

ROBUUSTE BEMONSTERINGSMETHODE VOOR RWZI'S OM VERWIJDERINGS- RENDEMENTEN VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN TE BEPALEN



RAPPORT

2023
45

ROBUUSTE BEMONSTERINGSMETHODE VOOR RWZI'S
OM VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN ORGANISCHE
MICROVERONTREINIGINGEN TE BEPALEN

RAPPORT

2023

45

ISBN 978.94.6479.040.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Els Schuman – LeAF
Mirabella Mulder – Mirabella Mulder Waste Water Management
Paul Baggerlaar – PB Icastat

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Bert Palsma – STOWA
Sandra Malgon – WBL
Manon Bechger – Waternet
Peter van Horne – Waterschap de Dommel
Frans de Bles – Waterschap Vallei en Veluwe
Annemarie Kramer – Waterschap Rijn en IJssel
Anja Derksen – AD Eco Advies
Maaïke Hoekstra – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Bernadette Lohman – Waterschap Zuiderzeeland
Robert Kras – Waterschap Aa en Maas
Gerard Rijs – RWS-WVL
John Koop – Waterschap Hunze en Aa's
Mariska Ronteltap – Hoogheemraadschap Delfland

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2023-45
ISBN 978.94.6479.040.5

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

TEN GELEIDE

STOWA onderzoekt samen met de waterschappen en het Ministerie van IenW hoe de verwijdering van organische microverontreinigingen (micro's) door rwzi's verhoogd kan worden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren. Voor het verhogen van de zuiveringsprestatie zullen aanvullende technologieën nodig zijn. Om deze doelmatig te ontwerpen is gedegen inzicht nodig in de huidige prestaties van de rwzi's. Actiefslibsysteemen verwijderen immers ook al gedeeltelijk microverontreinigingen. Als goed inzichtelijk is wat de zuiveringsprestatie van een rwzi in de huidige situatie is, kan ook goed worden vastgesteld welke verwijdering nog extra moet worden behaald met een aanvullende, nieuw te realiseren technologie op de rwzi. Een over- of ondercapaciteit kan op deze manier zoveel mogelijk worden voorkomen. Daarnaast kan het overall rendement van het actiefslibstelsysteem en de aanvullende zuivering in de nieuwe situatie dan zo goed mogelijk worden gemonitord en geëvalueerd.

Uit dit onderzoek blijkt dat de prestaties van bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) en van technologieën voor vergaande verwijdering van micro's niet correct worden gemeten; er worden fouten gemaakt in de bemonstering van influenten en effluënten van rwzi's. Zonder effectieve en efficiënte monitoring (monsternamen, dataverwerking, analyse, rapportage, en dergelijke) is het niet mogelijk om een effectieve invulling te geven aan een kerntaak van waterschappen: zorgen voor schoon water. De oorzaken van de geconstateerde fouten zijn een systeemfout in de bemonstering en de invloed van regenweer. Maar ook te weinig aandacht - en dus tijd en geld - voor betrouwbare monsternamen. Hierdoor ontstaan problemen om te voldoen aan de toekomstige EU-richtlijn Stedelijk Afvalwater op het gebied van verwijdering van medicijnresten en andere organische microverontreinigingen. Los daarvan is een grote investering op een rwzi zonder voldoende zicht op het effect van die investering geen goed idee.

Op basis van dit onderzoek wordt een nieuwe monsternamenmethode voorgesteld op basis van mengmonsters. Hiermee worden nagenoeg alle spreidingsbronnen, die gevonden zijn in dit STOWA-onderzoek, sterk beperkt. Deze methode geeft een flinke kwaliteitsimpuls aan de berekende verwijderingsrendementen waardoor deze representatief kunnen worden berekend. Alhoewel er veel aandacht en tijd is gestoken in het betaalbaar en pragmatisch maken van deze nieuwe methode, zal de aangepaste werkwijze en inzet van personeel de nodige aanpassingen en aandacht vergen. Momenteel wordt deze methode daarom uitgewerkt in een praktische werkinstructie. Hierbij is aandacht voor type monsternamenkasten, logistiek en opslag van monsters, vereiste werkzaamheden en verdeling hiervan tussen waterschap en laboratorium, benodigde personele capaciteit, etcetera. Met deze werkinstructie kunnen de waterschappen met (plannen voor) demo's om vergaand micro's te verwijderen, aan de slag onder het motto 'lerend implementeren'. Door al lerende te doen kan de methode worden geoptimaliseerd.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

INLEIDING

STOWA onderzoekt samen met de waterschappen en het Ministerie van IenW hoe de verwijdering van organische microverontreinigingen (micro's) door rwzi's verhoogd kan worden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren. Voor het verhogen van de zuiveringsprestatie zullen aanvullende technologieën nodig zijn. Om deze doelmatig te ontwerpen is gedegen inzicht nodig in de huidige prestaties van de rwzi's. Actiefslibsystemen verwijderen immers ook al gedeeltelijk microverontreinigingen. Als goed inzichtelijk is wat de zuiveringsprestatie van een rwzi in de huidige situatie is, kan ook goed worden vastgesteld welke verwijdering nog extra moet worden behaald met een aanvullende, nieuw te realiseren technologie op de rwzi. Een over- of ondercapaciteit kan op deze manier zoveel mogelijk worden voorkomen. Daarnaast kan het overall rendement van het actiefslibstelsysteem en de aanvullende zuivering in de nieuwe situatie dan zo goed mogelijk worden gemonitord en geëvalueerd.

Om het rendement van actiefslibsystemen eenduidig te kunnen vaststellen zijn robuuste bemonsteringsmethoden noodzakelijk. Uit diverse reeds uitgevoerde onderzoeken blijkt, dat er een grote mate aan variatie in verwijderingsrendementen tussen rwzi's is, maar ook in verschillende monsters genomen op verschillende dagen op dezelfde rwzi. Bovendien is er vaak geen verklaring voor de waargenomen spreiding in de verwijderingsrendementen. Daarnaast blijkt er geen goed beeld te bestaan van de variabiliteit van de concentraties van microverontreinigingen in het influent en effluent tussen de rwzi's onderling, maar ook niet in de tijd per afzonderlijke rwzi. Voorliggend onderzoek is uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in de verwijdering van de microverontreinigingen door de rwzi en de invloeden daarop, en op basis hiervan te komen tot een robuuste bemonsteringsmethode voor het bepalen van het verwijderingsrendement van microverontreinigingen.

De volgende twee doelen zijn in dit onderzoek opgesteld:

1. Spreidingsbronnen onderzoeken en, indien mogelijk, nagaan hoe de bijdrage ervan aan de spreiding van het verwijderingsrendement van gidsstoffen¹ kan worden vermindert.
2. Op basis van de inzichten over de spreidingsbronnen te komen tot een robuuste bemonsteringsmethode die representatieve en betrouwbare resultaten oplevert, zodat voldoende inzicht ontstaat in het verwijderingsrendement van micro's door actief slib, maar die ook praktisch goed uitvoerbaar is tegen acceptabele kosten.

OPZET PROJECT

In dit project zijn in totaal 10 bemonsteringsrondes uitgevoerd op in totaal 7 verschillende rwzi's waarbij op achtereenvolgende dagen van ruim een week dagmonsters zijn genomen en geanalyseerd op gidsstoffen en diverse macroparameters. Daarnaast zijn meetgegevens van deze rwzi's die beschikbaar waren bij de waterschappen verzameld en geïnterpreteerd.

Met deze resultaten is van de volgende factoren onderzocht wat de bijdrage ervan is aan de spreiding van het verwijderingsrendement van de gidsstoffen en indien mogelijk, hoe die zou kunnen worden vermindert:

- 1 Door de STOWA en het Ministerie van IenW zijn 11 organische microverontreinigingen aangewezen als gidsstoffen. Deze gidsstoffen worden gebruikt om de verwijderingsrendementen van bestaande en nieuwe technologieën te evalueren.

1. De bemonsteringsfout
2. De fout in de chemische analyse
3. Invloed van regenweeraanvoer (RWA)
4. Temperatuursinvloed

1. ONZEKERHEID IN DE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DOOR HET BEMONSTEREN

Het nemen van monsters is een vak dat precisie en aandacht vereist. Waarschijnlijk is de spreiding die door bemonstering wordt veroorzaakt groter dan nu wordt opgegeven door de laboratoria. Maar hoeveel deze spreiding is, kan niet worden gesteld. In dit onderzoek is getracht de spreiding zo klein mogelijk te houden door een schouw uit te voeren van de bemonsteringsapparatuur voorafgaand aan de bemonsteringen op basis waarvan meestal een aantal verbeteringen konden worden doorgevoerd. Verder zijn de bemonsteringen uitgevoerd door dezelfde monsternemer van het externe laboratorium Aqualysis.

2. DE ONZEKERHEID IN DE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DOOR DE CHEMISCHE ANALYSE

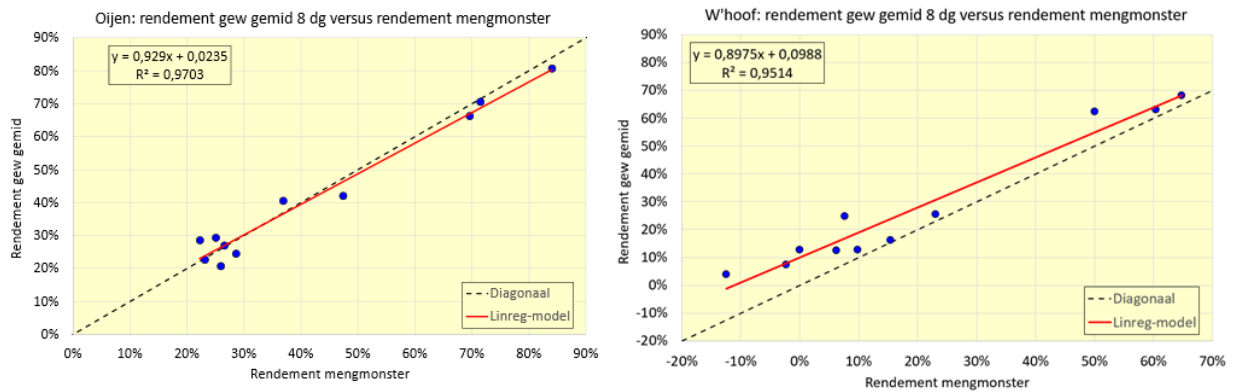
De invloed van meetonzekerheid van de chemische analyse op de onzekerheid in het verwijderingsrendement is afhankelijk van de variatiecoëfficiënt van de herhaalbaarheid (VC_r), ervan uitgaande dat het influent- en effluentmonster in dezelfde batch worden geanalyseerd. De VC_r kan per analytisch laboratorium verschillen. Bij hoge verwijderingsrendementen speelt de VC_r slechts een beperkte rol in de rendementsbepaling en is de meetonzekerheid van het rendement relatief klein. Hoe lager het rendement, hoe groter de rol van de VC_r in de onzekerheid van het verwijderingsrendement. Bij lage rendementen zal er dus meer variatie in de rendementen zijn door de invloed van de meetonzekerheid dan bij hoge rendementen.

Bij deze studie is ook nagegaan in hoeverre het uitmaakt als het verwijderingsrendement van een bepaalde stof wordt afgeleid op basis van analyses van series dagmonsters van influent en effluent, of op basis van daaruit samengestelde mengmonsters. De meetonzekerheid van de concentratie van een mengmonster over n dagen is groter dan die van het gemiddelde van n dagmonsters. Dit komt door het uitmiddelen van de onzekerheid bij de n dagmonsters. Daar staat echter tegenover dat het analyseren van een mengmonster minder kosten geeft dan het analyseren van n dagmonsters. In het rendementstraject hoger dan 50% blijkt het verwijderingsrendement bepaald met mengmonsters van influent en effluent slechts weinig af te wijken van dat bepaald met een aantal dagmonsters van influent en effluent, gemiddeld minder dan 1-2% en hooguit 4 procentpunt. Naarmate de absolute waarde van het rendement dichter bij nul ligt, blijken de afwijkingen groter. In dit onderzoek was het verschil tussen het verwijderingsrendement van het mengmonster en dat van het gemiddelde van een aantal dagmonsters bij rendementen tussen de 0-50%, gemiddelde minder dan 6 procentpunt met een uitschieter voor Wervershoof van 17% bij verwijderingsrendementen kleiner dan 10%. Dit sluit aan op de constatering dat de onzekerheid van een rendement toeneemt naarmate zijn absolute waarde dichter bij nul ligt. De resultaten van Oijen en Wervershoof zijn ter illustratie weergegeven in Figuur S.1.

Bovenstaande conclusie geldt alleen voor mengmonsters die gemaakt zijn van dagmonsters die op achtereenvolgende dagen zijn genomen en dus niet in het algemeen.

FIGUUR S.1

SPREIDINGSDIAGRAMMEN VAN DE MET TWEE METHODEN GESCHATTE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN, VOOR TWEE VAN DE ZES RWZI'S. WEERGEGEVEN ZIJN DE TWEE RWZI'S WAARBIJ HET VERSCHIL TUSSEN BEIDE METHODES HET KLEINST WAS (OIJEN) EN HET GROOTST (WERVERSHOOF). HET BETREFT HET SPREIDINGSDIAGRAM VAN HET RENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT HET DEBIETGEWOGEN GEMIDDELTE VAN 8 INFLUENT- EN EFFLUENTMONSTERS VERSUS HET RENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT HET DEBIETGEWOGEN MENGMONSTER VAN HET INFLUENT EN EFFLUENT OVER 8 DAGEN. TEVENS IS WEERGEGEVEN HET LINEAIRE REGRESSIEMODEL VOOR DE RELATIE TUSSEN DE TWEE RENDEMENTEN (RODE LIJN) EN DE DIAGONAAL (ZWARTE STIPPELLIJN). ALS DE TWEE RENDEMENTEN GELIJK ZIJN ZAL HUN DATAPUNT OP DEZE DIAGONAAL LIGGEN. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE GRAFIEKEN EN DE RESULTATEN DE HOOFDTEKST IN PARAGRAAF 5.5



3. INVLOED VAN RWA OP DE ONZEKERHEID IN HET VERWIJDERINGSRENDEMENT

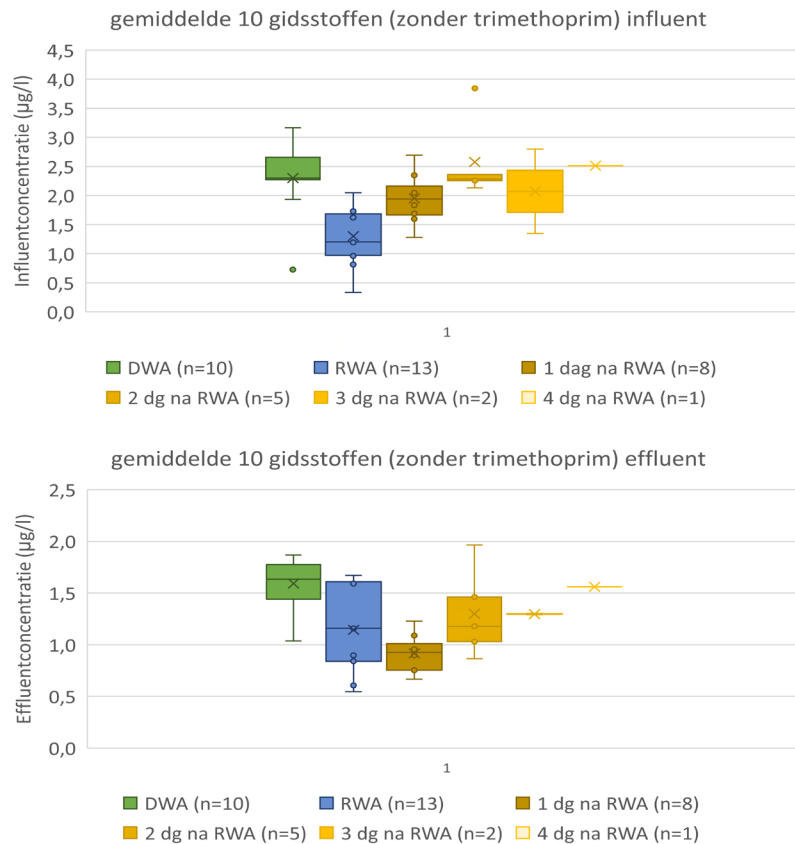
Het onderzoek naar de spreidingsbron regenweeraanvoer oftewel 'RWA' laat zien dat dit een belangrijke factor kan zijn voor de spreiding van verwijderingsrendementen. RWA leidt tot een verlaging van de concentratie microverontreinigingen. Na een RWA-periode is de effluentconcentratie nog steeds enkele dagen verlaagd. Het verschilt per rwzi hoelang de concentratie nog beïnvloed wordt na een RWA-periode. Bij de beschouwde drie rwzi's kon deze periode niet exact worden vastgesteld maar was er sprake van een verlaagde effluentconcentratie van tenminste 1 dag voor rwzi Hoensbroek, ongeveer 2-3 dagen voor rwzi Hapert tot ongeveer 3-4 dagen voor rwzi Oijen. Bij de verschillen hierin spelen waarschijnlijk de hydraulische verblijftijd op de rwzi en de ledigingstijd van het rioolstelsel een rol. Afhankelijk van de rwzi kan ook de influentconcentratie nog zijn verlaagd nadat de RWA-periode voorbij is. Bij rwzi Hapert duurde dit tot 1 dag na de RWA-dag, bij rwzi Hoensbroek was hier geen sprake van. Ter illustratie zijn de resultaten van rwzi Hapert in Figuur S.2 weergegeven.

De resultaten van zowel rwzi Hapert als Oijen laten zien dat er *tijdens* een korte RWA-periode van een tot twee aaneengesloten RWA-dagen een onderschatting van het rendement kan optreden en vlak *na* een RWA-periode kan door het na-ijl effect van RWA op het effluent een overschatting van het rendement optreden, voornamelijk als een gidsstof slecht wordt verwijderd.

Een van de doelen van dit onderzoek was om te bepalen wat het verwijderingsrendement is van de gidsstoffen tijdens RWA. Echter, dit bleek niet goed mogelijk met de beschikbare meetgegevens, door de zeer wisselende omstandigheden tijdens RWA.

FIGUUR S.2

BOXPLOTS VAN DE CONCENTRATIE VAN GIDSSTOFFEN (GEMIDDELTE CONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN ZONDER TRIMETHOPRIM) OP DWA- EN RWA-DAGEN OP RWZI HAPERT. DE BOVENSTE GRAFIEK GEEFT DE INFLUENTCONCENTRATIE WEER EN DE ONDERSTE DE EFFLUENTCONCENTRATIE. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE VERSCHILLENDE GROEPEN EN DE RESULTATEN DE HOOFDTEKST IN PARAGRAAF 6.2.2. TRIMETHOPRIM IS WEGGELATEN OMDAT DEZE GIDSSTOF BIJ RWZI HAPERT SOMS IN ZEER HOGE CONCENTRATIES WORDT GEMETEN (> FACTOR 20 HOGER DAN GEBRUIKELIJK)



4. TEMPERAATUURSINVLOED OP HET VERWIJDERINGSRENDEMENT

Onderzocht is of er een correlatie is tussen de temperatuur in de actief slibtank en het verwijderingsrendement van een gidsstof. Van de drie rwzi's Hoensbroek, Hapert en Horstermeer waren er voldoende meetgegevens om hier een eerste analyse van te doen. Voor alleen de gidsstof Trimethoprim is bij Horstermeer en Hoensbroek een statistisch significante correlatie gevonden tussen de temperatuur en het verwijderingsrendement, waarbij geldt dat bij toenemende temperatuur het verwijderingsrendement ook toeneemt. Tussen de drie onderzochte rwzi's zijn verschillen waargenomen. In het geval van Horstermeer lijkt er een verband te zijn voor meerdere stoffen met temperatuur, maar dit is niet bevestigd door de andere rwzi's. Vanwege deze verschillen, en ook omdat een correlatie niet per se betekent dat er een causaal verband is, kan op basis van deze data niet hard worden gemaakt dat de temperatuur daadwerkelijk de verwijdering van enkele gidsstoffen beïnvloedt. Echter, de data laten wel zien dat het niet uit te sluiten is dat de temperatuur, of hieraan gerelateerde factoren, een effect heeft op de verwijdering van sommige gidsstoffen.

CORRELATIE GIDSSTOFFEN EN MACROPARAMETERS

Er is met lineaire regressie onderzocht of en zo ja, welke macroparameters correleren met de gidsstoffen in periodes met RWA. Mogelijk dat er macroparameters zijn die een indicatie kunnen geven of er sprake is van RWA in het influent of effluent, dit zou analyses van gidsstoffen kunnen uitsparen. Het debiet is hierbij ook als parameter meegenomen. In 4 bemonsteringsrondes uitgevoerd op 4 verschillende rwzi's was er sprake van zowel RWA-

als DWA-dagen. De resultaten van deze bemonsteringsrondes zijn gebruikt om de correlatie tussen gidsstoffen en macroparameters tijdens periodes met RWA te bepalen.

- De hoogste correlatie tussen macroparameters en het gemiddelde van de 11 gidsstoffen in het **influent** bij deze 4 bemonsteringsrondes zijn gevonden voor de DOC en het debiet. Deze correlaties waren bij alle 4 de rwzi's statistisch significant. Het debiet wordt nu al gebruikt als indicator voor RWA. Vanwege de gevonden correlatie met DOC zou deze macroparameter ook tenminste net zo geschikt kunnen zijn als indicator voor RWA in het influent. Opgemerkt wordt dat hier alleen gekeken is naar correlaties in relatief korte periodes van 8-14 dagen. Of de correlaties ook het hele jaar door van toepassing zijn is niet onderzocht.
- Er is vooralsnog geen algemeen geldende indicator gevonden om de aanwezigheid van RWA in het effluent te kunnen bepalen. Het analyseren van de gidsstoffenconcentratie zelf blijft dus nodig om vast te stellen of en tot hoelang deze wordt beïnvloed door RWA. De beste correlatie tussen RWA in het effluent met de concentratie gidsstoffen is gevonden voor de DOC. Echter in het geval van één rwzi (rwzi Hoensbroek) was deze correlatie niet statistisch significant tijdens de bemonsteringsronde en dus kan op basis van deze data niet worden gesteld dat de correlatie algemeen geldend is.

VOORSTEL NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE

Om alle spreidingsbronnen te kunnen dempen die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen, zou moeten worden overgegaan op het nemen en analyseren van vele 24-uurs monsters. Hiervoor zou dan aangesloten kunnen worden bij de huidige bemonsteringsfrequentie van macro's per grootte van rwzi. Dit betekent minimaal 60 monsters per jaar. Dit leidt tot zeer hoge kosten en het is niet goed bekend in hoeverre de spreidingsbronnen dan voldoende goed gedempt worden. In dit onderzoek is gestreefd naar een betaalbare praktische nieuwe bemonsteringsmethode.

Voor deze nieuwe methode is gekozen voor het analyseren van mengmonsters bestaande uit meerdere dagmonsters. De resultaten van de 8-daagse mengmonsters in dit onderzoek staan aan de basis bij deze keuze. Ook is als uitgangspunt genomen dat monsters genomen op RWA-dagen en op de eerste dagen na een RWA-periode niet worden meegenomen vanwege de grote beïnvloeding hiervan op het verwijderingsrendement. Daarnaast worden meerdere bemonsteringen uitgevoerd gedurende het jaar om zo goed mogelijk eventuele temperatuurs- en/of seizoensinvloeden mee te kunnen nemen. Het nieuwe voorstel wordt hieronder samengevat:

- Elke 8 weken 24h simultane debietsproportionele monsternamen van het influent van de rwzi en het effluent van de rwzi gedurende 14 aaneengesloten dagen.
- De reguliere bemonstering voor macro's conform vergunning loopt mee, er wordt alleen meer monstervolume verzameld*.
- Monsternemers controleren conform NEN-6600-1 dat er een correcte bemonstering is uitgevoerd (klopt aantal pulsen met debiet, wegen monster).
- 24h influent en effluent monsters worden ingevroren in het lab.
- Na 14 dagen bemonsteringsperiode worden DWA-monsters geselecteerd.
- DWA-monsters worden debietsproportioneel opgemengd in het lab**.
- Het mengmonster influent en effluent wordt geanalyseerd op de gidsstoffen.

*NB1: de reguliere bemonstering kan meelopen in bovenstaand schema. Hierbij is wel wat afstemming nodig met het lab bij het starten van deze methode, maar deze zou daarna automatisch kunnen worden afgewikkeld door apart gelabelde flessen te vullen voor de macro's en micro's.

**NB2: bij de bemonstering dient (ook in de huidige situatie) al gecontroleerd te worden of het monstervolume klopt met het aantal pulsen, oftewel het debiet; het apart doorgeven van debieten is dus niet nodig voor het opmengen.

Dringend advies aanschaf 4-vaten monsternamekasten: Er wordt aanbevolen om monsternamekasten met 4 vaten toe te passen. Dit om de inspanning vanuit monsterneming te beperken (monsternamekasten met 1 vat zijn niet geschikt, monsternamekasten met 2 vaten wel maar dan dient elke dag een monster te worden genomen in plaats van 1 keer per 3 à 4 dagen bij toepassing van een 4-vaten monsternamekast; dit laatste is wenselijk omdat de bemonstering gedurende 14 dagen over het weekend heen gaat).

Afkeuring van een bemonstering: Het is mogelijk dat het in een 14-daagse bemonsteringsperiode te vaak regent en dat er nog maar weinig DWA-monsters overblijven. In dit geval dient er herbemonsterd te worden in de maand volgend op de mislukte bemonstering of indien mogelijk nog enkele dagen toevoegen aan de 14-daagse bemonsteringsperiode. In Tabel 1.1 is aangegeven wanneer een bemonstering niet voldoet.

TABEL 1.1

AFKEURING BEMONSTERING

	Aantal dagmonsters in 14-daags mengmonster
Verblijftijd rwzi 1 dag	≤ 8
Verblijftijd rwzi 2 dagen of langer	≤ 6

De voorgestelde bemonsteringsmethode zal verder moeten worden uitgewerkt in een werkinstructie waarbij ook aanvullende (praktische) input vanuit de waterschappen zal worden meegenomen. Aandachtspunten zijn de benodigde extra personele capaciteit en apparatuur zoals typen monsternamekasten en debietmeters, benodigde afstemming en logistiek tussen rwzi en lab inclusief mogelijkheden van tussentijds koelen, invriezen en andere opslag, maar ook de procesinstellingen onder RWA en DWA-condities. E.e.a. valt of staat met een goede werking van de monstername-apparatuur welke afhankelijk is van adequaat onderhoud, servicing en schoonmaak en een correcte monstername. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat dit niet altijd naar behoren wordt uitgevoerd. Daarnaast komt nog de afstemming met andere analyses en daarvoor benodigde monsternames om de hoek komen kijken en daarvoor benodigd (extra) monsternamevolume. Ook deze onderwerpen dienen te worden meegenomen in de nieuw op te stellen werkinstructie. Het opstellen van deze werkinstructie is geen onderdeel van dit onderzoek.

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.

ROBUUSTE BEMONSTERINGSMETHODE VOOR RWZI'S OM VERWIJDERINGS- RENDEMENTEN VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN TE BEPALEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
	INHOUD	
1	INLEIDING	1
	1.1 Noodzaak voor inzicht in verwijderingsrendement op rwzi	1
	1.2 Bestaande bemonsteringswijzen voor bepaling verwijderingsrendement op rwzi	2
	1.3 Doel voorliggend onderzoek	2
	1.4 Korte beschrijving opzet van het onderzoek	3
	1.5 Leeswijzer	3
	1.6 Definities	4
2	VOORSTEL NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE VOOR BEPALING VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN	5
	2.1 Knelpunten huidige bemonsteringsmethode	5
	2.2 Voorstel nieuwe bemonsteringsmethode	7
3	OPZET ONDERZOEK	12
	3.1 Rwzi's	12
	3.2 Bemonsteringen uitgevoerd in dit project	13
	3.3 Extra meetgegevens	14
	3.4 Analyses gidsstoffen en macroparameters	15
4	ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT DOOR BEMONSTEREN	16
5	ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT DOOR CHEMISCHE ANALYSE	18
	5.1 Enkele definities	18
	5.2 Relevante foutenbron bij bepaling verwijderingsrendement	19
	5.3 Wat kan VC _r verklaren van concentratievariaties tijdens DWA?	20

5.4	Invloed meetonzekerheid op verwijderingsrendement	22
5.5	Onzekerheid verwijderingsrendement mengmonster en dagmonsters	23
6	INVLOED RWA OP ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT	27
6.1	Inleiding	27
6.2	Invloed op influent- en effluentconcentratie gidsstoffen	28
6.2.1	(Veel) grotere variatie in concentratie tijdens periodes met RWA: voorbeeld rwzi Hapert en Hoensbroek	28
6.2.2	RWA kan tot enkele dagen na een RWA-periode invloed hebben op het effluent	30
6.3	Invloed op verwijderingsrendement gidsstoffen	35
6.3.1	Rwzi Hapert, voorbeeld RWA-invloed op het verwijderingsrendement	35
6.3.2	Rwzi Oijen, voorbeeld RWA-invloed op het verwijderingsrendement ná de RWA-periode	36
6.3.3	Samenvatting	38
6.4	RWA/DWA-grens	38
6.5	Kansen op DWA-dagen in een 14-daagse periode	42
7	TEMPERATUURSINVLOED OP HET VERWIJDERINGSRENDEMENT	44
7.1	Inleiding	44
7.2	Rwzi Horstermeer: meerdere gidsstoffen laten een significante correlatie zien tussen temperatuur en verwijderingsrendementen	44
7.3	Rwzi Hapert: correlatie gidsstoffen en temperatuur niet duidelijk	45
7.4	Rwzi Hoensbroek: duidelijke correlatie tussen temperatuur en verwijdering trimethoprim	46
7.5	Conclusies temperatuursinvloed op verwijderingsrendement gidsstoffen	47
8	CORRELATIE MACROPARAMETERS EN GIDSSTOFFEN	48
8.1	Inleiding	48
8.2	Correlatie macroparameters en gidsstoffen in het influent	49
8.3	Correlatie macroparameters en gidsstoffen in het effluent	51
9	CONCLUSIES	53
BIJLAGE 1	DAGDEBIETEN TIJDENS DE BEMONSTERINGSRONDES IN 2020 EN 2022/2023	58
BIJLAGE 2	VARIATIE IN INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE TIJDENS DWA	60
BIJLAGE 3	CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN - GRAFIEKEN	62
BIJLAGE 4	CONCENTRATIES EN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN GIDSSTOFFEN OP RWZI OIJEN NA DE LAATSTE RWA-DAG TIJDENS DE BEMONSTERINGSRONDE	73
BIJLAGE 5	VERWIJDERINGSRENDEMENTEN GIDSSTOFFEN - SIMULTANE BEMONSTERING	77
BIJLAGE 6	ENKELE RESULTATEN MET EEN MODELERING VAN EEN GEMENGDE TANK	98
BIJLAGE 7	CORRELATIECOËFFICIËNTEN GIDSSTOFFEN EN MACROPARAMETERS	99

1

INLEIDING

STOWA onderzoekt samen met de waterschappen en het Ministerie van IenW hoe de verwijdering van organische microverontreinigingen (micro's) door rwzi's verhoogd kan worden om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren.

Deze aanpak wordt gedreven door het feit, dat circa 100 van de 314 huidige rwzi's zogenaamde hotspots zijn voor de lozing van microverontreinigingen in het watermilieu (STOWA 2017-42). Het verhogen van de verwijdering van microverontreinigingen door deze rwzi's leidt tot een aanzienlijke verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Voor het realiseren van geïntegreerde of nageschakelde verwijderingstechnieken voor vergaande verwijdering van micro's van een aanvullende technologie, is inzicht nodig in de huidige prestaties van rwzi's. Alleen dan kan ook de aanvullende zuivering doelmatig worden ontworpen, gemonitord en geëvalueerd². Deze beweging leidt tot de behoefte aan een robuuste methode om de verwijdering van microverontreinigingen te kunnen vaststellen. Actiefslibsystemen verwijderen immers ook al gedeeltelijk microverontreinigingen.

1.1 NOODZAAK VOOR INZICHT IN VERWIJDERINGSRENDEMENT OP RWZI

Gedurende dit onderzoek zijn er *drie doelen vastgesteld* waarvoor het noodzakelijk is om inzicht te hebben in het actief slib verwijderingsrendement van een rwzi op het gebied van organische microverontreinigingen:

1. Dimensionering hydraulische capaciteit nageschakelde technologieën: deze hangt in sterke mate af van **rendement rwzi (actief slib)**, keuze hydraulische bypass, hydraulische capaciteit nabehandeling en de benodigde dosering van het actief kool of ozon.
2. Monitoring emissies naar oppervlaktewater
 - a. Keuze rwzi's (herijking hotspots) op basis van **rendement rwzi (actief slib)**,
 - b. Emissies voor (= **rendement rwzi (actief slib)**) en na realisatie uitbreidingen.
3. Toetsing prestaties na inbedrijfname: optimalisatie effluentkwaliteit vs. kosten: (waaronder vastlegging prestaties voor bijdrageregeling Min IenW en in de toekomst de herziene EU richtlijn 'Behandeling van stedelijk afvalwater')
 - a. PACAS: **rendement rwzi (actief slib)** voor en na aanpassing,
 - b. nageschakeld: rendement nabehandeling i.c.m. rendement rwzi (actief slib).

Om het rendement van actiefslibsystemen eenduidig te kunnen vaststellen zijn robuuste analyse- en bemonsteringsmethoden noodzakelijk. Uit diverse onderzoeken blijkt, dat er een grote mate aan variatie in verwijderingsrendementen tussen rwzi's is, maar ook in verschillende monsters genomen op verschillende dagen op dezelfde rwzi³. Bovendien is er vaak geen verklaring voor de waargenomen spreiding in de verwijderingsrendementen. Daarnaast blijkt er geen goed beeld te bestaan van de variabiliteit van de concentraties van microver-

- 2 STOWA 2020-06 Verwijdering van organische microverontreinigingen: handvatten voor de keuze van behandelings-techniek in combinatie met de benodigde hydraulische capaciteit, 2020.
- 3 Influent- en effluentbemonsteringen rwzi Papendrecht (PACAS-onderzoek; STOWA 2018-02), awzi de Groote Lucht (pilotonderzoek zoetwaterfabriek; STOWA 2018-46); rwzi Aarle Rixtel (pilot onderzoek vergelijking oxidatieve technieken; STOWA 2020-41), rwzi Simpelveld (voorbereiding PACAS-proef Nereda), rwzi Horstermeer, rwzi Bennekom en het Rijn-Oost onderzoek (18 rwzi's).

ontreinigingen in het influent en effluent tussen de rwzi's onderling, maar ook niet in de tijd per afzonderlijke rwzi.

1.2 BESTAANDE BEMONSTERINGSWIJZEN VOOR BEPALING VERWIJDERINGSRENDEMENT OP RWZI

In de huidige zuiveringspraktijk wordt er voor verschillende capaciteiten van rwzi's verschillend bemonsterd voor macronutriënten. Kleine rwzi's mogen tijdsproportioneel worden bemonsterd, grotere rwzi's debietsproportioneel. Hoe groter de rwzi hoe meer monsters er per jaar moeten worden genomen. Wat voor alle rwzi's gelijk is dat de influent en effluent bemonstering simultaan wordt gestart en dat de bemonstering 24 uur duurt. Dus om bijvoorbeeld 08.00 start de influentkast en tegelijkertijd om 08.00u de effluentkast. Een vat wordt gevuld, het volume verschilt naar gelang de aanvoer van die dag. Uit deze vaten wordt de volgende dag een monster "geschept". Daarna worden de vaten geleegd en gereinigd. Deze bemonstering vindt plaats conform NEN 6600-1.

Deze huidige wijze van bemonstering houdt geen rekening met de hydraulische verblijftijd van het afvalwater in een rwzi. Hiermee wordt bedoeld dat er een zogenaamde "behandeltijd" is van een m³ influent die binnenkomt op een rwzi. Dus op hetzelfde moment verlaat niet dezelfde m³ water een rwzi als dat er binnenkomt.

Het effect van de hydraulische verblijftijd is met name van belang als een stof in variërende concentratie aanwezig is in het influent, bijvoorbeeld door variatie in hoeveelheid die wordt geloosd tijdens droogweeraanvoer of verdunning door regenweeraanvoer. Als er geen rekening wordt gehouden met de verblijftijd kan dit bij variërende influentconcentraties leiden tot onnauwkeurigheden in de berekende verwijderingsrendementen. Dit zal met name het geval zijn als de stof slecht wordt verwijderd.

In de huidige werkinstructie voor de bepaling van het verwijderingsrendement van medicijnresten in rwzi-afvalwater⁴ is opgenomen dat de bemonstering moet plaatsvinden over 48 uur, rekening houdend met de verblijftijd in de rwzi door de effluentbemonstering 24 uur later te starten dan de influentbemonstering. Hiermee wordt dus een gemiddelde verblijftijd in een rwzi van 24 uur gehanteerd. Ook tijdens RWA kan worden bemonsterd, maar indien de daggemiddelde verhouding RWA/DWA hoger is dan circa 1,35 wordt de bemonstering afgekeurd. Deze bemonsteringswijze wordt momenteel toegepast voor demo's en pilots die plaatsvinden binnen het Innovatie Programma Microverontreinigingen uit Afvalwater van de STOWA en het Ministerie van IenW. Deze wijze wijkt af van de huidige 24 uur simultane bemonsteringswijze en kan leiden tot extra inspanningen en investeringen in monsternakasten van de waterschappen. Met deze werkinstructie is ondertussen beperkt ervaring opgedaan. Naast dat de methode ingewikkeld wordt gevonden, zijn er ook vragen over de correctheid en nauwkeurigheid. In dit onderzoek is daarom nader onderzoek gedaan naar een robuuste en representatieve wijze van bemonsteren van influenten en effluenten van rwzi's voor het bepalen van het verwijderingsrendement van micro's.

1.3 DOEL VOORLIGGENDE ONDERZOEK

De volgende twee doelen zijn in dit onderzoek opgesteld:

1. Spreidingsbronnen, dus de oorzaken van spreiding in de waarnemingen, onderzoeken en, indien mogelijk, nagaan hoe de bijdrage ervan aan de spreiding van het verwijderingsrendement van gidsstoffen kan worden verminderd.

⁴ STOWA 2021-15 Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater, koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage, 2021.

- Op basis van de inzichten over de spreidingsbronnen te komen tot een robuuste bemonsteringsmethode die representatieve en betrouwbare resultaten oplevert, zodat voldoende inzicht ontstaat in het verwijderingsrendement van micro's door actief slib om aan de doelen zoals omschreven in paragraaf 1.1 te kunnen voldoen, maar die ook praktisch goed uitvoerbaar is tegen acceptabele kosten.

De voorgestelde bemonsteringsmethode zal verder moeten worden uitgewerkt in een handreiking. Het opstellen van deze handreiking is geen onderdeel van dit onderzoek.

1.4 KORTE BESCHRIJVING OPZET VAN HET ONDERZOEK

In het begin van dit onderzoek, in 2020, is een bemonsteringscampagne uitgevoerd op 4 rwzi's waarin gedurende 9 aaneengesloten dagen 24-uursdebitproportionele influent- en effluentmonsters zijn genomen en geanalyseerd op gidsstoffen en macroparameters. Vervolgens is op verschillende manieren het verwijderingsrendement van de gidsstoffen en de macroparameters berekend en zijn de resultaten met elkaar vergeleken. De berekeningswijzen onderscheiden zich van elkaar in duur van de bemonstering (24, 48 en 72 uur) en de tijd tussen start influent- en effluentbemonstering (geen tijdsverschil, 1 dag tijdsverschil en de daadwerkelijke verblijftijd als tijdsverschil). De rendementen zijn berekend op basis van concentraties en vrachten. Bovendien is gekeken naar de verschillen tussen rwzi's, het rioleeringssysteem en wijze van aanvoer van het stedelijk rioolwater alsmede het effect van regenweeraanvoer. In 2022 en 2023 is een tweede bemonsteringscampagne uitgevoerd, ditmaal op 5 verschillende rwzi's.

Naar aanleiding van de resultaten van de eerste bemonsteringscampagne (2020) en in overleg met de BC zijn de volgende spreidingsbronnen geïdentificeerd en onderzocht in deze voorliggende rapportage:

- De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door het bemonsteren
- De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door de chemische analyse
- Invloed van RWA op de onzekerheid in het verwijderingsrendement
- Temperatuursinvloed op het verwijderingsrendement

De resultaten van de beide bemonsteringscampagnes zijn in dit onderzoek gebruikt en daarnaast is gebruik gemaakt van de door de waterschappen beschikbaar gestelde data.

1.5 LEESWIJZER

Dit rapport begint met het voorstel voor een nieuwe bemonsteringsmethode voor de bepaling van de verwijderingsrendementen van de gidsstoffen op rwzi's (hoofdstuk 2), daarna volgt de opzet van het onderzoek (hoofdstuk 3), en de resultaten van het onderzoek naar de bovengenoemde spreidingsbronnen (hoofdstuk 4, 5, 6 en 7). Vervolgens wordt in hoofdstuk 8 ingegaan op de vraag of er een macroparameter is die kan worden gebruikt als indicator voor RWA in het (gezuiverde) rioolwater. Tot slot volgen de conclusies en aanbevelingen.

1.6 DEFINITIES

Begrip	Definitie
Batch	In relatie tot de chemische analyse van een stof wordt met een batch bedoeld alle monsters die in één meetserie worden gemeten door het analytisch laboratorium
Droogweeraanvoer (DWA)	Tenzij anders vermeld, is in dit rapport de definitie van een DWA-dag, een dag waarop het influentdebiet <i>kleiner</i> is dan 1,2 x (gemiddelde droogweeraanvoer + standaardafwijking) ⁵ of: 1,3 x mediaan dagdebiet ⁶
Gidsstoffen	De 11 organische microverontreinigingen die door de STOWA en het Ministerie van IenW zijn aangewezen voor de monitorings- en meetcampagnes van de bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten' van het Ministerie van IenW en Innovatie Programma Microverontreinigingen uit RWZI-afvalwater (IPMV). Dit betreffen benzotriazool, som 4- en 5- methylbenzotriazool, carbamazepine, diclofenac, gabapentinen, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, sotalol, trimethoprim en venlafaxine.
Pure DWA-dagen	Met "pure" DWA-dagen wordt bedoeld dat de betreffende dag voldoet aan de definitief van een DWA-dag (zoals hierboven omschreven) én dat er geen of weinig invloed van een eerdere RWA-dag is op de gidsstoffenconcentratie in influent en effluent. Dit betekent dat er vaak ook tot enkele dagen voor de betreffende dag sprake moet zijn van DWA.
Macroparameters	Parameters zoals Biologisch Zuurstofverbruik (BZV), Chemisch Zuurstofverbruik (CZV), Total Organic Carbon (TOC), Dissolved Organic Carbon (DOC) en stikstof- en fosfaatverbindingen.
Micro's / microverontreinigingen	Specifiek in dit rapport wordt met de term micro's bedoeld de organische microverontreinigingen in influenten en effluenten van rwzi's.
Regenweeraanvoer (RWA)	Tenzij anders vermeld, is in dit rapport de definitie van RWA of een RWA-dag als volgt: Het is RWA als het dagdebiet <i>groter</i> is dan: 1,2 x (gemiddelde droogweeraanvoer + standaardafwijking) ⁵ of: 1,3 x mediaan dagdebiet ⁶ .
Spreadingsbronnen	De oorzaken van spreiding in de waarnemingen

5 Voor een uitleg over hoe de gemiddelde droogweeraanvoer en de standaardafwijking ervan moeten worden bepaald wordt verwezen naar STOWA 2021-15.

6 Het betreft in dit onderzoek de mediaan bepaald over tenminste 1 jaargang, en bij voorkeur 3 jaargangen.

2

VOORSTEL NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE VOOR BEPALING VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN

2.1 KNELPUNTEN HUIDIGE BEMONSTERINGSMETHODE

In de huidige werkinstructie voor de bepaling van het verwijderingsrendement van microverontreinigingen in rwzi-afvalwater⁷ is opgenomen dat de bemonstering moet plaatsvinden over 48 uur, waarbij de effluentbemonstering 24 uur later gestart wordt dan de influentbemonstering. Deze werkwijze is beperkt toegepast op een aantal rwzi's die deelnemen aan de bijdrageregeling vanuit 'Zuivering Medicijnresten' vanuit het Ministerie van IenW voor het realiseren van demo's en de pilots in het InnovatieProgramma MicroVerontreinigingen uit rwzi-afvalwater (IPMV). Hieruit komt het volgende naar voren:

- De bemonstering kan niet goed ingepland worden omdat deze moet plaatsvinden onder droogweer⁸. Dit betekent over het algemeen minimaal 3 dagen achter elkaar droogweer (48h tijdens de bemonstering en de dag ervoor bij rwzi's met persleidingstelsels i.v.m. nalevering van "gebufferd" verdund rioolwater). Bij regenweer moet de bemonstering worden uitgesteld en opnieuw ingepland.
- De bemonstering vergt veel inspanning omdat deze afwijkt van de reguliere bemonstering (24h simultaan) en zorgt voor fouten in de afstelling en werking van de monsternemkasten.
- De methode is in 2019 ontwikkeld om de verwijderingsrendementen nauwkeuriger te kunnen bepalen, maar interpretatie van de resultaten blijft lastig. Er is sprake van 'uitbijters' en 'negatieve rendementen' welke nu vaak weggefilterd worden in de resultaten, maar de oorzaak ligt waarschijnlijk in 'fouten' in bemonstering. In de werkinstructie is namelijk uitgegaan van 1 dag (24h) hydraulische verblijftijd in de rwzi onder droogweer omstandigheden. In de praktijk bedraagt deze verblijftijd gemiddeld 2-3 dagen voor rwzi's in NL met een spreiding van 1 tot 4,5 dagen bij zeer laag belaste installaties. Deze andere verblijftijd heeft een flinke impact op hoe moet worden bemonsterd: afhankelijk van de configuratie komt een piek in influentconcentratie namelijk pas na deze verblijftijd aan in het effluent, dit geldt ook als de stof deels wordt afgebroken in de rwzi (zie sectie 6.2.2 en bijlage 6). Oftewel een effluentbemonstering zou pas mogen starten na de daadwerkelijke verblijftijd van een rwzi en niet na de 24h conform de werkinstructie. Alleen al door deze werkwijze ontstaat een fout in de berekening van het verwijderingsrendement: zie figuur 2-1 en toelichting⁹. Deze fout is ontoelaatbaar, aangezien deze

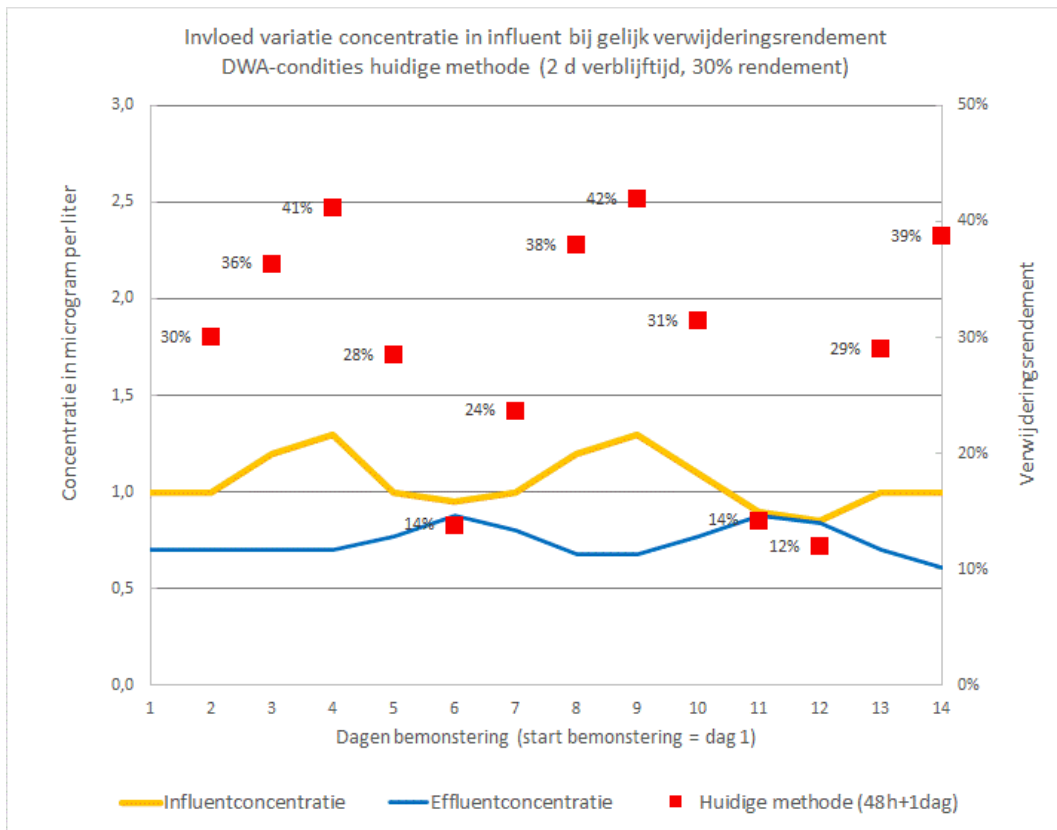
7 STOWA 2021-15 Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater, koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage, 2021.

8 Indien de daggemiddelde verhouding RWA/DWA hoger is dan circa 1,35 wordt de bemonstering afgekeurd.

9 Voor figuur 2-1 is de berekening van de invloed van de verblijftijd van 2 dagen sterk versimpeld, waarbij is uitgegaan van een combinatie van een gemengde tank en propstroomconfiguratie conform bijlage 6. In werkelijkheid zal de effluentconcentratie al licht toenemen op 1,5 dag en de volledige concentratie pas bereiken na 2,5-3,0 dagen. Deze waarden zijn modelmatig gemiddeld tot een effluentconcentratie na 2,0 dagen verblijftijd.

al theoretisch onderbouwd kan worden en een sterke ruis veroorzaakt op de behaalde verwijderingsrendementen.

INVLOED VERBLIJFTIJD OP VERWIJDERINGSRENDEMENT



Toelichting figuur 2-1: In deze figuur is puur theoretisch een influent en effluent concentratie gemodelleerd op basis van 30% verwijdering in de rwzi. Er is aangenomen dat er geen verdere invloedsfactoren of onnauwkeurigheden zijn behalve de invloed van de verblijftijd. Het verwijderingsrendement blijft altijd gelijk op 30%. Een piek of een dal in influenconcentratie wordt pas na de verblijftijd zichtbaar in het effluent. De figuur laat zien dat zelfs bij kleine concentratieverschillen van 1,0 naar 1,3 en dalingen van 1,0 naar 0,8, welke in de praktijk zeer regelmatig voorkomen en verwaarloosbaar lijken, het verwijderingsrendement conform de huidige methode sterk varieert van 12-42%. Conform de huidige werkinstructie wordt slechts 1 maal per maand bemonsterd dus elk “rood vierkantje” is in de praktijk een daadwerkelijk realistische meetwaarde. Oftewel het verwijderingsrendement wordt met deze methode 5x te hoog geschat met 4x \geq 38% en 4x te laag met uitschieters rond de 10-15%. Oftewel alleen al deze variatie levert een verwijderingsrendement op van 12-42%, in plaats van de theoretische 30%. En dan is er nog geen rekening gehouden met andere spreidingsbronnen zoals de meetonnauwkeurigheid van het lab, regenweeraanvoer, temperatuur en het al dan niet slecht of goed functioneren van de rwzi.

Om bovenstaande fout te elimineren zou rekening moeten worden gehouden met de daadwerkelijke verblijftijd op een rwzi. Maar dit betekent dat de bemonstering niet 72 uur duurt maar 96 uur tot 120 uur bij de gemiddelde 2-3 dagen verblijftijd in een rwzi¹⁰. Hierdoor wordt het nog lastiger om e.e.a. onder DWA-condities in te plannen. Dit vergt veel inspanning en afstemming met het lab. In dit rapport wordt verder aangetoond dat er niet altijd sprake is van DWA-omstandigheden conform de huidige werkinstructie. Er is ook sprake van regenweerstandigheden. Regenweer wordt namelijk in de werkinstructie

¹⁰ Voorbeeld bij 3 dagen verblijftijd: start influentbemonstering op dag 1; start effluentbemonstering 3 dagen na influentbemonstering op dag 4. Duur bemonstering 2 dagen. Totaal 5 dagen = 120 uur.

alleen bepaald op basis van het debiet tijdens de influentbemonstering. In dit rapport wordt aangetoond, dat regenweercondities langer zichtbaar zijn in het effluent. De effluentconcentraties zijn nog enkele dagen verlaagd nadat de RWA-periode voorbij is. Regenweer heeft daarbij het grootste effect op de berekening van verwijderingsrendementen van micro's door rwzi's (zie hoofdstuk 6).

Bovenstaande bevindingen kunnen niet worden verwerkt in de huidige werkinstructie. Deze wordt onwerkbaar. Voor een rwzi met 2 dagen verblijftijd zou het voorgaande betekenen, dat pas mag worden gestart met de bemonstering 3 dagen na een regenbui¹¹ en vervolgens ook een verschil in tijdsbemonstering moet toepassen van 2 dagen tussen influent en effluentkast. Oftewel voor een 48h bemonstering is een droogweeperiode nodig van minimaal 6 dagen. Met de huidige werkinstructie vallen al veel bemonsteringen “weg” vanwege het regenseizoen van november – maart. Deze periode zou dan nauwelijks meer bemonsterd worden. Echter, bij deze lage temperaturen is het ook relevant om het verwijderingsrendement bepalen, omdat temperatuur voor een aantal gidsstoffen waarschijnlijk een invloedsfactor is (zie hoofdstuk 7).

Als je toch zou willen overgaan tot aanpassing van de huidige werkinstructie, dan zal dit bovendien tot veel meer fouten leiden in de bemonstering en analyse. Monsterkasten moeten goed in de gaten worden gehouden gedurende 6 dagen, terwijl de huidige 48h bemonstering al problemen geeft en bovendien worden ook conserveringstermijnen vanuit het lab overschreden conform STOWA 2021-15, waarin influent niet langer gekoeld mag worden bewaard dan 4 dagen.

2.2 VOORSTEL NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE

In paragraaf 2.1 is aangegeven dat de huidige werkinstructie fouten met zich meebrengt in de bepaling van het verwijderingsrendement van micro's door actief slib systemen van rwzi's en daarnaast onwerkbaar is/wordt indien de inzichten vanuit dit onderzoek worden meegenomen ten aanzien van regenweerstandigheden. In het nieuwe voorstel voor een bemonsteringsmethode zijn deze aspecten meegenomen.

Om alle spreidingsbronnen te dempen, die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen, zou moeten worden overgegaan op het nemen van vele monsters. Hiervoor zou dan aangesloten kunnen worden bij de huidige bemonsteringsfrequentie van macro's per grootte van rwzi. Dit betekent minimaal 60 monsters per jaar. Dit leidt tot zeer hoge kosten. Hierbij blijft dan nog steeds de opmerking dat deze bestaande methode foute resultaten oplevert; oftewel geen ruis of onnauwkeurigheid maar gewoon fouten omdat het gemeten verwijderingsrendement niet de werkelijkheid weergeeft (zie figuur 2.1)¹². In dit onderzoek is gestreefd naar een betaalbare praktische nieuwe bemonsteringsmethode. Deze wordt hierna samengevat.

11 Ook de dag voor de bemonstering dient het droogweer te zijn i.v.m. verdunning in het rioolstelsel

12 De foutmarge van het nemen van meer monsters per jaar kan onmogelijk theoretisch worden berekend omdat hier geen onderzoek naar is gedaan. De inschatting is wel dat het actief slib rendement met meer dan een factor 2 wordt over- of onderschat. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat elk monster moet voldoen conform de huidige bijdrageregeling in Nederland en het nieuwe concept EU-voorstel stedelijk afvalwater voor micro's (oftewel geen middeling van gemeten waarden tot een jaargemiddelde; de enige reden waarom niet mag worden voldaan zijn mislukte monsternames).

Voorstel nieuwe bemonsteringsmethode:

- Elke 8 weken 24h simultane debietsproportionele monsternamen van het influent van de rwzi en het effluent van de rwzi gedurende 14 aaneengesloten dagen¹³.
- De reguliere bemonstering voor macro's conform vergunning loopt mee, er wordt alleen meer monstervolume verzameld*.
- Monsternemers controleren conform NEN-6600-1 dat er een correcte bemonstering is uitgevoerd (klopt aantal pulsen met debiet, wegen monster)
- 24h influent en effluent monsters worden ingevroren in het lab.
- Na 14 dagen bemonsteringsperiode worden DWA-monsters geselecteerd.
- DWA-monsters worden debietsproportioneel opgemengd in het lab**.
- De mengmonsters van het influent en effluent worden geanalyseerd op de gidsstoffen.

*NB1: de reguliere bemonstering kan meelopen in bovenstaand schema. Hierbij is wel wat afstemming nodig met het lab bij het starten van deze methode, maar deze zou daarna automatisch kunnen worden afgewikkeld door apart gelabelde flessen te vullen voor de macro's en micro's.

**NB2: bij de bemonstering dient (ook in de huidige situatie) al gecontroleerd te worden of het monstervolume klopt met het aantal pulsen, oftewel het debiet; het apart doorgeven van debieten is dus niet nodig voor het opmengen.

De voorgestelde bemonsteringsmethode zal verder moeten worden uitgewerkt in een werkinstructie waarbij ook aanvullende (praktische) input vanuit de waterschappen zal worden meegenomen. Aandachtspunten zijn de benodigde extra personele capaciteit en apparatuur zoals typen monsternamenkasten en debietmeters, benodigde afstemming en logistiek tussen rwzi en lab inclusief mogelijkheden van tussentijds koelen, invriezen en andere opslag, maar ook de procesinstellingen onder RWA en DWA-condities. E.e.a. valt of staat met een goede werking van de monsternamen-apparatuur welke afhankelijk is van adequaat onderhoud, servicing en schoonmaak en een correcte monsternamen. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat dit niet altijd naar behoren wordt uitgevoerd. Daarnaast komt nog de afstemming met andere analyses en daarvoor benodigde monsternamen om de hoek komen kijken en daarvoor benodigd (extra) monsternamenvolume¹⁴. Ook deze onderwerpen dienen te worden meegenomen in de nieuw op te stellen werkinstructie. Het opstellen van deze werkinstructie is geen onderdeel van dit onderzoek.

13 In deze nieuwe bemonsteringsmethode is expres gekozen voor een periode van weken. Een periode van maanden oftewel elke maand of elke 2 maanden zorgt ervoor dat de start van de bemonstering enkele keren per jaar rondom een weekend terecht komt wat niet gewenst is. Door te kiezen voor weken kan er altijd op maandag gestart worden met een bemonstering (NB er is vaak ook sprake van een werkweek/weekend patroon, maar vanwege de periode van 14 dagen zullen er altijd week- en weekendpatronen worden meegenomen).

14 Waterschappen voeren soms veel meer analyses uit dan nu aangenomen is in deze rapportage. Hiervoor is meer monstervolume nodig. Vanuit dit voorstel voor een nieuwe bemonsteringsmethode is er de neiging om het te nemen monstervolume te optimaliseren oftewel te minimaliseren tot wellicht 1 liter per dag. E.e.a. wordt nog uitgewerkt in een handreiking/werkinstructie. Indien een waterschap meer monstervolume nodig heeft dan is er conform de methode in dit rapport 3,5 liter per dag beschikbaar, oftewel een mengmonstervolume van minimaal 21 liter uitgaande van minimaal 6 monsters (zie tabel 2-1). Dit is ruim voldoende voor de gewenste analyses anno 2023 inclusief micro's, bijzondere micro's, PFAS, zware metalen, bioassays, brede screening, macro's, antibioticaresistente etc etc. Mocht dit een onvoldoende monstervolume zijn, dan dient buiten de reguliere bemonstering om een aparte bemonstering te worden ingepland waarvoor meer dan genoeg dagen beschikbaar zijn (> 260 dagen).

SELECTIE DWA- EN RWA-MONSTERS

Regenweermonsters worden als volgt eruit geselecteerd:

Dag 1 van een regenweerperiode is de dag dat het influent debiet hoger is dan 1,3x mediaan influent-debiet. Bij deze dag wordt de verblijftijd van de rwzi onder DWA-omstandigheden opgeteld.

Voorbeeld: Bij een rwzi met een verblijftijd van 2 dagen bedraagt de totale regenweerperiode 3 dagen en bij een rwzi met een verblijftijd van 3 dagen bedraagt de totale regenweerperiode 4 dagen. Als het tijdens de regenweerperiode opnieuw gaat regenen dat start de berekening opnieuw. Pas als het influentdebiet na de regenweerperiode < 1,3x mediaan bedraagt, kunnen de monsters worden meegenomen in het mengmonster.

Deze uitsluiting van monsters lijkt veel werk met zich mee te brengen maar zal in de praktijk zeer praktisch zijn. Alleen de dagen met RWA-invloed hoeven eruit te worden gehaald. De bemonstering gaat te allen tijde door. Met de huidige werkinstructie zouden van tevoren al bemonsteringen moeten worden afgezegd als er regen valt + de verblijftijd erna. Naast dat dit onwerkbaar is, blijven er dan ook te weinig bemonsteringen over.

Berekening van de hydraulische verblijftijd (HRT – hydraulic retention time)

De hydraulische verblijftijd (HRT) onder DWA-condities is berekend door het totaalvolume van de rwzi te delen door het DWA-debiet:

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

waarin *HRT* de hydraulische verblijftijd (dag), *V* het volume van de zuivering, bestaande uit de , anaerobe tank, actief slibtank en nabezinkers (m³) en *Q* het gemiddelde DWA-debiet of de mediaan (m³/dag). Indien het gemiddelde DWA-debiet niet beschikbaar is, wordt de mediaan genomen. De mediaan wordt berekend op basis van drie jaargangen. *Opmerking:* in alle gevallen waarbij sprake is van een voorbezinktank, en de influentbemonstering plaats vindt vóór de voorbezinktank, dient deze ook meegenomen te worden in bepaling van de hydraulische verblijftijd.

Afkeuring van een bemonstering: Het is mogelijk dat het in een 14-daagse bemonsteringsperiode te vaak regent en dat er nog maar weinig DWA-monsters overblijven. In dit geval dient er herbemonsterd te worden in de maand volgend op de mislukte bemonstering of indien mogelijk nog enkele dagen toevoegen aan de 14-daagse bemonsteringsperiode. In Tabel 2.1 is aangegeven wanneer een bemonstering niet voldoet.

TABEL 2.1 AFKEURING BEMONSTERING.

	Aantal dagmonsters in 14-daags mengmonster
Verblijftijd rwzi 1 dag	≤ 8
Verblijftijd rwzi 2 dagen of langer	≤ 6

Daarnaast wordt de bemonstering afgekeurd of verlengd als de bemonstering op meer dan twee dagen in 14 dagen is mislukt en/of het minimum te behalen dagmonsters conform tabel 2.1 niet is behaald^{15 16}.

DRINGEND ADVIES AANSCHAF 4-VATEN MONSTERNAMEKASTEN:

Er wordt aanbevolen om monsternamekasten met 4 vaten toe te passen. Dit om de inspanning vanuit monsterneming te beperken (monsternamekasten met 1 vat zijn niet geschikt, monsternamekasten met 2 vaten wel maar dan dient elke dag een monster te worden genomen in plaats van 1 keer per 3 à 4 dagen; dit laatste is wenselijk ook omdat de bemonstering gedurende 14 dagen over het weekend heen gaat). Bij een aantal waterschappen leeft de overtuiging dat deze monsternamekasten niet voldoen aan de NEN 6600-1 bij een hoge RWA/DWA-verhouding vanwege de verplichting om minimaal 50 milliliter monster-volume te nemen bij elke puls in combinatie met minimaal 100 deelmonsters. Dit is echter niet het geval. Navraag bij de NEN subcommissie Onderzoeksstrategie en Veldwerk* leert dat een 4-vaten systeem voldoet zolang het monstervolume per puls minimaal 50 milliliter bedraagt en het aantal deelmonsters minimaal 70 (conform de COVID bemonstering). De genoemde 100 deelmonsters is een richtlijn en geen harde eis. Uitgaande van monsternamekasten met 4 vaten met een volume van 15-20 liter kan met 70 deelmonsters van elk 50 milliliter minimaal 3,5 liter aan monstervolume worden verzameld bij DWA en loopt het vat niet over hoge RWA/DWA verhoudingen tot 5,7.

LET OP: Er zijn ook voorstellen vanuit Waterschappen en Rijkswaterstaat om 24h, 48h of 72h monsters te verzamelen in een vat maar dan het volume per puls bij te stellen naar bijvoorbeeld 30-40 ml per puls. Dit voldoet echter niet aan de eis die de NEN-commissie heeft gesteld dat er 50 ml per puls moet worden verzameld en niet minder, omdat anders de representativiteit van het monster in het geding komt. Oftewel de 50 ml per puls en het minimaal aantal deelmonsters van 70 per vat wordt aangehouden in dit voorstel, geheel conform de NEN 6600-1.

* Verslag overleg NEN-commissie onderzoeksstrategie en Veldwerk dd 9/6/21, documentnummer N349

Het voorstel voor de nieuwe bemonstering gaat dus wel uit van het veelvuldig bemonsteren van influenten en effluenten van rwzi's maar niet van het analyseren van al deze monsters. In plaats daarvan worden mengmonsters geanalyseerd¹⁷. Deze nieuwe methode sluit aan bij de huidige bemonsteringspraktijk (simultane debietsproportionele 24h-bemonsterings influent en effluent).

Doordat de bemonstering nu niet meer afwijkt worden 'extra' fouten in de bemonstering voorkomen. De reguliere bemonstering wordt hierdoor verder niet beïnvloed (deze worden conform de huidige methode en frequentie voor nutriënten en overige stoffen geanalyseerd). De invloed van regenweer wordt uitgesloten door de 24h monsters welke beïnvloed zijn door regen niet mee te nemen in de mengmonsters. Daarnaast worden de invloed van pieken en dalen in concentraties tijdens DWA gedempt en worden seizoens- en/of temperatuur-

- 15 De totale bemonsteringsperiode mag worden verlengd in het geval van storingen aan de monstername-apparatuur en/of te veel regenweer; deze verlengde bemonsteringsperiode is geldig indien minimaal 12 dagen achtereenvolgens succesvol is bemonsterd en voldaan wordt aan de criteria in tabel 2-1. E.e.a. is conform de nu geldende richtlijnen voor afkeuringspercentages voor genomen monsters. Er kan ook voor worden gekozen om de bemonstering later te starten indien bij aanvang sprake is van regenweer of over te doen in de volgende maand.
- 16 Of een bemonstering is mislukt wordt op dezelfde wijze bepaald als in de huidige reguliere bemonsteringswijze (bijvoorbeeld omdat de monsternamekasten of debietmeters niet hebben gefunctioneerd, storingen hebben gegeven, het monstervolume niet klopt etc.)
- 17 In hoofdstuk 5.5 wordt aangetoond dat het bepalen van een verwijderingsrendement van een mengmonster van 24h-debietsproportionele monsters over een achtereenvolgende 8-daagse bemonsteringsmethode nauwkeurig genoeg is om het verwijderingsrendement over deze periode te voorspellen. Oftewel er zit weinig verschil tussen het berekende verwijderingsrendement van influenten en effluenten van het mengmonster en het berekende gemiddelde verwijderingsrendement van 8 verschillende influent en effluentmonsters.

invloeden meegenomen. Oftewel de grootste spreidingsbronnen uit dit onderzoek worden met deze nieuwe methode ondervangen.

In Tabel 2.2 worden de verschillen tussen de huidige en de nieuwe bemonsteringsmethode op een rijtje gezet.

TABEL 2.2 VERSCHILLEN TUSSEN DE HUIDIGE EN DE NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE.

	Huidige methode: 1x per maand 1 monsternamen tijdens DWA (48h + 1 dag tijdsverschil)	Nieuwe methode: 1x per 8 weken 14-daagse bemonstering ongeacht weersomstandigheden (mengmonsters)
Inplanbaar	Nee, bij regen bemonstering uitstellen	Ja, monsternamen en analyse kan worden ingepland voor een heel jaar; bij veel RWA zal een monsternamen worden afgekeurd en moet deze worden overgedaan in de opvolgende maand. Ook deze bemonstering kan weer worden ingepland zonder dat deze enkele / (een) dag(en) van tevoren wordt uitgesteld
Representatief rendement	Nee, momentopname per maand (grote afwijkingen t.o.v. werkelijk rendement)	Ja, gemiddeld rendement over meerdaagse periode per 8 weken
Alleen DWA-rendement	Nee, RWA heeft invloed waardoor rendementen afwijken	Ja, rendement heeft betrekking op alleen DWA-monsters
Spreiding gemiddelde van 11 gidsstoffen	Zeer groot door bemonsteringsmethode, daar bovenop labfout, seizoensinvloed (minder bemonsteringen in najaar en winter i.v.m. regenweer) en andere factoren	Spreiding wordt voornamelijk bepaald door labfout; de belangrijkste spreidingsfactoren zijn ondervangen (regenweer, seizoensinvloed, wisselende DWA-concentraties gedurende een 2-wekelijkse periode (week/weekenddagen)
Monsternamen afwijkend van regulier	Ja 48h + 1 dagen tijdsverschil; monsternamen gevoelig voor fouten; macro's kunnen niet met dezelfde monsternamenkast worden bemonsterd	Nee, monsternamen gelijk aan regulier, dezelfde fout als regulier, macro's kunnen met dezelfde monsternamenkast worden bemonsterd, indien toepassing van 4-vaten monsternamen carousel systemen mogelijk is
Analysekosten	12 influent- en effluentmonsters	6 influent- en effluentmonsters Selectie DWA-monsters debietsproportioneel opmengen
Kosten monsternamen en logistiek	Aanschaf 2-vaten monsternamenkasten noodzakelijk Influent en effluent 12x per jaar (totaal 24 flessen) 12x per jaar instellen monsternamenkasten	Aanschaf 4-vaten monsternamenkasten noodzakelijk Influent en effluent 30-45 x per jaar (totaal 168 flessen) 6x per jaar instellen monsternamenkasten Invriezen dagmonsters: 6x per jaar 28 dagmonsters
Monsternamen voldoet aan NEN 6600-1	Ja, dit kan geregeld worden (afstelling 48h monsternamen bij DWA: 150-200 deelmonsters totaal in 7,5-10 liter; wel risico op overlopen vat bij RWA).	Ja, afstelling monsternamenkasten 24h simultaan gelijk aan regulier/COVID; advies toepassing monsternamenkasten met 4 vaten (min. volume 3,5liter bij DWA; bij 15-20 liter vaten RWA/DWA verhouding van 4 – 6 mogelijk zonder overlopen vat)

3

OPZET ONDERZOEK

3.1 RWZI'S

In dit onderzoek zijn 7 rwzi's meegenomen. Ze zijn zo geselecteerd dat ze verschillen in kenmerken zoals in configuratie, hydraulische verblijftijd en percentage vrij verval/persleiding. Een samenvatting van de eigenschappen van deze 7 rwzi's is gegeven in Tabel 3.1. De hydraulische verblijftijd is een parameter die in dit rapport een aantal keer terugkomt. Voor de geselecteerde rwzi's ligt de HRT onder DWA-condities tussen de 1,2 en 3,3 dagen (Tabel 3.3).

BEREKENING VAN DE HYDRAULISCHE VERBLIJFTIJD (HRT – HYDRAULIC RETENTION TIME)

De hydraulische verblijftijd (HRT) onder DWA condities is berekend door het totaalvolume van de rwzi te delen door het DWA-debiet:

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

waarin *HRT* de hydraulische verblijftijd (dag), *V* het volume van de zuivering, bestaande uit de voorbezinktank, anaerobe tank, actief slibtank en nabezinkers (m³) en *Q* het gemiddelde DWA-debiet of de mediaan (m³/dag). Indien het gemiddelde DWA-debiet niet beschikbaar was, is de mediaan genomen. De mediaan is meestal berekend op basis van drie jaargangen en voor Hapert en Winterswijk op basis van één jaargang.

Opmerking: in alle gevallen waarbij sprake was van een voorbezinktank, vond de influentbemonstering plaats vóór de voorbezinktank, daarom is deze hier ook meegenomen in bepaling van de hydraulische verblijftijd.

TABEL 3.1 KENMERKEN VAN DE RWZI'S HORSTERMEER, HOENSBROEK, HAPERT, WINTERSWIJK, OIJEN, LELYSTAD EN WERVERSHOOF

	Eenheid	Horstermeer	Hoensbroek	Hapert	Winterswijk	Oijen	Lelystad	Wervershoof ⁴
Totaal volume	m ³	41.385	61.250	16.210	27.437	96.900	25.452	52.966
- volume zuivering ¹	m ³	28.585	50.000	13.500	19.250	40.800	19.920	41.614
- volume nabezinktanks	m ³	12.800	11.250	2.710	8.187	53.400	5.532	11.352
DWA ²	m ³ /d	18800	52.208	7.936	9.235	39.549	13.160	21.782
RWA-debiet	m ³ /d	>25.108	>67.870	>10.317	>12.000	>51.414	>17.108	>30.151
HRT bij DWA	dag	2,2	1,2	2,0	3,3	2,5	1,9	2,4
slibleeftijd	dag	22	19	20	22	30	24	21
Capaciteit	150 g TZV	150.000	290.000	64.400	83.400	360.000	160.500	169.400
Huidige belasting	150 g TZV	126.000	199.000	51.100	87.200	280.000	106.711	175.000
RWA/DWA	ratio (-)	5-6	5-6	3-4	3-4	6	1,5	4,8
Procesconfiguratie	Propstroom/ gemixt	Propstroom	Gemixt	Gemixt	Propstroom	gemixt		UCT
Voorbezinktank	-	ja	nee	nee	nee	ja	nee	nee
Type beluchtingstank	-	Propstroom	carrousel	carrousel	carrousel	carrousel	propstroom met recirculatie en als nazuivering carrousel	Carrousel
Vrij verval/ persleiding	-	100% pers	vrij verval (68%), pers (32%)	vrij verval (51%), pers (49%)	vrij verval (50%), pers (50%)	vrij verval (70%), pers (30%) (bij DWA)	100% pers	100% pers
Industriële aanvoer	Aandeel van biologische belasting	aandeel beperkt (< 25%), geen zware industrie	aandeel beperkt (12%), geen zware industrie	Aandeel beperkt (22%)	Aandeel beperkt (23%) ³	Aandeel beperkt (10-15%)	Aandeel beperkt (25%)	10%
Slibverwerking		indikking, en centrale gisting & ontwatering	indikking, centrale ontwatering en drogen	Nee	Nee	centrifuge	Bandindickers + zeefbandpers	Bandindikker & zeefband-pers

¹ Volume van de voorbezinktank, anaerobe tank, anoxische tank, en beluchtingstank gezamenlijk.

² Hier is voor Hoensbroek, Hapert, Winterswijk, Oijen en Lelystad de mediaan van het dagdebiet genomen, berekend over 1 of meerdere jaren. Bij rwzi Horstermeer en Wervershoof is het gemiddelde DWA-debiet weergegeven berekend over 3 jaar.

³ Vlees- en mestverwerkers hebben invloed op het hydraulisch dagpatroon en biologische aanvoer.

⁴ Rwzi Wervershoof heeft 2 straten waarvan alleen straat 1 is bemonsterd. De getallen wat betreft debiet, volumes en verblijftijd hebben daarom betrekking op straat 1.

3.2 BEMONSTERINGEN UITGEVOERD IN DIT PROJECT

De 7 rwzi's zijn op 8-14 opeenvolgende dagen bemonsterd. Er zijn op de bemonsteringsdagen 24-uursdebietsproportionele influent- en effluentmonsters genomen en vervolgens geanalyseerd op de 11 gidsstoffen en een aantal macroparameters. Details over de bemonsteringsperiode, zoals het moment van bemonsteren, de aanwezigheid van RWA en de temperatuur in de actief slibtank zijn weergegeven in Tabel 3.2 en daarnaast ook in bijlage 1.

Bij de rwzi's Horstermeer, Hoensbroek en Hapert is twee keer een bemonsteringsperiode van 8 dagen uitgevoerd, zowel in 2020 als in 2022. In 2020 was er voor deze rwzi's sprake van regenweeraanvoer (RWA) kort voor of tijdens de bemonstering, terwijl het in 2022 juist volledig droog weer was, tot drie dagen ervoor bij rwzi Horstermeer, en voor de 2 rwzi's Hapert en Hoensbroek was het zelfs meer dan 20 dagen droog weer voor aanvang van de bemonstering.

Bij Oijen was er sprake van veel RWA tijdens de eerste 8 bemonsteringsdagen, daarna werd het droog. Om het effect van RWA op de concentratie gidsstoffen beter in kaart te kunnen brengen is er nog tot 6 dagen daarna doorbemonsterd, dus op deze rwzi heeft de bemonsteringsperiode in totaal 14 dagen geduurd.

In de bemonsteringen die plaatsvonden in 2022/2023 is naast de dagmonsters ook een 8-daagsmengmonster geanalyseerd, zowel van het influent als het effluent. Dit 8-daagsdagmonster is verkregen door de betreffende dagmonsters debietsproportioneel te mengen. Het analytisch laboratorium Aqualysis heeft deze mengmonsters gemaakt.

Tijdens de bemonsteringsperiodes hebben de rwzi's normaal gefunctioneerd. Dit is gecontroleerd door het waterschap. Er waren geen storingen of calamiteiten.

TABEL 3.2 INFORMATIE RONDOM DE BEMONSTERINGSWEKEN IN 2020 EN 2022

Rwzi	Jaar waarin bemonstering plaatsvond	Maand	Aantal bemonsteringsdagen	8-daags-mengmonster geanalyseerd?	Aantal RWA-dagen tijdens bemonstering	Temp AT (°C)
Winterswijk	2020	Nov	9	Nee	1	16
Horstermeer	2020	Nov	9	Nee	0*	16
	2022	Mrt	8	Ja	0	11
Hoensbroek	2020	Nov	8	Nee	3	15
	2022	Mrt	8	Ja	0	13
Hapert	2020	Dec	7	Nee	2	12
	2022	Mrt	8	Ja	0	12
Oijen	2022	Sept/Okt	14	Ja	5	19
Lelystad	2022	Okt	8	Ja	0	15
Wervershoof	2023	Feb	8	Ja	0	12

* er was bij deze bemonsteringsronde wel sprake van RWA in de 5 dagen vóór de bemonstering.

3.3 EXTRA MEETGEGEVENS

Naast de meetgegevens die in dit project zijn verzameld, hebben de waterschappen zelf ook meetgegevens van gidsstoffen verzameld en gedeeld in dit project, of zijn in ander STOWA verband analyseresultaten verkregen van de betreffende rwzi's. Dit geldt voor 4 van de 7 rwzi's. Ook deze data zijn meegenomen in dit onderzoek. Omdat deze bemonsteringen niet specifiek voor dit project zijn uitgevoerd verschilt per rwzi de hoeveelheid meetgegevens, in welke periode de monsters zijn genomen en het type bemonstering dat is toegepast (24 uur, 48 uur, met/zonder tijdsverschil tussen influent en effluent en aaneengesloten of niet). In onderstaande tabel (Tabel 3.3) zijn de eigenschappen van deze extra meetgegevens weergegeven.

TABEL 3.3 EXTRA ANALYSERESULTATEN GIDSSTOFFEN VERZAMELD DOOR HET WATERSCHAP OF IN EEN ANDER STOWA-VERBAND

	Horstermeer	Hoensbroek	Hapert	Oijen
Type bemonstering	24-uurs simultaan	48-uurs met 1 dag tijdsverschil	24-uurs simultaan	48-uurs met 1 dag tijdsverschil
Aantal metingen	8	20	39	12
Periode	Sept 2019	Juni 2020 t/m April 2022	Dec 2020 t/m Feb 2022	Aug 2021 t/m Okt 2022
Aaneengesloten dagen	Ja	Nee	Nee	Nee
Laboratorium	Aqualysis	Aqualysis	Aquon	Aquon

3.4 ANALYSES GIDSSTOFFEN EN MACROPARAMETERS

Alle bemonsteringen die in dit project hebben plaatsgevonden zijn uitgevoerd door Aqualysis. Zij heeft ook de analyses van de gidsstoffen en macroparameters verzorgd.

4

ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT DOOR BEMONSTEREN

De formele onzekerheid voor bemonstering welke opgegeven worden door laboratoria is laag: Aqualysis geeft een meetonzekerheid van 0,4% wat veel kleiner is dan de meetonzekerheid van de chemische analyse van de gidsstoffen. Hierbij wordt er uiteraard van uitgegaan dat de bemonstering geheel correct plaatsvindt. In de praktijk is dit echter niet altijd het geval.

Voor dit onderzoek is voor de start van elke bemonstering een schouw geweest van de monsternamekasten. Bovendien heeft dezelfde monsternemer de gehele bemonstering uitgevoerd. Dit verkleint de kansen op fouten, die in de praktijk wel voorkomen. Bij de schouw van de rwzi's zijn vaak wat onvolkomenheden geconstateerd. Rwwi Lelystad was hierbij een positieve uitzondering: hier was de monstername volledig in orde.

Punt van aandacht wat nagenoeg altijd terugkomt is de schoonmaak van de monsternamekast. Vaak is de schoonmaakfrequentie te laag, waardoor zich hardnekkig vuil ophoopt. Soms is niet duidelijk wie verantwoordelijk is voor de schoonmaak van de verschillende onderdelen. De maatkolf en slangen worden meestal schoongemaakt door de monsternemer, maar de verantwoordelijke voor de binnenzijde van de kast en de vaten is onduidelijk. Ook wordt meestal niet gedocumenteerd wie de laatste keer een schoonmaakbeurt heeft uitgevoerd. In een aantal gevallen is er bij de schouw vervuiling aangetroffen in de maatkolf, de slangen en de vaten. Ook is een keer schoonmaakmiddel in de kast aangetroffen, wat uiteraard ook de meting aan microverontreinigingen beïnvloedt. Tenslotte is het belangrijk dat de vaten na monstername goed worden gespoeld en droog weer worden teruggezet in de kast. Indien niet goed wordt schoongemaakt kunnen stoffen vanuit "eerdere influent" zich bevinden in de slangen, kolven en vaten van de monsternamekast, welke weer meegeten worden in de nieuwe bemonstering en dus fouten veroorzaken.

Naast de schoonmaak is verstopping en vervuiling van de aanzuigslang van influent vaak een knelpunt. Verder is een aantal keren geconstateerd dat er minder dan 50 ml per puls aan monster werd genomen of dat dit volume gedurende een bemonstering wordt aangepast om meer of minder verzamelmonster te krijgen. Dit beïnvloedt uiteraard ook weer de correctheid van de uitkomsten.

Tenslotte blijkt dat bij de monstername niet altijd goed wordt gecontroleerd of de bemonstering correct is geweest. Er wordt niet gecontroleerd of het volume klopt met het debiet, waardoor niet duidelijk is of er wel debietsproportioneel bemonsterd is. Ook kunnen er afwijkingen in de debietmeting zelf zijn doordat deze al lang niet gekalibreerd is of doordat het debiet is afgeleid van een vijzelcapaciteit, welke al lang geleden is bepaald. Door slijtage van de vijzel klopt het berekende debiet dan niet meer.

Problemen die niet zijn aangetroffen gedurende dit onderzoek maar ook voorkomen is een incorrecte afstelling van de wisseling van vaten, het niet goed koelen van de monsternamekast en het niet onder afschot liggen van de aanzuigslangen van de monsternamekasten.

Monstername is een vak wat precisie en aandacht vereist. Waarschijnlijk is de spreiding die door bemonstering wordt veroorzaakt groter dan nu wordt opgegeven door de laboratoria. Maar hoeveel deze spreiding is, kan niet worden gesteld. In dit onderzoek is getracht de spreiding zo klein mogelijk te houden door een schouw uit te voeren van de bemonsteringsapparatuur voorafgaand aan de bemonsteringen op basis waarvan meestal een aantal verbeteringen konden worden doorgevoerd. Verder zijn de bemonsteringen op een rwzi uitgevoerd door dezelfde monsternemer van het externe laboratorium Aqualysis.

5

ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT DOOR CHEMISCHE ANALYSE

Om het verwijderingsrendement van een rwzi te kunnen bepalen moeten chemische analyses worden uitgevoerd van gidsstoffen in het influent en het effluent van een rwzi. Die resultaten gaan echter gepaard met een bepaalde meetonzekerheid, zoals bij elke chemische analyse het geval is. In dit hoofdstuk worden deze meetonzekerheden beschreven en wordt nagegaan of en in welke mate ze kunnen worden verminderd.

5.1 ENKELE DEFINITIES

De meetonzekerheid van chemische analyses wordt doorgaans gekwantificeerd als de standaardafwijking van een reeks analyseresultaten van hetzelfde monster, die verkregen zijn onder dezelfde omstandigheden.

Afhankelijk van de omstandigheden waaronder analyseresultaten zijn verkregen en de foutenbronnen die daarbij een rol kunnen spelen, wordt onderscheid gemaakt tussen:

5. Standaardafwijking van de herhaalbaarheid (s_r). Deze geldt voor een reeks analyseresultaten van hetzelfde monster, zoals bepaald in een batch (=één meetserie) van één laboratorium. De r van s_r staat hier voor 'repeatability'.
6. Standaardafwijking van de binnen-lab-reproduceerbaarheid (s_{Rw}). Deze geldt voor een reeks analyseresultaten van hetzelfde monster, zoals bepaald in verschillende batches van één laboratorium. De R van s_{Rw} staat hier voor 'reproducibility' en de w voor 'within'.
7. Standaardafwijking van de tussen-lab-reproduceerbaarheid (s_{Rb}). Deze geldt voor een reeks analyseresultaten van hetzelfde monster, zoals bepaald in batches van verschillende laboratoria, zoals bij een ringonderzoek. De b van s_{Rb} staat hier voor 'between'.

Gaande van 1 naar 2 en naar 3 neemt het aantal foutenbronnen toe en daarmee doorgaans ook de grootte van de betreffende standaardafwijking.

Omdat de standaardafwijking van een reeks analyseresultaten van hetzelfde monster vaak een min of meer lineaire relatie vertoont met het gemiddelde van de analyseresultaten, wordt de meetonzekerheid ook wel uitgedrukt als de ratio van de standaardafwijking en het gemiddelde van de resultaten, die dan wordt aangeduid als variatiecoëfficiënt. Zo volgt de variatiecoëfficiënt van de herhaalbaarheid (VC_r) uit:

$$VC_r = \frac{s_r}{\bar{x}}$$

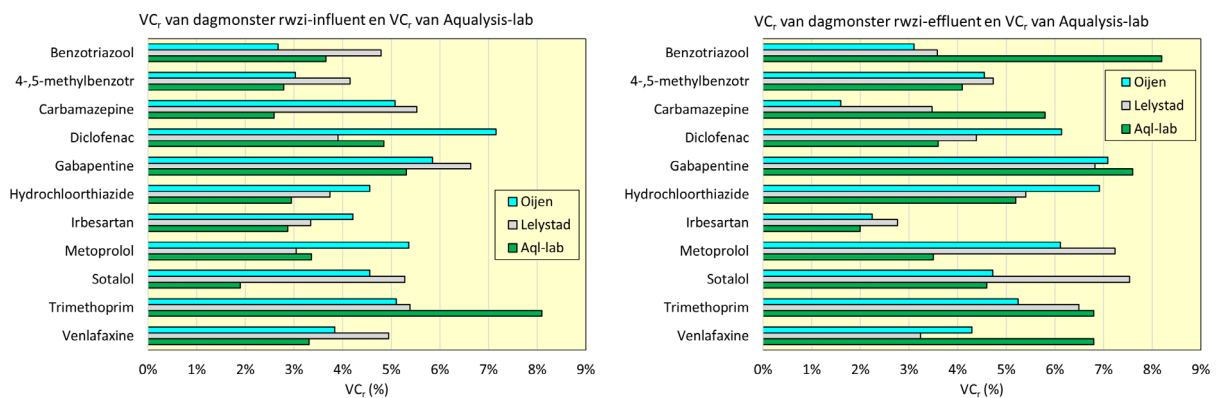
waarin s_r de standaardafwijking van de herhaalbaarheid en \bar{x} het gemiddelde van de resultaten.

5.2 RELEVANTE FOUTENBRON BIJ BEPALING VERWIJDERINGSRENDEMENT

Bij het bepalen van het verwijderingsrendement van een stof worden de monsterconcentraties van influent en effluent, genomen op hetzelfde bemonsteringsmoment, door het lab vaak in *dezelfde* batch geanalyseerd. Hierdoor is de meetonzekerheid van het daaruit bepaalde verwijderingsrendement mede een functie van de VC_r van het influent en die van het effluent. Dit is de kleinste foutenbron die genoemd is in paragraaf 5.1. De VC_r kan echter verschillen per analytisch laboratorium. Uit de prestatiekenmerken van de gidsstoffenanalyses, die zijn vastgesteld in het validatieonderzoek door de ILOW-laboratoria in 2020¹⁸, volgt dat afhankelijk van de gidsstof de VC_r bij het influent tussen de 6 en 15% ligt en bij de effluentmonsters tussen de 6 en 14%. Uit recente prestatiekenmerken van Aqualysis, welke de analyses in dit STOWA-project heeft verzorgd, volgt dat afhankelijk van de gidsstof de VC_r tussen de 2 en 8% ligt, voor zowel het influent als het effluent.

Om na te gaan of deze algemene VC_r 's ook gelden voor de specifieke rwzi-matrices waar deze studie zich op richt, is zowel van rwzi Oijen als rwzi Lelystad een monster genomen van het influent en het effluent. Beide monsters zijn vervolgens in achtvoud geanalyseerd door Aqualysis in één batch, om zo de VC_r voor de betreffende matrix te kunnen bepalen. Zoals te zien in Figuur 5.1 liggen de VC_r 's inderdaad tussen de 2% en 8%. Er zijn kleine verschillen maar dat kan verklaard worden doordat hier slechts een beperkt aantal metingen zijn verricht met twee rwzi-matrices, in tegenstelling tot waar de algemene prestatiekenmerken van Aqualysis op zijn gebaseerd. Op basis van deze resultaten zijn de algemene prestatiekenmerken van Aqualysis gebruikt in het verdere onderzoek.

FIGUUR 5.1 VERGELIJKING VAN DE DOOR AQUALYSIS VASTGESTELDE VC_r 'S VAN INFLUENT EN EFFLUENT VAN RWZI OIJEN EN RWZI LELYSTAD MET DE VC_r 'S DIE AQUALYSIS IN HET ALGEMEEN AANHOUDT VOOR INFLUENT EN EFFLUENT VAN RWZI'S



Voor het bepalen van het verwijderingsrendement is de variatiecoëfficiënt van de herhaalbaarheid (VC_r) dus de meest relevante foutenbron als er van uit kan worden gegaan dat het influent- en effluentmonster in dezelfde batch worden geanalyseerd. In dit onderzoek zijn de chemische analyses uitgevoerd door Aqualysis, en voor dit lab geldt dat de VC_r voor de gidsstoffen tussen de 2-8% ligt, afhankelijk van de gidsstof.

18 STOWA 2021-15 Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater, koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage, 2021

5.3 WAT KAN VC_R VERKLAREN VAN CONCENTRATIEVARIATIES TIJDENS DWA?

Er is nagegaan in welke mate de variatie in influent- en effluentconcentratie binnen één bemonsteringsweek met DWA-condities kan worden verklaard met de bijbehorende meetonzekerheden. De VC_r lag in dit onderzoek zoals aangegeven tussen de 2-8%, wat relatief laag is, maar ook de variatie in concentratie die is waargenomen in een 8-daagse bemonstering onder DWA-condities was in sommige gevallen vergelijkbaar laag. In onderstaande figuur (Figuur 5.2) zijn beide variatiecoëfficiënten voor elk van de 11 gidsstoffen naast elkaar weergegeven, zowel voor rwzi Lelystad als rwzi Hapert. Dit stelt in staat een indruk te krijgen van de mate waarin de VC_r van het laboratorium kan hebben bijgedragen aan de concentratievariatiaties die zijn waargenomen onder DWA-condities.

Voor de bemonsteringsweek in Hapert (2022) varieerde de influentconcentratie tijdens de 8-daagse bemonstering maximaal een factor 1,1-1,8, afhankelijk van de gidsstof. Het blijkt dat de VC_r voor 7 gidsstoffen een relevant deel van de (beperkte) variatie in de influentconcentratie kan verklaren, namelijk meer dan de helft.

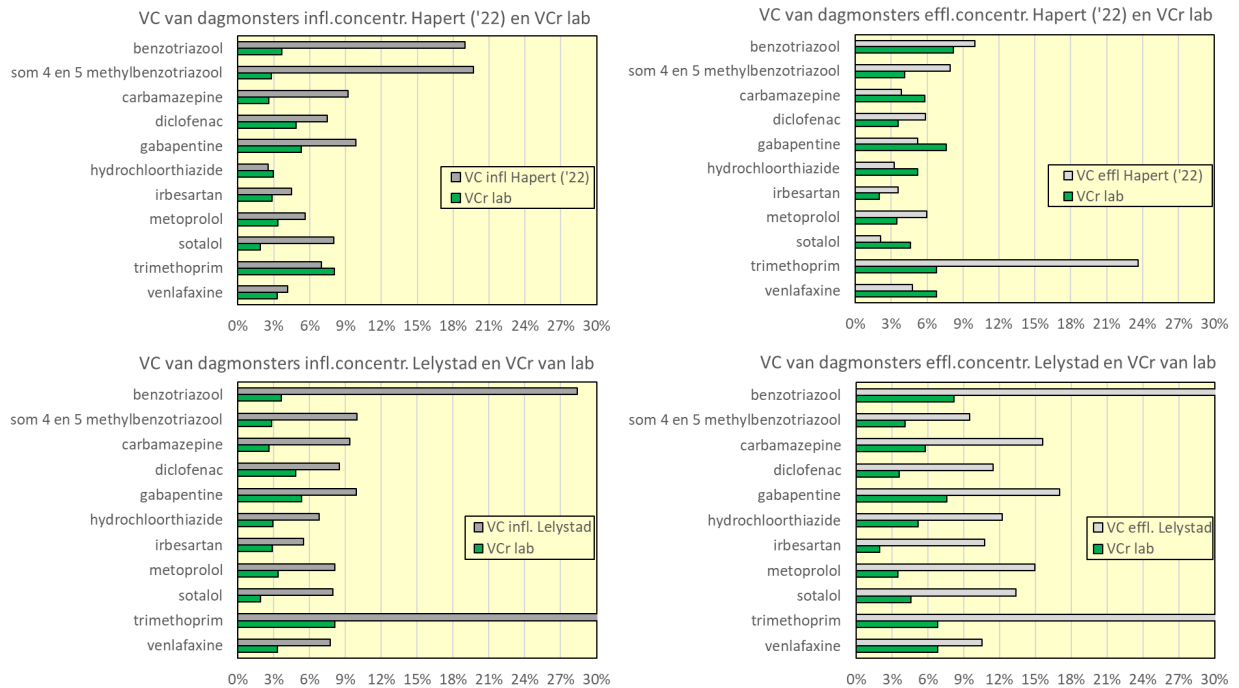
Bij Lelystad was de variatie in concentratie groter dan bij Hapert. De influentconcentratie varieerde afhankelijk van de gidsstof tijdens de 8-daagse bemonstering maximaal met een factor 1,2-2,3, zij het met uitzondering van trimethoprim, waar een factor 19 verschil zat tussen twee meetdagen. De VC_r van het laboratorium kan in beperkte mate de variatie in concentratie verklaren. Voor de meeste stoffen en voor het gemiddelde van de 11 gidsstoffen kan namelijk minder dan de helft van de concentratievariatie worden verklaard met de VC_r van het laboratorium.

Bij deze bemonsteringen van rwzi Hapert en Lelystad bleek voor beide rwzi's het maximum van het relatieve concentratieverschil van het *effluent* redelijk vergelijkbaar met dat van het influent.

De resultaten van de andere bemonsteringen die onder DWA omstandigheden plaatsvonden, namelijk van Horstermeer (2022), Hoensbroek (2022) en Wervershoof (2023) staan in bijlage 2 en in Tabel 5.1 zijn de resultaten samengevat. De resultaten van Horstermeer en Hoensbroek zijn vergelijkbaar met die van Hapert. De resultaten van Wervershoof ligt meer in lijn met die van Lelystad.

Opvallend bij vooral rwzi Hapert en Lelystad is dat voor benzotriazool en trimethoprim de variatie in concentratie veel groter is dan bij de andere gidsstoffen. Voor Lelystad was de variatie van de concentratie trimethoprim uitzonderlijk hoog. Blijkbaar kunnen de concentraties van bepaalde stoffen veel meer variëren onder droogweeercondities dan andere gidsstoffen. Het is niet bekend waar dit aan ligt, maar wellicht heeft het te maken met industriële pieklozingen. Dit zou in ieder geval kunnen gelden voor benzotriazool waarvan bekend is dat het zowel in huishoudens als in de industrie gebruikt wordt.

FIGUUR 5.2 VARIATIECOËFFICIËNTEN VAN INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE VAN 11 GIDSSTOFFEN (VC INFL EN VC EFFL) TIJDENS DE 8-DAAGSE BEMONSTERINGEN VAN RWZI LELYSTAD EN RWZI HAPERT, VERGELEKEN MET DE VARIATIECOËFFICIËNT VAN DE HERHAALBAARHEID (VC_R LAB) VAN DIE GIDSSTOFFEN. IN DEZE BEMONSTERINGSPERIODES WAS ER SPRAKE VAN DROOGWEEROMSTANDIGHEDEN



TABEL 5.1 HET VERSCHIL IN CONCENTRATIE TIJDENS DE 8-DAAGSE BEMONSTERING VOOR DE GIDSSTOFFEN EN HET AANTAL GIDSSTOFFEN WAARVAN DE VARIATIE IN CONCENTRATIE VOOR >50% KAN WORDEN VERKLAARD MET DE VC_R

	Hapert (2022)	Horstermeer (2022)	Hoensbroek (2022)	Lelystad (2022)	Wervershoof (2023)
Maximale factor verschil in inluent concentratie tijdens de 8-daagse bemonstering; het gemiddelde voor de 11 gidsstoffen en de range tussen gidsstoffen is gegeven	1,3 (1,1-1,8)	1,2 (1,2-1,3)	1,4 (1,2-2,3)	1,4 (1,2-2,3)*	1,6 (1,5-1,8)
Maximale factor verschil in effluent concentratie tijdens de 8-daagse bemonstering; het gemiddelde voor de 11 gidsstoffen en de range tussen gidsstoffen is gegeven	1,2 (1,1-2,0)	1,2 (1,1-1,5)	1,3 (1,1-1,9)	1,6 (1,4-2,4)*	1,9 (1,7-2,2)
Aantal van de 11 gidsstoffen waarvan de variatie in concentratie voor een relevant deel (>50%) met de VC _r kan worden verklaard in het inluent	7	7	5	3	1
Aantal van de 11 gidsstoffen waarvan de variatie in concentratie voor een relevant deel (>50%) met de VC _r kan worden verklaard in het effluent	10	8	10	1	0

*met uitzondering van trimethoprim waarvoor in respectievelijke het influent en effluent een factor 19 en 10 verschil is gevonden tussen meetdagen in dezelfde bemonsteringsronde.

Samenvatting

Samenvattend laten de resultaten zien dat onder DWA-omstandigheden de variaties in influent- en effluentconcentraties in sommige gevallen voor bepaalde gidsstoffen dusdanig laag kunnen zijn dat de meetonzekerheid in de chemische analyse een relevant deel van de variatie in 8 opeenvolgende dagen kan verklaren. Dit was echter niet voor elke bemonsteringsronde het geval en ook niet voor elke gidsstof. Opgemerkt wordt dat hier alleen is gekeken naar de variatie in concentratie gedurende een 8-daagse bemonstering. De variatie in influent- of effluentconcentratie kan over een heel jaar veel groter zijn dan de variatie in één bemonsteringsweek.

5.4 INVLOED MEETONZEKERHEID OP VERWIJDERINGSRENDEMENT

Het verwijderingsrendement van een stof kan worden vastgesteld op basis van de chemische analyses van een influentmonster en effluentmonster, volgens de volgende formule:

$$V = \frac{I - E}{I} \cdot 100\%$$

waarin V het verwijderingsrendement, I de concentratie van het influent en E de concentratie van het effluent.

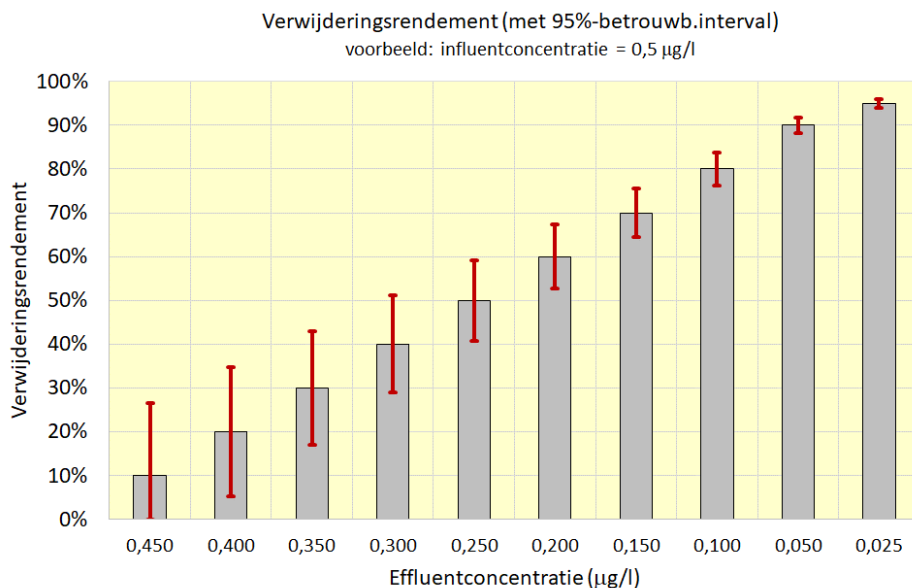
Ervan uitgaande dat het influentmonster en effluentmonster geanalyseerd zijn binnen dezelfde batch, wat in ieder geval geldt voor de analyses uitgevoerd in dit project, zal volgens de leer van de foutenvoortplanting de standaardafwijking van de meetonzekerheid van het als boven berekende verwijderingsrendement volgen uit:

$$u(V) = \sqrt{(VC_r(I))^2 + (VC_r(E))^2} \cdot \left(\frac{E}{I}\right)$$

waarin $u(V)$ de standaardafwijking van de meetonzekerheid van het verwijderingsrendement.¹⁹

De mate waarin deze meetonzekerheid doorwerkt in het rendement is afhankelijk van het rendement zelf: hoe groter het verwijderingsrendement, des te kleiner de meetonzekerheid van het verwijderingsrendement. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5.3, die is gebaseerd op een exercitie in STOWA-rapport 2021-15¹. De meetonzekerheid van het verwijderingsrendement is in die figuur weergegeven middels zijn 95%-betrouwbaarheidsinterval. Dat is het interval dat in 95% van de gevallen het werkelijke verwijderingsrendement zal omvatten, als het bepalen van het rendement een groot aantal maal wordt herhaald onder dezelfde condities, maar (uiteraard) met nieuwe gegevens. Het interval volgt uit $V \pm 2 \cdot u(V)$.

FIGUUR 5.3 STAAFDIAGRAM VAN VERWIJDERINGSRENDEMENT, INCLUSIEF 95%-BETROUWBAARHEIDINTERVAL (ROOD), BIJ ALLE COMBINATIES VAN ÉÉN INFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,5 µG/L EN TIEN EFFLUENTCONCENTRATIES VAN EEN FICTIEVE STOF. HET 95%-BETROUWBAARHEIDINTERVAL VAN HET RENDEMENT IS GEBASEERD OP EEN LAB- VC_r VAN HET INFLUENT VAN 7% EN EEN LAB- VC_r VAN HET EFFLUENT VAN 6%



¹⁹ Deze onzekerheidsmaat is in de internationale literatuur over meetonzekerheid doorgaans niet aangeduid met de s van 'standard deviation', maar met de u van 'uncertainty'.

Voor de gidsstoffen geldt dat zonder aanvullende zuivering het rendement over het algemeen laag tot matig zal zijn. Bij een VC_r van 2% geeft dat bij verwijderingsrendementen tot 50% een standaardafwijking van ongeveer 1 tot 3 procentpunt, en de bandbreedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval ligt dan tussen de 6 en 10 procentpunt. Bij een grotere VC_r , bijvoorbeeld 8%, is de standaardafwijking tussen 6 en 10 procentpunt, en de bandbreedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval tussen 20 en 40 procentpunt.

Samenvattend

De invloed van meetonzekerheid van de chemische analyse op de onzekerheid in het verwijderingsrendement is dus afhankelijk van de VC_r , ervan uitgaande dat het influent- en effluentmonster in dezelfde batch worden geanalyseerd. Bij hoge verwijderingsrendementen speelt de VC_r slechts een beperkte rol in de rendementsbepaling en is de meetonzekerheid van het rendement relatief klein. Als de verwijdering laag tot matig is (<50%) zal bij een analyse in enkelvoud en een VC_r variërend van 2-8% afhankelijk van de gidsstof en het rendement, een 95%-betrouwbaarheidsinterval van 6-40 procentpunt gelden. Bij de heel lage rendementen zal dus meer variatie in de rendementen plaatsvinden door de invloed van de meetonzekerheid dan bij de hoge rendementen. Veel gidsstoffen worden op rwzi's zonder aanvullende zuiveringsstap weinig tot matig verwijderd. Hiervan zal de meetonzekerheid van het rendement dus relatief hoog zijn ten opzichte van stoffen die goed verwijderd worden. Hier moet rekening mee worden gehouden in de interpretatie van de resultaten.

5.5 ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT MENGMONSTER EN DAGMONSTERS

Bij deze studie is ook nagegaan wat het uitmaakt als het verwijderingsrendement van een bepaalde stof wordt afgeleid op basis van analyses van series dagmonsters van influent en effluent, of op basis van daaruit samengestelde mengmonsters.

Als eerste is daarbij afgeleid in welke mate de meetonzekerheid van een concentratie van een mengmonster over n dagen afwijkt van die van het gemiddelde van n dagmonsters. Zie daarvoor onderstaand tekstkader. Het blijkt dan dat de meetonzekerheid van de concentratie van een mengmonster over n dagen groter is, wat komt door het uitmiddelen van de meetonzekerheid bij de n dagmonsters.

INVLOED MEETONZEKERHEID OP CONCENTRATIES BIJ MENGMONSTERS

De concentratie van een mengmonster over n dagen kan als volgt worden uitgesplitst naar zijn componenten:

$$c^* = \tau + a \quad [1]$$

waarin c^* de door het lab gemeten concentratie van een mengmonster over n dagen, τ de werkelijke concentratie en a een realisatie van de toevallige labfout bij het analyseren van het mengmonster, op te vatten als een willekeurige trekking uit de kansverdeling van de toevallige labfout.

Aangezien τ geen stochastische variabele is, hangt de standaardafwijking van de meetonzekerheid van c^* hier alleen af van de onzekerheid van a , volgens:

$$u(c^*) = u(a) \quad [2]$$

Als we een dagmonster analyseren, dan kan zijn concentratie als volgt worden uitgesplitst naar zijn componenten:

$$c_i = \tau_i + a_i \quad [3]$$

waarin c_i de door het lab gemeten concentratie van dagmonster i , τ de werkelijke concentratie van dagmonster i en a_i de toevallige labfout bij het analyseren van dagmonster i .

Als we alle n dagmonsters apart analyseren en vervolgens hun gemiddelde bepalen, dan kan de gemiddelde concentratie (\bar{c}) als volgt worden uitgesplitst naar zijn componenten:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad [4]$$

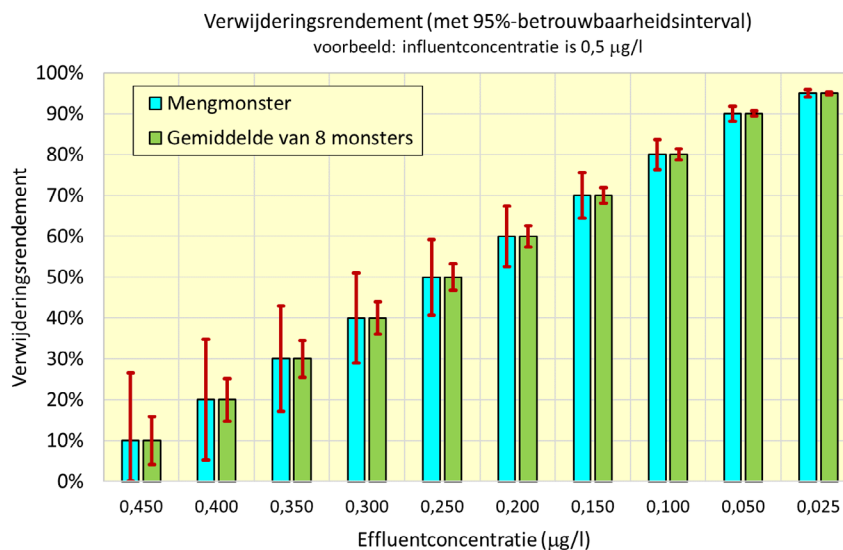
Aangezien τ geen stochastische variabele is, hangt de onzekerheid van \bar{c} hier alleen af van de onzekerheid van a , volgens:

$$u(\bar{c}) = u\left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}\right) = \sqrt{\frac{n \cdot u^2(a)}{n^2}} = \frac{u(a)}{\sqrt{n}} \quad [5]$$

Als we formule [2] vergelijken met formule [5] zien we dat de meetonzekerheid van de concentratie van een mengmonster over n dagen groter is dan die van het gemiddelde van n dagmonsters. Dit komt door het uitmiddelen van de onzekerheid bij de n dagmonsters.

In Figuur 5.4 is weergegeven hoe dit verschil in meetonzekerheid van de concentratie doorwerkt naar een verschil in meetonzekerheid van het verwijderingsrendement.

FIGUUR 5.4 GECLUSTERD STAAFDIAGRAM VAN VERWIJDERINGSRENDEMENT, INCLUSIEF 95%-BETROUWBAARHEIDINTERVAL (ROOD), BIJ ALLE COMBINATIES VAN ÉÉN INFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,5 µg/L EN TIEN EFFLUENTCONCENTRATIES VAN EEN FICTIEVE STOF. EEN LICHTBLAUWE STAAF VERTEGENWOORDIGT HET VERWIJDERINGSRENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT MENGMONSTERS VAN ACHT DAGMONSTERS EN EEN GROENE STAAF VERTEGENWOORDIGT HET VERWIJDERINGSRENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT HET GEMIDDELTE ACHT DAGMONSTERS. HET 95%-BETROUWBAARHEIDINTERVAL VAN HET RENDEMENT IS GEBASEERD OP EEN FICTIEF LAB- VC_R VAN HET INFLUENT VAN 7% EN EEN FICTIEF LAB- VC_R VAN HET EFFLUENT VAN 6%

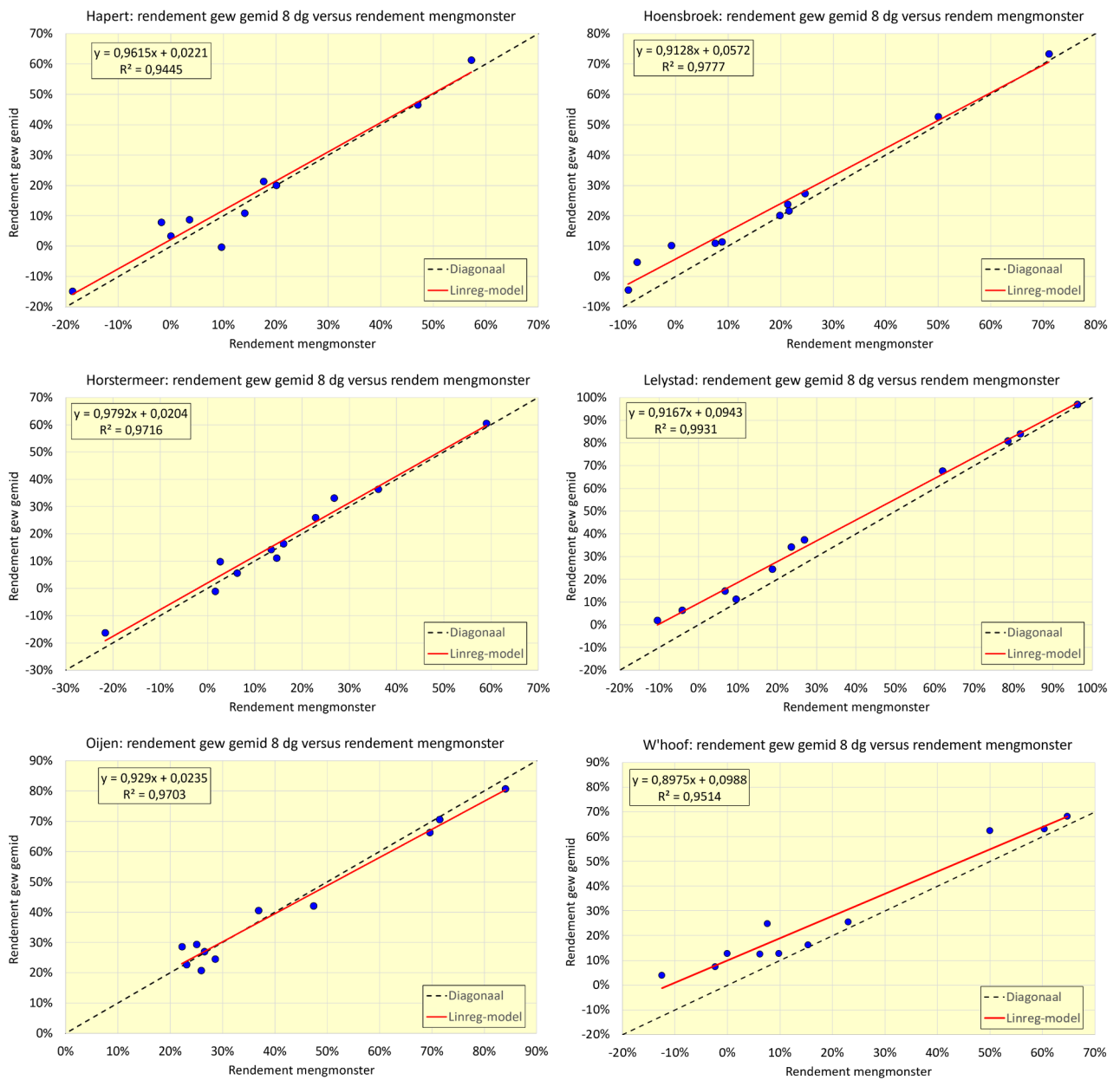


Om in Figuur 5.4 de vergelijking visueel te vergemakkelijken zijn de voor beide berekeningsmethoden (respectievelijk op basis van de concentratie van een enkelvoudig mengmonster van acht dagmonsters en op basis van de gemiddelde concentratie van acht dagmonsters) weergegeven geschatte verwijderingsrendementen hier *exact* gelijkgesteld, maar in de praktijk zullen ze doorgaans enigszins verschillen. De belangrijkste conclusie die op basis van deze figuur kan worden getrokken is dat de onzekerheid van een verwijderingsrendement dat is vastgesteld met concentraties van mengmonsters van influent en effluent over X dagen groter is dan die van de onzekerheid van een verwijderingsrendement dat is vastgesteld met de gemiddelde concentratie van X dagmonsters van influent en effluent over dezelfde periode.

Tenslotte zijn voor zes rwzi's de met deze twee berekeningsmethoden geschatte verwijderingsrendementen ter vergelijking weergegeven in de plots van Figuur 5.5. Per rwzi is weergegeven het spreidingsdiagram van het rendement zoals bepaald uit het debietgewogen gemiddelde van 8 influent- en effluentmonsters versus het rendement zoals bepaald uit debietgewogen mengmonsters van het influent en het effluent over 8 dagen.

In elke plot is tevens weergegeven het lineaire regressiemodel voor de relatie tussen de twee rendementen (rode lijn) en de diagonaal (zwarte stippellijn). Als de twee rendementen gelijk zijn zal hun datapunt op deze diagonaal liggen.

FIGUUR 5.5 SPREIDINGSDIAGRAMMEN VAN DE MET TWEE METHODEN GESCHATTE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN, VOOR ZES RWZI'S. HET BETREFT HET SPREIDINGSDIAGRAM VAN HET RENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT HET DEBIETGEWOGEN GEMIDDELDE VAN 8 INFLUENT- EN EFFLUENTMONSTERS VERSUS HET RENDEMENT ZOALS BEPAALD UIT HET DEBIETGEWOGEN MENGMONSTER VAN HET INFLUENT EN EFFLUENT OVER 8 DAGEN. TEVENS IS WEERGEGEVEN HET LINEAIRE REGRESSIEMODEL VOOR DE RELATIE TUSSEN DE TWEE RENDEMENTEN (RODE LIJN) EN DE DIAGONAAL (ZWARTE STIPPELIJN). ALS DE TWEE RENDEMENTEN GELIJK ZIJN ZAL HUN DATAPUNT OP DEZE DIAGONAAL LIGGEN



De belangrijkste conclusie die we kunnen trekken uit Figuur 5.5 is dat de twee rendementen in het rendementstraject hoger dan 50% slechts weinig van elkaar afwijken, namelijk hooguit 4 procentpunt. Verder blijken hun afwijkingen ten opzichte van elkaar doorgaans groter naarmate de absolute waarde van het rendement dichterbij nul ligt. In dit onderzoek was het verschil tussen het verwijderingsrendement bepaald met het mengmonster en die van het gemiddelde van een aantal dagmonsters bij rendementen tussen de 0-50% 1 tot 17 procentpunt. Gemiddeld genomen was het verschil 6 procentpunt. Dit sluit aan op de eerdere constatering dat de onzekerheid van een rendement toeneemt naarmate zijn absolute waarde dichterbij nul ligt (zie daarvoor Figuur 5.4).

Conclusies over meetonzekerheid mengmonsters en dagmonsters

De meetonzekerheid van de concentratie van een mengmonster over n dagen is groter dan die van het gemiddelde van n dagmonsters. Dit komt door het uitmiddelen van de onzekerheid bij de n dagmonsters. Daar staat echter tegenover dat het analyseren van een mengmonster minder kosten geeft dan het analyseren van n dagmonsters.

In het rendementstraject hoger dan 50% blijkt het verwijderingsrendement bepaald met mengmonsters van influent en effluent slechts weinig af te wijken van dat bepaald met een aantal dagmonsters van influent en effluent, namelijk hooguit 4 procentpunt. Verder blijken hun afwijkingen ten opzichte van elkaar doorgaans groter naarmate de absolute waarde van het rendement dichterbij nul ligt. In dit onderzoek was het verschil tussen het verwijderingsrendement bepaald met het mengmonster en die van het gemiddelde van een aantal dagmonsters bij rendementen tussen de 0-50% 1 tot 17 procentpunt. Dit sluit aan op de eerdere constatering dat de onzekerheid van een rendement toeneemt naarmate zijn absolute waarde dichterbij nul ligt.

6

INVLOED RWA OP ONZEKERHEID VERWIJDERINGSRENDEMENT

6.1 INLEIDING

Regenweeraanvoer (RWA) kan de concentratie gidsstoffen beïnvloeden. Bij een gemengd rioolstelsel zorgt hemelwater voor verdunning van het rioolwater. Hoe groter de neerslaghoeveelheid, des te groter de verdunningsgraad. Naast deze verdunning, wordt het debiet ook groter en daardoor verandert de hydraulische verblijftijd (HRT) op de rwzi: deze wordt kleiner. De mate waarin de HRT wordt beïnvloed is afhankelijk van de grootte en de duur van de RWA. Van invloed op de RWA is de hoeveelheid regen en de duur van de regenval. Ook speelt hierbij een rol of er sprake is van persleidingen of vrijverval riolering. Door zowel veranderingen in het debiet als in de concentratie is het onder RWA-omstandigheden, of onder omstandigheden met zowel RWA als DWA, lastiger om een influentmonster en effluentmonster te nemen die goed met elkaar vergeleken kunnen worden. In periodes met RWA kan een grote spreiding in het verwijderingsrendement ontstaan, als het influent en het effluent tijdens de bemonstering niet in dezelfde mate zijn verdund door RWA.

Naast de onnauwkeurigheid in de bemonstering, is mogelijk ook het daadwerkelijke rendement tijdens RWA anders dan bij DWA. Door de kortere verblijftijd kan de prestatie van de rwzi minder worden en mogelijk daardoor ook het rendement. In welke mate het rendement lager wordt door RWA is tot nu toe niet goed bekend. Een van de doelen van dit onderzoek was om te bepalen wat het verwijderingsrendement is van de gidsstoffen tijdens RWA. Echter, dit bleek niet goed mogelijk met de beschikbare meetgegevens door de zeer wisselende omstandigheden tijdens RWA.

Dit hoofdstuk focust daarom op de invloed van de RWA op de onzekerheid in het verwijderingsrendement en tot hoe lang rekening moet worden gehouden met invloed van RWA bij bemonsteringen voor rendementsbepalingen van microverontreinigingen.

Net als in STOWA 2021-15, wordt hier voor RWA de volgende definitie gebruikt:

- Er is sprake van RWA (of een RWA-dag) als het dagdebiet groter is dan:
 - 1,2 x (gemiddelde droogweeraanvoer + standaardafwijking)²⁰ óf
 - 1,3 x mediaan dagdebiet²¹

Deze definitie wordt hier steeds gebruikt, tenzij anders vermeld. Voor de 7 beschouwde rwzi's is de RWA/DWA-grens zoals hierboven gedefinieerd weergegeven in Tabel 3.1. Verder is aangenomen dat het influentdagdebiet steeds vergelijkbaar is met het effluentdagdebiet.

20 Voor een uitleg over hoe de gemiddelde droogweeraanvoer en de standaardafwijking ervan moeten worden bepaald wordt verwezen naar STOWA 2021-15.

21 Het betreft hier specifiek voor in dit rapport de mediaan bepaald over tenminste 1 jaargang en bij voorkeur 3 jaargangen.

In dit hoofdstuk wordt eerst nagegaan in welke mate RWA de influent- en effluentconcentraties beïnvloedt, daarna hoe lang neerslag nog een effect heeft op de influent- en effluentconcentraties en wat dat betekent voor de bepaling van het verwijderingsrendement. Vervolgens worden andere RWA/DWA-grenzen beoordeeld en tot slot zijn de kansen berekend op de aantallen DWA-dagen in een 14-daagse periode.

6.2 INVLOED OP INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE GIDSSTOFFEN

Tijdens de 10 bemonsteringsweken uitgevoerd op totaal 7 verschillende rwzi's was er bij 2 rwzi's, namelijk rwzi Hapert en Hoensbroek sprake van meerdere dagen met RWA in de ene bemonsteringsweek en een volledige DWA-periode tijdens de tweede bemonsteringsweek (zie ook Tabel 3.2). Op basis van de meetdata van deze 4 bemonsteringsweken is nagegaan wat RWA doet met de concentratie gidsstoffen in influent- en effluent. Daarnaast zijn ook de resultaten van rwzi Oijen gebruikt waarbij in de bemonsteringsronde sprake was van RWA en na de RWA-periode nog een aantal dagen extra is doorbemonsterd om te bepalen hoelang het influent en effluent nog beïnvloed werden door deze RWA-periode. Naast de meetgegevens die in dit project zijn verkregen zijn ook waterschapsdata gebruikt van rwzi Hoensbroek (48-uursmonsters + 1 dag tijdsverschil in influent en effluentbemonstering) en rwzi Hapert (24-uursmonsters) om de RWA-invloed op de concentratie gidsstoffen te bepalen.

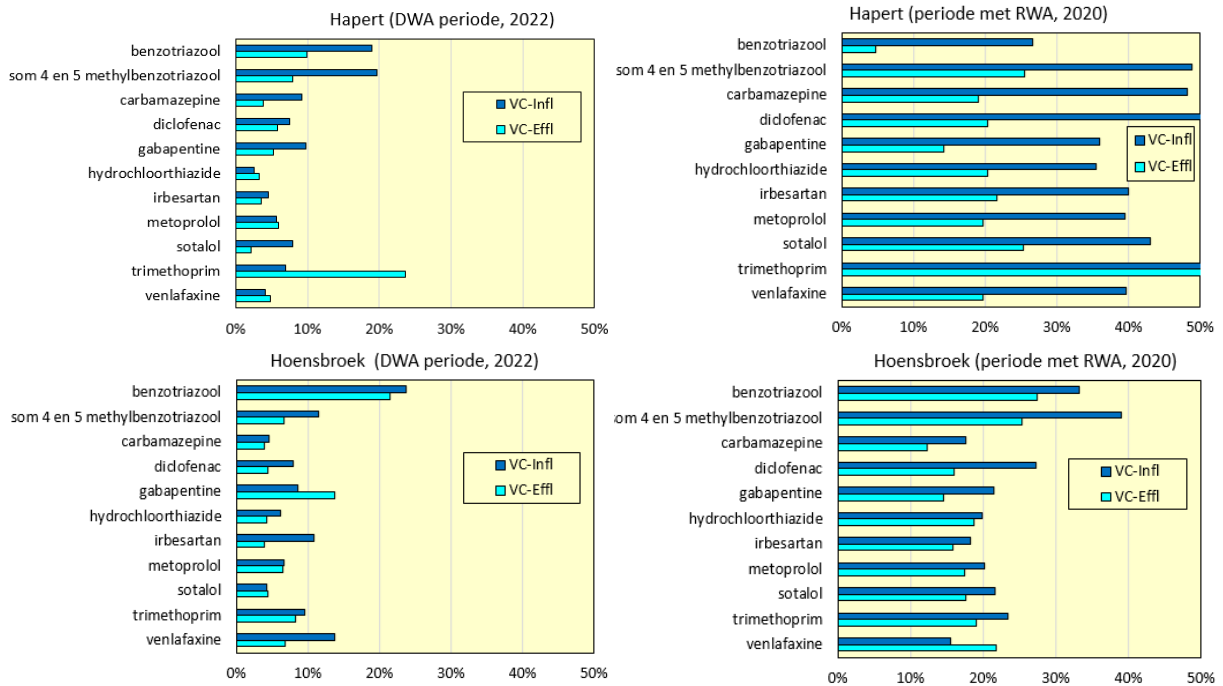
6.2.1 (VEEL) GROTERE VARIATIE IN CONCENTRATIE TIJDENS PERIODES MET RWA: VOORBEELD RWZI HAPERT EN HOENSBROEK

De bemonsteringsweken op de rwzi's Hapert en Hoensbroek laten zien dat tijdens periodes met RWA een veel grotere variatie in concentratie gidsstoffen wordt waargenomen dan in periodes met alleen DWA.

In 2020 zijn de rwzi's Hapert en Hoensbroek bemonsterd in een 8-daagse periode waarbij ook sprake was van RWA. In 2022 zijn dezelfde rwzi's bemonsterd onder volledige DWA-condities. Figuur 6.1 toont het verschil in variatie in concentratie tussen deze twee periodes. In de linker grafiek wordt de variatie in concentratie tijdens droogweer aangegeven (zoals ook gepresenteerd in 5.3) en in de rechtergrafieken de variatie in concentratie tijdens periodes met RWA. In Tabel 6.1 is het maximale concentratieverschil dat is gemeten voor een gidsstof tijdens de bemonstering weergegeven.

Zowel voor Hapert als voor Hoensbroek geldt dat de variatie in concentratie veel groter is als er sprake is van RWA dan alleen van DWA. Bij Hapert is dit sterker, wat mogelijk komt door de hogere RWA/DWA verhouding in die periode. Bij Hapert was het debiet tijdens de RWA-dagen 2,0 - 2,4 keer hoger dan de mediaan, en Hoensbroek bij was het 1,5 - 1,9 keer hoger.

FIGUUR 6.1 VARIATIECOËFFICIËNT (VC, RATIO VAN STANDAARDAFWIJKING EN GEMIDDELDE) VAN INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIES VAN 11 GIDSSTOFFEN TIJDENS PERIODES MET RWA (RECHTERGRAFIEKEN) EN TIJDENS DWA (LINKER GRAFIEKEN). DE HOOGSTE RWA/DWA VERHOUDING WAS BIJ HAPERT 2,4 EN BIJ HOENSBROEK 1,9 IN DE BEMONSTERINGSWEEK VAN 2020



TABEL 6.1 MAXIMALE FACTOR VERSCHIL IN INFLUENTCONCENTRATIE VAN EEN GIDSSTOF TIJDENS DE 8-DAAGSE BEMONSTERING BIJ RWZI HAPERT EN HOENSBROEK IN 2022 (VOLLEDIG DWA-OMSTANDIGHEDEN) EN IN 2020 (RWA- EN DWA-DAGEN)

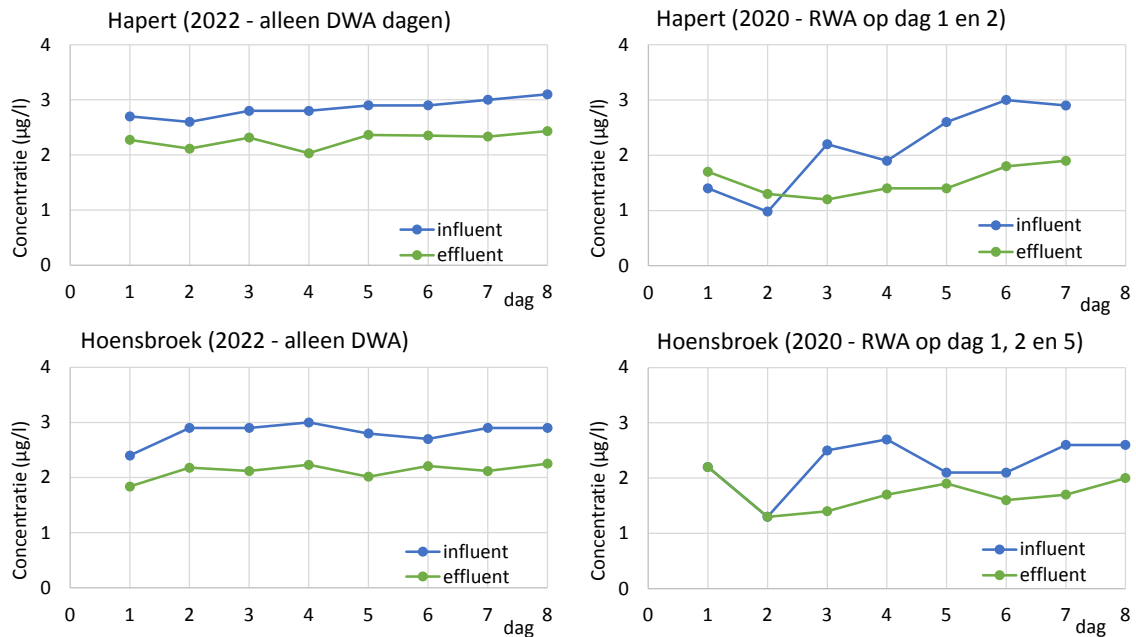
Bemonsteringsronde	Hapert (2022)	Hoensbroek (2022)	Hapert (2020)	Hoensbroek (2020)
Omstandigheden	Alleen DWA	Alleen DWA	Ook RWA	Ook RWA
Hoogste RWA/DWA-verhouding tijdens bemonstering	-	-	2,4	1,9
Gemiddelde 11 gidsstoffen (range)	1,3 (1,1-1,8)	1,4 (1,2-2,3)	3,0 (2,1-3,8)*	2,2 (1,8-2,7)

*met uitzondering van trimethoprim en diclofenac waarvoor een factor 40-50 verschil is gevonden tussen meetdagen in dezelfde bemonsteringsronde.

Voorbeeld metoprolol

Metoprolol is een voorbeeld van een gidsstof die bij Hapert en Hoensbroek onder DWA condities een variatiecoëfficiënt heeft van ongeveer 6% en bij RWA van ongeveer 20-40%. (Figuur 6.1). Wat deze grotere variatiecoëfficiënten precies betekenen voor de concentratie wordt geïllustreerd met de resultaten van metoprolol (Figuur 6.2; de grafieken van de andere gidsstoffen zijn opgenomen in bijlage 3). De concentraties onder DWA-omstandigheden verschillen in een periode van 8 dagen niet meer dan een factor 1,25. Dit geldt voor beide rwzi's. Tijdens de bemonstering met RWA was de concentratie metoprolol in het influent van Hapert tot een factor 3 lager op RWA-dagen dan op DWA-dagen. Voor Hoensbroek was dit verschil een factor 2 (Figuur 6.2). Uit deze figuur volgt ook dat het effluent iets minder sterk en trager reageert op RWA dan het influent.

FIGUUR 6.2 CONCENTRATIES METOPROLOL BIJ HAPERT EN HOENSBROEK TIJDENS DE BEMONSTERINGSWEEK IN 2022 (DWA OMSTANDIGHEDEN) EN IN 2020 (BEMONSTERING IN EEN PERIODE MET RWA). DE HOOGSTE RWA/DWA-VERHOUDING WAS BIJ HAPERT 2,4 EN BIJ HOENSBROEK 1,9 IN DE BEMONSTERINGSWEEK VAN 2020



6.2.2 RWA KAN TOT ENKELE DAGEN NA EEN RWA-PERIODE INVLOED HEBBEN OP HET EFFLUENT

Naast een grotere variatie in concentratie tijdens periodes met RWA laten de analysesresultaten zien dat veranderingen in de influentconcentratie door RWA niet direct in het effluent zichtbaar zijn, en dat een RWA-dag tot enkele dagen later in het effluent kan doorwerken. Hieronder is dit te zien in meetdata van een 14-daagse bemonsteringsperiode op rwzi Oijen. Daarna wordt aan de hand van de waterschapsdata van rwzi Hapert en Hoensbroek bepaald hoelang een RWA-periode op deze rwzi's nog doorwerkt in het effluent.

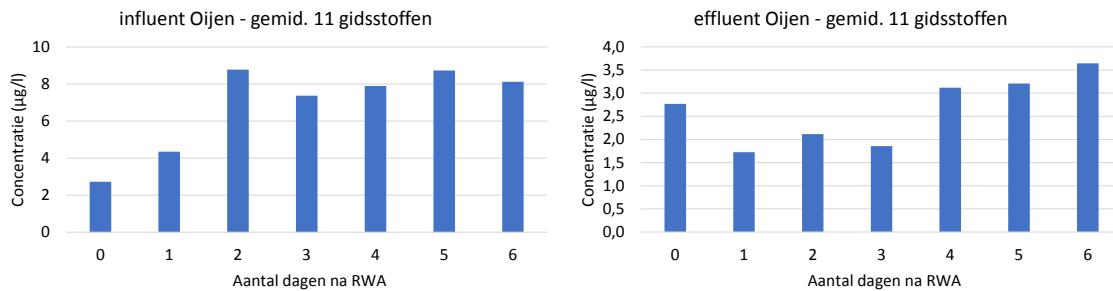
6.2.2.1 RWZI OIJEN

Rwzi Oijen is in het kader van dit onderzoek op 14 achtereenvolgende dagen bemonsterd. Dit is 6 dagen langer dan op de andere rwzi's. Er was sprake van 4 RWA-dagen tijdens de eerste 8 bemonsteringsdagen, de laatste RWA-dag viel op dag 8 (zie ook bijlage 1). Om het effect van RWA op de concentratie gidsstoffen na de RWA-periode beter in kaart te kunnen brengen is aansluitend nog 6 dagen extra bemonsterd (totaal 14 dagen). In deze laatste 6 dagen was het op alle dagen DWA.

In Figuur 6.3 zijn de concentraties influent en effluent weergegeven van dag 8 (de laatste RWA-dag) tot en met dag 14 van de bemonsteringsperiode. voor het gemiddelde van de 11 gidsstoffen (de concentraties van de individuele gidsstoffen zijn opgenomen in bijlage 4; over het algemeen is het beeld hiervan vergelijkbaar met het gemiddelde van de 11 gidsstoffen). Eén dag na de laatste RWA-dag, dus wanneer het debiet weer $< 1,3$ x mediaan was, is de concentratie in het influent nog erg verdund, doordat er nog regenwater in de persleidingen aanwezig was, maar vanaf dag 2 waren de influentconcentraties weer hoog en vrij stabiel. In het effluent daarentegen was de concentratie nog steeds relatief laag op dag 2 en ook drie dagen na de laatste RWA-dag. Vanaf de vierde DWA-dag gaat de concentratie weer omhoog. Op dag 5-6 lijkt de concentratie weer (redelijk) gestabiliseerd. De invloed van RWA op de concentratie gidsstoffen werkt dus langer door in het effluent dan in het influent. Voor

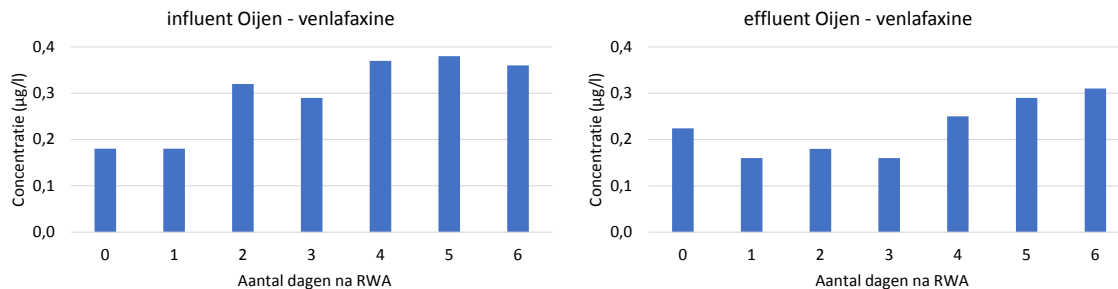
het effluent van rwzi Oijen is er in dit geval een vertraging ten opzichte van het influent van ongeveer 2-3 dagen, dit is vergelijkbaar met de hydraulische verblijftijd van 2,5 dag.

FIGUUR 6.3 GEMIDDELTE INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE VAN GIDSSTOFFEN GEMETEN OP RWZI OIJEN OP EEN RWA-DAG (DAG 0) EN TOT 6 DAGEN DAARNA



Behalve de grafiek met de gemiddelde concentratie van de 11 gidsstoffen (Figuur 6.3), is het concentratieverloop van venlafaxine weergegeven (Figuur 6.4). Dit is een stof die slecht wordt verwijderd (<30%). Rond dag 5 en 6 lijkt er (vrijwel) geen invloed meer te zijn van de RWA-dag. Het grootste effect van de RWA op de effluentconcentratie was dus vooral tot ongeveer 3-4 dagen na de RWA-dag. Het effect van deze schommelingen in concentraties door RWA op het verwijderingsrendement wordt besproken in 6.3.

FIGUUR 6.4 INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE VAN VENLAFAXINE GEMETEN OP RWZI OIJEN OP EEN RWA-DAG EN TOT 6 DAGEN DAARNA



Bovenstaande betreft voorbeelden van één rwzi. Hierbij zal de grootte van de RWA en de configuratie/verblijftijd op de rwzi en de ledigingstijd in het rioolstelsel een rol hebben gespeeld. Rwnzi Oijen heeft een verblijftijd onder DWA-condities van 2,5 dag en een groot persleidingenstelsel. De RWA/DWA-verhouding was op de RWA-dag 2,4, wat niet heel groot is voor deze rwzi: de RWA/DWA verhouding kan hier namelijk oplopen tot 6.

Dat de verblijftijd een rol speelt lijkt ook aannemelijk op basis van de theorie. Een rwzi kan een propstroomconfiguratie hebben of meer lijken op een gemengde tank, of een combinatie daarvan. Volgens de theorie van de ideale propstroom duurt het precies 1 verblijftijd voordat een verandering in het influent zichtbaar is in het effluent. Volgens de theorie van de ideaal gemengde tank kost het ongeveer 2 verblijftijden voordat een concentratieverhoging in het influent volledig is terug te zien in het effluent, waarbij in het eerste deel van deze periode de grootste verandering in de effluentconcentratie plaatsvindt²². In bijlage 6 van dit rapport staan ter illustratie ook een paar resultaten van een modellering met een ideaal gemengde tank, met veranderende influentconcentraties. Verwacht wordt op basis van deze theorie dat na een RWA-periode het effluent nog verdund kan zijn tot ongeveer 1-2 verblijftijden nadat het influent weer op 'DWA-niveau' is. Bij Oijen lijkt dit ook het geval te zijn.

²² Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, New York.

6.2.2.2 RWZI HAPERT

Waterschap de Dommel heeft bij rwzi Hapert verspreid over de periode december 2020 t/m februari 2022, 39 keer simultaan 24-uursmonsters van influent en effluent verzameld en geanalyseerd op gidsstoffen. Er is bij deze bemonstering geen rekening gehouden met DWA of RWA. Deze meetdata zijn gebruikt om een beeld te krijgen van de invloed van RWA op de concentratie gidsstoffen en ook om na te gaan hoe lang een RWA-dag doorwerkt in het effluent op deze rwzi.

De meetdata zijn gegroepeerd in:

RWA-dag:	bemonstering vond plaats tijdens RWA, het debiet was die dag > 1,3 x mediaan dagdebiet
dag na RWA:	bemonstering vond plaats op de 1 ^e DWA-dag na een RWA-dag
2 dagen na RWA:	bemonstering vond plaats op de 2 ^e DWA-dag na een RWA-dag
3 dagen na RWA:	bemonstering vond plaats op de 3 ^e DWA-dag na een RWA-dag
4 dagen na RWA:	bemonstering vond plaats op de 4 ^e DWA-dag na een RWA-dag
DWA:	alle meetdata die overblijven, dus tijdens en minstens 4 dagen voor de bemonstering was het DWA.

De concentratieverdeling is per groep weergegeven in boxplots (Figuur 6.5).

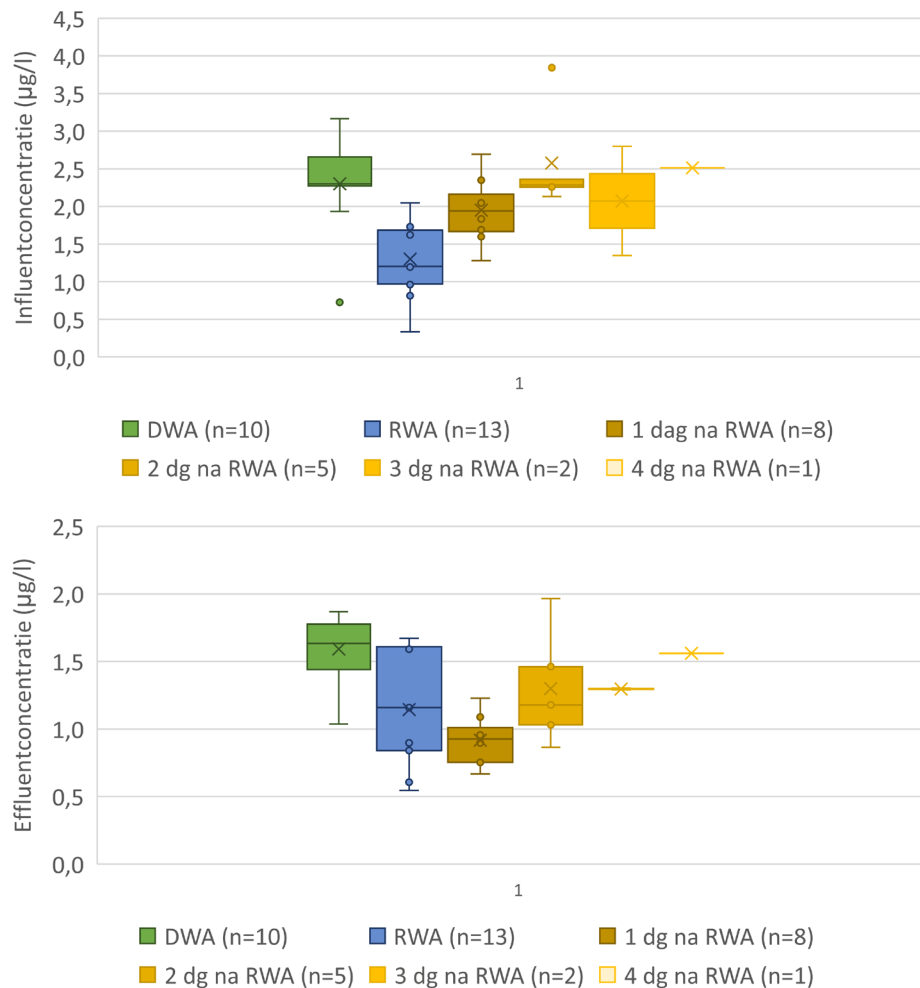
TOELICHTING OP DE BOXPLOT

De boxplot, ook wel aangeduid als box-whisker-plot, is een handzame manier om de kenmerken van een onderzochte populatie of steekproef zo compact mogelijk grafisch samen te vatten. De boxplots van dit hoofdstuk tonen de percentielen van de gemeten influent- en effluentconcentraties. Een 25-percentiel is bijvoorbeeld de waarde die door 25% van de meetwaarden wordt onderschreden.

De box (doos) loopt van het 25-percentiel naar het 75-percentiel, terwijl het 50-percentiel (ook wel de mediaan genoemd) is aangegeven als een horizontale lijn in de box. De whiskers (letterlijk vertaald: snorharen) lopen van de box naar de verst gelegen meetwaarde die niet verder ligt dan 1,5 maal de boxlengte. Meetwaarden die verder zijn gelegen worden aangeduid als uitschieters en zijn weergegeven met een punt in de kleur van de daarbij horende box. Ten slotte is nog het rekenkundig gemiddelde van de meetwaarden weergegeven, als een X. Bij één meetwaarde of alleen identieke meetwaarden is de boxplot slechts een horizontale lijn, met in het midden daarvan de X van het gemiddelde.

FIGUUR 6.5

CONCENTRATIEVERDELING VAN GIDSSTOFFEN (GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN ZONDER TRIMETHOPRIM) OP DWA EN RWA-DAGEN OP RWZI HAPERT. DE BOVENSTE GRAFIEK GEEFT DE INFLUENTCONCENTRATIE WEER EN DE ONDERSTE DE EFFLUENTCONCENTRATIE. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE VERSCHILLENDE GROEPEN DE HOOFDTEKST. TRIMETHOPRIM IS WEGGELATEN OMDAT DEZE GIDSSTOF BIJ RWZI HAPERT SOMS IN ZEER HOGE CONCENTRATIES WORDT GEMETEN (> FACTOR 30 HOGER DAN GEBRUIKELIJK)



De boxplots laten zien dat bij bemonstering van het influent tijdens RWA er sprake is van een duidelijk lagere concentratie dan tijdens DWA. Eén dag na een RWA-dag is de influentconcentratie in de meeste gevallen nog steeds lager dan bij de DWA-groep. Vanaf 2 dagen na een RWA-dag is er in het influent geen duidelijk verschil meer met de DWA-groep. Hieruit volgt dat het influent tijdens RWA en meestal ook 1 dag na de RWA periode een lagere concentratie zal hebben dan onder 'pure' DWA omstandigheden.

Bij het effluent is het beeld anders dan bij het influent. Tijdens RWA is gemiddeld genomen de concentratie lager dan tijdens DWA, maar er is een grote spreiding te zien in de gemeten effluentconcentraties op RWA-dagen. Eén dag na een RWA-dag is de concentratie duidelijk lager ten opzichte van de DWA-groep. Twee dagen na een RWA-dag lijkt de concentratie nog steeds in de meeste gevallen lager te zijn dan in de DWA-groep. Er waren maar een beperkt aantal meetmomenten beschikbaar 3 of 4 dagen na een RWA-dag, dus hoe lang precies RWA een invloed heeft op de effluentconcentratie is niet helemaal duidelijk. Dit lijkt in ieder geval tot en met 2 dagen na de RWA-dag te zijn, en de beperkte data wijst erop dat dit mogelijk tot 3 dagen duurt. Dus tenminste 1 dag langer dan bij het influent. Er kan niet precies worden vastgesteld of het 1 verblijftijd (=2 dagen) of korter/langer duurt.

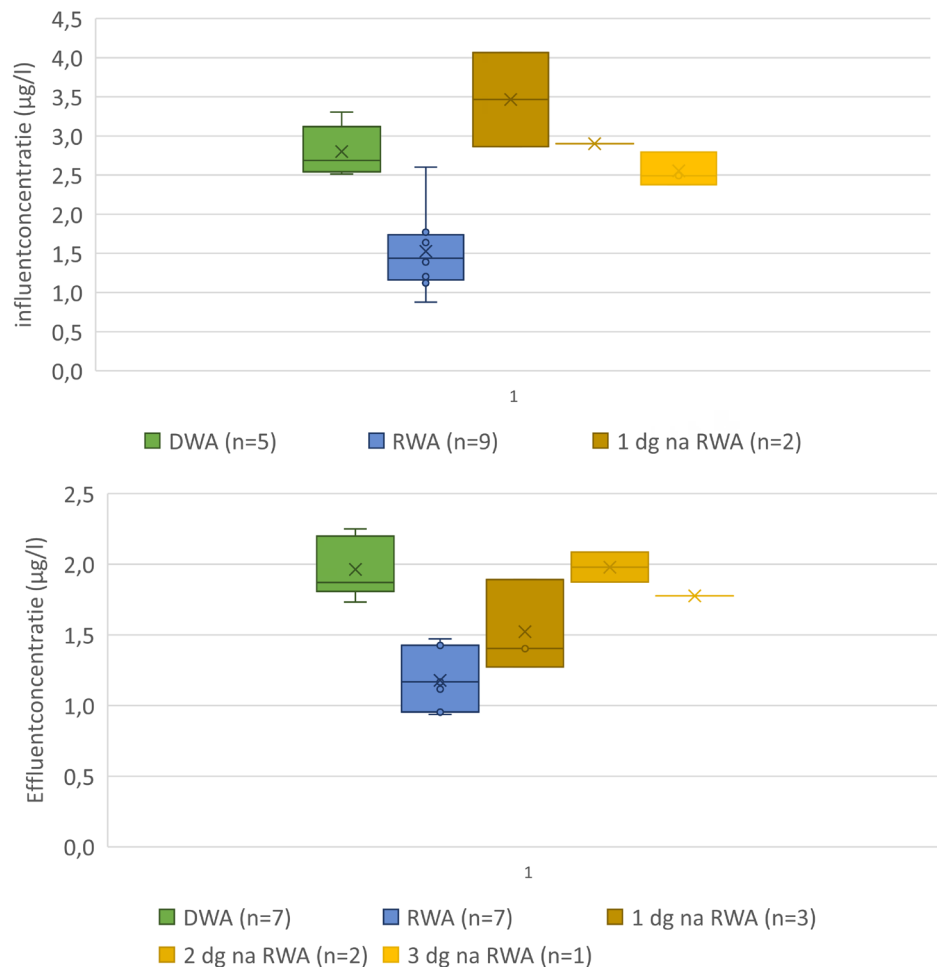
6.2.2.3 RWZI HOENSBROEK

Waterschapsbedrijf Limburg heeft bij rwzi Hoensbroek van juni 2020 t/m april 2022 bijna maandelijks een 48-uursmonsters genomen van influent en effluent, waarbij de bemonstering van het effluent 1 dag later is gestart dan het influent. Totaal gaat het om 20 influent- en effluentmonsters. Er is bij de bemonstering geen rekening gehouden met DWA- of RWA-omstandigheden. Deze meetgegevens zijn, net als die van Hapert, gebruikt om een beeld te krijgen van de invloed van RWA op de concentratie gidsstoffen en om na te gaan hoe lang een RWA-dag nog doorwerkt in het effluent. Hoensbroek heeft een kortere verblijftijd dan Hapert en Oijen, namelijk 1,2 dag.

De volgende groepering is gemaakt, deze wijkt iets van de groepering bij rwzi Hapert vanwege de 48-uursmonsters:

- RWA-dag: het somdebiet van beide bemonsteringsdagen was $> 2 \times 1,3 \times$ mediaan dagdebiet
- dag na RWA: de bemonstering startte na een RWA-dag, tijdens de bemonstering was sprake van DWA
- 2 dagen na RWA: de bemonstering startte 2 dagen na een RWA-dag
- 3 dagen na RWA: de bemonstering startte 3 dagen na een RWA-dag
- DWA: alle meetdata die overblijven, dus tijdens en minstens 3 dagen voor de bemonstering is er sprake van DWA

FIGUUR 6.6 CONCENTRATIEVERDELING VAN GIDSSTOFFEN (GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN 11 GIDSSTOFFEN) TIJDENS DWA EN RWA-DAGEN OP RWZI HOENSBROEK. HET BETREFFEN 48-UURMONSTERS. DE BOVENSTE GRAFIEK GEEFT DE INFLUENTCONCENTRATIE WEER EN DE ONDERSTE DE EFFLUENTCONCENTRATIE. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE VERSCHILLENDE GROEPEN DE HOOFDTEKST



Bemonstering tijdens RWA levert een duidelijk lagere concentratie op dan tijdens DWA, zowel in het influent als het effluent (Figuur 6.6). Helaas zijn er voor het influent maar 2 meetmomenten waarop de 48-uursbemonstering direct startte na één RWA-dag, maar beide momenten geven wel hetzelfde aan, namelijk dat de concentratie dan tenminste weer net zo hoog was als in de DWA-groep. Ook 2 en 3 dagen na een RWA-dag is er geen verdunningseffect meer zichtbaar in het influent. Dus uit deze resultaten volgt dat de influentconcentratie van rwzi Hoensbroek bij een 48-uursmonster alleen tijdens RWA duidelijk afwijkt ten opzichte van bemonstering onder DWA.

In het effluent is er bij de groep monsters waarbij de bemonstering is gestart direct na een RWA-dag gemiddeld genomen wel een lagere concentratie waargenomen ten opzichte van de DWA-groep. Echter, er is een relatief grote spreiding in concentratie tussen de drie monsters die zijn genomen direct na een RWA-dag. In de 48-uursmonsters waarvan de bemonstering is gestart 2 of 3 dagen na een RWA-dag is in alle monsters de concentratie weer vergelijkbaar met die van een DWA-dag. Hier is ook het aantal meetmomenten erg beperkt, dus het is niet mogelijk om op basis hiervan betrouwbare uitspraken te doen. De invloed van RWA op de effluentconcentratie bij Hoensbroek, welke een hydraulische verblijftijd heeft van 1,2 dag, lijkt dus 1 – 2 dagen te duren. Omdat het hier om 48-uursmonsters gaat en vanwege het beperkte aantal meetmomenten kan dit niet nauwkeuriger worden aangegeven.

6.2.2.4 SAMENVATTING RESULTATEN VAN DE 3 RWZI'S

Uit bovenstaande drie voorbeelden blijkt dat RWA leidt tot verlaging van de concentratie gidsstoffen in zowel het influent als in het effluent. De effluentconcentratie is nog enkele dagen verlaagd nadat de RWA-periode voorbij is. Het verschilt per rwzi hoelang de concentratie nog beïnvloed wordt na een RWA-periode. Bij de beschouwde drie rwzi's was er sprake van een verlaagde concentratie van tenminste 1 dag voor rwzi Hoensbroek, tenminste 2 tot mogelijk 3 dagen voor rwzi Hapert en ongeveer 3-4 dagen voor rwzi Oijen. Bij rwzi Hoensbroek lijkt het na-ijl effect dus korter dan bij rwzi Hapert en Oijen. Hierbij speelt waarschijnlijk de verblijftijd op de rwzi een rol, en mogelijk ook de ledigingstijd van het rioolstelsel.

6.3 INVLOED OP VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN

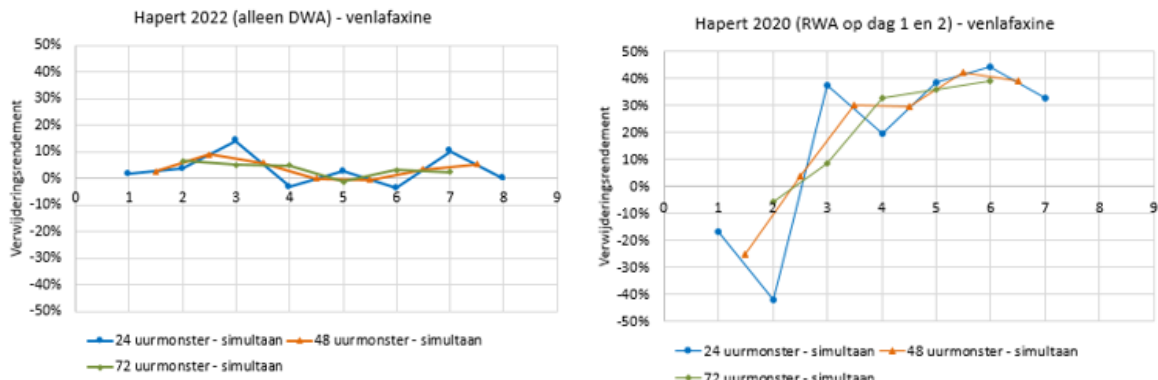
Uit voorgaande blijkt dat de concentraties in een periode met RWA erg kunnen variëren.

Als hier geen rekening mee wordt gehouden, kan dit leiden tot grote meetfouten bij het bepalen van het verwijderingsrendement van de gidsstoffen.

6.3.1 RWZI HAPERT, VOORBEELD RWA-INVLOED OP HET VERWIJDERINGSRENDEMENT

Ter illustratie van bovenstaande is hieronder een voorbeeld gegeven van de verwijderingsrendementen van venlafaxine op rwzi Hapert. De rendementen zijn berekend op basis van simultane bemonstering van influent en effluent (Figuur 6.7; in bijlage 5 zijn de grafieken van alle gidsstoffen opgenomen). Onder alleen DWA omstandigheden varieert het verwijderingsrendement tijdens de 8-daagse bemonstering niet meer dan 20%. Het rendement schommelt tussen de -10% en +10%, ook het rendement gebaseerd op de 24-uursmonsters. In de bemonsteringsweek in 2020, die begint met RWA en waar vanaf dag 3 sprake is van DWA, is eerst het rendement negatief (tot -40%) en vlak na de RWA-dagen is het juist heel positief, namelijk tot ongeveer 40% verwijdering. Er is dus een veel grotere spreiding in het verwijderingsrendement in een periode met RWA, dan bij een volledig DWA periode.

FIGUUR 6.7 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN VENLAFAXINE OP RWZI HAPERT TIJDENS DWA (BEMONSTERINGSWEEK IN 2022) EN MET RWA (BEMONSTERINGSWEEK 2020). DE RWA/DWA-VERHOUDING WAS OP DE TWEE RWA-DAGEN 2,0-2,4. VERWIJDERINGSRENDEMENTEN ZIJN BEREKEND MET DE CONCENTRATIES VAN DE 24-UURS-, 48-UURS- EN 72-UURSMONSTERS, WAARBIJ DE CONCENTRATIES VAN HET 48-UURS- EN HET 72-UURSMONSTER ZIJN BEREKEND DOOR EEN GEWOGEN GEMIDDELDE CONCENTRATIE TE BEREKENEN VAN DE 2 RESPECTIEVELIJK 3 24-UURSMONSTERS



BEREKENING VAN DE RENDEMENTEN OP BASIS VAN 24-UURS, 48-UURS EN 72-UURSMONSTERS MET SIMULTANE BEMONSTERING TUSSEN INFLUENT EN EFFLUENT

Voor de 24-uursrendementen in dit hoofdstuk zijn de concentraties gebruikt zoals gemeten. Voor de 48- en 72-uursrendementen zijn eerst met de 24-uursmonsters de concentraties over 48 en 72 uur berekend. Om van 24-uursdebietsproportionele monsters tot een gemiddelde concentratie te komen over 48-uur of 72-uur zijn de concentraties gewogen: bij een hoger debiet telt de concentratie zwaarder mee. Er is dus rekening gehouden met het debiet. Het verwijderingsrendement is vervolgens berekend met de volgende formule:

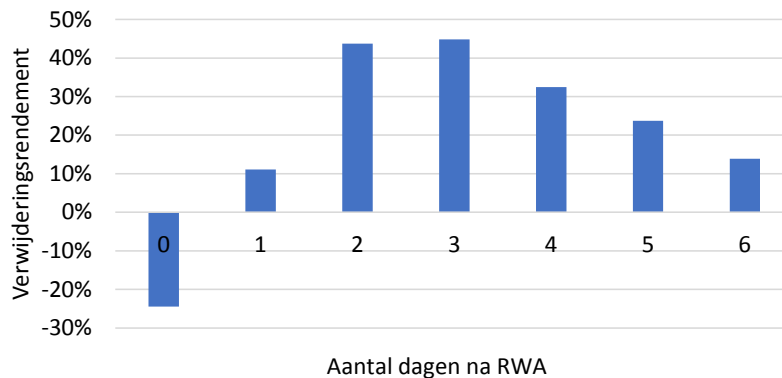
$$V = \frac{I - E}{I} \cdot 100\%$$

waarin V het verwijderingsrendement, I de concentratie van het influent en E de concentratie van het effluent.

6.3.2 RWZI OIJEN, VOORBEELD RWA-INVLOED OP HET VERWIJDERINGSRENDEMENT NÁ DE RWA-PERIODE

In paragraaf 6.2 is aangetoond dat RWA nog tot enkele dagen na de RWA-periode van invloed kan zijn op het rwzi-effluent. Het effect op het verwijderingsrendement wordt hieronder getoond voor de bemonsteringsweek van rwzi Oijen (Figuur 6.8).

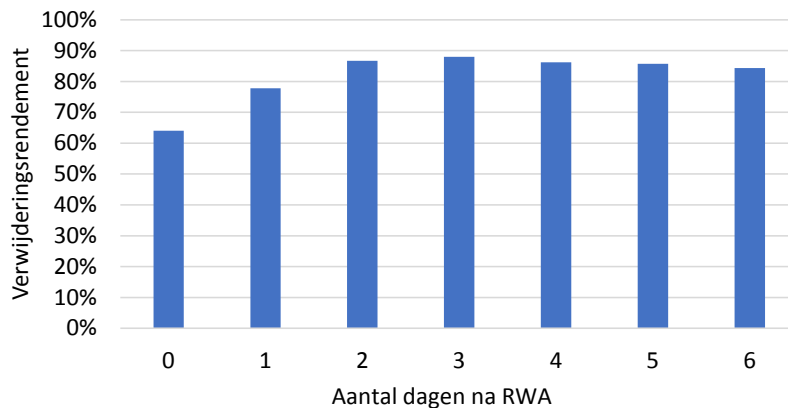
FIGUUR 6.8 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN VENLAFAXINE OP RWZI OIJEN TIJDENS DE LAATSTE 7 DAGEN VAN DE BEMONSTERINGSPERIODE IN 2022. DE RENDEMENTEN ZIJN GEBASEERD OP DE CONCENTRATIES VAN DE 24-UURSMONSTERS, MET SIMULTANE BEMONSTERING VAN INFLUENT EN EFFLUENT. DAG 0 IS EEN RWA-DAG, VANAF DAG 1 WAS ER SPRAKE VAN DWA



Op de RWA-dag is het influent meer verdund dan het effluent, dit leidt tot een onderschatting van het rendement. In het voorbeeld van Oijen is het rendement dan negatief. Eén dag na deze RWA-dag neemt de influentconcentratie weer licht toe en de effluentconcentratie juist verder af waardoor het rendement op ongeveer 10% uitkomt. Op dag 2 en 3 is de influentconcentratie weer zoals verwacht mag worden op een DWA-dag, de effluentconcentratie is dan nog laag door de RWA, wat leidt tot een overschatting van het rendement, deze is dan rond de 40%. Op dag 4 – 6 neemt de effluentconcentratie weer verder toe, de influentconcentratie blijft redelijk stabiel, waardoor het rendement af neemt tot ongeveer 10-20% op dag 5 en 6. Waterschap Aa en Maas heeft zelf ook een aantal monsters genomen en geanalyseerd op gidsstoffen. Als van deze monsters alleen die monsters worden geselecteerd waarbij er sprake was van DWA tijdens de bemonstering en minimaal 3 dagen daarvoor ook, dan ligt het rendement van venlafaxine op basis van de waterschapsgegevens in het interval <0% tot 23%, dit komt overeen met het gegeven dat venlafaxine slecht wordt verwijderd op rwzi's. Als dit rendement wordt vergeleken met bovenstaande grafiek, lijkt het aannemelijk dat het rendement van venlafaxine in dit voorbeeld ongeveer vanaf dag 5 vrijwel niet meer wordt beïnvloed door de RWA.

Opgemerkt wordt dat het na-ijl effect van RWA in het effluent minder van invloed is op het rendement als het verwijderingsrendement van een stof hoog is. Dit is analoog aan wat in paragraaf 5.4 is toegelicht. Om dit te illustreren zijn hieronder de verwijderingsrendementen van trimethoprim weergegeven. Deze gidsstof heeft het hoogste rendement op rwzi Oijen, namelijk ongeveer 80%.

FIGUUR 6.9 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN TRIMETHOPRIM OP RWZI OIJEN TIJDENS DE LAATSTE 7 DAGEN VAN DE BEMONSTERINGSPERIODE IN 2022. DE RENDEMENTEN ZIJN GEBASEERD OP DE CONCENTRATIES VAN DE 24-UURSMONSTERS, MET SIMULTANE BEMONSTERING VAN INFLUENT EN EFFLUENT



Tot slot een opmerking gerelateerd aan het verwijderingsrendement *tijdens* RWA. In beide gevallen, zowel bij rwzi Hapert als Oijen, is op de RWA-dagen een onderschatting van het rendement waargenomen. Hierbij geldt dat er bij Hapert sprake was van 2 aaneengesloten RWA-dagen en bij Oijen van 1 RWA-dag. De dag ervoor en de dag na deze RWA-periode was het DWA. In deze situatie is dus een onderschatting waargenomen. De influentconcentratie was op de RWA-dag verlaagd door verdunning met regenwater en het effluent nog niet, of in iedergeval nog niet in dezelfde mate. Mocht er een lange aaneengesloten periode van RWA zijn, dan kan het goed mogelijk zijn dat deze onderschatting niet meer optreedt of veel minder sterk is. Dit zal ook afhangen hoe constant het RWA-debiet is in die periode.

6.3.3 SAMENVATTING

De resultaten van zowel rwzi Hapert als Oijen laten zien dat er *tijdens* een korte RWA-periode van een tot twee aaneengesloten RWA-dagen een onderschatting van het rendement kan optreden en vlak *na* een RWA-periode kan door het na-ijl effect van RWA op het effluent een overschatting van het rendement optreden, met name als een gidsstof slecht wordt verwijderd. Om onnauwkeurigheden in de bepaling van het rendement door RWA te vermijden verdient het daarom aanbeveling om alleen onder DWA-omstandigheden te bemonsteren.

6.4 RWA/DWA-GRENS

Als er alleen onder DWA-omstandigheden kan worden bemonsterd, vallen er een aantal dagen in het jaar af waarop een monster kan worden genomen. Met de gebruikte definitie voor RWA en DWA valt de RWA/DWA-grens op 1,3 x mediaan van het dagdebiet (zie voor de volledige definitie van RWA en DWA paragraaf 6.1). Als de RWA/DWA-grens iets hoger zou liggen, zouden er minder dagen afvallen en wordt het vaker mogelijk om een DWA-monster te nemen.

Voor rwzi Hoensbroek en Hapert is nagegaan wat het effect is op de concentratieverdeling van de gidsstoffen op DWA- en RWA-dagen in het influent als de RWA/DWA-grens wat hoger wordt gelegd, en tot wanneer nog een duidelijk onderscheid wordt waargenomen tussen DWA en RWA-dagen. Specifiek is naar rwzi Hoensbroek en Hapert gekeken omdat voor deze twee rwzi's relatief veel extra meetgegevens omtrent gidsstoffen beschikbaar zijn, gemeten door de waterschappen.

De volgende groepen zijn gemaakt.

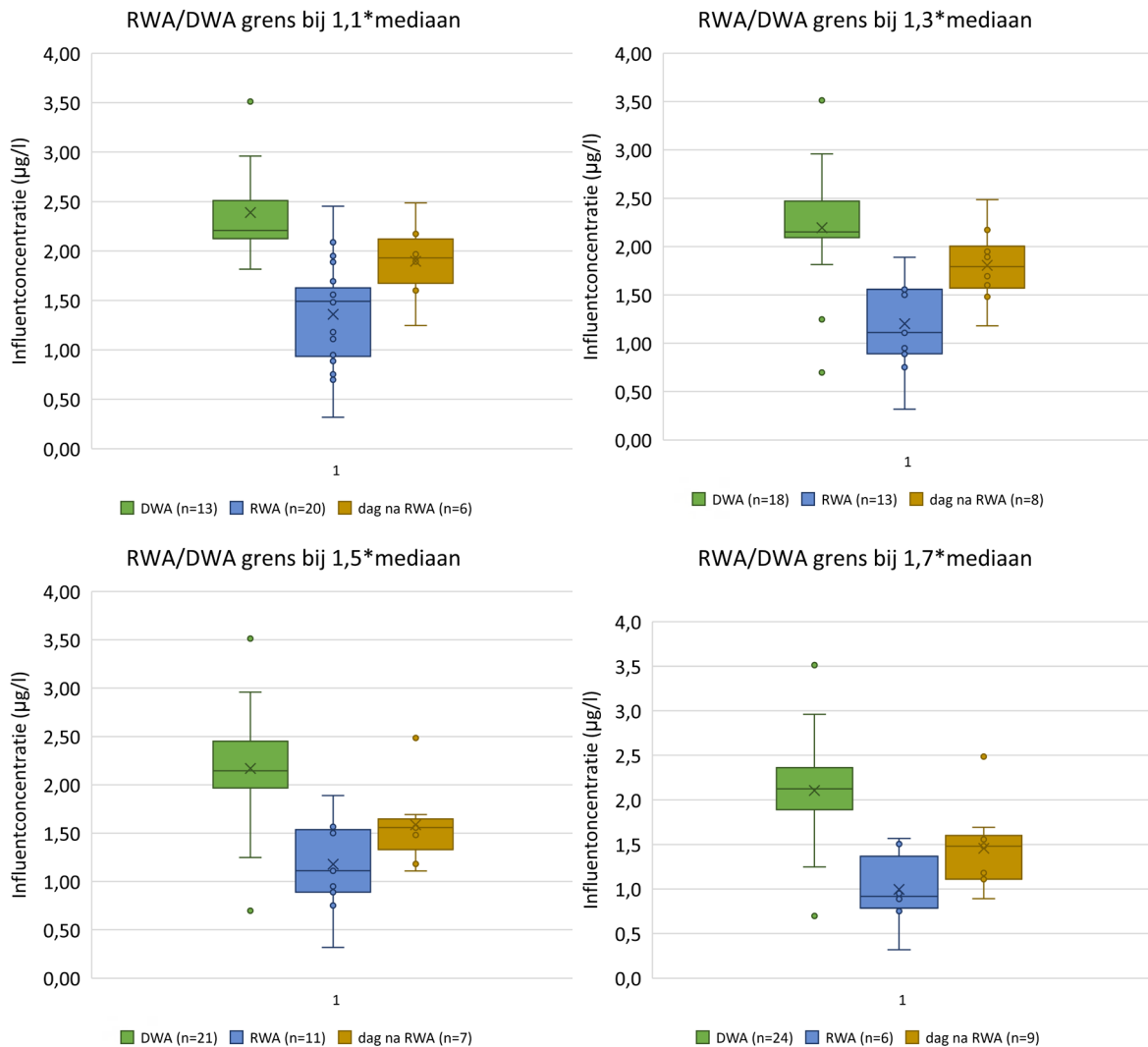
Hapert:

- RWA: Bemonstering vond plaats tijdens RWA, het debiet was die dag $> factor \times$ mediaan dagdebiet
- dag na RWA: bemonstering vond plaats op de 1^e DWA-dag na een RWA-dag
- DWA: alle meetdata die overblijven, dus tijdens en minstens 1 dag voor de bemonstering was het DWA.

Hoensbroek:

- RWA-dag: het somdebiet van beide bemonsteringsdagen was $> 2 \times factor \times$ mediaan dagdebiet
- dag na RWA: de bemonstering startte na een RWA-dag, tijdens de bemonstering was sprake van DWA
- DWA: alle meetdata die overblijven, dus tijdens en minstens 1 dag voor de bemonstering was het DWA

FIGUUR 6.10 CONCENTRATIEVERDELING VAN *GIDSSTOFFEN* (GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN 10 GIDSSTOFFEN, ZONDER TRIMETHOPRIM) TIJDENS DWA- EN RWA-DAGEN OP RWZI HAPERT. HET BETREFFEN 24-UURMONSTERS VAN HET INFLUENT. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE VERSCHILLENDE GROEPEN DE HOOFDTEKST



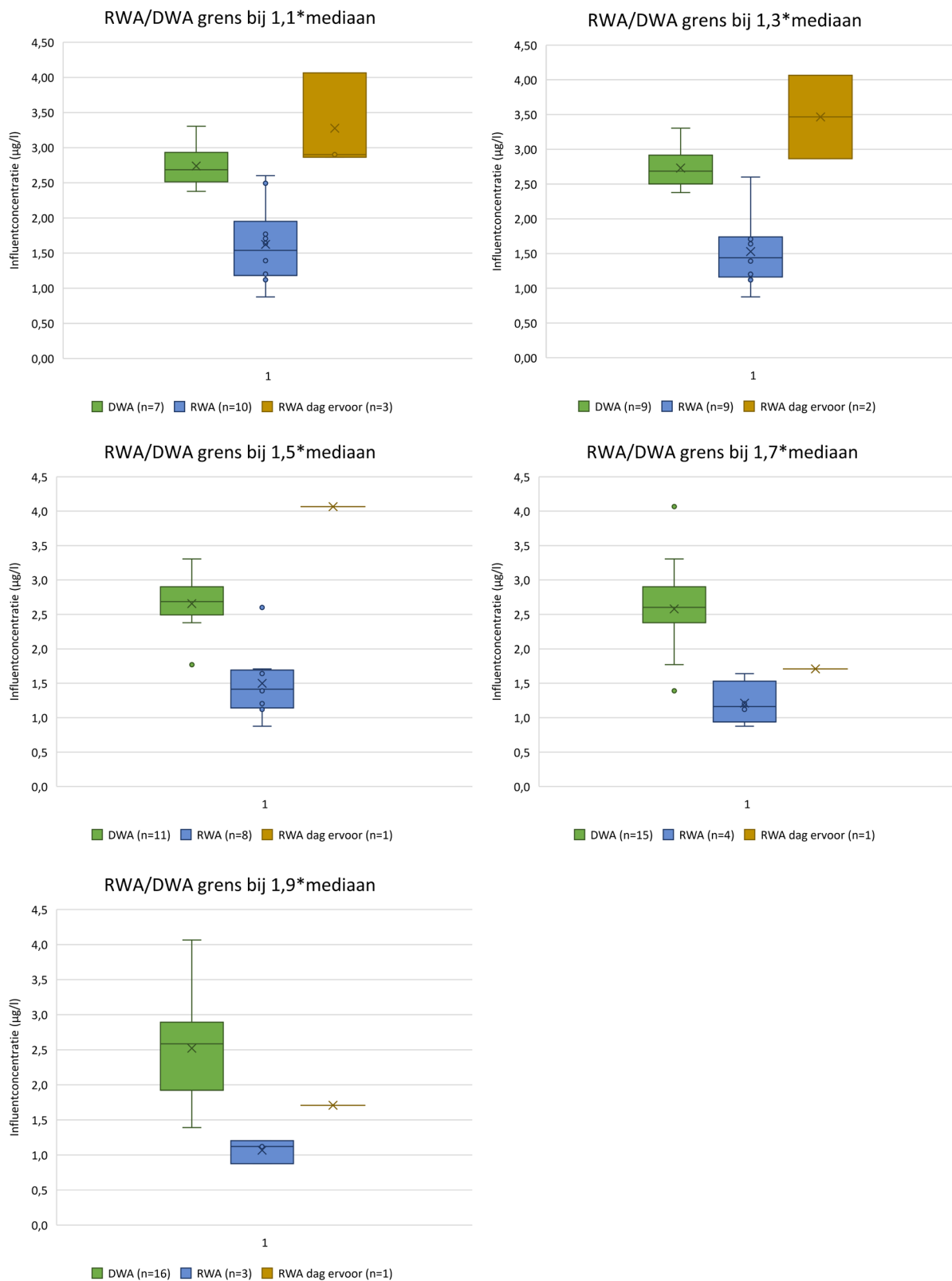
Figuur 6.10 laat zien dat bij rwzi Hapert de DWA- en RWA-groepen het meest onderscheidend zijn bij een RWADWA-grens van 1,3 x mediaan dagdebiet. Bij een factor 1,1 vallen meer monsters in de RWA-groep terwijl ze qua concentratie niet duidelijk anders zijn dan de DWA-monsters. Bij een hogere factor is het juist andersom en is er meer overlap tussen de DWA en RWA-groep doordat meer monsters met een duidelijk lagere concentratie dan een gemiddeld DWA-monster wel in de DWA-groep terecht komen in plaats van de RWA-groep. Daarnaast zijn de whiskers van de DWA-groep groter bij 1,5 x mediaan dan bij 1,3 x mediaan.

Bij rwzi Hoensbroek is het onderscheid minder makkelijk te maken dan bij rwzi Hapert. Figuur 611 toont dat bij rwzi Hoensbroek tussen 1,1, 1,3 en 1,5 x mediaan dagdebiet steeds maar 1 RWA-dag minder zit in de RWA-groep. Er zijn dus weinig monsters om verschillen tussen deze drie RWADWA-grenzen weer te kunnen geven. Bij alle drie de boxplots is een duidelijk onderscheid te zien tussen de DWA- en RWA-groep en de whiskers van de DWA-groep zijn ook ongeveer even groot. Tussen de boxplots met de RWADWA-grens bij 1,5 en 1,7 x mediaan dagdebiet zit wel een duidelijk verschil en er waren ook meer monsters om het verschil tussen beide factoren te kunnen bepalen. Er is bij 1,7 x mediaan nog steeds een

duidelijk onderscheid tussen de DWA- en RWA-groep, maar de whiskers van de DWA-groep nemen toe en het 1^e kwartiel komt lager te liggen. Dit wordt nog sterker bij 1,9 x mediaan dagdebiet. Op basis van deze informatie zou de RWA/DWA-grens het beste kunnen worden gelegd op of tussen de 1,1 en 1,5 x mediaan dagdebiet. Als de grens hoger komt te liggen dan 1,5 x mediaan dagdebiet wordt de concentratieverdeling in de DWA-groep groter.

Als er voldoende meetgegevens beschikbaar zijn van een rwzi zou met deze methode kunnen worden onderzocht of de RWA/DWA-grens van de betreffende rwzi wellicht ook hoger kan worden gelegd dan de huidige grens (1,3 x mediaan van dagdebiet). Dan zouden meer dagen DWA-dagen worden en zou bemonstering onder DWA-omstandigheden vaker mogelijk worden. De beschikbare gegevens voor Hapert en Hoensbroek laten zien dat er voor deze rwzi's niet direct aanleiding is om de RWA/DWA-grens te verhogen. Mogelijk dat de RWA/DWA-grens bij Hoensbroek naar 1,5 x mediaan van dagdebiet kan, maar dat zou verder bevestigd moeten worden met meer meetdata.

FIGUUR 6.11 CONCENTRATIEVERDELING VAN *GIDSSTOFFEN* (GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN 11 *GIDSSTOFFEN*) TIJDENS DWA- EN RWA-DAGEN OP RWZI HOENSBROEK. HET BETREFFEN 48-UURMONSTERS VAN HET *INFLUENT*. ZIE VOOR EEN TOELICHTING OP DE VERSCHILLENDE GROEPEN DE HOOFDTEKST



6.5 KANSEN OP DWA-DAGEN IN EEN 14-DAAGSE PERIODE

Vanwege de invloed van RWA op het verwijderingsrendement zoals in dit hoofdstuk beschreven, wordt in de voorgestelde bemonsteringsmethode (H2) uitgegaan van bemonstering onder DWA-condities. Onnauwkeurigheden in de bepaling van het verwijderingsrendement worden door RWA-invloed dan zoveel mogelijk vermeden.

De RWA/DWA-grens wordt gehouden op 1,3 x mediaan dagdebiet *of* op 1,2 x (gemiddelde DWA-dagdebiet + standaardafwijking).

Dit hoofdstuk laat ook zien dat, afhankelijk van de omstandigheden, de RWA-invloed nog door kan werken in het effluent tot enkele dagen na de RWA-periode. Als deze dagen ook niet worden meegenomen zoals in de definitie van 'pure DWA-omstandigheden', dan kunnen er veel dagen afvallen. In het voorstel wordt uitgegaan van een bemonstering over 14 dagen. Om het aantal 'pure DWA-dagen' dat in 14 aaneengesloten dagen door het jaar heen kan worden verkregen beter in beeld te krijgen, zijn de kansen berekend op aantallen DWA-dagen in een 14-daagse periode.

Enkele technische specificaties waarop de kansberekening is gebaseerd:

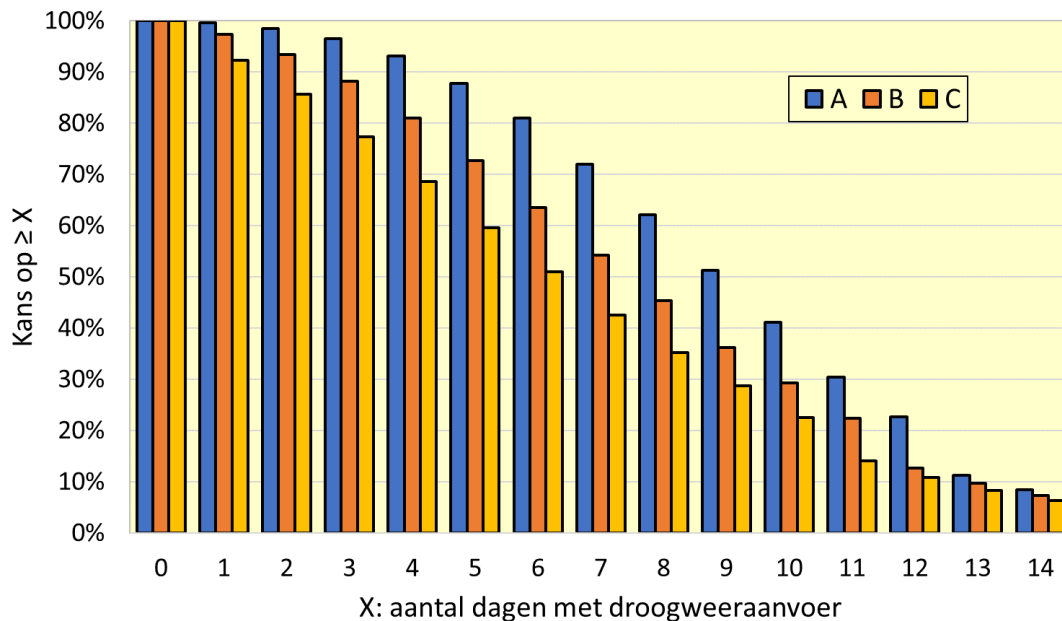
- De kansberekening is gebaseerd op de tijdreeks van de uurlijkse neerslag te De Bilt, die de periode 1906 t/m 2014 omvat. Het betreft een reeks die is gecorrigeerd voor de geleidelijk stijgende trend in die periode, zodanig dat deze over de hele lengte beter representatief is te achten voor het huidige niveau van de neerslag (STOWA 2019-19)²³.
- De uurlijkse neerslag is omgezet naar dagelijkse neerslag.
- Er is vanuit gegaan dat er sprake is van een RWA-dag als de neerslag >3 mm/d was²⁴.
- Vervolgens zijn er drie situaties onderscheiden:
 - A: de eerste droge dag direct na een RWA-dag wordt ook gekenmerkt als een RWA-dag
 - B: de 1^e en 2^e dag droge dag na RWA-dag worden ook gekenmerkt als RWA-dagen
 - C: de 1^e, 2^e en 3^e droge dag na een RWA-dag worden ook gekenmerkt als RWA-dagen
- Vervolgens zijn met de voor trend gecorrigeerde tijdreeks van de dagneerslag van 1906 t/m 2014 per situatie de kansen bepaald op aantallen DWA-dagen in een 14-daagse periode.

Onderstaande staafdiagram toont de kans op X of meer dagen met droogweeraanvoer in een 14-daagse periode. De grafiek laat bijvoorbeeld zien dat de kans op minstens 6 DWA-dagen afneemt van 81% bij situatie A, tot 64% bij situatie B en 51% bij situatie C.

²³ STOWA 2019-19: Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019, STOWA, KNMI en HKV, Rapport 2019-19.

²⁴ Expert judgement Mirabella Mulder (31-5-2023).

FIGUUR 6.12 KANS OP $\geq X$ DAGEN MET DROOGWEERAANVOER IN EEN 14-DAAGSE PERIODE. A: DWA IS GEDEFINIEERD ALS GEEN NEERSLAG (<3MM/D) OP DE DAG ZELF EN OOK NIET DE DAG ERVOOR; B: DWA IS GEDEFINIEERD ALS GEEN NEERSLAG OP DE DAG ZELF EN OOK NIET DE TWEE DAGEN ERVOOR; C: DWA IS GEDEFINIEERD ALS GEEN NEERSLAG OP DE DAG ZELF EN OOK NIET DE DRIE DAGEN ERVOOR



Opgemerkt wordt dat deze kansberekening geldt voor rwzi's met een gemengd rioolstelsel. Op rwzi's waarbij het hemelwater (grotendeels) is afgekoppeld, zoals bijvoorbeeld voor rwzi Lelystad het geval is, zal er veel vaker of zelfs op bijna alle dagen onder DWA-condities bemonsterd kunnen worden.

7

TEMPERATUURSINVLOED OP HET VERWIJDERINGSRENDEMENT

7.1 INLEIDING

Tijdens het onderzoek rees de vraag of de watertemperatuur van de actief slibtank invloed heeft op het verwijderingsrendement van de 11 gidsstoffen. Dit is van belang om te weten bij het opzetten van een bemonsteringsmethode omdat er dan wel of geen rekening moet worden gehouden met variatie in verwijderingsrendementen door het jaar heen, in de verschillende seizoenen. Als er geen invloed van de temperatuur en/of het seizoen zou zijn, zou wellicht met een paar metingen door het jaar heen kunnen worden volstaan om een goed beeld te krijgen hoe een zuivering presteert wat betreft de verwijdering van gidsstoffen.

Van drie rwzi's waren meetgegevens beschikbaar om te bepalen of er een correlatie is tussen temperatuur en verwijdering van gidsstoffen, namelijk van Horstermeer, Hapert en Hoensbroek. Belangrijk hierbij was dat er monsters genomen waren bij verschillende temperaturen onder droogweercondities.

Met deze meetgegevens zijn correlatiecoëfficiënten tussen de temperatuur en het verwijderingsrendement berekend uitgaande van lineaire regressie. Een correlatie tussen temperatuur en de verwijdering van een gidsstof hoeft niet per se te betekenen dat er tussen beiden een causaal verband is. Hier kunnen (ook) andere (seizoens)invloeden een rol in hebben gespeeld.

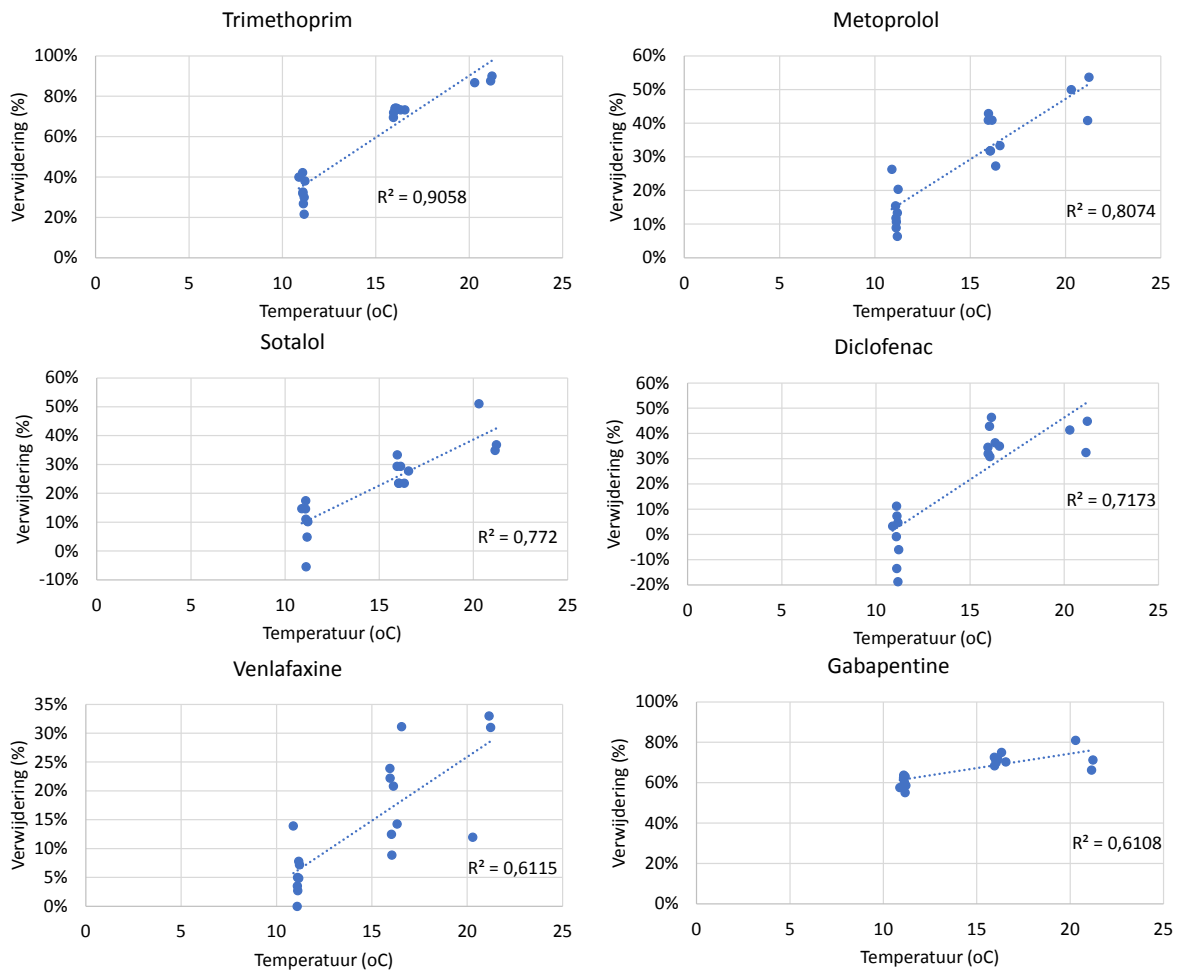
In dit hoofdstuk worden per rwzi de resultaten besproken, gevolgd door de conclusies.

7.2 RWZI HORSTERMEER: MEERDERE GIDSSTOFFEN LATEN EEN SIGNIFICANTE CORRELATIE ZIEN TUSSEN TEMPERATUUR EN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN

Rwzi Horstermeer is een week lang dagelijks bemonsterd in zowel 2019, 2020 en 2022. Deze drie bemonsteringsweken waren uitgevoerd in verschillende maanden (sept, nov en maart) en dus bij een verschillende temperatuur. In deze dataset zijn eerst de RWA-dagen verwijderd. Alleen 'pure' DWA-dagen zijn meegenomen, waarbij als regel is gebruikt dat het tijdens de bemonstering en tenminste 2 dagen voor de bemonstering (=1x HRT) droog moet zijn geweest. Dit is gedaan om zoveel mogelijk RWA-invloeden op het verwijderingsrendement te kunnen uitsluiten, zonder te veel datapunten te verliezen. In totaal zijn er 18 DWA-bemonsteringsmomenten overgebleven. Vervolgens zijn de verwijderingsrendementen van de gidsstoffen berekend op basis van de 24-uurs simultane monsters, waarna het rendement per gidsstof is uitgezet tegen de temperatuur.

Voor 6 van de 11 gidsstoffen is een statistisch significante correlatie gevonden. De verwijderingsrendementen van deze 6 gidsstoffen zijn in Figuur 7.1 uitgezet tegen de temperatuur. Een overzicht van alle correlatiecoëfficiënten staat in Tabel 7.1.

FIGUUR 7.1 GIDSSTOFFEN WAARVOOR BIJ RWZI HORSTERMEER EEN STATISTISCH SIGNIFICANTE CORRELATIE IS GEVONDEN TUSSEN TEMPERATUUR EN VERWIJDERINGSRENDEMENT. DE GIDSSTOFFEN MET DE HOOGSTE CORRELATIES STAAN BOVENAAN



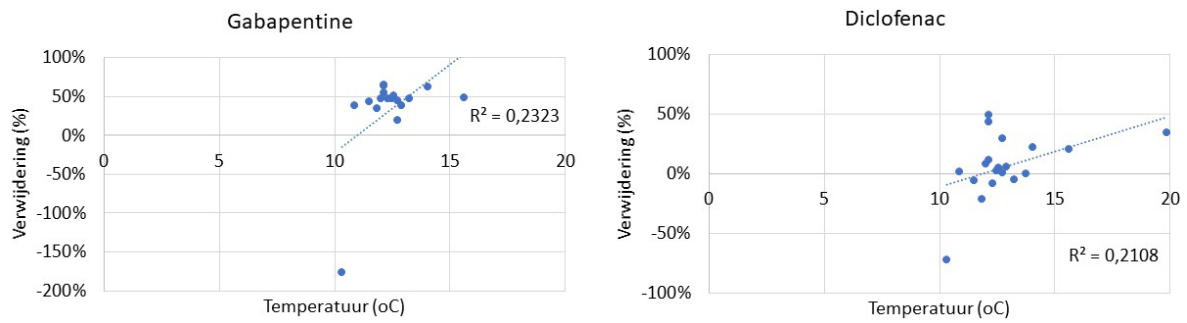
Uit de resultaten blijkt dat trimethoprim de hoogste correlatie geeft met de temperatuur. Dit is tevens een van de gidsstoffen die het best wordt verwijderd op de rwzi ten opzichte van de andere gidsstoffen. Gabapentine geeft ook relatief hoge rendementen, maar de correlatie met temperatuur is minder sterk, ook bij lage temperaturen wordt een relatief hoog rendement gevonden. De relatie met temperatuur kan dus voor elke gidsstof anders zijn.

7.3 RWZI HAPERT: CORRELATIE GIDSSTOFFEN EN TEMPERATUUR NIET DUIDELIJK

Rwzi Hapert is in dit project twee keer een week lang dagelijks bemonsterd in 2020 en 2022, en daarnaast zijn ook door het waterschap regelmatig 24-uursmonsters genomen gedurende ruim een jaar, in de periode dec 2020 t/m feb 2022. Van deze 24-uursmonsters zijn alleen de dagen gebruikt waarbij het op de bemonsteringsdag DWA was, en ook tenminste 4 dagen ervoor. Dit was mede gebaseerd op Figuur 65. In totaal zijn er 19 DWA-bemonsteringsmomenten overgebleven. Vervolgens zijn de verwijderingsrendementen van de gidsstoffen berekend op basis van de 24-uurs simultane monsters, waarna het rendement per gidsstof is uitgezet tegen de temperatuur.

Voor 2 van de 11 gidsstoffen is een statistisch significante correlatie gevonden. De verwijderingsrendementen van deze 2 gidsstoffen zijn in Figuur 7.2 uitgezet tegen de temperatuur.

FIGUUR 7.2 GIDSSTOFFEN WAARVOOR BIJ RWZI HAPERT EEN STATISTISCH SIGNIFICANTE CORRELATIE IS GEVONDEN TUSSEN TEMPERAATUUR EN VERWIJDERINGSRENDEMENT



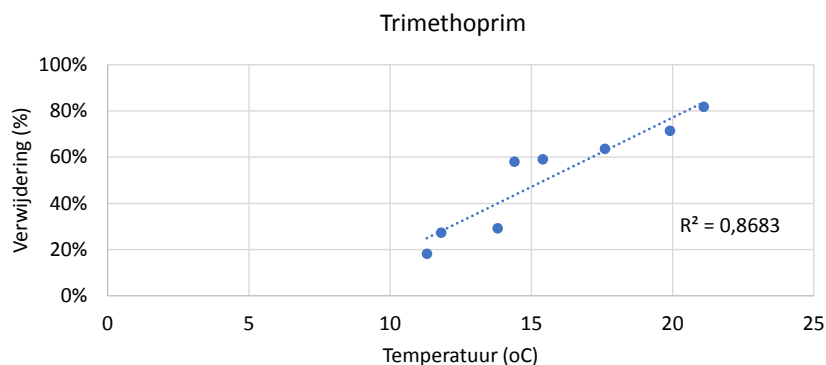
De correlaties gevonden voor deze 2 gidsstoffen zijn veel minder sterk dan bij rwzi Horstermeer. Voor de andere 9 gidsstoffen zijn de correlatiecoëfficiënten nog lager, en ook niet meer statistisch significant (zie ook Tabel 7.1). Wat mogelijk meespeelt is dat de meeste bemonsteringen (14/19) hebben plaatsgevonden in een temperatuur range van 11-13°C. Mogelijk dat hierdoor een relatie tussen rendement en temperatuur niet goed kon worden vastgesteld. Daarnaast varieert specifiek voor trimethoprim de influentconcentratie heel sterk, tot > factor 30 verschil. Voor deze stof was het om deze reden niet mogelijk een eventueel temperatuurs-effect goed te kunnen waarnemen met de beschikbare 24-uursrendementen.

7.4 RWZI HOENSBROEK: DUIDELIJKE CORRELATIE TUSSEN TEMPERAATUUR EN VERWIJDERING TRIMETHOPRIM

Rwzi Hoensbroek is door het waterschap bijna twee jaar lang maandelijks bemonsterd (juni 2020 t/m april 2022). Er zijn 48-uursmonsters genomen met 1 dag tijdsverschil tussen influent en effluent. Van de 20 beschikbare bemonsteringsmomenten zijn de RWA-dagen eruit gehaald en ook de dagen direct na een RWA-dag, mede op basis van Figuur 6.6. Er bleven 8 DWA-bemonsteringsmomenten over. Per bemonsteringsmoment is het verwijderingsrendement van een gidsstof berekend en uitgezet tegen de temperatuur.

Voor 1 gidsstof is een statistisch significante correlatie gevonden, namelijk voor trimethoprim.

FIGUUR 7.3 RELATIE TEMPERAATUUR EN VERWIJDERING TRIMETHOPRIM OP RWZI HOENSBROEK



Elke bemonstering vond plaats bij een andere temperatuur en de grafiek laat zien dat bij toenemende temperatuur het rendement van trimethoprim ook duidelijk hoger wordt (Figuur 7.3). Vooral vanaf 15°C lijkt het rendement toe te nemen (Figuur 7.3). De andere gidsstoffen laten geen statistisch significante correlatie zien tussen temperatuur en verwijderingsrendement.

TABEL 7.1 CORRELATIECOËFFICIËNTEN TUSSEN TEMPERAATUUR EN VERWIJDERING VAN EEN GIDSSTOF BEREKEND MET MEETGEGEVENS VAN RWZI HORSTERMEER, HAPERT EN HOENSBROEK. DE GROEN GEARCEERDE CORRELATIECOËFFICIËNTEN ZIJN STATISTISCH SIGNIFICANT

rwzi	Horstermeer	Hapert	Hoensbroek
type monster influent en effluent	24u simultaan	24u simultaan	48u + 1 d tijdverschil
temperatuur actief slibtank	11, 16 en 21 °C	10-20 °C	11-21°C
aantal meetmomenten	n=18	n=19	n=8
benzotriazool	0,41	0,26	-0,11
som 4 en 5 methylbenzotriazool	0,01	0,16	-0,09
carbamazepine	0,02	0,22	-0,31
diclofenac	0,85	0,46	0,07
gabapentine	0,78	0,48	0,06
hydrochloorthiazide	0,42	0,37	0,01
irbesartan	0,27	0,33	0,19
metoprolol	0,90	0,40	0,37
sotalol	0,88	0,39	0,25
trimethoprim	0,95	0,10	0,93
venlafaxine	0,78	0,34	0,07

7.5 CONCLUSIES TEMPERAATUURSINVLOED OP VERWIJDERINGSRENDEREMENT GIDSSTOFFEN

Met de beschikbare data is onderzocht of er een correlatie is tussen de temperatuur in de actief slib tank en het verwijderingsrendement van een gidsstof. Voor een paar gidsstoffen is een statistisch significante correlatie gevonden. De hoogste correlatiecoëfficiënten zijn gevonden voor trimethoprim bij rwzi Hoensbroek en Horstermeer. Tussen de drie onderzochte rwzi's zijn wel verschillen waargenomen. Vanwege deze verschillen, en ook omdat een correlatie niet per se betekent dat er een causaal verband is, kan op basis van deze data niet hard worden gemaakt dat de temperatuur daadwerkelijk de verwijdering beïnvloed. Echter, de data laten wel zien dat het niet uit te sluiten is dat de temperatuur, of hieraan gerelateerde factoren, een effect heeft op de verwijdering van sommige gidsstoffen. Aanbevolen wordt daarom om met de bemonsteringsmethode rekening te houden met mogelijke verschillen in verwijderingsrendementen door het jaar heen.

8

CORRELATIE MACROPARAMETERS EN GIDSSTOFFEN

8.1 INLEIDING

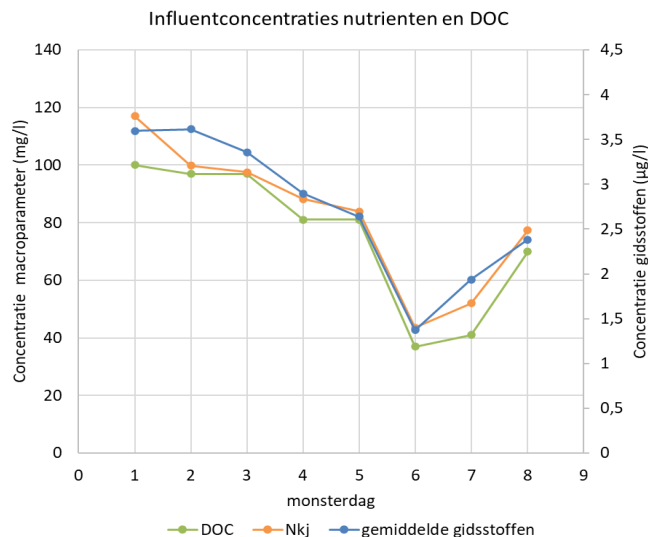
Macroparameters zoals CZV, NH_4 en PO_4 worden al veel langer in rwzi influent en effluent gemeten en de analyse ervan is in vergelijking met die van de gidsstoffen makkelijker en brengt minder kosten met zich mee. Daarnaast kunnen een aantal van deze macroparameters ook on-line in het influent of effluent worden gemeten.

In hoofdstuk 6 kwam aan de orde dat als het rwzi influent en/of effluent nog door RWA verdund is, de onzekerheid in het verwijderingsrendement van de gidsstoffen groot kan zijn. Het wordt daarom aanbevolen om alleen op DWA-dagen te bemonsteren. Echter, het kan per rwzi verschillen hoelang RWA nog nawerkt op de concentraties in het influent en effluent.

Het zou daarom interessant kunnen zijn als met een macroparameter een indicatie kan worden verkregen of er op een bepaalde dag sprake is van een RWA-invloed op de concentratie gidsstoffen in het influent en effluent. Momenteel wordt op basis van het debiet een onderscheid gemaakt tussen RWA en DWA, maar wellicht kan dat nauwkeuriger met de analyse van een macroparameter, juist om ook het na-ijl effect van RWA in het effluent beter te kunnen vaststellen. Er is daarom onderzocht of en zo ja, welke macroparameters correleren met de gidsstoffen in periodes met RWA op basis van lineaire regressie.

Een van de redenen om dit nader uit te zoeken zijn de resultaten van de eerste bemonsteringsronde in 2020 bij rwzi Winterswijk (Figuur 8.1). Deze laat zien dat, in ieder geval op het oog, er een relatie is tussen macroparameters en de concentratie gidsstoffen.

FIGUUR 8.1 HET VERLOOP VAN DE GIDSSTOFFENCONCENTRATIE (GEMIDDELTE CONCENTRATIE VAN DE 11 STOFFEN) EN DE DOC EN NKJ IN HET RWZI-INFLUENT VAN WINTERSWIJK TIJDENS DE BEMONSTERINGSRONDE IN 2020. DAG 6 WAS EEN RWA-DAG



De volgende macroparameters zijn geanalyseerd in zowel de bemonsteringsrondes die plaatsvonden in 2020 als in 2022/2023:

- CZV Chemisch ZuurstofVerbruik
- DOC Dissolved Organic Carbon
- TOC Total Organic Carbon
- N_{tot} N-totaal
- P_{tot} P-totaal

En in de bemonsteringsrondes van 2022/2023 zijn daar nog de volgende parameters aan toegevoegd:

- PO₄ fosfaat
- NH₄ ammonium
- EC geleidbaarheid
- Cl chloride

Het onderzoek naar deze correlaties is gedaan met de data verkregen uit de bemonsteringsrondes die in dit project plaatsvonden. Het gaat dus om de correlatie binnen een meetserie van 8-14 aaneengesloten dagen. De focus is geweest op de bemonsteringsweken waarin zowel RWA- als DWA-dagen aanwezig waren. In dit hoofdstuk wordt eerst de correlatie tussen macroparameters en gidsstoffen in het influent besproken en daarna de correlatie tussen deze parameters in het effluent.

8.2 CORRELATIE MACROPARAMETERS EN GIDSSTOFFEN IN HET INFLUENT

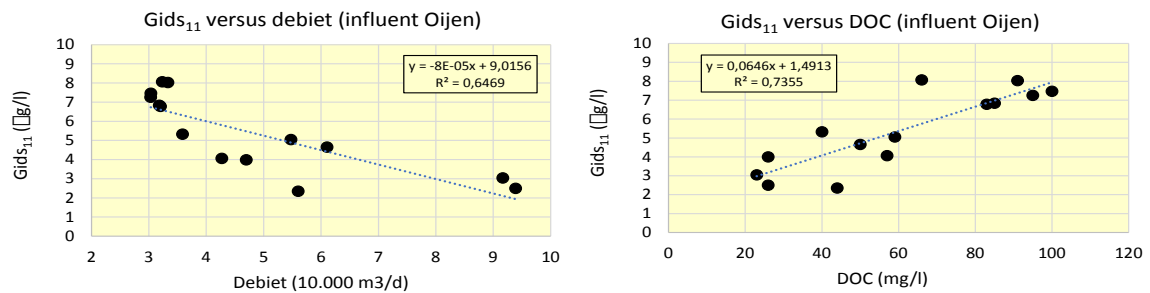
Tijdens 4 van de 10 bemonsteringsrondes was er sprake van RWA-dagen (zie ook Tabel 3.2). Deze 4 bemonsteringsrondes vonden plaats op 4 verschillende rwzi's. De mate van RWA varieerde per bemonsteringsronde. Met deze resultaten zijn de correlaties tussen macroparameters en gidsstoffen bepaald. In onderstaande resultaten wordt vooral ingegaan op de correlaties die zijn gevonden met de gemiddelde concentratie van de 11 gidsstoffen. Deze gaven over het algemeen een goed beeld van de correlatie tussen de individuele gidsstoffen met de betreffende parameters (zie ook bijlage 7). De parameters die in alle 4 de bemonsteringsrondes statistisch significant correleerde met de influentconcentratie gidsstoffen waren de DOC en het debiet (Figuur 8.2 en Tabel 8.1). De DOC correleerde positief met de concentratie gidsstoffen en het debiet negatief. Behalve voor de bemonstering Hoensbroek, was de correlatie met de DOC hoger dan met het debiet. In 6.2.2 is waargenomen in het geval van Hoensbroek dat na een RWA-dag (vastgesteld op basis van het debiet) de concentratie in het influent de dag erna direct weer vergelijkbaar is met een DWA-dag, terwijl voor Hapert en Oijen de influentconcentratie de dag na een RWA-dag gemiddeld genomen nog verlaagd kan zijn. Mogelijk verklaart dit dat bij Hoensbroek het debiet en de DOC ongeveer evengoed correleren met de gidsstoffenconcentratie en bij Hapert en Oijen de DOC een betere correlatie geeft.

Bij 2 tot 3 rwzi's is ook een hoge correlatie gevonden met N-totaal, P-totaal, TOC en CZV, maar dit was dus niet het geval bij alle rwzi's.

Alleen bij Oijen zijn ook de parameters EC, NH₄, PO₄ en Cl meegenomen. De eerste drie geven een statistisch significante correlatie met de gemiddelde concentratie gidsstoffen, chloride duidelijk niet. NH₄ en EC geven een hogere correlatie dan PO₄.

Uit deze analyse volgt dat de hoogste correlatie tussen macroparameters en het gemiddelde van de 11 gidsstoffen bij de bemonsteringsrondes met zowel RWA- als DWA-dagen zijn gevonden voor de DOC en het debiet. Het debiet wordt nu al gebruikt als indicator voor RWA. Vanwege de correlatie met DOC zou deze macroparameter ook geschikt kunnen zijn als indicator voor RWA in het influent. Uit de resultaten van Oijen volgt dat daarnaast EC en NH_4 mogelijk ook goede indicatoren voor regenweer zijn, maar dit zou nog met metingen op meerdere rwzi's bevestigd moeten worden. Of de gevonden correlaties het hele jaar door van toepassing zijn of alleen in een korte periodes van 8-14 dagen zoals in dit onderzoek, is niet onderzocht.

FIGUUR 8.2 CORRELATIE VAN DE GEMIDDELTE INFLUENTCONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN MET HET DEBIET (LINKS) EN MET DE DOC (RECHTS) MET DE RESULTATEN VAN DE BEMONSTERINGSRONDE OP RWZI OIJEN



TABEL 8.1 CORRELATIE TUSSEN MACROPARAMETERS EN DE GEMIDDELTE CONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN HET INFLUENT, UITGEDRUKT MET DE CORRELATIECOËFFICIËNTEN. WEERGEGEVEN ZIJN DE RESULTATEN VAN DE 4 BEMONSTERINGSRONDES WAARBIJ SPRAKE WAS VAN ZOWEL DWA- ALS RWA-DAGEN. GROEN GEARCEERDE CORRELATIECOËFFICIËNTEN ZIJN STATISTISCH SIGNIFICANT. N.B. = NIET BEPAALD

Bemonsteringsronde	Hoensbroek ('20)	Hapert ('20)	Winterswijk ('20)	Oijen ('22)
Hoogste RWA/DWA tijdens bemonstering	1,9	2,4	2,9	2,4
Debiet	-0,80	-0,88	-0,70	-0,80
DOC	0,78	0,98	0,90	0,86
N-totaal	0,59	0,85	0,91	0,92
P-totaal	0,39	0,87	0,77	0,88
TOC	0,20	0,43	0,95	0,87
CZV	-0,11	0,45	0,94	0,89
EC	n.b.	n.b.	n.b.	0,88
NH_4	n.b.	n.b.	n.b.	0,93
PO_4	n.b.	n.b.	n.b.	0,76
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0,32

Met de resultaten van de bemonsteringsrondes die plaatsvonden onder volledige DWA-condities zijn geen statistisch correlaties gevonden tussen de macroparameters en de concentratie gidsstoffen. Tijdens DWA zijn de variaties in concentraties bij de gidsstoffen veel beperkter dan bij RWA. De schommelingen die er zijn konden niet gecorreleerd worden aan de concentratie variaties bij de macroparameters.

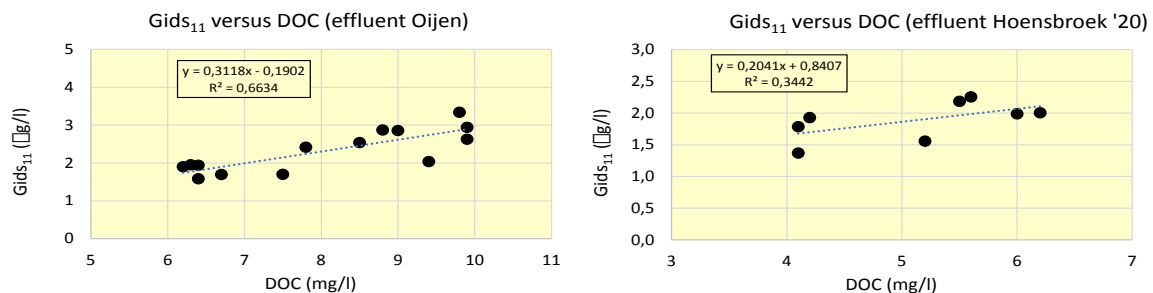
8.3 CORRELATIE MACROPARAMETERS EN GIDSSTOFFEN IN HET EFFLUENT

Het beeld dat wordt gevonden bij het effluent is anders dan bij het influent. Ten eerste is voor de 4 rwzi's waarin tijdens de bemonsteringsronde sprake was van zowel RWA- als DWA-dagen geen statistisch significante correlatie gevonden tussen de concentratie gidsstoffen en het debiet. Dit komt overeen met de bevindingen dat na een RWA-periode de concentraties gidsstoffen nog enkele dagen verlaagd kunnen zijn ook al is de RWA-periode al afgelopen. De meest hoge correlatie is gevonden tussen DOC en de concentratie gidsstoffen (Figuur 8.3 en Tabel 8.2). Dit geldt voor alle 4 de rwzi's, alleen voor de bemonsteringsronde in Hoensbroek is de correlatiecoëfficiënt niet voldoende hoog om als statistisch significant aangemerkt te kunnen worden. Mogelijk heeft dit te maken dat de RWA/DWA-verhouding bij Hoensbroek maximaal 1,9 was tijdens de bemonstering, in tegenstelling tot de andere rwzi's waarbij de RWA/DWA-verhouding hoger was.

De resultaten van de TOC lijken aardig vergelijkbaar met de DOC, maar als op individueel gidsstofniveau wordt gekeken is de correlatie met DOC duidelijk sterker (zie ook bijlage 7). Alleen voor de bemonsteringsronde in Winterswijk correleerde ook de CZV statistisch significant met de gemiddelde concentratie gidsstoffen. Voor de EC, welke alleen op rwzi Oijen is gemeten, was de correlatie statistisch significant, maar de correlatie met DOC was duidelijk hoger.

Kortom, de beste correlatie met de concentratie gidsstoffen in het effluent is gevonden voor de DOC. En dit zou dan ook de beste indicator kunnen zijn voor RWA in het effluent. Echter in het geval van Hoensbroek was deze correlatie niet statistisch significant en dus kan op basis van deze data niet worden gesteld dat de correlatie algemeen geldend is.

FIGUUR 8.3 CORRELATIE VAN DE GEMIDDELDE INFLUENTCONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN MET DE DOC TIJDENS DE BEMONSTERINGSRONDE OP OIJEN (LINKS) EN HOENSBROEK 2020 (RECHTS)



TABEL 8.2 CORRELATIE TUSSEN MACROPARAMETERS EN DE GEMIDDELDE CONCENTRATIE VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN HET EFFLUENT, UITGEDRUKT MET CORRELATIECOËFFICIËNTEN. WEERGEGEVEN ZIJN DE RESULTATEN VAN DE 4 BEMONSTERINGSRONDES WAARBIJ SPRAKE WAS VAN ZOWEL DWA ALS RWA-DAGEN. GROEN GEARCEERDE CORRELATIECOËFFICIËNTEN ZIJN STATISTISCH SIGNIFICANT. N.B. = NIET BEPAALD

Bemonsteringsronde	Hoensbroek ('20)	Hapert ('20)	Winterswijk ('20)	Oijen ('22)
Hoogste RWA/DWA tijdens bemonstering	1,9	2,4	2,9	2,4
Debiet	-0,11	-0,66	0,22	0,03
DOC	0,59	0,91	0,95	0,82
N-totaal	0,53	-0,14	0,19	0,35
P-totaal	0,30	-0,68	0,45	-0,29
TOC	0,43	0,84	0,98	0,62
CZV	0,27	0,37	0,86	0,49
EC	n.b.	n.b.	n.b.	0,60
NH ₄	n.b.	n.b.	n.b.	0,11
PO ₄	n.b.	n.b.	n.b.	0,12
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0,45

Net als voor het influent, geldt voor het effluent dat tijdens de bemonsteringsrondes die plaatsvonden onder volledige DWA-condities er geen statistisch significante correlaties zijn gevonden tussen de gemiddelde concentratie van de gidsstoffen en de onderzochte macroparameters.

Op basis van bovenstaande bevindingen wordt geconcludeerd dat er vooralsnog geen algemeen geldende indicator is gevonden om de aanwezigheid van RWA in het effluent te kunnen bepalen. Het analyseren van de gidsstoffenconcentratie zelf blijft dus nodig om vast te stellen of en tot hoelang deze wordt beïnvloed door RWA.

9

CONCLUSIES

Onderzoek is uitgevoerd naar de factoren die invloed hebben op de spreiding bij de bepaling van verwijderingsrendementen van microverontreinigingen in de huidige rwzi's. Met de kennis die uit het onderzoek is voortgekomen wordt een nieuwe bemonsteringsmethode voorgesteld.

CONCLUSIES OMTRENT DE SPREIDING IN DE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN GIDSSTOFFEN

In dit project zijn in totaal 10 bemonsteringsrondes uitgevoerd op in totaal 7 verschillende rwzi's waarbij op achtereenvolgende dagen van ruim een week dagmonsters zijn genomen en geanalyseerd op gidsstoffen en diverse macroparameters. Daarnaast zijn meetgegevens die beschikbaar waren bij de waterschappen verzameld en geïnterpreteerd. Met deze resultaten is van de volgende spreidingsbronnen onderzocht wat de bijdrage ervan is aan de spreiding van het verwijderingsrendement van de gidsstoffen en indien mogelijk, hoe dit zou kunnen worden verminderd:

1. De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door het bemonsteren
2. De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door de chemische analyse
3. Invloed van RWA op de onzekerheid in het verwijderingsrendement
4. Temperatuursinvloed op het verwijderingsrendement

De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door het bemonsteren

Monsternamen is een vak wat precisie en aandacht vereist. Waarschijnlijk is de spreiding die door bemonstering wordt veroorzaakt groter dan nu wordt opgegeven door de laboratoria. Maar hoeveel (groter) deze spreiding is, kan niet worden vastgesteld. In dit onderzoek is getracht de spreiding zo klein mogelijk te houden door een schouw uit te voeren van de bemonsteringsapparatuur voorafgaand aan de bemonsteringen op basis waarvan meestal een aantal verbeteringen konden worden doorgevoerd. Verder zijn de bemonsteringen op een rwzi uitgevoerd door dezelfde monsternemer van het externe laboratorium Aqualysis.

De onzekerheid in de verwijderingsrendementen door de chemische analyse

- De invloed van meetonzekerheid van de chemische analyse op de onzekerheid in het verwijderingsrendement is afhankelijk van de variatiecoëfficiënt van de herhaalbaarheid (VC_r), ervan uitgaande dat het influent- en effluentmonster in dezelfde batch worden geanalyseerd. Deze kan per analytisch laboratorium verschillen.
- Bij hoge verwijderingsrendementen speelt de VC_r slechts een beperkte rol in de rendementsbepaling en is de meetonzekerheid van het rendement relatief klein. Hoe lager het rendement, hoe groter de rol van de VC_r in de onzekerheid van het verwijderingsrendement. Bij lage rendementen zal dus meer variatie in de rendementen plaatsvinden door de invloed van de meetonzekerheid dan bij de hoge rendementen.
- Bij deze studie is ook nagegaan in hoeverre het uitmaakt als het verwijderingsrendement van een bepaalde stof wordt afgeleid op basis van analyses van series dagmonsters van influent en effluent, of op basis van daaruit samengestelde mengmonsters. De meetonzekerheid van de concentratie van een mengmonster over n dagen is groter dan die van het

gemiddelde van n dagmonsters. Dit komt door het uitmiddelen van de onzekerheid bij de n dagmonsters. Daar staat echter tegenover dat het analyseren van een mengmonster minder kosten geeft dan het analyseren van n dagmonsters.

In het rendementstraject hoger dan 50% blijkt het verwijderingsrendement bepaald met mengmonsters van influent en effluent slechts weinig af te wijken van dat bepaald met een aantal dagmonsters van influent en effluent, namelijk hooguit 4 procentpunt. Verder blijken hun afwijkingen ten opzichte van elkaar doorgaans groter naarmate de absolute waarde van het rendement dichterbij nul ligt. In dit onderzoek was het verschil tussen het verwijderingsrendement van het mengmonster en die van het gemiddelde van een aantal dagmonsters bij rendementen tussen de 0-50% 1 tot 17 procentpunt. Gemiddeld genomen was het verschil 6 procentpunt. Dit sluit aan op de eerdere constatering dat de onzekerheid van een rendement toeneemt naarmate zijn absolute waarde dichterbij nul ligt.

- Naast de invloed op het verwijderingsrendement, is ook gekeken in welke mate de influent- en effluentconcentraties onder DWA-omstandigheden variëren en in hoeverre deze kunnen worden verklaard door de onzekerheid in de chemische analyse. Er waren 5 bemonsteringsrondes van 8 opeenvolgende dagen uitgevoerd onder DWA-condities, deze hadden plaatsgevonden op 5 verschillende rwzi's.
 - Afhankelijk van de gidsstof en de rwzi varieerde de influentconcentratie met maximaal ongeveer een factor 1,1-2,3 onder DWA-condities.
 - In een enkel geval varieerde de concentratie van één gidsstof uitzonderlijk veel tijdens DWA namelijk met een factor 19 in het influent tussen twee meetdagen binnen één bemonsteringsweek. Dergelijke uitzonderlijke gevallen kunnen dus voorkomen.
 - Hoe kleiner de variatie in concentratie, hoe meer relatieve invloed de meetonzekerheid in de chemische analyse heeft. Uit de resultaten volgt dat de variaties in concentraties tijdens deze 8 dagen dusdanig laag kunnen zijn dat voor bepaalde gidsstoffen de meetonzekerheid in de chemische analyse een relevant deel van deze variatie kan verklaren. Maar dit was niet het geval bij alle 5 bemonsteringsrondes en ook niet voor alle gidsstoffen.
 - Ook een variatie in concentratie van een factor 1,3 levert conform de huidige werkinstructie al een fout op in het berekende verwijderingsrendement als de verblijftijd van de rwzi langer is dan 1 dag (figuur 2.1).

Invloed van RWA op de onzekerheid in het verwijderingsrendement

Het onderzoek naar de spreidingsbron 'RWA' heeft het volgende opgeleverd:

- Er is een duidelijk grotere variatie in concentratie gidsstoffen tijdens periodes met RWA dan in periodes met alleen DWA. Dit volgt uit de resultaten van rwzi Hoensbroek en Hapert welke zijn bemonsterd onder zowel volledig droogweercondities als in een periode met zowel RWA- als DWA-dagen.
- Verdunning van het rioolwater door RWA is later zichtbaar in het effluent dan in het influent.
- De effluentconcentratie is nog enkele dagen verlaagd nadat de RWA-periode voorbij is. Het verschilt per rwzi hoelang de concentratie nog beïnvloed wordt na een RWA-periode. Bij de beschouwde drie rwzi's kon deze periode niet exact worden vastgesteld maar was er sprake van een verlaagde concentratie van tenminste 1 dag voor rwzi Hoensbroek, ongeveer 2-3 dagen voor rwzi Hapert tot ongeveer 3-4 dagen voor rwzi Oijen. Bij de verschillen hierin spelen waarschijnlijk de hydraulische verblijftijd op de rwzi een rol en mogelijk ook de ledigingstijd van het rioolstelsel.
- Afhankelijk van de rwzi kan ook de influentconcentratie nog zijn verlaagd nadat de

RWA-periode voorbij is. Bij rwzi Hapert duurde dit tot 1 dag na de RWA-dag, bij rwzi Hoensbroek was hier geen sprake van.

- De resultaten van zowel rwzi Hapert als Oijen laten zien dat er *tijdens* een korte RWA-periode van een of twee dagen een onderschatting van het rendement kan optreden en vlak *na* een RWA-periode kan door het na-ijl effect van RWA op het effluent een overschatting van het rendement optreden, voornamelijk als een gidsstof slecht wordt verwijderd.
- Een van de doelen van dit onderzoek was om te bepalen wat het verwijderingsrendement is van de gidsstoffen tijdens RWA. Echter, dit bleek niet goed mogelijk met de beschikbare meetgegevens door de zeer wisselende omstandigheden tijdens RWA.

Met de gebruikte definitie voor RWA en DWA valt de RWA/DWA-grens op 1,3 x mediaan van het dagdebiet (zie voor de volledige definitie van RWA en DWA paragraaf 6.1). Als er voldoende meetgegevens beschikbaar zijn van een rwzi zou kunnen worden onderzocht of de RWA/DWA-grens van de betreffende rwzi wellicht ook hoger kan worden gelegd dan de huidige grens (1,3 x mediaan van dagdebiet). Dan zouden meer dagen DWA-dagen worden en zou bemonstering onder DWA-omstandigheden vaker mogelijk worden. Voor rwzi Hoensbroek en Hapert is nagegaan wat het effect is op de concentratieverdeling van de gidsstoffen op DWA- en RWA-dagen in het influent als de RWA/DWA-grens wordt verlegd, en tot wanneer nog een duidelijk onderscheid wordt waargenomen tussen DWA en RWA-dagen. Specifiek is naar rwzi Hoensbroek en Hapert gekeken omdat voor deze twee rwzi's relatief veel extra meetgegevens omtrent gidsstoffen beschikbaar waren, gemeten door de waterschappen. De beschikbare gegevens voor Hapert en Hoensbroek laten zien dat er voor deze rwzi's niet direct aanleiding is om de RWA/DWA-grens te verhogen.

Temperatuursinvloed op het verwijderingsrendement

Onderzocht is of er een correlatie is tussen de temperatuur in de actief slib tank en het verwijderingsrendement van een gidsstof. Van de drie rwzi's Hoensbroek, Hapert en Horstermeer waren er voldoende meetgegevens om hier een eerste analyse van te doen.

- Voor een paar gidsstoffen is een statistisch significante correlatie gevonden tussen de temperatuur en het verwijderingsrendement, waarbij geldt dat bij toenemende temperatuur het verwijderingsrendement ook toeneemt.
- De hoogste correlatiecoëfficiënten zijn gevonden voor trimethoprim bij rwzi Hoensbroek en Horstermeer.
- Tussen de drie onderzochte rwzi's zijn verschillen waargenomen. Vanwege deze verschillen, en ook omdat een correlatie niet per se betekent dat er een causaal verband is, kan op basis van deze data niet hard worden gemaakt dat de temperatuur daadwerkelijk de verwijdering van enkele gidsstoffen beïnvloed.
- Echter, de data laten wel zien dat het niet uit te sluiten is dat de temperatuur, of hieraan gerelateerde factoren, een effect heeft op de verwijdering van sommige gidsstoffen.

Correlatie gidsstoffen en macroparameters

Er is onderzocht of en zo ja, welke macroparameters correleren met de gidsstoffen in periodes met RWA op basis van lineaire regressie. Mogelijk dat er macroparameters zijn die een indicatie kunnen geven of er sprake is van RWA in het influent of effluent, dit zou analyses van gidsstoffen kunnen uitsparen. Het debiet is hierbij ook als parameter meegenomen. In 4 bemonsteringsrondes uitgevoerd op 4 verschillende rwzi's was er sprake van zowel RWA als DWA-dagen. De resultaten van deze bemonsteringsrondes zijn gebruikt om de correlatie tussen gidsstoffen en macroparameters tijdens periodes met RWA te bepalen.

- De hoogste correlatie tussen macroparameters en het gemiddelde van de 11 gidsstoffen in het **influent** bij deze 4 bemonsteringsrondes zijn gevonden voor de DOC en het debiet. Deze correlaties waren bij alle 4 de rwzi's statistisch significant. Het debiet wordt nu al gebruikt als indicator voor RWA. Vanwege de gevonden correlatie met DOC zou deze macroparameter ook tenminste net zo geschikt kunnen zijn als indicator voor RWA in het influent.
- Uit de resultaten van Oijen volgt dat daarnaast EC en NH_4 mogelijk ook goede indicatoren voor RWA zijn in het influent maar dit kon met de beschikbare meetgegevens alleen voor deze rwzi bepaald worden.
- Of de gevonden correlaties het hele jaar door van toepassing zijn of alleen in een korte periodes van 8-14 dagen zoals in dit onderzoek, is niet onderzocht.
- Voor het **effluent** is het beeld anders dan voor het influent. De beste correlatie met de concentratie gidsstoffen in het effluent is gevonden voor de DOC. Echter in het geval van één rwzi (rwzi Hoensbroek) was deze correlatie niet statistisch significant tijdens de bemonsteringsronde en dus kan op basis van deze data niet worden gesteld dat de correlatie algemeen geldend is.
- Er is vooralsnog geen algemeen geldende indicator gevonden om de aanwezigheid van RWA in het effluent te kunnen bepalen. Het analyseren van de gidsstoffenconcentratie zelf blijft dus nodig om vast te stellen of en tot hoelang deze wordt beïnvloed door RWA.

VOORSTEL NIEUWE BEMONSTERINGSMETHODE

Op basis van bovenstaande is in hoofdstuk 2 een voorstel gedaan voor een nieuwe methode voor het bemonsteren van microverontreinigingen in rwzi-influenten en -effluenten. De hoofdpunten hiervan zijn:

- Elke 8 weken 24h simultane debietsproportionele monsternamen van het influent van de rwzi en het effluent van de rwzi gedurende 14 aaneengesloten dagen²⁵.
- De reguliere bemonstering voor macro's conform vergunning loopt mee, er wordt alleen meer monstervolume verzameld*.
- Monsternemers controleren conform NEN-6600-1 dat er een correcte bemonstering is uitgevoerd (klopt aantal pulsen met debiet, wegen monster)
- 24h influent en effluent monsters worden ingevroren in het lab.
- Na 14 dagen bemonsteringsperiode worden DWA-monsters geselecteerd, waarbij er ook geen tot weinig invloed meer is van voorafgaande RWA-dagen.
- DWA-monsters worden debietsproportioneel opgemengd in het lab**.
- Het mengmonster influent en effluent wordt geanalyseerd op de gidsstoffen.

*NB1: de reguliere bemonstering kan meelopen in bovenstaand schema. Hierbij is wel wat afstemming nodig met het lab bij het starten van deze methode, maar deze zou daarna automatisch kunnen worden afgewikkeld door apart gelabelde flessen te vullen voor de macro's en micro's.

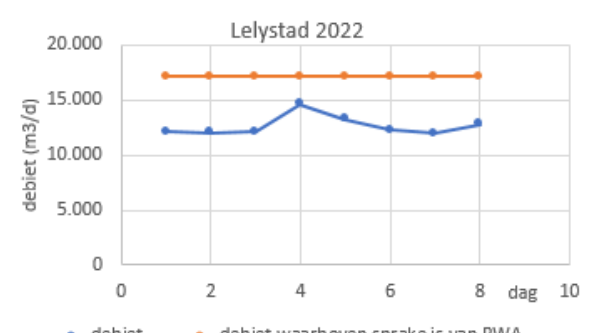
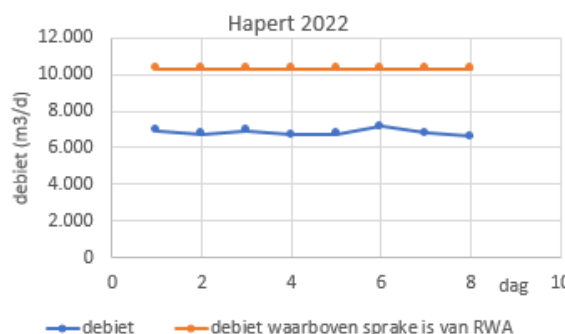
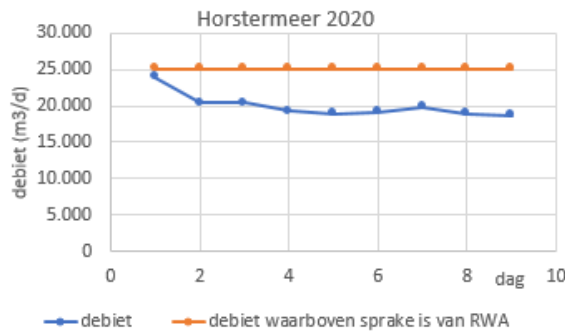
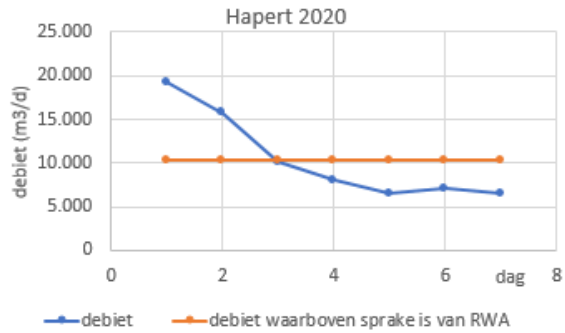
**NB2: bij de bemonstering dient (ook in de huidige situatie) al gecontroleerd te worden of het monstervolume klopt met het aantal pulsen, oftewel het debiet; het apart doorgeven van debieten is dus niet nodig voor het opmengen.

25 In deze nieuwe bemonsteringsmethode is expres gekozen voor een periode van weken. Een periode van maanden oftewel elke maand of elke 2 maanden zorgt ervoor dat de start van de bemonstering enkele keren per jaar rondom een weekend terecht komt wat niet gewenst is. Door te kiezen voor weken kan er altijd op maandag gestart worden met een bemonstering (NB er is vaak ook sprake van een werkweek/weekend patroon, maar vanwege de periode van 14 dagen zullen er altijd week- en weekendpatronen worden meegenomen).

De voorgestelde bemonsteringsmethode zal verder moeten worden uitgewerkt in een werkinstructie waarbij ook aanvullende (praktische) input vanuit de waterschappen zal worden meegenomen. Aandachtspunten zijn de benodigde extra personele capaciteit en apparatuur zoals typen monsternamekasten en debietmeters, benodigde afstemming en logistiek tussen rwzi en lab inclusief mogelijkheden van tussentijds koelen, invriezen en andere opslag, maar ook de procesinstellingen onder RWA en DWA-condities. E.e.a. valt of staat met een goede werking van de monstername-apparatuur welke afhankelijk is van adequaat onderhoud, servicing en schoonmaak en een correcte monstername. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat dit niet altijd naar behoren wordt uitgevoerd. Daarnaast komt nog de afstemming met andere analyses en daarvoor benodigde monsternames om de hoek komen kijken en daarvoor benodigd (extra) monsternamevolume. Ook deze onderwerpen dienen te worden meegenomen in de nieuw op te stellen werkinstructie. Het opstellen van deze werkinstructie is geen onderdeel van dit onderzoek.

BIJLAGE 1

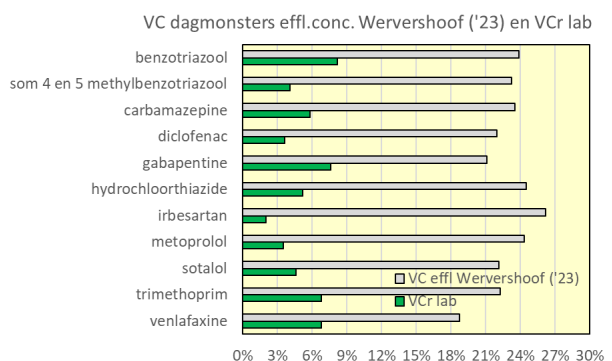
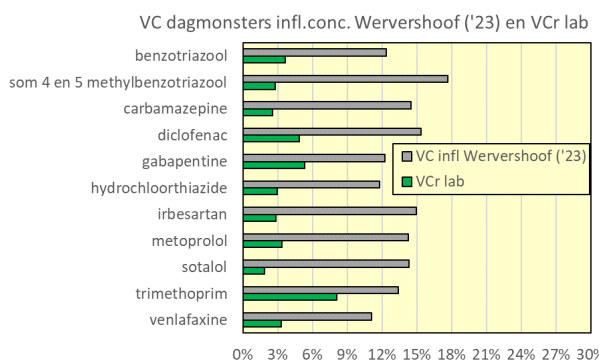
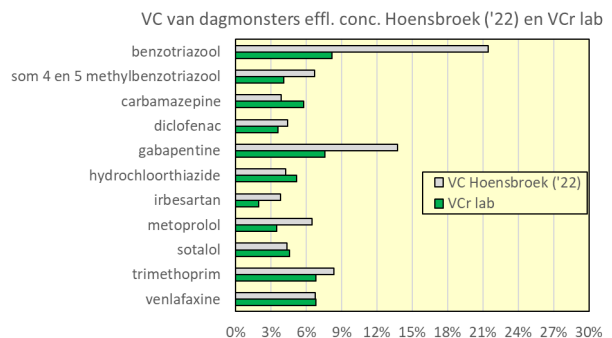
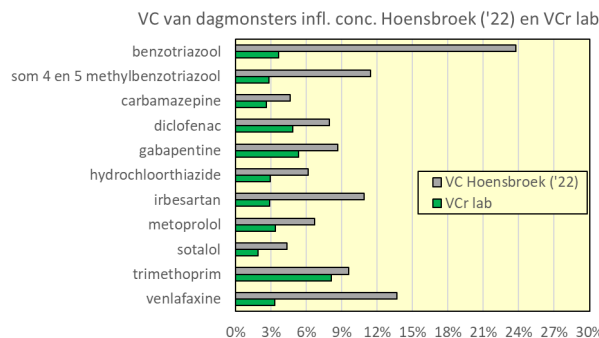
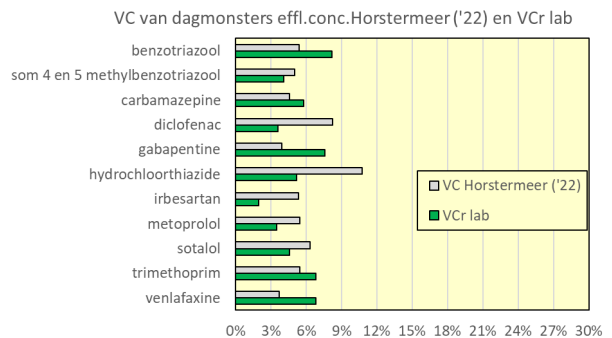
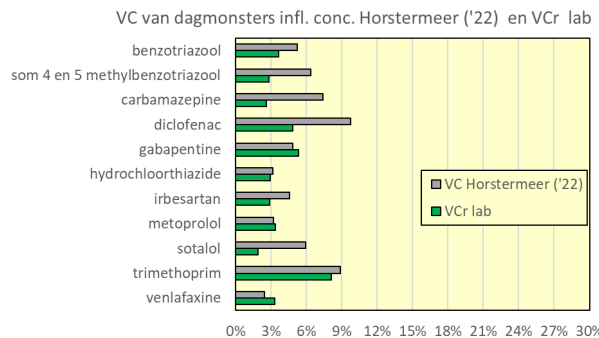
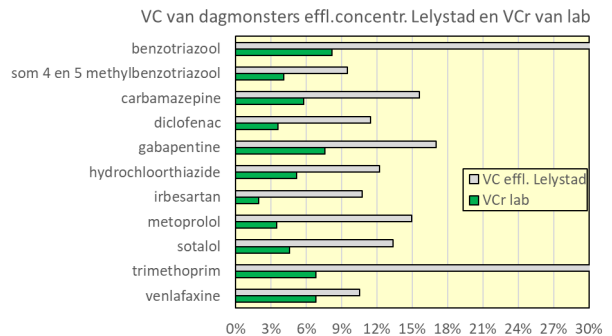
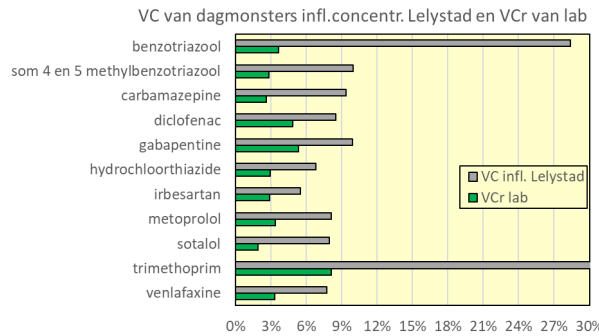
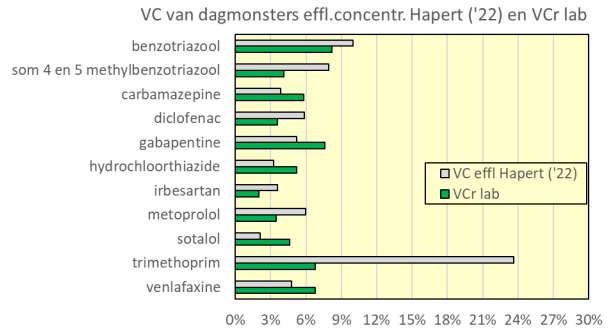
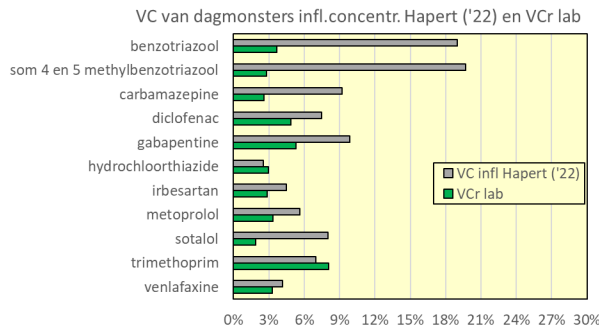
**DAGDEBIETEN TIJDENS DE
BEMONSTERINGSRONDES IN 2020 EN
2022/2023**



BIJLAGE 2

VARIATIE IN INFLUENT- EN EFFLUENTCONCENTRATIE TIJDENS DWA

Variatie in influent- en effluentconcentratie (VC infl en VC effl) waargenomen tijdens de 8-daagse bemonstering van de rwzi's Hapert, Lelystad, Horstermeer, Hoensbroek, en Wervershoof in 2022 en 2023 vergeleken met de variatiecoëfficiënt van de herhaalbaarheid (VC_r lab) per gidsstof. In deze bemonsteringsperiodes was er sprake van droogweerstandigheden.

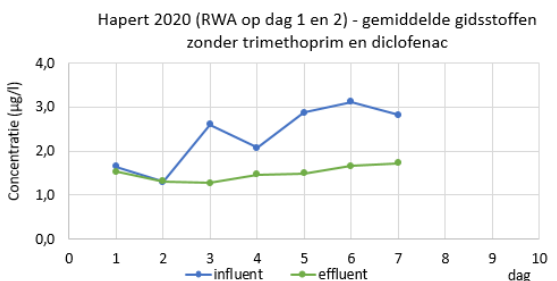
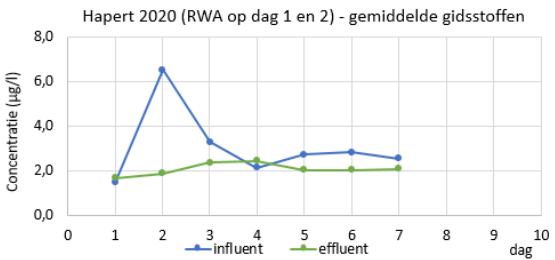
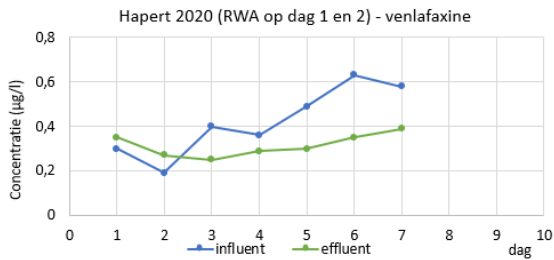
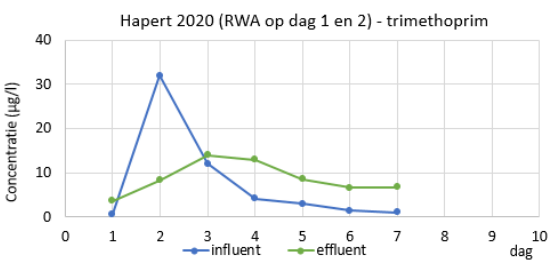
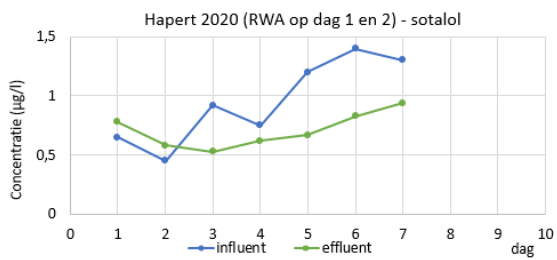
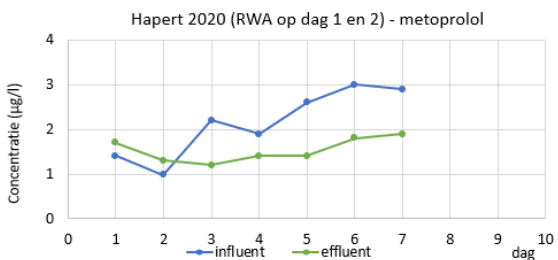
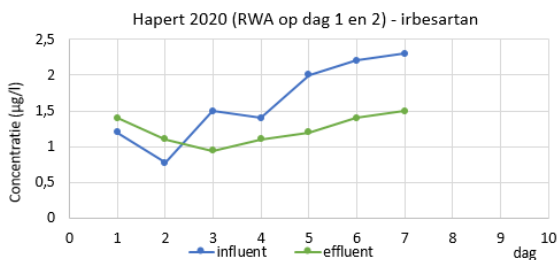
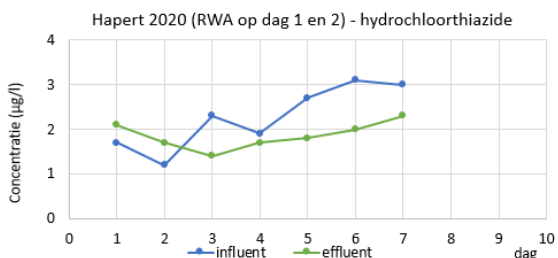
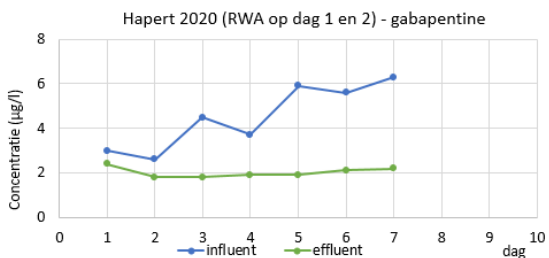
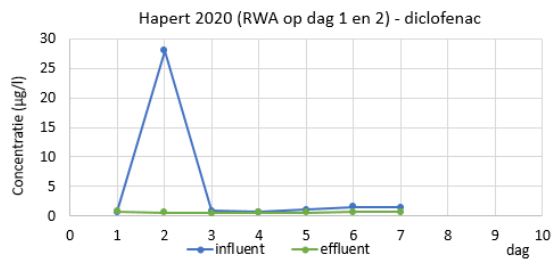
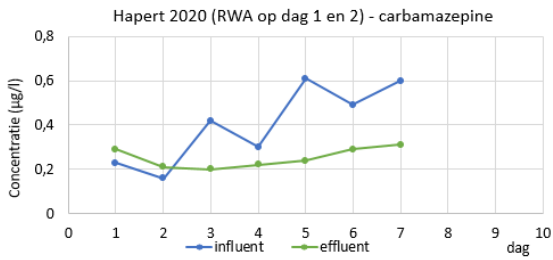
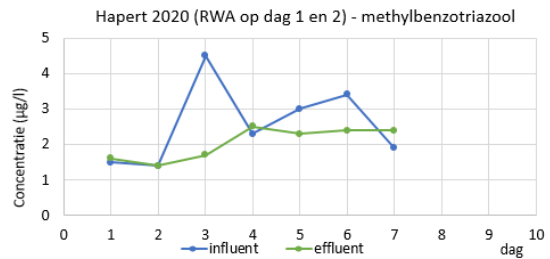
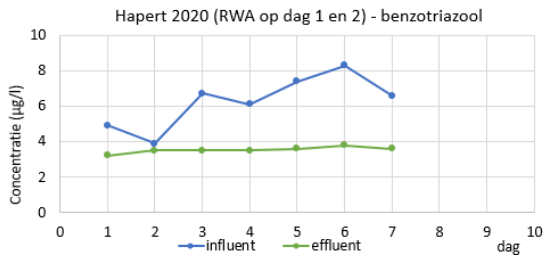


BIJLAGE 3

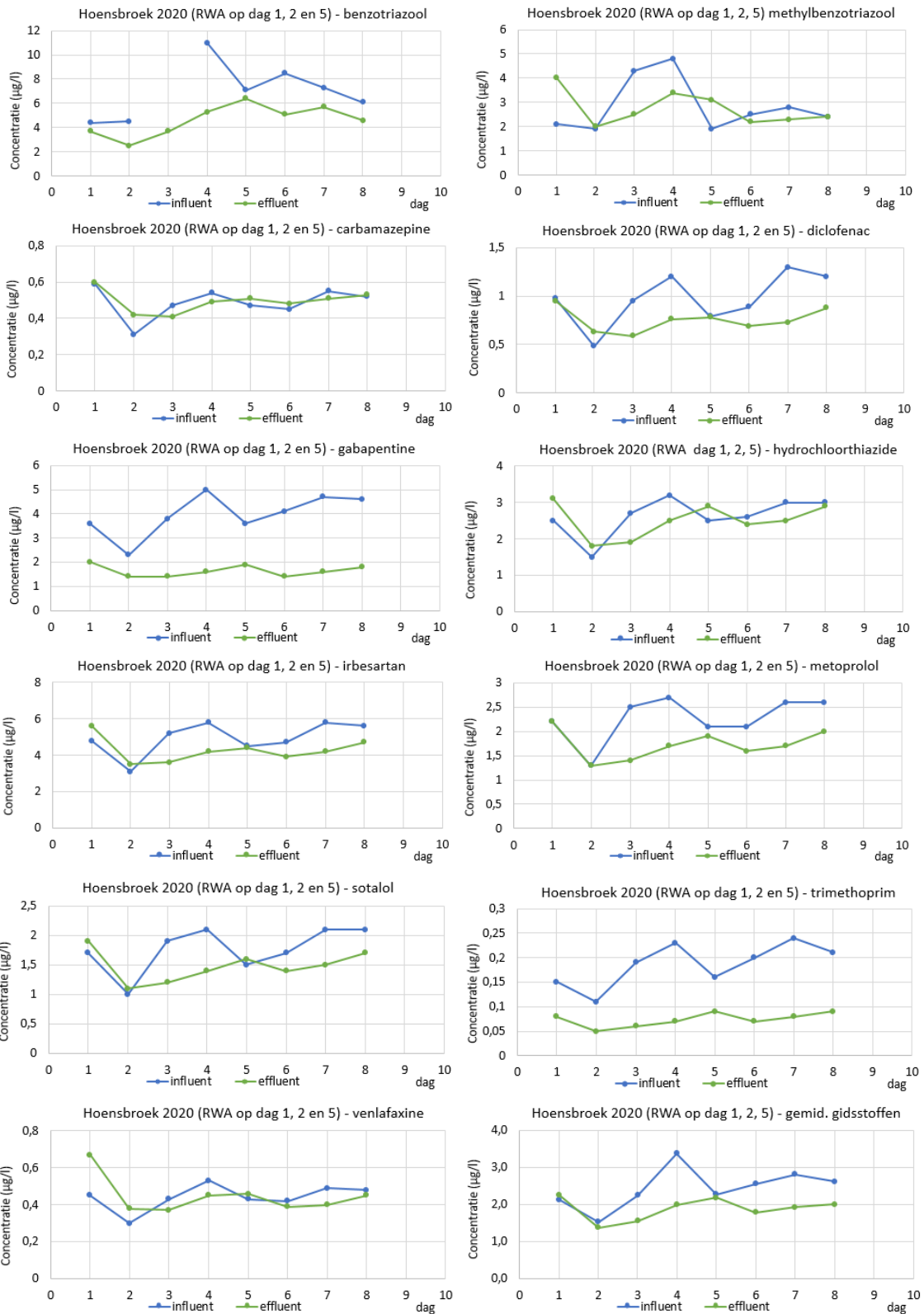
CONCENTRATIE GIDSSTOFFEN - GRAFIEKEN

2020

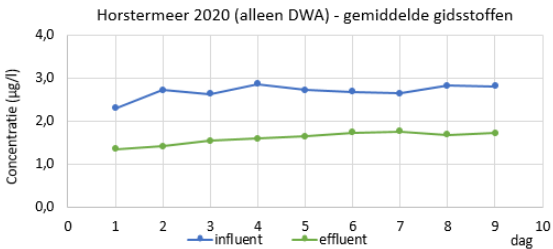
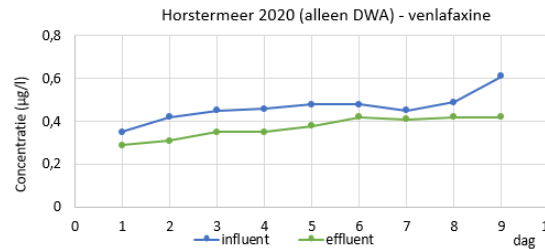
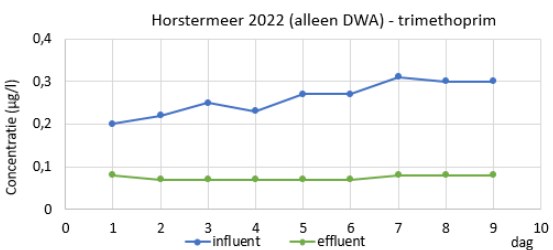
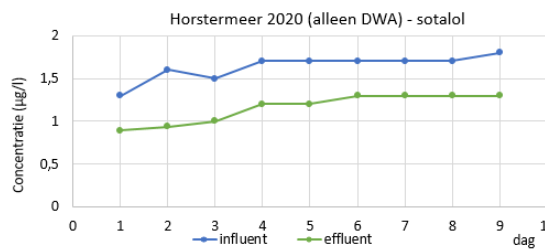
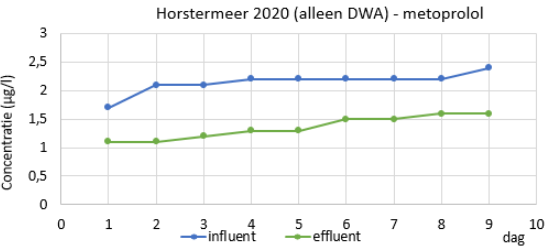
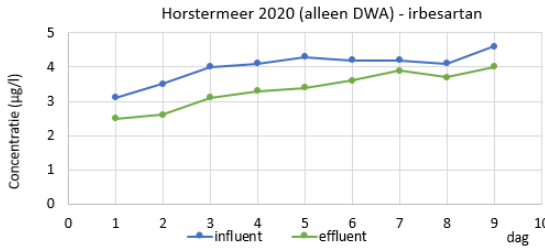
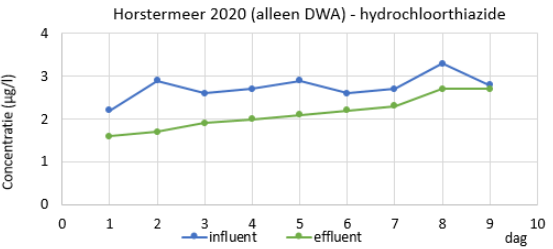
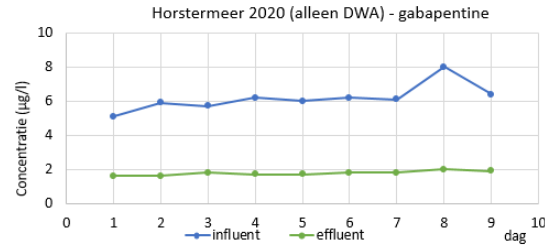
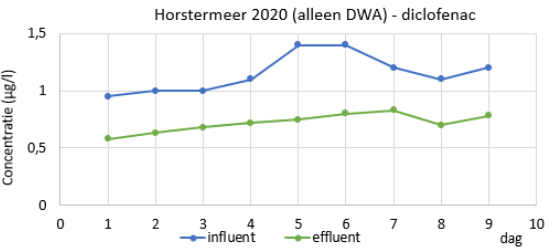
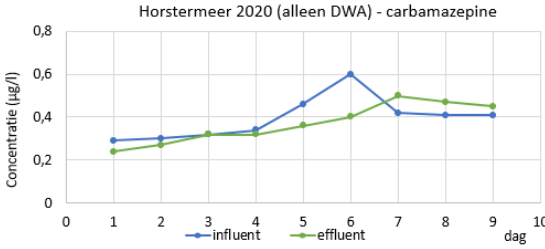
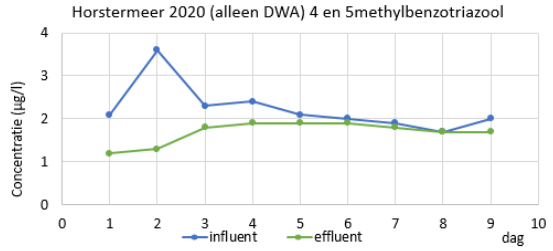
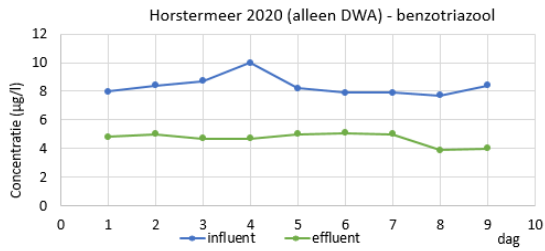
Hapert



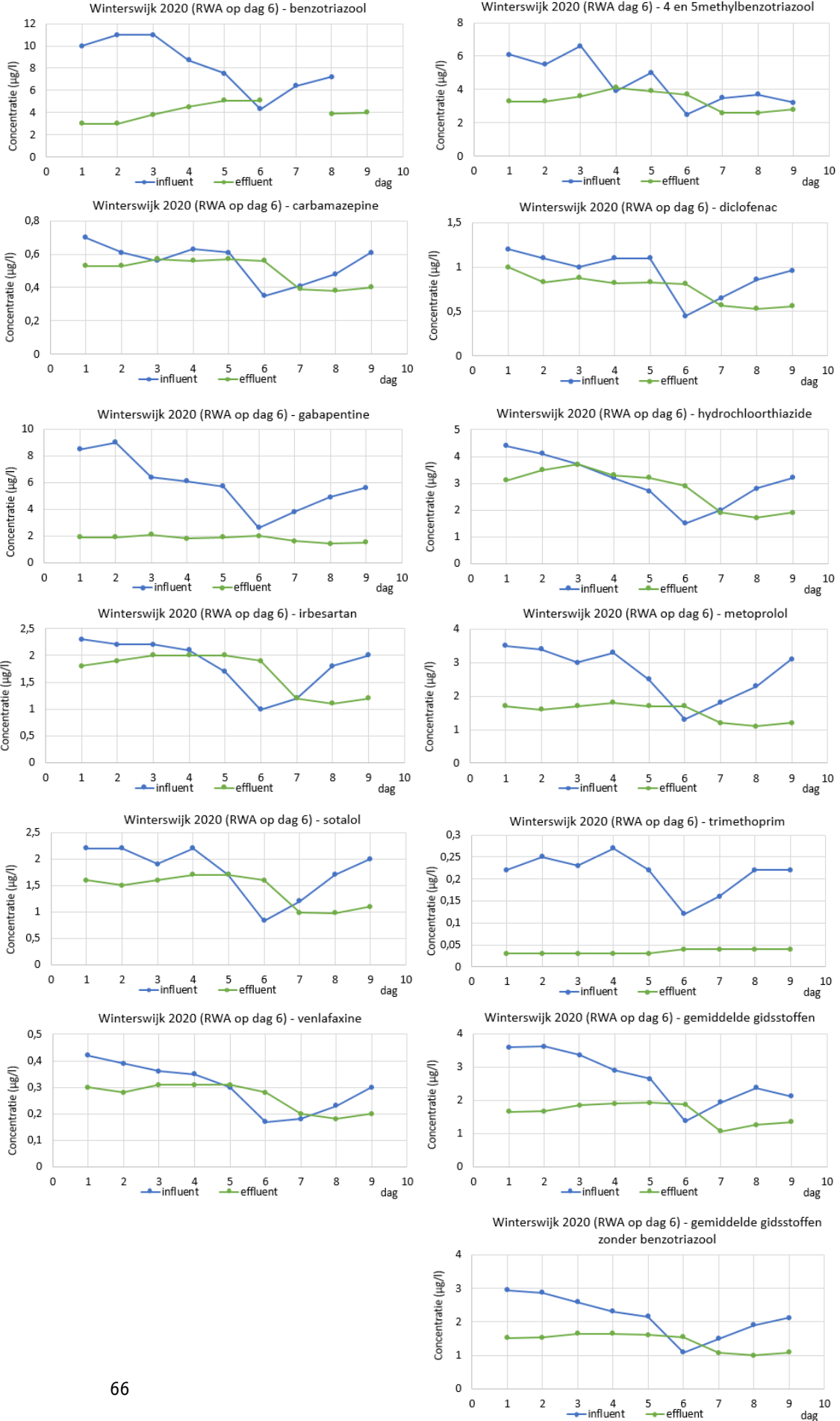
Hoensbroek



Horstermeer

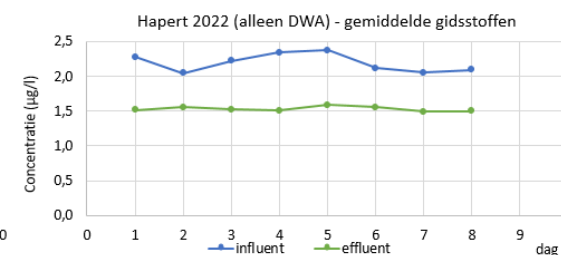
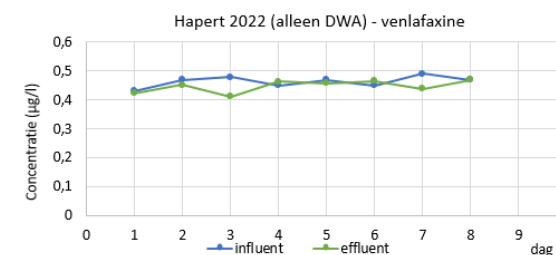
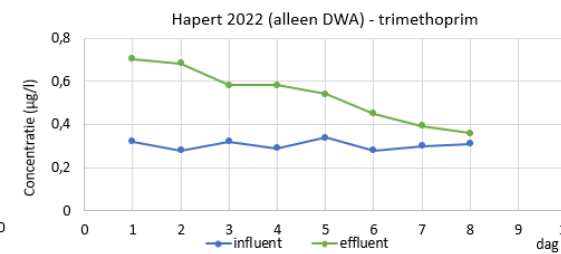
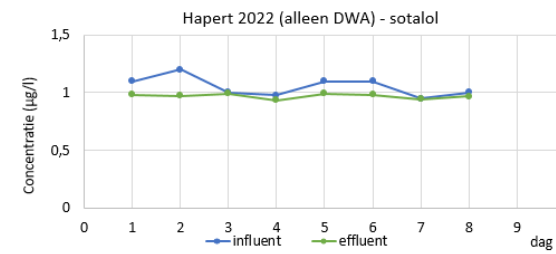
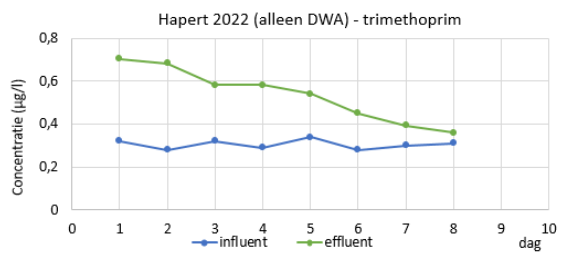
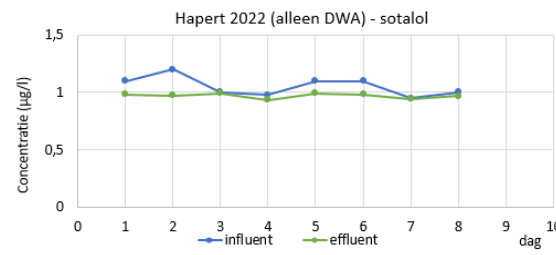
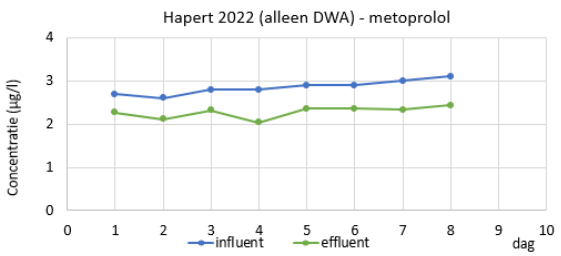
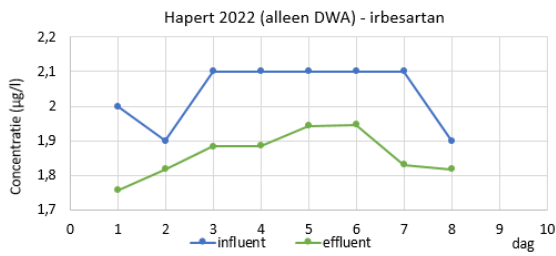
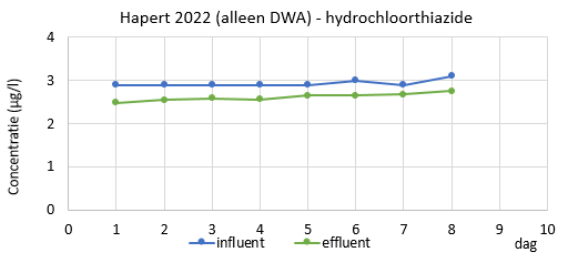
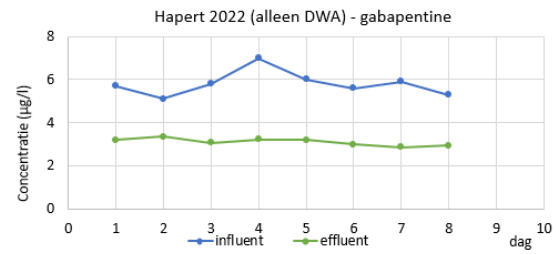
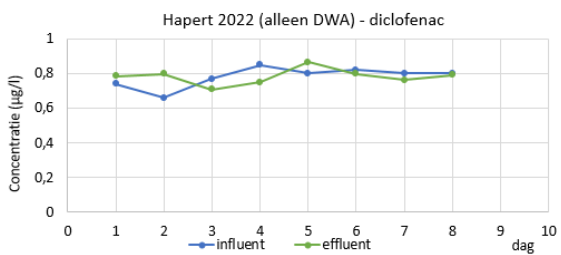
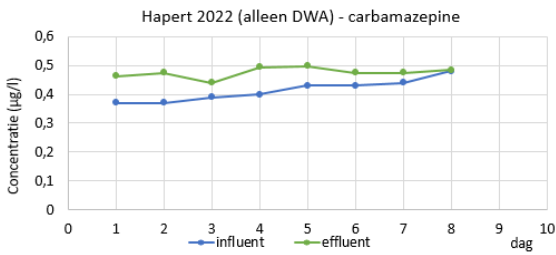
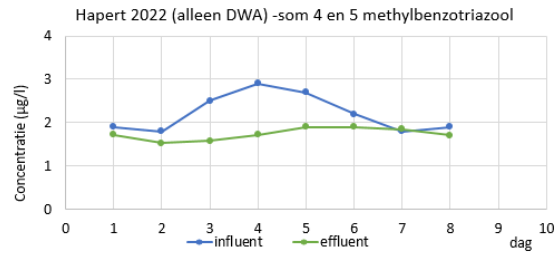
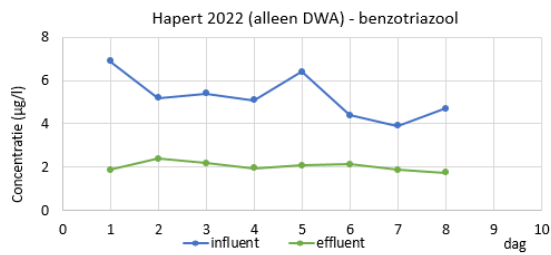


Winterswijk

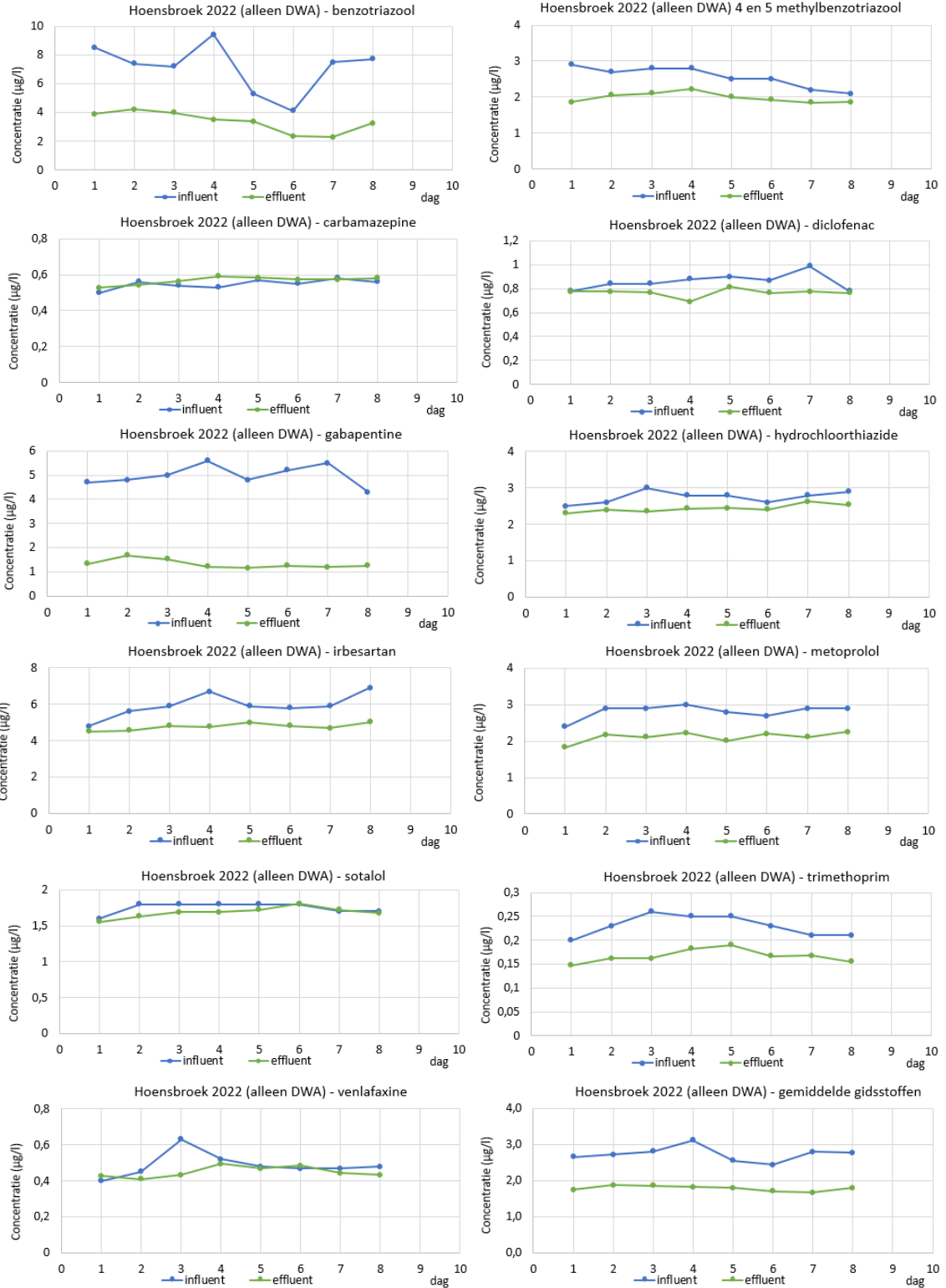


2022/2023

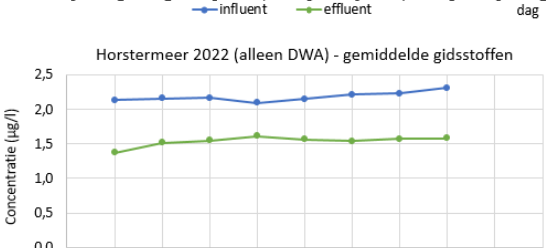
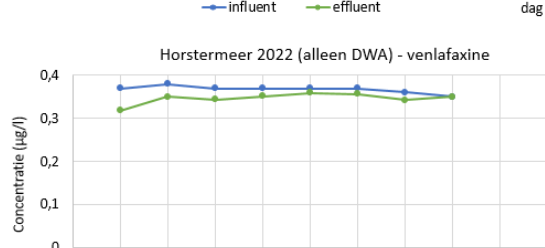
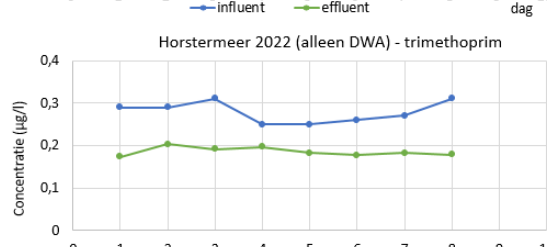
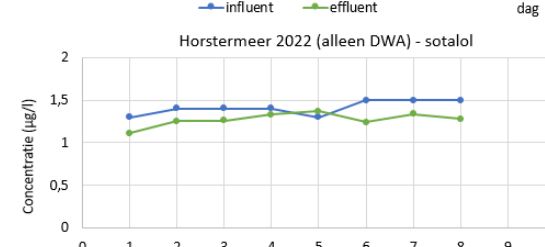
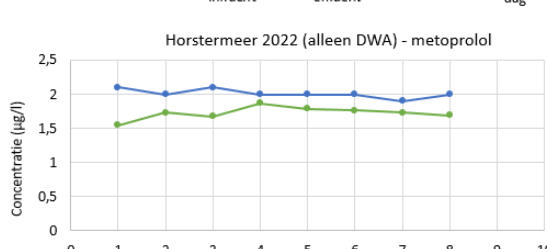
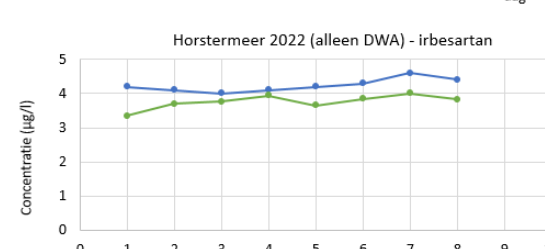
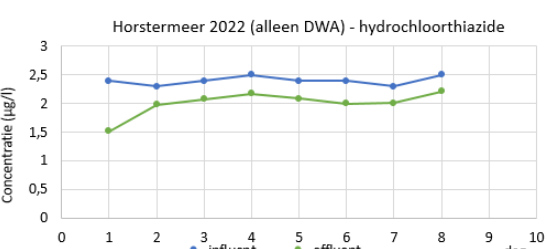
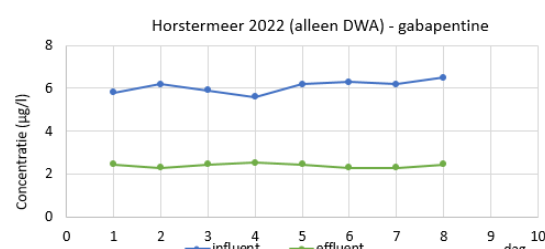
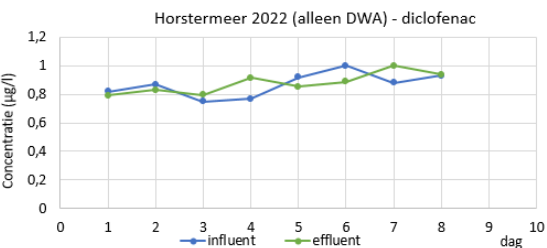
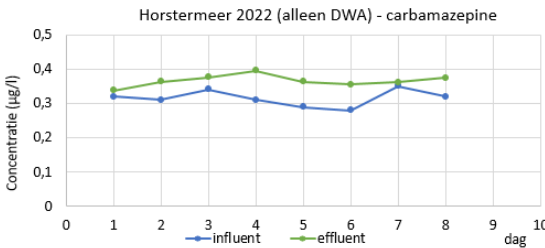
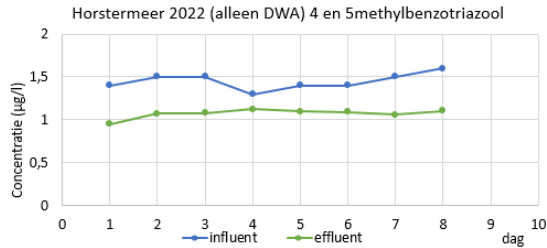
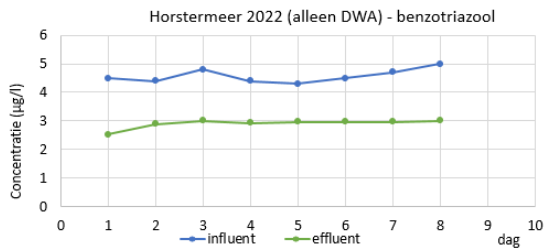
Hapert



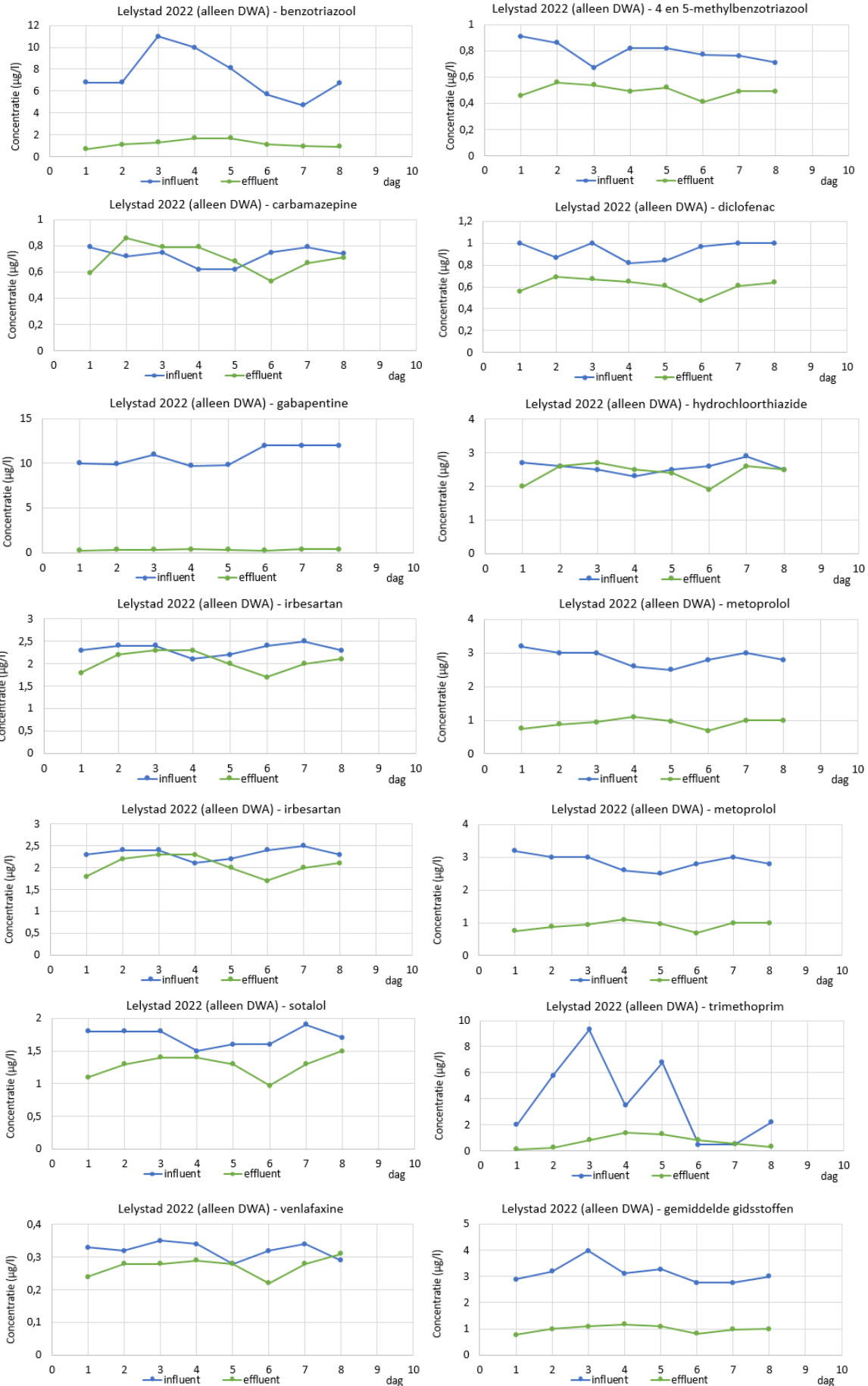
Hoensbroek



Horstermeer



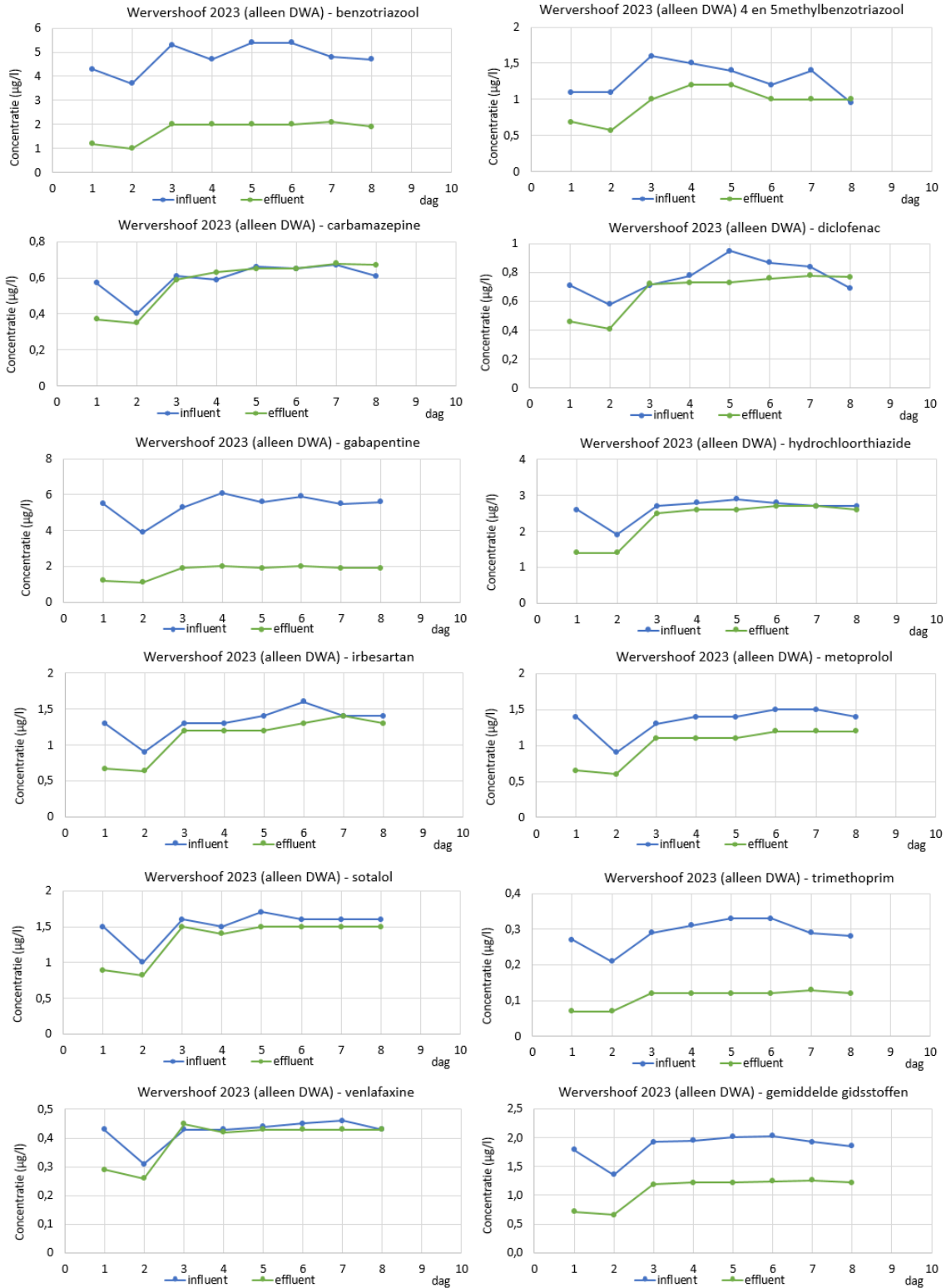
Lelystad



Oijen



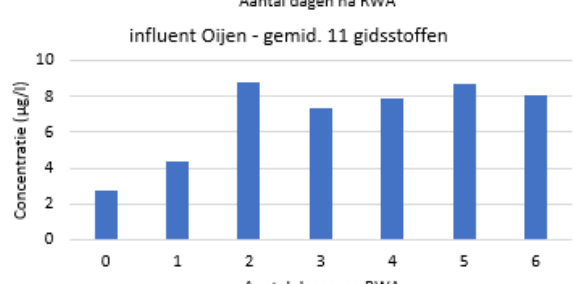
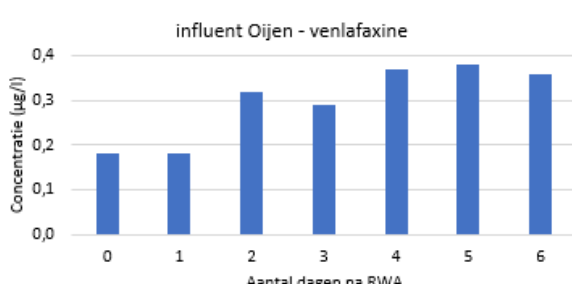
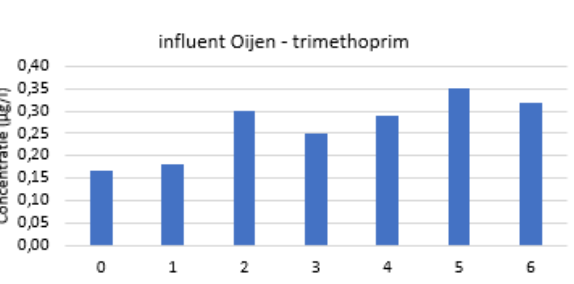
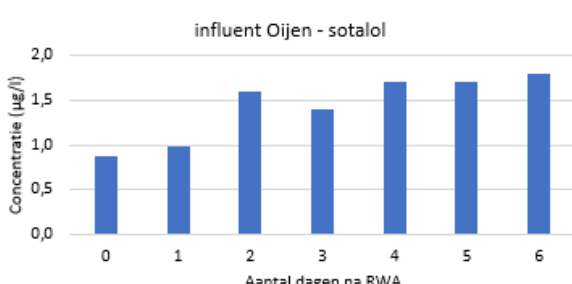
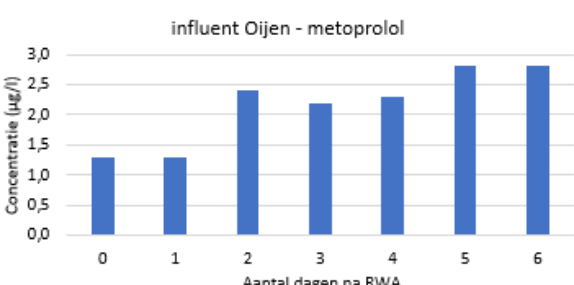
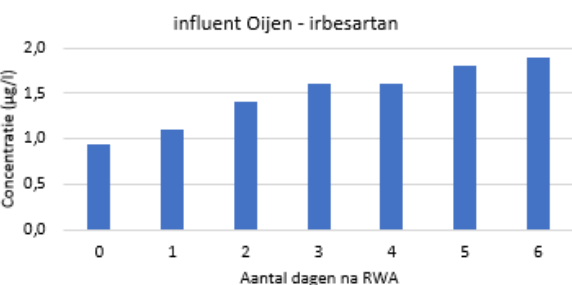
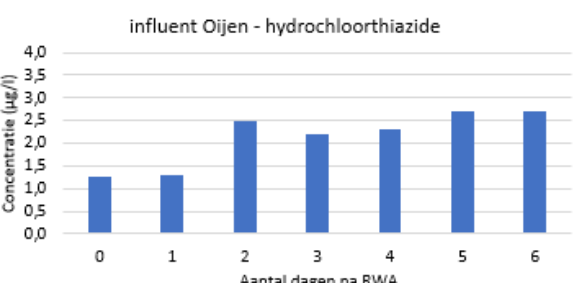
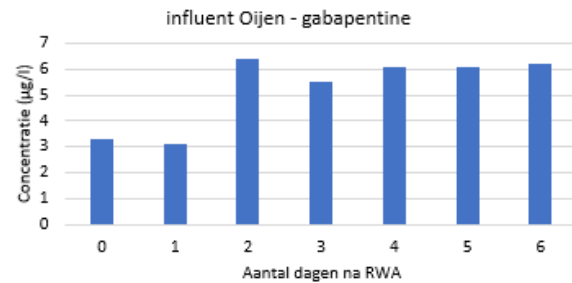
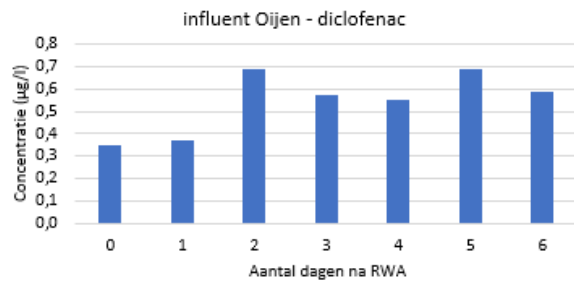
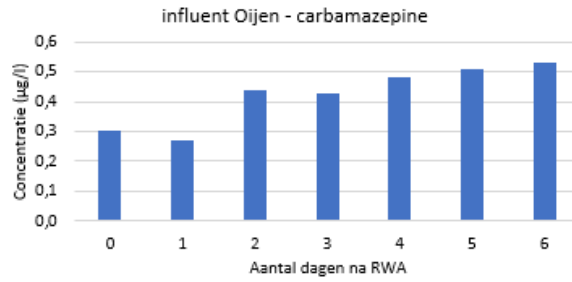
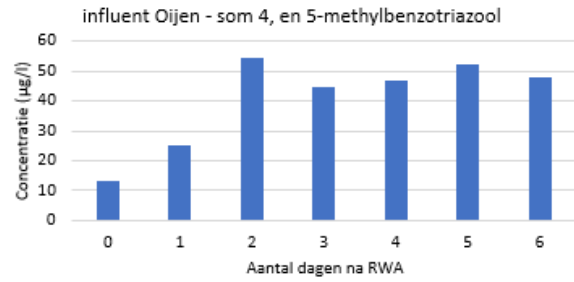
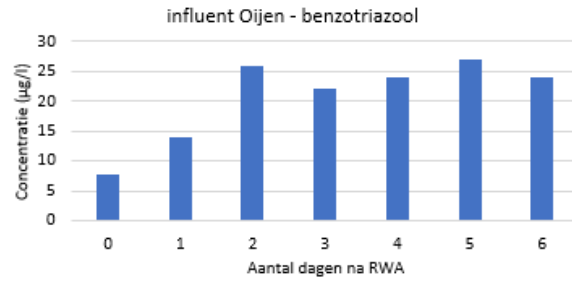
Wervershoof



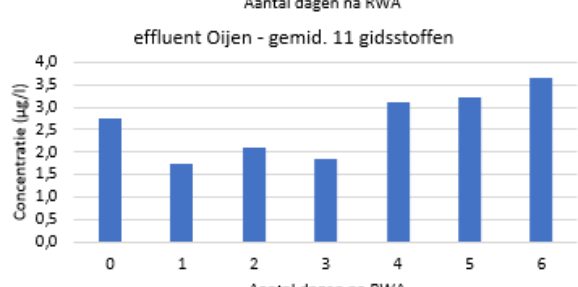
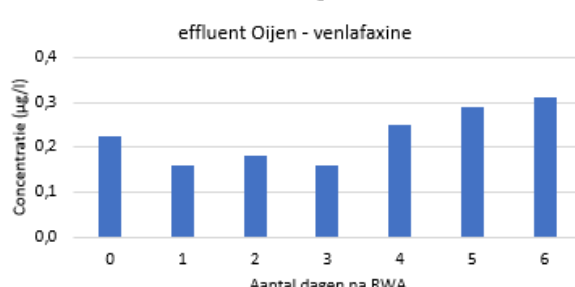
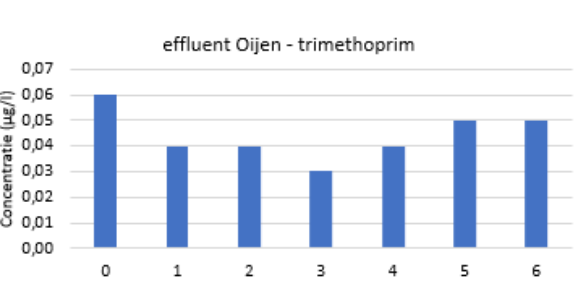
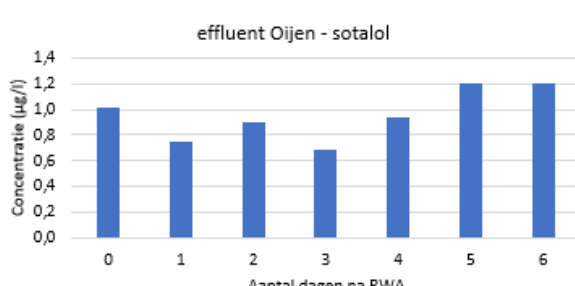
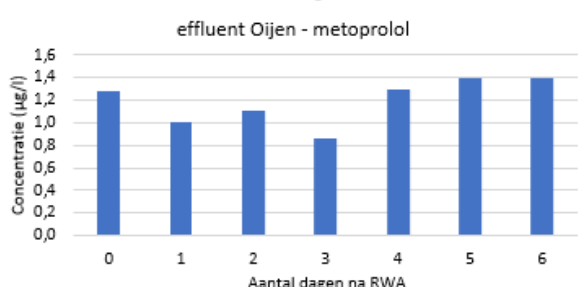
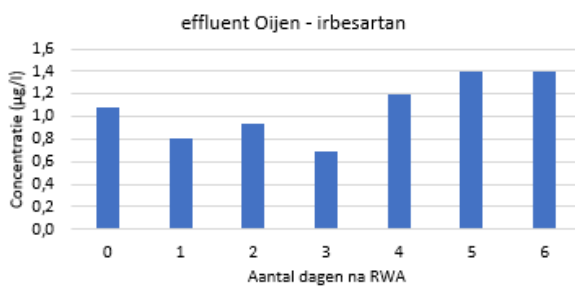
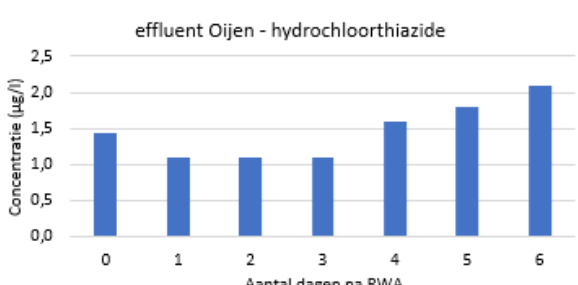
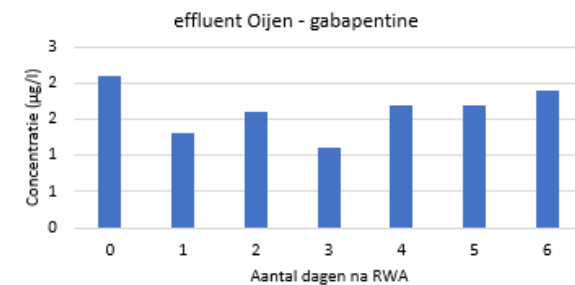
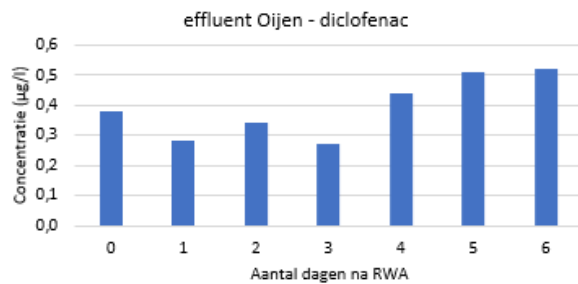
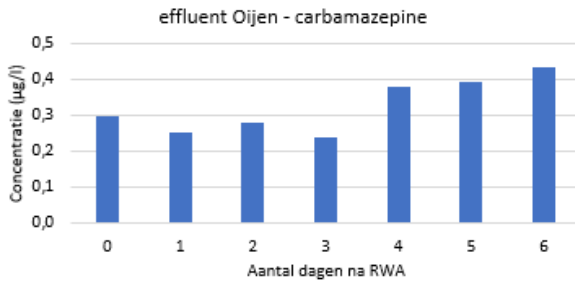
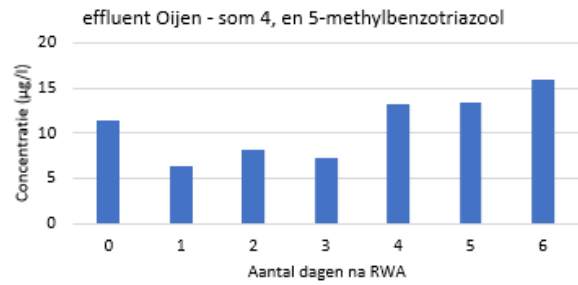
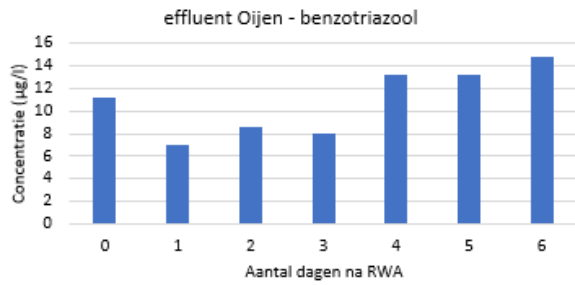
BIJLAGE 4

**CONCENTRATIES EN VERWIJDERINGSCONCENTRATIES
RENDERINGEN GIDSSTOFFEN OP RWZI
OIJEN NA DE LAATSTE RWA-DAG TIJDENS
DE BEMONSTERINGSRONDE**

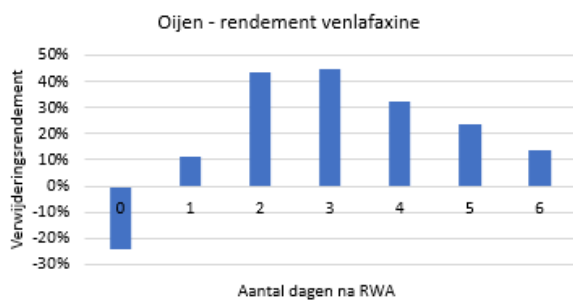
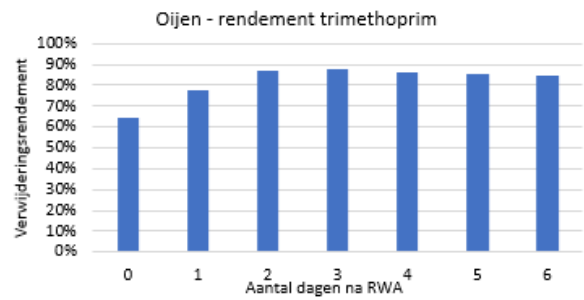
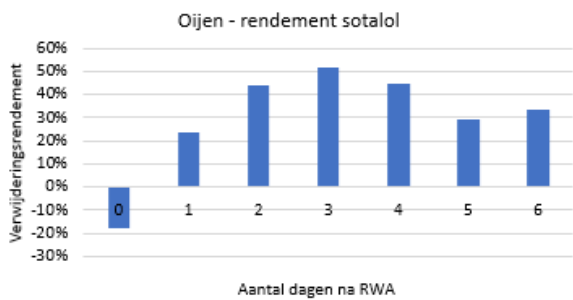
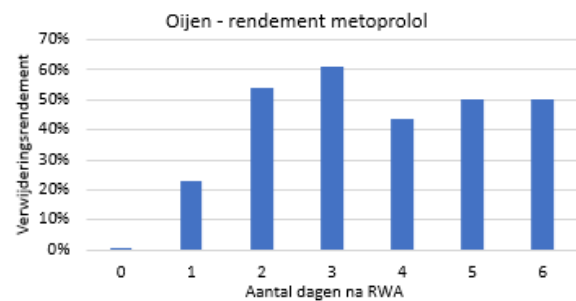
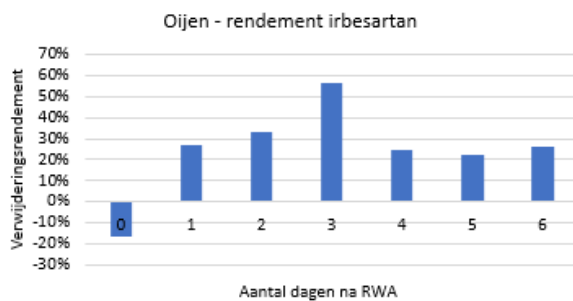
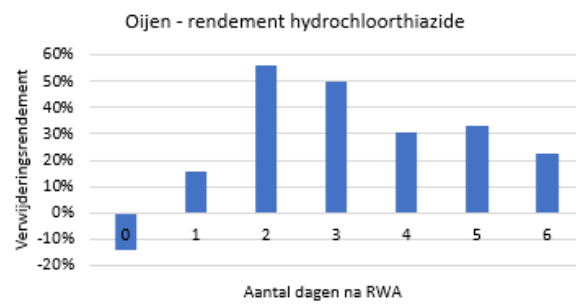
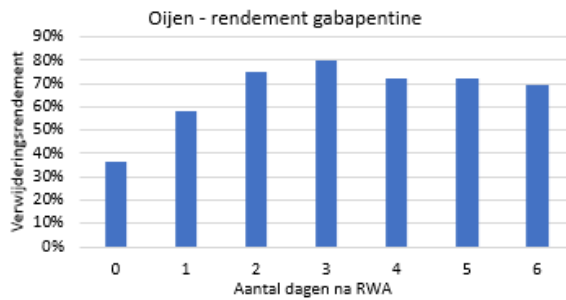
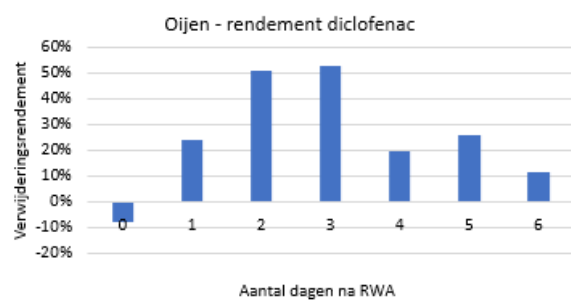
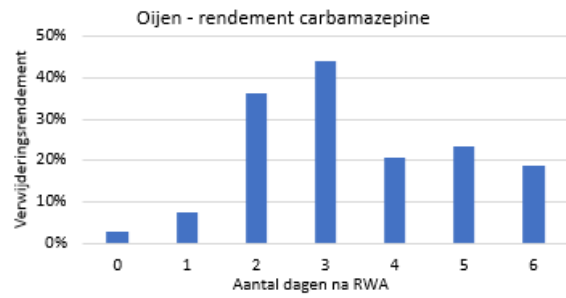
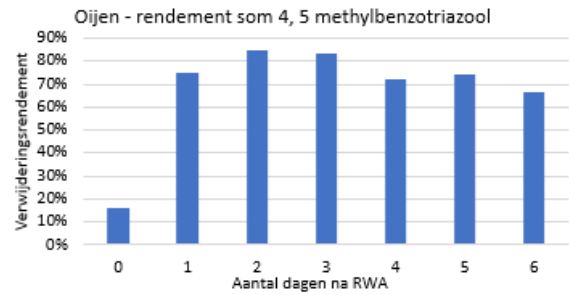
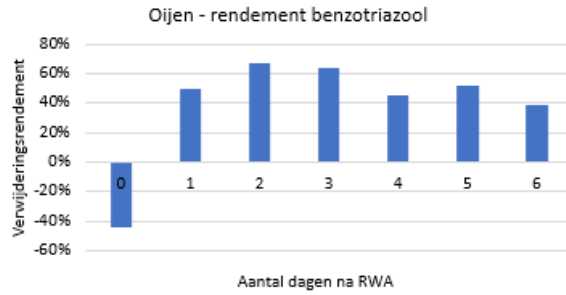
Influentconcentraties



Effluentconcentraties



Verwijderingsrendementen



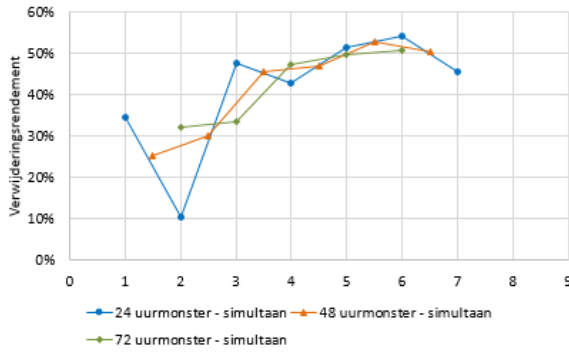
BIJLAGE 5

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN GIDSSTOFFEN - SIMULTANE BEMONSTERING

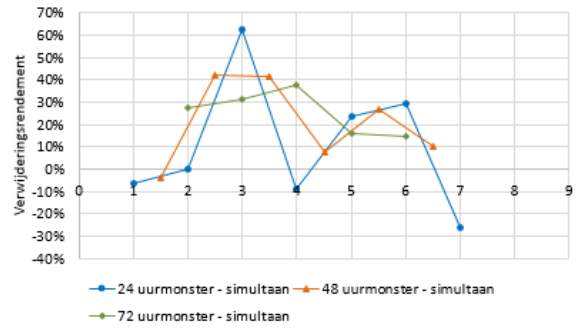
2020

Hapert

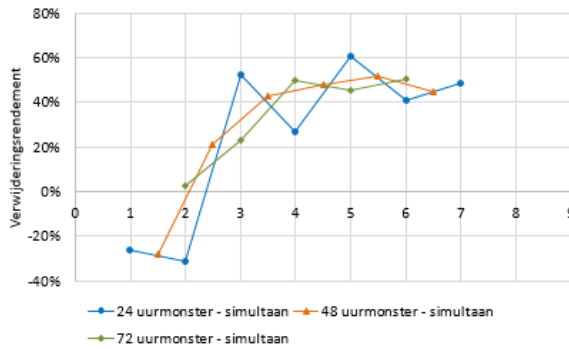
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - benzotriazool



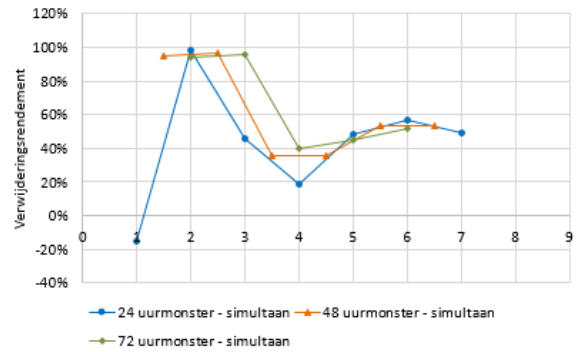
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - som 4, 5-methylbenzotriazool



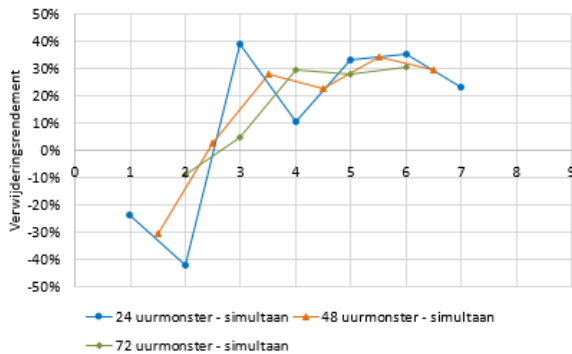
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - carbamazepine



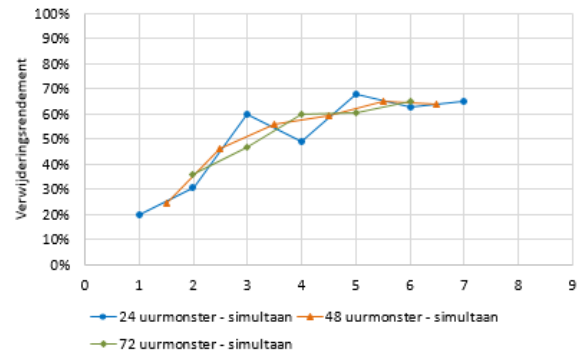
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - diclofenac



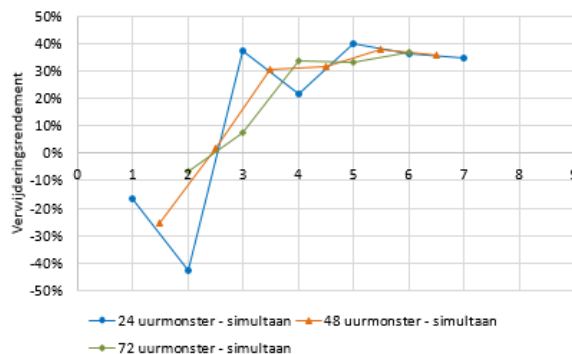
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - hydrochlorothiazide



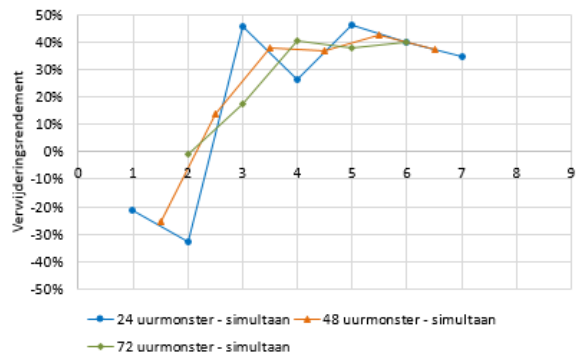
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - gabapentine

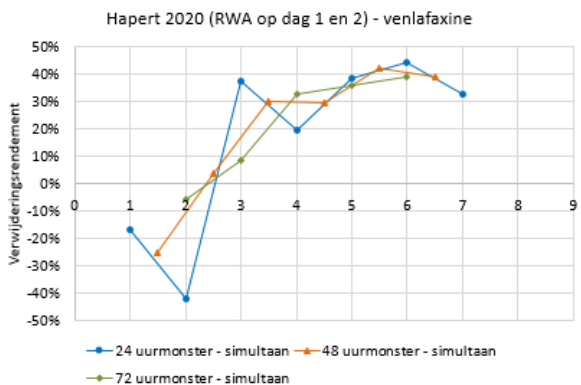
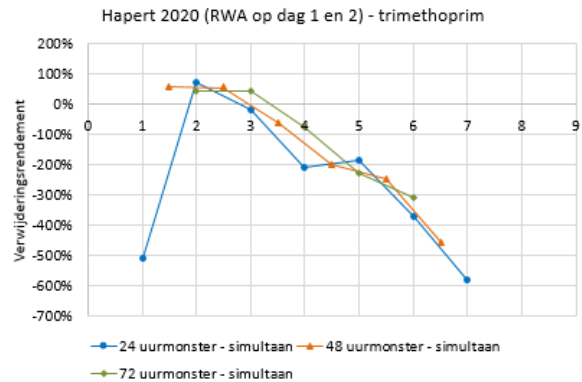
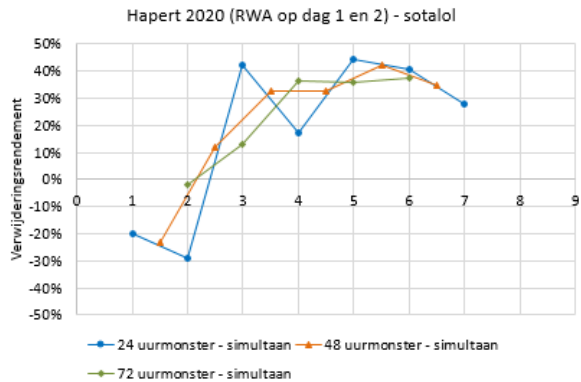


Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - irbesartan



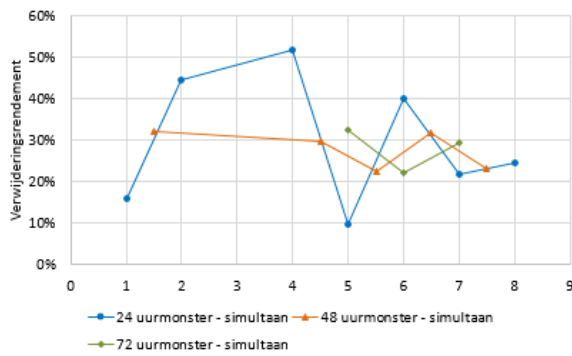
Hapert 2020 (RWA op dag 1 en 2) - metoprolol



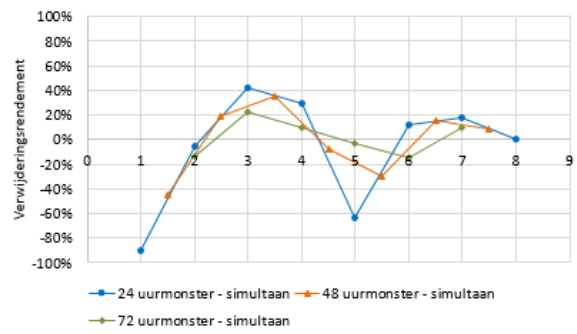


Hoensbroek

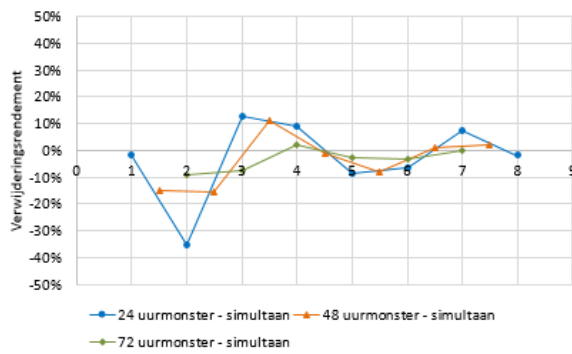
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - benzotriazool



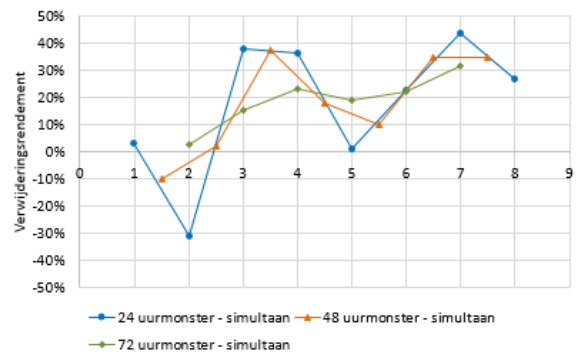
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - som 4, 5-methylbenzotriazool



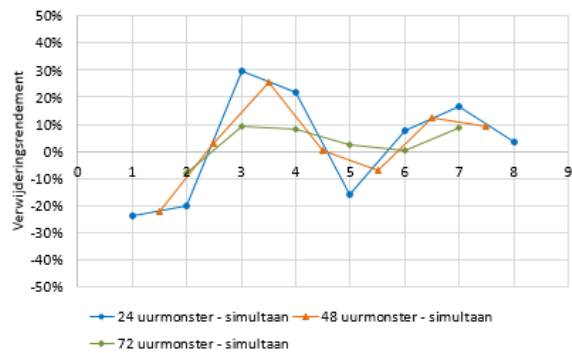
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - carbamazepine



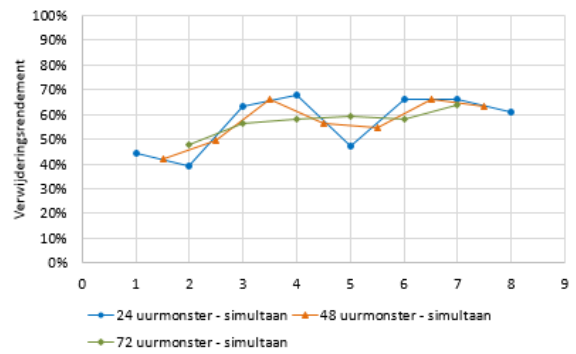
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - diclofenac



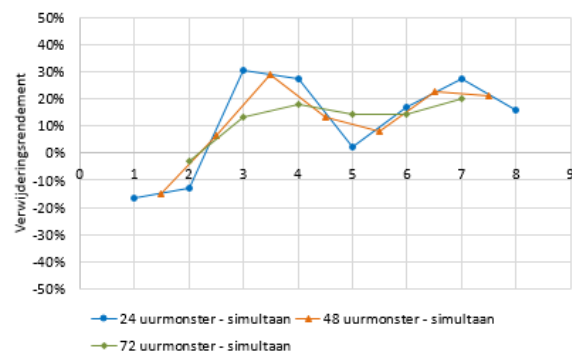
Hoensbroek 2020 (RWA dag 1, 2 en 5) - hydrochloorthiazide



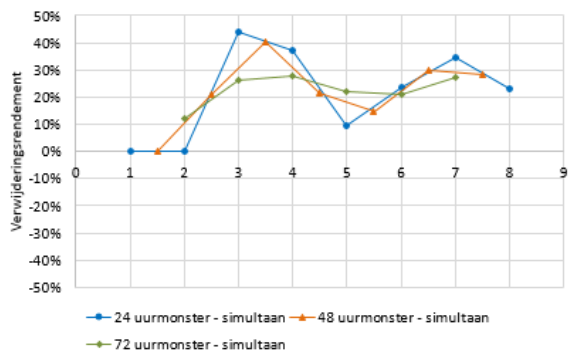
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - gabapentine

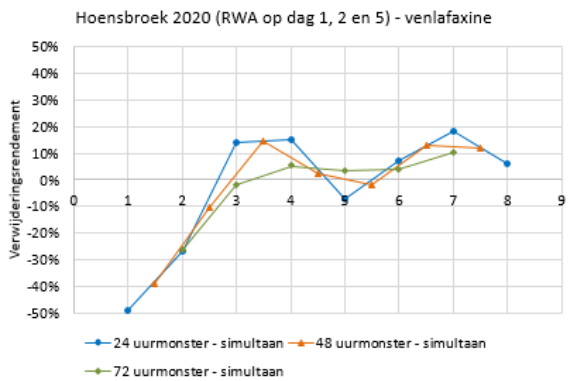
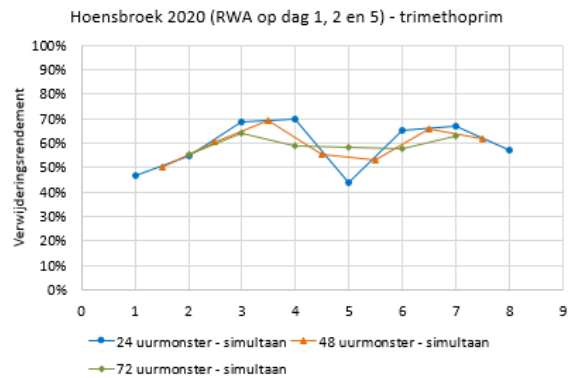
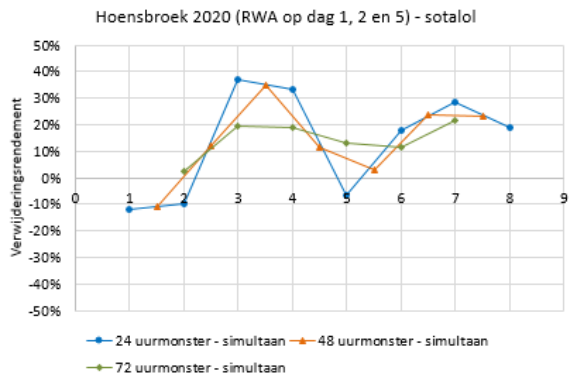


Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - irbesartan

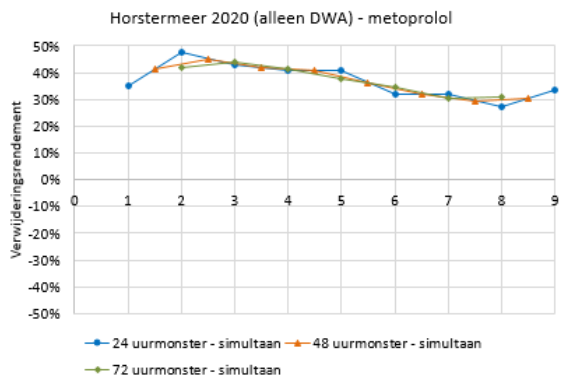
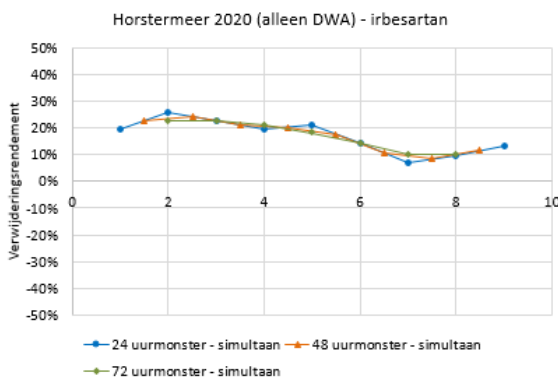
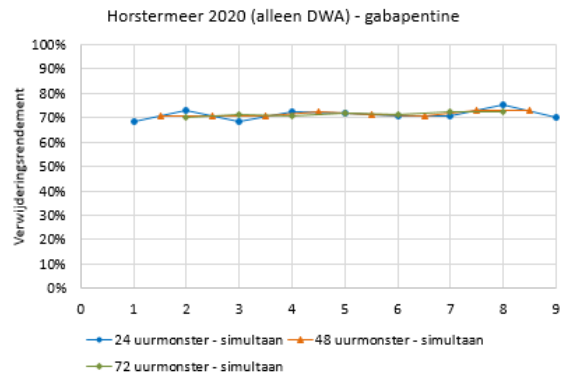
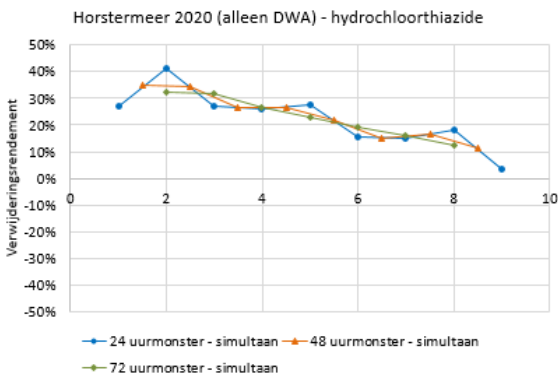
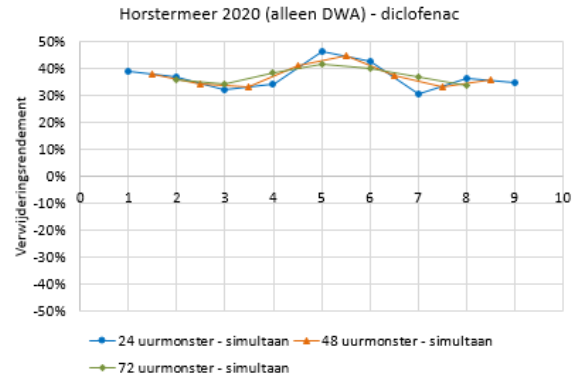
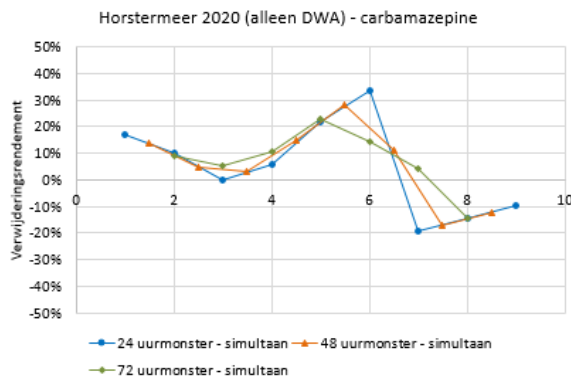
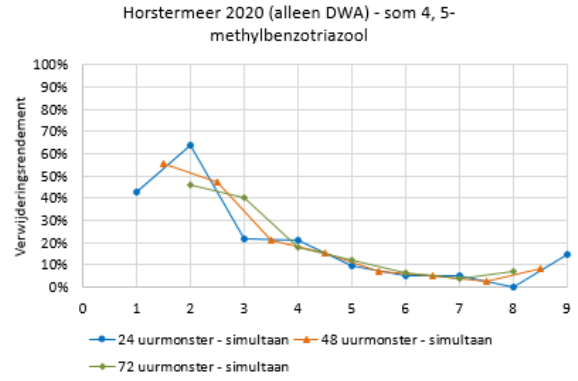
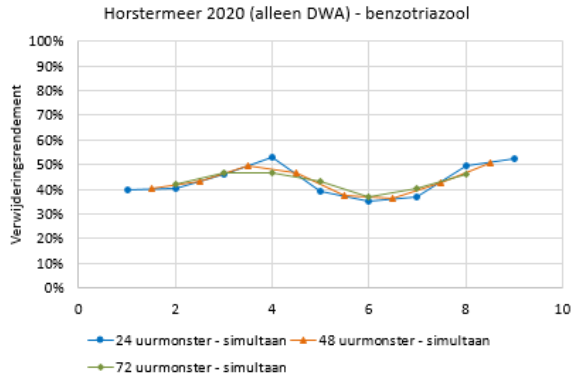


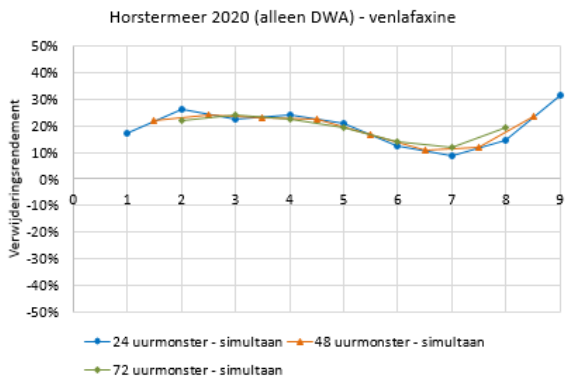
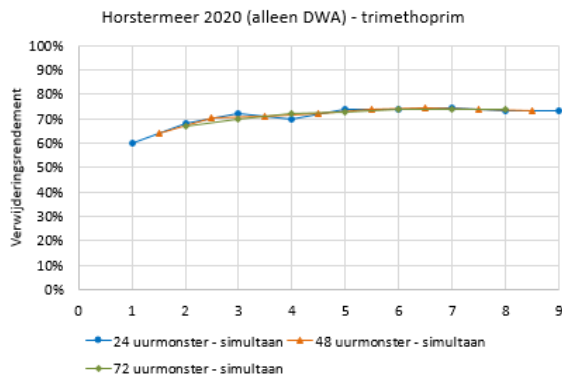
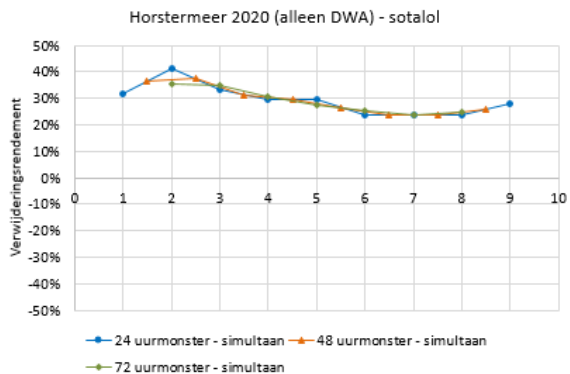
Hoensbroek 2020 (RWA op dag 1, 2 en 5) - metoprolol



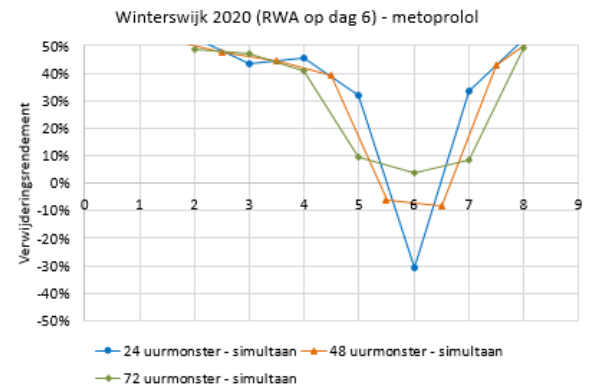
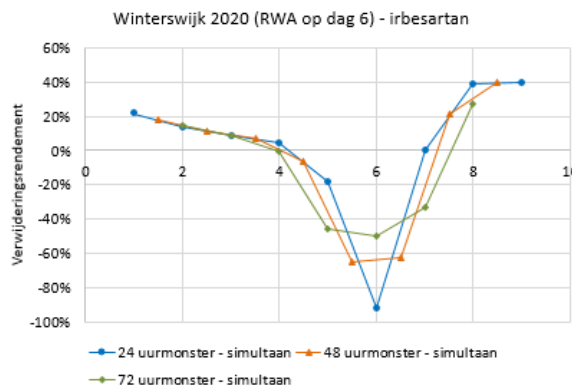
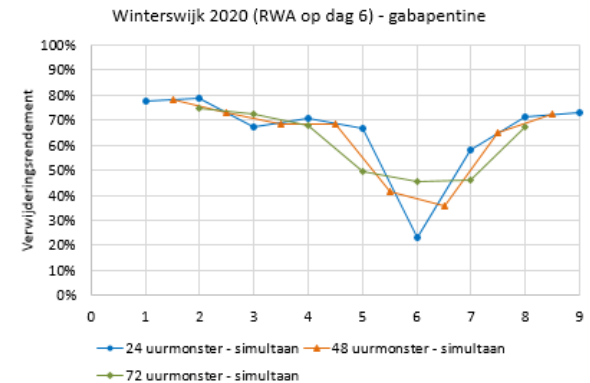
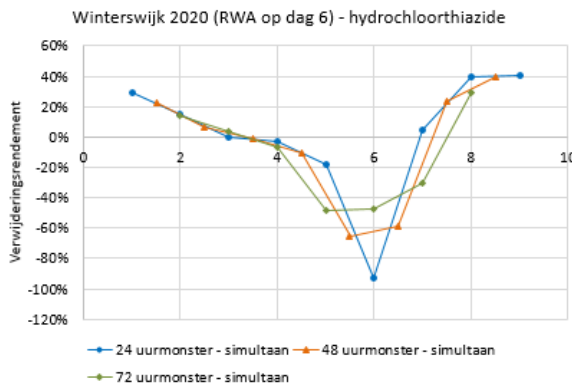
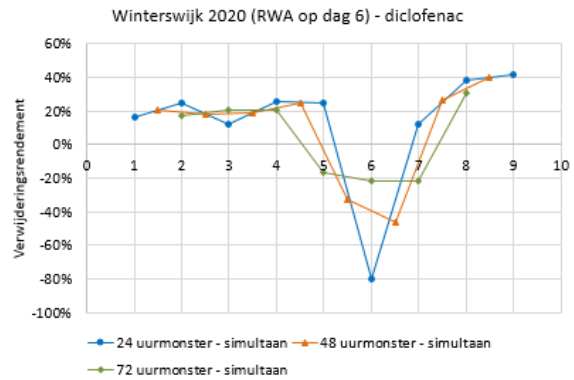
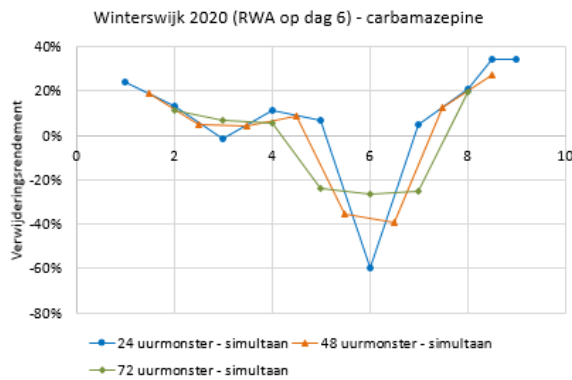
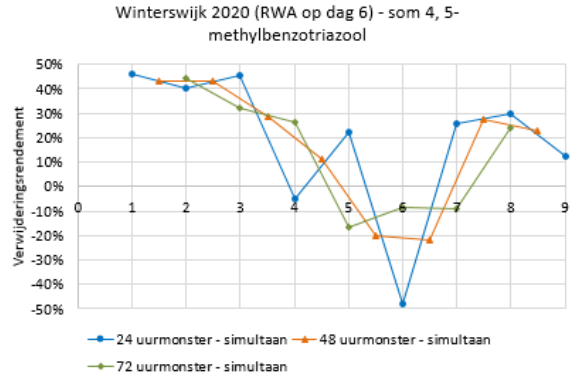
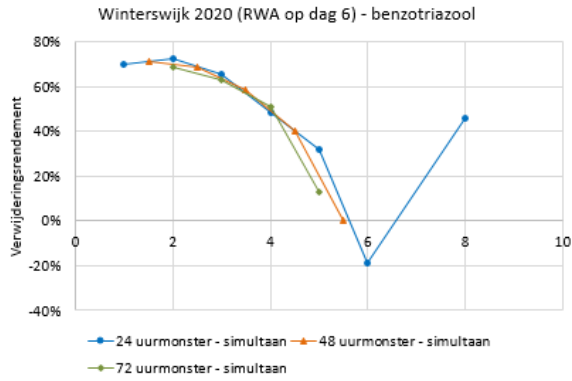


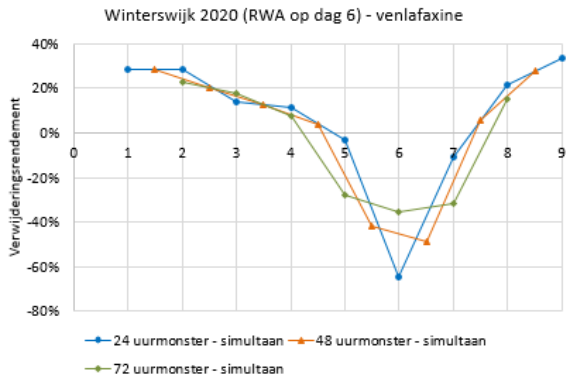
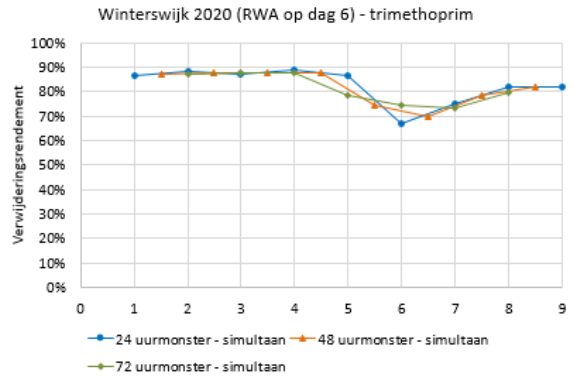
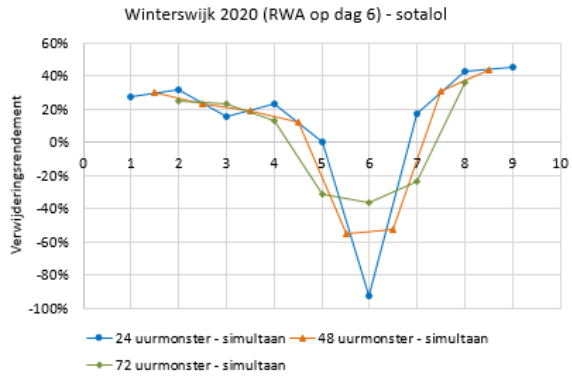
Horstermeer





Winterswijk

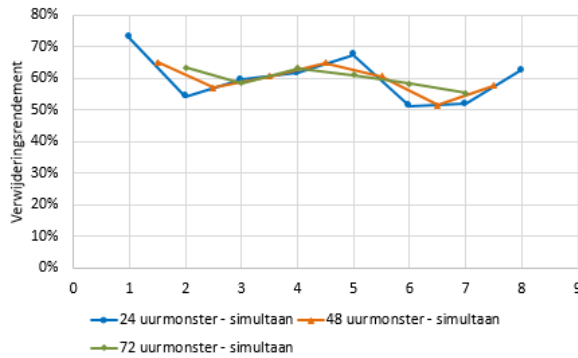




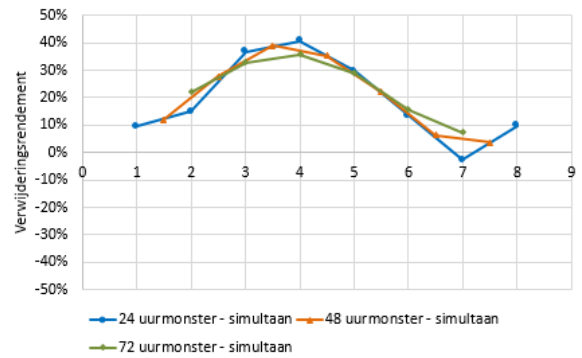
2022/2023

Hapert

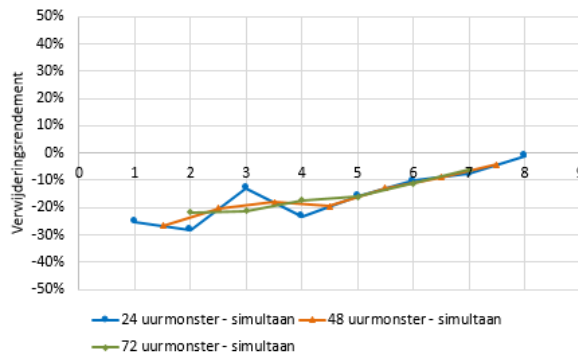
Hapert 2022 (alleen DWA) - benzotriazool



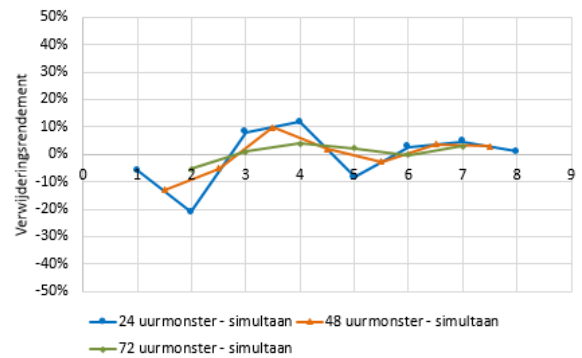
Hapert 2022 (alleen DWA) - som 4, 5-methylbenzotriazool



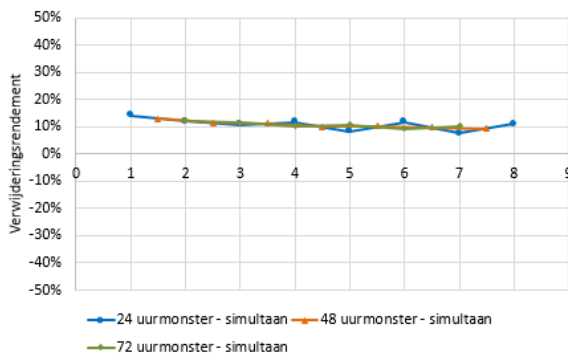
Hapert 2022 (alleen DWA) - carbamazepine



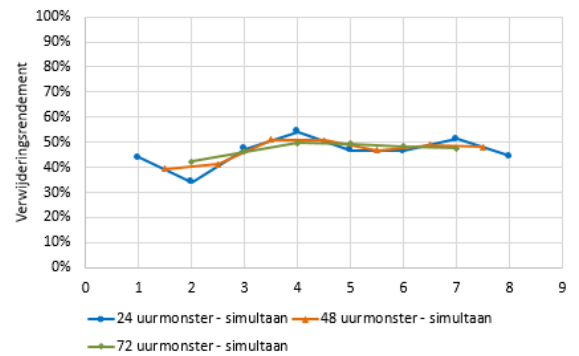
Hapert 2022 (alleen DWA) - diclofenac



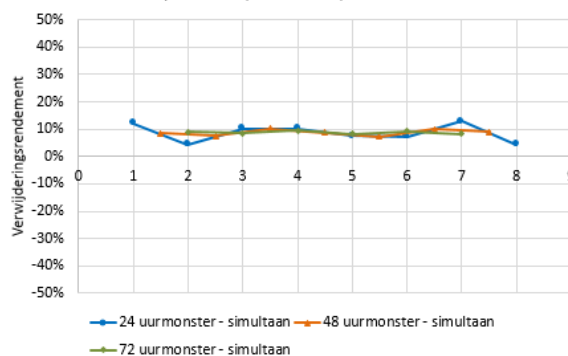
Hapert 2022 (alleen DWA) - hydrochloorthiazide



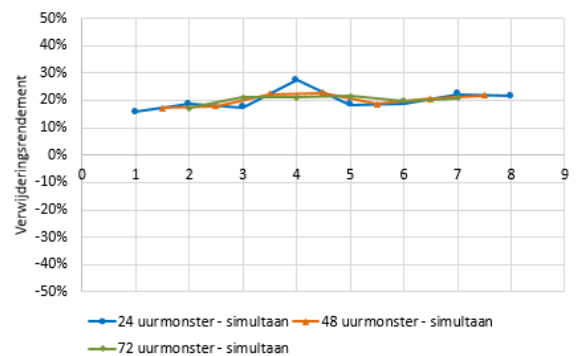
Hapert 2022 (alleen DWA) - gabapentine

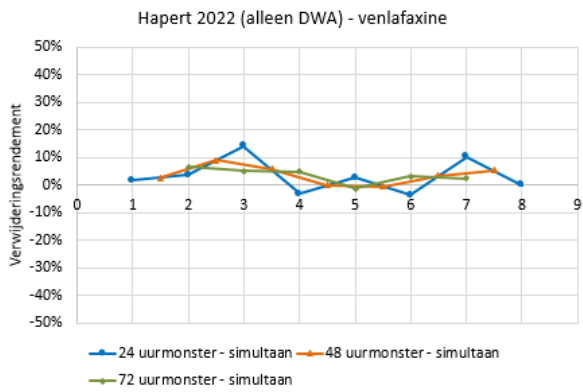
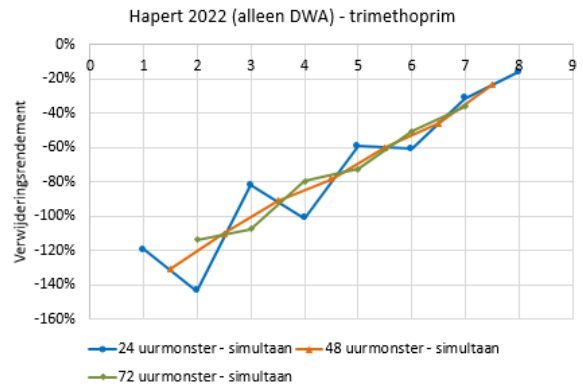
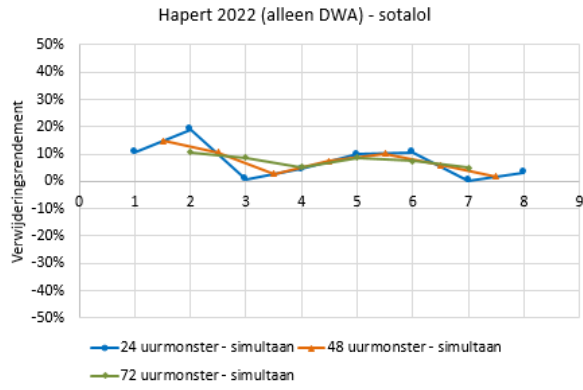


Hapert 2022 (alleen DWA) - irbesartan



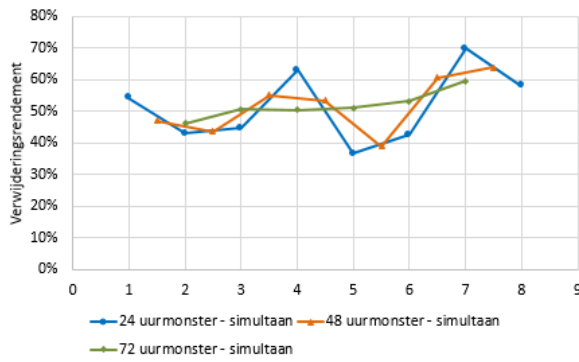
Hapert 2022 (alleen DWA) - metoprolol



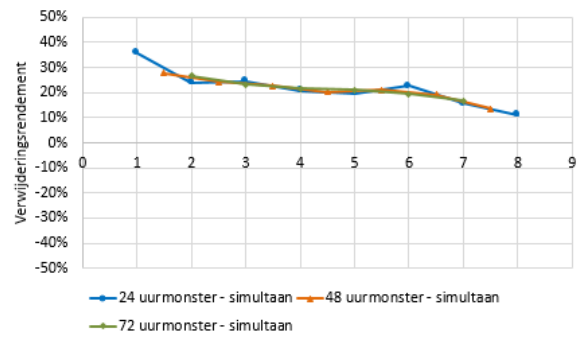


Hoensbroek

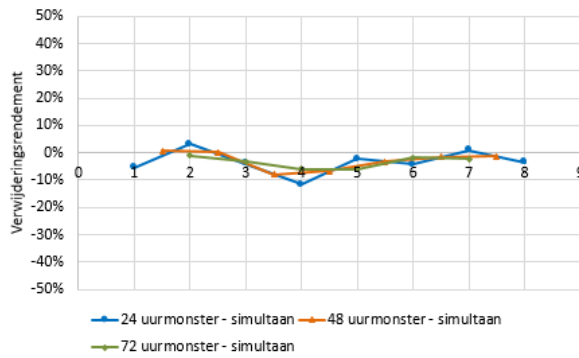
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - benzotriazool



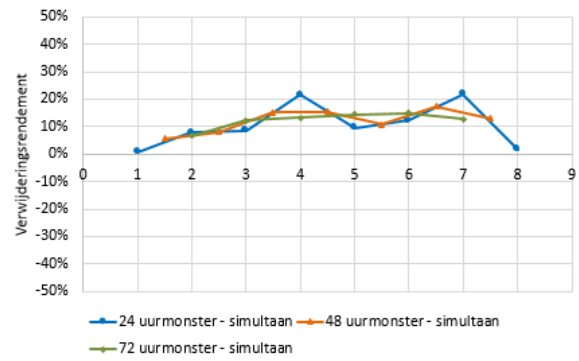
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - som 4, 5-methylbenzotriazool



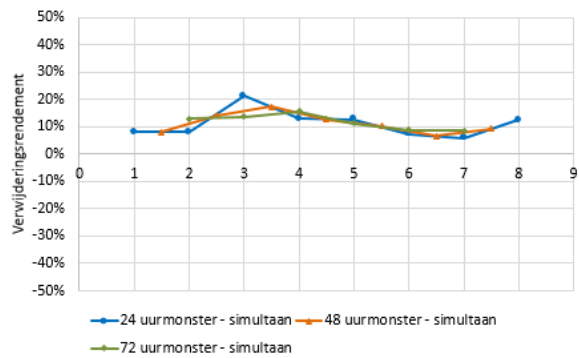
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - carbamazepine



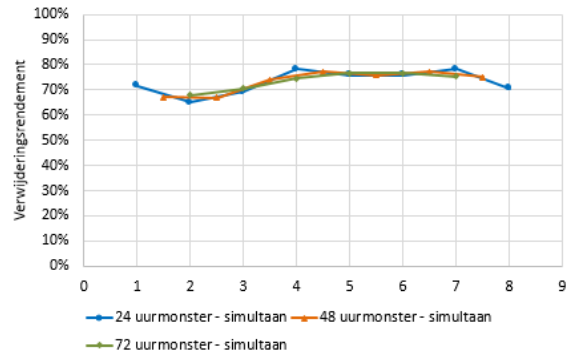
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - diclofenac



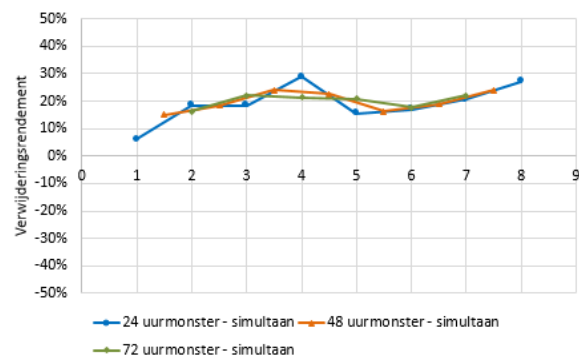
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - hydrochloorthiazide



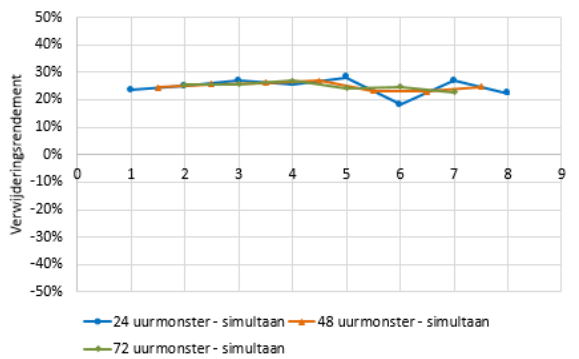
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - gabapentine



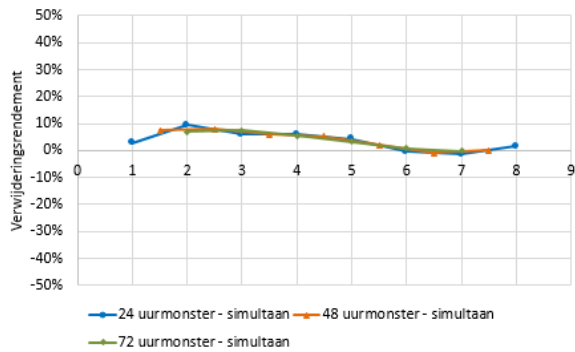
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - irbesartan



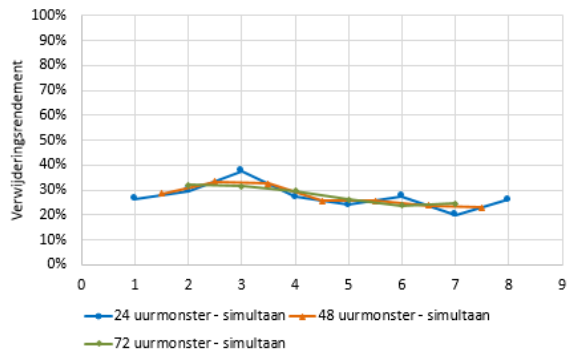
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - metoprolol



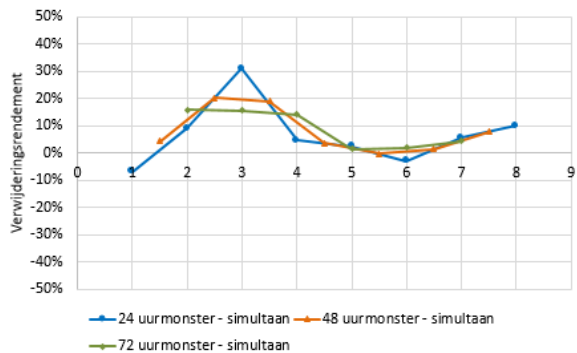
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - sotalol



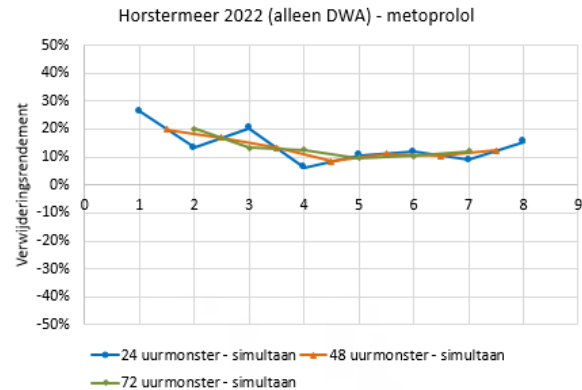
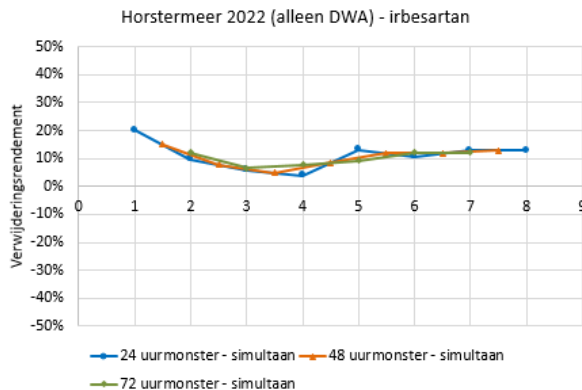
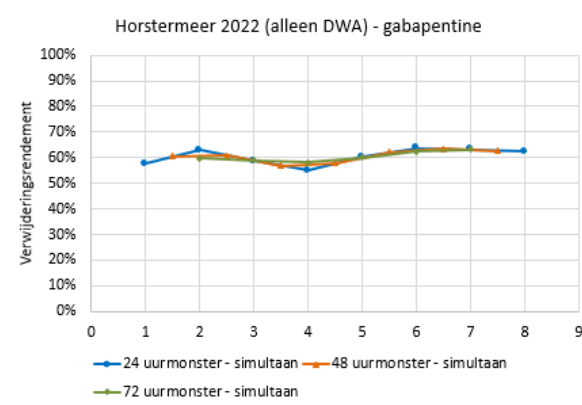
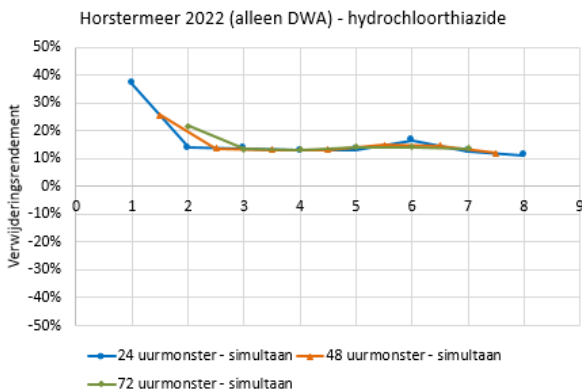
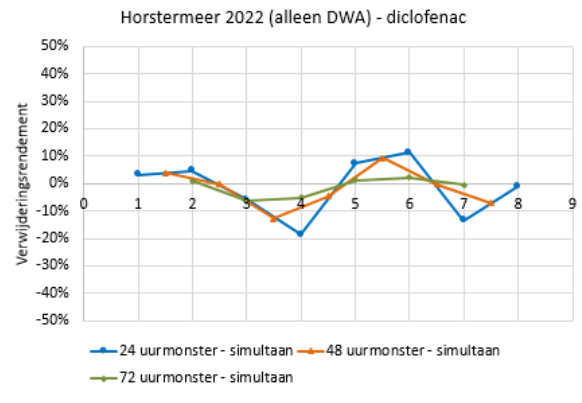
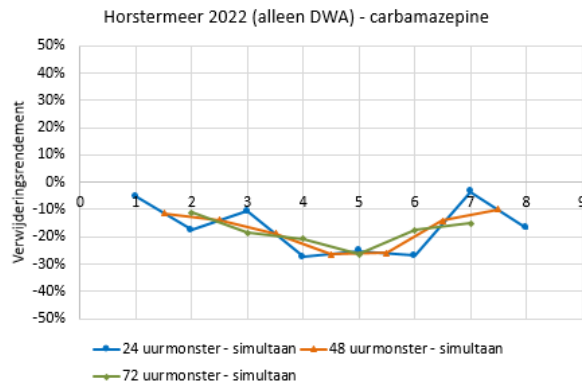
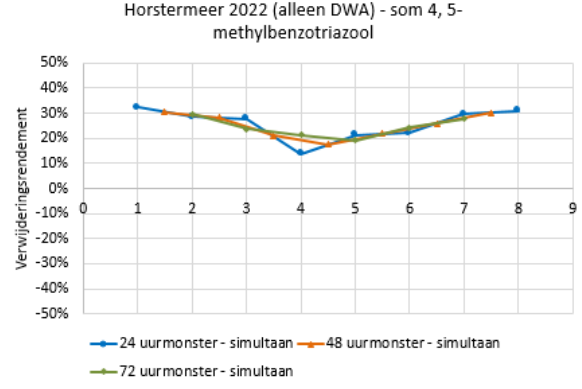
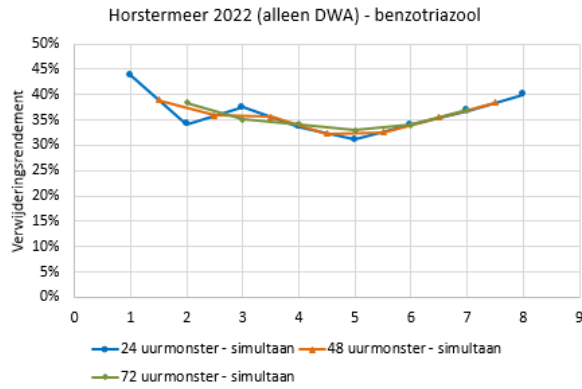
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - trimethoprim



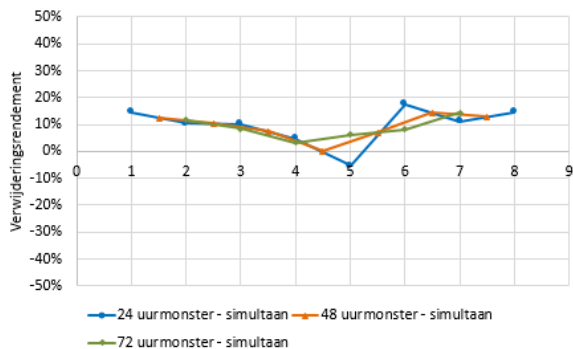
Hoensbroek 2022 (alleen DWA) - venlafaxine



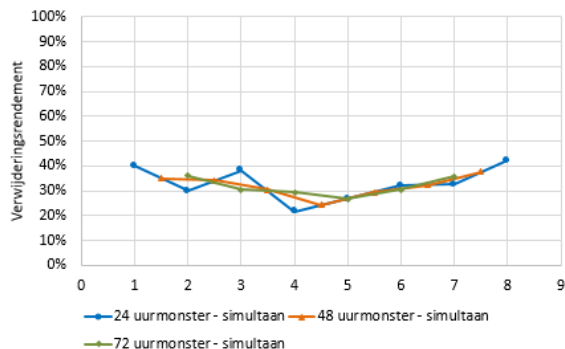
Horstermeer



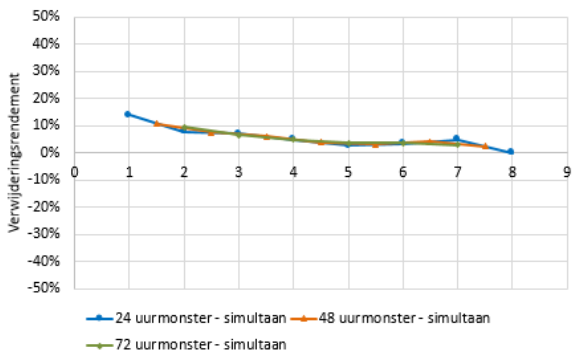
Horstermeer 2022 (alleen DWA) - sotalol



Horstermeer 2022 (alleen DWA) - trimethoprim

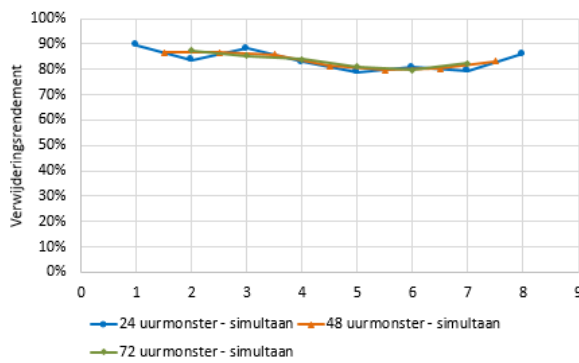


Horstermeer 2022 (alleen DWA) - venlafaxine

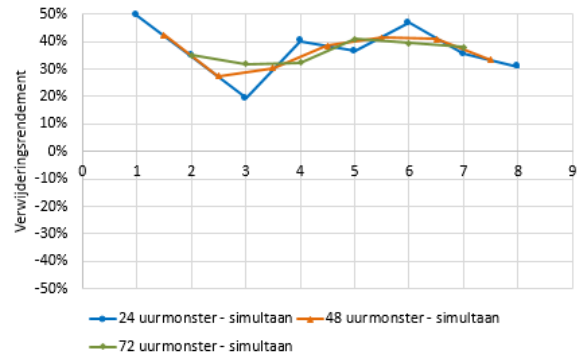


Lelystad

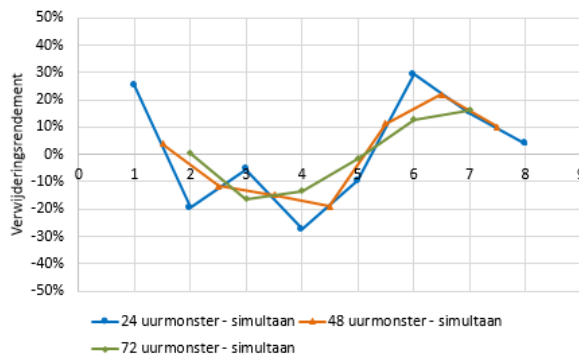
Lelystad 2022 (alleen DWA) - benzotriazool



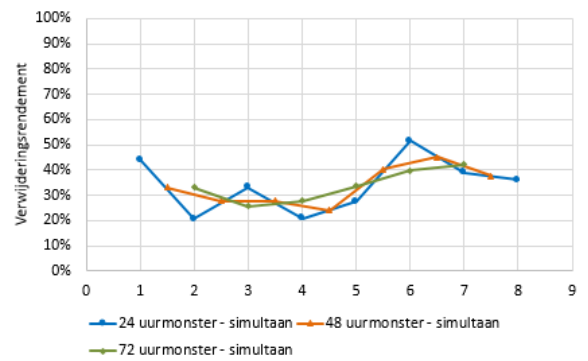
Lelystad 2022 (alleen DWA) - som 4, 5-methylbenzotriazool



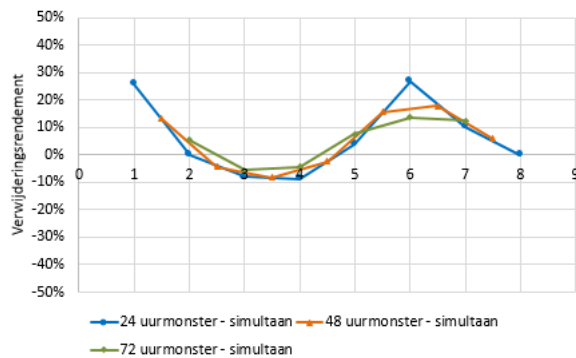
Lelystad 2022 (alleen DWA) - carbamazepine



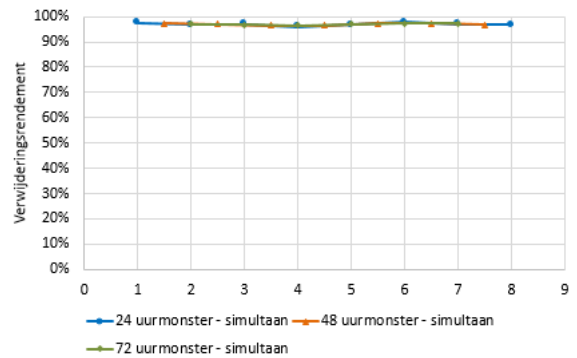
Lelystad 2022 (alleen DWA) - diclofenac



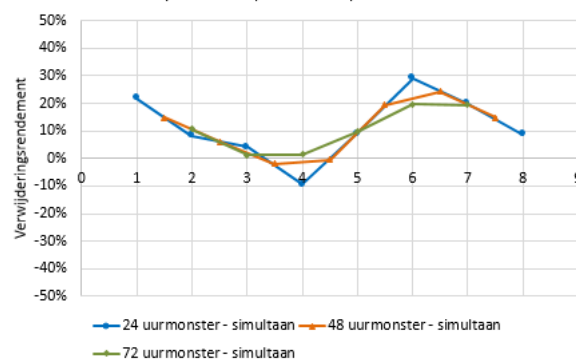
Lelystad 2022 (alleen DWA) - hydrochloorthiazide



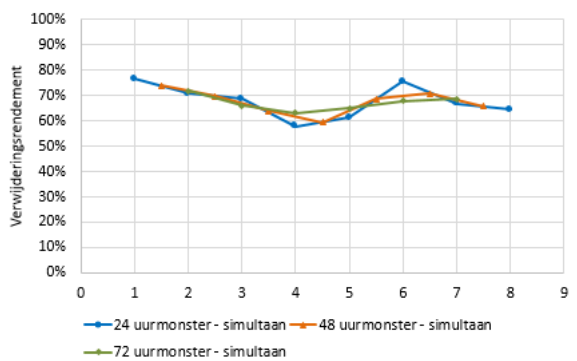
Lelystad 2022 (alleen DWA) - gabapentine

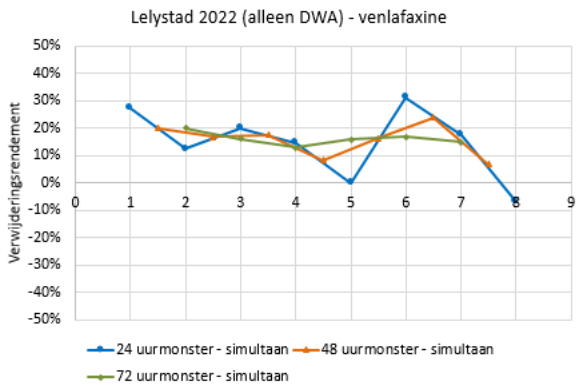
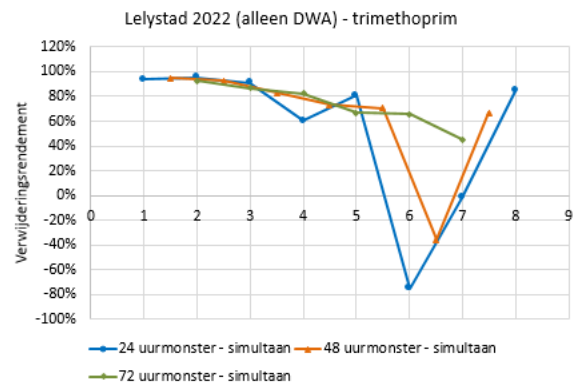
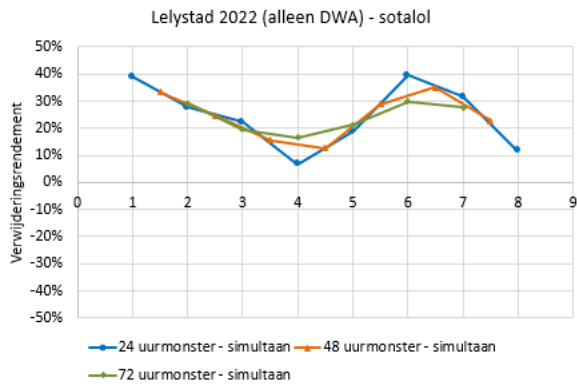


Lelystad 2022 (alleen DWA) - irbesartan

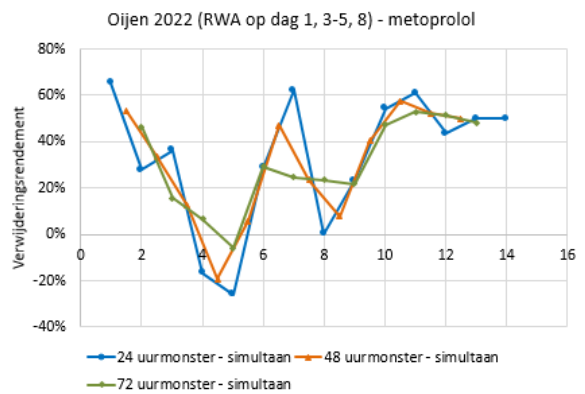
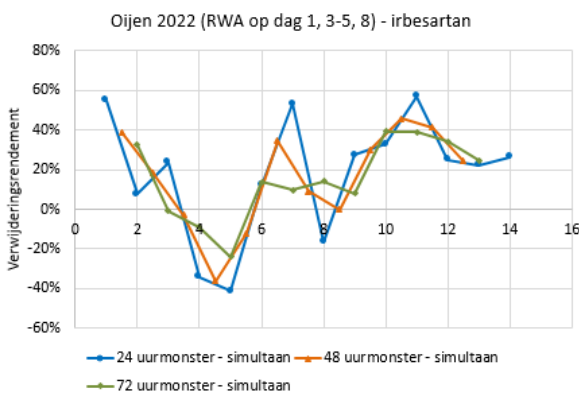
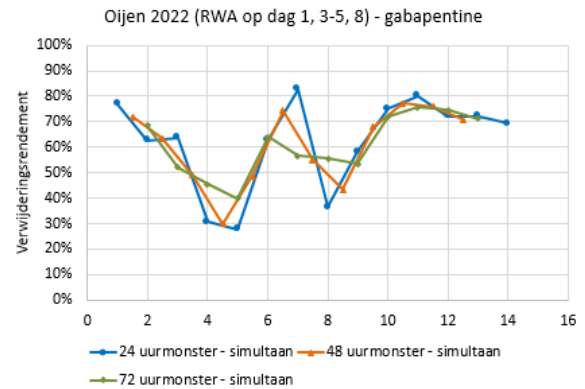
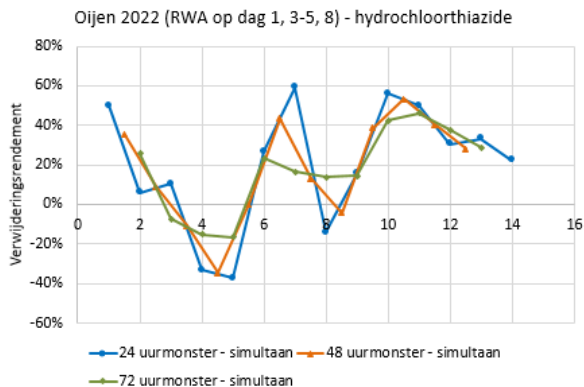
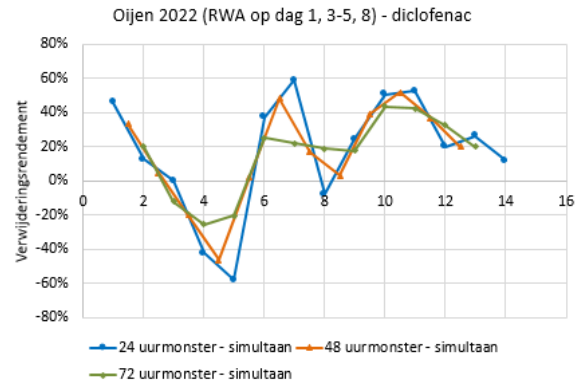
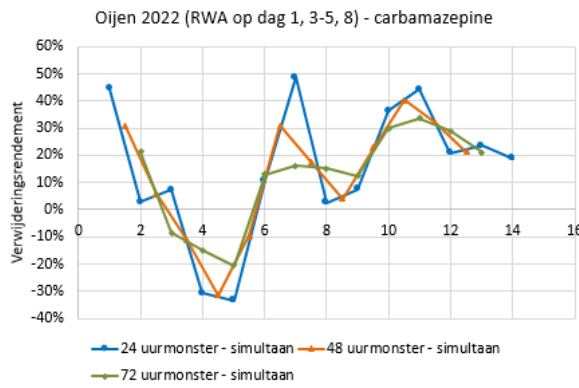
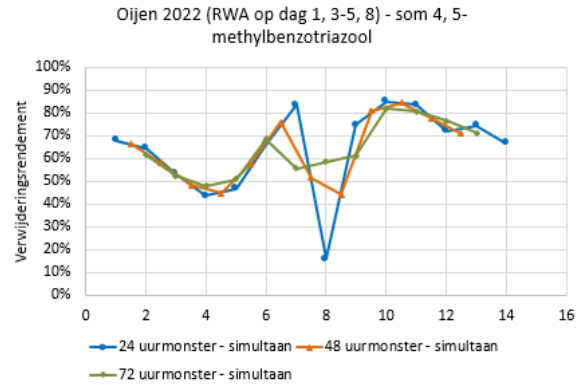
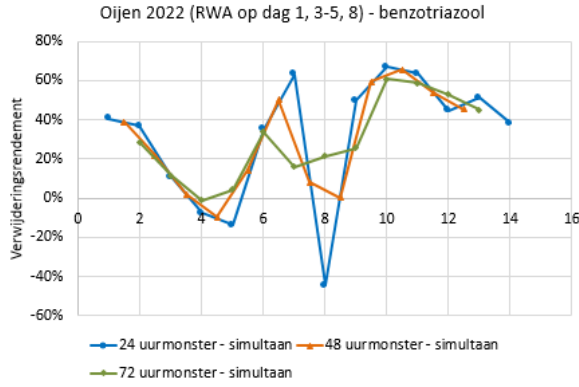


Lelystad 2022 (alleen DWA) - metoprolol

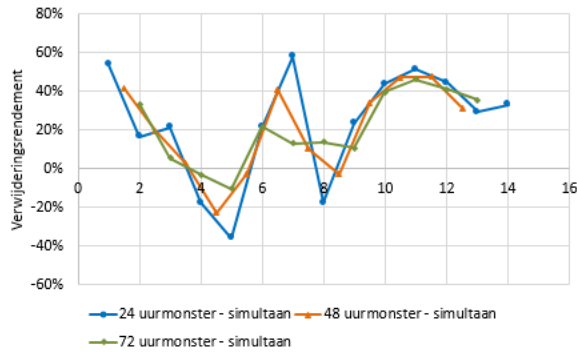




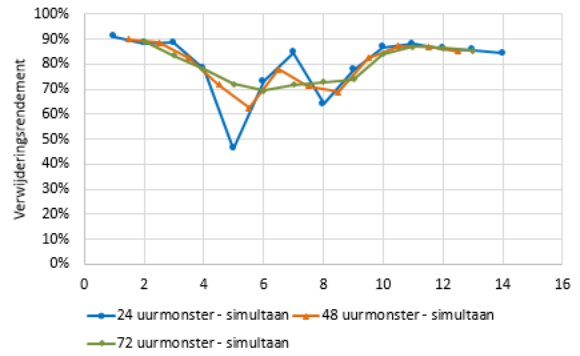
Oijen



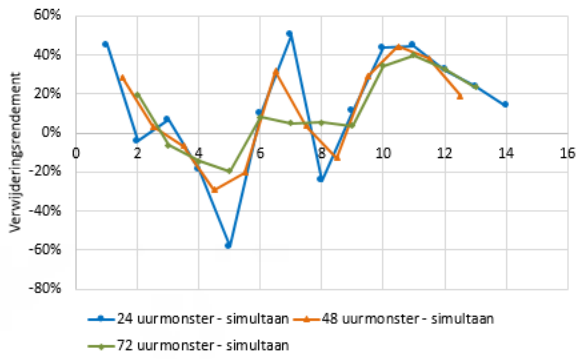
Oijen 2022 (RWA op dag 1, 3-5, 8) - sotalol



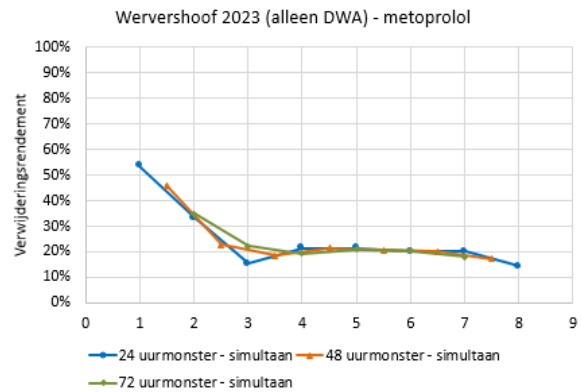
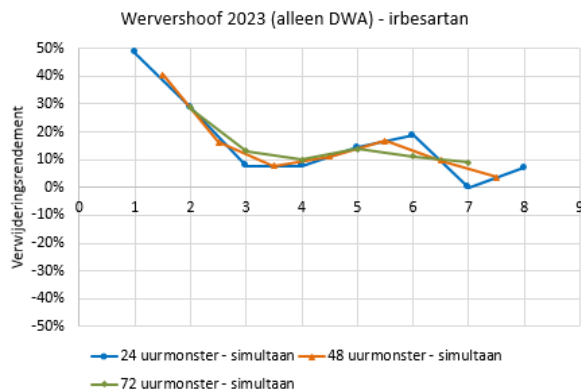
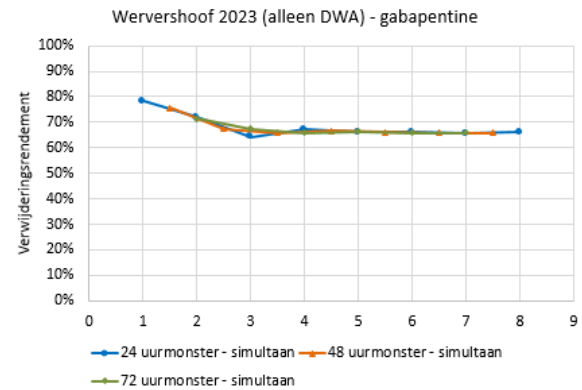
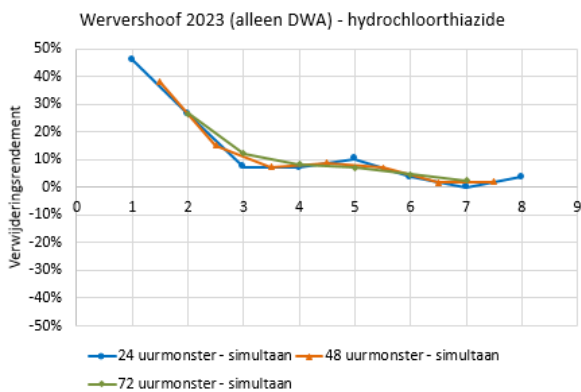
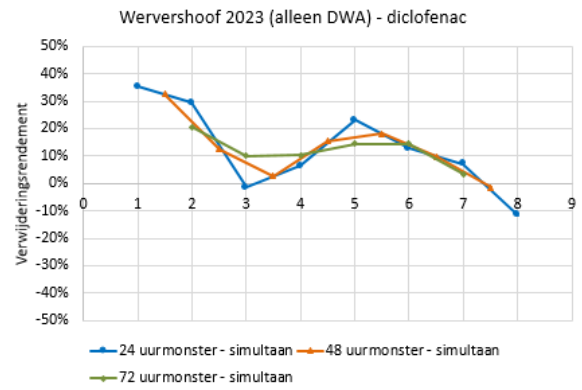
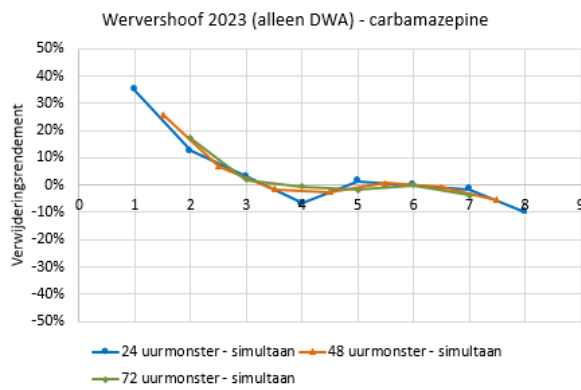
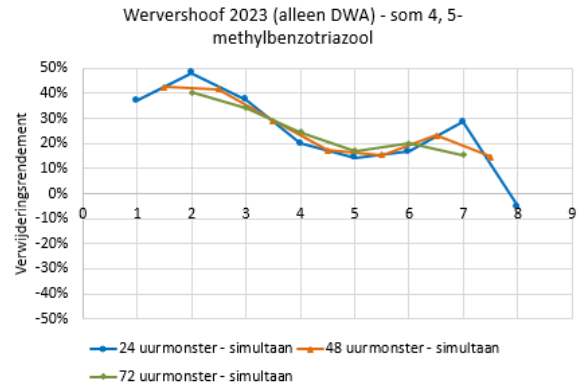
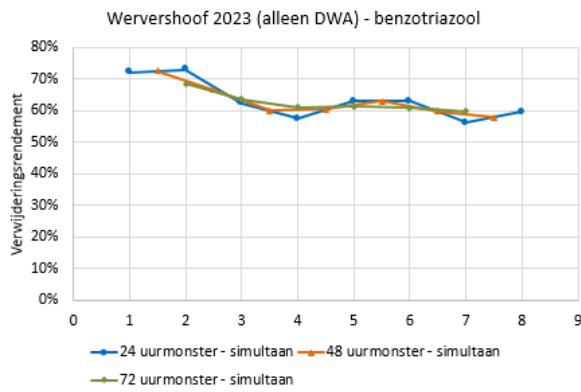
Oijen 2022 (RWA op dag 1, 3-5, 8) - trimethoprim



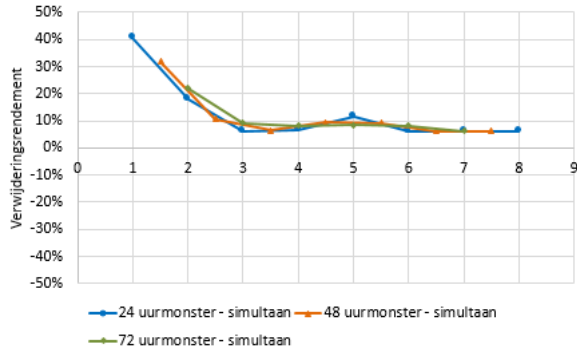
Oijen 2022 (RWA op dag 1, 3-5, 8) - venlafaxine



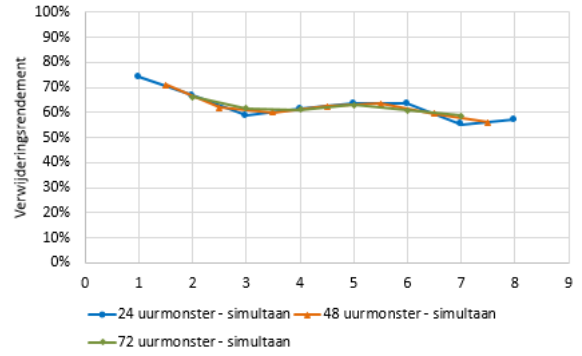
Wervershoof



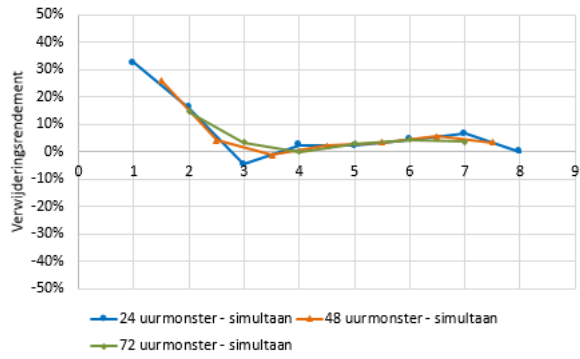
Wervershoof 2023 (alleen DWA) - sotalol



Wervershoof 2023 (alleen DWA) - trimethoprim



Wervershoof 2023 (alleen DWA) - venlafaxine

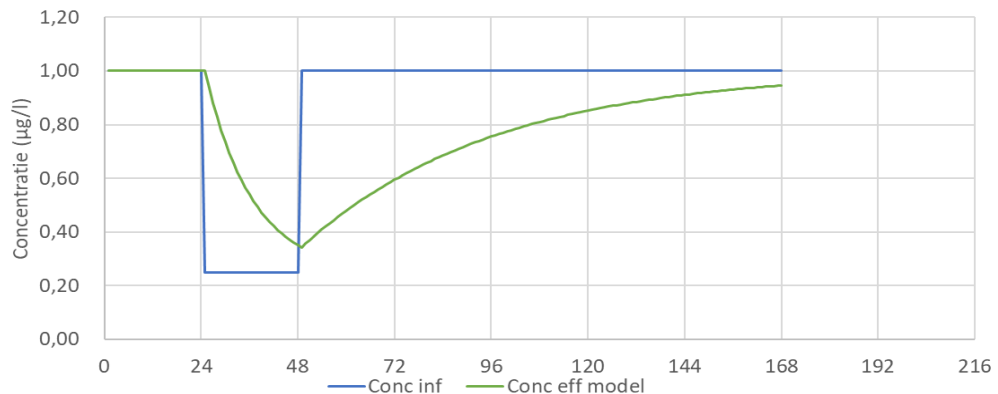


BIJLAGE 6

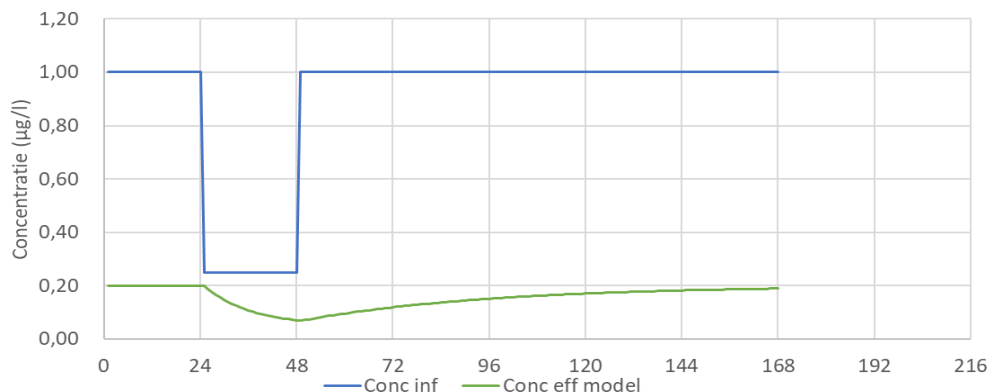
ENKELE RESULTATEN MET EEN MODELERING VAN EEN GEMENGDE TANK

In de twee onderstaande figuren is de effluentconcentratie gemodelleerd uitgaande van een gemengde tank waarbij een RWA/DWA verhouding van 4 en een verblijftijd van 2 dagen is toegepast. Zoals uit de modelering van een gemengde tank volgt, is de vertraging van de RWA-invloed op de effluentconcentratie minder van invloed in de rendementsbepaling als het rendement van de betreffende stof hoog is (in Figuur Bijlage 6.2 is dit 80%).

FIGUUR BIJL. 6.1 MODELERING VAN DE EFFLUENTCONCENTRATIE VAN EEN STOF IN EEN IDEAAL GEMENGDE TANK (FICTIEVE SITUATIE). DE HYDRAULISCHE VERBLIJFTIJD IS 2 DAGEN, HET VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE STOF 0%. TUSSEN DE 24-48 UUR IS EEN RWA-SITUATIE GESIMULEERD MET EEN RWA/DWA VERHOUDING VAN 4



FIGUUR BIJL. 6.2 MODELERING VAN DE EFFLUENTCONCENTRATIE VAN EEN STOF IN EEN IDEAAL GEMENGDE TANK (FICTIEVE SITUATIE). DE HYDRAULISCHE VERBLIJFTIJD IS 2 DAGEN, HET VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE STOF 80%. TUSSEN DE 24-48 UUR IS EEN RWA-SITUATIE GESIMULEERD MET EEN RWA/DWA VERHOUDING VAN 4



Deze modelleringen zijn uitgevoerd met dank aan John Koop die het model in Excel heeft opgesteld.

CORRELATIECOËFFICIËNTEN GIDSSTOFFEN EN MACROPARAMETERS

Hapert 2020 - influent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazol	som 4 en 5 m	carbamazepine	diclofenac	gabapentine	hydrochlorothiazide	ibesartan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen
		m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Debiet	m ³ /d	1.0	-0.6	-0.7	-0.9	-0.5	-0.8	-0.8	0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.6	-0.8	0.2	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	0.1	-0.8	-0.9
BZV	mg/l	-0.6	1.0	0.9	0.5	0.8	0.9	0.7	-0.4	0.7	0.8	0.4	0.1	0.4	-0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	-0.4	0.5	0.4
CZV	mg/l	-0.7	0.9	1.0	0.5	0.6	0.9	0.6	-0.6	0.6	0.8	0.5	0.2	0.4	-0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	-0.4	0.5	0.5
DOC	mg/l	-0.9	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7	0.9	-0.8	0.9	0.9	1.0	0.6	0.9	-0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.4	1.0	1.0
TOC	mg/l	-0.5	0.8	0.6	0.5	1.0	0.8	0.8	-0.1	0.8	0.7	0.3	0.0	0.5	-0.3	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	-0.3	0.5	0.4
ZS	mg/l	-0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	1.0	0.8	-0.5	0.8	0.9	0.6	0.2	0.5	-0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	-0.4	0.6	0.6
Nkj	mg/l	-0.8	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	1.0	-0.6	1.0	1.0	0.8	0.4	0.9	-0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.5	0.8	0.9
NO3+NO2	mg/l	0.8	-0.4	-0.6	-0.8	-0.1	-0.5	-0.6	1.0	-0.6	-0.7	-0.9	-0.9	-0.7	0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	0.3	-0.7	-0.8
Ntot	mg/l	-0.8	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	1.0	-0.6	1.0	1.0	0.8	0.4	0.9	-0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.5	0.8	0.8
Ptot	mg/l	-0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.9	1.0	-0.7	1.0	1.0	0.8	0.4	0.9	-0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.5	0.9	0.9
benzotriazol	ug/l	-0.9	0.4	0.5	1.0	0.3	0.6	0.8	-0.9	0.8	0.8	1.0	0.8	0.9	-0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.4	0.9	1.0
som 4 en 5 methyl	ug/l	-0.6	0.1	0.2	0.6	0.0	0.2	0.4	-0.9	0.4	0.4	0.8	1.0	0.6	-0.3	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	-0.1	0.5	0.7
carbamazepine	ug/l	-0.8	0.4	0.4	0.9	0.5	0.5	0.9	-0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	1.0	-0.5	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.4	0.9	0.9
diclofenac	ug/l	0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.5	1.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	0.9	-0.5	-0.5
gabapentine	ug/l	-0.9	0.4	0.4	1.0	0.6	0.6	0.9	-0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	1.0	-0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.4	0.9	1.0
hydrochlorothiazide	ug/l	-0.8	0.5	0.5	1.0	0.5	0.6	0.9	-0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	-0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.5	1.0	1.0
ibesartan	ug/l	-0.9	0.5	0.5	1.0	0.6	0.7	0.9	-0.7	0.9	0.9	0.9	0.5	0.9	-0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.5	1.0	1.0
metoprolol	ug/l	-0.9	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7	0.9	-0.8	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	-0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.5	1.0	1.0
sotalol	ug/l	-0.8	0.4	0.4	1.0	0.5	0.6	0.9	-0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	-0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.4	1.0	1.0
trimethoprim	ug/l	0.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.1	-0.4	0.9	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	1.0	-0.5	-0.4
venlafaxine	ug/l	-0.8	0.5	0.5	1.0	0.5	0.6	0.8	-0.7	0.8	0.9	0.9	0.5	0.9	-0.5	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.5	1.0	1.0
gemid gidsstoffen	ug/l	-0.9	0.4	0.5	1.0	0.4	0.6	0.9	-0.8	0.8	0.9	1.0	0.7	0.9	-0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.4	1.0	1.0

Hapert 2020 effluent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazol	som 4 en 5 m	carbamazep	diclofenac	gabapentine	hydrochloro	ibesartan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen
		m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Debiet	m ³ /d	1.0	1.0	0.2	-0.4	-0.3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.9	-0.6	-0.9	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.7
BZV	mg/l	1.0	1.0	0.1	-0.5	-0.5	0.9	0.6	0.7	0.7	0.9	-0.6	-0.9	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.4	-0.8
CZV	mg/l	0.2	0.1	1.0	0.6	0.5	0.2	0.7	0.4	0.5	0.1	-0.4	0.0	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	-0.3	0.4	0.4
DOC	mg/l	-0.4	-0.5	0.6	1.0	0.9	-0.5	0.2	0.0	0.1	-0.5	0.1	0.5	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	-0.1	1.0	0.9
TOC	mg/l	-0.3	-0.5	0.5	0.9	1.0	-0.6	0.1	-0.1	0.0	-0.4	0.2	0.4	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.3	0.9	0.8
ZS	mg/l	0.8	0.9	0.2	-0.5	-0.6	1.0	0.6	0.8	0.7	0.8	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.2	-0.6
Nkj	mg/l	0.7	0.6	0.7	0.2	0.1	0.6	1.0	0.7	0.9	0.7	-0.8	-0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	-0.5	0.2	0.0
NO3+NO2	mg/l	0.7	0.7	0.4	0.0	-0.1	0.8	0.7	1.0	1.0	1.0	0.6	-0.4	-0.4	-0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.5	-0.1
Ntot	mg/l	0.7	0.7	0.5	0.1	0.0	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.6	0.0
Ptot	mg/l	0.9	0.9	0.1	-0.5	-0.4	0.8	0.7	0.6	0.7	1.0	-0.7	-0.8	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.6	-0.3	-0.5	-0.7
benzotriazol	ug/l	-0.6	-0.6	-0.4	0.1	0.2	-0.6	-0.8	-0.4	-0.6	-0.7	1.0	0.5	0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
som 4 en 5 m	ug/l	-0.9	-0.9	0.0	0.5	0.4	-0.7	-0.4	-0.4	-0.4	-0.8	0.5	1.0	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.6	0.8
carbamazep	ug/l	-0.4	-0.6	0.5	0.9	0.9	-0.6	0.2	-0.1	0.0	-0.4	0.1	0.5	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	-0.3	1.0	0.9
diclofenac	ug/l	-0.3	-0.4	0.7	1.0	0.9	-0.4	0.4	0.1	0.2	-0.3	-0.1	0.4	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	-0.2	0.9	0.9
gabapentine	ug/l	-0.3	-0.4	0.6	0.9	0.8	-0.4	0.4	-0.1	0.2	-0.3	-0.2	0.4	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.1	0.9	0.8
hydrochloro	ug/l	-0.5	-0.6	0.5	1.0	0.9	-0.5	0.2	-0.1	0.1	-0.5	0.1	0.6	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.1	1.0	0.9
ibesartan	ug/l	-0.5	-0.6	0.5	1.0	0.9	-0.6	0.2	-0.1	0.0	-0.6	0.1	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.1	1.0	1.0
metoprolol	ug/l	-0.4	-0.6	0.4	0.9	0.9	-0.6	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.2	0.6	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.2	1.0	1.0
sotalol	ug/l	-0.5	-0.7	0.4	0.9	0.9	-0.7	0.1	-0.2	-0.1	-0.6	0.2	0.6	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.1	1.0	1.0
trimethoprim	ug/l	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.5	-0.5	-0.6	-0.3	0.2	0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	1.0	-0.1
venlafaxine	ug/l	-0.5	-0.6	0.4	1.0	0.9	-0.6	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.1	0.6	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.1	1.0	1.0
gemid gidsstoffen	ug/l	-0.7	-0.8	0.4	0.9	0.8	-0.7	0.0	-0.2	-0.1	-0.7	0.3	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0

Hoensbroek 2020 influent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazoc som 4 en 5 m	carbamazep	diclofenac	gabapentine	hydrochloro	ibesantan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen	
	m3/d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	
Debiet	m3/d	1.0	-0.2	0.5	-0.8	0.2	0.7	-0.2	0.4	-0.2	-0.2	-0.7	-0.7	-0.5	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-0.7	-0.8
BZV	mg/l	-0.2	1.0	0.7	0.1	0.5	0.6	0.6	-0.7	0.5	0.9	-0.2	0.0	0.9	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.2
CZV	mg/l	0.5	0.7	1.0	-0.2	0.7	0.9	0.6	-0.5	0.6	0.7	-0.5	-0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.2	-0.1
DOC	mg/l	-0.8	0.1	-0.2	1.0	0.1	-0.5	0.2	-0.6	0.2	0.3	0.8	0.9	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8
TOC	mg/l	0.2	0.5	0.7	0.1	1.0	0.6	0.7	-0.6	0.7	0.8	-0.2	-0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2
ZS	mg/l	0.7	0.6	0.9	-0.5	0.6	1.0	0.3	-0.2	0.3	0.5	-0.7	-0.7	0.2	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.6	-0.2	-0.5
Nkj	mg/l	-0.2	0.6	0.6	0.2	0.7	0.3	1.0	-0.8	1.0	0.8	0.2	-0.1	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6
NO3+NO2	mg/l	0.4	-0.7	-0.5	-0.6	-0.6	-0.2	-0.8	1.0	-0.7	-0.9	-0.4	-0.3	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.6	-0.9	-0.7
Ntot	mg/l	-0.2	0.5	0.6	0.2	0.7	0.3	1.0	-0.7	1.0	0.8	0.2	-0.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6
Ptot	mg/l	-0.2	0.9	0.7	0.3	0.8	0.5	0.8	-0.9	0.8	1.0	0.0	-0.1	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.7	0.4
benzotriazool	ug/l	-0.7	-0.2	-0.5	0.8	-0.2	-0.7	0.2	-0.4	0.2	0.0	1.0	0.8	0.2	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.9
som 4 en 5 met	ug/l	-0.7	0.0	-0.5	0.9	-0.2	-0.7	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	0.8	1.0	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
carbamazepin	ug/l	-0.5	0.9	0.4	0.5	0.4	0.2	0.7	-0.9	0.7	0.8	0.2	0.3	1.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.9	0.6
diclofenac	ug/l	-0.8	0.6	0.1	0.7	0.4	-0.2	0.7	-0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8
gabapentine	ug/l	-0.9	0.4	0.0	0.8	0.3	-0.4	0.7	-0.8	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
hydrochloro	ug/l	-0.9	0.5	0.0	0.8	0.3	-0.3	0.6	-0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9
ibesantan	ug/l	-0.9	0.5	0.0	0.8	0.3	-0.3	0.6	-0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9
metoprolol	ug/l	-0.8	0.5	0.0	0.8	0.3	-0.3	0.5	-0.9	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8
sotalol	ug/l	-0.9	0.5	0.0	0.8	0.3	-0.3	0.6	-0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8
trimethoprim	ug/l	-0.9	0.2	-0.3	0.7	0.1	-0.6	0.5	-0.6	0.5	0.3	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9
venlafaxine	ug/l	-0.7	0.5	0.2	0.8	0.4	-0.2	0.7	-0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9
gemid gidsstoff	ug/l	-0.8	0.2	-0.1	0.8	0.2	-0.5	0.6	-0.7	0.6	0.4	0.9	0.6	0.6	0.8	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0

Hoensbroek 2020 effluent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazoc som 4 en 5 m	carbamazepi	diclofenac	gabapentine	hydrochloro	ibesantan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen	
	m3/d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	
Debiet	m3/d	1.0	0.9	0.5	-0.2	0.5	0.8	0.6	0.4	0.6	0.6	-0.5	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.2	0.3	-0.1
BZV	mg/l	0.9	1.0	0.8	-0.5	0.6	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	-0.7	0.0	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	0.3	0.0	0.5	0.1
CZV	mg/l	0.5	0.8	1.0	0.4	0.3	0.7	0.8	0.5	0.8	0.9	-0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.3	0.6	0.5	0.4	0.0	0.8	0.3
DOC	mg/l	-0.2	-0.5	0.4	1.0	0.4	-0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
TOC	mg/l	0.5	0.6	0.9	0.4	1.0	0.7	0.7	0.1	0.7	0.8	-0.4	0.8	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.1	0.8	0.4
ZS	mg/l	0.8	0.9	0.7	-0.3	0.7	1.0	0.8	0.2	0.8	0.9	-0.5	0.4	0.3	0.2	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	-0.2	0.6	0.1
Nkj	mg/l	0.6	0.8	0.8	0.3	0.7	0.8	1.0	0.5	1.0	0.9	-0.2	0.6	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.4	0.9	0.6
NO3+NO2	mg/l	0.4	1.0	0.5	0.1	0.1	0.2	0.5	1.0	0.6	0.4	-0.5	-0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	-0.1	0.3	-0.1
Ntot	mg/l	0.6	0.8	0.8	0.3	0.7	0.8	1.0	0.6	1.0	0.9	-0.2	0.6	0.7	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7	0.7	0.4	0.9	0.5
Ptot	mg/l	0.6	0.8	0.9	0.1	0.8	0.9	0.9	0.4	0.9	1.0	-0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.7	0.5	0.5	0.0	0.8	0.3
benzotriazool	ug/l	-0.5	-0.7	-0.5	0.2	-0.4	-0.5	-0.2	-0.5	-0.2	-0.5	1.0	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.4	0.7	-0.1	0.6
som 4 en 5 meth	ug/l	0.1	0.0	0.6	0.6	0.8	0.4	0.6	-0.2	0.6	0.6	0.2	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.4	0.9	0.7
carbamazepine	ug/l	0.0	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.8	0.3	0.7	0.5	0.3	0.7	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9
diclofenac	ug/l	0.1	0.4	0.6	0.6	0.7	0.2	0.8	0.3	0.8	0.6	0.2	0.7	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9
gabapentine	ug/l	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.4	0.8	0.1	0.8	0.5	0.3	0.7	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9
hydrochloro	ug/l	0.0	0.2	0.3	0.6	0.5	0.1	0.7	0.1	0.6	0.4	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0
ibesantan	ug/l	0.1	0.4	0.6	0.6	0.7	0.4	0.8	0.3	0.8	0.7	0.2	0.8	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9
metoprolol	ug/l	0.0	0.3	0.5	0.6	0.6	0.2	0.7	0.2	0.7	0.5	0.4	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9
sotalol	ug/l	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.2	0.7	0.2	0.7	0.5	0.4	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9
trimethoprim	ug/l	-0.2	0.0	0.0	0.5	0.1	-0.2	0.4	-0.1	0.4	0.0	0.7	0.4	0.8	0.8	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	1.0	0.4	0.9
venlafaxine	ug/l	0.3	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	0.9	0.3	0.9	0.8	-0.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.4	1.0	0.7
gemid gidsstoffe	ug/l	-0.1	0.1	0.3	0.6	0.4	0.1	0.6	-0.1	0.5	0.3	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	1.0

Oijen 2022 influent		Debiet	GELDHD	pH	CZV	DOC	TOC	OB	Cl	NH4	Ntot	PO4	P	benzotriazool	som 4 en 5 methyl	carbamazepine	diclofenac	gabapentine	hydrochloorthiazide	ibesatan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemiddelde stoffen
	<i>m3/d</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	
Debiet	<i>m3/d</i>	1,0	-0,76	-0,7	-0,6	-0,77	-0,7	-0,5	-0,3	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,6	-0,8
GELDHD	<i>mg/l</i>	-0,8	1,0	0,6	0,9	1,0	0,9	0,5	0,4	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9
pH	<i>mg/l</i>	-0,7	0,6	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	-0,1	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,7	0,8
CZV	<i>mg/l</i>	-0,6	0,9	0,7	1,0	0,9	1,0	0,7	0,3	0,9	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,9	0,9
DOC	<i>mg/l</i>	-0,8	1,0	0,6	0,9	1,0	0,9	0,5	0,3	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,8	0,9
TOC	<i>mg/l</i>	-0,7	0,9	0,7	1,0	0,9	1,0	0,7	0,3	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,5	0,9	0,9
OB	<i>mg/l</i>	-0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	1,0	0,2	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,4	0,7	0,6
Cl	<i>mg/l</i>	-0,3	0,4	-0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	1,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3
NH4	<i>mg/l</i>	-0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,6	0,2	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0	0,9	1,0	0,6	0,9	0,9
Ntot	<i>mg/l</i>	-0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	0,7	0,1	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,5	0,9	0,9
PO4	<i>mg/l</i>	-0,6	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	0,1	0,8	0,8	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,4	0,9
P	<i>mg/l</i>	-0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0	0,7	0,2	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,5	0,9
benzotriazool	<i>ug/l</i>	-0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6	0,3	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,6	0,9
som 4 en 5 methyl	<i>ug/l</i>	-0,8	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,6	0,3	0,9	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,6	0,9
carbamazepine	<i>ug/l</i>	-0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9
diclofenac	<i>ug/l</i>	-0,6	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,7	0,4	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9
gabapentine	<i>ug/l</i>	-0,7	0,9	0,8	1,0	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,6	0,9	1,0
hydrochloorthiazide	<i>ug/l</i>	-0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6	0,4	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9
ibesatan	<i>ug/l</i>	-0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,3	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9
metoprolol	<i>ug/l</i>	-0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9
sotalol	<i>ug/l</i>	-0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9
trimethoprim	<i>ug/l</i>	-0,3	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7	0,6
venlafaxine	<i>ug/l</i>	-0,6	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,7	0,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9
gemiddelde gik	<i>ug/l</i>	-0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,6	0,3	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,6	0,9	1,0

Oijen 2022 effluent		Debiet	GELDHD	pH	CZV	DOC	TOC	OB	Cl	NH4	Ntot	PO4	P	benzotriazool	som 4 en 5 methyl	carbamazepine	diclofenac	gabapentine	hydrochloorthiazide	ibesatan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemiddelde stoffen
	<i>m3/d</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	<i>ug/l</i>	
Debiet	<i>m3/d</i>	1,0	0,1	-0,7	0,6	0,0	0,3	#DIV/0!	-0,2	0,9	0,8	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	0,1	0,0
GELDHD	<i>mg/l</i>	0,1	1,0	0,5	0,7	0,9	0,9	#DIV/0!	0,7	0,2	0,3	0,1	-0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,4	-0,3	0,5
pH	<i>mg/l</i>	-0,7	0,5	1,0	0,1	0,7	0,4	#DIV/0!	0,6	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,2	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	-0,5	0,5
CZV	<i>mg/l</i>	0,6	0,7	0,1	1,0	0,7	0,8	#DIV/0!	0,3	0,7	0,8	0,6	0,2	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,2	0,5
DOC	<i>mg/l</i>	0,0	0,9	0,7	0,7	1,0	0,9	#DIV/0!	0,7	0,1	0,3	0,1	-0,2	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	-0,4	0,7	0,0
TOC	<i>mg/l</i>	0,3	0,9	0,4	0,8	0,9	1,0	#DIV/0!	0,7	0,3	0,4	0,4	-0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	-0,3	0,5	0,0
OB	<i>mg/l</i>	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Cl	<i>mg/l</i>	-0,2	0,7	0,6	0,3	0,7	0,7	#DIV/0!	1,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1	-0,4	0,3	0,0
NH4	<i>mg/l</i>	0,9	0,2	-0,4	0,7	0,1	0,3	#DIV/0!	-0,2	1,0	1,0	0,8	0,4	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0
Ntot	<i>ug/l</i>	0,8	0,3	-0,3	0,8	0,3	0,4	#DIV/0!	-0,1	1,0	1,0	0,7	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	0,0
PO4	<i>ug/l</i>	0,8	0,1	-0,5	0,6	0,1	0,4	#DIV/0!	-0,1	0,8	0,7	1,0	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1
P	<i>ug/l</i>	0,3	-0,3	-0,3	0,2	-0,2	-0,2	#DIV/0!	-0,5	0,4	0,3	0,3	1,0	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,3
benzotriazool	<i>ug/l</i>	0,0	0,6	0,6	0,4	0,8	0,6	#DIV/0!	0,5	0,0	0,2	0,1	-0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,0	0,9	1,0
som 4 en 5 methyl	<i>ug/l</i>	0,0	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7	#DIV/0!	0,5	0,1	0,3	0,1	-0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,0	1,0	1,0
carbamazepine	<i>ug/l</i>	0,0	0,5	0,6	0,4	0,7	0,5	#DIV/0!	0,3	0,1	0,3	0,0	-0,2	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	0,9	0,9	0,1	1,0	1,0
diclofenac	<i>ug/l</i>	0,1	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	#DIV/0!	0,3	0,3	0,5	0,1	-0,2	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	0,0	1,0	0,0
gabapentine	<i>ug/l</i>	0,4	0,2	0,2	0,5	0,48	0,4	#DIV/0!	0,0	0,5	0,6	0,5	0,0	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	0,4	0,8	0,0
hydrochloorthiazide	<i>ug/l</i>	0,1	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	#DIV/0!	0,3	0,2	0,5	0,1	-0,2	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,1	1,0	1,0
ibesatan	<i>ug/l</i>	0,1	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	#DIV/0!	0,2	0,3	0,5	0,1	-0,2	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	0,0
metoprolol	<i>ug/l</i>	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	#DIV/0!	0,1	0,4	0,6	0,2	-0,1	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,3	0,9
sotalol	<i>ug/l</i>	0,1	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	#DIV/0!	0,1	0,2	0,5	0,2	-0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,2	0,9	0,0
trimethoprim	<i>ug/l</i>	0,5	-0,3	-0,5	-0,2	-0,4	-0,3	#DIV/0!	-0,4	0,3	0,3	0,3</													

Winterswijk 2020 influent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazol	som 4 en 5 me	carbamazepine	diclofenac	furosemide	gabapentine	hydrochlorothiazide	irbesartan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen	
		m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	
Debiet	m ³ /d	1,0	-0,7	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	0,8	-0,8	-0,7	-0,8	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	
BZV	mg/l	-0,7	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	-0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	
CZV	mg/l	-0,6	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9	
DOC	mg/l	-0,7	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	-0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	
TOC	mg/l	-0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0	-0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	
ZS	mg/l	-0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	-0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	
Nkj	mg/l	-0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	-0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	
NO3+NO2	mg/l	0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	1,0	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8
Ntot	mg/l	-0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	-0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	
Ptot	mg/l	-0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	-0,7	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	
benzotriazol	ug/l	-0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	-0,7	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	
som 4 en 5 methyl	ug/l	-0,5	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,7	0,8	0,7	0,9	1,0	0,6	0,7	0,5	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9	
carbamazepine	ug/l	-0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	
diclofenac	ug/l	-0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,9	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
gabapentine	ug/l	-0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	-0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	
hydrochlorothiazid	ug/l	-0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0	-0,7	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	
irbesartan	ug/l	-0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0	-0,9	1,0	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	
metoprolol	ug/l	-0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	-0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	
sotalol	ug/l	-0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	-0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	
trimethoprim	ug/l	-0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	-0,9	0,8	0,7	0,8	0,5	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	
venlafaxine	ug/l	-0,7	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	-0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	
gemid gidsstoffen	ug/l	-0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	-0,8	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0	

Winterswijk 2020 effluent		Debiet	BZV	CZV	DOC	TOC	ZS	Nkj	NO3+NO2	Ntot	Ptot	benzotriazol	som 4 en 5 me	carbamazepine	diclofenac	furosemide	gabapentine	hydrochlorothiazide	irbesartan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	venlafaxine	gemid gidsstoffen
		m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Debiet	m ³ /d	1,0	0,8	0,5	0,4	0,4	0,9	0,9	-0,9	0,9	1,0	0,6	0,2	0,2	0,0	0,1	0,3	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
BZV	mg/l	0,8	1,0	0,1	-0,1	-0,1	0,8	0,8	-0,9	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,3	-0,3	0,8	-0,4	-0,3
CZV	mg/l	0,5	0,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,6	-0,2	0,6	0,7	0,4	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	-0,5	0,8
DOC	mg/l	0,4	-0,1	0,9	1,0	1,0	0,5	0,4	0,0	0,4	0,6	0,5	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	-0,6	0,9
TOC	mg/l	0,4	-0,1	0,9	1,0	1,0	0,6	0,3	-0,1	0,3	0,6	0,5	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	-0,5	0,9
ZS	mg/l	0,9	0,8	0,9	0,5	0,6	1,0	0,9	-0,8	0,9	0,9	0,3	-0,1	-0,2	-0,7	-0,3	0,1	-0,7	-0,8	0,1	-0,3	1,0	-0,8	0,0
Nkj	mg/l	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,9	1,0	-0,8	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2
NO3+NO2	mg/l	-0,9	-0,9	-0,2	0,0	-0,1	-0,8	-0,8	1,0	-0,7	-0,7	-0,7	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	-0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	-0,8	0,3
Ntot	mg/l	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,9	1,0	-0,7	1,0	0,8	0,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Ptot	mg/l	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	0,8	-0,7	0,8	1,0	0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,5
benzotriazol	ug/l	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,6	-0,7	0,6	0,6	1,0	0,5	0,2	-0,2	0,1	0,1	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4
som 4 en 5 methyl	ug/l	0,2	-0,2	0,9	1,0	0,9	-0,1	0,3	0,1	0,3	0,4	0,5	1,0	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	-0,7	0,9
carbamazepine	ug/l	0,2	-0,3	0,9	1,0	0,9	-0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	-0,8	1,0
diclofenac	ug/l	0,0	-0,4	0,7	0,8	0,7	-0,7	0,0	0,4	0,1	0,2	-0,2	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,8	0,9
gabapentine	ug/l	0,3	-0,1	0,9	0,9	0,8	0,1	0,3	0,1	0,4	0,5	0,1	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,7	0,9
hydrochlorothiazide	ug/l	0,0	-0,5	0,8	0,8	0,8	-0,7	0,0	0,4	0,1	0,2	0,1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	-0,9	1,0
irbesartan	ug/l	0,2	-0,3	0,9	1,0	0,9	-0,8	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,8	1,0
metoprolol	ug/l	0,2	-0,3	0,9	1,0	0,9	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	-0,8	1,0
sotalol	ug/l	0,1	-0,3	0,8	1,0	0,9	-0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	-0,8	1,0
trimethoprim	ug/l	0,5	0,8	-0,5	-0,6	-0,5	1,0	0,4	-0,8	0,3	0,2	0,3	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	1,0	-0,8	-0,7
venlafaxine	ug/l	0,1	-0,4	0,8	0,9	0,9	-0,8	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,8	1,0	0,9
gemid gidsstoffen	ug/l	0,2	-0,3	0,9	0,9	1,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,5	0,4	1,0	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	-0,7	0,9	1,0