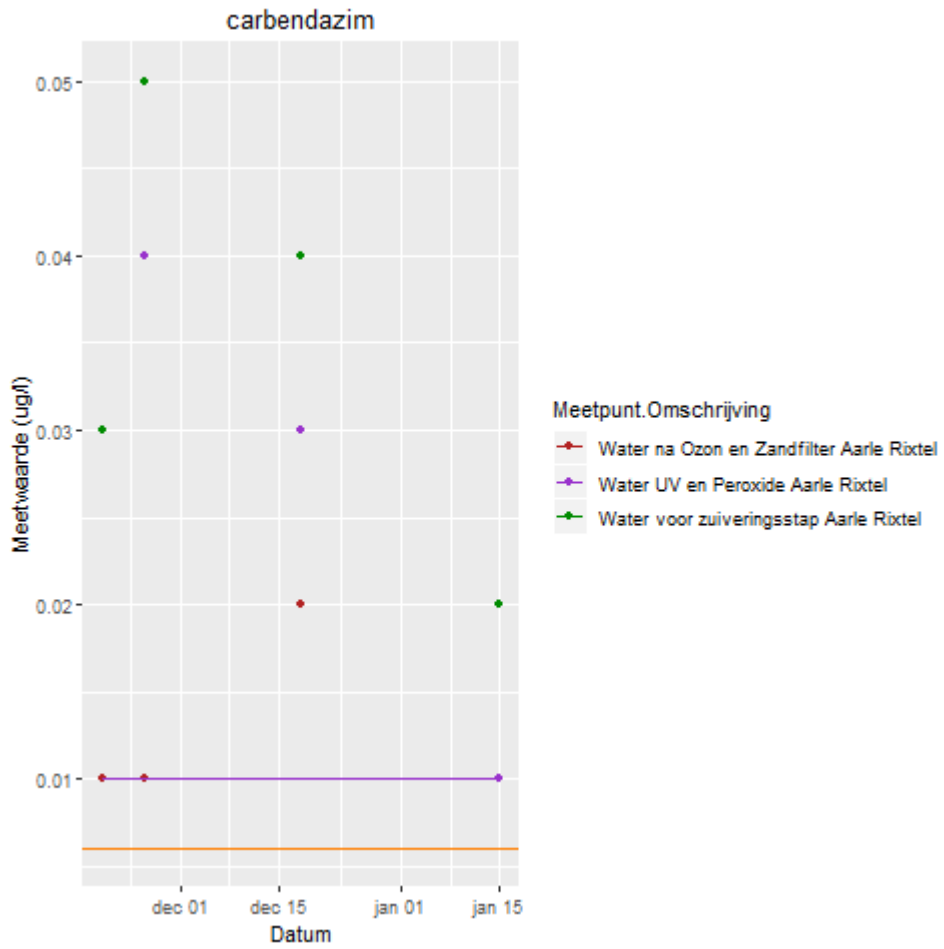
GenX. Geen rendement aanvullende zuiveringstappen.



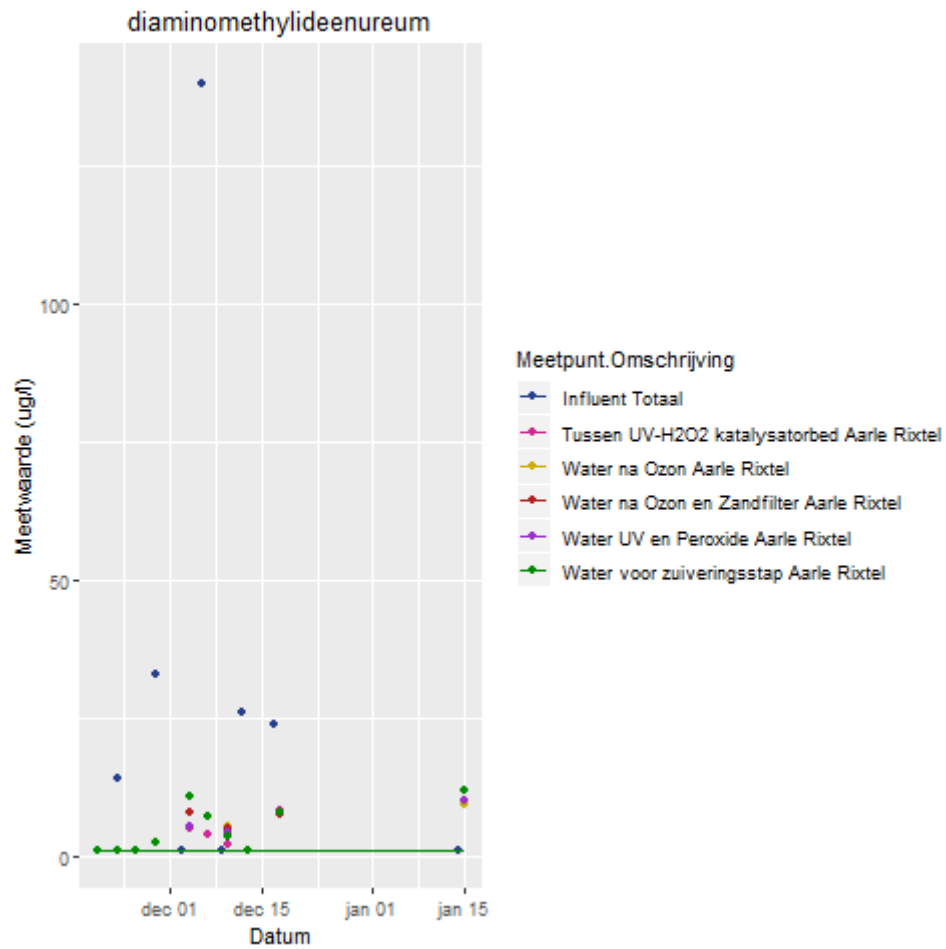
Ampa. Bestanddeel sommige zepen, afbraakproduct van herbicide glyfosaat "Roundup".



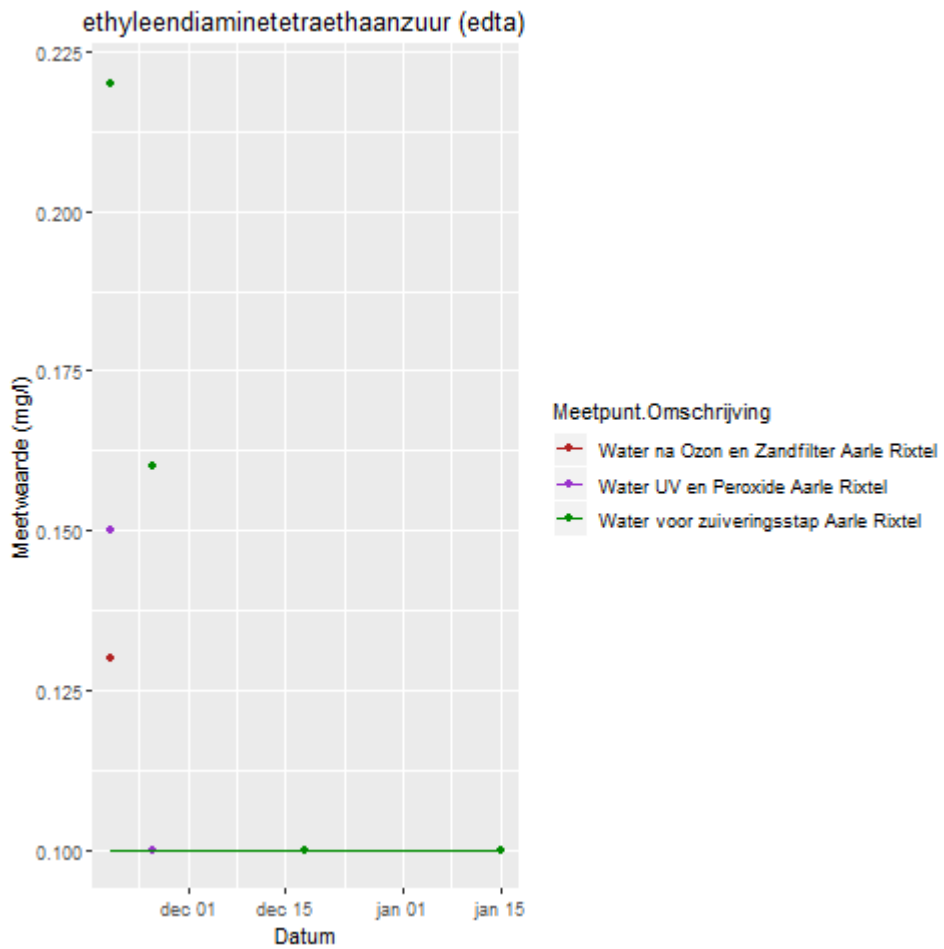
Prioritaire lijststof KRW, want hormoonwerking. Laat zich zuiveren.



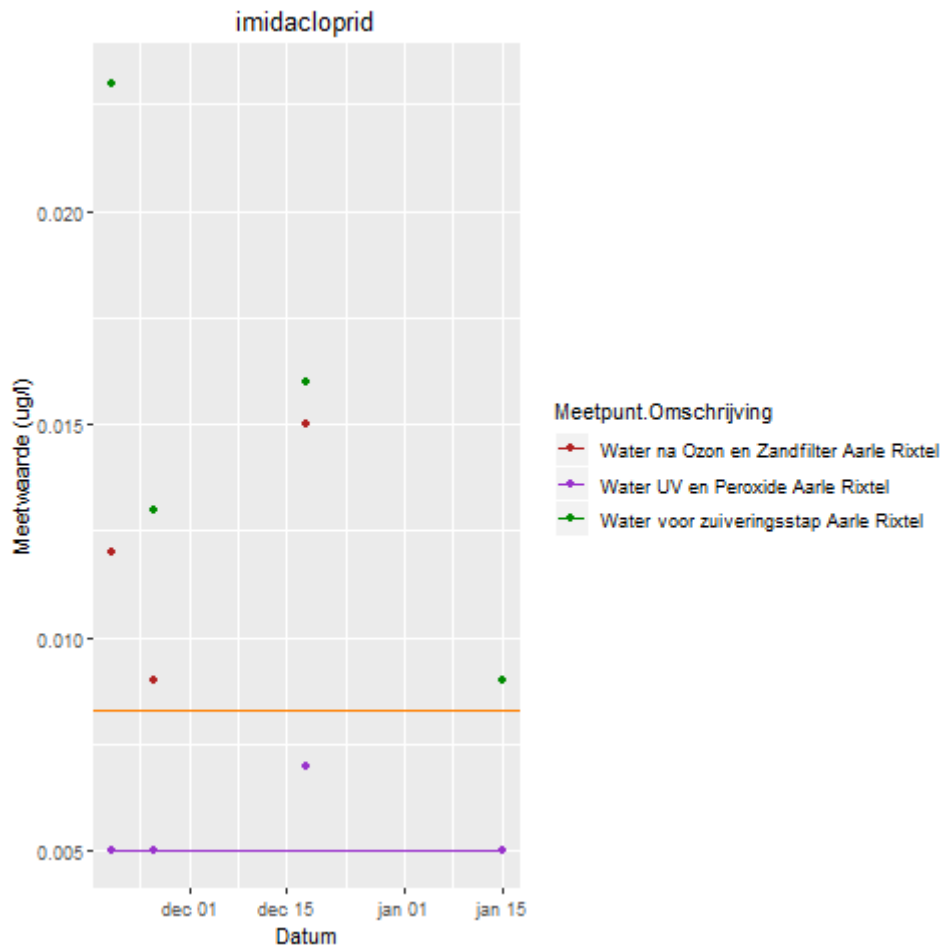
Fungicide. Al redelijk verwijderingsrendement door rwzi. Laat zich m.n. door ozon verder weg zuiveren.



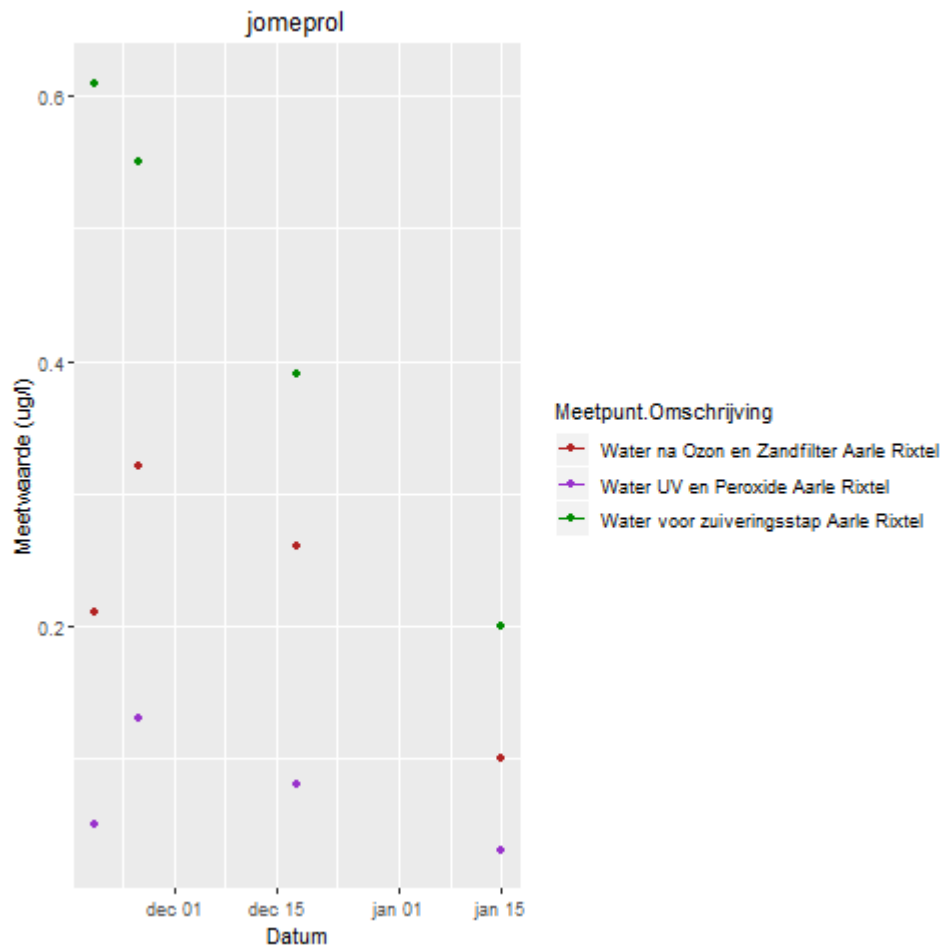
Ook bekend als guanylureum. Afbraakproduct metformine, ook aanwezig in andere producten. Laat zich in de gewone zuivering al redelijk verwijderen.



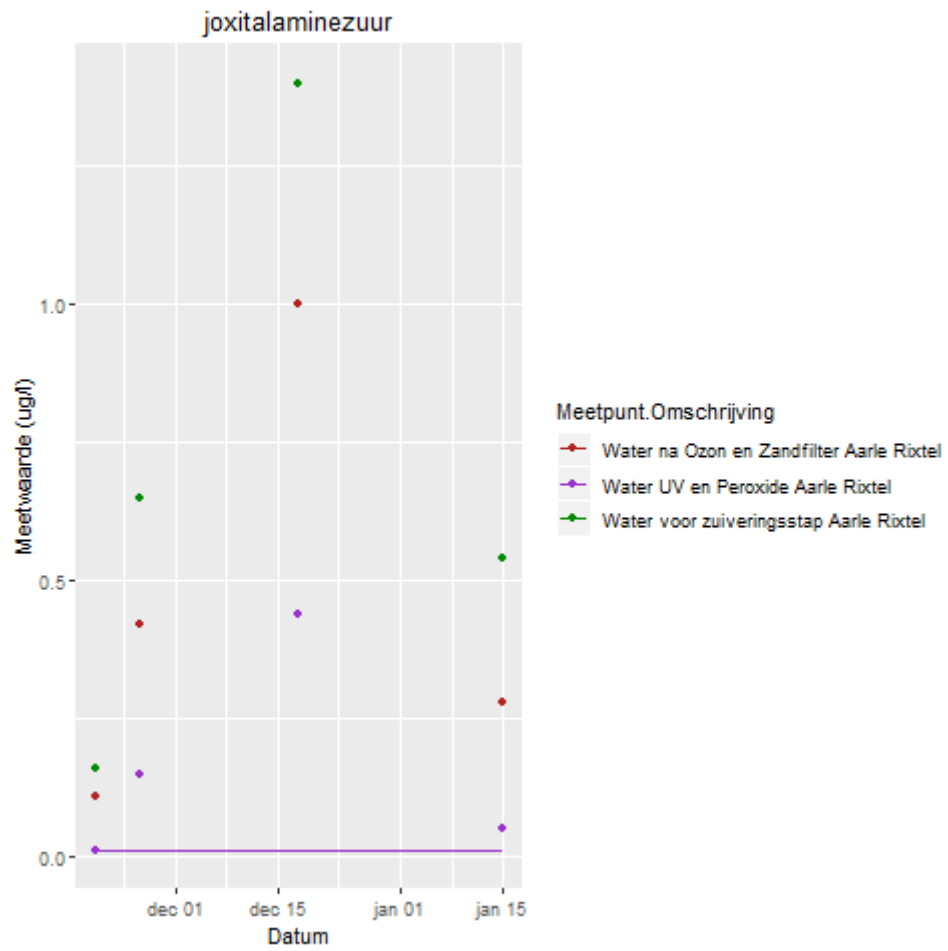
Stof die wordt gebruikt in industrie maar ook in enkele voedingsmiddelen zit. In een top vijf van probleemstoffen drinkwaterbereiding uit grond- en oppervlaktewater. Wordt enkele keren in hoge gehalten gevonden in het effluent van de rwzi, en wordt verder gezuiverd door ozon en UV. Echter in volgende groep monsters geheel niet gevonden.



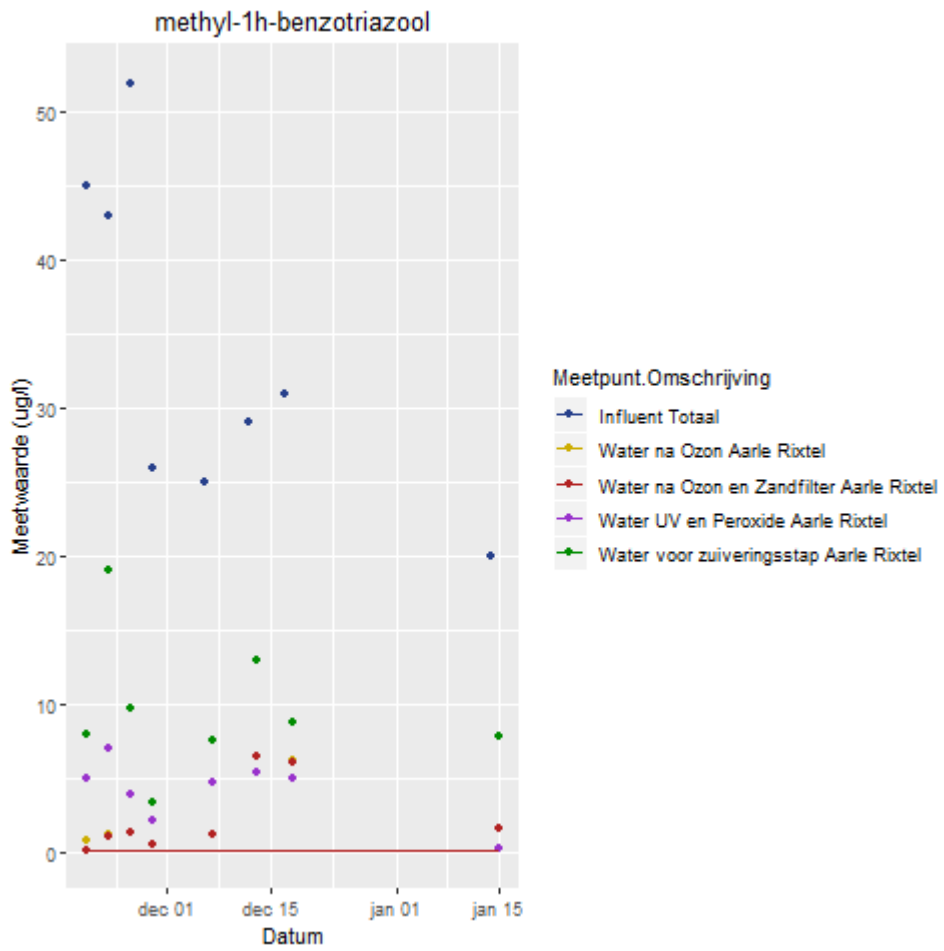
Systemisch insecticide. Verdacht van zeer giftig te zijn voor bijen en daarom ook wel “bijengif” genoemd. Opvallend dat in de winter bij een rwzi waarop amper bijvoorbeeld glastuinbouw is aangesloten, toch deze gehalten worden gevonden. UV zuivert beter op deze stof, dan ozon.



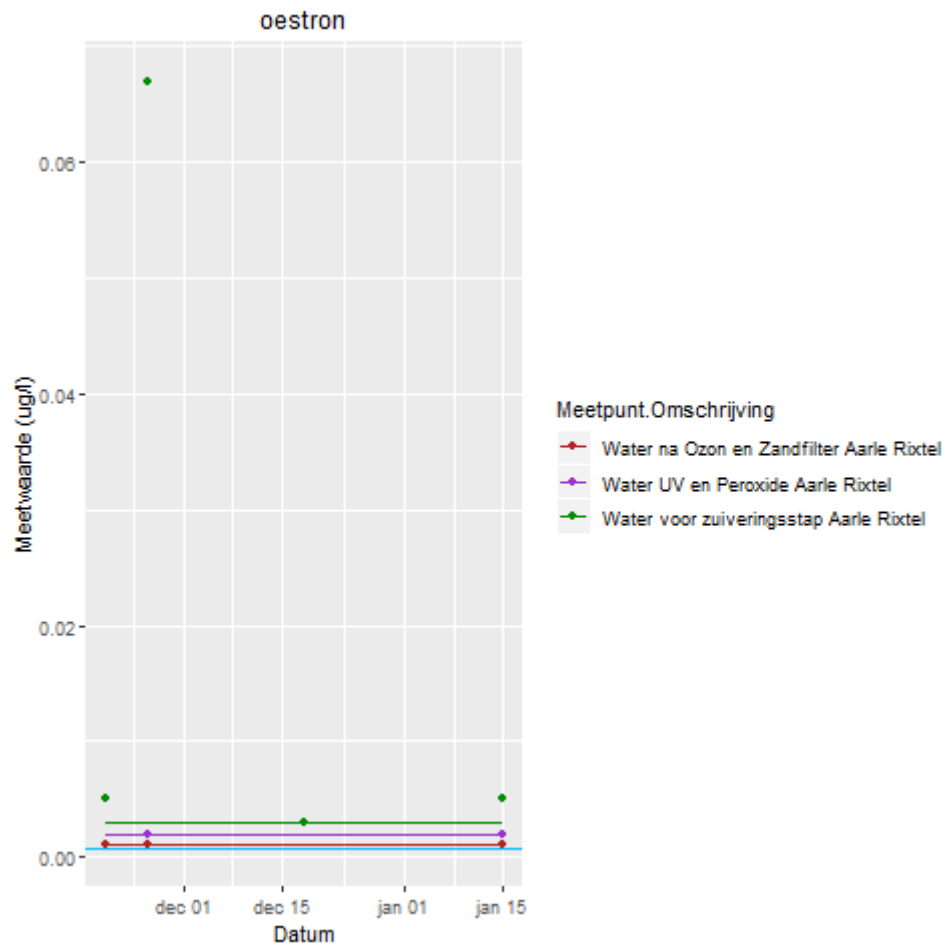
Röntgencontrastmiddel en ook in de top van probleemstoffen voor drinkwaterbereiding. UV zuivert hierop beter dan ozon. Niet in het rapport is het middel Iomexol, met dezelfde conclusie.



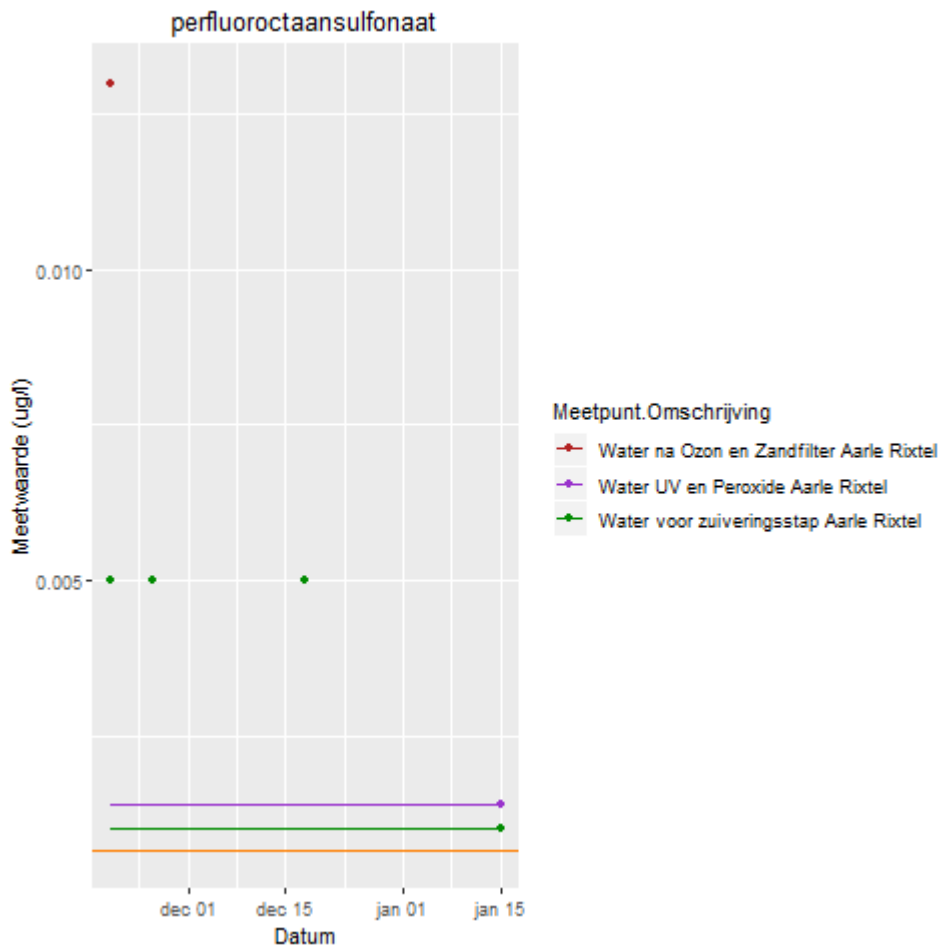
Röntgencontrastmiddel.



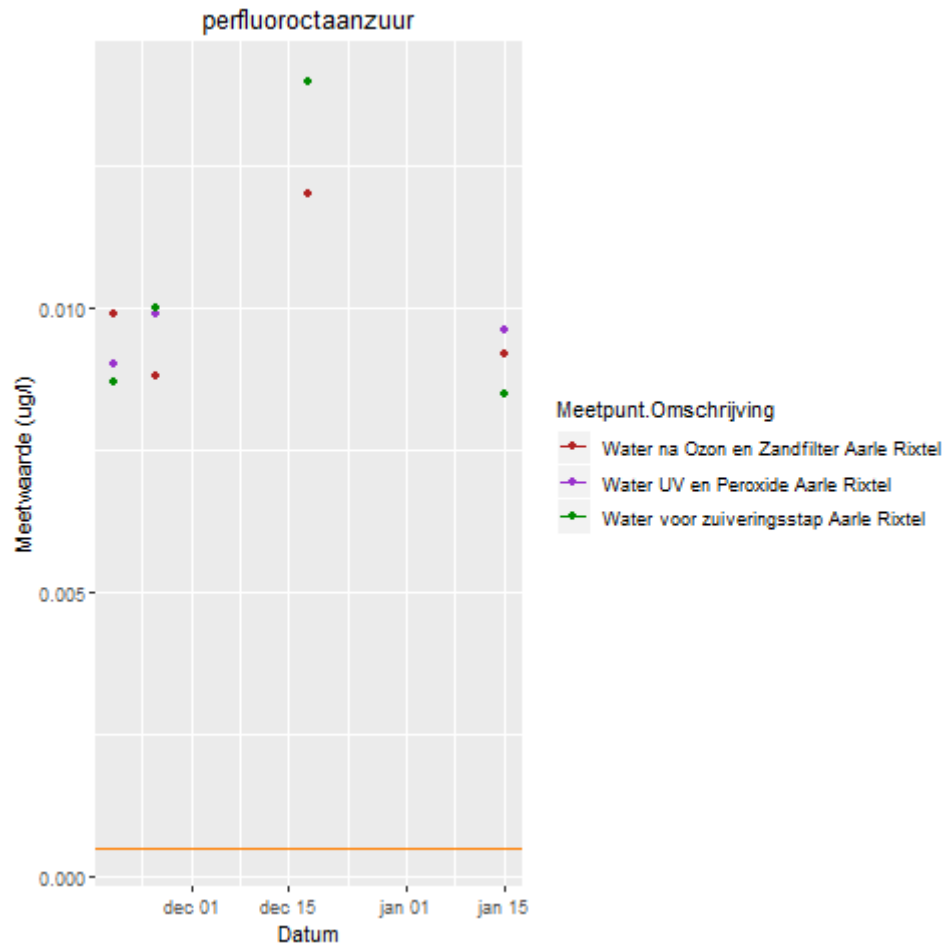
Gidsstof. Geen geneesmiddel maar een anti-corrosiemiddel. Zit o.a. in vaatwasmachine-blokjes.



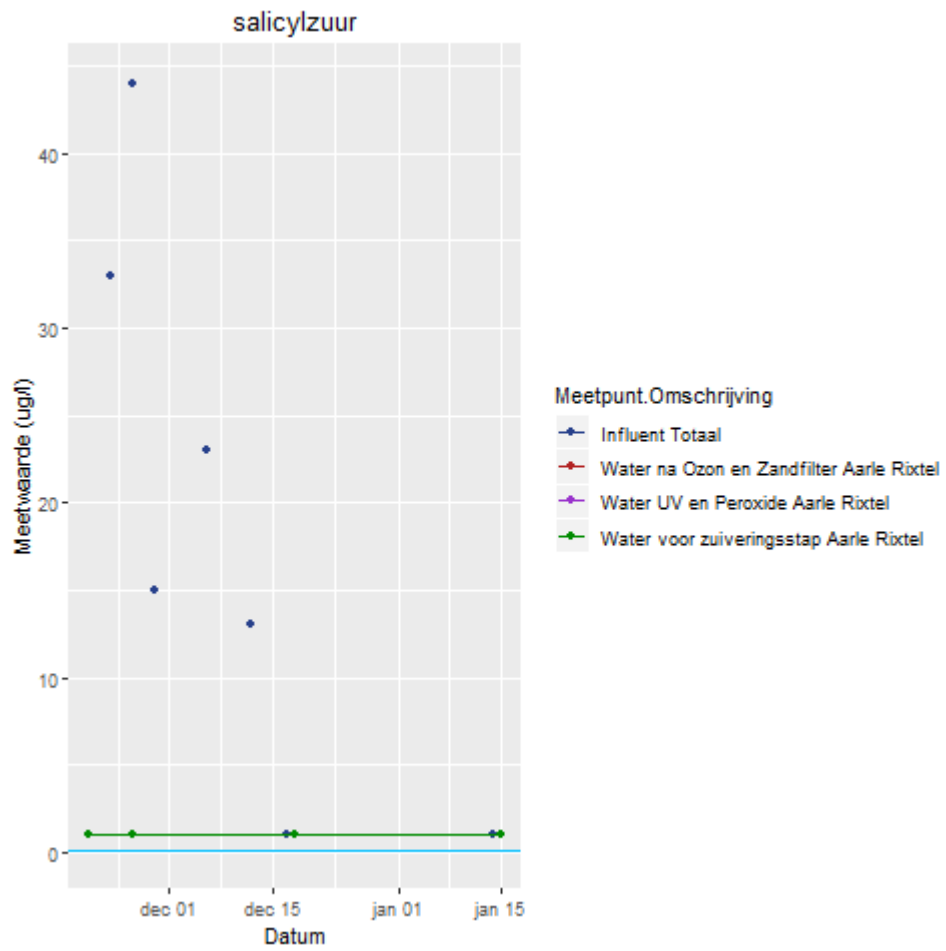
Hormoon.



PFOS.



PFOS.



Aspirine. Wordt al vergaand verwijderd op rwzi.

BIJLAGE 21

INVESTERING EN KOSTEN

FULL SCALE RWZI UV + H₂O₂ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, OP BASIS VAN STOWA KENTALLEN (2017-36):

UV + H ₂ O ₂		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd kentallen Stowa 2017-36			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m3/d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m3)	0,18	0,15	0,14	55%	45%
Energieverbruik	0,4	kWh/m3 (UV/H2O2 zonder voorbehandeling, KWR 2016)			
Chemicaliënverbruik	0,02	kg H2O2/m3			
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m3/jr			
Van Remmen, UV+ H2O2 installatie					
max debiet	3.000	m3/h 50 UV-reactoren van 48 UV-lampen			
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m3/jr 80% van het jaardebiet			
Investing	Bouwkosten	Stichtingskosten			
Civiel	1.000.000	1.800.000 €			
Mechanisch	2.000.000	3.600.000 €			
Elektrisch	2.000.000	3.600.000 €			
Procesautomatisering	500.000	900.000 €			
Totaal	5.500.000	9.900.000 €			
Jaarlasten	Afschr. (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	96.000		
Mechanisch	15	4%	312.000		
Elektrisch	15	4%	312.000		
Procesautomatisering	5	4%	198.000		
			918.000 €/jaar		
			0,04 €/m3		
Onderhoud	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	5.000 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	60.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	60.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	15.000 €/jaar			
		140.000 €/jaar			
		0,01 €/m3			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m3			
Elektriciteitskosten			Ter vergelijking: Pilot test		
Elektriciteit	0,10	€/kWh		UV-dosis	15.000 J/m2
Benodigde elektriciteit	0,4	kWh/m3		E-verbruik	0,9 kWh/m3
Elektriciteitskosten	0,04	€/m3		Aanbesteding	0,59 kWh/m3
Chemicaliënkosten					
H2O2	0,5	€/kg		H2O2 dosis	30 ppm
Benodigde H2O2	0,02	kg/m3			
Citroenzuur	2,5	€/liter		Aanbesteding	
Benodigde zuur	1,24	g/m3			
Chemicaliënkosten	0,01	€/m3			
Lampen	1.032.000	€		Aantal lampen x prijs per lamp	
	688.000	€		Vervanging lamp 1x per 1,5 jaar	
	0,03	€/m3			
Aanvullende kosten voor opvoerwerken, locatiespecifiek leidingwerk		0,01 €/m3			
Totale kosten	0,15	€/m3		euro per behandelde m3	

FULL SCALE RWZI UV + H₂O₂ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, OP BASIS VAN PILOT RESULTATEN

UV + H ₂ O ₂		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd op resultaten pilot test			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m3/d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m3)	0,18	0,15	0,14	55%	45%
Energieverbruik	0,4 kWh/m3	(UV/H2O2 zonder voorbehandeling, KWR 2016)			
Chemicaliënverbruik	0,02 kg H2O2/m3				
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m3/jr			
Van Remmen, UV+ H2O2 installatie					
max debiet	3.000	m3/h	50 UV-reactoren van 48 UV-lampen		
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m3/jr	80% van het jaardebiet		
Investing	Bouwkosten	Stichtingskosten	stichtingskosten zijn incl onvoorzien		
Civiel	2.000.000	3.600.000 €			
Mechanisch	4.000.000	7.200.000 €			
Elektrisch	4.000.000	7.200.000 €			
Procesautomatisering	1.000.000	1.800.000 €			
Totaal	11.000.000	19.800.000 €			
Jaarlasten	Afschr (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	192.000		
Mechanisch	15	4%	624.000		
Elektrisch	15	4%	624.000		
Procesautomatisering	5	4%	396.000		
			1.836.000 €/jaar		
			0,09 €/m3		
Onderhoud	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	10.000 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	120.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	120.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	30.000 €/jaar			
		280.000 €/jaar			
		0,01 €/m3			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m3			
Elektriciteitskosten			Pilot resultaten		
Elektriciteit	0,10	€/kWh	UV-dosis	15.000 J/m2	
Benodigde elektriteit	0,9	kWh/m3	E-verbruik	0,9 kWh/m3	
Elektriciteitskosten	0,09	€/m3	Aanbesteding	0,59 kWh/m3	
Chemicaliënkosten					
H2O2	0,5	€/kg	H2O2 dosis	30 ppm	
Benodigde H2O2	0,03	kg/m3			
Citroenzuur	2,5	€/liter			
Benodigde zuur	1,24	g/m3	Aanbesteding		
Chemicaliënkosten	0,02	€/m3			
Lampen	2.064.000	€	Aantal lampen x prijs per lamp		
	1.376.000	€	Vervanging lamp 1x per 1,5 jaar		
		0,07 €/m3			
Aanvullende kosten voor opvoerwerken, locatiespecifiek leidingwerk		0,01 €/m3			
Totale kosten		0,29 €/m3	euro per behandelde m3		

FULL SCALE RWZI O₃ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, OP BASIS VAN STOWA KENTALLEN (2017-36):

Ozon (excl ZF)		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd op kentallen Stowa 2017-37			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m3/d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m3)	0,1	0,07	0,06	55%	45%
Energieverbruik	0,1 kWh/m3	(energieverbruik O3 generator, excl afgasbehandeling)			
Chemicaliënverbruik	0,01 kg O3/m3, bij 0,7 gO3/gDOC en DOC=11 mg/l				
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m3/jr			
Ozon installatie					
max debiet	3000	m3/h			
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m3/jr		80% van het jaardebiet	
Investing	Bouwkosten	Stichtingskosten	stichtingskosten zijn incl onvoorzien		
Civiel	1.000.000	1.800.000 €			
Mechanisch	2.500.000	4.500.000 €			
Elektrisch	1.500.000	2.700.000 €			
Procesautomatisering	500.000	900.000 €			
Totaal	5.500.000	9.900.000 €			
Jaarlasten	Afschr. (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	96.000		
Mechanisch	15	4%	390.000		
Elektrisch	15	4%	234.000		
Procesautomatisering	5	4%	198.000		
Totaal			918.000 €/jaar		
			0,04 €/m3		
Onderhoud	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	5.000 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	75.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	45.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	15.000 €/jaar			
		140.000 €/jaar			
		0,01 €/m3			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m3			
Elektriciteitskosten					
Elektriciteit	0,10 €/kWh	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde elektriteit	0,1 kWh/m3	Ter vergelijking: Pilot test			
Elektriciteitskosten	0,01 €/m3	E-verbruik 0,18 kWh/m3			
Chemicaliënkosten					
O2	0,2 €/kg	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde O3	0,0077 kg/m3	0,7 g O3/gDOC, DOC=11 mg/l			
Benodigde O2	0,077 kg/m3	10% rendement, Ozon productie uit vloeibare zuurstof			
Chemicaliënkosten	0,02 €/m3				
Vloeibare zuurstof					
huur installatie	100.000 €/jr	gebaseerd op stowa 2018-46, Groote Lucht			
	0,00 €/m3				
Aanvullende kosten voor opvoerwerken, locatiespecifiek leidingwerk					
	0,01 €/m3				
Totale kosten	0,09 €/m3	euro per behandelde m3			

FULL SCALE RWZI O₃ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, O.B.V. PILOT RESULTATEN, O₃ UIT LUCHT

Ozon (excl ZF)		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd op resultaten pilot test (Ozon productie uit lucht)			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m3/d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m3)	0,1	0,07	0,06	55%	45%
Energieverbruik	0,1	kWh/m3 (energieverbruik O3 generator, excl afgasbehandeling)			
Chemicaliënverbruik	0,01	kg O3/m3, bij 0,7 gO3/gDOC en DOC=11 mg/l			
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m3/jr			
Ozon installatie					
max debiet	3000	m3/h			
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m3/jr 80% van het jaardebiet			
Investing	Bouwkosten	Stichtingskosten	stichtingskosten zijn incl onvoorzien		
Civiel	1.100.000	1.980.000 €	investering pilot hoger dan Stowa 2017-36		
Mechanisch	3.000.000	5.400.000 €	door hogere O3-dosering		
Elektrisch	1.800.000	3.240.000 €	C en PA: +10%		
Procesautomatisering	550.000	990.000 €	Men E: +20% (ook tgv O2 uit lucht)		
Totaal	6.450.000	11.610.000 €			
Jaarlasten	Afschr. (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	105.600		
Mechanisch	15	4%	468.000		
Elektrisch	15	4%	280.800		
Procesautomatisering	5	4%	217.800		
Totaal			1.072.200 €/jaar		
			0,05 €/m3		
Onderhoud	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	5.500 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	90.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	54.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	16.500 €/jaar			
		166.000 €/jaar			
		0,01 €/m3			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m3			
Elektriciteitskosten					
Elektriciteit	0,10 €/kWh	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde elektriteit	0,18	kWh/m3			
Elektriciteitskosten	0,02	€/m3			
Chemicaliënkosten					
O2	0,2 €/kg	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde O3	0,0132	kg/m3 1,2 g O3/gDOC, DOC=11 mg/l			
Benodigde O2	0	kg/m3			
Chemicaliënkosten	0,00	€/m3			
Vloeibare zuurstof					
huur installatie	0	€/jr gebaseerd op stowa 2018-46, Groote Lucht			
	0,00	€/m3			
Aanvullende kosten voor opvoerwerken, locatiespecifiek leidingwerk					
	0,01	€/m3			
Totale kosten	0,09	€/m3 euro per behandelde m3			

FULL SCALE RWZI O₃ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, O.B.V. PILOT RESULTATEN, O₃ UIT O₂ (L)

Ozon (excl ZF)		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd op resultaten pilot test (Ozon productie uit O ₂ (l))			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m ³ /d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m ³)	0,1	0,07	0,06	55%	45%
Energieverbruik	0,1 kWh/m ³	(energieverbruik O ₃ generator, excl afgasbehandeling)			
Chemicaliënverbruik	0,01 kg O ₃ /m ³ , bij	0,7 gO ₃ /gDOC en DOC=11 mg/l			
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m ³ /jr			
Ozon installatie					
max debiet	3000	m ³ /h			
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m ³ /jr			
		80% van het jaardebiet			
Investing					
	Bouwkosten	Stichtingskosten		stichtingskosten zijn incl onvoorzien	
Civiel	1.100.000	1.980.000 €		investering pilot hoger dan Stowa 2017-36	
Mechanisch	3.000.000	5.400.000 €		door hogere O ₃ -dosering	
Elektrisch	1.800.000	3.240.000 €		C en PA: +10%	
Procesautomatisering	550.000	990.000 €		M en E: +20% (ook tgv O ₂ uit lucht)	
Totaal	6.450.000	11.610.000 €			
Jaarlasten					
	Afschr. (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	105.600		
Mechanisch	15	4%	468.000		
Elektrisch	15	4%	280.800		
Procesautomatisering	5	4%	217.800		
Totaal			1.072.200 €/jaar		
			0,05 €/m ³		
Onderhoud					
	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	5.500 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	90.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	54.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	16.500 €/jaar			
		166.000 €/jaar			
		0,01 €/m ³			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m ³			
Elektriciteitskosten					
Elektriciteit	0,10 €/kWh	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde elektriteit	0,18 kWh/m ³				
Elektriciteitskosten	0,02 €/m ³				
Chemicaliënkosten					
O ₂	0,2 €/kg	richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma			
Benodigde O ₃	0,0132 kg/m ³	1,2 g O ₃ /gDOC, DOC=11 mg/l			
Benodigde O ₂	0,132 kg/m ³	10% rendement, Ozon productie uit vloeibare zuurstof			
Chemicaliënkosten	0,03 €/m ³				
Vloeibare zuurstof					
huur installatie	100.000	€/jr			
	0,00 €/m ³				
Aanvullende kosten voor opvoerwerken, locatiespecifiek leidingwerk					
	0,01 €/m ³				
Totale kosten	0,12 €/m ³ euro per behandelde m ³				

FULL SCALE RWZI O₃ INSTALLATIE OP RWZI AARLE-RIXTEL, O.B.V. PILOT RESULTATEN, O₃ UIT O₂ (L), INCL ZANDFILTER

Ozon (incl ZF)		Full scale rwzi Aarle-Rixtel, gebaseerd op resultaten pilot test (Ozon productie uit O2 (l))			
Stowa kentallen (2017-36)					
Schaalgrootte (i.e)	20.000	100.000	300.000		
Aanvoer (m3/d)	2.900	14.400	43.200	CAPEX	OPEX
Kosten (€/m3)	0,1	0,07	0,06	55%	45%
Energieverbruik	0,1	kWh/m3 (energieverbruik O3 generator, excl afgasbehandeling)			
Chemicaliënverbruik	0,01	kg O3/m3, bij 0,7 gO3/gDOC en DOC=11 mg/l			
Jaardebiet rwzi A-R	26.000.000	m3/jr			
Ozon installatie					
max debiet	3000	m3/h			
verwerkt jaardebiet	20.800.000	m3/jr 80% van het jaardebiet			
Investing					
	Bouwkosten	Stichtingskosten		stichtingskosten zijn incl onvoorzien	
Civiel	8.100.000	14.580.000 €			
Mechanisch	7.000.000	12.600.000 €		stichtingskosten ZF circa 25 mln	
Elektrisch	3.800.000	6.840.000 €			
Procesautomatisering	1.550.000	2.790.000 €			
Totaal	20.450.000	36.810.000 €			
Jaarlasten					
	Afschr. (jr)	rente	Kapitaalslasten		
Civiel	30	4%	777.600		
Mechanisch	15	4%	1.092.000		
Elektrisch	15	4%	592.800		
Procesautomatisering	5	4%	613.800		
Totaal			3.076.200 €/jaar		
			0,15 €/m3		
Onderhoud					
	Onderhoud	Onderhoudskosten			
Civiel	0,5%	40.500 €/jaar			
Mechanisch	3,0%	210.000 €/jaar			
Elektrisch	3,0%	114.000 €/jaar			
Procesautomatisering	3,0%	46.500 €/jaar			
		411.000 €/jaar			
		0,02 €/m3			
Personeelskosten					
20.000 i.e	0,5 FTE	25.000 €/jaar			
100.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
300.000 i.e	1,0 FTE	50.000 €/jaar			
		0,00 €/m3			
Elektriciteitskosten					
Elektriciteit	0,10	€/kWh		richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma	
Benodigde elektriteit	0,18	kWh/m3			
Elektriciteitskosten	0,02	€/m3			
Chemicaliënkosten					
O2	0,2	€/kg		richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma	
Benodigde O3	0,0132	kg/m3		1,2 g O3/gDOC, DOC=11 mg/l	
Benodigde O2	0,132	kg/m3		10% rendement, Ozon productie uit vloeibare zuurstof	
Chemicaliënkosten	0,03	€/m3			
Vloeibare zuurstof					
huur installatie	100.000	€/jr		gebaseerd op stowa 2018-46, Groote Lucht	
	0,00	€/m3			
Totale kosten	0,22	€/m3 euro per behandelde m3			

BIJLAGE 22

RESULTATEN AFZONDERLIJKE COMPONENTEN PER BEMONSTERINGS-DAG

In deze bijlage een weergave van de afzonderlijke componenten (19 stuks) op alle monsterdagen. De concentratie in de toe- en afvoer van zowel de rwzi als de beide oxidatieve technieken is weergegeven en de hieruit berekende verwijderingsrendementen.

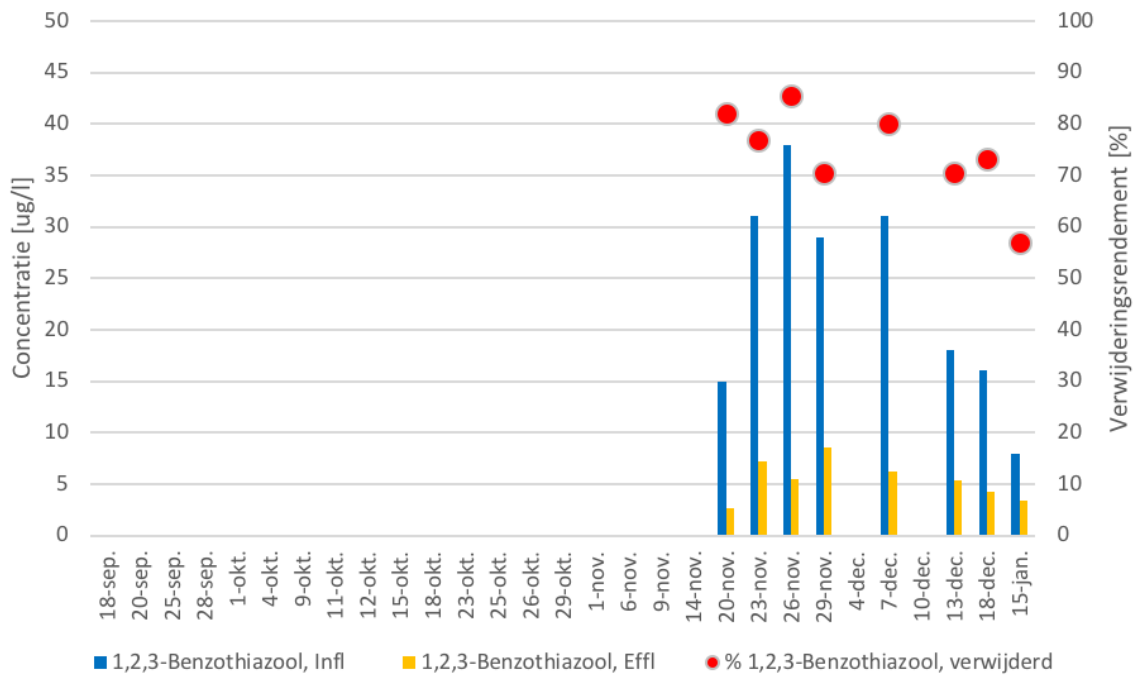
Opmerking: tot 20-nov-2018 is inregelperiode, van 20-nov-2018 t/m 15-jan-2019 loopt de vergelijkende test.

1. RWZI: Verwijdering afzonderlijke componenten in de rwzi
2. Ozon+Bio: Verwijdering afzonderlijke componenten met O₃+Bio-technologie (dus t.o.v. effluent)
3. UV+H₂O₂:Verwijdering afzonderlijke componenten met UV+H₂O₂ technologie (dus t.o.v. effluent)
4. Rwzi + O₃+Bio: verwijdering afzonderlijke componenten in de combinatie van RWZI plus O₃+Bio technologie (dus t.o.v. influent)
5. Rwzi + UV+H₂O₂: verwijdering afzonderlijke componenten in combinatie RWZI plus UV+H₂O₂-technologie (dus t.o.v. influent)

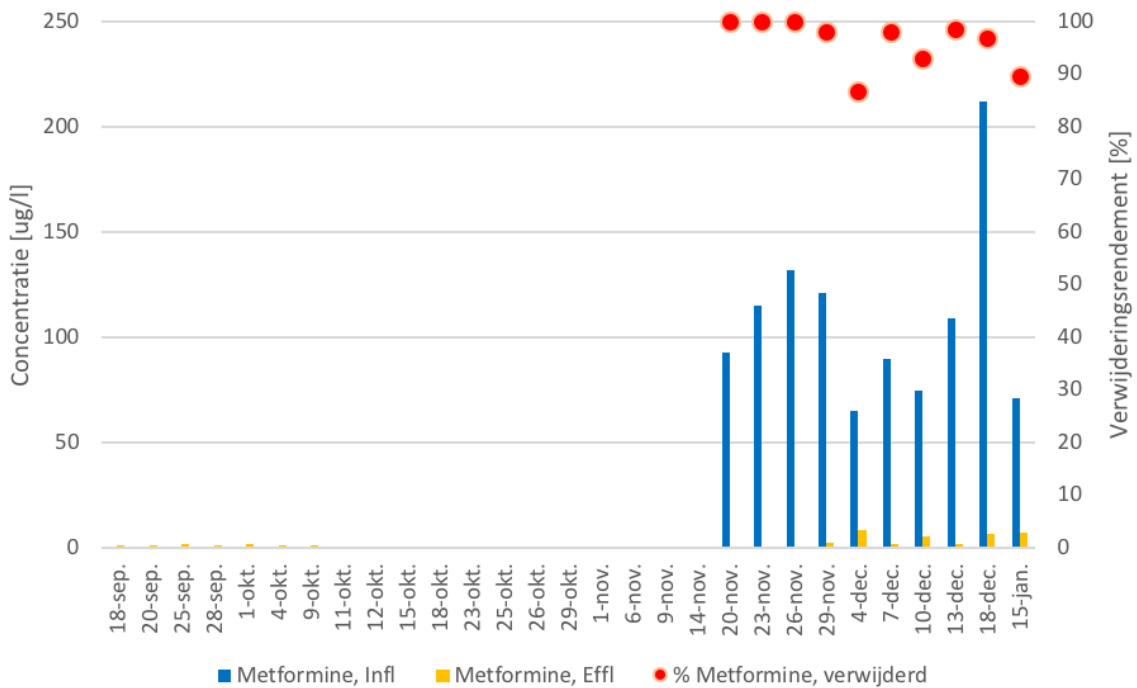
Clindamycine is niet weergegeven, want de concentratie in de toevoer ligt al op de rapportagegrens

1. RWZI:

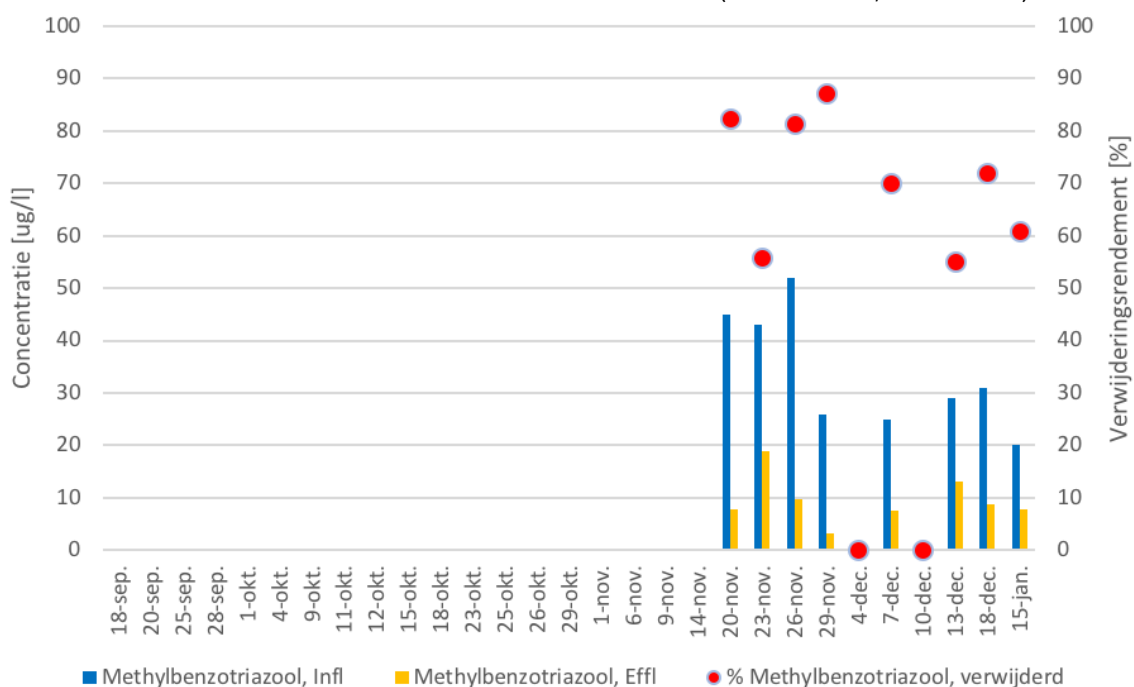
FIGUUR B22.1 DE CONCENTRATIE VAN 1,2,3-BENZOTRIAZOOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



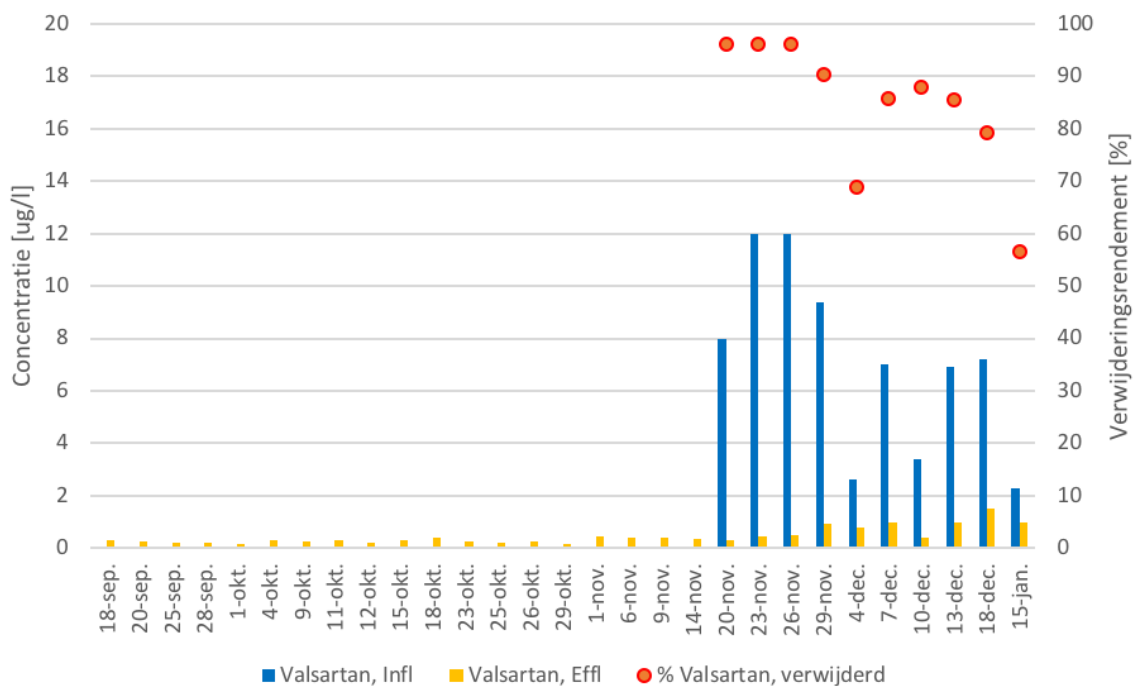
FIGUUR B22.2 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



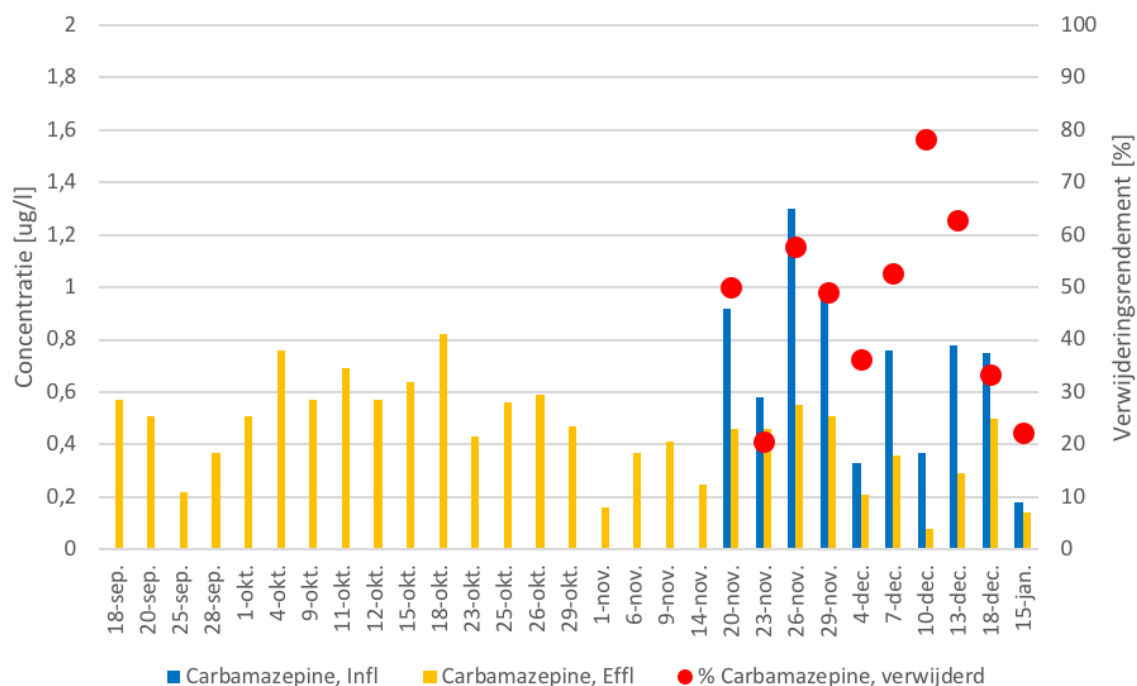
FIGUUR B22.3 DE CONCENTRATIE VAN METHYLBENZOTRIAZOOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



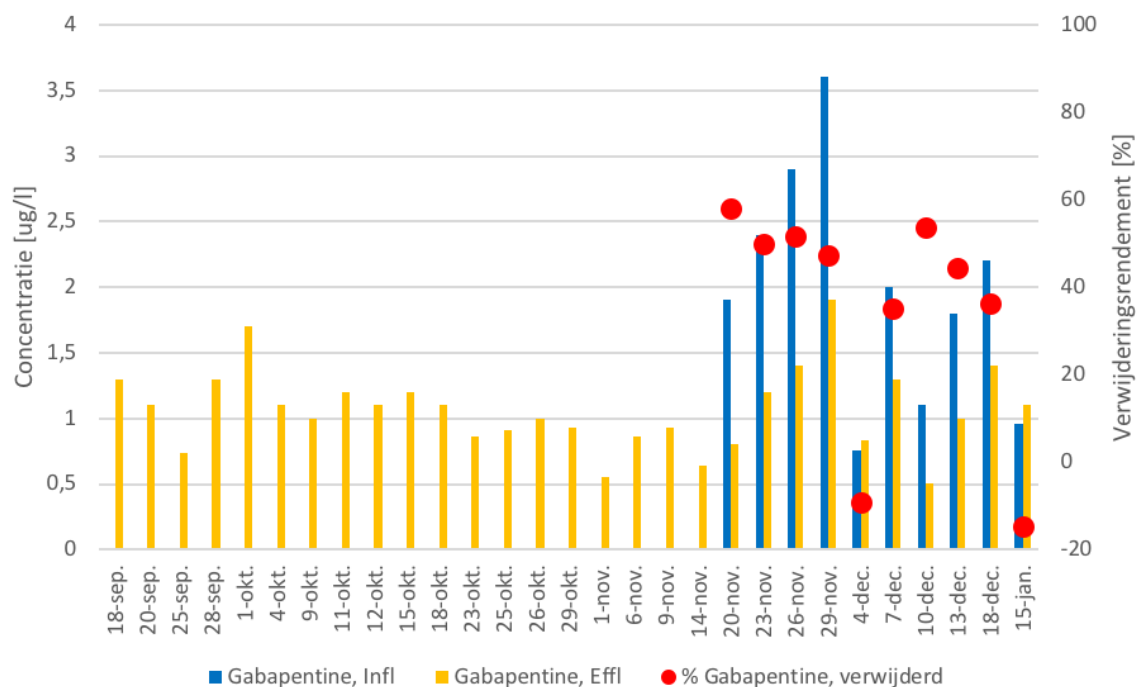
FIGUUR B22.4 DE CONCENTRATIE VAN VALSARTAN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



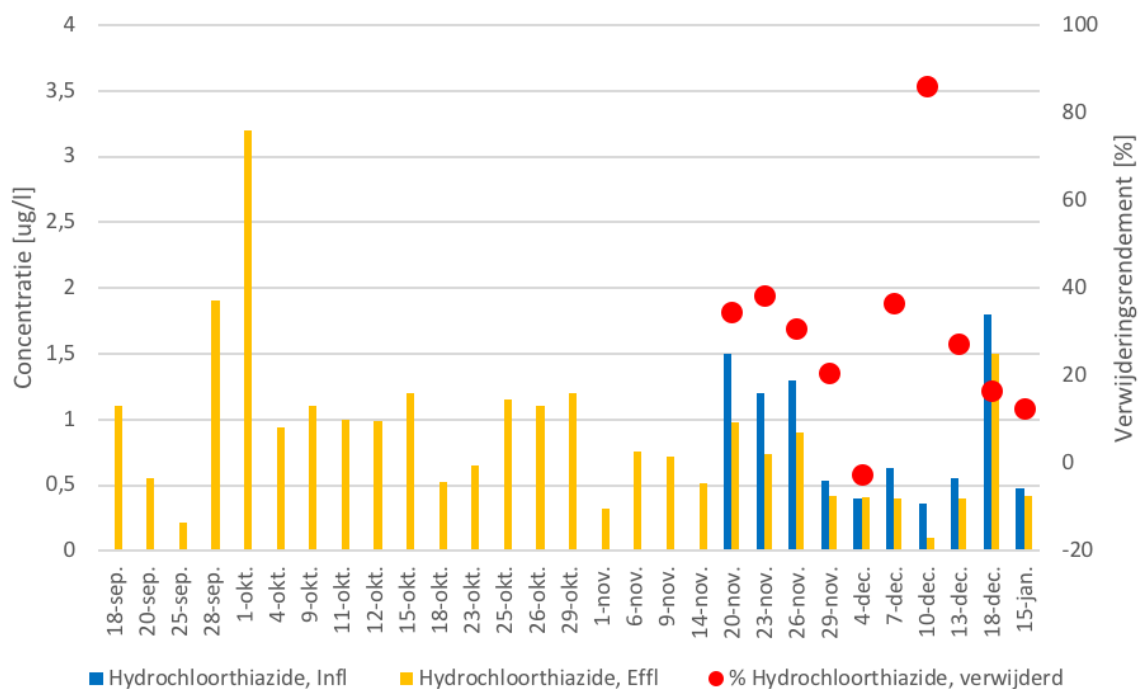
FIGUUR B22.5 DE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



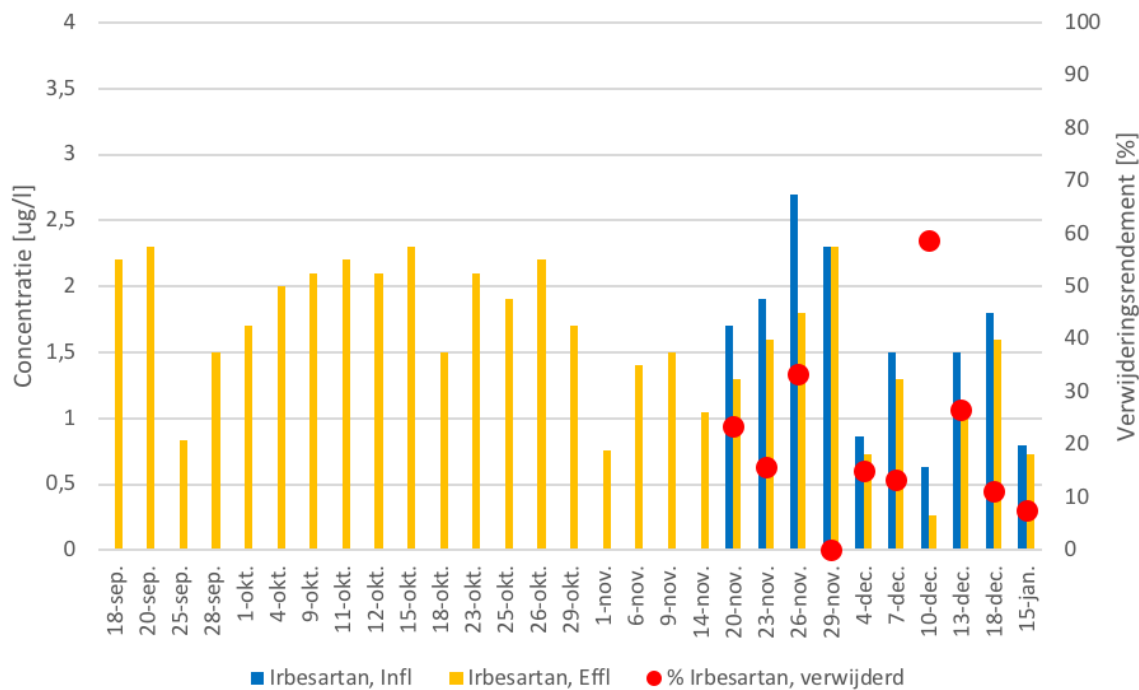
FIGUUR B22.6 DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



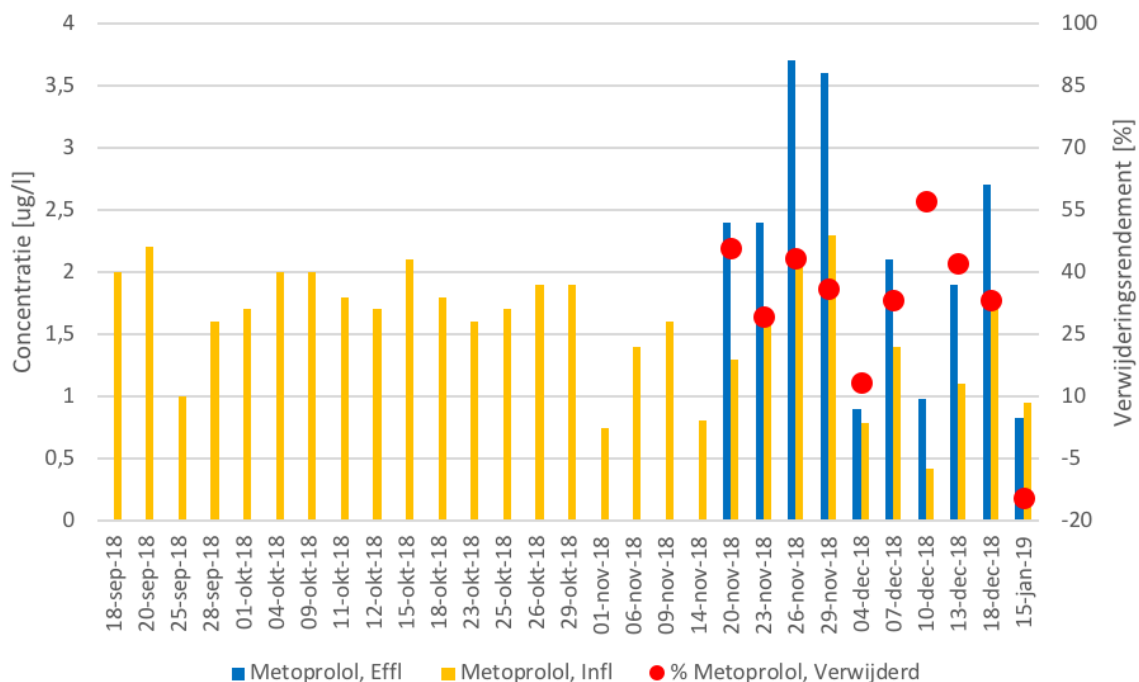
FIGUUR B22.7 DE CONCENTRATIE VAN HYDROCHLOORTHIAZIDE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



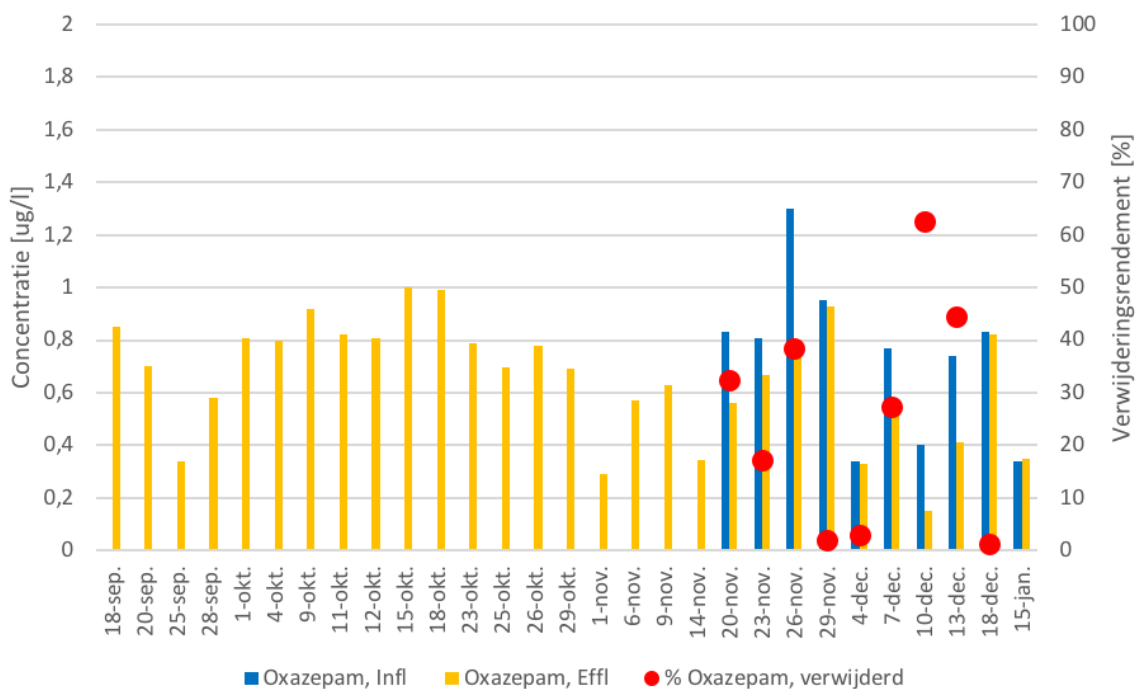
FIGUUR B22.8 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



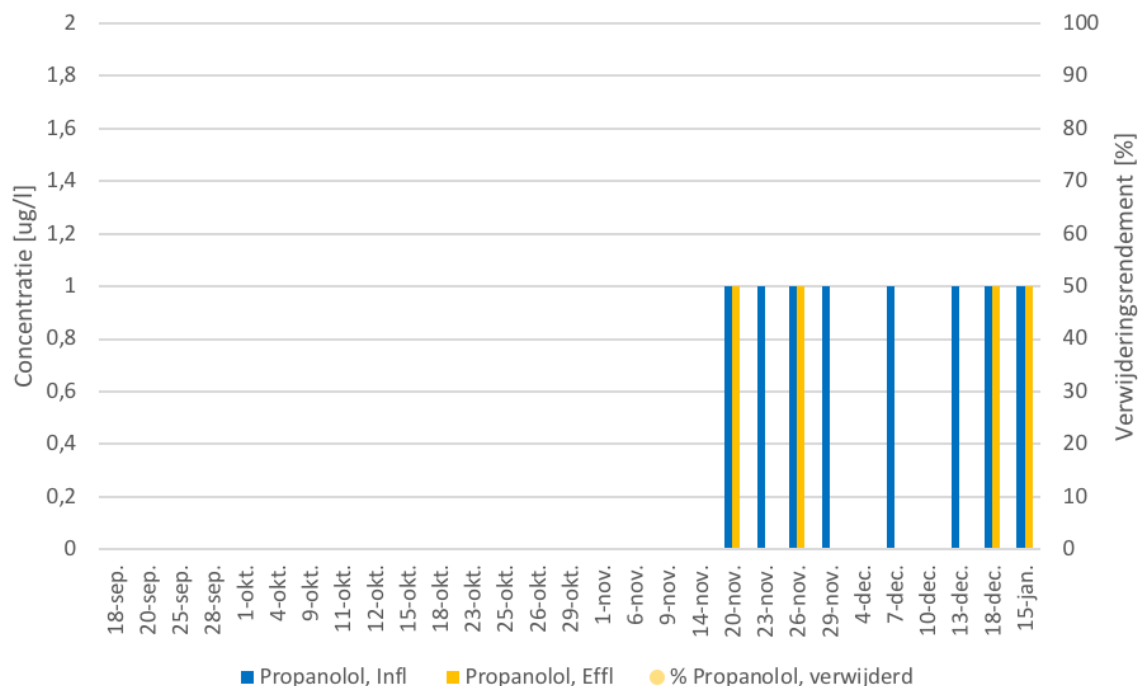
FIGUUR B22.9 DE CONCENTRATIE VAN METOPROLOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



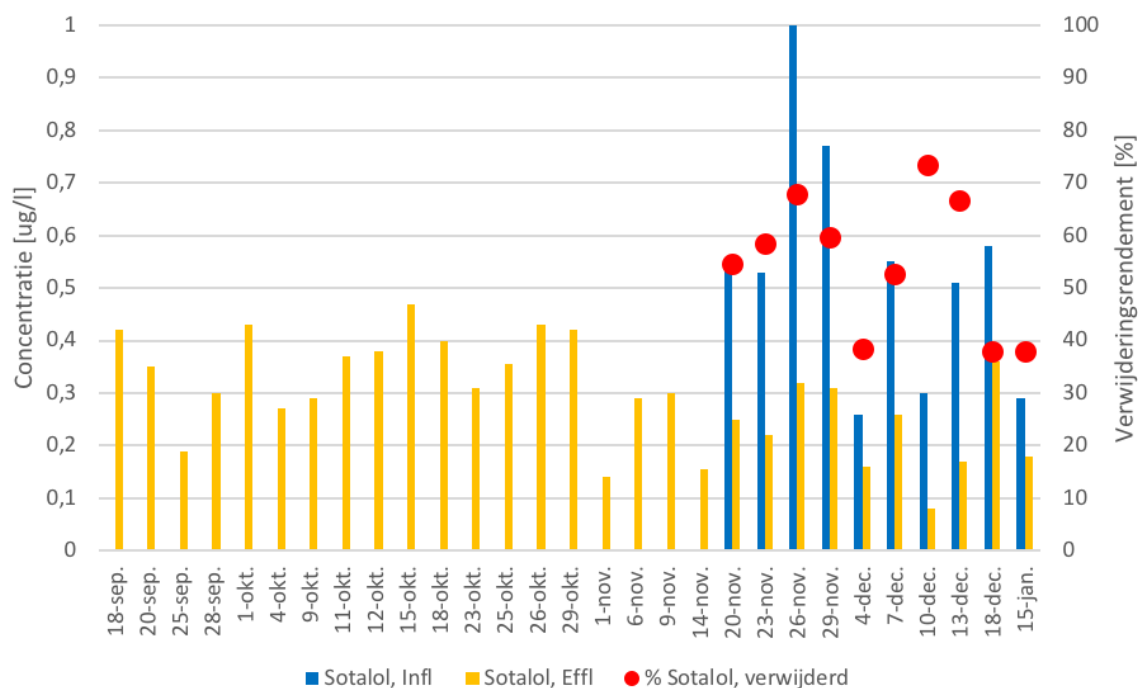
FIGUUR B22.10 DE CONCENTRATIE VAN OXAZEPAM IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



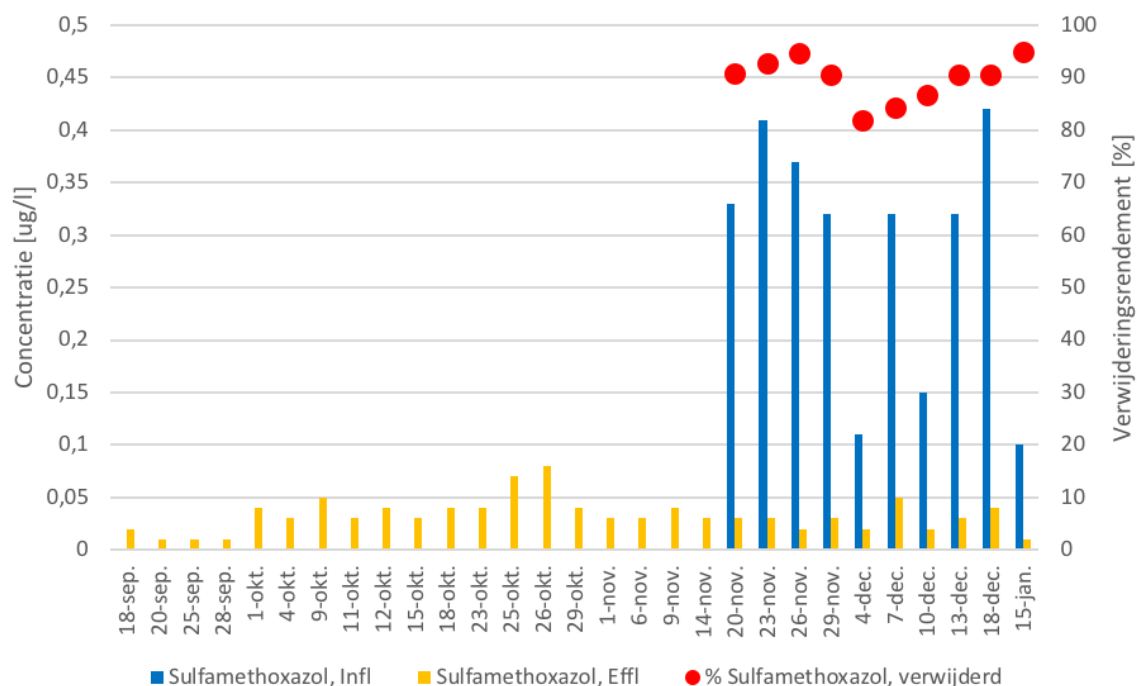
FIGUUR B22.11 DE CONCENTRATIE VAN PROPANOLOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



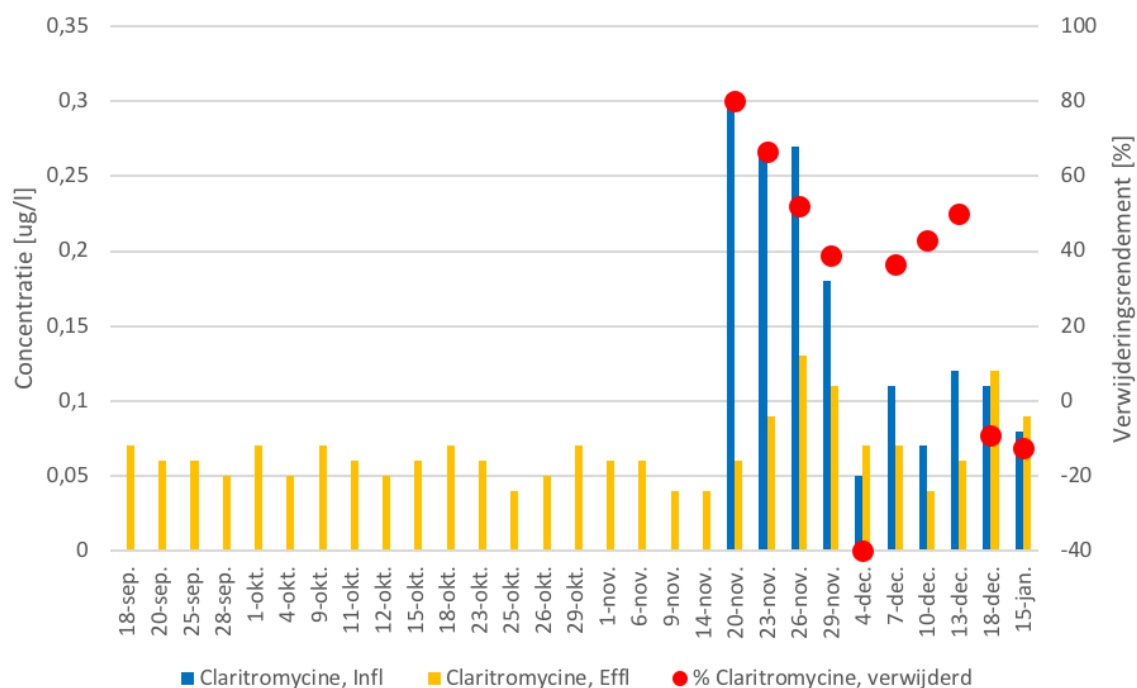
FIGUUR B22.12 DE CONCENTRATIE VAN SOTALOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



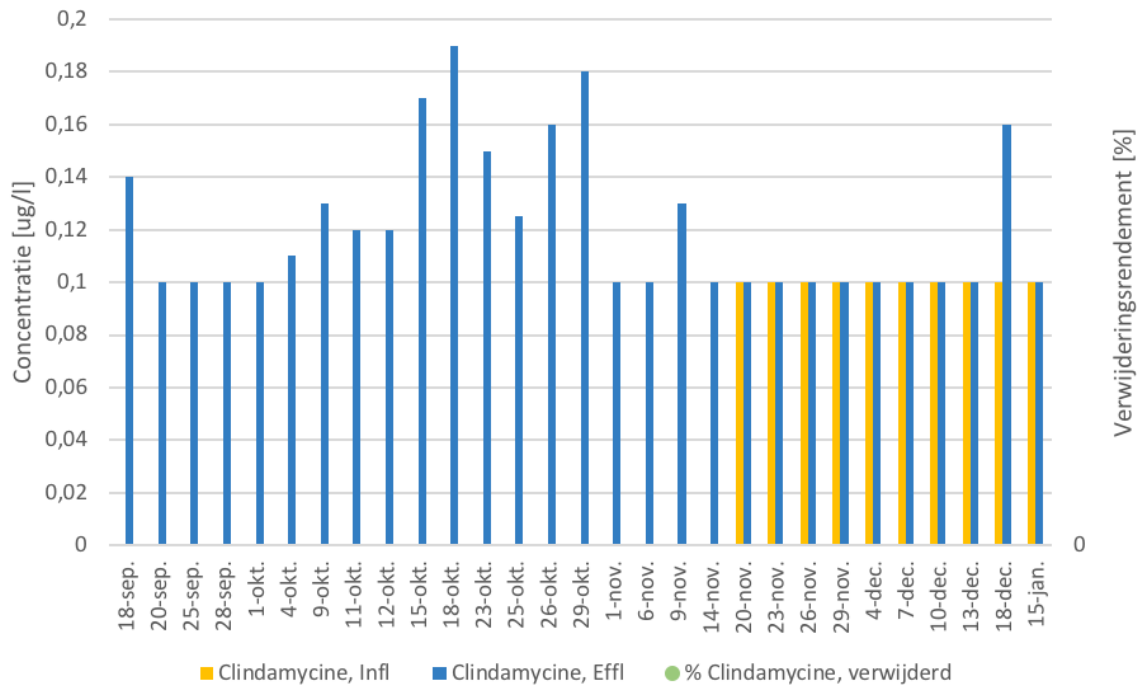
FIGUUR B22.13 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



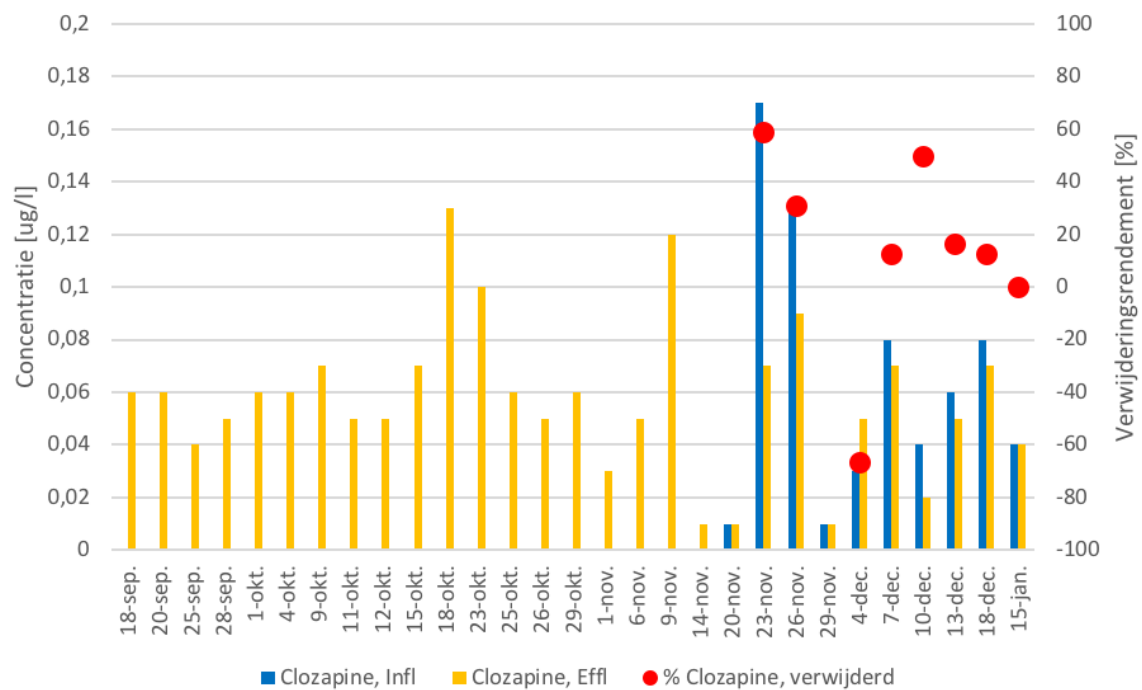
FIGUUR B22.14 DE CONCENTRATIE VAN CLARITROMYCINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



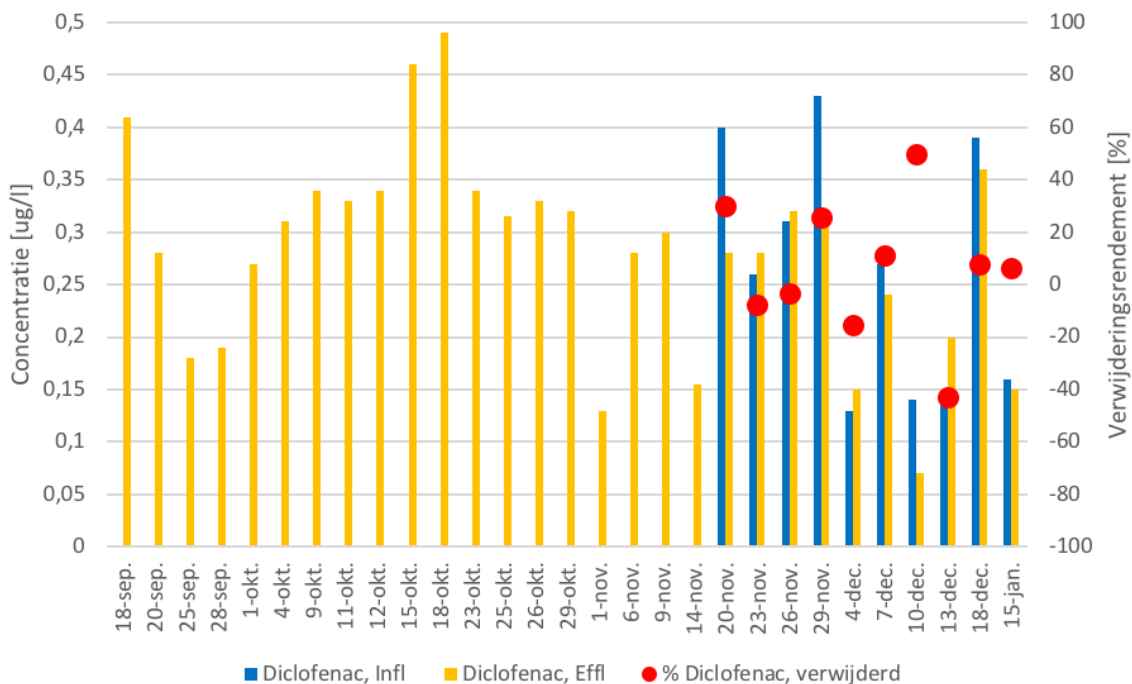
FIGUUR B22.15 DE CONCENTRATIE VAN CLINDAMYCINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



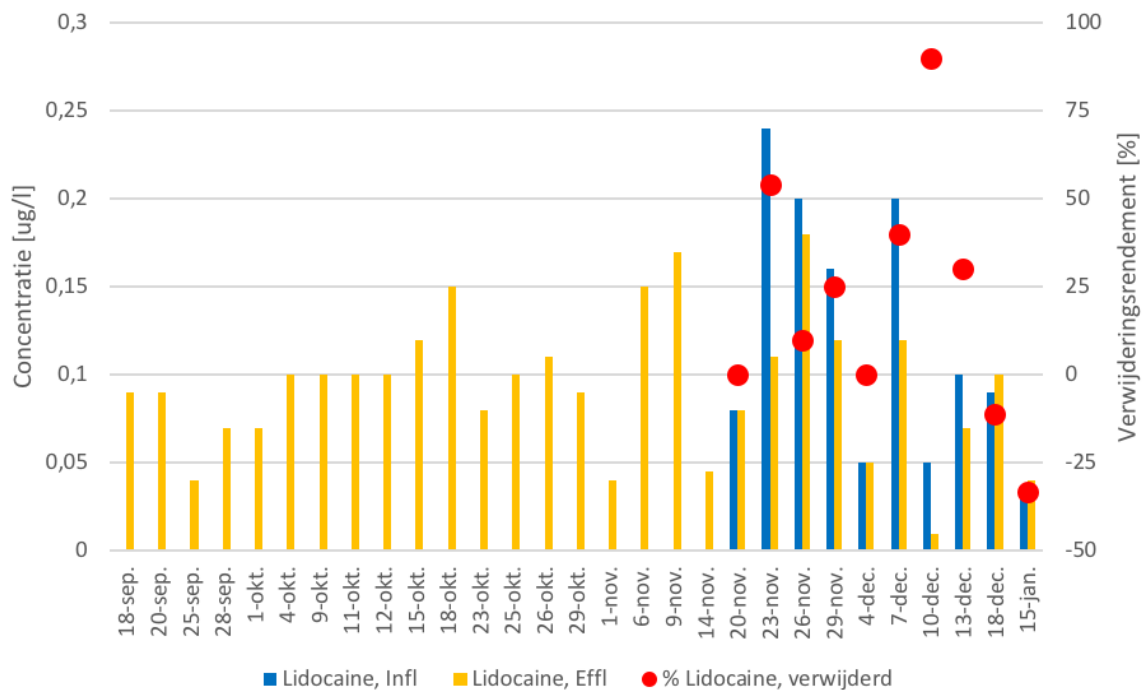
FIGUUR B22.16 DE CONCENTRATIE VAN CLOZAPINE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



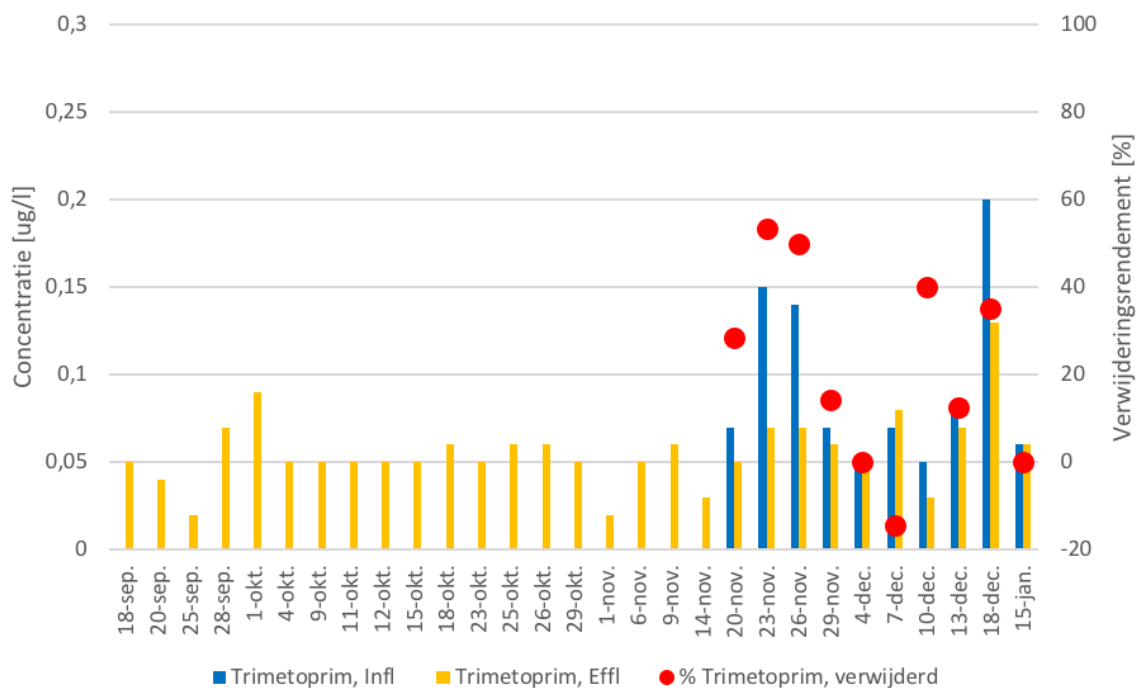
FIGUUR B22.17 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B22.18 DE CONCENTRATIE VAN LIDOCAÏNE IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

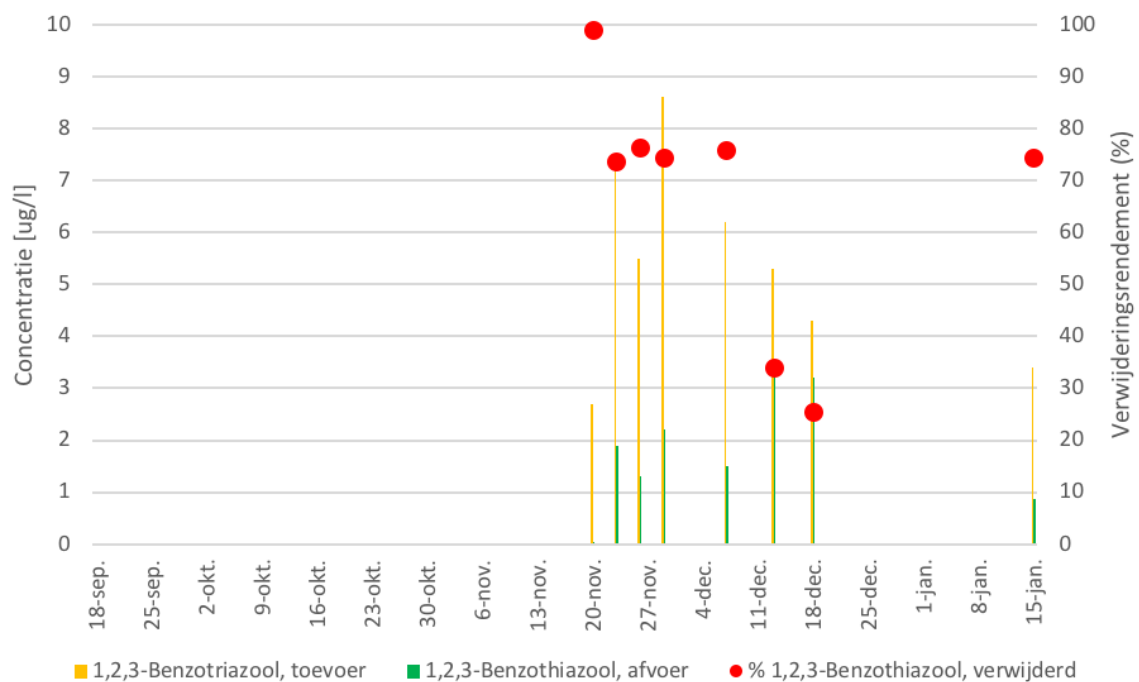


FIGUUR B22.19 DE CONCENTRATIE VAN TRIMETHOPRIM IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN DE RWZI EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

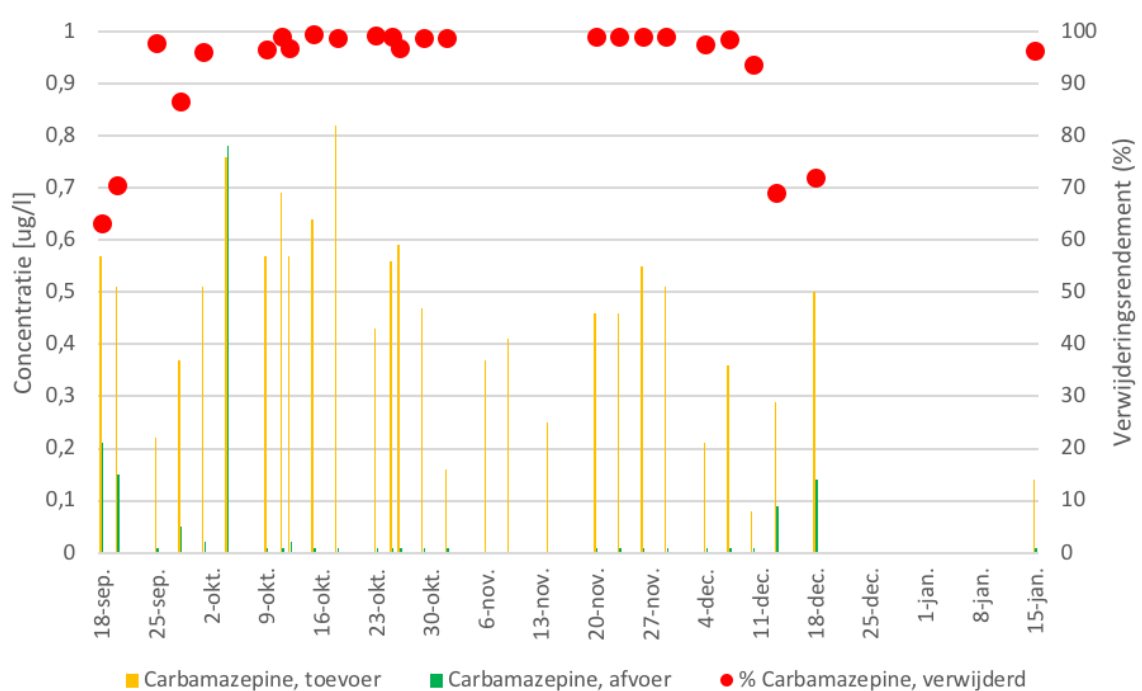


2. 03+BI0:

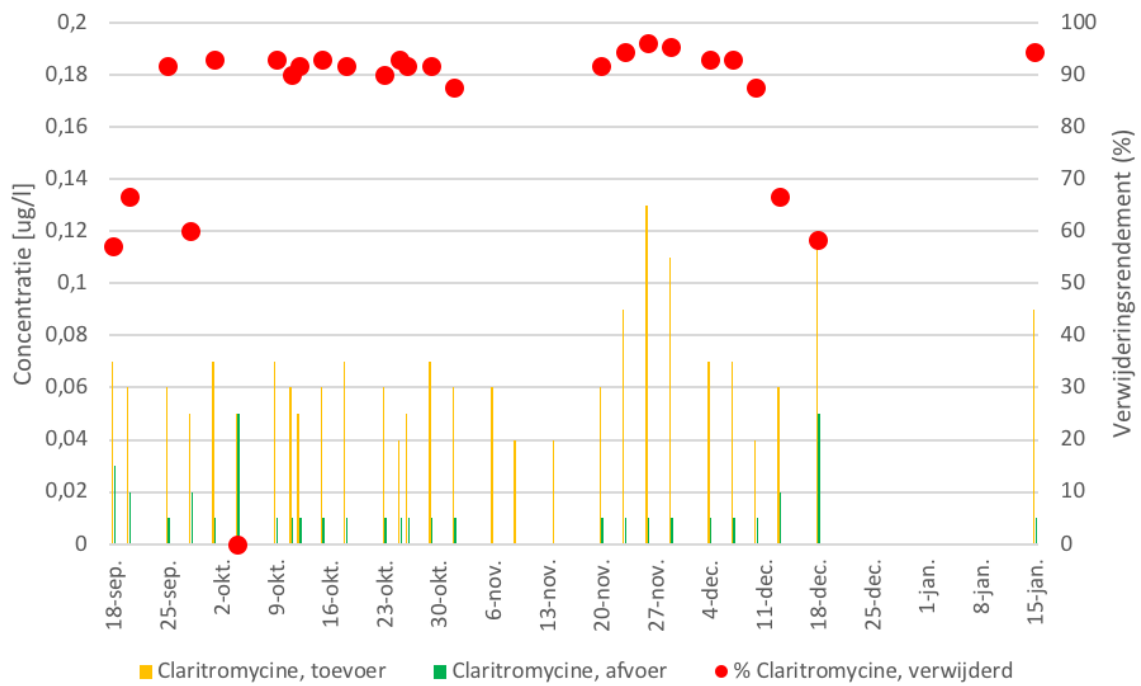
FIGUUR B22.20 DE CONCENTRATIE VAN 1,2,3-BENZOTRIAZOOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



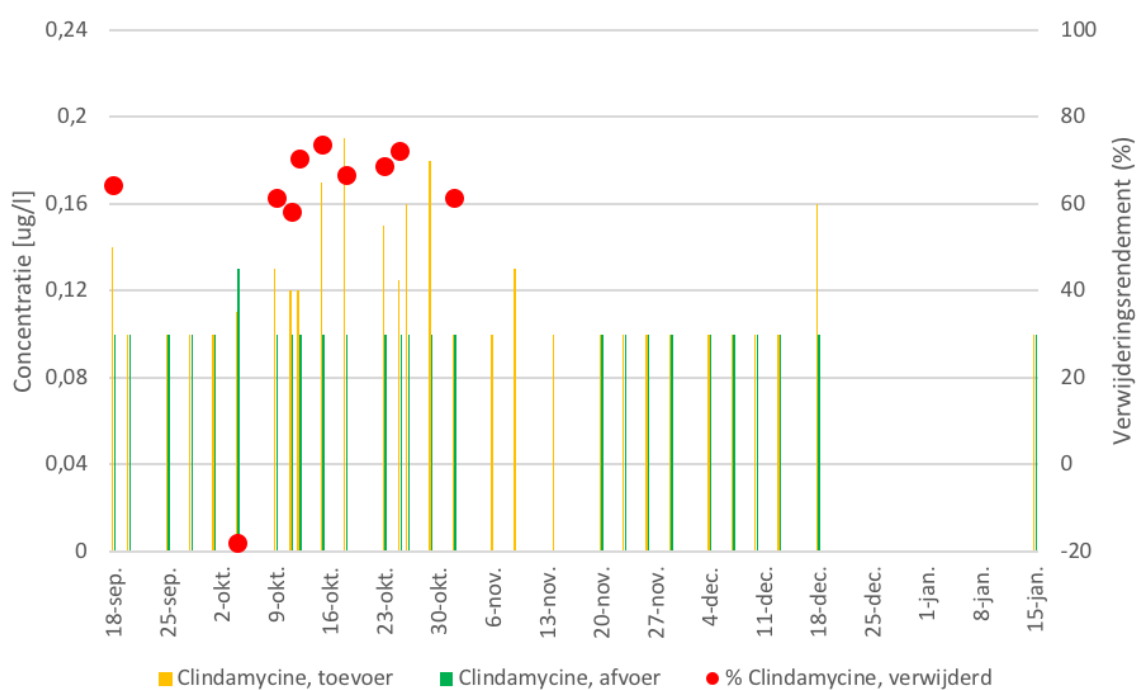
FIGUUR B22.21 DE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



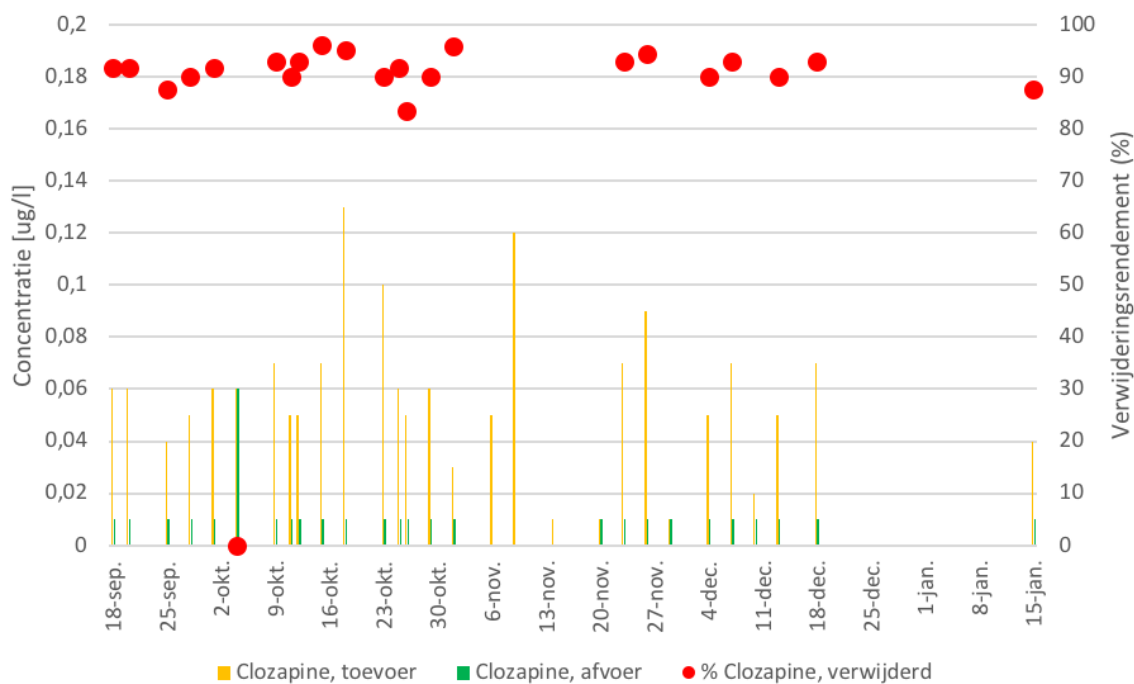
FIGUUR B22.22 DE CONCENTRATIE VAN CLARITROMYCINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



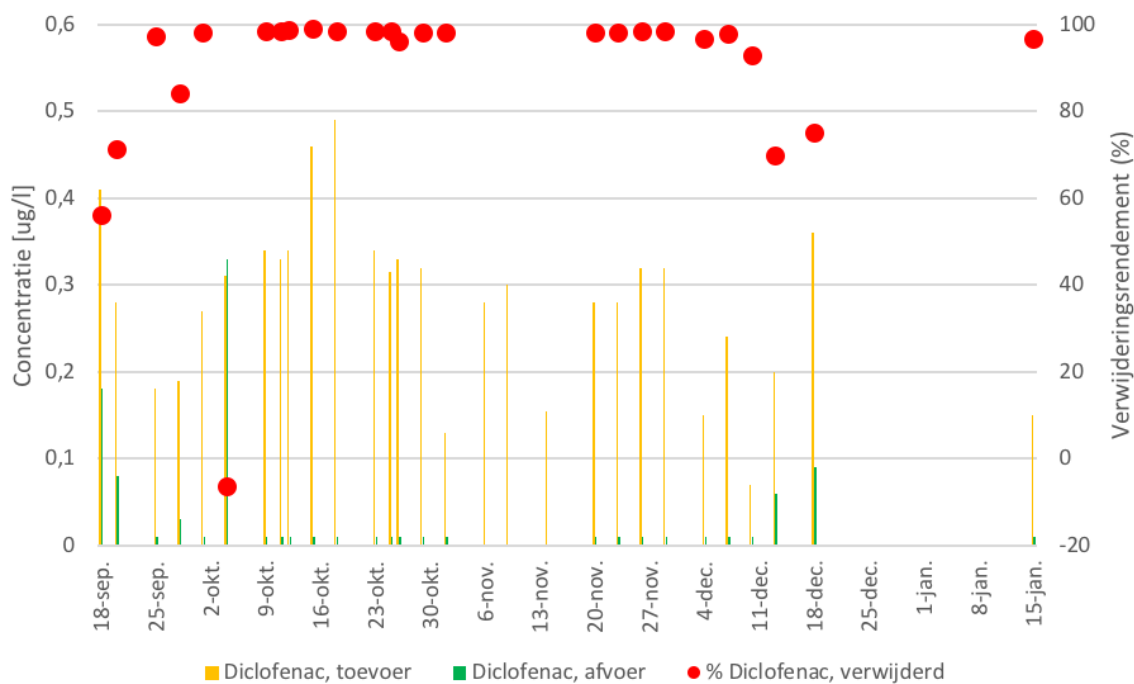
FIGUUR B22.23 DE CONCENTRATIE VAN CLINDAMYCINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



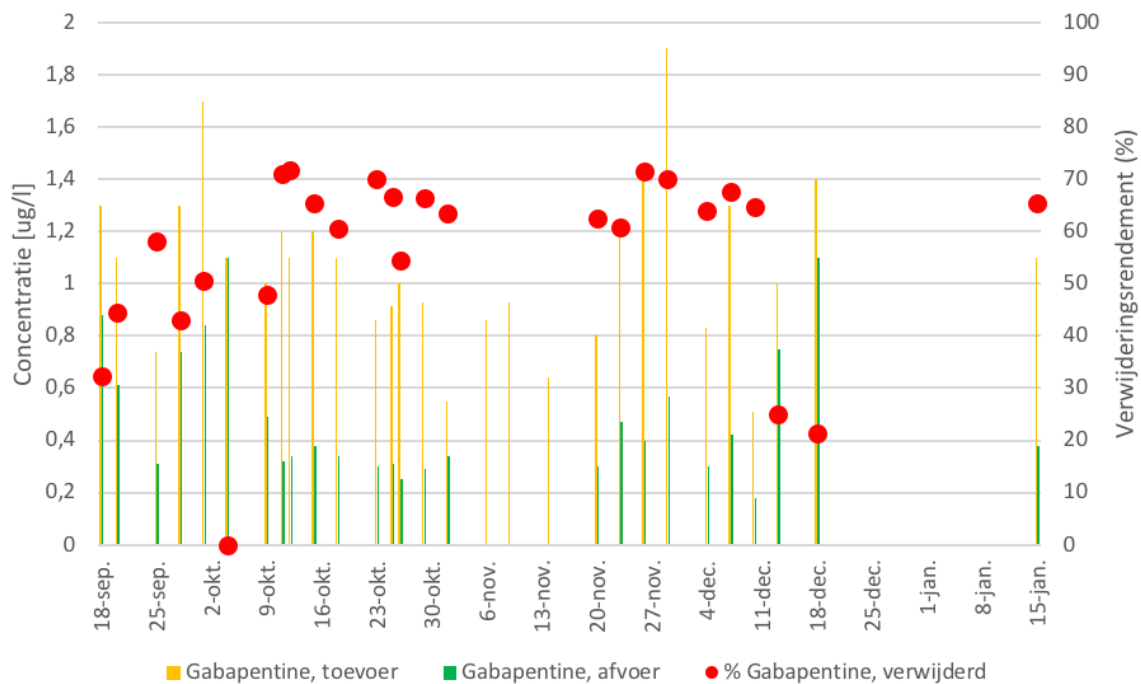
FIGUUR B22.24 DE CONCENTRATIE VAN CLOZAPINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



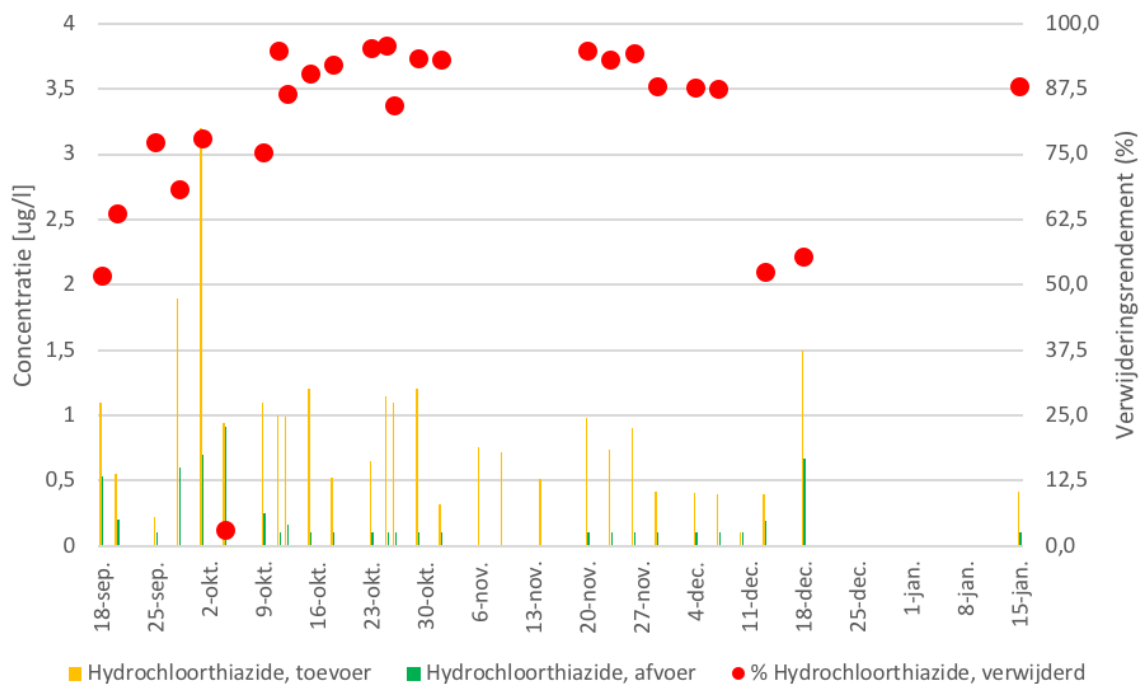
FIGUUR B22.25 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



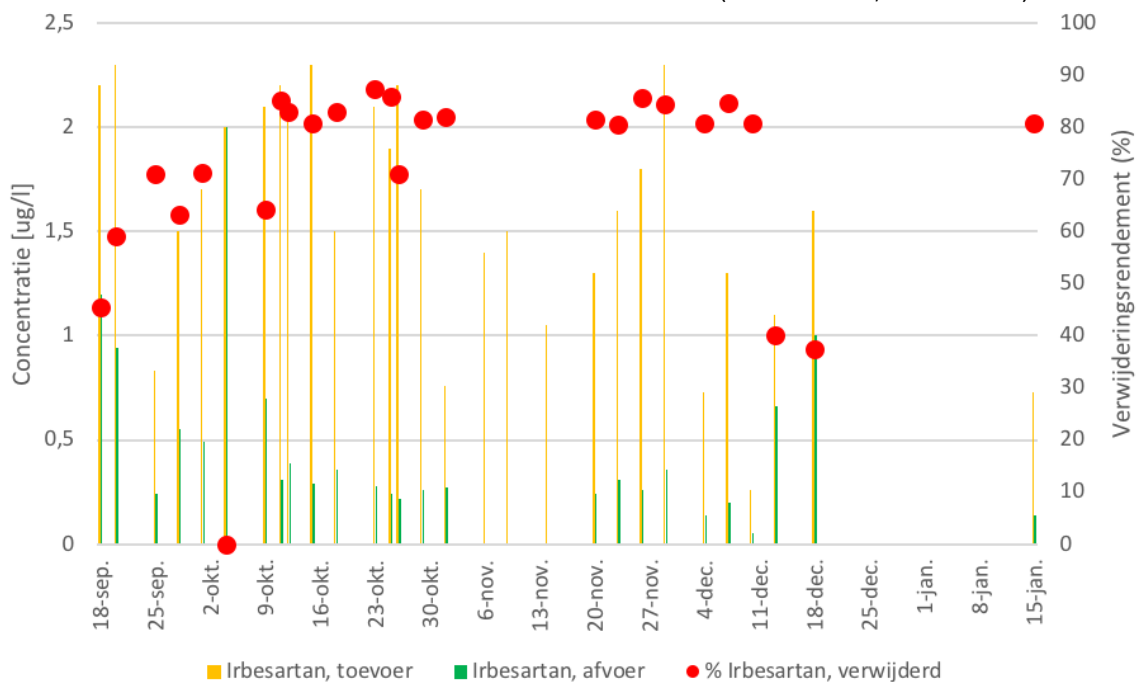
FIGUUR B22.26 DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



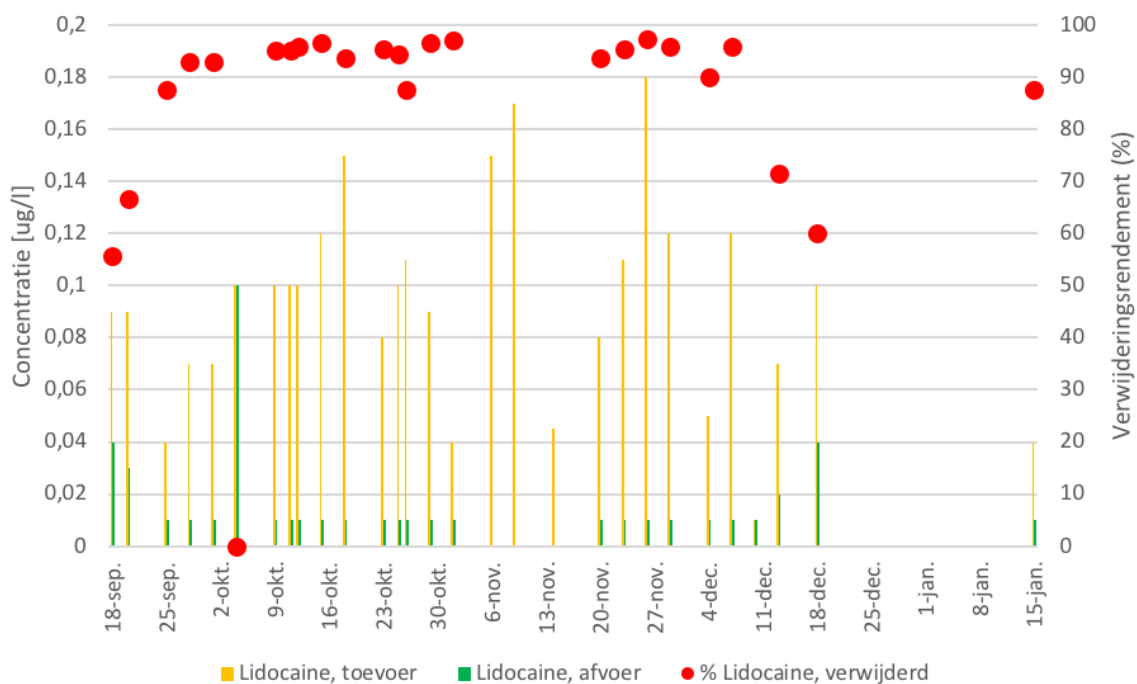
FIGUUR B22.27 DE CONCENTRATIE VAN HYDROCHLOORTHAIAZIDE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



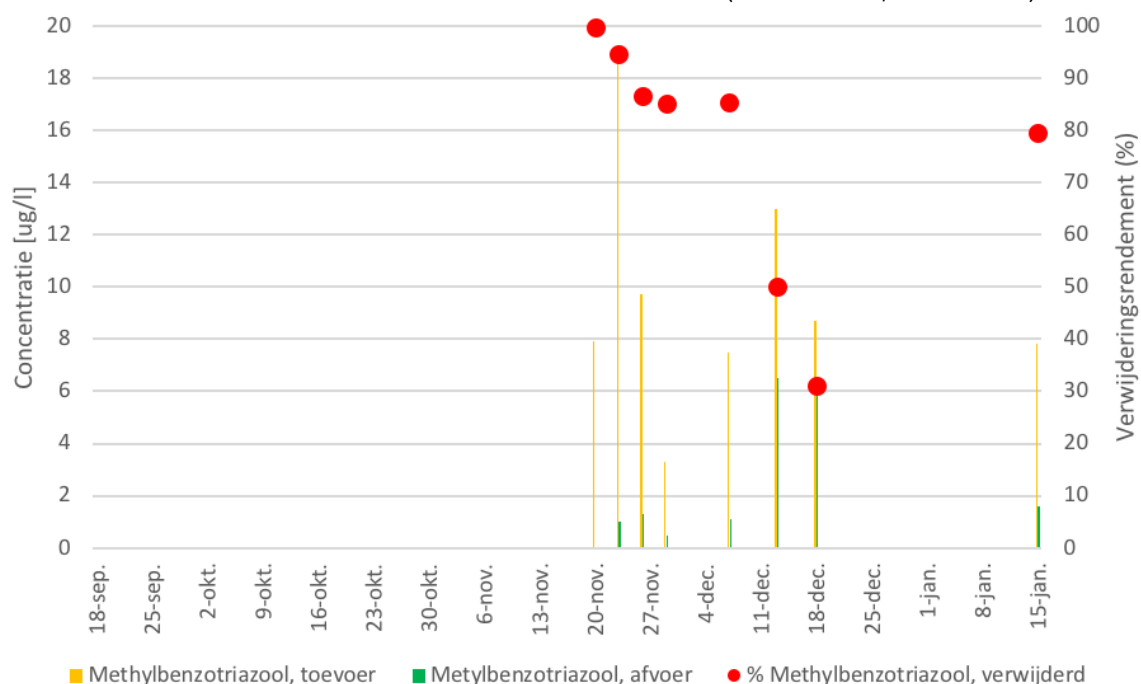
FIGUUR B22.28 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019).



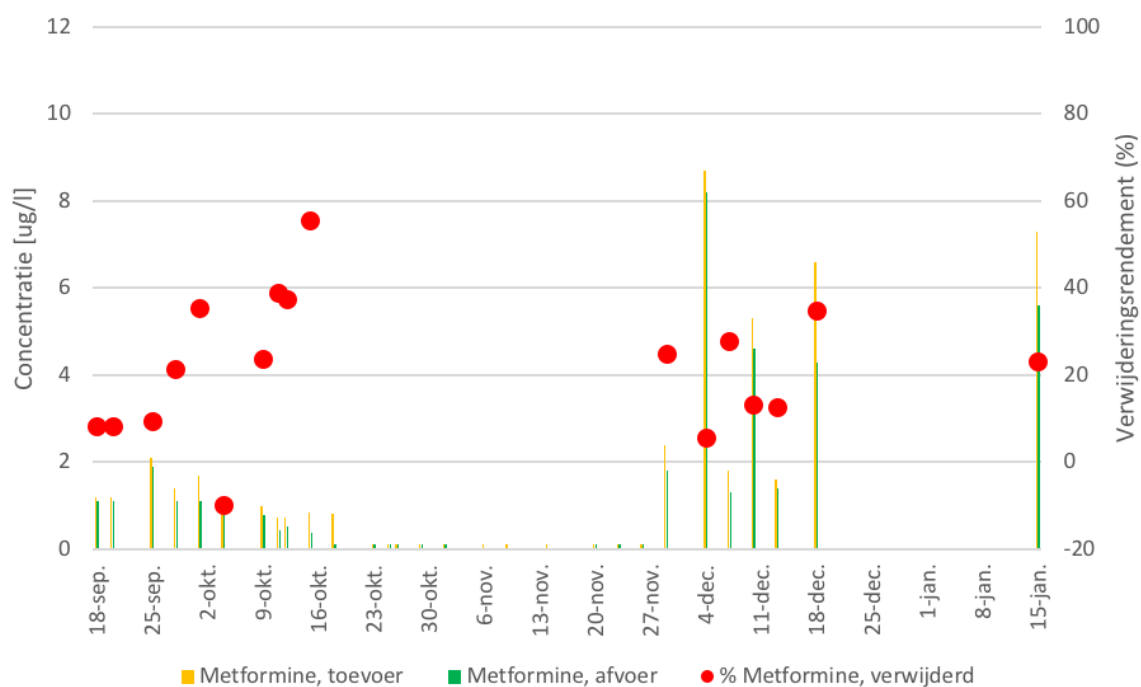
FIGUUR B22.29 DE CONCENTRATIE VAN LIDOCAÏNE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



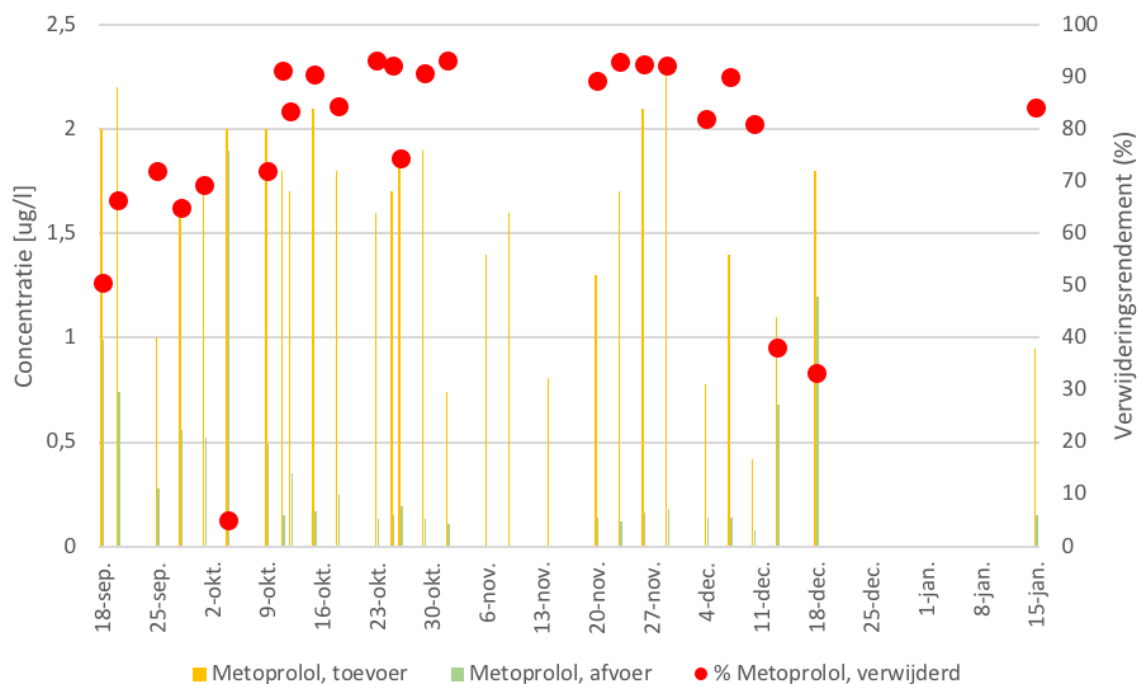
FIGUUR B22.30 DE CONCENTRATIE VAN METHYLBENZOTRIAZOOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



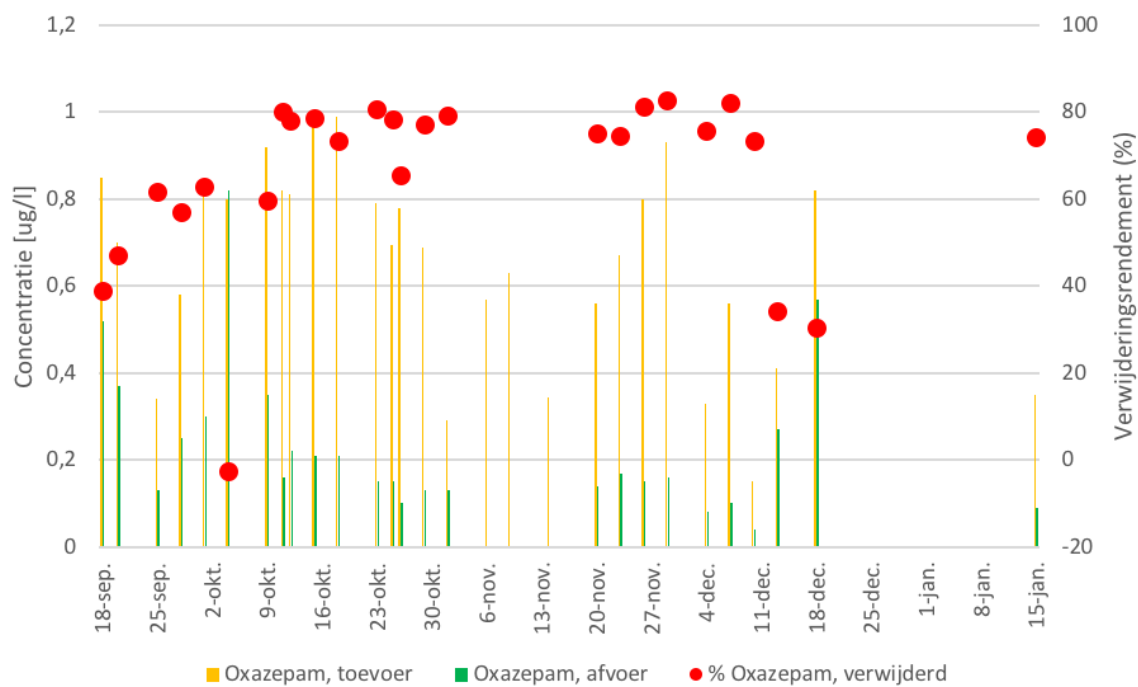
FIGUUR B22.31 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



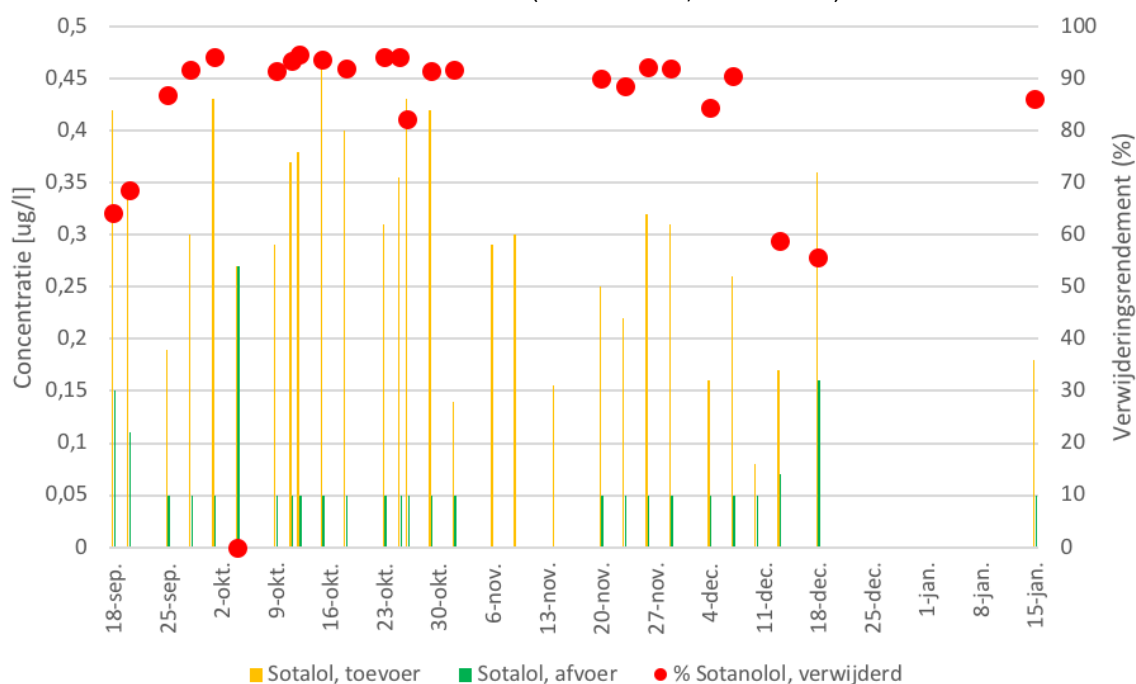
FIGUUR B22.32 DE CONCENTRATIE VAN METOPROLOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



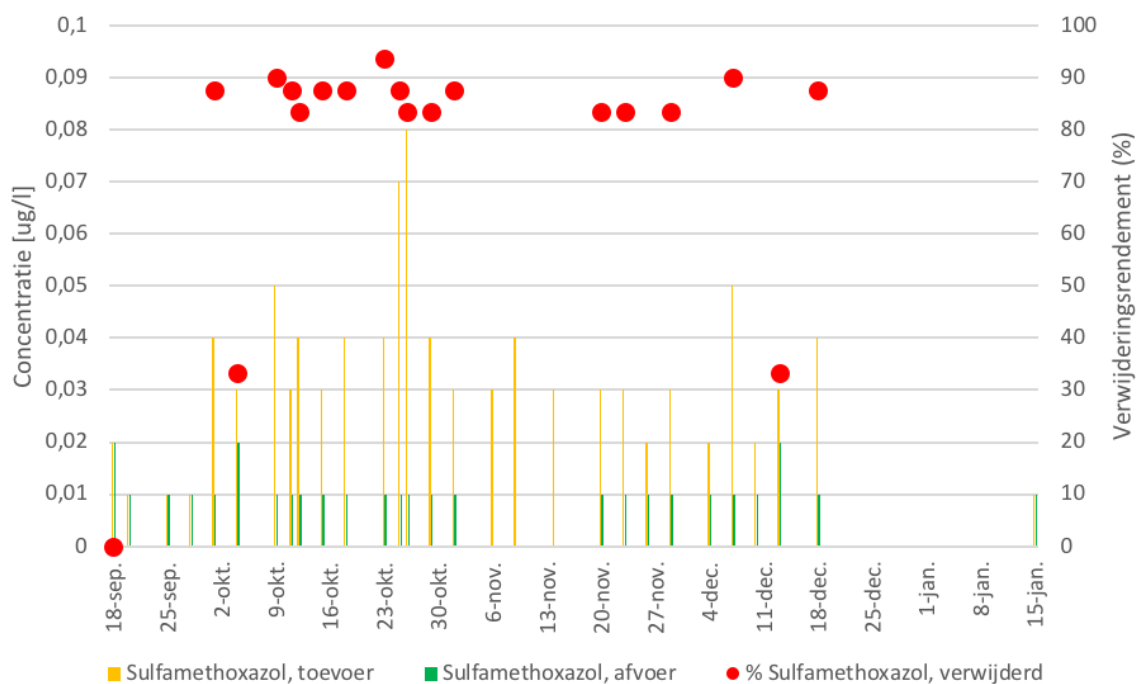
FIGUUR B22.33 DE CONCENTRATIE VAN OXAZEPAM IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



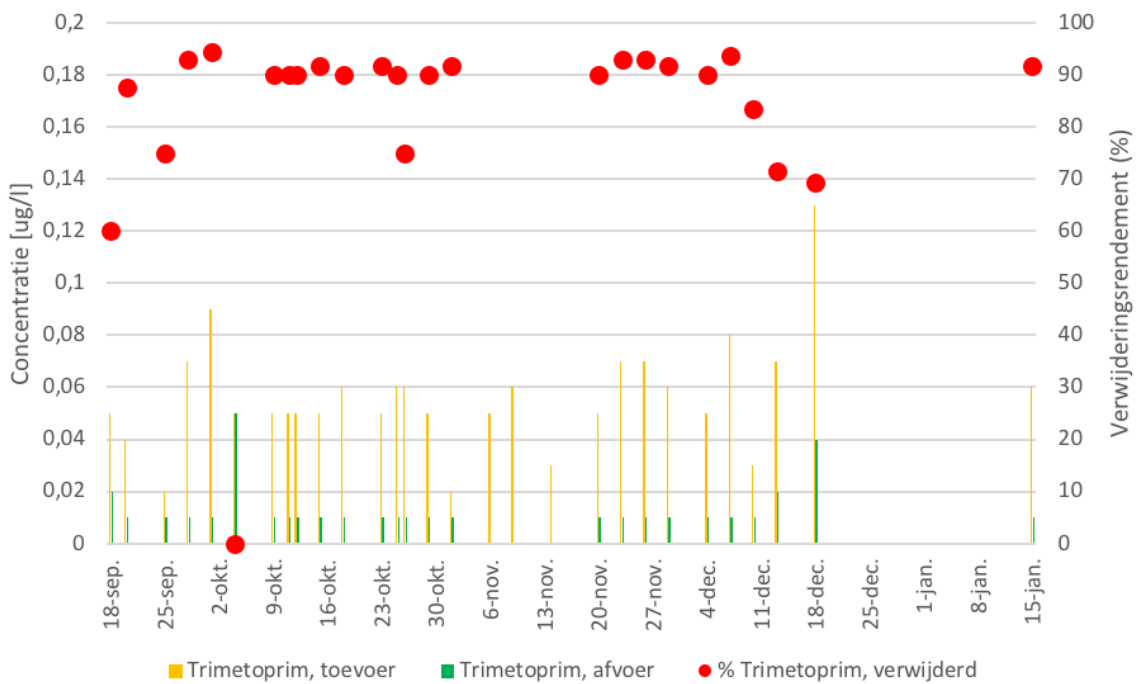
FIGUUR B22.34 DE CONCENTRATIE VAN SOTALOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



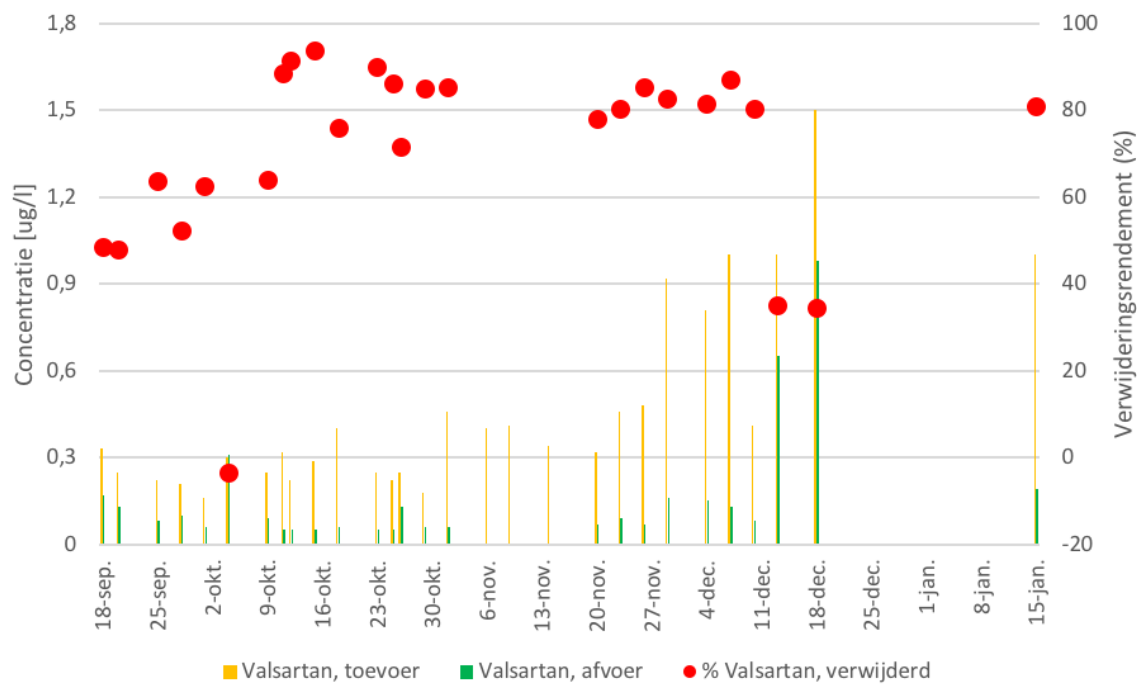
FIGUUR B22.35 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B22.36 DE CONCENTRATIE VAN TRIMETHOPRIM IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

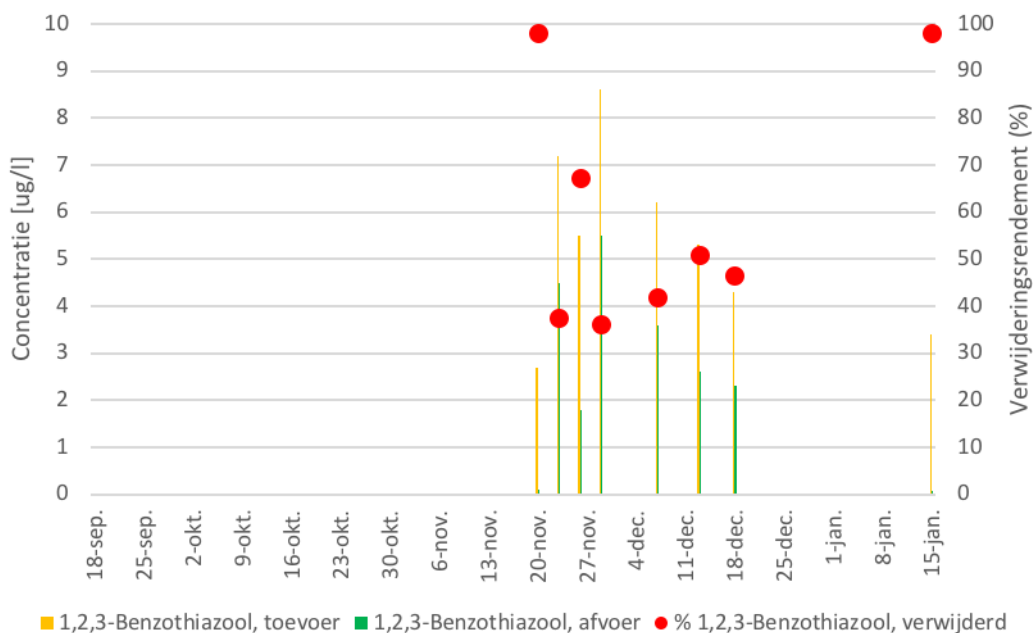


FIGUUR B22.37 DE CONCENTRATIE VAN VALSARTAN IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

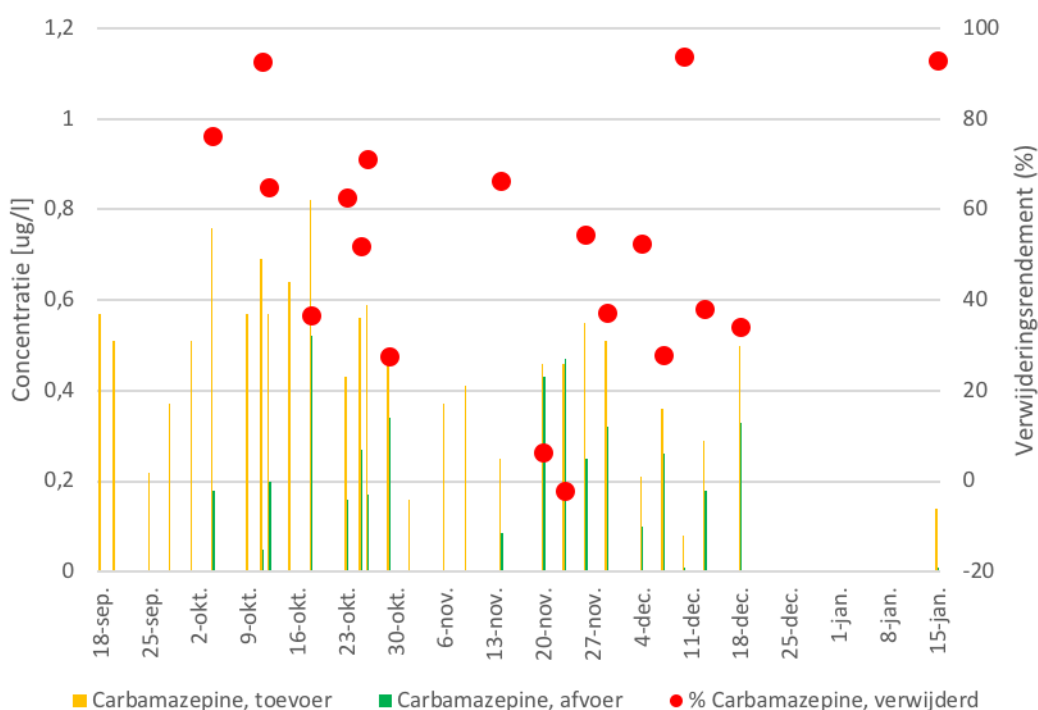


3. UV + H₂O₂:

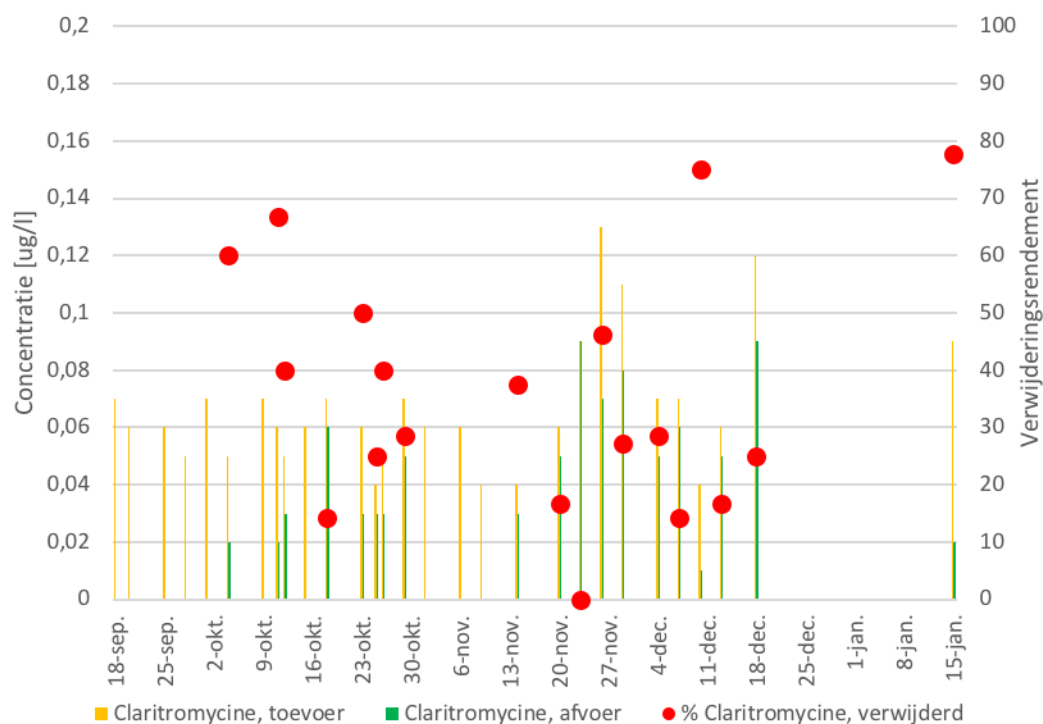
FIGUUR B22.38 DE CONCENTRATIE VAN 1,2,3-BENZOTRIAZOOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



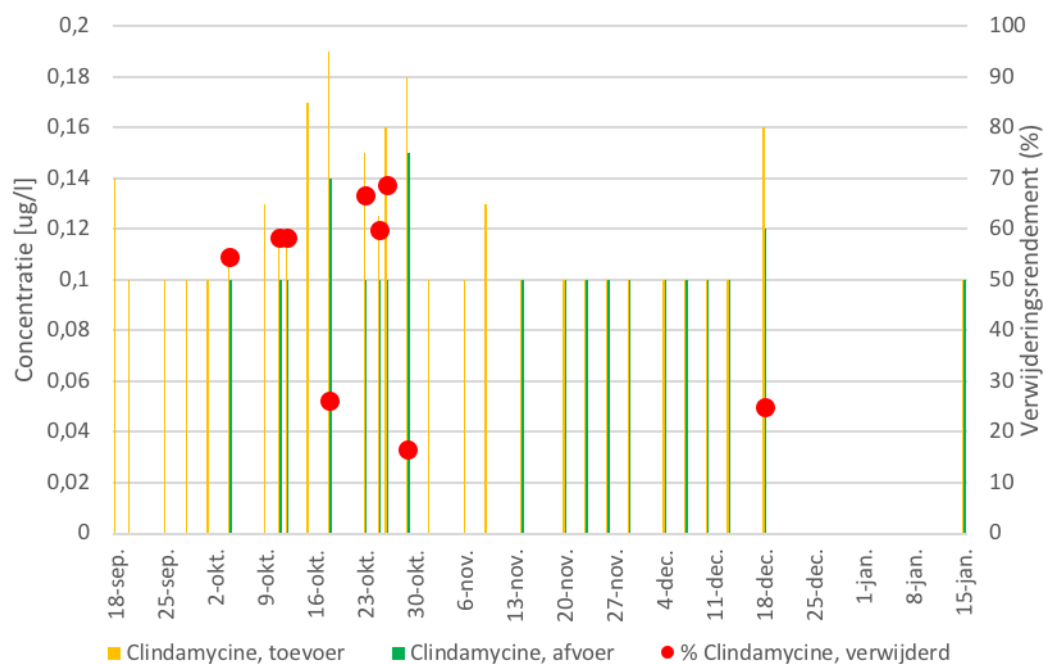
FIGUUR B22.39 DE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



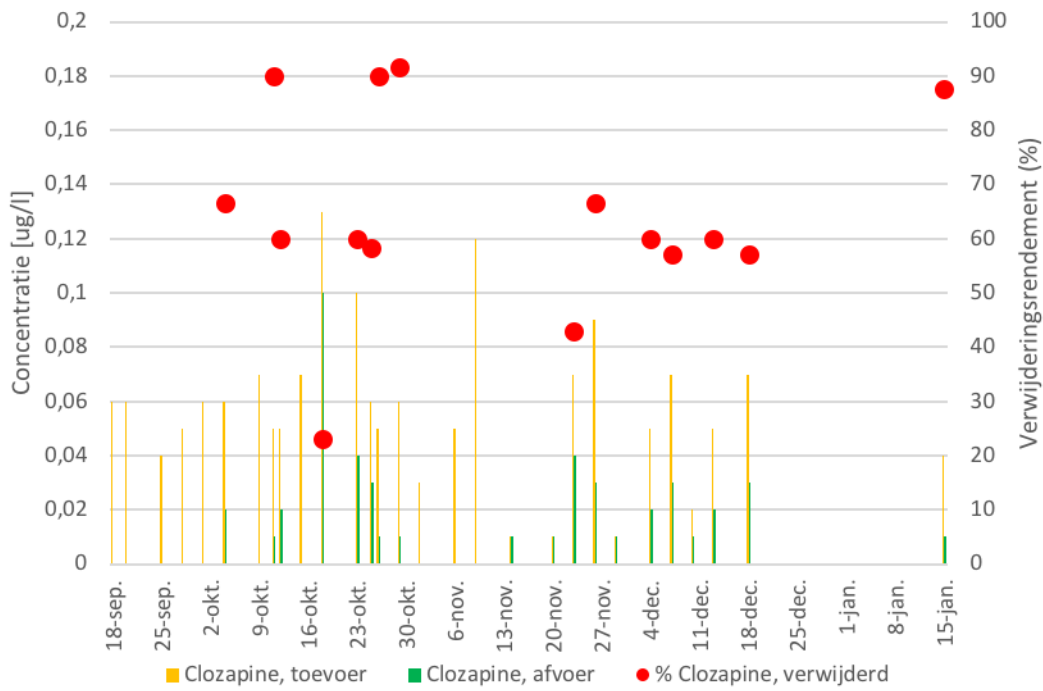
FIGUUR B22.40 DE CONCENTRATIE VAN CLARITROMYCINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



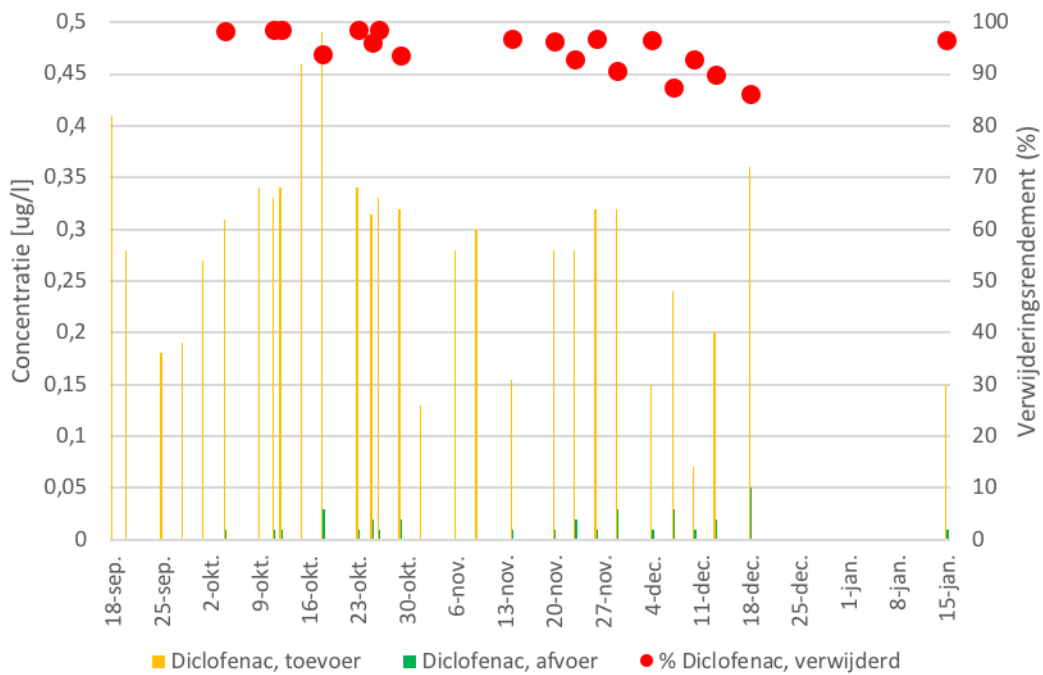
FIGUUR B22.41 DE CONCENTRATIE VAN CLINDAMYCINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



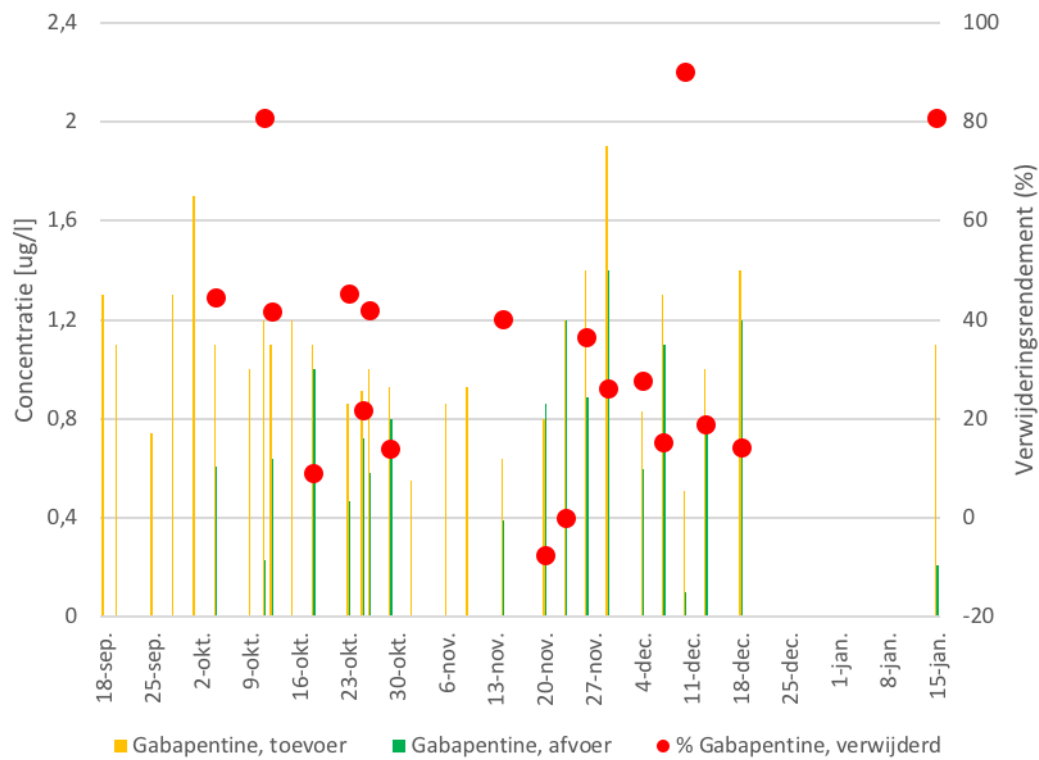
FIGUUR B22.42 DE CONCENTRATIE VAN CLOZAPINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



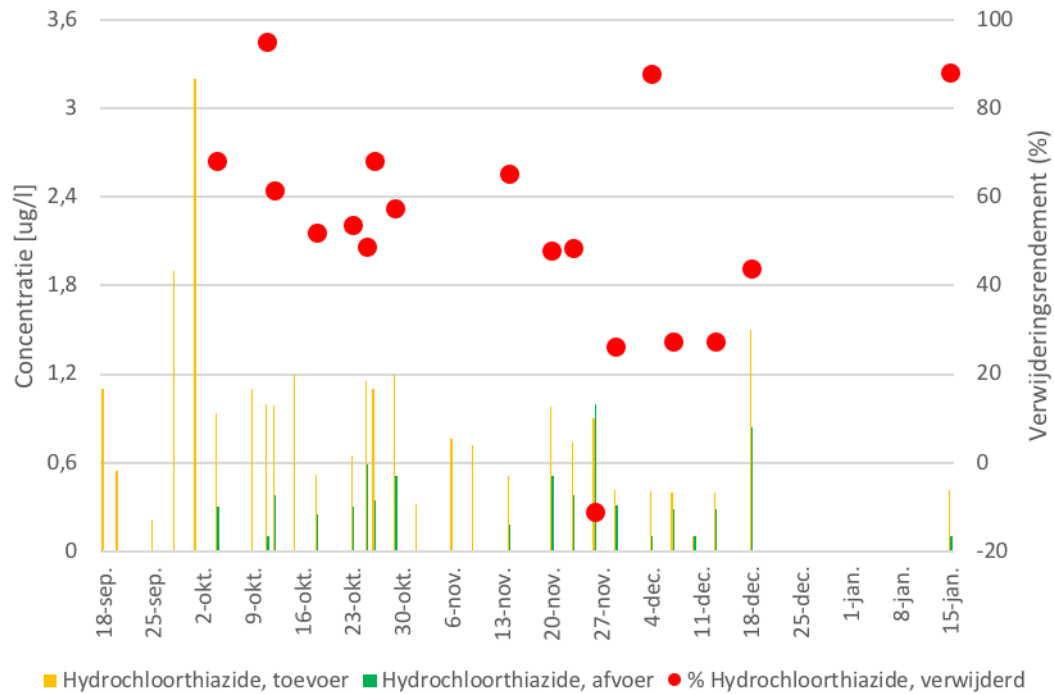
FIGUUR B22.43 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



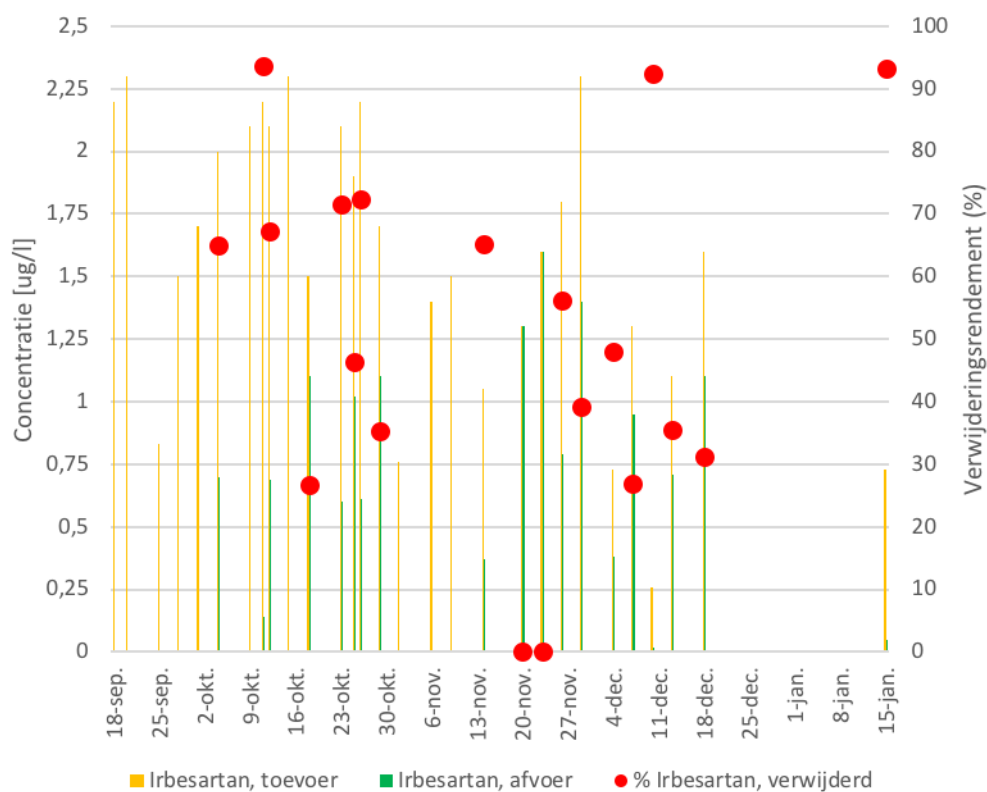
FIGUUR B22.44 DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



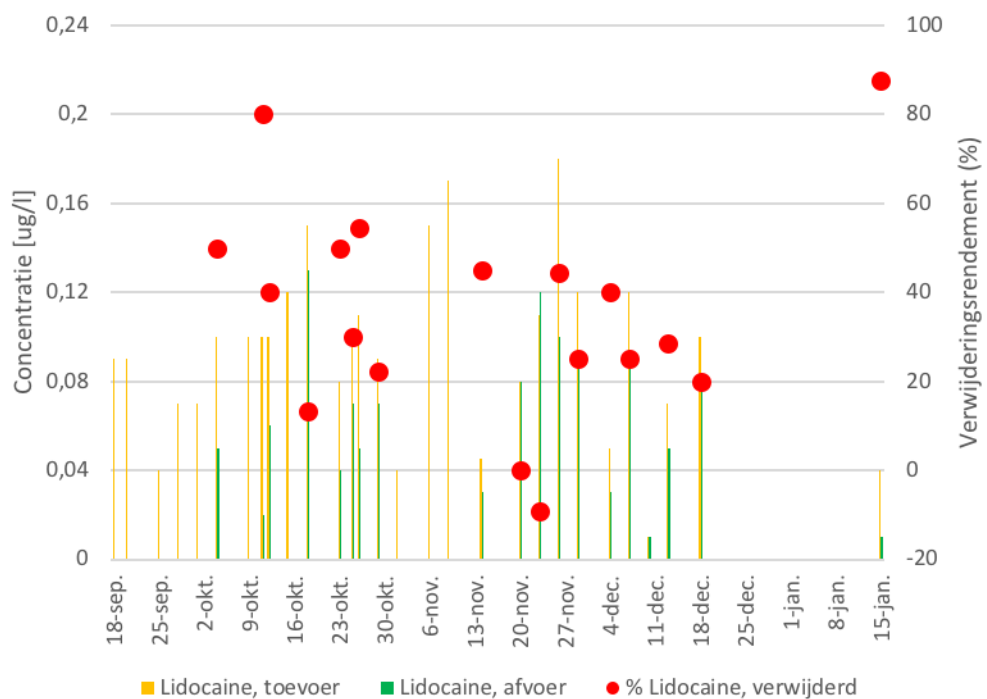
FIGUUR B22.45 DE CONCENTRATIE VAN HYDROCHLOORTHAIAZIDE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



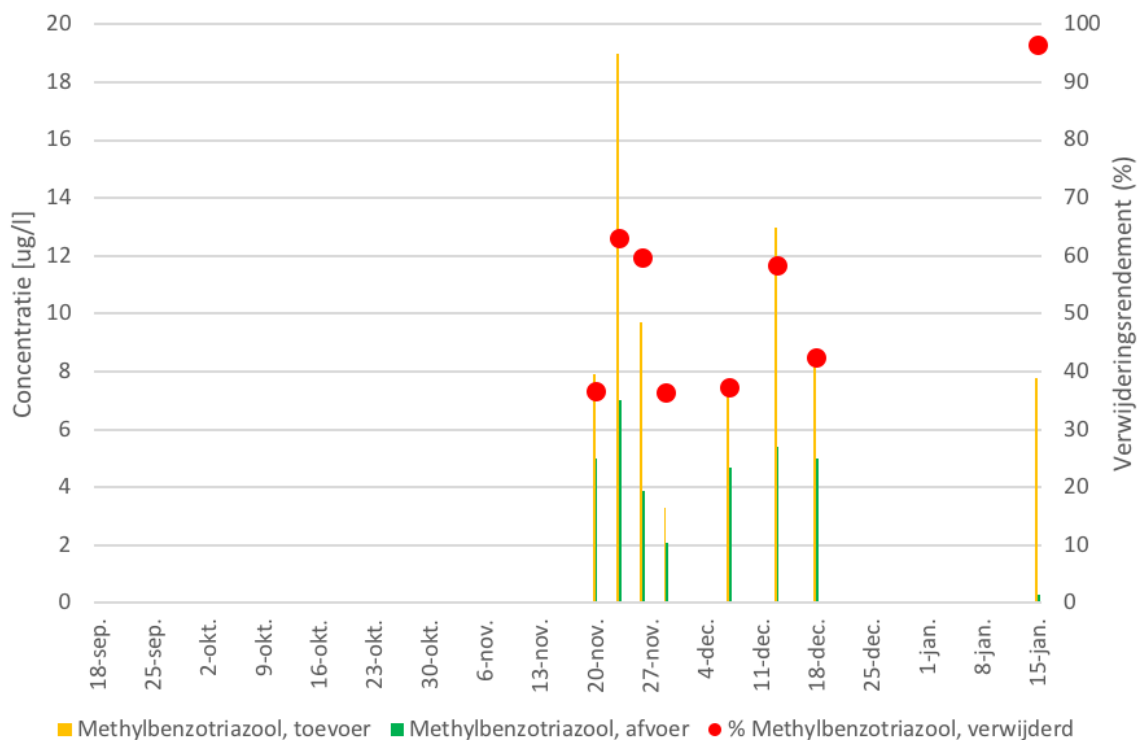
FIGUUR B22.46 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



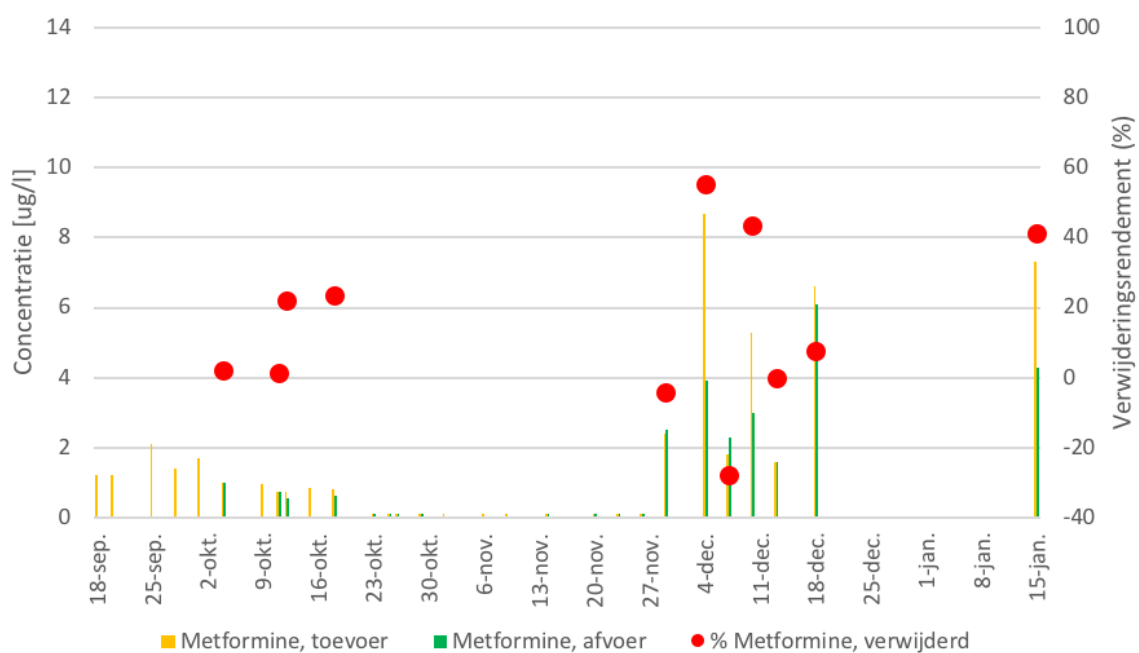
FIGUUR B22.47 DE CONCENTRATIE VAN LIDOCAÏNE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



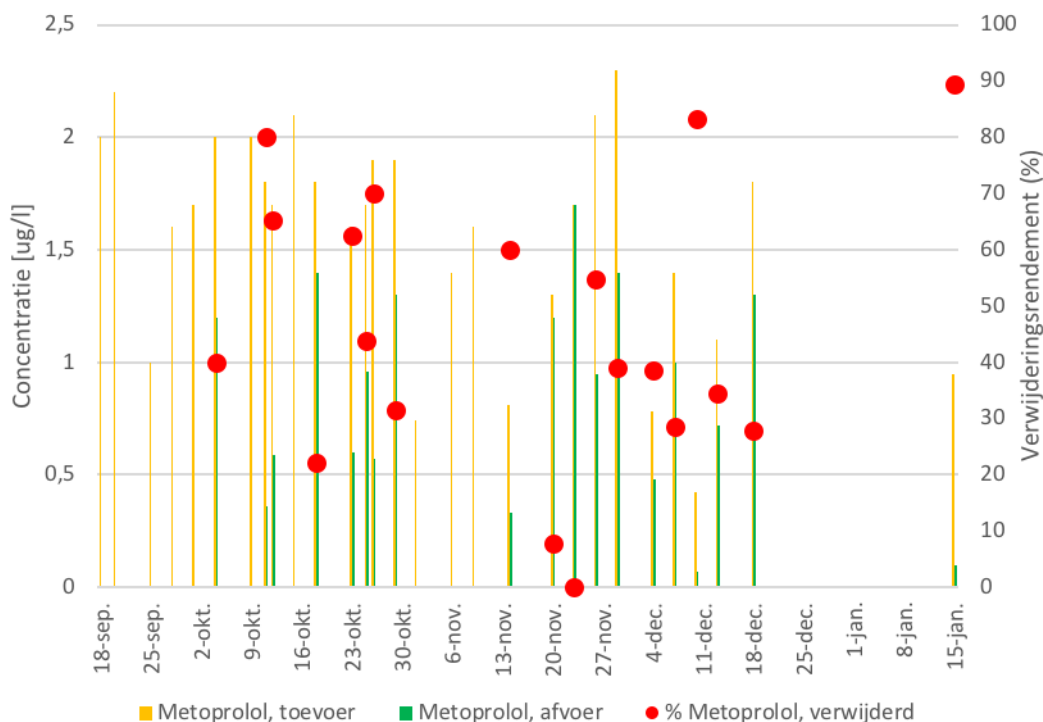
FIGUUR B22.48 DE CONCENTRATIE VAN METHYLBENZOTRIAZOOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



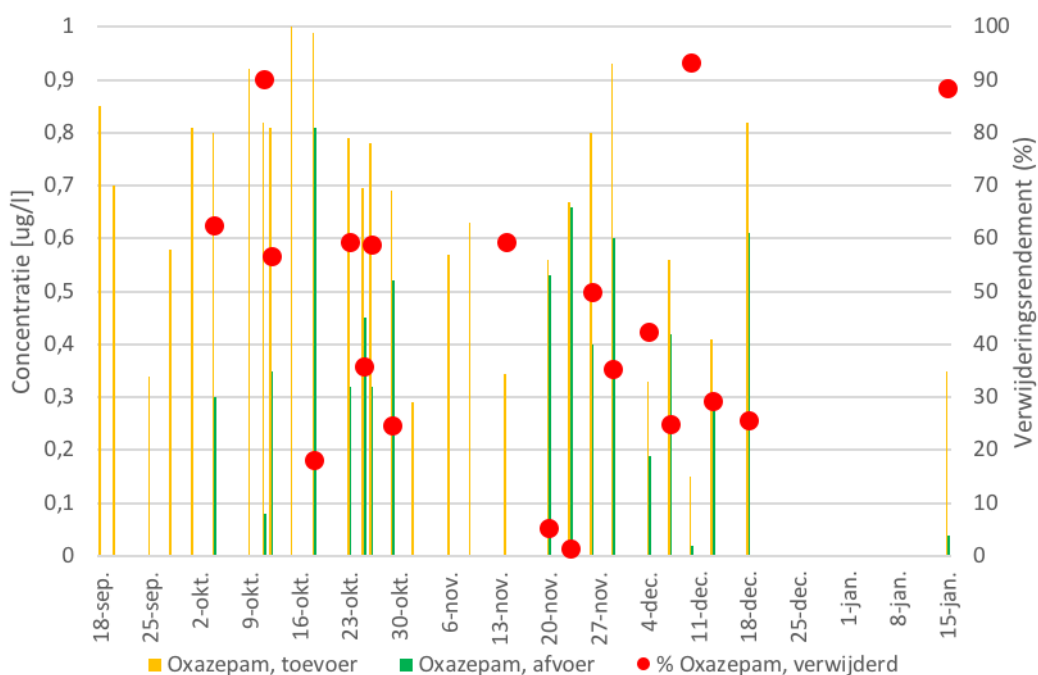
FIGUUR B22.49 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



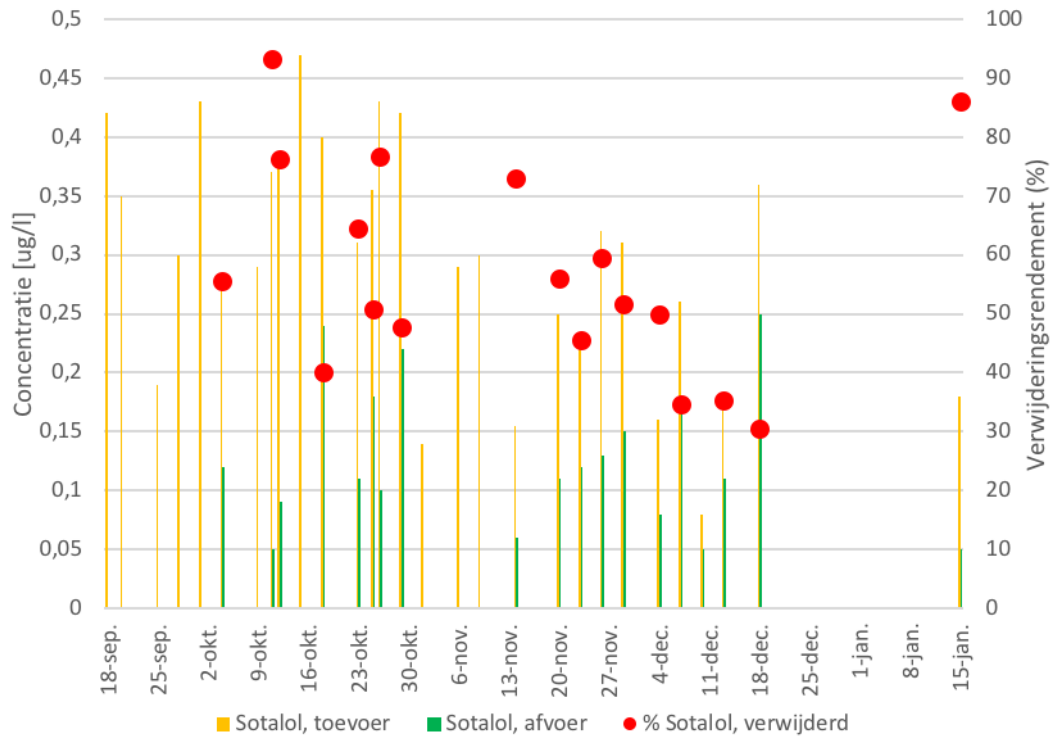
FIGUUR B22.50 DE CONCENTRATIE VAN METOPROLOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



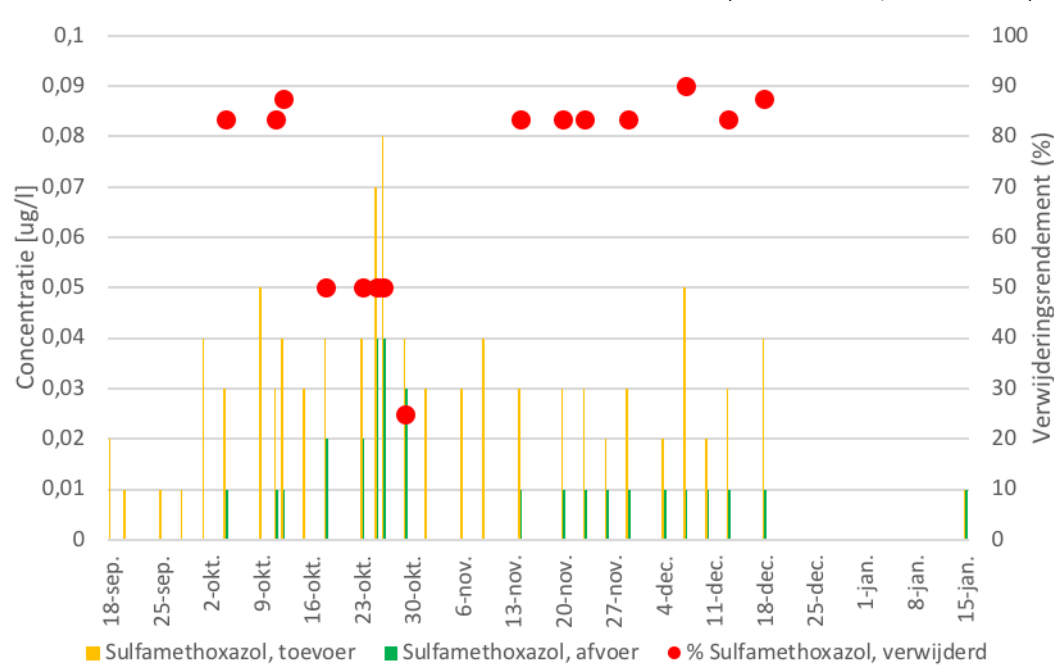
FIGUUR B22.51 DE CONCENTRATIE VAN OXAZEPAM IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



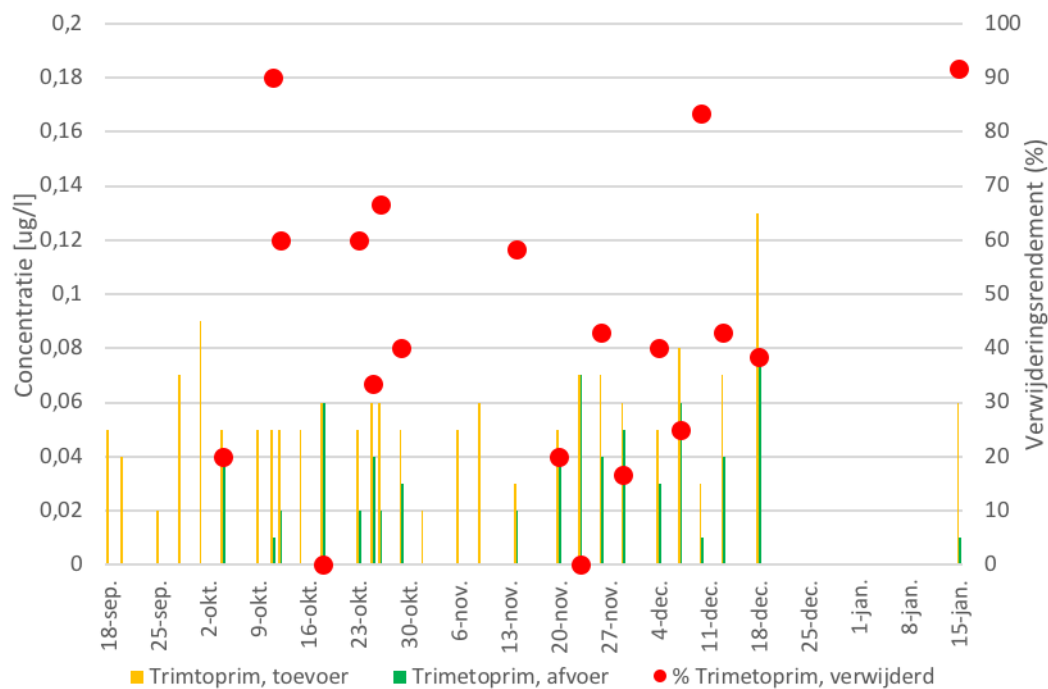
FIGUUR B22.52 DE CONCENTRATIE VAN SOTALOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



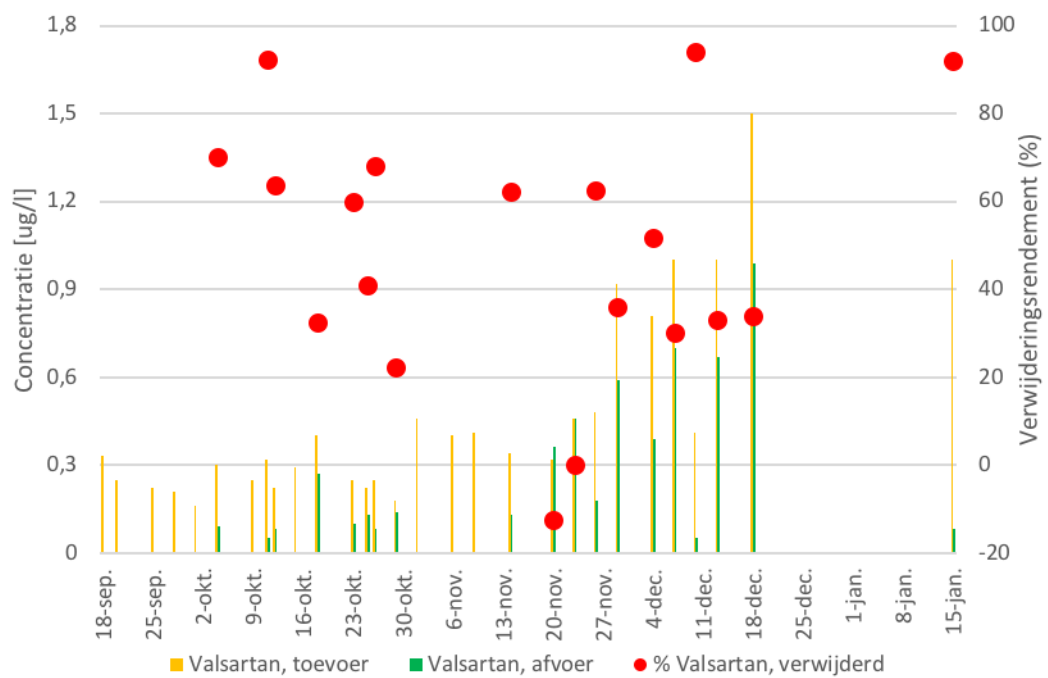
FIGUUR B22.53 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)



FIGUUR B22.54 DE CONCENTRATIE VAN TRIMETHOPRIM IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

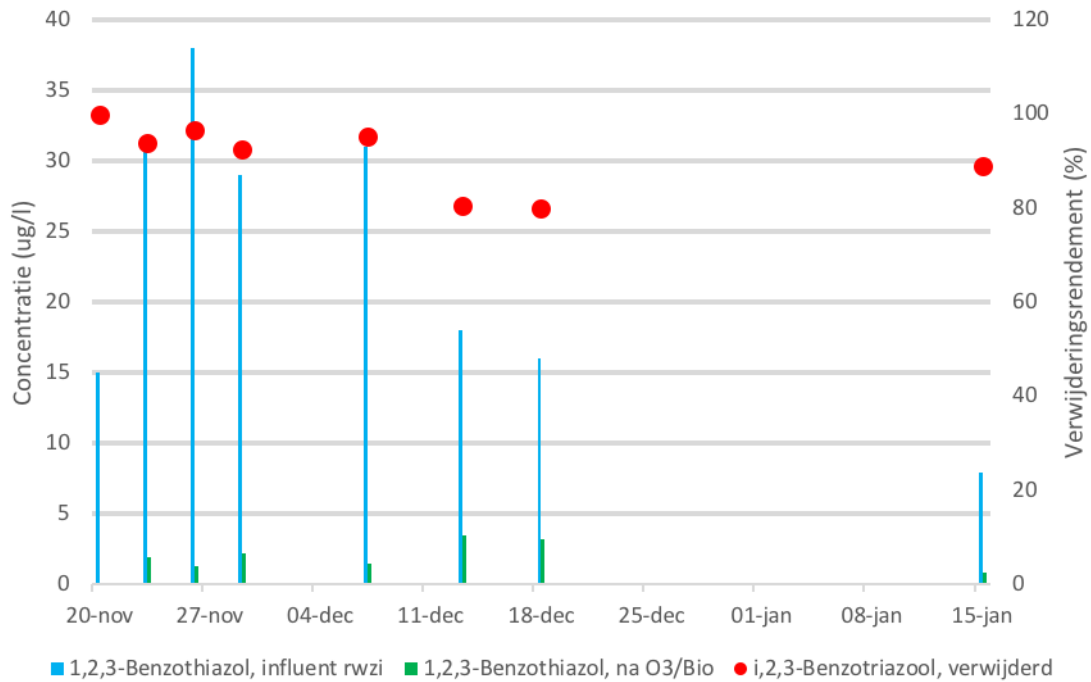


FIGUUR B22.55 DE CONCENTRATIE VAN VALSARTAN IN DE TOEVOER EN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE INREGELPERIODE EN VERGELIJKENDE TEST (18 SEPTEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019)

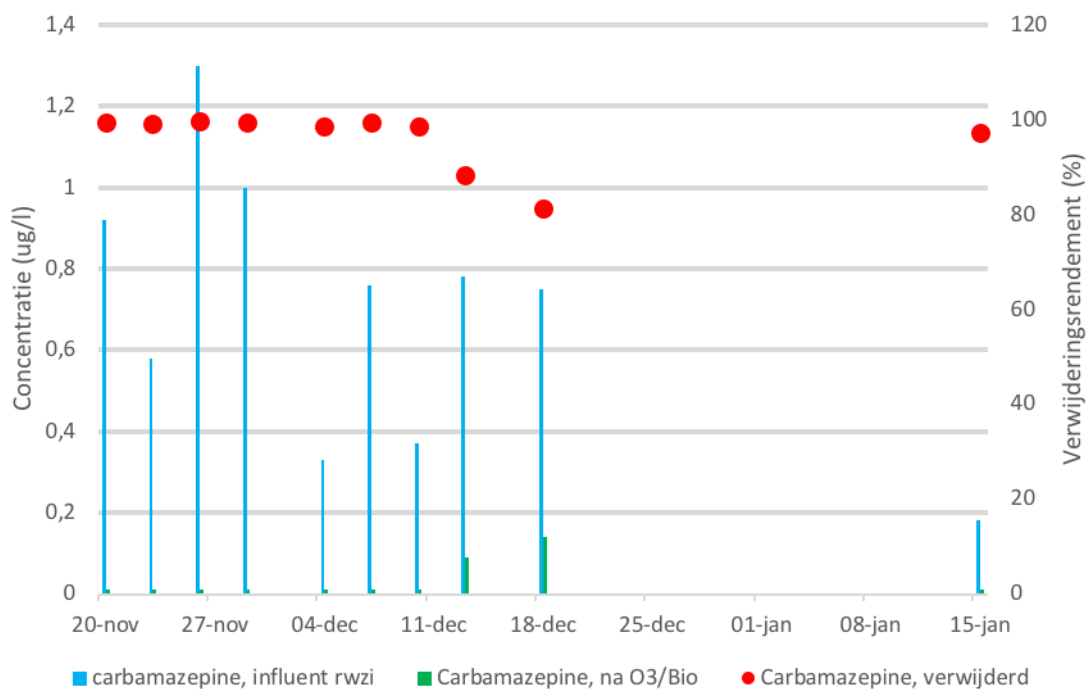


4. RWZI + O₃+BIO:

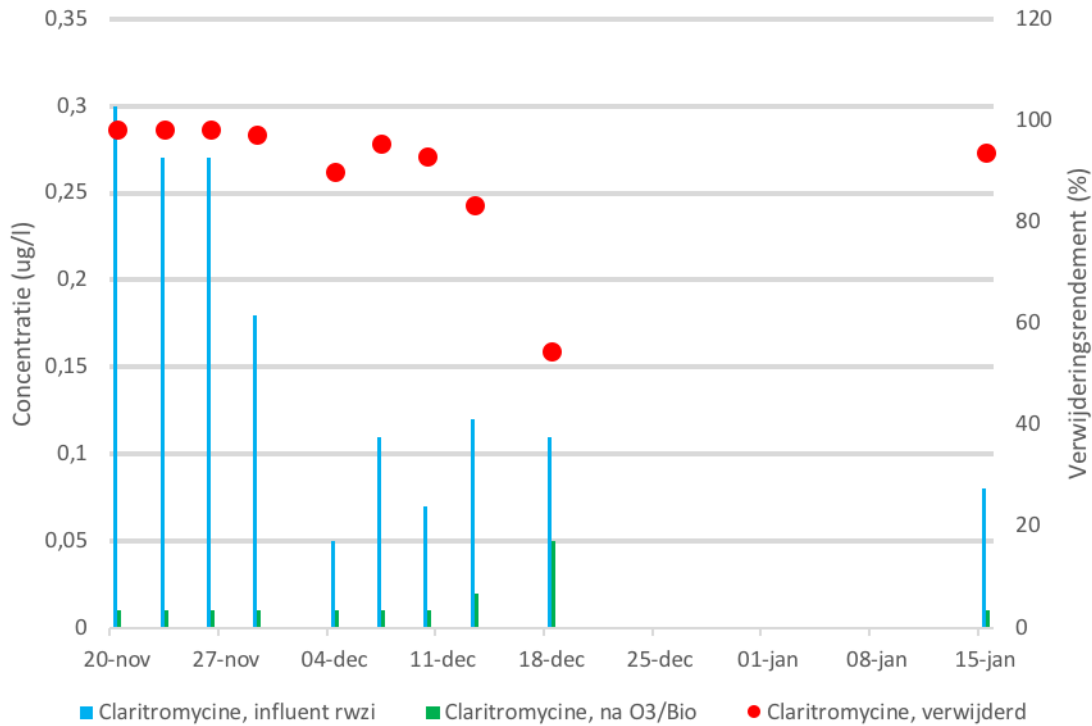
FIGUUR B22.56 DE CONCENTRATIE VAN 1,2,3-BENZOTRIAZOOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



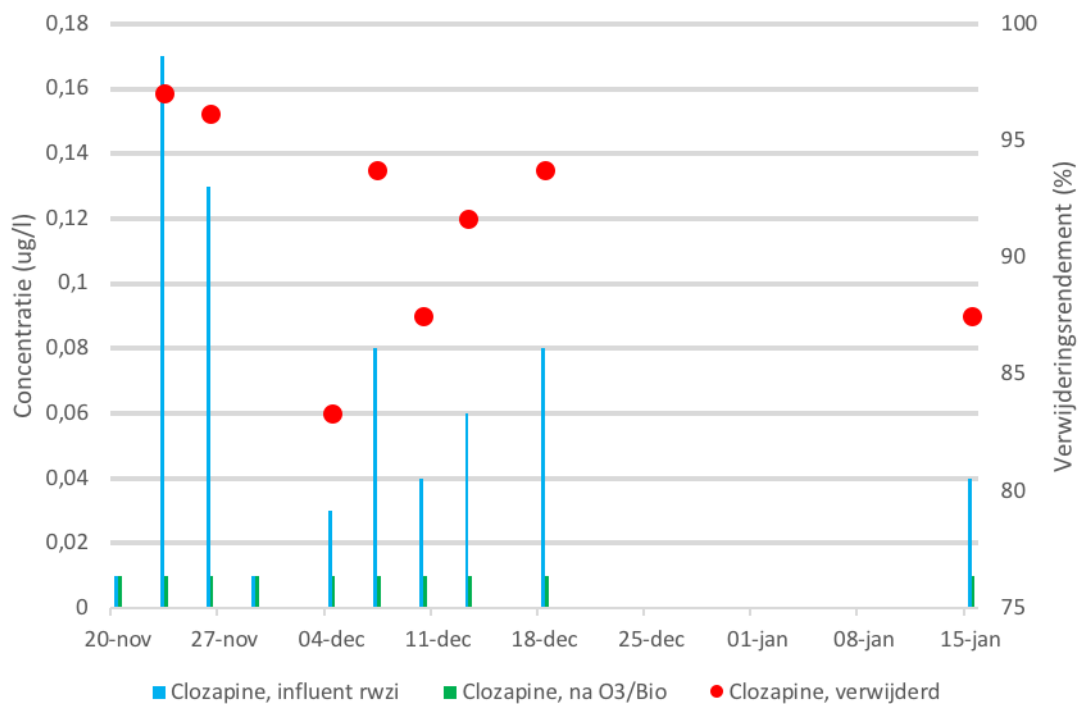
FIGUUR B22.57 DE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



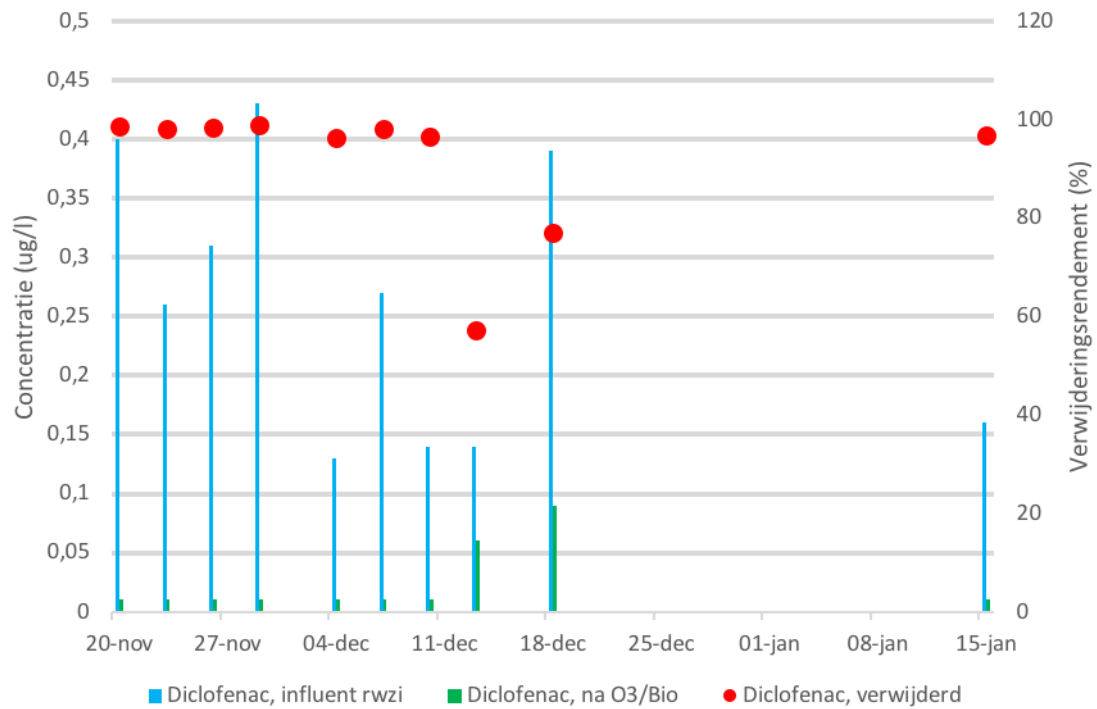
FIGUUR B22.58 DE CONCENTRATIE VAN CLARITROMYCINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



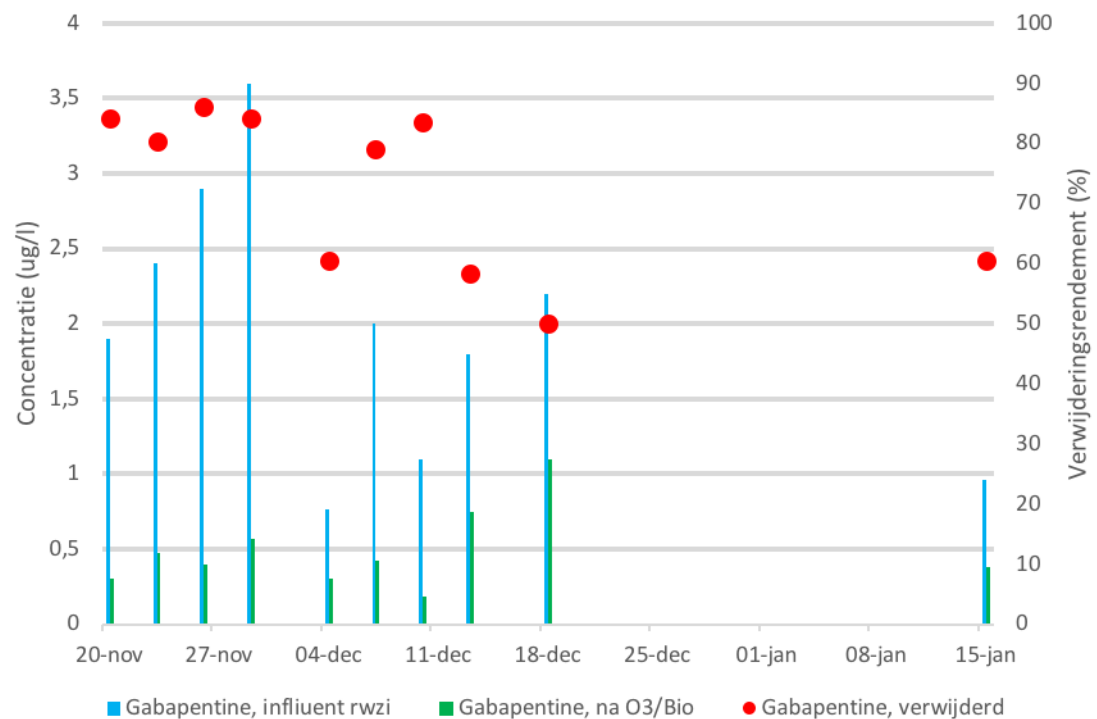
FIGUUR B22.59 DE CONCENTRATIE VAN CLOZAPINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



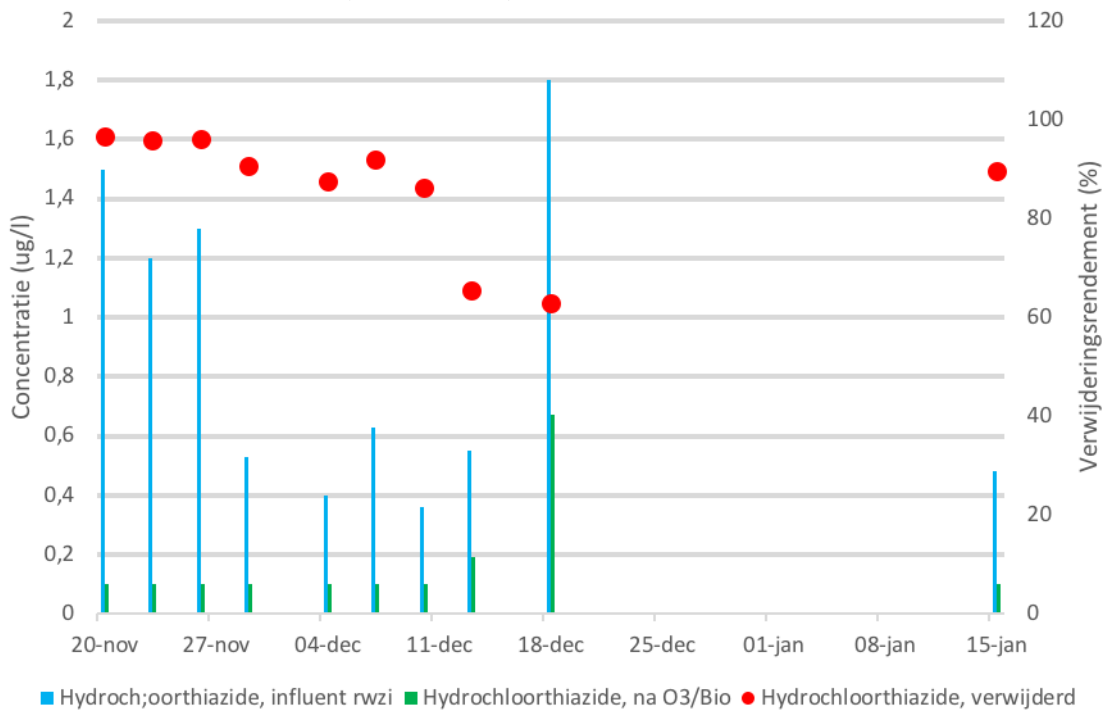
FIGUUR B22.60 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



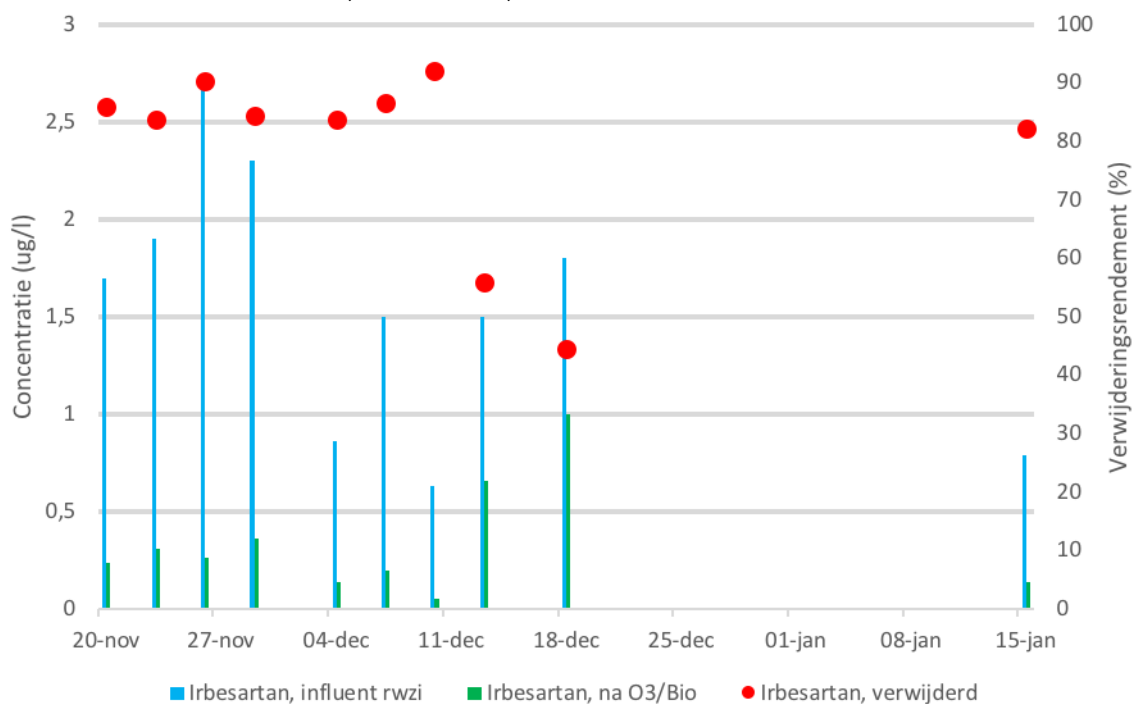
FIGUUR B22.61 DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



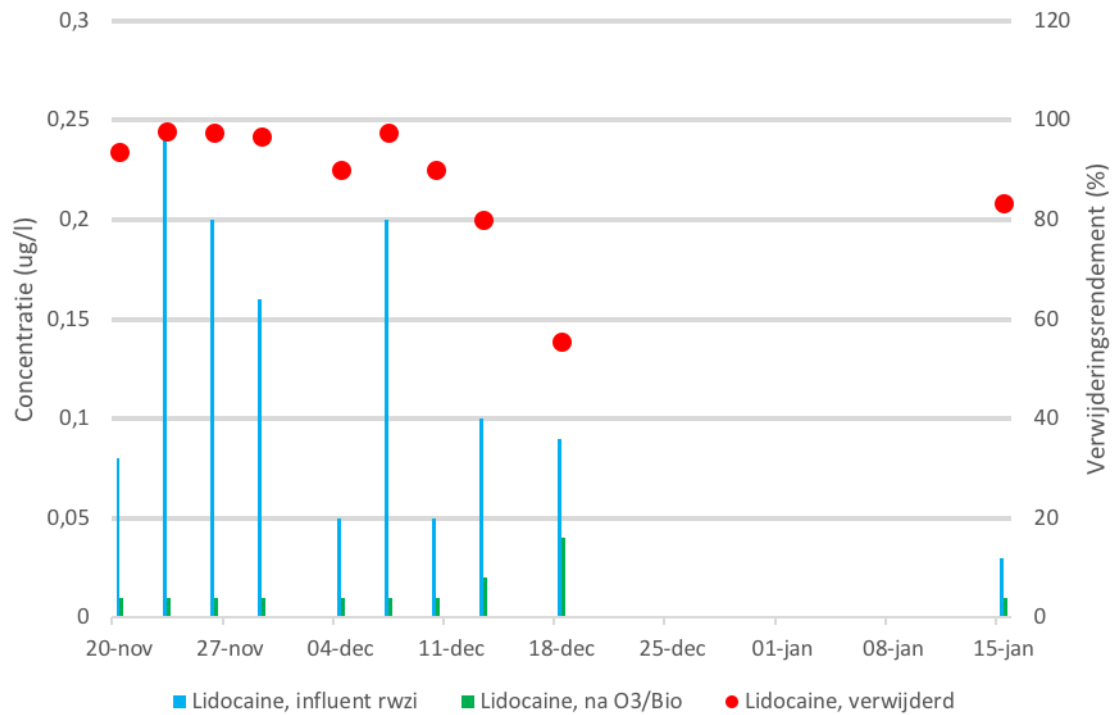
FIGUUR B22.62 DE CONCENTRATIE VAN HYDROCHLOORTHIAZIDE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



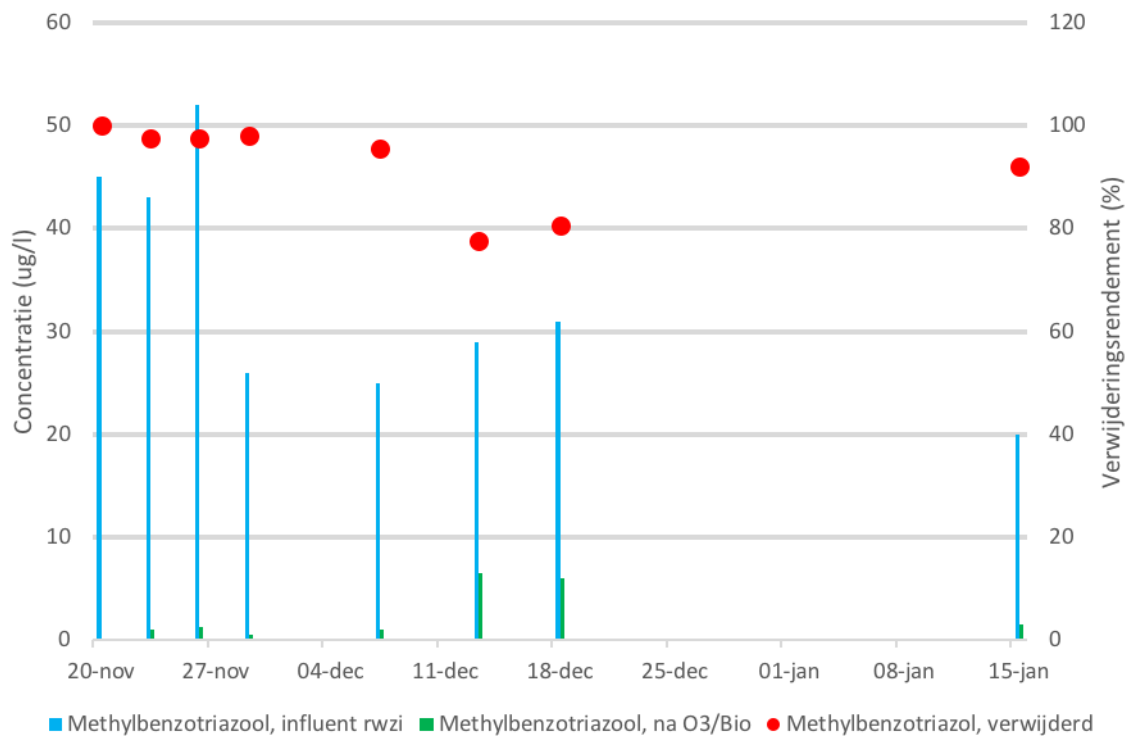
FIGUUR B22.63 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



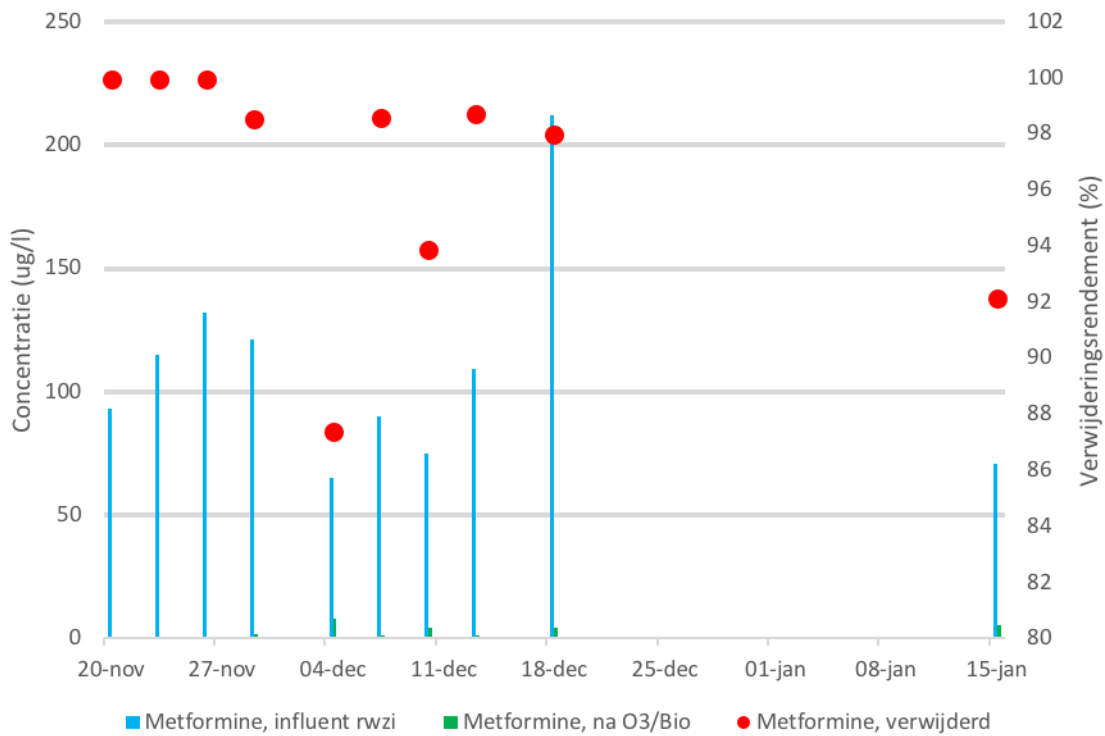
FIGUUR B22.64 DE CONCENTRATIE VAN LIDOCAÏNE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



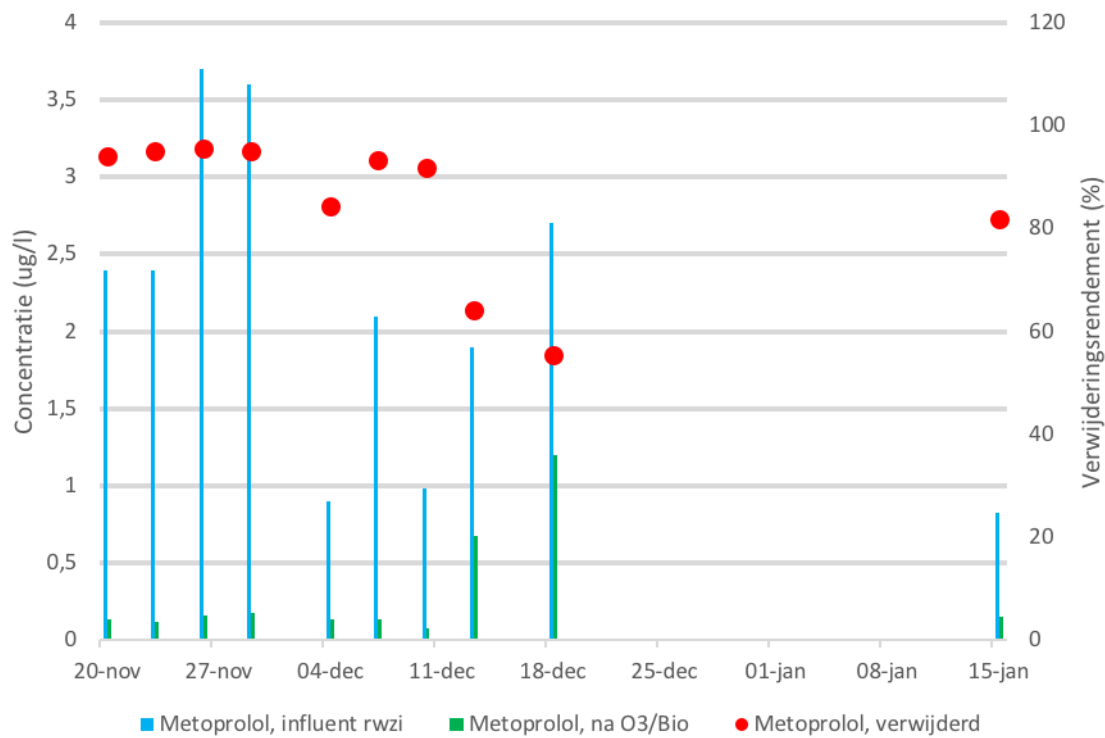
FIGUUR B22.65 DE CONCENTRATIE VAN METHYLBENZOTRIAZOOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



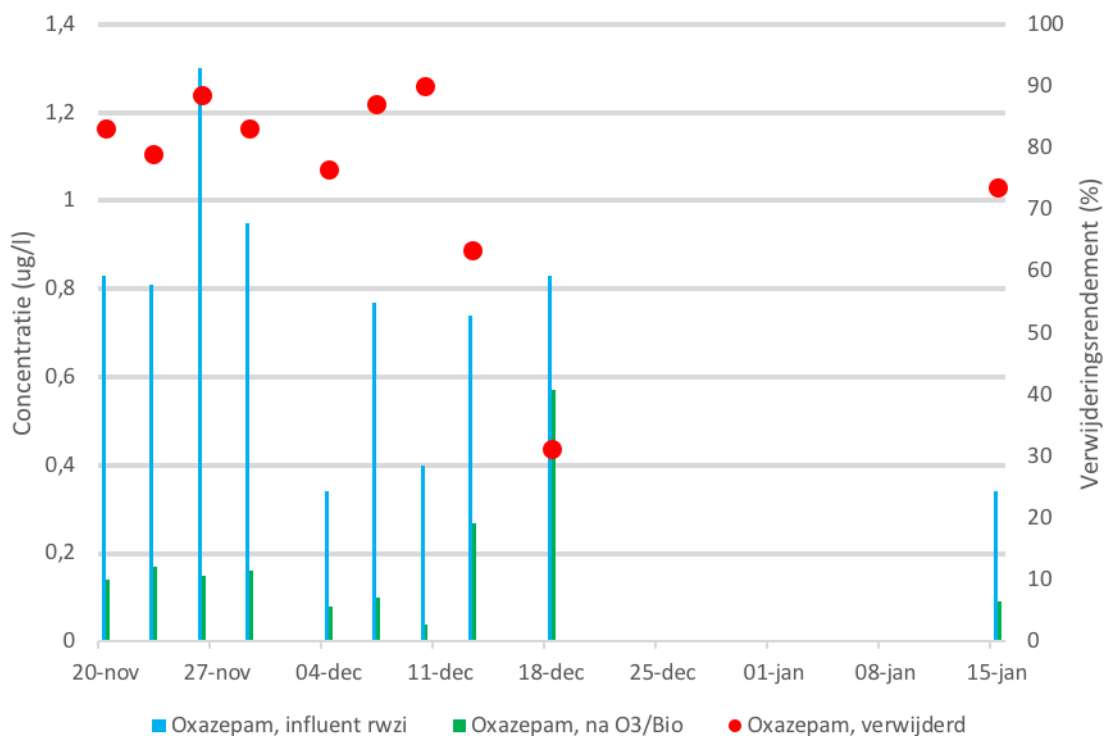
FIGUUR B22.66 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



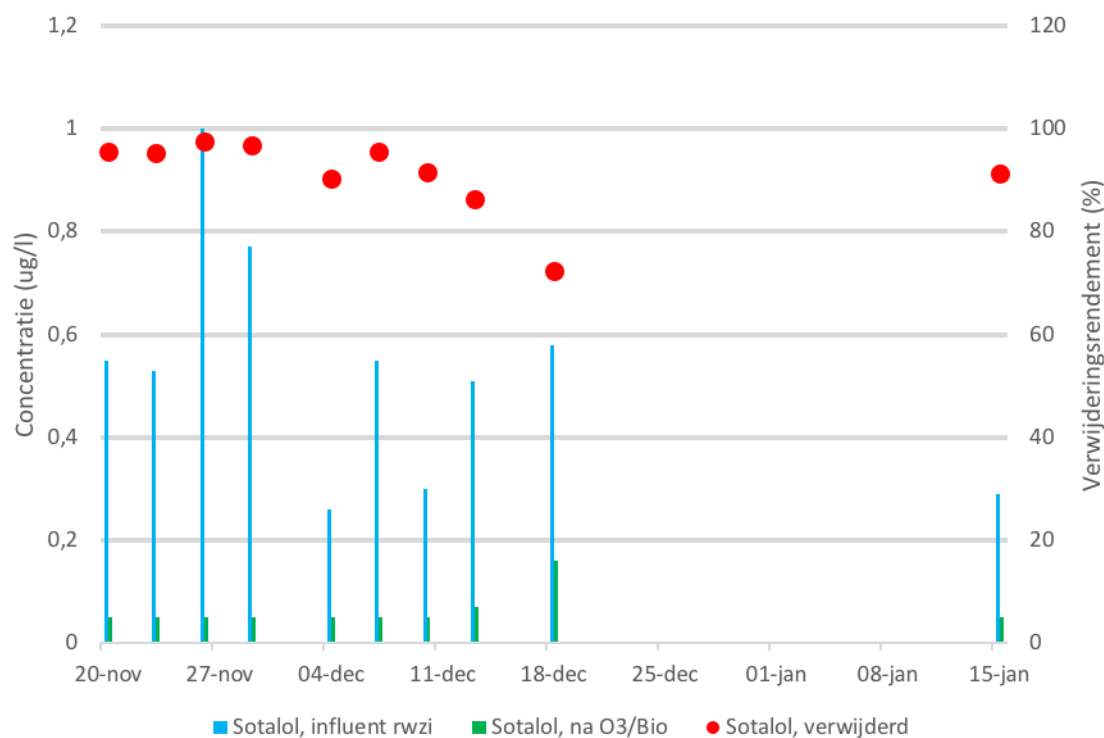
FIGUUR B22.67 DE CONCENTRATIE VAN METOPROLOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



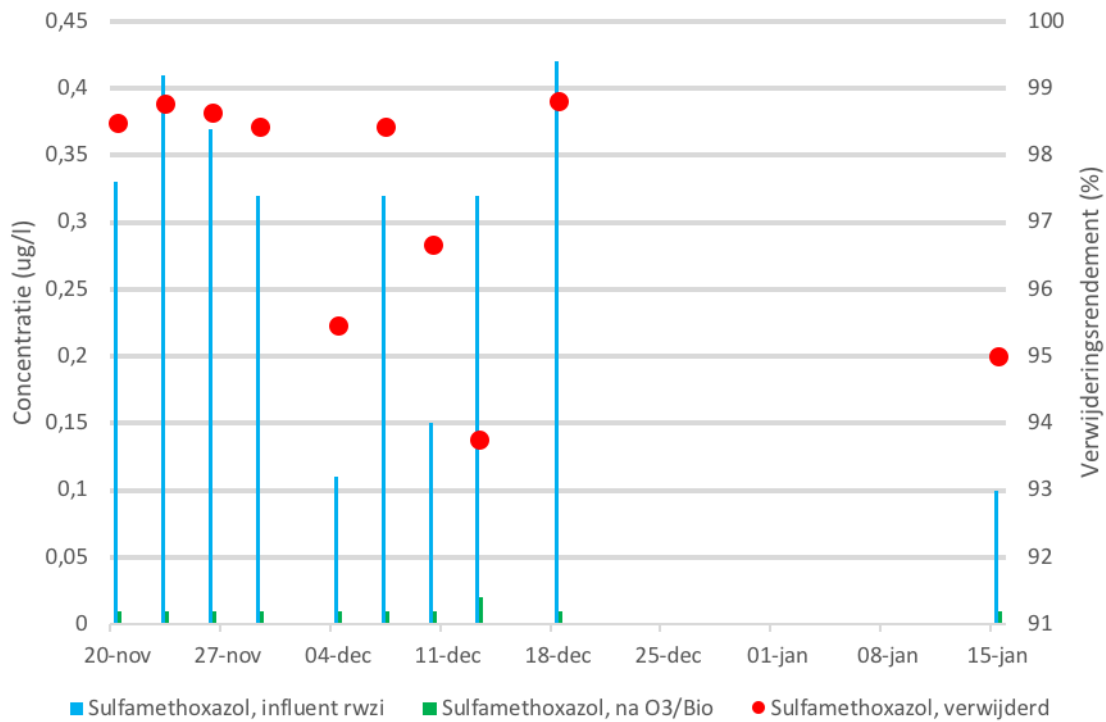
FIGUUR B22.68 DE CONCENTRATIE VAN OXAZEPAM IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



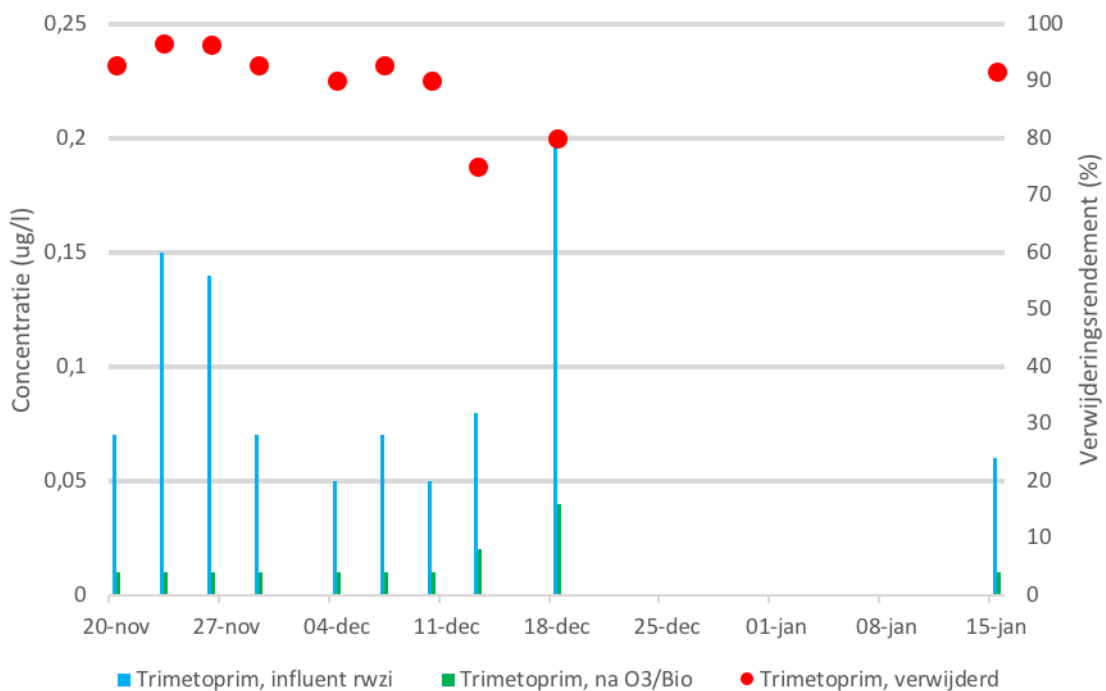
FIGUUR B22.69 DE CONCENTRATIE VAN SOTALOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



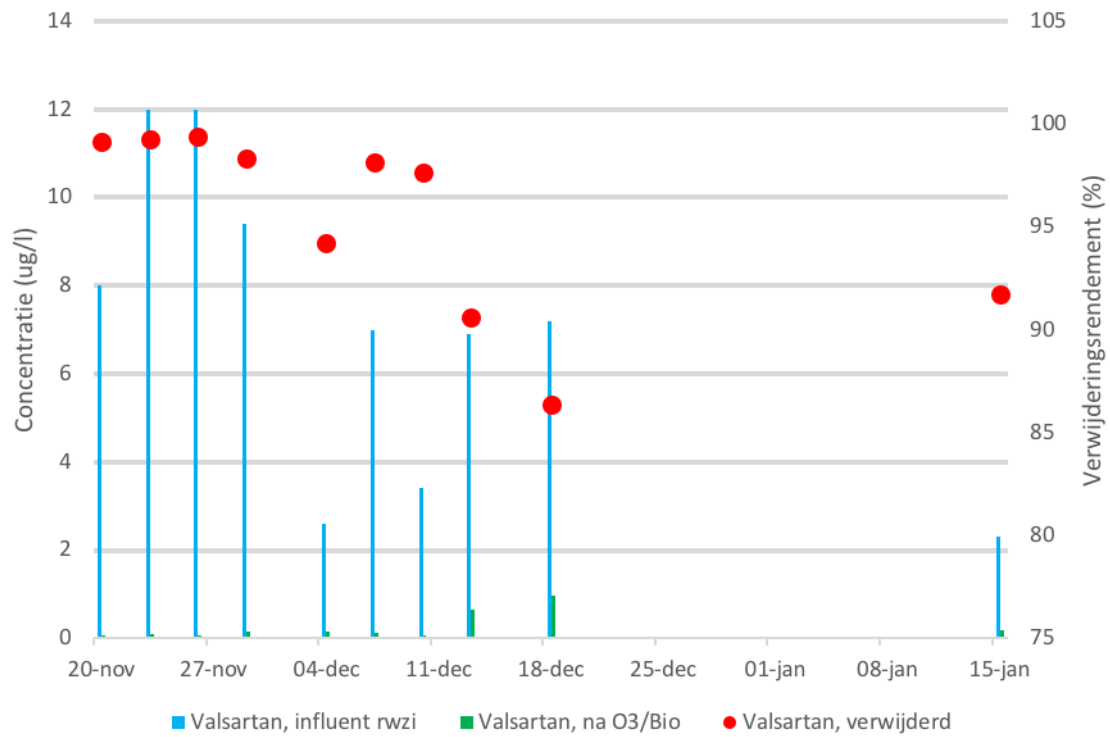
FIGUUR B22.70 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN



FIGUUR B22.71 DE CONCENTRATIE VAN TRIMETHOPRIM IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)

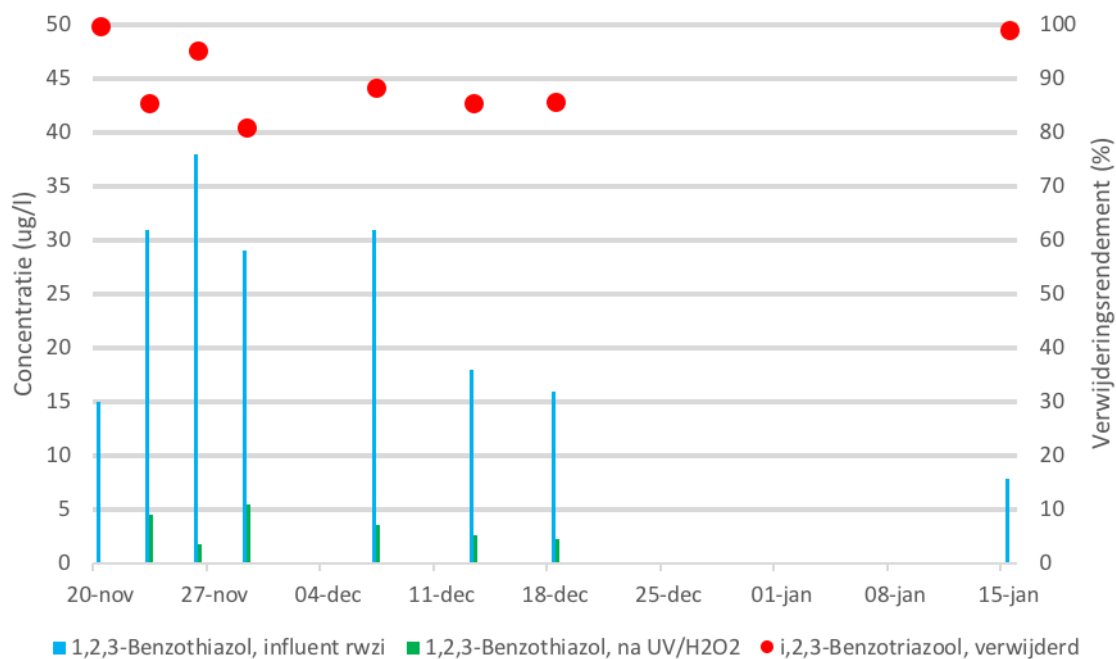


FIGUUR B22.72 DE CONCENTRATIE VAN VALSARTAN IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE O₃ + BIO PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)

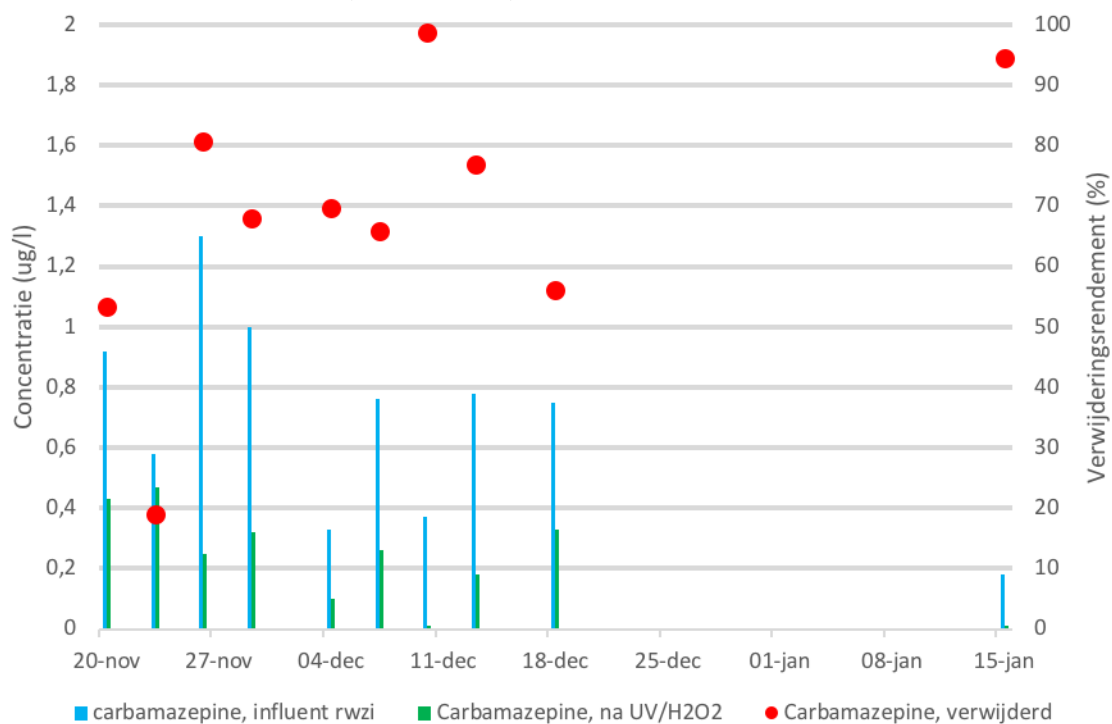


5. RWZI + UV+H₂O₂:

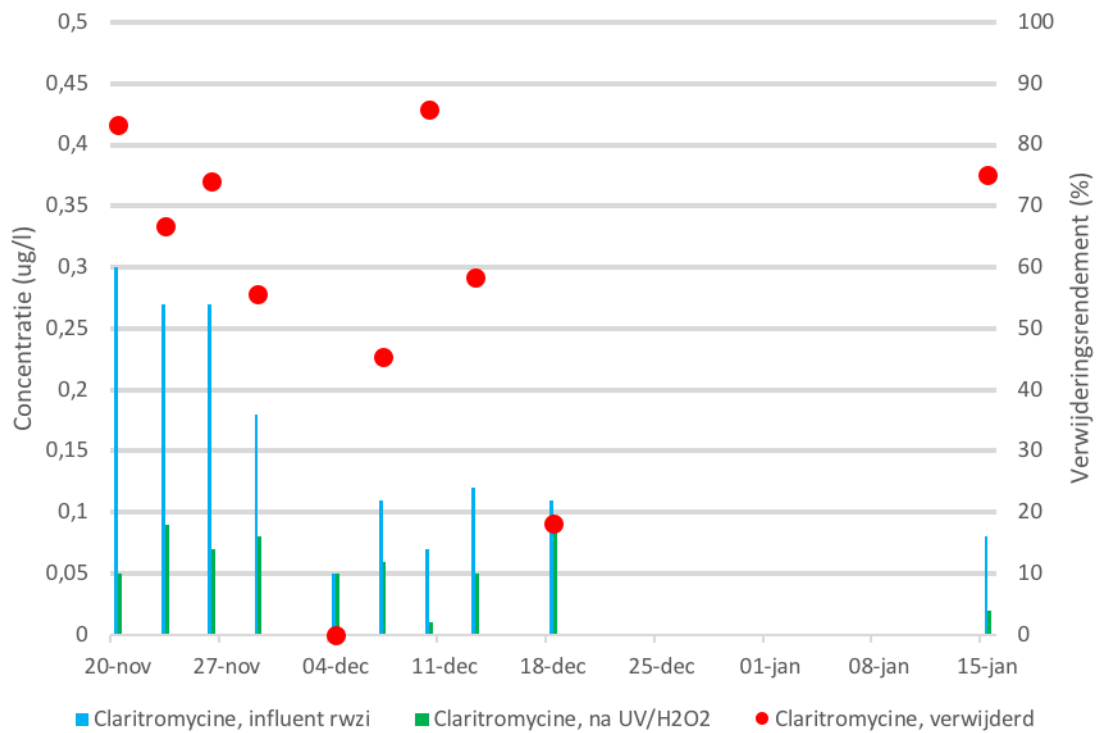
FIGUUR B22.73 DE CONCENTRATIE VAN 1,2,3-BENZOTRIAZOOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



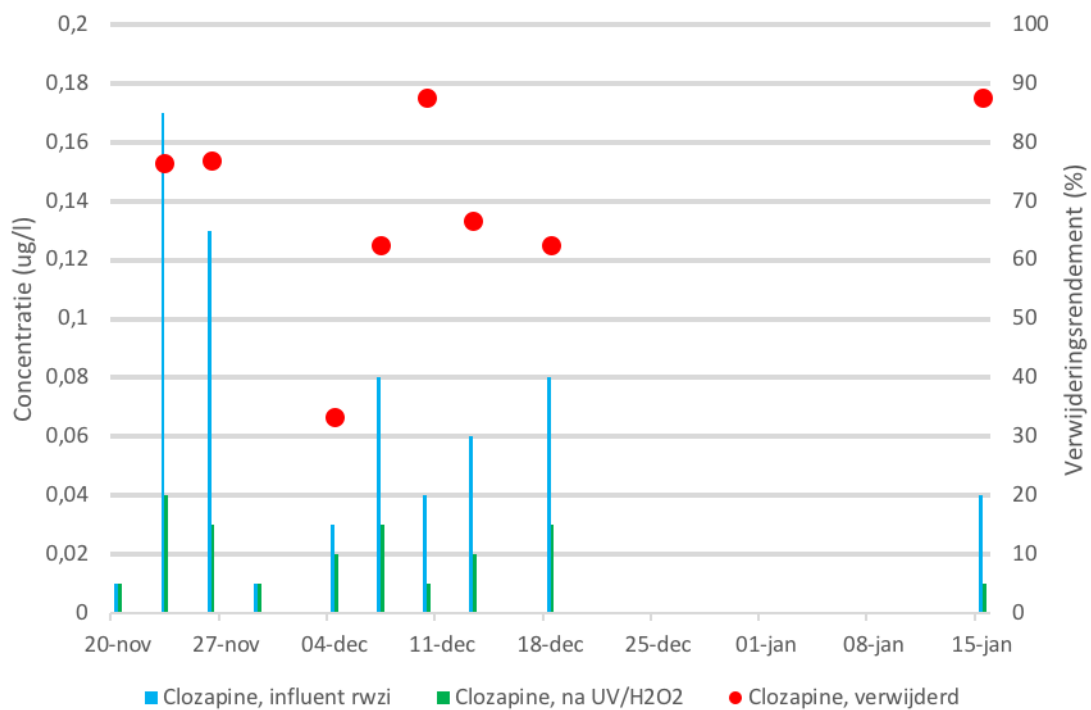
FIGUUR B22.74 DE CONCENTRATIE VAN CARBAMAZEPINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



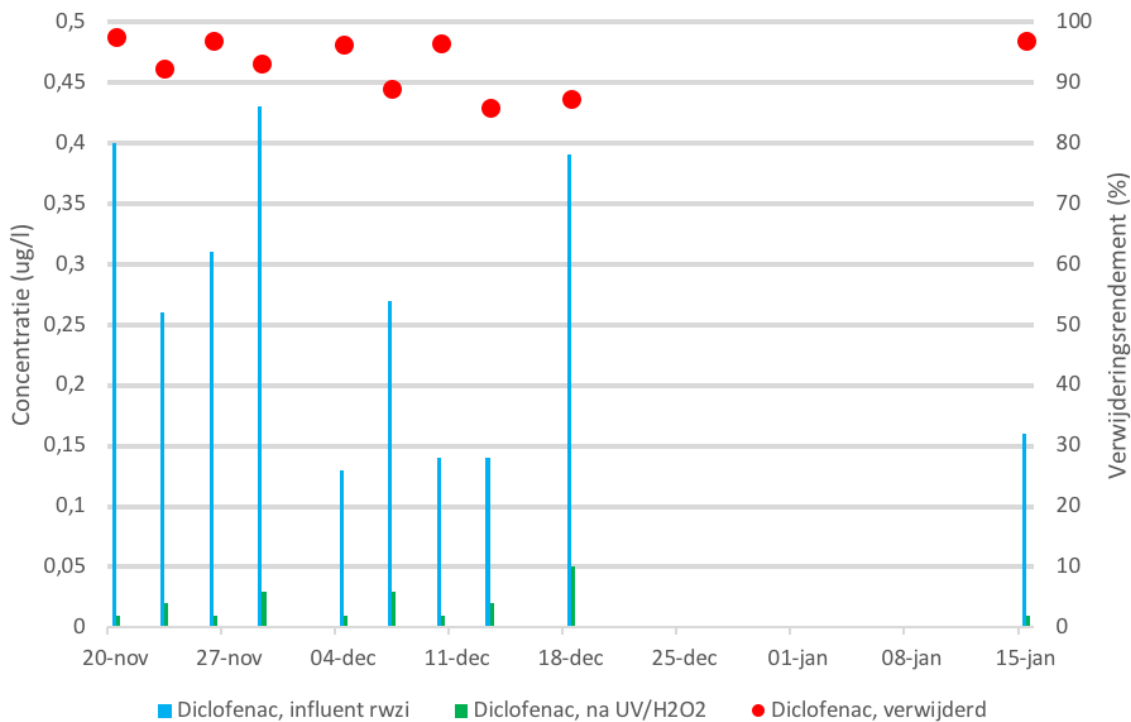
FIGUUR B22.75 DE CONCENTRATIE VAN CLARITROMYCINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



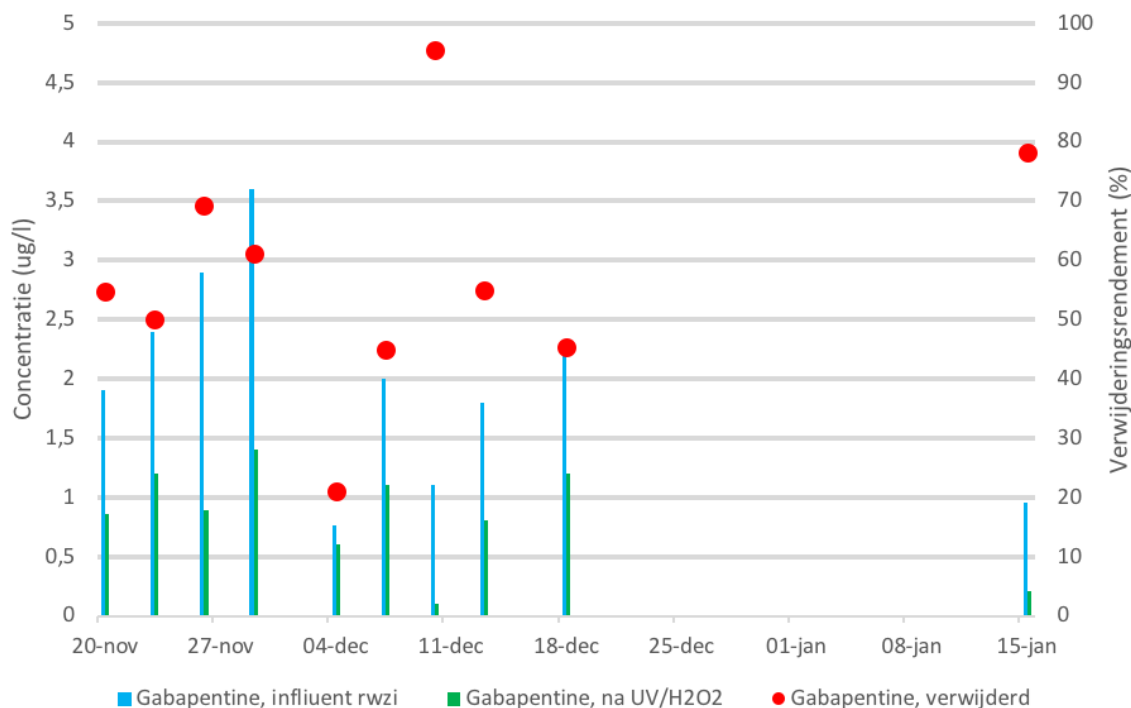
FIGUUR B22.76 DE CONCENTRATIE VAN CLOZAPINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



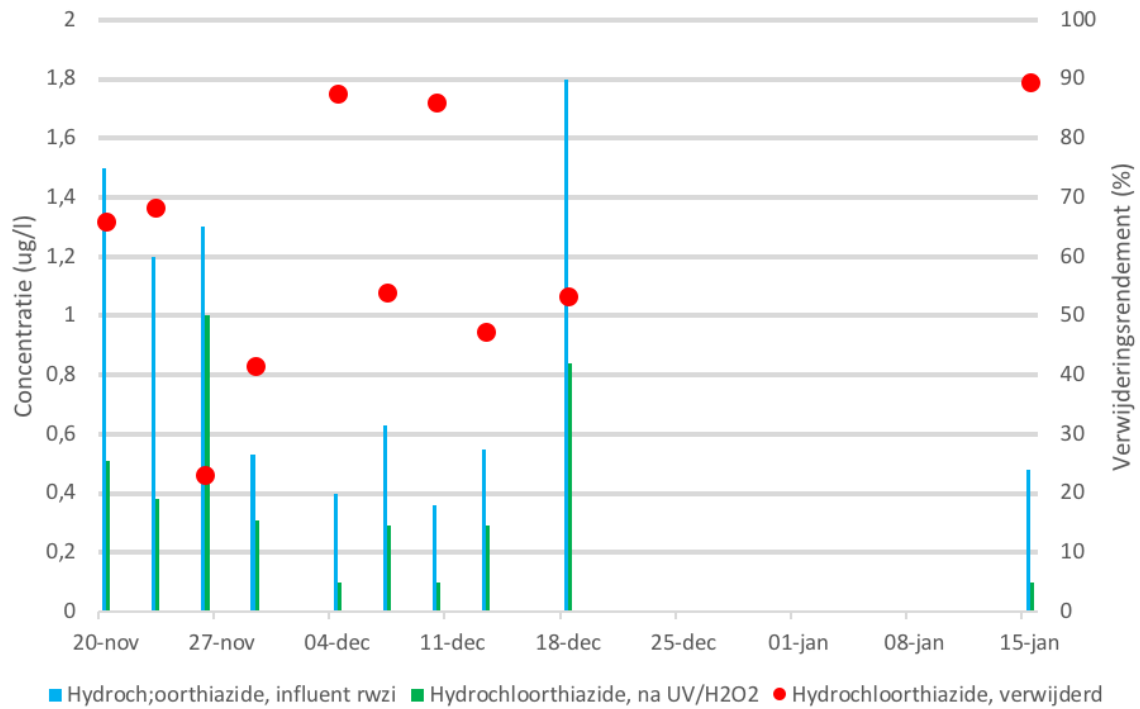
FIGUUR B22.77 DE CONCENTRATIE VAN DICLOFENAC IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



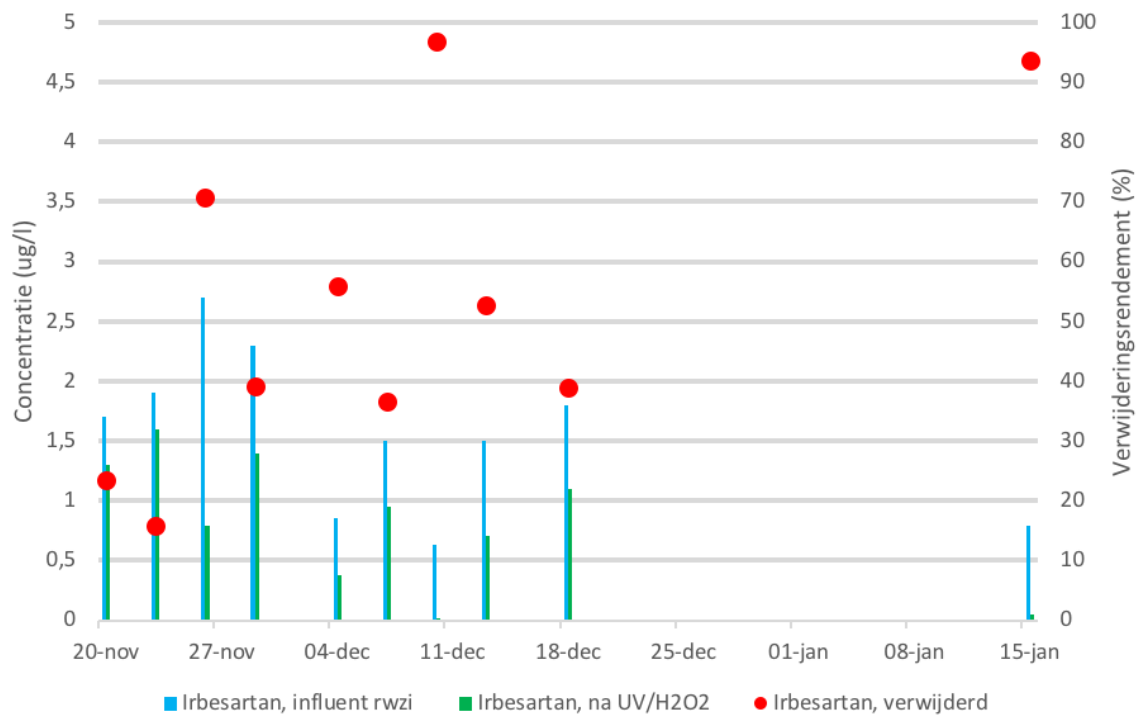
FIGUUR B22.78 DE CONCENTRATIE VAN GABAPENTINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



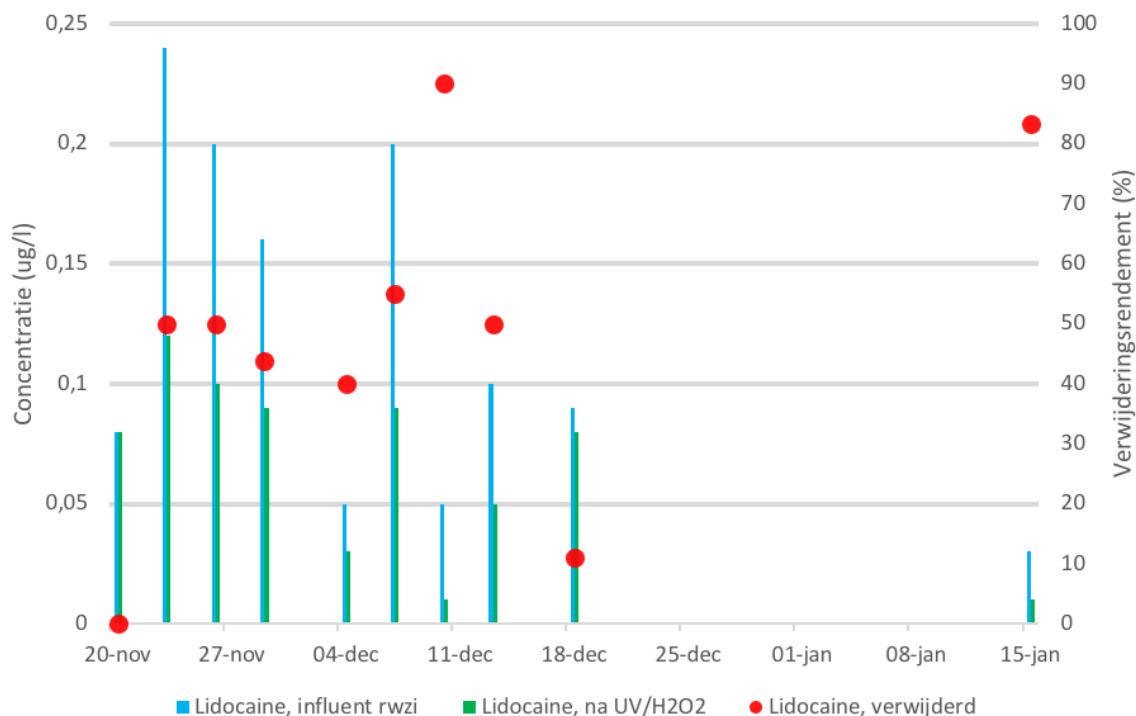
FIGUUR B22.79 DE CONCENTRATIE VAN HYDROCHLOORTHIAZIDE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



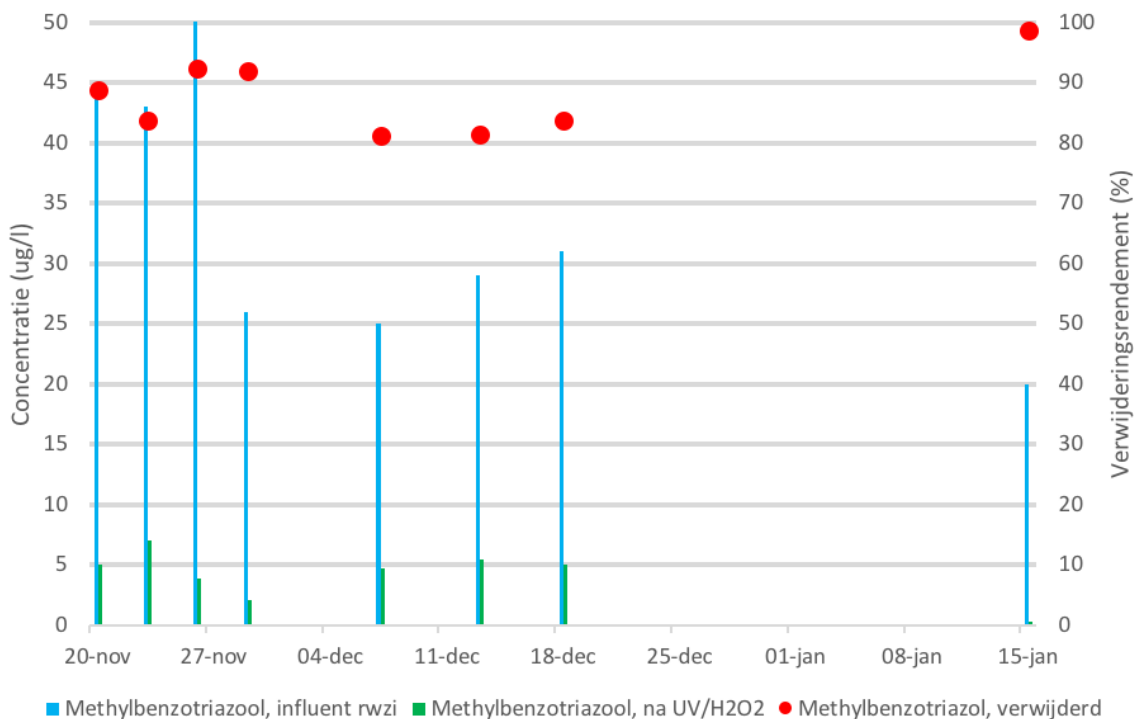
FIGUUR B22.80 DE CONCENTRATIE VAN IRBESARTAN IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



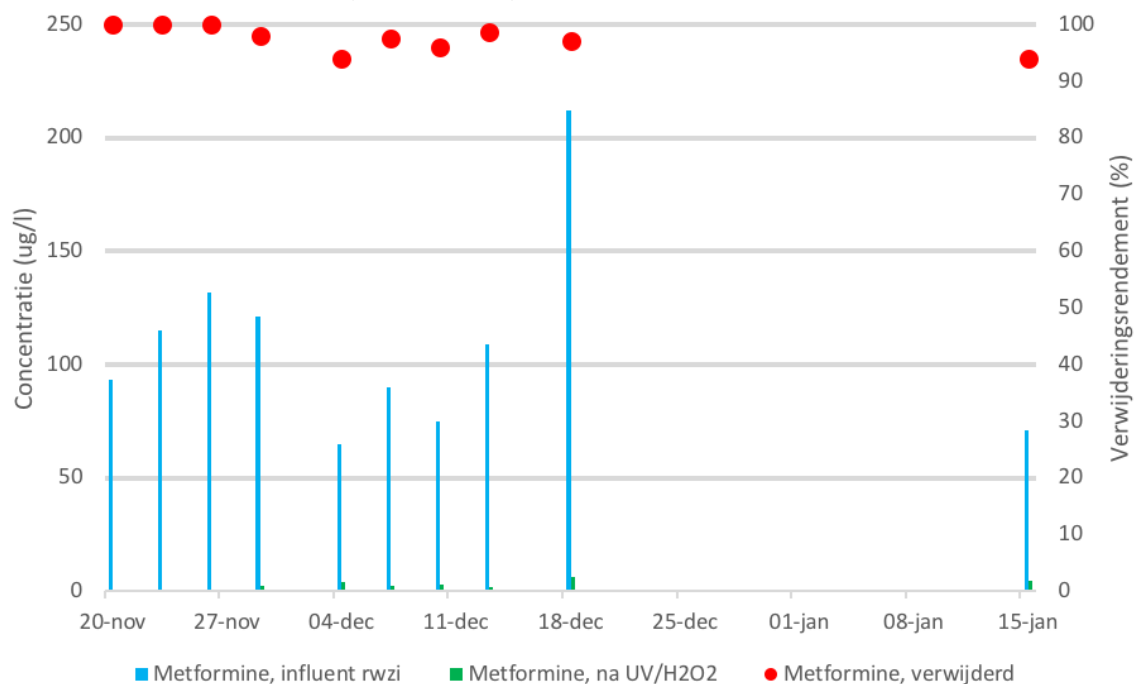
FIGUUR B22.81 DE CONCENTRATIE VAN LIDOCAÏNE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



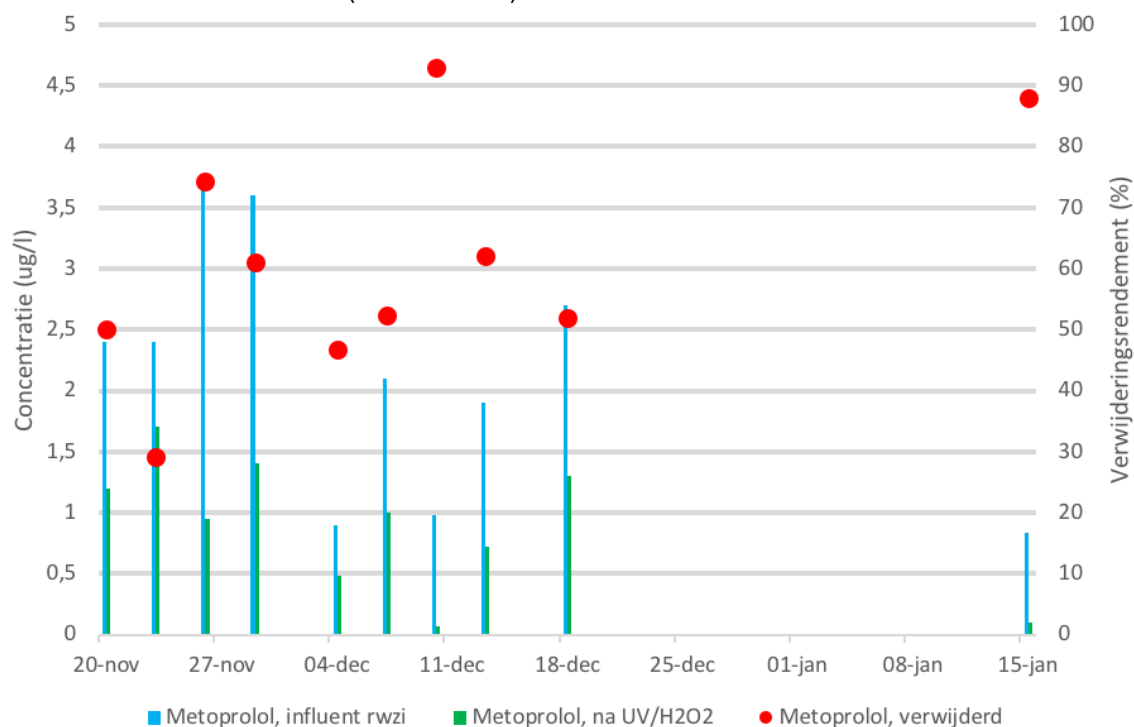
FIGUUR B22.82 DE CONCENTRATIE VAN METHYLBENZOTRIAZOOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



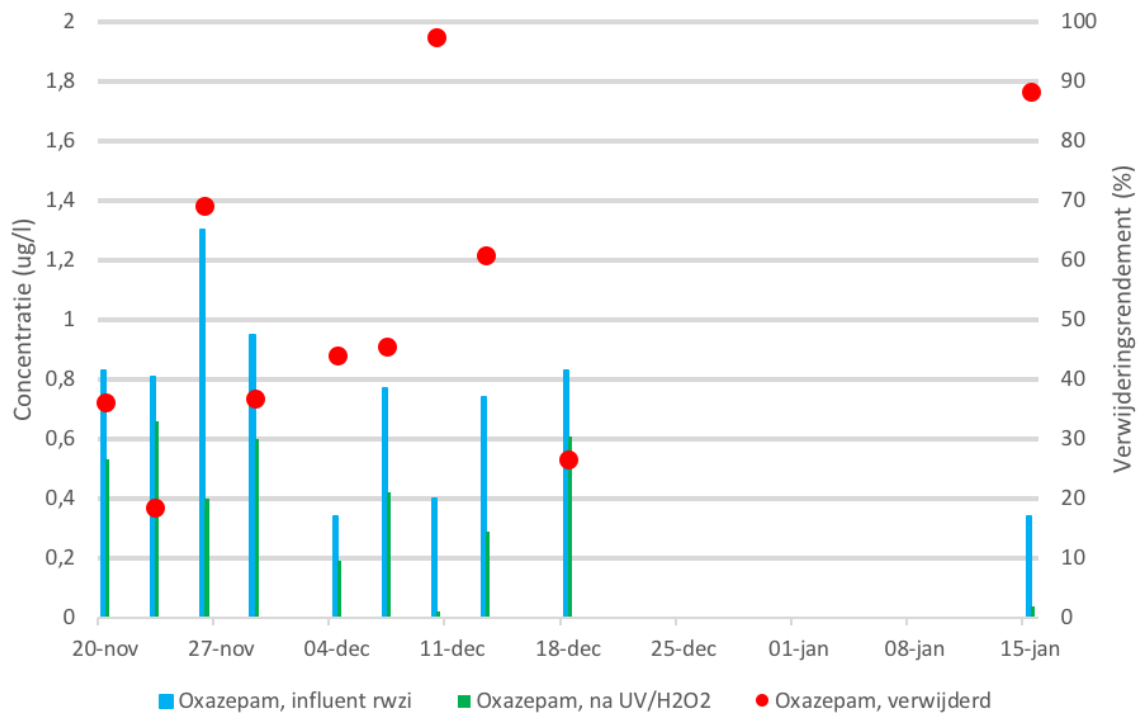
FIGUUR B22.83 DE CONCENTRATIE VAN METFORMINE IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



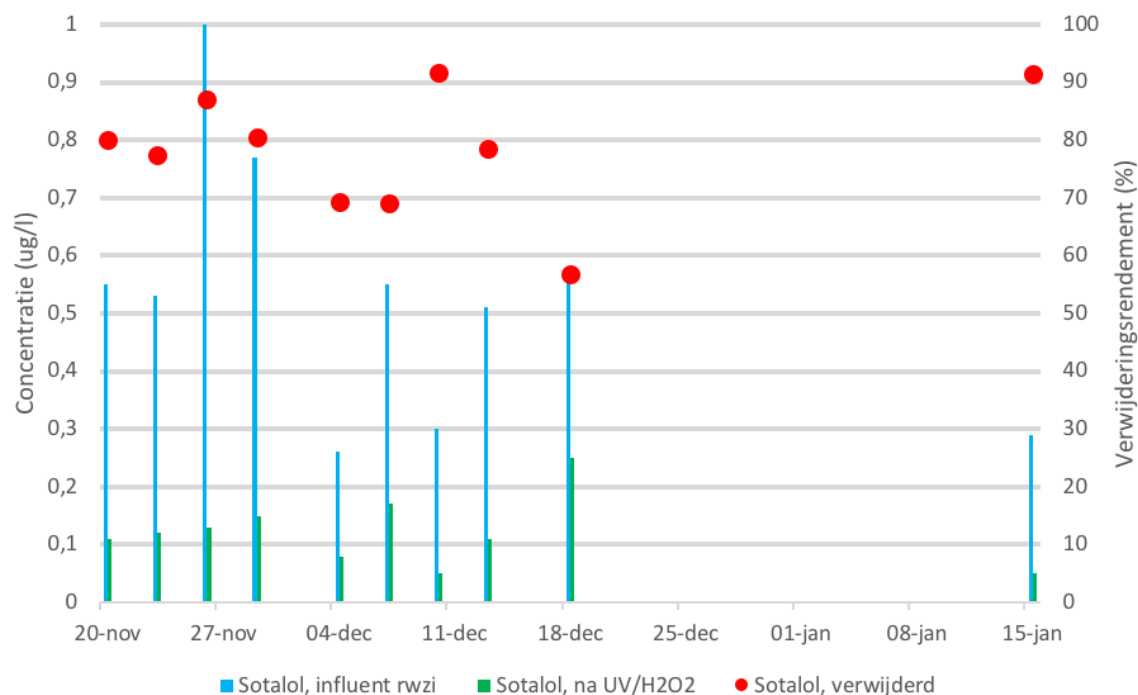
FIGUUR B22.84 DE CONCENTRATIE VAN METOPROLOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



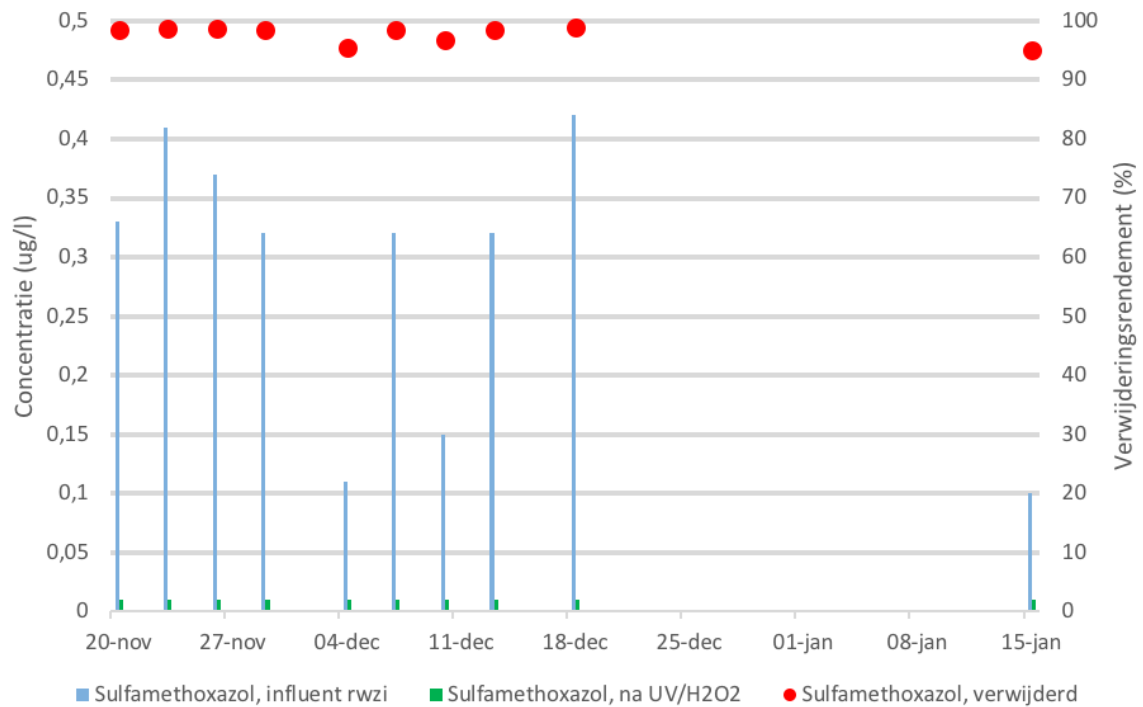
FIGUUR B22.85 DE CONCENTRATIE VAN OXAZEPAM IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



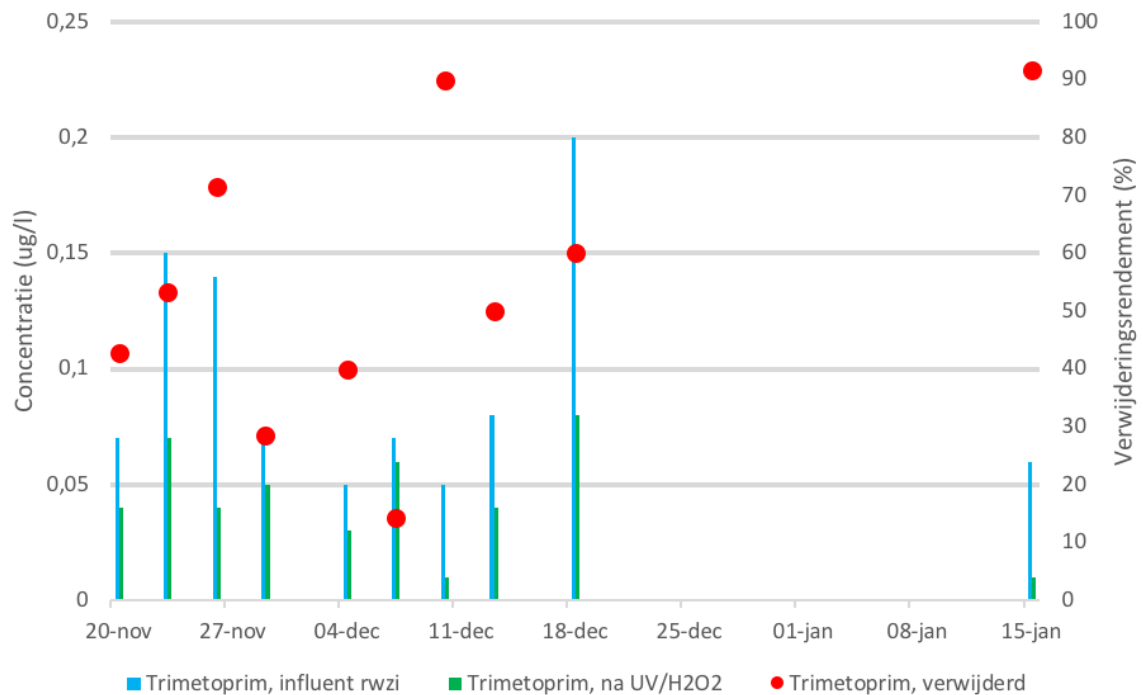
FIGUUR B22.86 DE CONCENTRATIE VAN SOTALOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



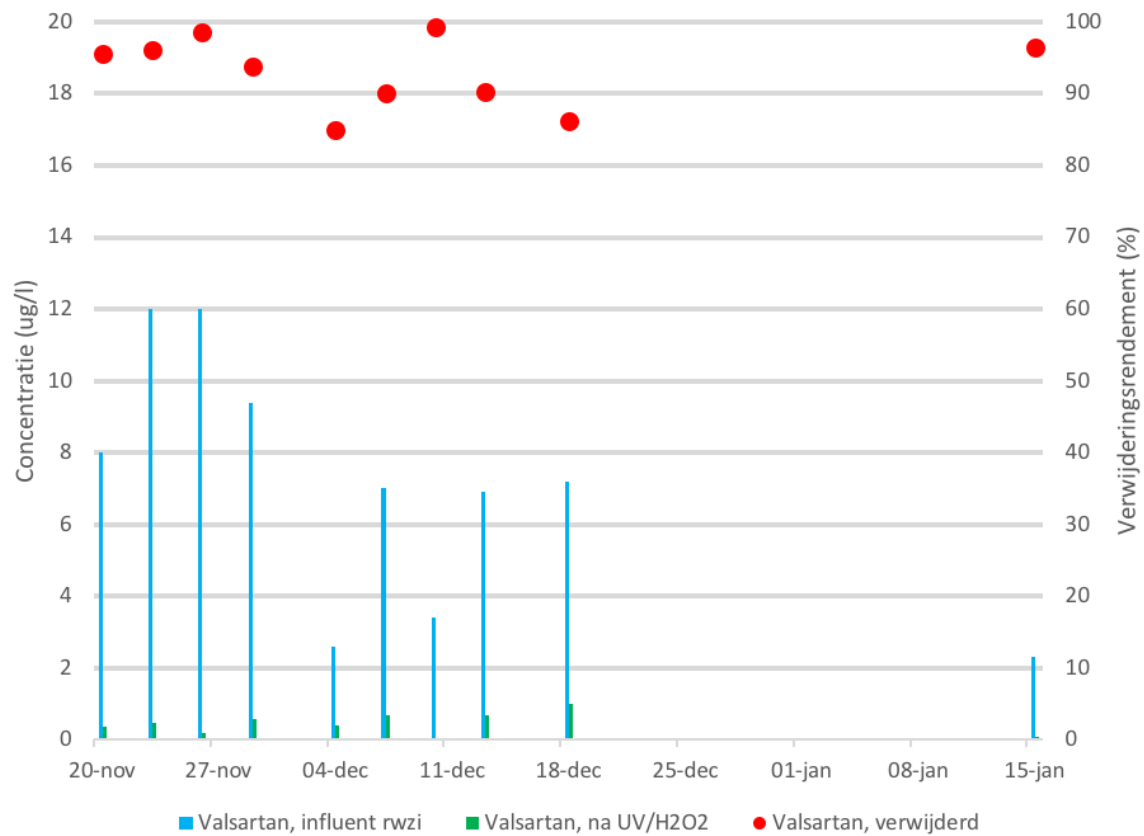
FIGUUR B22.87 DE CONCENTRATIE VAN SULFAMETHOXAZOL IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



FIGUUR B22.88 DE CONCENTRATIE VAN TRIMETHOPRIM IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)



FIGUUR B22.89 DE CONCENTRATIE VAN VALSARTAN IN HET RWZI INFLUENT EN IN DE AFVOER VAN DE UV+H₂O₂ PILOT EN HET HIERUIT BEREKENDE VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019). OPMERKING: BIJ VERWERKING VAN VOLLEDIG EFFLUENTDEBIET (DUS GEEN RWA BYPASS)

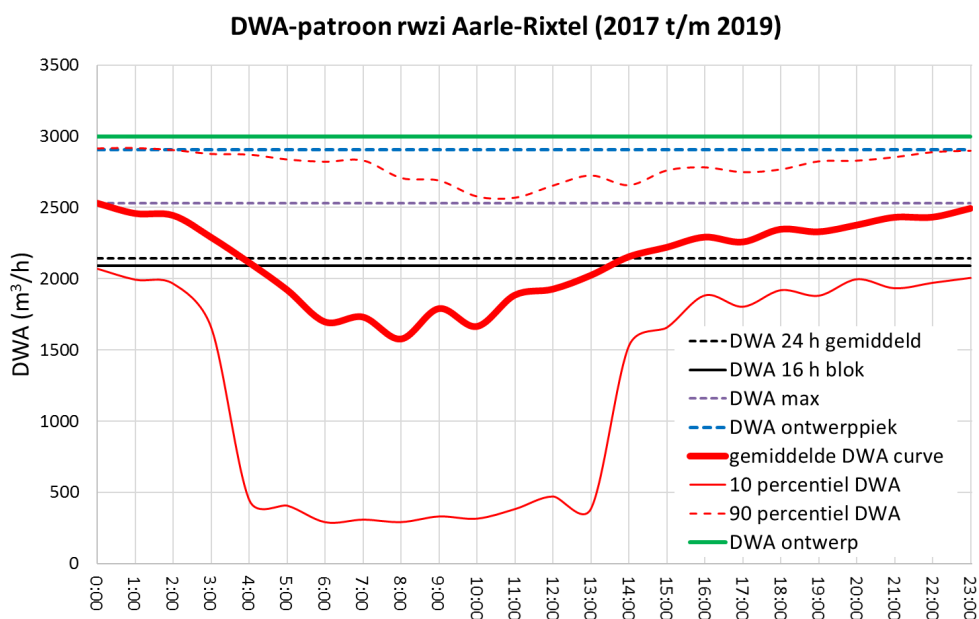


BIJLAGE 23

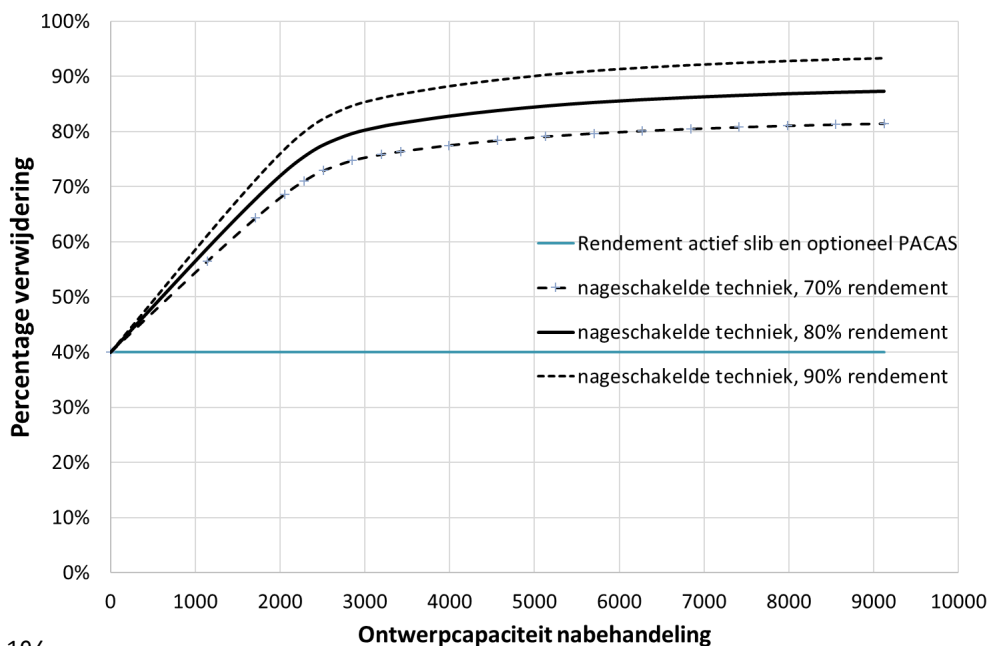
WEBTOOL 2020-06, DWA DEBIET, RWA BYPASS ETC

De uurdebieten van de rwzi Aarle-Rixtel van de periode 2017 t/m 2019 zijn ingevuld in de “webtool Stowa 2020-06” (19). Daarmee zijn de onderstaande grafieken verkregen.

FIGUUR B23.1 DWA PATROON RWZI AARLE-RIXTEL, BEREKEND MET DE WEBTOOL STOWA 2020-06 OP BASIS VAN INFLUENT UURDEBIETEN VAN 2017 T/M 2019



FIGUUR B23.2 VERWIJDERINGSPERCENTAGE VAN DE JAARVRACHT MEDICIJNRESTEN IN RWZI AARLE-RIXTEL BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPCAPACITEITEN EN VERWIJDERINGSRENDERMENTEN VAN DE NAGESCHAKELDE TECHNIEK, BEREKEND MET DE WEBTOOL STOWA 2020-06 OP BASIS VAN INFLUENT UURDEBIETEN VAN 2017 T/M 2019



Met de webtool zijn ook onderstaande gegevens verkregen voor rwzi Aarle-Rixtel:

- DWA 24 h gemiddeld = 2141 m³/h (=51.384 m³/dag)
- Jaarvolume = 26.000.000 m³/jaar (circa 71.000 m³/dag, circa 3000 m³/h)
- Bij een ontwerpdebiet van de nageschakelde techniek van 3000 m³/h wordt 100% van de DWA-aanvoer behandeld, 80% van het jaarvolume en 84% van de jaarlijkse medicijnvracht.
- Bij 40% verwijdering in de rwzi wordt, met een techniek die 80% verwijderingsrendement heeft en maximaal 3000 m³/h behandeld, op jaarbasis 81% van de medicijnvracht verwijderd in de combinatie van de rwzi met de nageschakelde techniek. Met een techniek die 70% of 90% verwijderd, wordt op jaarbasis 76% respectievelijk 86% van de medicijnvracht verwijderd.

BIJLAGE 24

VERWIJDERING GIDSSTOFFEN IN RWZI

De gemiddelde verwijderingsrendementen van de afzonderlijke gidsstoffen in de rwzi, evenals het berekende gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi gedurende de vergelijkende test en gedurende het vervolgonderzoek, zijn in tabel B24.1 weergegeven.

Overigens staat het gemiddelde rendement gedurende de vergelijkende test per component (geselecteerde medicijnen en gidsstoffen) in de rwzi, ook al in tabel 4.3 van dit rapport weergegeven, en het gemiddelde van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi in tabel 4.1.

Propranolol is wel geanalyseerd tijdens de vergelijkende test maar alle resultaten van propranolol lagen onder de rapportagegrens. Tijdens het vervolgonderzoek (fase 1,5 en 2) is propranolol niet meer bepaald.

TABEL B24.1 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN GIDSSTOFFEN IN DE RWZI AARLE-RIXTEL EN HET HIERUIT BEREKENDE GEMIDDELD RENDEMENT VAN DE 7 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN IN DE RWZI GEDURENDE DE VERSCHILLENDE FASEN VAN HET PILOT ONDERZOEK, EVENALS HET AANTAL BEMONSTERINGSDAGEN (N) PER FASE

	vgl test	fase 1,5	fase 2
GIDSSTOFFEN	n=8	n=5	n=12
1,2,3-BENZOTRIAZOOL	74	85	26
CARBAMAZEPINE	44	31	21
CLARITHROMYCINE	38	25	39
DICLOFENAC	3	-17	14
HYDROCHLOORTHIAZIDE	27	25	37
METHYL-1H-BENZOTRIAZOOL	71	84	48
METOPROLOL	31	30	14
PROPRANOLOL			
SOTALOL	55	53	40
SULFAMETHOXAZOL	91	84	85
TRIMETHOPRIM	22	30	48
Gemiddeld rendement 7 beste gidsstoffen	60	62	48

Opmerking:

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen tijdens de vergelijkende test in bovenstaande tabel (60%) wijkt iets af van de waarden die in tabel 4.1 staan (7 beste bij O₃: 53% en 7 beste bij UV:55%). Het verschil wordt veroorzaakt door de berekeningsmethodiek: in tabel 4.1 is het gemiddelde berekend van de 7 gidsstoffen die in de combinatie van de rwzi en de nabehandelingsstap het best verwijderd werden, terwijl in bovenstaande tabel B24.1 het gemiddelde is berekend van de 7 gidsstoffen die in de rwzi het best verwijderd zijn. De 7 gidsstoffen die in de berekening meegenomen worden, kunnen daardoor enigszins variëren.

Uit tabel B24.1 blijkt dat een aantal gidsstoffen goed worden verwijderd in de rwzi, met name sulfamethoxazol. Daarentegen zijn er ook gidsstoffen die slechts in zeer beperkte mate worden verwijderd, zoals diclofenac.

Ook blijkt uit de tabel dat de resultaten van de eerste 2 onderzoeksperioden (vergelijkende test en fase 1,5 van vervolgonderzoek) over het algemeen goed overeen komen. De verwijderingsrendementen van de laatste onderzoeksperiode (fase 2 van vervolgonderzoek) liggen voor een aantal gidsstoffen wat hoger maar voor andere gidsstoffen juist aanzienlijk lager. Ook het gemiddelde rendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen ligt duidelijk lager dan de voorgaande perioden, hetgeen wordt veroorzaakt doordat in de laatste onderzoeksperiode 3 bemonsteringsdagen door regenweer (RWA) zijn beïnvloed, en op die dagen lagere verwijderingsrendementen zijn behaald. Zonder deze 3 bemonsteringsdagen komt het beeld beter overeen met de voorgaande perioden.

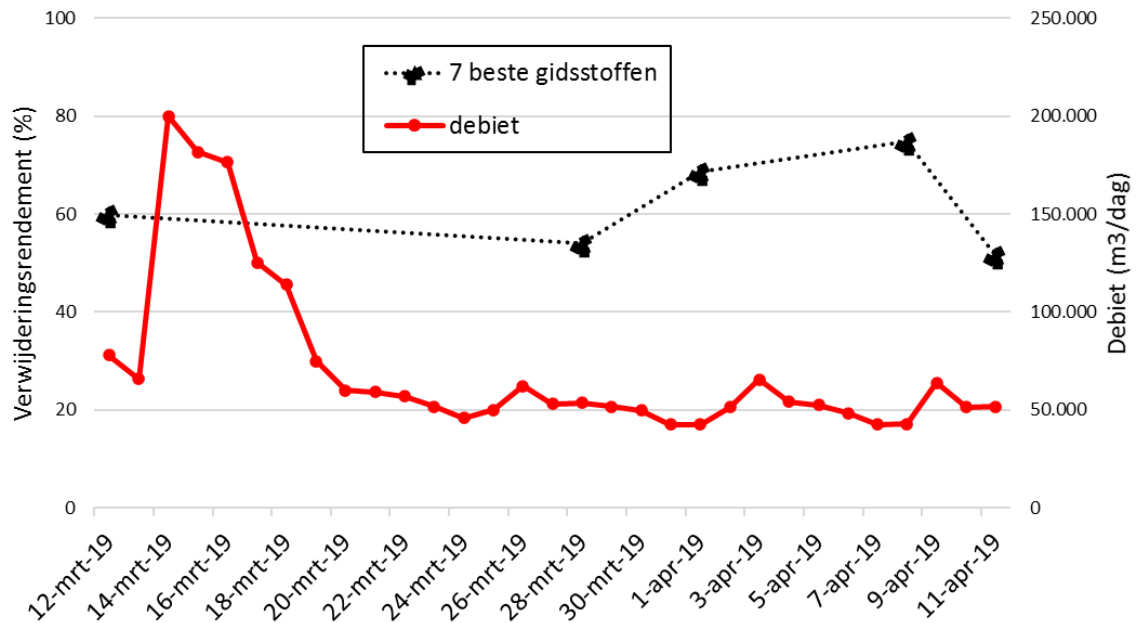
7 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi gedurende de verschillende onderzoeksperioden is per bemonsteringsdag weergegeven in de figuren B24.1, B24.2 en B24.3.

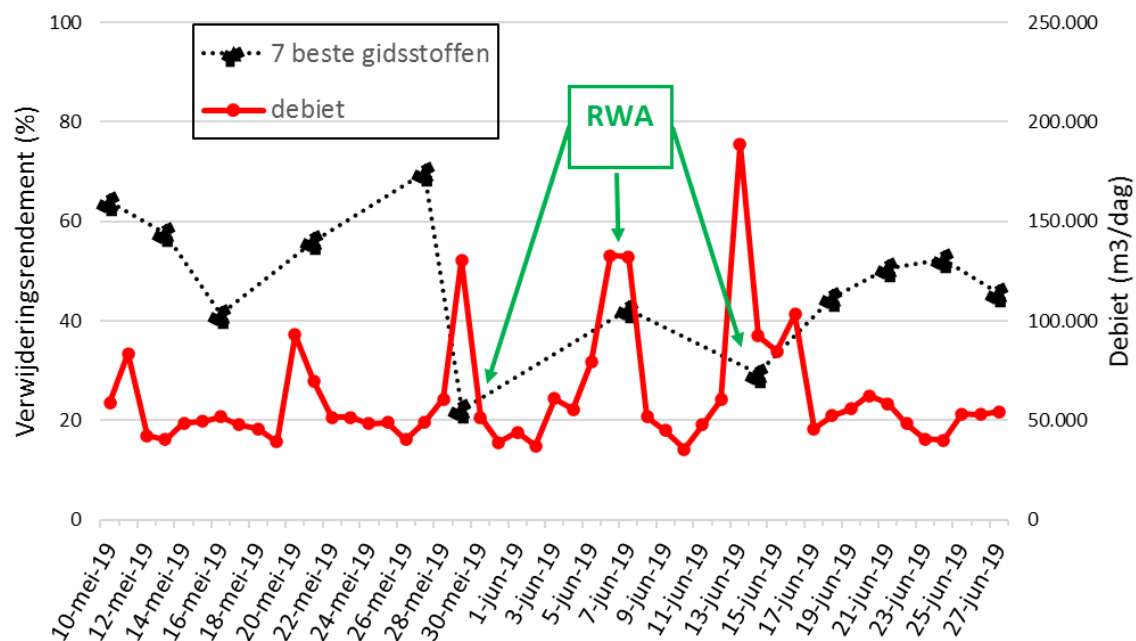
FIGUUR B 24.1 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 7 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN VAN DE 11 IN DE RWZI AARLE-RIXTEL PER BEMONSTERINGSDAG EN HET RWZI DEBIET TIJDENS DE VERGELIJKENDE TEST (20 NOVEMBER 2018 T/M 15 JANUARI 2019).



FIGUUR B 24.2 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 7 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN VAN DE 10 IN DE RWZI AARLE-RIXTEL PER



FIGUUR B 24.3 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE 7 BEST VERWIJDERDE GIDSSTOFFEN VAN DE 10 IN DE RWZI AARLE-RIXTEL PER BEMONSTERINGS-DAG EN HET RWZI DEBIET TIJDENS HET TWEEDE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK (10 MEI T/M 27 JUNI 2019)



Uit deze figuren blijkt dat het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen in de rwzi sterk kan variëren tussen de verschillende monsterdagen, van 20% tot ruim 70%.

De dagen die door RWA zijn beïnvloed zijn gemarkeerd in de figuren, en daaruit blijkt dat op RWA dagen een relatief lager verwijderingsrendement wordt behaald. Afwijkende resultaten op de dagen die door RWA worden beïnvloed, zijn te verklaren doordat het tijdstip en de periode van regenval niet exact worden gecorrigeerd door het 24 uren tijdsverschil tussen de bemonstering van influent en effluent (correctie verblijftijd in de rwzi). Ook treedt op RWA dagen verdunning van het afvalwater op waardoor de concentratie van meer gidsstoffen onder of nabij de rapportagegrens ligt. Deze worden dan niet meegenomen in de berekening van het verwijderingsrendement. De 7 beste verwijderde gidsstoffen die worden meegenomen

in de berekening van het gemiddelde zullen dan andere gidsstoffen zijn dan op droge dagen. Ook op bemonsteringsdagen die niet door RWA beïnvloed worden, treden verschillen op in het verwijderingsrendement van de 7 best verwijderde gidsstoffen. Dit is duidelijk zichtbaar in het eerste deel van het vervolgonderzoek (28 maart t/m 11 april 2019) waarin de laatste 4 bemonsteringsdagen in een DWA periode van enkele weken vallen, en de gemiddelde verwijderingsrendementen van de 7 best verwijderde gidsstoffen variëren van 50 tot 75%.

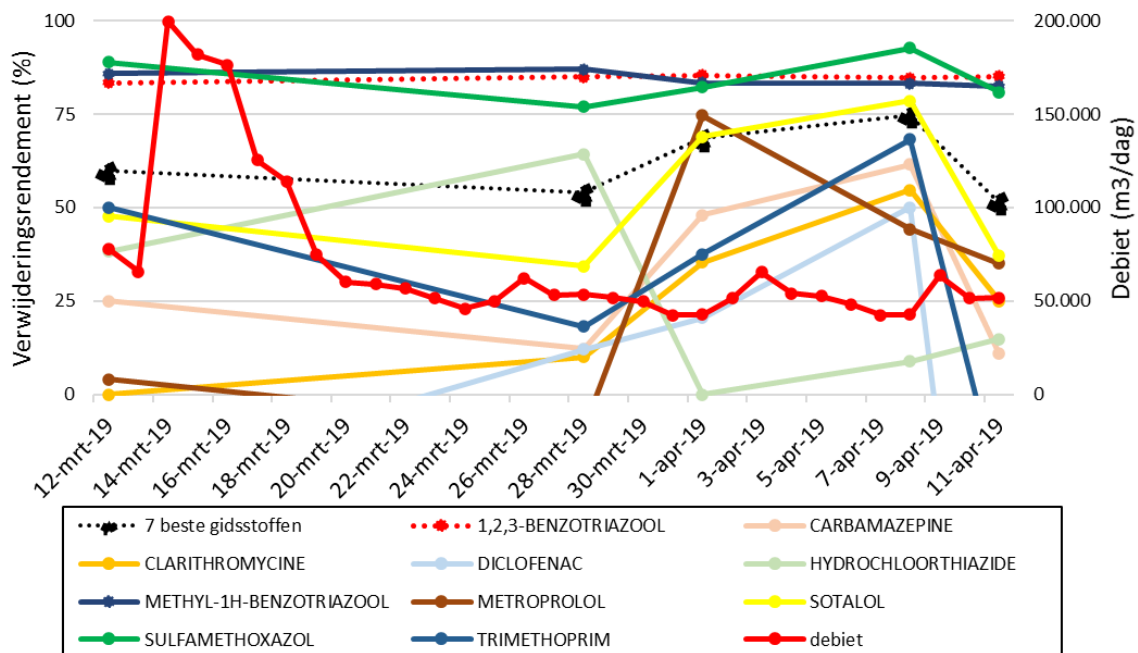
De nauwkeurigheid van de analysemethode zal ook een rol spelen, evenals de variaties in medicijnconcentraties in het influent. Zo is het bijvoorbeeld opvallend dat de component 1,2,3-benzotriazol in fase 2 in het influent van de rwzi regelmatig veel lager is dan in voorgaande perioden.

Deze variaties zijn verder niet onderzocht tijdens de pilottest op rwzi Aarle-Rixtel.

AFZONDERLIJKE GIDSSTOFFEN

Het verwijderingsrendement is per gidsstof en per bemonsteringsdag voor de eerste 5 bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek (fase 1,5) weergegeven in figuur B.24.4

FIGUUR B 24.4 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN GIDSSTOFFEN IN DE RWZI AARLE-RIXTEL PER BEMONSTERINGSDAG EN HET RWZI DEBIET TIJDENS HET EERSTE DEEL (FASE 1,5) VAN HET VERVOLGONDERZOEK (12 MAART T/M 11 APRIL 2019)



De 5 bemonsteringsdagen in figuur B24.4 zijn allemaal DWA dagen.

Het valt op dat het verwijderingsrendement van diverse gidsstoffen (bijvoorbeeld hydrochlorothiazide, metoprolol, trimethoprim) per bemonsteringsdag flink varieert, van 0% (of zelfs negatief) tot 50 -75%. Andere gidsstoffen hebben juist een stabiel hoog verwijderingsrendement in de rwzi (bijvoorbeeld sulfamethoxazol, 1,2,3-benzotriazol, methyl 1-H benzotriazol).

BIJLAGE 25

RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN NIJHUIS WATER TECHNOLOGY



Research Report

Voorbehandelingsmethoden: Bromaatvermindering en effect op DOC

Customer name : Waterschap Aa en Maas
Project nr. : P005117
Date of proposal : 01-04-2019
Prepared by : Tuur van den Eijnde
Email : Tuur.vandeneijnde@nijhuisindustries.com
Revision : 03

Nijhuis Water Technology B.V.
Innovatieweg 4
7007 CD Doetinchem
The Netherlands
+31 (0) 314 74 90 00
www.nijhuisindustries.com





“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

INTRODUCTIE EN SAMENVATTING

Op de RWZI in Aarle Rixtel wordt door Nijhuis Industries pilotonderzoek uitgevoerd in opdracht van waterschap Aa en Maas. Hier wordt gekeken naar de effectiviteit van microverontreiniging afbraak door middel van twee verschillende technieken. In deze pilot worden de microverontreiniging omgezet door middel van oxidatie door ozon (O_3) en verder verwijderd door biologische afbraak in een moving bed biofilm reactor (MBBR).

O_3 reageert met vrijwel alle beschikbare moleculen in de afvalwatermatrix. Aanwezige Bromide (Br^-) kan daarbij ook met ozon reageren tot bromaat (BrO_3^-). Bromaat wordt gezien als mogelijk carcinogeen en is daardoor een ongewenst bijproduct van ozonbehandeling. Bij de waterzuivering in Aarle Rixtel van het waterschap Aa en Maas is er een significante hoeveelheid Br^- aanwezig in het water waardoor kans op bromaatvorming groter wordt. Tijdens dit onderzoek wordt gemikt op een zo laag mogelijke bromaatconcentratie in het met ozon behandelde water.

Om bromaatvorming te reduceren of gevormd bromaat weg te vangen is er door Nijhuis een serie labtesten uitgevoerd die moeten uitwijzen wat de meest effectieve techniek is tegen bromaatvorming of voor bromaatverwijdering.

Er zijn meerdere mogelijke manieren om de uiteindelijke bromaatconcentratie te reduceren:

1. Verlagen van organische vervuiling van het water, waardoor de ozondosering ook kan worden verlaagd
2. Nabehandelen van met ozon behandeld afvalwater om gevormd BrO_3^- weg te vangen.
3. Toevoegen van chemie om O_3 standtijd te verlagen of om de reactie om te draaien.

Tijdens deze labtesten is hiervoor gekozen voor 3 verschillende voorbehandelingsmethoden:

1. Zandfiltratie + coagulant
2. Zandfiltratie
3. Actiefkoolfiltratie

Verder is er water nabehandeld met een actiefkool kolom en is het effect van het doseren van waterstofperoxide getest.

Opvallend is dat bij voor of na behandeling met actiefkool een aanzienlijk deel van het organisch koolstof geadsorbeerd wordt. Zandfiltratie heeft een minimaal effect op transmissie ondanks dat er een gedeelte van het opgeloste koolstof wordt verwijderd. De redoxwaarde, wat iets zegt over de opgeloste hoeveelheid O_3 , lijkt bij alle experimenten toe te nemen met uitzondering van de experimenten waar waterstofperoxide wordt toegevoegd.

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”



CONTENTS

<i>Introductie en samenvatting</i>	2
Material en methode	4
Resultaten	6
Discussie en conclusie	15
Bijlage I: Analyse overzicht	17
Bijlage II: Ruwe analysedata	18

MATERIAAL EN METHODE

Voor de labexperimenten wordt er gebruik gemaakt van de ozontestinstallatie van Nijhuis Industries zoals afgebeeld in *figuur 1*. Deze ozontestunit produceert ozon uit zuurstof uit de lucht. Met behulp van een injecteur kan ozon in een recirculatiestroom worden ingebracht in de 16L reactor. Het proces is een labschaal weergave van de huidige pilot-opstelling in Aarle Rixtel.

De O_3 dosering wordt bepaald door de duur van het experiment. Een vaste hoeveelheid O_3/L gas, wordt gedurende een vooraf bepaalde tijd aan het monster gevoed, afhankelijk van de gemeten DOC waarde. Dit zorgt voor een uiteindelijke dosering van $x \text{ g}O_3/\text{g}DOC$. Dit verschilt ten opzichte van de pilotconcentratie, gezien daar de verblijftijd altijd gelijk is, maar de concentratie O_3/L gas wordt aangepast als functie van DOC.



Figuur 1: Ozon labtestinstallatie Nijhuis Industries

Voor de uitgevoerde labtesten als verkenning voor bromaatreductie is gekozen voor twee verschillende streef-ozondoseringen bij verschillende voor- en nabehandelingen, namelijk 1 en 3 $\text{g}O_3/\text{g}DOC$. De daadwerkelijke ozondosering is afhankelijk van de DOC-waarde van het water dat de ozonreactor ingaat en wordt bepaald na de voorbehandeling.

Als voorbehandeling is er gekozen voor:

1. Zandfiltratie (+coagulant)
2. Actiefkoolfilter
3. Waterstofperoxide

Als nabehandeling, is alleen een actiefkoolfilter getest. Voorbehandeling of nabehandeling door zand en kool is uitgevoerd met behulp van een kolombord die werd gevoerd door een Watson slangenpomp. Hierbij is het toerental (100rpm) ingesteld op basis van een doorloop tijd van de kolom van 6minm^{-1} of 10m/h , wat vergelijkbaar is met een full-scale zandfilter of actiefkoolfilter. Het kolombord dat is gebruikt is weergegeven in *figuur 2*.

Het zand dat is gebruikt voor de vulling van het kolombord was afkomstig van een denitrificerend zandfilter van de RWZI-land van Cuijk.

Om zeker te zijn van bromaatvorming is er 1mg/L Br^- toegevoegd door 357mg kBr op te lossen in 240L water.



Figuur 2: Kolombord met filtratiemedium; Actief kool (2 linkse) en Biologisch actief zand (2 rechtse)

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Een volledige weergave van de testopzet is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht testopzet.

Test	O ₃ /gDOC	Voorbehandeling	Nabehandeling	Tijd behandeling
1	1	-	-	6.7min
2	1	ZF + Bio	-	6.7min
3	1	Actiefkool	-	1.8min
4	1	ZF + Bio + FeCl ₃ *	-	5 min
5	1	-	Actiefkool	6.7 min
6	1	H ₂ O ₂ *	-	6.7 min
7	3	-	-	20.1 min
8	3	ZF + Bio	-	20.1 min
9	3	Actiefkool	-	5.4 min
10	3	ZF + Bio + FeCl ₃ *	-	15 min
11	3	-	Actiefkool	20.1 min
12	3	H ₂ O ₂ *	-	20.1 min

*Voor zowel H₂O₂ als FeCl₃ is er gekozen voor een additie van 30ppm. Inschattingen zijn gemaakt op basis van literatuur en uitgevoerde lab bekerglastesten

TOC waarden zijn bepaald met behulp van een Shimadzu TOC-L_{CSH} unit. Br⁻ en BrO₃⁻ concentraties zijn bepaald door Aquon volgens de drinkwatermeting (rapportagegrens 0.2ug/l). UV_{254nm} transmissie is bepaald met behulp van een transmissie meting van UV-vanRemmen op het laboratorium van Nijhuis Industries. Een volledig analyse-overzicht is toegevoegd in *bijlage 1*.

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

RESULTATEN

Resultaten zijn in tabellen hieronder per test afzonderlijk weergegeven.

Tabel 2: test 1 – alleen O₃ behandeling: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.1
Gemeten DOC waarde (mg/L)	20.4
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	267.9
gO ₃ /gDOC	0.82
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.7
BrO ₃ start (ug/L)	<0.2
BrO ₃ tussen (ug/L)	n.a.
BrO ₃ eind (ug/L)	30
BrO ₃ removal (%)	-
Redox start (mV)	247.9
Redox eind (mV)	268.3

Tabel 3: test 2 – Voorbehandeling zandfiltratie – O₃ behandeling: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.5
Gemeten DOC waarde (mg/L)	19.9
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	269.7
gO ₃ /gDOC	0.82
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.7
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	53
BrO ₃ removal (%)	-76.7 ¹
Redox start (mV)	272.0
Redox eind (mV)	274.2

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Tabel 4: test 3 – Voorbehandeling actief kool – O₃ behandeling: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.8
Gemeten DOC waarde (mg/L)	4.4
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	81.1
gO ₃ /gDOC	1.1
Br ⁻ concentratie na actief kool (mg/L)	1.4
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.3
BrO ₃ start (ug/L)	n.a
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	16
BrO ₃ removal (%)	46.7
Redox start (mV)	244.9
Redox eind (mV)	246.1

Tabel 5: test 4 – Voorbehandeling zandfiltratie met coagulant, O₃ behandeling: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.8
Gemeten DOC waarde (mg/L)	16.7
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	215.8
gO ₃ /gDOC	0.78
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.7
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	57
BrO ₃ removal (%)	-90 ¹
Redox start (mV)	300.3
Redox eind (mV)	302.3

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Tabel 6: test 5 – O₃ behandeling, Nabehandeling actief kool: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.4
Gemeten DOC waarde (mg/L)	20.1
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	280.3
gO ₃ /gDOC	0.85
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	0.77
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	52
BrO ₃ eind (ug/L)	6.8
BrO ₃ removal (%)	77.3
Redox start (mV)	278.2
Redox eind (mV)	292.3

Tabel 7: test 6 – H₂O₂ opmenging, O₃ behandeling: 1g O₃/gDOC

Volume water (L)	16.4
Gemeten DOC waarde (mg/L)	19.9
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	265.6
gO ₃ /gDOC	0.82
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.8
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.6
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	0.25
BrO ₃ eind (ug/L)	5.3
BrO ₃ removal (%)	82.3
Redox start (mV)	252.4
Redox eind (mV)	255.8

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Tabel 8: test 7 – alleen O₃ behandeling: 3gO₃/gDOC

Volume water (L)	16.1
Gemeten DOC waarde (mg/L)	21.2
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	831.3
gO ₃ /gDOC	2.45
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.5
BrO ₃ start (ug/L)	<0.2
BrO ₃ tussen (ug/L)	n.a.
BrO ₃ eind (ug/L)	160
BrO ₃ removal (%)	-
Redox start (mV)	247.9
Redox eind (mV)	638.0

Tabel 9: test 8 – voorbehandeling zandfiltratie, O₃ behandeling: 3gO₃/gDOC

Volume water (L)	16.5
Gemeten DOC waarde (mg/L)	20.1
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	819.8
gO ₃ /gDOC	2.47
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.4
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	280
BrO ₃ removal (%)	-75 ¹
Redox start (mV)	272.0
Redox eind (mV)	649.9

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Tabel 10: test 9 – voorbehandeling actief kool, O₃ behandeling: 3gO₃/gDOC

Volume water (L)	16.8
Gemeten DOC waarde (mg/L)	4.1
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	243.2
gO ₃ /gDOC	3.5
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.4
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.2
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	54
BrO ₃ removal (%)	66.25
Redox start (mV)	244.9
Redox eind (mV)	269.3

Tabel 11: test 10 – voorbehandeling zandfiltratie + coagulant, O₃ behandeling: 3gO₃/gDOC

Volume water (L)	16.8
Gemeten DOC waarde (mg/L)	16.5
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	648.6
gO ₃ /gDOC	2.34
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.7
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.5
BrO ₃ start (ug/L)	n.a.
BrO ₃ tussen (ug/L)	<0.2
BrO ₃ eind (ug/L)	280
BrO ₃ removal (%)	-50 ¹
Redox start (mV)	300.3
Redox eind (mV)	562.9

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Tabel 12: test 11 – O₃ behandeling, nabehandeling actief kool: 3gO₃/gDOC

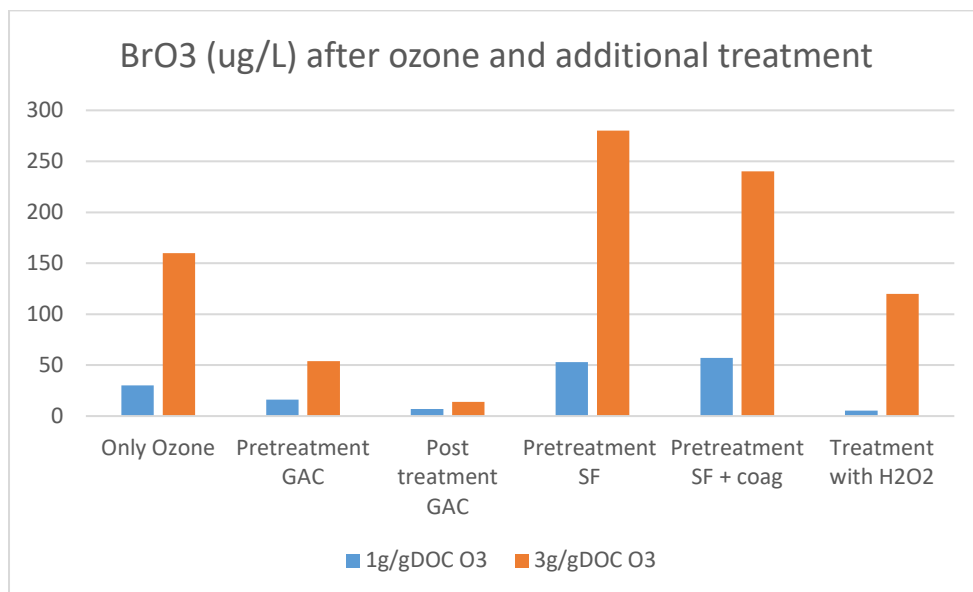
Volume water (L)	16.5
Gemeten DOC waarde (mg/L)	20.4
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	832.1
gO ₃ /gDOC	2.47
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.5
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	0.83
BrO ₃ start (ug/L)	1.5
BrO ₃ tussen (ug/L)	180
BrO ₃ eind (ug/L)	14
BrO ₃ removal (%)	98.5
Redox start (mV)	278.2
Redox eind (mV)	581.1

Tabel 13: test 12 – Opmenging H₂O₂, O₃ behandeling: 3gO₃/gDOC

Volume water (L)	19.5
Gemeten DOC waarde (mg/L)	20.4
Daadwerkelijke O ₃ dosering (mg)	820.7
gO ₃ /gDOC	2.45
Br ⁻ concentratie start water (mg/L)	1.8
Br ⁻ concentratie afvoerwater (mg/L)	1.5
BrO ₃ start (ug/L)	n.a
BrO ₃ tussen (ug/L)	0.28
BrO ₃ eind (ug/L)	120
BrO ₃ removal (%)	25
Redox start (mV)	252.4
Redox eind (mV)	258.5

¹deze negatieve uitkomsten tonen een bromaattoename aan ten opzichte van het controlemonster.

“Turning your (waste)water into **PROFIT**”



Figuur 3: Effect van verschillende voor- en nabehandelingen op bromaatvorming

In figuur 3 zijn de effecten van de verschillende voor- en nabehandelingstechnieken samengevat. In figuur 3 is waar te nemen dat bij enkel toepassing van ozon Bromaat wordt gevormd. Hierbij wordt een duidelijk verband waargenomen tussen de dosering van ozon en de gevormde hoeveelheid bromaat. Het voor- of nabehandelen van het monster met actiefkool, is respectievelijk het vergaand wegnemen van DOC of bromaat, leidt tot lagere bromaatconcentraties na behandeling.

Het voorbehandelen van het water met zandfiltratie leidt in alle gevallen tot hogere bromaatconcentraties in het behandelde water.

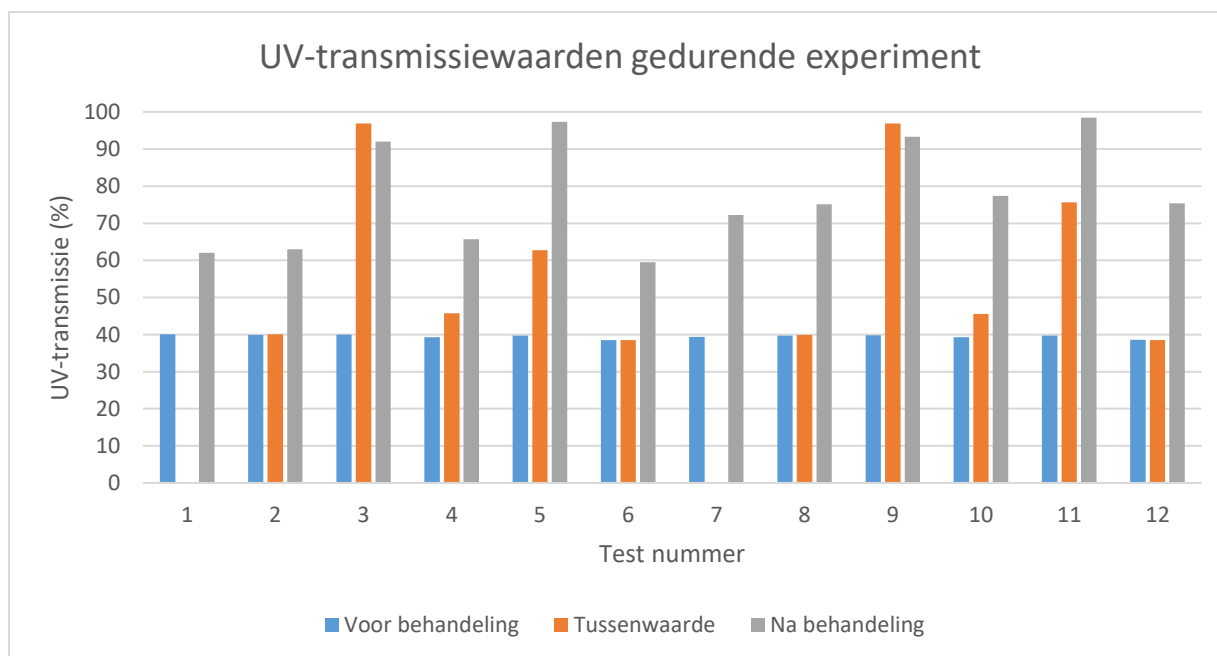
Dosering van H₂O₂ heeft een bromaatreducerende werking. De mate van reductie lijkt sterk afhankelijk van de doseerverhouding van H₂O₂ en ozon.

“Turning your (waste)water into **PROFIT**”

De UV-transmissie (UVT) gedurende de verschillende testen is ook gemonitord. Zo is gekeken naar de invloed van O₃ en de invloed van de verschillende voor en nageschakelde technieken op UV-transmissie van het RWZI-effluent. Een verhoogde transmissie kan namelijk leiden tot een effectievere behandeling van het afvalwater met UV-licht.

Tabel 14: UV-transmissie waardes per test

Test	UVT – Voor (%)	UVT – tussen (%)	UVT – na (%)	Toename UVT (%)
1	40.1	n.v.t.	62.0	21.9
2	39.9	40.1	63.0	23.1
3	40.0	96.9	92.0	52.0
4	39.3	45.7	65.7	26.4
5	39.7	62.7	97.3	57.6
6	38.5	38.5	59.5	21.0
7	39.4	n.v.t.	72.2	32.8
8	39.8	39.9	75.1	35.3
9	39.8	96.9	93.3	53.5
10	39.3	45.6	77.4	38.1
11	39.7	75.6	98.5	58.8
12	38.6	38.5	75.4	36.8

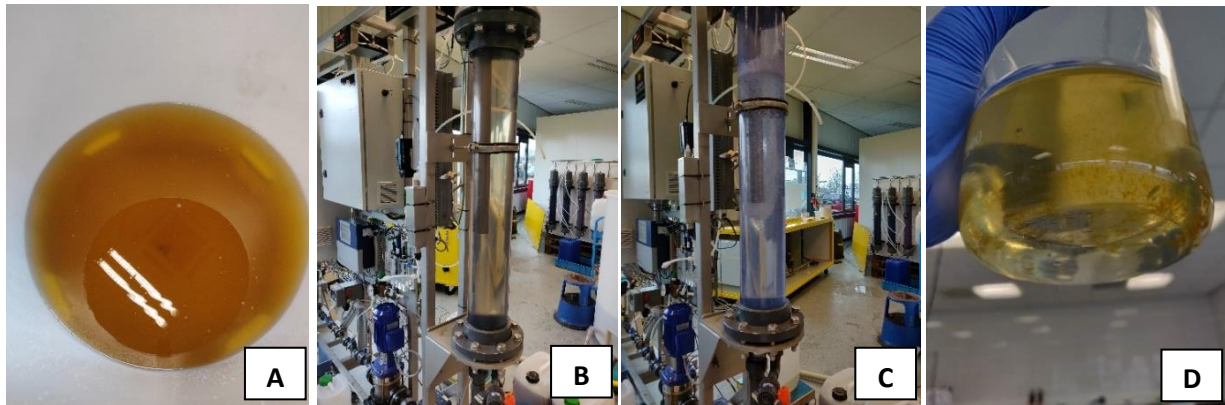


Figuur 4: Weergave verandering van UV-transmissie gedurende de verschillende testopzetten

Uit figuur 4 blijkt dat de behandeling van ozon in alle gevallen leidt tot een toename van de UV-transmissie. Verder blijkt uit figuur 4 dat behandeling met actiefkool leidt tot een sterke UV-transmissie toename. Ander voorbehandelingstechnieken leiden niet of slechts tot een zeer geringe toename van de UV-transmissie.

“Turning your (waste)water into PROFIT”

Er vindt duidelijke ontkleuring plaats tijdens behandeling met O₃ en actiefkool. Na dosering van coagulant vindt er vorming van roodkleurige vlokken plaats. De kleur van het water lijkt na behandeling met zandfiltratie en coagulant ook licht te verdwijnen. Zie onderstaande foto's voor verduidelijking.



Figuur 5: (A) kleur van RWZI effluent in verzameltank, (B) kleur van RWZI-effluent in ozon reactor, (C) kleur van RWZI-effluent tijdens behandeling O₃ (na 4min), (D) vlokvorming na additie van coagulant

Verder is er ook gekeken naar de verschillende voorbehandelingstechnieken op de DOC-waarde van het RWZI-effluent. Dit heeft een direct effect op de hoeveelheid te doseren O₃ gezien de O₃-dosering lineair afhankelijk van de hoeveelheid DOC in het ingaande water.

Resultaten en effect op O₃ dosering zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 15: DOC waardes voor en na voorbehandelings techniek

	DOC voor (mg/L)	DOC na (mg/L)	%O ₃ vermindering	Behandeling
2	20.1	20.1	0.0	ZF
3	20.6	4.4	78.7	Actief Kool
4	20.8	16.7	19.6	ZF + Coag.
8	20.1	19.9	1.3	ZF
9	20.9	4.1	79.6	Actief Kool
10	20.6	17.1	17.0	ZF + Coag.

Ter verduidelijking, de derde kolom in *tabel 15* geeft aan wat de vermindering van ozondosering is geweest als resultaat van DOC vermindering door de verschillende voorbehandelingstechnieken.

Een uitgebreid overzicht van alle gemeten parameters is terug te vinden in *Bijlage I*.



“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Er is een duidelijk effect van ozonering waargenomen, dit is te zien door zowel de toenemende redox waarde als de verandering van de kleur van het water. In alle gevallen zorgt de ozonering voor een transmissieverhoging. Een bijkomend effect van ozonering is de formatie van bromaat. Er is een duidelijk verband te zien tussen de ozondosering en de hoeveelheid gevormde bromaat.

Het effect op transmissie door de verschillende voorbehandelingen is ook bekeken. Zandfiltratie met coagulant heeft een zeer gering effect, actiefkoolfiltratie verhoogde de transmissie significant. Ozonering zorgt in vrijwel alle gevallen ook voor een transmissie verhoging.

De verschillende voor- en nabehandelingstechnieken zijn ook beoordeeld op hun effect op DOC vermindering. Duidelijke verlaging van DOC is waargenomen bij voorbehandeling en nabehandeling met een actiefkoolfilter. Ook na de voorbehandeling met zandfiltratie en coagulant dosering wordt een duidelijke afname van DOC waargenomen.

De verschillende behandelingen in combinatie met ozonbehandeling hebben ook een duidelijke invloed op bromaatvorming. Zo is te zien dat actiefkool zorgt voor een bromaatvermindering zowel als voor- als nageschakelde techniek. Een kanttekening die daarbij geplaatst moet worden is dat dit een ongebruikte actief kool betreft. De absorberende kracht van actief kool zal over tijd afnemen, om een duidelijker beeld van deze techniek te vormen zal dus voor langere tijd onderzoek moeten worden uitgevoerd.

De afname in bromide concentratie kan in alle gevallen worden verklaard door de omzetting van bromide naar bromaat. Met uitzondering van de testen waarbij actiefkool wordt gebruikt. Actief kool lijkt ook een deel van het bromide weg te vangen.

Zandfiltratie heeft, ondanks zijn effect op DOC, een schijnbare negatieve invloed op bromaatvorming, vooral bij hogere O_3 doseringen. Mogelijkheid tot dit verschijnsel is het wegvangen van ozonvragende moleculen. Daarmee wordt de verhouding $Br^-:DOC$ groter en is er een grotere kans voor O_3 om met Br^- te reageren tot BrO_3^- . Onduidelijk is of dit ook voor lage ozondoseringen al van invloed is, om daar meer uitsluitsel over te geven zal dit onderzoek meermaals moeten worden uitgevoerd.

H_2O_2 dosering heeft een reducerende werking op de bromaatvorming. Bij een lage ozondosering is het effect vergelijkbaar met de nabehandeling van actiefkool. Het waargenomen bromaat bij een hoge ozondosering is mogelijk het gevolg van onderdosering van H_2O_2 . Vervolgonderzoek zou moeten uitwijzen welke wijze van H_2O_2 dosering alsmede de hoogte van de H_2O_2 dosering ten opzichte van ozon het meest effectief is om bromaatvorming effectief tegen te gaan.

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

Een volledige weergave van de verschillende methodieken op de vorming van bromaat en de reductie van DOC zijn weergegeven in *tabel 16*. Hierbij is de volgende kwalitatieve beoordeling gehanteerd:

- zeer negatief effect;
- negatief effect;
- 0 geen effect;
- + positief effect
- ++ zeer positief effect.

Tabel 16: Effecten van verschillende voorbehandelingen op wateranalyse parameters

	Br ⁻	BrO ₃ ⁻	DOC
Zandfiltratie	0	-	0
Zandfiltratie + coagulant	0	-	+
Voorbehandeling Actief Kool ¹	+	++	++
Nabehandeling Actief Kool ¹	n.v.t.	++	++
H ₂ O ₂ voorbehandeling	0	++	0

1. Testen zijn uitgevoerd met vers actief kool. Effect kan verminderen over langere tijd.

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”



BIJLAGE I: ANALYSE OVERZICHT

Test	Analyses Toevoer	Analyses Tussen	Analyses Afvoer
1	UVT, TOC, Br, BrO ₃	-	UVT, TOC, Br, BrO ₃
2	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
3	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
4	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
5	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
6	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
7	UVT, TOC, Br, BrO ₃	-	UVT, TOC, Br, BrO ₃
8	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
9	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
10	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
11	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃
12	UVT, TOC	UVT, TOC, Br, BrO ₃	UVT, TOC, Br, BrO ₃

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

BIJLAGE II: RUWE ANALYSEDATA

	UVT start 254nm(%)	UVT tussen 254nm (%)	UVT eind (%)
Test 1	40,1		62
Test 2	39,9	40,1	63
Test 3	40	96,9	92
Test 4	39,3	45,7	65,7
Test 5	39,7	62,7	97,3
Test 6	38,5	38,5	59,5
Test 7	39,4		72,2
Test 8	39,7	39,9	75,1
Test 9	39,8	96,9	93,3
Test 10	39,3	45,6	77,4
Test 11	39,7	75,6	98,5
Test 12	38,6	38,5	75,4

	BrO ₃ ⁻ start (ug/l)	BrO ₃ ⁻ tussen (ug/l)	BrO ₃ ⁻ eind (ug/l)
Test 1	<0,2		30
Test 2		<0,2	53
Test 3		<0,2	16
Test 4		<0,2	57
Test 5		52	6,8
Test 6		0,25	5,3
Test 7	<0,2		160
Test 8		<0,2	280
Test 9		<0,2	54
Test 10		<0,2	240
Test 11		180	14
Test 12		0,28	120

“Turning your (waste)water
into **PROFIT**”

	Br start (ug/L)	Br tussen (ug/L)	Br eind (ug/L)
Test 1	1700		1700
Test 2		1700	1700
Test 3		1400	1300
Test 4		1700	1700
Test 5		1700	770
Test 6		1800	1600
Test 7	1700		1500
Test 8		1700	1400
Test 9		1400	1200
Test 10		1700	1500
Test 11		1500	830
Test 12		1800	1500

	DOC start (mg/L)	DOC tussen (mg/L)	DOC eind (mg/L)
Test 1	20,37		19,4
Test 2	20,1	20,1	19,14
Test 3	20,6	4,4	7
Test 4	20,75	16,7	15,46
Test 5	20,61	19,79	5
Test 6	19,98	19,9	17,57
Test 7	21,2		19,15
Test 8	20,1	19,85	18,48
Test 9	20,08	4,1	7
Test 10	20,57	16,48	16,44
Test 11	20,4	17,1	3,986
Test 12	19,48	20,24	16,44

BIJLAGE 26

**RESULTATEN VOORONDERZOEK VAN
REMMEN UV TECHNOLOGY + JOTEM
WATERBEHANDELING**



Coagulant experimenten 11-04-2019



Gebruikte coagulanten



FeCl₃

Ijzerchloride 40% (dosering op basis van Fe vracht)

- Vlokt snel uit
- Rood/buine waas in het gecoaguleerde water

PAC

Poly aluminum chloride (Kemira PAX 18) dosering op basis van Al vracht

- Vlokt langzamer uit
- Melk achtige waas in het gecoaguleerde water

PRODUCT SPECIFICATION

Appearance	Yellowish Liquid
Aluminum (Al)	9.0 ± 0.2%
Al ₂ O ₃	17.1 ± 0.4%
Iron (Fe)	< 0.01%
Specific Gravity (25°C)	1.37 ± 0.03
pH	0.9 ± 0.3
Basicity	42 ± 2%
Active Material	3.33 moles/kg
Viscosity (25°C)	30 ± 5 cP
Freezing Point	-20° C / -4° F

Uitgevoerde experimenten

Effluent RWZI
Influent zandfilter

Transmissie 31,5%



FeCl₃
Ijzerchloride

Dosering: 10 & 15 PPM als Fe
Zandfilter experimenten
Carrierfilter experimenten



PAC
Poly Aluminium Chloride

Dosering: 10 & 15 PPM als Al
Zandfilter experimenten
Carrierfilter experimenten



Kolomproeven opstelling

- **Zand filter (link)**
 - 7,5 m/h watersnelheid
 - Toplaag Hydro-anthraciet
 - Zandlaag
 - Grindlaag
 - Downflow filtratie
- **Carrier filter (rechts)**
 - 7,5 m/h watersnelheid
 - K3 carrier vulling
 - Upflow filtratie



Resultaten 11-04-2019

Experiment	Influent	Effluent zandfilter	Effluent carrier reactor	coagulant dosering	T10 direct na coagulant toevoegen
	T10	T10	T10	ppm (Fe/Al)	
Zonder coagulant	33,70	34,40 + 0,7 %	33,90 + 0,2 %	0,00	
ijzer 10ppm	31,60	46,90 +15,3 %	2,60 - 29 %	10,00	0
ijzer 15ppm	31,60	54,30 +22,7 %	2,60 - 29 %	15,00	0
PAC 10 ppm	31,30	58,13 +26,8 %	35,50 +4,2 %	10,00	17,1
PAC 15ppm	31,20	61,60 +30,4 %	27,20 -4 %	15,00	22

Conclusies:

- Substantiële transmissie verhoging vind pas plaats na het zandfilter
- Transmissie verhoging na carrierreactor niet waargenomen, te veel doorslag
- Afvangen coagulatie vlokken is noodzakelijk om transmissie verhoging te verkrijgen
- PAC leidt tot hogere transmissie verbetering tov ijzerchloride

Aanbevelingen:






- Testen met ander type filtermedia (AFM zand, glasparels) → Carriers vervangen
- Fosfaat testen, Nitraat?
- Automatiseren huidig filter of Demo pilot doen?



Synergie zandfilter



Door het zandfilter voor het AOP systeem te plaatsen zijn de volgende voordelen te behalen:

-  Extra fosfaat verwijdering
-  Extra TSS verwijdering >80%
-  Verhoging transmissie met 15 tot 30%
-  Verbetering SVI
-  Verbetering slib ontwaterbaarheid

Mogelijke vervolg experimenten:

- Bezinken i.p.v. affilteren coagulatie vlokken
- Mogelijkheid tot verdere biologische N verwijdering
- Carrier reactor vervangen voor AFM zand/multimedia filtratie
- Mogelijke extra medicijnverwijdering door coagulant testen?



BIJLAGE 27

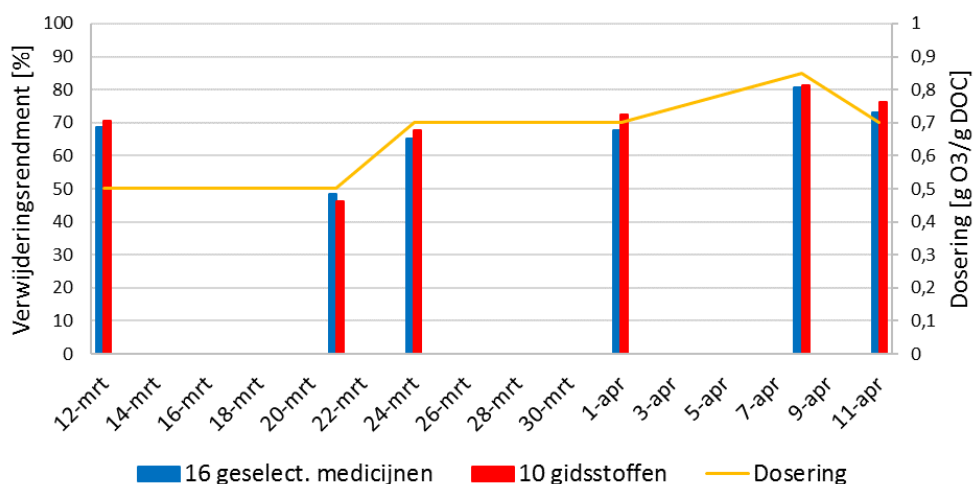
RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN O₃-PILOT

De resultaten¹³ van de afzonderlijke bemonsteringsdagen van het vervolgonderzoek zijn weergegeven in de figuren in deze bijlage. Het vervolgonderzoek was in 2 fasen te onderscheiden, daarom zijn de figuren in deze bijlage ook gesplitst in een eerste deel en een laatste deel van het vervolgonderzoek.

RELATIE O₃-DOSERING EN VERWIJDERINGSRENDEMENT

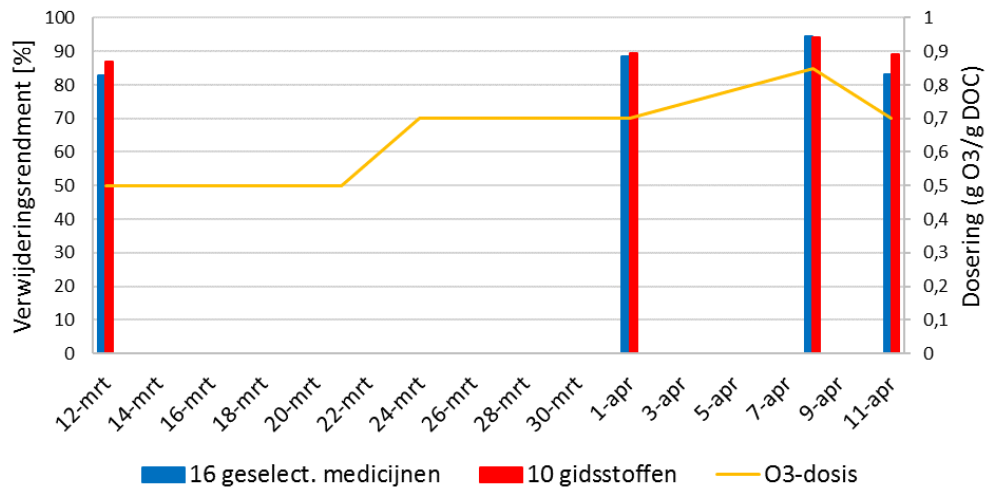
Gedurende het eerste deel van het vervolgonderzoek (12 maart t/m 11 april 2019) is alleen de hoogte van de specifieke O₃-dosering aangepast. De rendementen van de O₃-pilot en van de combinatie van de rwzi plus de O₃-pilot zijn weergegeven in de figuren B27.1 en B27.2.

FIGUUR B27.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN DE O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET EERSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK. BIJ DE VERGELIJKENDE TEST WAS DE SPECIFIEKE O₃-DOSERING 1,2 G O₃/G DOC



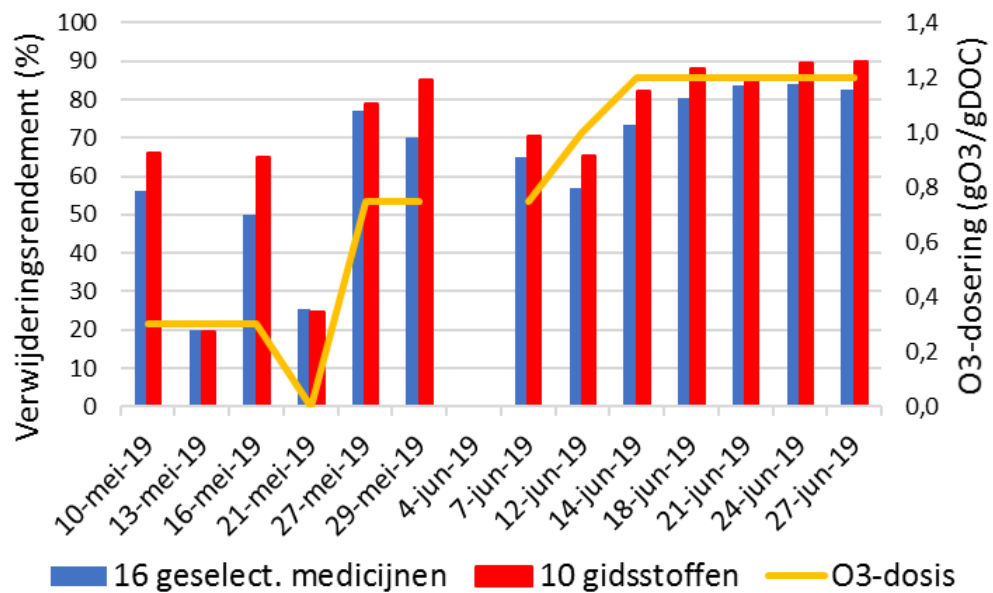
¹³ De gidsstof propranolol is bij het vervolgonderzoek niet geanalyseerd.

FIGUUR B27.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN DE COMBINATIE VAN RWZI PLUS O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET EERSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK. BIJ DE VERGELIJKENDE TEST WAS DE SPECIFIEKE O₃-DOSERING 1,2 G O₃/G DOC

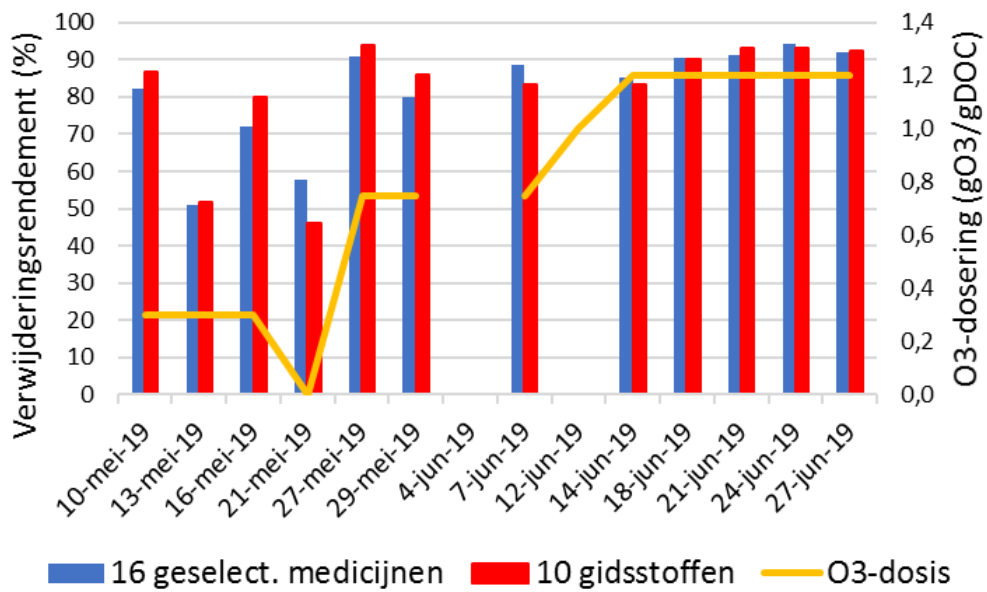


Gedurende het laatste deel van het vervolgonderzoek (10 mei t/m 27 juni 2019) is het doseerpunt van de O₃-dosering verplaatst naar de toevoerleiding. Vanaf 18 juni 2019 wordt ook H₂O₂ gedoseerd. De rendementen van de O₃-pilot en van de combinatie van de rwzi plus de O₃-pilot zijn weergegeven in de figuren B27.3 en B27.4.

FIGUUR B27.3 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN DE O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET LAATSTE



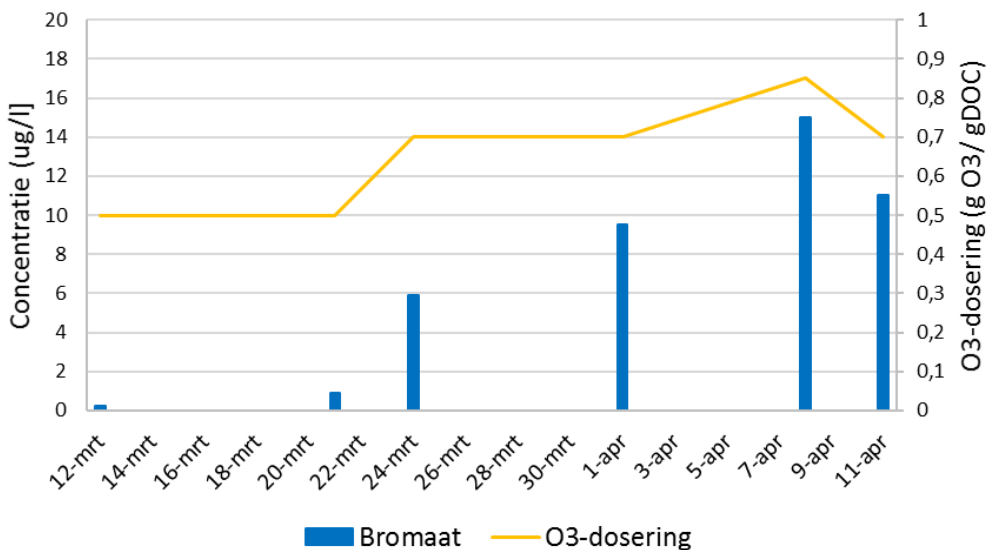
FIGUUR B27.4 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN DE COMBINATIE VAN RWZI PLUS O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET LAATSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK



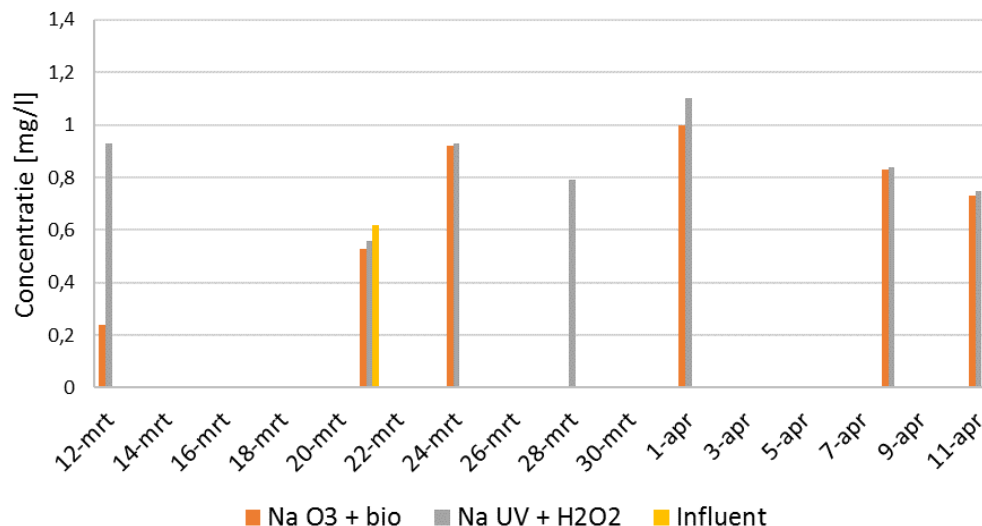
RELATIE O₃-DOSERING EN BROMAATPRODUCTIE

Gedurende het eerste deel van het vervolgonderzoek (12 maart t/m 11 april 2019) is alleen de hoogte van de specifieke O₃-dosering aangepast. De bromaatproductie van de O₃-pilot is per bemonsteringsdag weergegeven in figuur B27.5. In figuur B27.6 is het bromidegehalte van het afvalwater per bemonsteringsdag weergegeven, aangezien het bromidegehalte ook van invloed is op de bromaatproductie.

FIGUUR B27.5 BROMAATGEHALTE (µG/L) IN DE AFVOER VAN DE O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET EERSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK



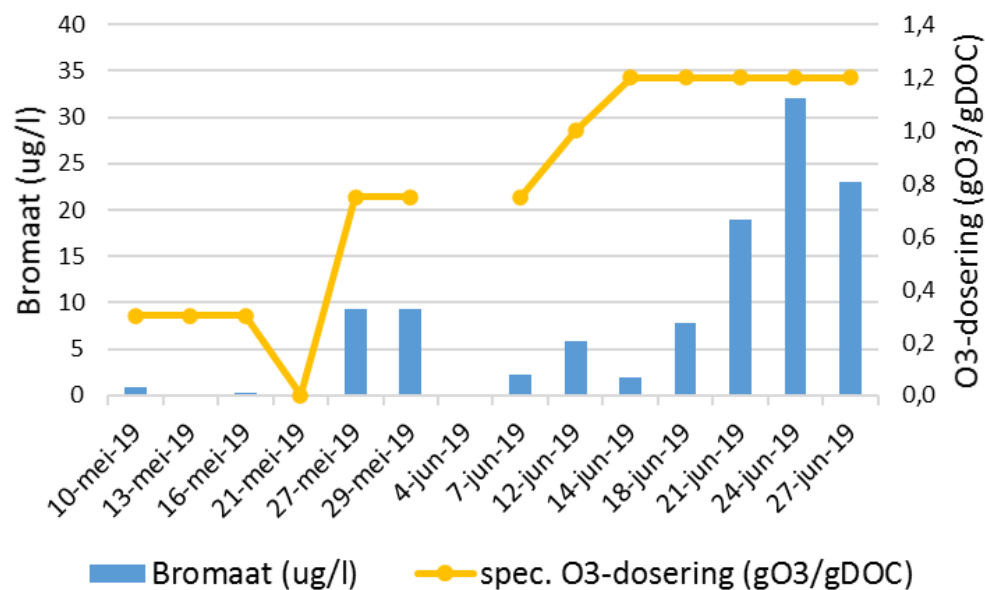
FIGUUR B27.6

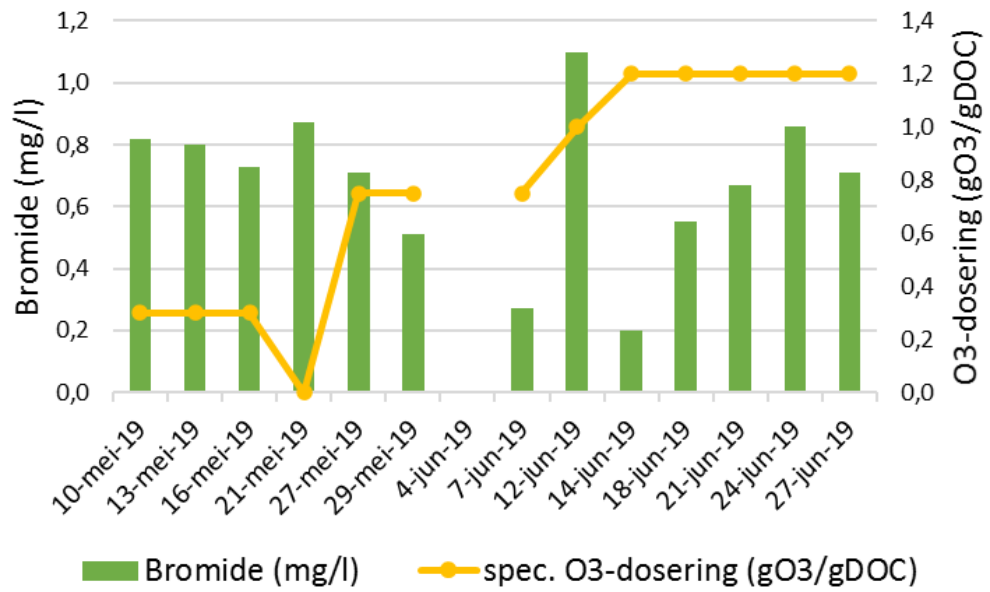
BROMIDEGEHALTE (MG/L) IN HET AFVALWATER VAN DE O₃-PILOT GEDURENDE HET EERSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK

Op 12 maart 2019 is een groot verschil in bromide concentratie tussen de afloop van de O₃+Bio pilot en de afloop van de UV+H₂O₂ pilot, terwijl verwacht wordt dat de concentraties vergelijkbaar zijn. De periode 8 tot 12 maart is een RWA periode met veel influentdebiet, en dus treedt veel verdunning op. De bromide concentratie in de afloop van O₃+Bio komt daarmee overeen, en de gemeten waarde in de afloop van de UV+H₂O₂ pilot lijkt niet juist te zijn.

Gedurende het laatste deel van het vervolgonderzoek (10 mei t/m 27 juni 2019) is het doseerpunt van de O₃-dosering verplaatst naar de toevoerleiding. Vanaf 18 juni 2019 wordt ook H₂O₂ gedoseerd. De bromaatproductie van de O₃-pilot is per bemonsteringsdag weergegeven in figuur B27.7. In figuur B27.8 is het bromidegehalte van het afvalwater per bemonsteringsdag weergegeven, aangezien het bromidegehalte ook van invloed is op de bromaatproductie.

FIGUUR B27.7

BROMAATGEHALTE (µG/L) IN DE AFVOER VAN DE O₃-PILOT BIJ VERSCHILLENDE SPECIFIEKE O₃-DOSERINGEN, GEDURENDE HET LAATSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK. VANAF 18 JUNI WORDT OOK H₂O₂ GEDOSEERD

FIGUUR B27.8 BROMIDEGEHALTE IN DE AFVOER VAN DE O₃-PILOT GEDURENDE HET LAATSTE DEEL VAN HET VERVOLGONDERZOEK

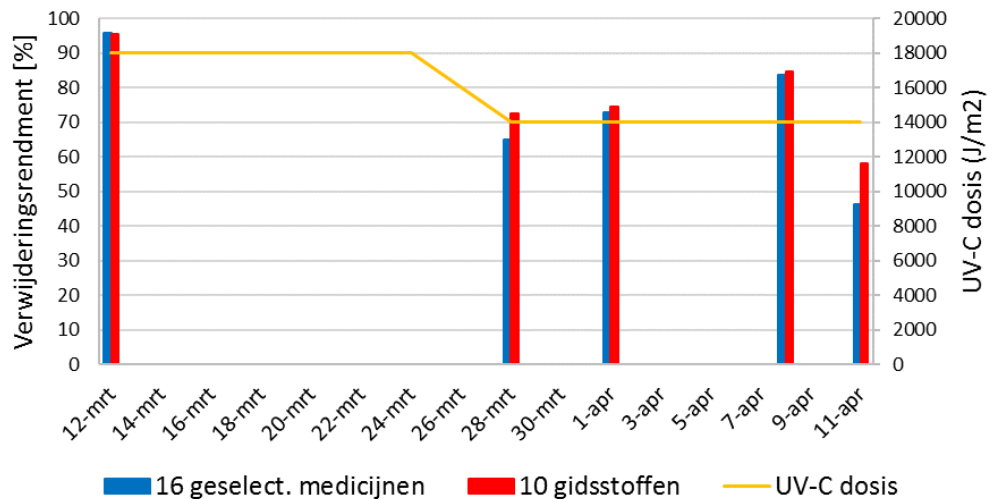
BIJLAGE 28

RESULTATEN AFZONDERLIJKE BEMONSTERINGSDAGEN UV-PILOT

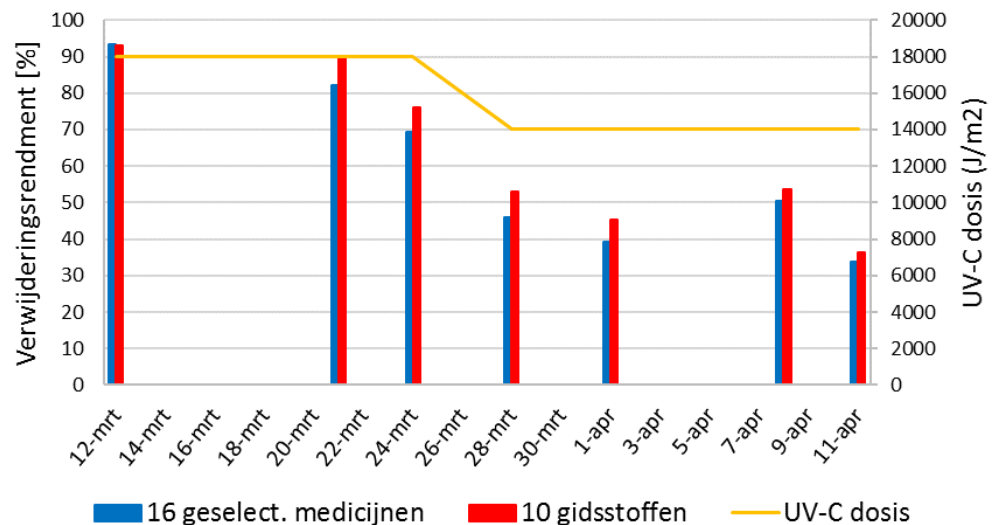
Bij het vervolgonderzoek van de UV-pilot zijn 2 fasen te onderscheiden, genaamd fase 1,5 en fase 2. In fase 1,5 was het doel voornamelijk het alsnog behalen van 80% verwijderingsrendement van 16 geselecteerde medicijnen t.o.v. het effluent.

De verwijderingsrendementen van de UV-pilot en van de combinatie van de rwzi plus de UV-pilot zijn weergegeven in de figuren B28.1 en B28.2. Ook de setpoints voor de UV-dosis zijn in deze figuren weergegeven.

FIGUUR B28.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN DE UV-DOSIS IN DE UV-PILOT (T.O.V. HET EFFLUENT) GEDURENDE FASE 1,5 VAN HET VERVOLGONDERZOEK



FIGUUR B28.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN EN DE UV-DOSIS IN DE COMBINATIE VAN RWZI PLUS UV-PILOT GEDURENDE FASE 1,5 VAN HET VERVOLGONDERZOEK

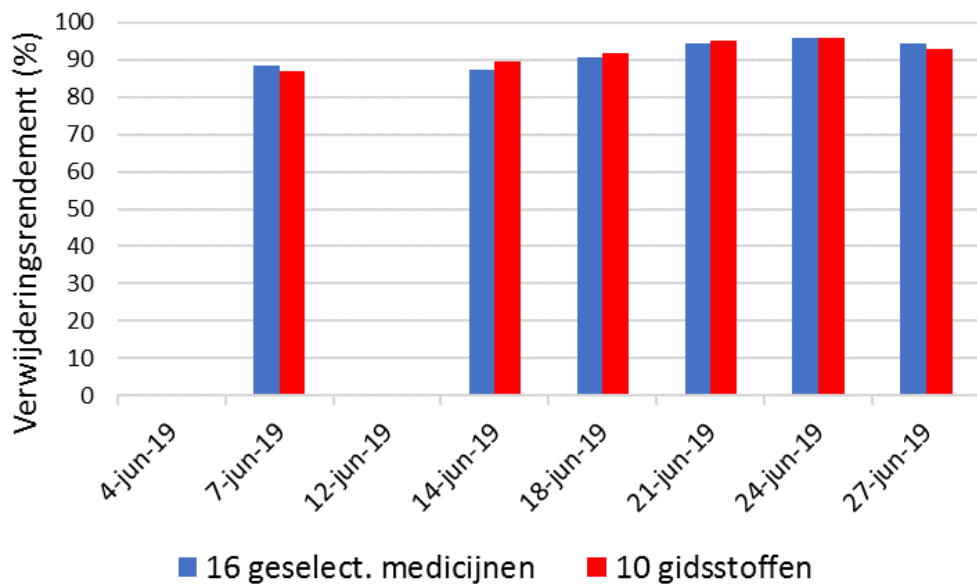


Op de eerste dag (12 maart 2019) was de smart regeling nog niet in bedrijf, en was de UV-transmissie van het effluent hoog (62%) ten gevolge van regen, hetgeen het relatief hoge rendement verklaart.

In fase 2 van het vervolgonderzoek was het doel om te bepalen of het mogelijk is om door voorbehandeling van het afvalwater middels een zandfilter met PAlCl dosering de UV-transmissie van het afvalwater te verhogen, en daarmee het energieverbruik van de pilot te beperken. De resultaten van fase 2 zijn beschreven in hoofdstuk 5.3.3 van dit rapport. Aanvullend daarop zijn de verwijderingsrendementen van de combinatie van de rwzi plus de UV-pilot weergegeven in de figuur B28.3, en de verwijderingsrendementen van het zandfilter staan in figuur B28.4.

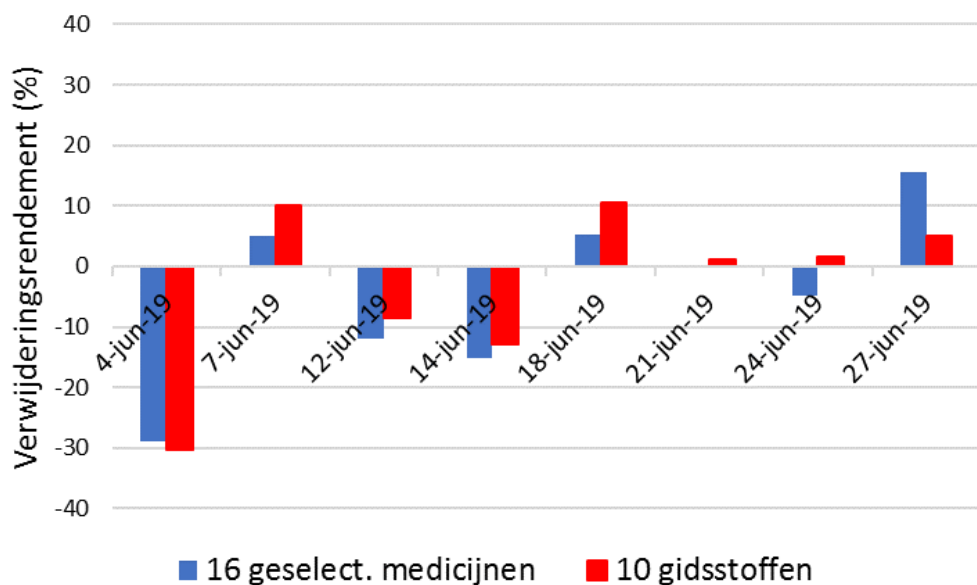
VERWIJDERINGSRENDEMENT MEDICIJNRESTEN IN COMBINATIE RWZI + UV-PILOT (MET ZANDFILTER)

FIGUUR B28.3 GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN DE COMBINATIE VAN RWZI PLUS UV-PILOT INCLUSIEF VOORBEHANDELING MET ZANDFILTER



Verwijderingsrendement medicijnresten in zandfilter

FIGUUR B28.4 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN IN HET ZANDFILTER (4, 7 EN 12-JUNI ZONDER COAGULANTDOSERING)



BIJLAGE 29

ONTWERPUITGANGSPUNTEN FULL SCALE

OZON-INSTALLATIE

De ontwerpuitgangspunten van de full scale ozon installatie van rwzi Aarle-Rixtel zijn in onderstaande tabel B29.1 weergegeven. Bovendien is in deze tabel het ontwerp van rwzi Groote Lucht (9) weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat het ontwerp van beide ozon installaties qua configuratie en capaciteit goed met elkaar overeen komen.

TABEL B29.1 ONTWERP UITGANGSPUNTEN FULL SCALE OZON INSTALLATIE RWZI AARLE-RIXTEL IN VERGELIJKING MET RWZI GROOTE LUCHT (9)

	Groote Lucht	Aarle-Rixtel	Opmerkingen
Debiet (m ³ /h)			
Nominaal	1315	2000	
maximaal	1800	3000 (=1,4 x DWA)	
	3600 (O ₃ reactor)		
DOC concentratie (mg/l)			
Nominaal	12	11	
maximaal	15	15	
O ₃ -dosering (gO ₃ /gDOC)			
Tijdens pilot test	Nominaal: 1	1,2	
Praktijk wellicht...	Maximaal: 1,2	0,7 (afh. v. rendem.)	
Benodigde ozon- productie (kg/h)			
Nominaal	15,7	26,4	
		(15,4 bij 0,7 gO ₃ /gDOC)	
Maximaal	33,6	39,6	
		(23,1 bij 0,7 gO ₃ /gDOC)	
Max O ₃ -productie cap.	50,4	54	
		Bij 3000 m ³ /h, DOC15 mg/l en 1,2 gO ₃ /gDOC	GL: 3 O ₃ -generatoren
Aantal ozonreactoren	2	2	Ieder 300 m ³ Verblijftijd 10 minuten
Aantal ozon-generatoren	3	3	1 redundant
Ozon inbreng	diffusors (bellenkolom)	diffusors *)	Lagere investering Lagere expl. Kosten Minder risico op Bromaat
Ozon productie	zuurstof (l)	Pilot: uit lucht Ontwerp: zuurstof *)	
Ozon diffusors en verdeelsysteem	174 diffusors verdeeld in 6 verdeelsystemen	vergelijkbaar	Verdeeld over beide reactoren
Zandfilter	1650 m ³ /h Renoveren (900.000 euro)	3000 m ³ /h Investering € 25 mln	GL nieuw 15 mln euro

*) Aarle-Rixtel: voorlopige aanname