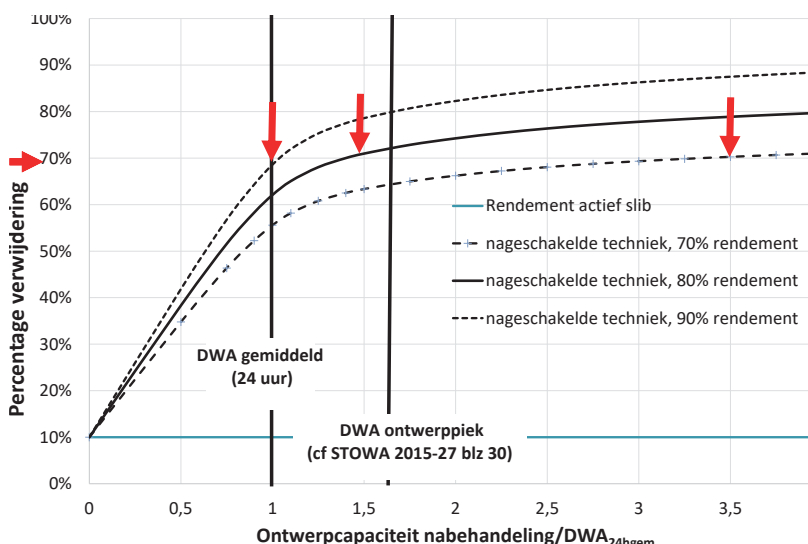


VERWIJDERING VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

HANDVATTEN VOOR DE KEUZE VAN BEHANDELINGSTECHNIEK IN
COMBINATIE MET DE BENODIGDE HYDRAULISCHE CAPACITEIT



VERWIJDERING VAN ORGANISCHE
MICROVERONTREINIGINGEN
HANDVATTEN VOOR DE KEUZE VAN
BEHANDELINGSTECHNIEK IN COMBINATIE MET
DE BENODIGDE HYDRAULISCHE CAPACITEIT

RAPPORT

2020

06

ISBN 978.90.5773.874.6



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 Mirabella Mulder (Mirabella Mulder Waste Water Management)
Ellen van Voorthuizen (Royal HaskoningDHV)
Jeroen Langeveld (Partners4UrbanWater)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Bert Palsma (STOWA)
Melanie Kuiper (Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Tony Flaming (Waterschap de Dommel/Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Gerard Rijs (Rijkswaterstaat-WVL)
Maarten Nederlof (Waterschap Aa en Maas)
Maaïke Hoekstra (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-06
ISBN 978.90.5773.874.6

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

De keuze endimensionering van de zuiveringstechniek voor de verwijdering van organische microverontreinigingen op rioolwaterzuiveringen op basis van de gemeten droogweerafvoer levert een belangrijke kostenbesparing op.

Dit rapport biedt handvatten voor de dimensionering van de verwijdering van organische microverontreinigingen op rwzi's. De dimensionering wordt gebaseerd op organische microverontreinigingen die voorkomen in de droogweerafvoer. In combinatie met de gemeten verwijdering van microverontreinigingen in het actief slib systeem is daarmee is een aanzienlijke besparing (tot 30% van benodigde hydraulische capaciteit) mogelijk.

Cruciaal daarbij is dat hiervoor goede gegevens van de desbetreffende RWZI worden gebruikt. Alleen met die specifieke gegevens kunnen de kosten en de effectiviteit van een techniekkeuze en ontwerp en dimensionering in beeld worden gebracht.

De dimensionering en de bedrijfsvoering van een RWZI is voor de verwijdering van conventionele parameters zoals N, P en BZV maar beperkt afhankelijk van de verdunning en de dynamiek in de aanvoer van die verontreinigingen. De dimensionering en de bedrijfsvoering voor aanvullende zuivering van medicijnresten op een RWZI is juist zeer gevoelig voor die samenstelling en dynamiek van het influent

Juist de aanwezigheid van medicijnresten in oppervlaktewater is een bron van toenemende zorg. Medicijnresten hebben een negatieve invloed op de ecologische toestand en maken bovendien het oppervlaktewater minder geschikt als bron voor drinkwater. Vanuit het ministerie IenW is daarom het uitvoeringsprogramma 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water' gestart. Dit programma beoogt in de gehele keten van productie, gebruik tot en met de lozing van medicijnresten via het riool en de rwzi stappen te zetten om medicijnresten uit het milieu te houden. STOWA geeft ondersteuning aan dit programma via het Innovatieprogramma 'Microverontreinigingen uit RWZI-afvalwater'.

Ik hoop met dit rapport en de bijbehorende excel "tool" de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit tegen aanvaardbare kosten een stap dichterbij te brengen.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

AANLEIDING

De aanwezigheid van medicijnresten in oppervlaktewater is een bron van toenemende zorg. Medicijnresten hebben een negatieve invloed op de ecologische toestand en maken bovendien het oppervlaktewater minder geschikt als bron voor drinkwater. Vanuit het ministerie IenW is daarom het uitvoeringsprogramma 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water' gestart. Dit programma beoogt in de gehele keten van productie, gebruik tot en met de lozing van medicijnresten via het riool en de rwzi stappen te zetten om medicijnresten uit het milieu te houden. STOWA geeft ondersteuning aan dit programma via het Innovatieprogramma 'Microverontreinigingen uit RWZI-afvalwater'.

DOEL EN AFBAKENING

Het doel van dit project is het bieden van handvatten voor de dimensionering van de verwijdering van organische microverontreinigingen op rwzi's. De dimensionering wordt gebaseerd op organische microverontreinigingen die voorkomen in de droogweerafvoer. De bijvangst van microverontreinigingen die voorkomen in afstromend hemelwater wordt gezien als een bonus en niet als ontwerpcriterium. In dit project is met zogenaamde bewezen technologieën gewerkt, waarvan kengetallen voor dimensionering en kosten bekend zijn uit eerdere STOWA-onderzoeken, te weten PACAS en effluentnabehandeling door inzet van ozon en poederkool (beide in combinatie met zandfiltratie) en granulair kool.

BESPARING OP ONTWERP MOGELIJK

Het toepassen van de ontwerprichtlijnen uit STOWA 2015-27, *zonder* rekening te houden met de eigenschappen van de rwzi in termen van basisrendement actief slib en aanvoerregime, leidt tot een veilig ontwerp bij een basisrendement van 10% voor de gidsstoffen van IenW en een beoogd jaarrendement van 70%. Het basisrendement is het rendement dat een rwzi al behaalt zonder toepassing van aanvullende technieken. Het jaarrendement is een doorvertaalde waarde op basis van de vereiste 70% reductie voor het behandelde rwzi-afvalwater vanuit de bijdrageregeling 'zuivering medicijnresten' voor demo's vanuit IenW.

Op dit veilige ontwerp is een behoorlijke besparing (tot 30% van benodigde hydraulische capaciteit) mogelijk door *wel* rekening te houden met de eigenschappen van de rwzi.

N.B. In dit rapport worden de vereisten vanuit de bijdrageregeling gezien als ondergrens van het ontwerp zuiveringsrendement. Waterschappen moeten zelf bepalen welke ambitie zij hebben ten aanzien van de verwijdering van microverontreinigingen.

INZICHT IN DE GEWENSTE HYDRAULISCHE ONTWERPCAPACITEIT NAGESCHAKELDE TECHNIEK

De, in dit project ontwikkelde, eenvoudige EXCEL 'tool' maakt het mogelijk om locatie specifieke eigenschappen mee te nemen in het ontwerp. De benodigde hydraulische capaciteit van nageschakelde technieken kunt u met de 'tool' afleiden aan de hand van de volgende vier bepalende factoren:

- het gemeten basisrendement van het actief slib voor de gidsstoffen van IenW. Het basisrendement ligt gemiddeld op 30%, maar kan per rwzi flink lager en hoger uitpakken in een range tussen 10% en 50%;
- de aanvoerdynamiek op basis van een jaarreeks van gemeten uurdebieten van het influent. De aard en grootte van het gebied, de configuratie van de rioolstelsels en het transportsysteem en de aanwezigheid van rioolvreemd water bepalen de dynamiek in de aan-

voer van influent op dag, week en jaarschaal. Daarbij geldt dat hoe vlakker de aanvoer en hoe minder rioolvreemd water, hoe lager de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit. Om de onzekerheid in het ontwerp ten gevolge van een droog/nat jaar te beperken wordt aanbevolen om ten minste 3 jaar aan debietmetingen mee te nemen.

- het te bereiken verwijderingsrendement op jaarbasis. Een rendement van 70%, berekend op het totale influent, is haalbaar bij hydraulische capaciteiten op of juist boven de dag-gemiddelde DWA, bij hogere rendementen neemt de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit snel toe.
- het met de nageschakelde techniek te bereiken rendement op de behandelde deelstroom. Afhankelijk van de dosering zijn rendementen van 80% en 90% haalbaar.

Naast het bepalen van de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit is het met de 'tool' ook mogelijk om te verkennen of een combinatie van PACAS met nageschakelde ozon doelmatig is. Uit het onderzoek komt naar voren dat dit, afhankelijk van het basis actief slib rendement van de rwzi, kan leiden tot een besparing van 10% op de jaarlijkse kosten ten opzichte van alleen toepassing van ozon. In de toekomst kunnen ook andere technieken in de tool worden opgenomen.

AANBEVELINGEN

Bij het opstellen van de 'tool' om een beter inzicht te verkrijgen in de hydraulische ontwerpcapaciteit voor vergaande zuivering van microverontreinigingen is een aantal kennishiaten naar voren gekomen. Aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar uit te voeren. Het gaat daarbij om:

- terugbrengen van de onzekerheid in de bepaling van het basisrendement van het actief slib systeem door op meerdere rwzi's uitgebreide meetcampagnes uit te voeren en inzicht te krijgen in de invloed van verschillende bemonsterings- en analysemethoden. Dit krijgt vorm in de voorlopige werkinstructie bemonstering en chemische analyse medicijnresten in RWZI-afvalwater, opgesteld in opdracht van STOWA en Ministerie van IenW.
- onderzoeken verklarende factoren voor verschillen in het basisrendement van het actief slib systeem, zoals de invloed van de procesconfiguratie van rwzi's en de invloed van re-tourstromen vanuit (centrale) vergistings- en ontwateringsinstallaties.
- het effect van lage doseringen poederkool op het rendement van het actief slib en de invloed daarvan op het rendement van nageschakelde technieken
- de effecten van hoge doseringen ozon op ongewenste nevenproducten
- aanscherpen kostenkennissen aan de hand van praktijkervaringen, inclusief de doorwerking op de kosten van de slibeindverwerking

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

VERWIJDERING VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

HANDVATTEN VOOR DE KEUZE VAN BEHANDELINGSTECHNIEK IN COMBINATIE MET DE BENODIGDE HYDRAULISCHE CAPACITEIT

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doelstelling	1
	1.3 Afbakening project	1
	1.4 Aanpak	2
	1.5 Leeswijzer	2
2	STAPPENPLAN SYSTEEMKEUZE EN DIMENSIONERING VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN	3
	2.1 Stap 0. Bepaal ambitie verwijdering organische microverontreinigingen	3
	2.2 Stap 1. Meet actuele verwijdering organische microverontreinigingen op rwzi	4
	2.3 Stap 2. Bepaal doelstelling verwijdering + wijze van bepalen doelstelling	4
	2.4 Stap 3. Bepaal aanvoerpatroon + relevante kenmerken afvalwatersysteem	4
	2.5 Stap 4. Genereer specifieke ontwerpcurves	5
	2.6 Stap 5. Verken rek in ontwerpcurves	5
	2.7 Stap 6. Dimensioneer aanvullende behandeling	5
3	STAP 0. BEPALEN AMBITIE	6
4	STAP 1. MEET ACTUELE VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI	8
5	STAP 2. DOELSTELLING VERWIJDERING EN WIJZE VAN BEPALING DOELSTELLING	11

6	STAP 3. BEPAAL AANVOERPATROON EN RELEVANTE KENMERKEN VAN HET AFVALWATERSYSTEEM	14
	6.1 Definities	14
	6.2 Aanvoerpatroon	15
	6.2.1 Jaaraanvoer	15
	6.2.2 Ontwerpen op vracht in plaats van volume: invloed verdunning bij neerslag	17
	6.2.3 Beperkte invloed aanwezigheid persleidingen	18
7	STAP 4. GENEREREN ONTWERPCURVES	20
	7.1 Genereren ontwerpcurves	20
	7.2 Beschrijving technieken	23
	7.2.1 Invloedsfactoren rendementen	24
	7.2.2 Invloedsfactoren kosten	26
8	STAP 5. VERKEN REK IN ONTWERPCURVES	29
	8.1 Rek in aanvoerpatroon	29
	8.2 Rek in actief slib	29
9	STAP 6. DIMENSIONEER AANVULLENDE BEHANDELING	32
10	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	33
	10.1 Conclusies	33
	10.2 Aanbevelingen	34
	REFERENTIES	35
BIJLAGE I	VERWIJDERINGSRENDEMENTEN ACTIEF SLIB AARLE RIXTEL	36
BIJLAGE II	VERWIJDERINGSRENDEMENTEN NAGESCHAKELDE BEHANDELING MET OZON OF POEDERVORMIG ACTIEFKOOL	38
BIJLAGE III	TYPE EN HERKOMST ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN	41
BIJLAGE IV	RENDEMENT EN WERKING PACAS	43
BIJLAGE V	RENDEMENT ORGANISCHE MICROVERONT-REINIGINGEN VOOR OZONISATIE+ ZANDFILTRATIE, PAK+ZANDFILTRATIE EN GAK FILTRATIE	44
BIJLAGE VI	SCREENSHOTS TOOL	45

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De aanwezigheid van medicijnresten en andere organische microverontreinigingen (of opkomende stoffen) in oppervlaktewater is een bron van toenemende zorg. Medicijnresten hebben een negatieve invloed op de ecologische toestand en maken bovendien het oppervlaktewater minder geschikt als bron voor drinkwater. Vanuit het ministerie IenW is daarom het uitvoeringsprogramma 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water' gestart. Dit programma beoogt in de gehele keten van productie, gebruik tot en met de lozing van medicijnresten via het riool en de rwzi stappen te zetten om medicijnresten uit het milieu te houden. STOWA geeft ondersteuning aan dit programma via het Innovatieprogramma microverontreinigingen uit afvalwater. In tal van onderzoeksprojecten zal de komende jaren inzicht worden verkregen in de rek die aanwezig is in actief slib systemen om medicijnresten te verwijderen en in de mogelijkheden van het grote scala aan aanvullende technieken. De hydraulische dimensionering van de aanvullende technieken is als belangrijke kostenbepalende factor in deze onderzoeken nog onderbelicht, terwijl daar nog de nodige ontwerpvrijheid aanwezig is.

1.2 DOELSTELLING

Het doel van dit project is het bieden van handvatten voor de keuze van een (na)behandelings-techniek in combinatie met de benodigde hydraulische capaciteit uitgaande van een door de gebruiker te kiezen verwijderingsrendement.

1.3 AFBAKENING PROJECT

In dit project wordt alleen de verwijdering van organische microverontreinigingen meegenomen. Het gewenste/benodigde verwijderingsrendement vormt het startpunt van de dimensioneringstool, waarbij dit uiteraard idealiter volgt uit de ambities ten aanzien van de te bereiken oppervlaktewaterkwaliteit.

De dimensionering wordt gebaseerd op organische microverontreinigingen die voorkomen in de droogweerafvoer. De bijvangst van microverontreinigingen die voorkomen in afstromend hemelwater wordt gezien als een bonus en niet als ontwerpcriterium.

De bijbehorende dimensioneringstool is ingericht op het gebruik van één gemiddeld verwijderingsrendement. Dit verwijderingsrendement kan de gebruiker baseren op de maatgevende stof van de 11 gidsstoffen uit de bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten' van het ministerie IenW of op varianten hierop met een directe relatie tot de gewenste oppervlaktewaterkwaliteit.

In dit rapport worden zogenaamde bewezen technologieën uitgewerkt, waarvan kengetallen voor dimensionering en kosten bekend zijn uit eerdere STOWA-onderzoeken¹, te weten PACAS en effluentnabehandeling door inzet van ozon en poederkool (beide in combinatie met zandfiltratie) en granulaire kool. In de toekomst kan de tool worden uitgebreid met een of meerdere van de thans beschikbare (innovatieve) technologieën. De keuze voor een technologie is van

1 STOWA 2015-27, 2017-36, STOWA 2018-02

meer factoren afhankelijk dan dit rapport behandelt. In dit rapport wordt alleen ingegaan op de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit om een ambitie ten aanzien van verwijdering van de jaarvracht aan organische microverontreinigingen te bewerkstelligen, voor de beschreven bewezen technologieën inclusief een indicatie van de kosten. Andere afwegingen die hierbij wellicht ook een rol spelen, zoals mogelijke bijproducten, duurzaamheid, chemicaliënverbruik en veiligheid zijn buiten beschouwing gelaten.

1.4 AANPAK

De aanpak voor het opstellen van de ontwerprichtlijnen bestaat uit het bundelen van beschikbare kennis over dynamiek van afvalwatersystemen, invloedsfactoren op het aanvoerpatroon van influent en rendementen van verschillende, al dan niet nageschakelde, technieken voor het verwijderen van medicijnresten in actief slib. De komende jaren zullen nog vele nieuwe onderzoeksresultaten volgen. Om dat mogelijk te maken is de ontwerprichtlijn zo generiek mogelijk ingestoken, zodat nieuwe resultaten eenvoudig inpasbaar zijn.

1.5 LEESWIJZER

De verwijdering van organische microverontreinigingen is een onderwerp waarover al verschillende STOWA rapporten zijn geschreven. Dit project sluit zo veel mogelijk aan op de informatie uit de beschikbare STOWA rapporten. Om onnodige herhaling te voorkomen is in dit rapport zo veel mogelijk verwezen naar bestaande rapporten en is de focus gelegd op die aspecten die de systeemkeuze en keuze voor de hydraulische ontwerpcapaciteit bepalen. Dit rapport begint in hoofdstuk 2 met de beschrijving op hoofdlijnen van het stappenplan voor de bepaling van de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit voor de verwijdering van medicijnresten en andere organische microverontreinigingen uit afvalwater.

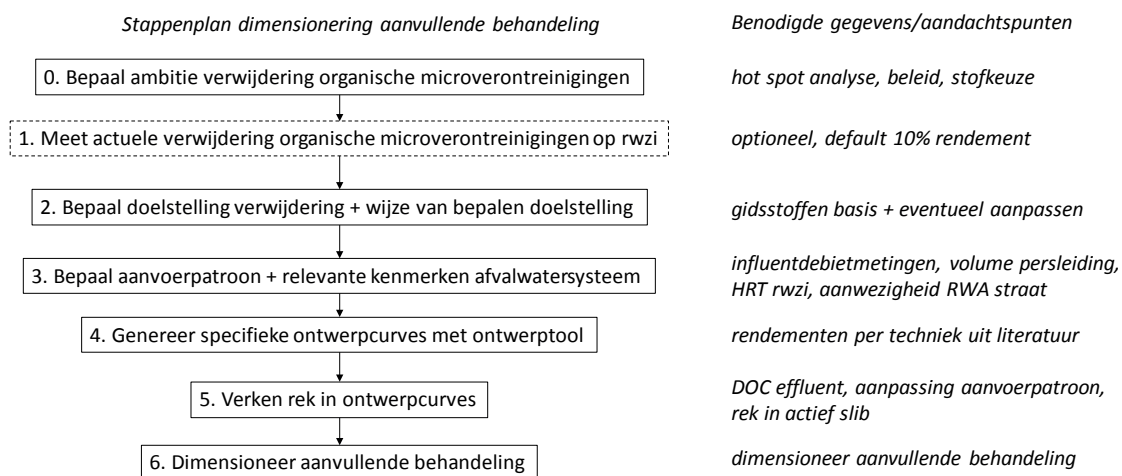
De daarop volgende hoofdstukken behandelen elke stap op een zodanig detailniveau dat de gebruiker van het bijbehorende hulpmiddel hiermee aan de slag kan.

2

STAPPENPLAN SYSTEEMKEUZE EN DIMENSIONERING VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN

Het stappenplan om te komen tot de keuze voor een bepaalde (combinatie van) behandelingstechniek(en) en de keuze voor de bijbehorende benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit is opgenomen in figuur 2.1. De stappen zijn navolgend kort beschreven en voor zover nodig nader toegelicht in de volgende hoofdstukken. Voor het uitvoeren van de berekeningen is naast dit rapport ook een eenvoudige 'tool' in EXCEL beschikbaar, waarmee per rwzi de dimensionering en kostenberekening kan worden gemaakt. Deze EXCEL 'tool' is beschreven in bijlage V.

FIGUUR 2.1 STAPPENPLAN SYSTEEMKEUZE EN DIMENSIONERING VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN



2.1 STAP 0. BEPAAL AMBITIE VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

De ambitie om de emissie van organische microverontreinigingen vanuit rwzi naar oppervlaktewater terug te dringen vormt het vertrekpunt van het stappenplan. Deze ambitie kan voortkomen uit de landelijke hotspotanalyse (STOWA, 2017-42), al dan niet aangevuld met een regionale hotspotanalyse, het (aanvullend) beleid van het waterschap en/of de keuze om mee te doen aan het uitvoeringsprogramma 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water', meer in het bijzonder het Versnellingsprogramma medicijnresten uit rwzi-effluent.

De ambitie kan worden uitgedrukt in op een rwzi te verwijderen somvrachten (reductie vracht in kg/jaar wat geloosd wordt op oppervlaktewater), maximaal toegestane effluent concentraties gekoppeld aan maximaal toegestane gemiddelde concentraties in oppervlaktewater of

een te bereiken verwijderingsrendement voor geselecteerde (indicator) stoffen (per monster, zoals vereist in de bijdrageregeling of een gemiddelde over meerdere monsters). Analooq aan de in Duitsland en Zwitserland gevolgde aanpak stelt de bijdrageregeling voor om te werken met een te bereiken verwijderingsrendement voor geselecteerde gidsstoffen. De verwijderingsrendementen van deze indicatorstoffen in actief slib zijn onder andere goed in beeld gebracht in het onderzoeksproject naar verwijderingsrendementen op RWZI's in de regio Rijn-Oost (Schuman, Evenblij en Verhoek, 2019).

2.2 STAP 1. MEET ACTUELE VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI

De eerste stap in het stappenplan is het advies om de actuele verwijdering van organische microverontreinigingen op de rwzi te bepalen aan de hand van metingen van individuele stoffen aan influent en effluent. Het onderzoek Rijn-Oost (Schuman et al., 2019) heeft laten zien dat de verwijderingsrendementen zonder toepassing van aanvullende technieken in de praktijk flink variëren per stof en tussen rwzi's en dat deze variatie helaas niet verklaard kan worden uit type RWZI, actuele belasting, procesparameters of andere logische parameters. Dit maakt dat het zeer slecht te voorspellen is welk rendement een willekeurige rwzi heeft zonder inzet van aanvullende technieken. Het gemiddelde rendement voor de 11 gidsstoffen bedraagt 30%, maar varieert tussen 10% en 50% op jaarbasis voor verschillende rwzi's. Aangezien het zeer veel uitmaakt in de benodigde hydraulische capaciteit van aanvullende zuivering welk rendement nu al wordt bereikt en daarmee in de voor de behandeling te maken kosten, zullen de kosten voor het in beeld brengen van het huidige verwijderingsrendement zich zeer snel terugverdienen.

Indien niet wordt besloten om het verwijderingsrendement te bepalen met de hiervoor omschreven meetcampagne, wordt in de tool veiligheidshalve als default gewerkt met het laagst gemeten gemiddelde rendement van 10% volgend uit het Rijn-Oost onderzoek.

2.3 STAP 2. BEPAAL DOELSTELLING VERWIJDERING + WIJZE VAN BEPALEN DOELSTELLING

In stap 0 kan de ambitie van de beheerder nog zijn uitgedrukt in te verwijderen somvrachten, maximaal toegestane effluentconcentraties of verwijderingsrendement per gidsstof, voor 7 van de 11 gidsstoffen of voor alle gidsstoffen. De EXCEL 'tool' in dit rapport werkt met te bereiken zuiveringsrendementen, zodat als onderdeel van stap 2 de ambitie van de beheerder moet worden vertaald naar een concreet verwijderingsrendement.

Vervolgens volgt na het doorlopen van het stappenplan of dit rendement redelijkerwijze wel of niet gehaald kan worden. Het kan zijn dat het rendement alleen gehaald kan worden met ozondoseringen die leiden tot onacceptabel hoge concentraties aan ongewenste nevenproducten, zoals bromaat of dat het technisch niet mogelijk is om met de technieken die zijn opgenomen in de dimensioneringstool de ambitie te bereiken.

De wijze van bepalen van het verwijderingsrendement en de wijze waarop dit in de praktijk is vast te stellen op basis van debieten en chemische analyses is nader uitgewerkt in hoofdstuk 4.

2.4 STAP 3. BEPAAL AANVOERPATROON + RELEVANTE KENMERKEN AFVALWATERSYSTEEM

Elke rwzi heeft een eigen, kenmerkend, aanvoerpatroon, dat wordt bepaald door de kenmerken van het aanvoerstelsel. Door de debietmetingen van de rwzi te vertalen naar een frequentieverdeling van aangevoerde hoeveelheid afvalwater over het jaar, kan direct worden afgelezen

welk percentage van het jaarvolume kan worden behandeld bij een bepaalde hydraulische ontwerpcapaciteit.

Het volume, de wijze van menging in het actief slib systeem en het zuiveringsrendement van de huidige rwzi bepalen vervolgens hoe de influentvracht wordt opgemengd in de rwzi en uiteindelijk het lozingspatroon in het te behandelen effluent.

De dimensioneringstool berekent het lozingspatroon van organische microverontreinigingen in het effluent op eenvoudige wijze door eerst op basis van gemeten influentdebieten via een influentmodel de mate van verdunning met neerslag mee te nemen in het influent en vervolgens te berekenen hoe dit zich vertaalt in een lozingspatroon zonder aanvullende behandeling. Dit lozingspatroon is afhankelijk van de configuratie van de rwzi,. Daarnaast is het nodig om het DOC gehalte in het effluent te kennen, omdat dit een grote invloed heeft op het rendement van aanvullende zuivering en daarmee op de kosten. Stap 3 is uitgewerkt in hoofdstuk 6.

2.5 STAP 4. GENEREER SPECIFIEKE ONTWERPCURVES

Met het in de vorige stap berekende lozingspatroon berekent de tool welk deel van de influentvracht kan worden behandeld gegeven de hydraulische ontwerpcapaciteit van de nabehandeling. In de tool wordt dit gekoppeld met het volgens de literatuur te bereiken rendement dat met de meegenomen technieken, te weten PACAS, Ozon+zandfilter, PAK + zandfilter en GAK, kan worden bereikt. De uiteindelijke systeemkeuze en bijbehorende minimaal benodigde hydraulische capaciteit volgt tenslotte na koppeling van deze ontwerpopties met de kostenkennallen per techniek. De ontwerpcurve geeft het te behalen verwijderingsrendement (van de jaarvracht) als functie van de hydraulische ontwerpcapaciteit van een aanvullende behandelingstechniek. De ontwerpcurve is beschreven in hoofdstuk 7.

2.6 STAP 5. VERKEN REK IN ONTWERPCURVES

De ontwerpcurve uit stap 4 is gebaseerd op het huidige gemeten aanvoerpatroon, de huidige procesinstellingen op de rwzi en het gemeten DOC gehalte in het effluent (bij afwezigheid meting wordt 15 mg/l aangehouden). Stap 5 omvat het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse op deze ontwerpcurves door te variëren met het afvalwaterprofiel, het DOC gehalte in het effluent of het rendement van het actief slib systeem zelf.

Het aanvoerpatroon is te beïnvloeden door de DWA af te vlakken. Het verlagen van het DOC gehalte is weliswaar mogelijk, maar vraagt om een forse kostenpost. DOC verlaging is pas opportuun indien een verwijderingsrendement van 90% van medicijnresten en hoger gewenst is. Het rendement van het actief slib systeem is te vergroten door bijvoorbeeld een kleine PACAS dosering. Het onderzoek in Papendrecht laat zien dat bij een dosering van 10 mg/l de verwijdering toeneemt met ongeveer 20% en bij een dosering van 20 mg/l met ongeveer 40% ten opzichte van de prestatie van het actief slibstelsysteem.

Hoofdstuk 8 gaat dieper in op de mogelijkheden om de rek in de ontwerpcurve te verkennen.

2.7 STAP 6. DIMENSIONEER AANVULLENDE BEHANDELING

Na de verkenning van de eventuele rek in de ontwerpcurve in stap 5 wordt in stap 6 de aanvullende behandeling gedimensioneerd door het maken van een technologiekeuze en daaraan gekoppeld de benodigde hydraulische capaciteit. De tool voorziet alleen in de te maken kostenafweging bij een bepaald gewenst verwijderingsrendement, andere afwegingen die hierbij wellicht ook een rol spelen, zoals mogelijke bijproducten, duurzaamheid, chemicaliënverbruik en veiligheid zijn buiten beschouwing gelaten.

3

STAP 0. BEPALEN AMBITIE

Uitgangspunt in dit STOWA rapport is dat het te bereiken zuiveringsrendement een keuze is van de waterschappen, waarbij aangesloten kan worden op de door het ministerie van IenW vastgestelde bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten'. Voor de bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten' van het ministerie IenW gelden de volgende minimum eisen

- Een zuiveringsrendement moet worden gerealiseerd van 70%² verwijdering van 7 (van de 11) Nederlandse gidsstoffen: benzotriazool, clarithromycine, carbamazepine, diclofenac, metropolol, hydrochloorthiazide, mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool, propranolol, sotalol, sulfamethoxazol, trimethoprim. Dit rendement wordt berekend als gemiddelde waarde van de zuiveringsrendementen van de afzonderlijke 7 gidsstoffen in elk debiet- of tijdsproportioneel genomen watermonster op basis van het gemeten concentratieverschil van de betreffende gidsstof in ruw rioolwater/afloop voorbezinktank en het effluent van de vergaande zuiveringstechniek.
- De vergaande zuiveringstechniek dient minimaal de daggemiddelde DWA te behandelen. Deze daggemiddelde DWA dient bepaald te worden op basis van een dataset van uurdebieten van het influent op de rwzi over de afgelopen 3 jaar.

De gedachte achter de gidsstoffen sluit aan bij het beleid en de wetgeving in Duitsland en Zwitserland en komt voort uit het volgende:

- De verwijdering van deze gidsstoffen is representatief voor een goed werkend zuiveringsproces voor de aanvullende verwijdering van microverontreinigingen;
- De gidsstoffen komen algemeen voor in rioolwater;
- De influentconcentraties van deze gidsstoffen zijn 10x hoger dan de rapportagegrens van de effluentconcentraties om een verwijderingsrendement van meer dan 80% te kunnen meten;
- De gidsstoffen worden slecht verwijderd in actief slib (< 50% rendement)
- De gidsstoffen worden vergaand verwijderd door bewezen zuiveringstechnieken zoals ozonisatie, actiefkooladsorptie of combinaties daarvan
- Omdat niet alle gidsstoffen even goed verwijderd kunnen worden door ozonisatie of actiefkooladsorptie, dient het rendement slechts voor 7 van de 11 gidsstoffen behaald te worden.
- Om internationaal resultaten te kunnen vergelijken zijn zoveel mogelijk overeenkomstige gidsstoffen geselecteerd

Daarnaast dient voor de bijdrageregeling op basis van bioassays te worden aangetoond dat de ecotoxiciteit van het rwzi-effluent substantieel (ca. 50%) wordt verlaagd. Aangezien de analyse en methode ten aanzien van bioassays nog in de kinderschoenen staat, is deze laatste eis verder buiten beschouwing gelaten in dit rapport. Zodra deze methoden beschikbaar zijn, kunnen deze worden gebruikt om het te bereiken rendement te onderbouwen.

² Effluent nageschakelde behandeling ten opzichte van influent of voorbezonden influent van de rwzi

Uitgangspunt in dit STOWA rapport is dat het te bereiken zuiveringsrendement een keuze is van de waterschappen.

In dit rapport vormen de eisen conform de bijdrageregeling de ondergrens van het ontwerp zuiveringsrendement. De ambitie om de emissie van organische microverontreinigingen vanuit de rwzi naar het oppervlaktewater terug te dringen vormt het vertrekpunt van het stappenplan. Deze ambitie kan voortkomen uit de landelijke hotspotanalyse (STOWA, 2017-42), al dan niet aangevuld met een regionale hotspotanalyse, het (aanvullend) beleid van het waterschap en/of de keuze om mee te doen aan het uitvoeringsprogramma 'Ketenaanpak Medicijnresten uit Water', meer in het bijzonder het Versnellingsprogramma medicijnresten uit rwzi-effluent. Ook kunnen lokaal andere stoffen dan de vastgestelde IenW-gidsstoffen een rol spelen.

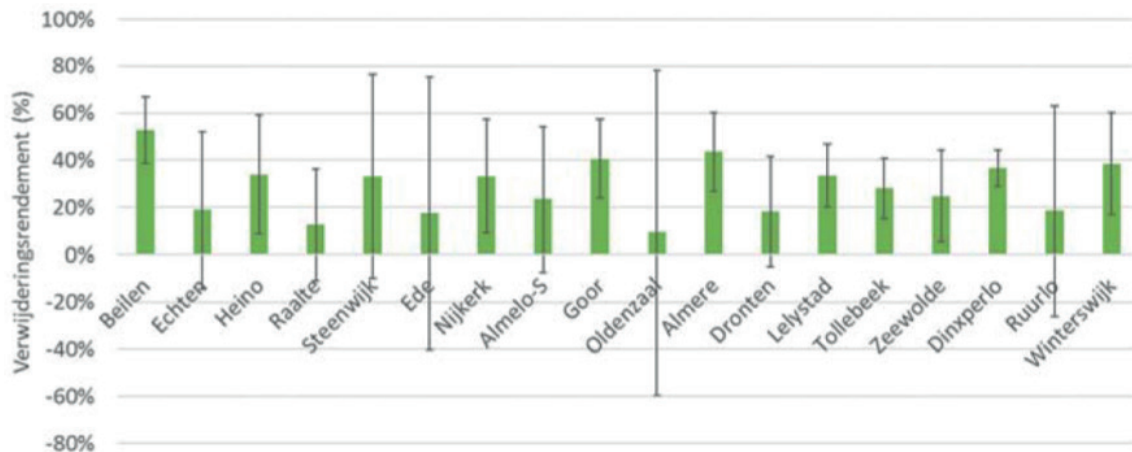
De ambitie kan worden uitgedrukt in op een rwzi te verwijderen somvrachten (reductie vracht in kg/jaar wat geloosd wordt op oppervlaktewater), maximaal toegestane effluent concentraties gekoppeld aan maximaal toegestane gemiddelde concentraties in oppervlaktewater of een te bereiken verwijderingsrendement voor geselecteerde (indicator) stoffen (per monster, zoals vereist in de bijdrageregeling of een gemiddelde over meerdere monsters). Om de excel tool te kunnen gebruiken, dient de ambitie vertaald te worden naar een jaarlijks verwijderingsrendement. Hiervoor is o.a. inzicht nodig in de huidige verwijdering van microverontreinigingen door de rwzi (zie stappen 1 en 2)

4

STAP 1. MEET ACTUELE VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI

In tot nu toe uitgevoerd onderzoek blijkt dat het verwijderingsrendement van microverontreinigingen door rwzi's een zeer grote spreiding kent. Er zijn grote verschillen in verwijdering per stof en grote verschillen tussen rwzi's per stof. Voor de gidsstoffen zijn de verwijderingsrendementen per rwzi verschillend. In het Rijn-Oost onderzoek zijn de verwijderingsrendementen voor meerdere rwzi's bepaald. Hieruit blijken verwijderingsrendementen voor de gidsstoffen gemiddeld op 30% te liggen, met als ondergrens 10% en als bovengrens 50%, zie figuur 4.1. Ook de spreiding in de metingen is aanzienlijk, hetgeen laat zien dat het noodzakelijk is om het rendement te baseren op een voldoende uitgebreide meetcampagne.

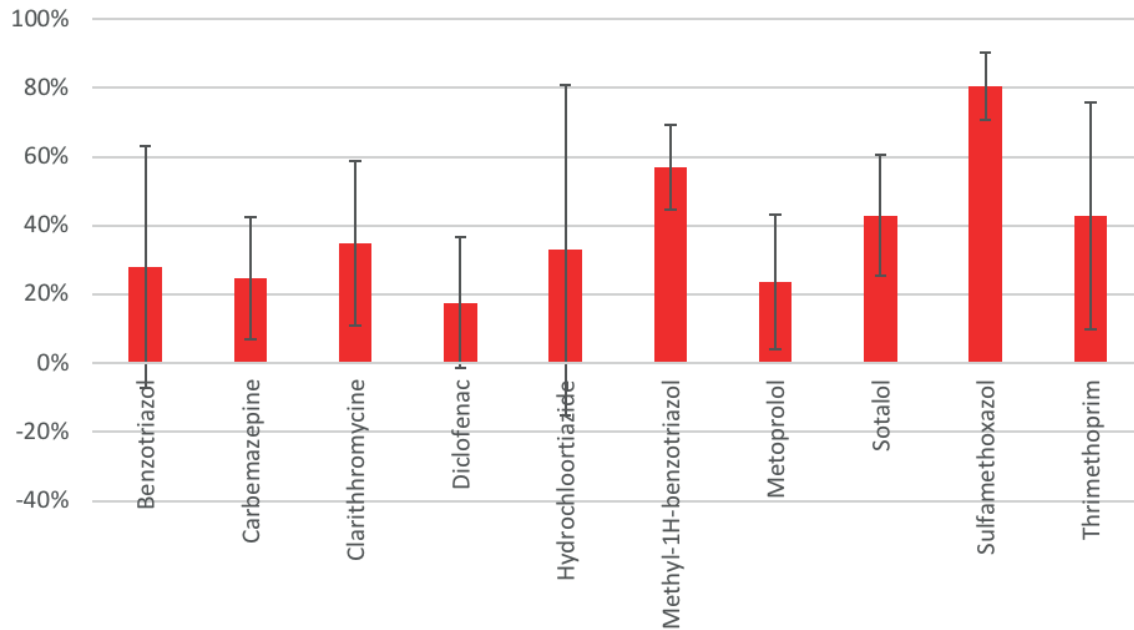
FIGUUR 4.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN ALLE 11 GIDSSTOFFEN OP BASIS VAN MINIMAAL 5 SIMULTANE 48-H DEBIETPROPORTIONELE MONSTERS PER RWZI BIJ DWA-AANVOER VERSPREID OVER HET JAAR (BENZOTRIAZOOL, CLARITHROMYCINE, CARBAMAZEPINE, DICLOFENAC, METOPROLOL, HYDROCHLOORTHIAZIDE, MENGSEL VAN 4- EN 5-METHYLBENZOTRIAZOOL, PROPRANOLOL, SOTALOL, SULFAMETHOXAZOOL, TRIMETHOPRIM) . UIT: SCHUMAN ET AL., 2019



Voor rwzi Aarle-Rixtel is een gemiddeld verwijderingsrendement bepaald voor de 11 gidsstoffen van 40-45% met een spreiding van circa 15%, oftewel $40 \pm 15\%$ (zie bijlage II.1). Figuur 4.2. laat zien dat niet gesproken kan worden van één verwijderingsrendement voor microverontreinigingen, maar dat dit rendement per stof verschilt, zie figuur 4.2. Ook in deze figuur is de spreiding in meetwaarden groot. De variatie in verwijderingsrendementen is tevens gerapporteerd in het Rijn-Oost onderzoek (Schuman et al., 2019) en het PACAS-onderzoek (STOWA 2018-02). Verklaringen voor de verschillen in rendementen per rwzi en per stof zijn helaas nog niet gevonden.

FIGUUR 4.2

VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN DUURPROEF 2 AARLE-RIXTEL OP BASIS VAN 10 MONSTERS. BIJ DE MONSTERNAME IS GEWERKT MET EEN 24-H DEBIETPROPORTIONEEL MONSTER VOOR HET INFLUENT EN EEN 24-TIJDPROPORTIONEEL MONSTER VOOR HET EFFLUENT, WAARBIJ HET EFFLUENT IS GEMETEN MET 24H VERTRAGING. DE BEMONSTERINGSPERIODE LAG TUSSEN 10 MEI -27 JUNI 2019, WAARBIJ DE RESULTATEN EXCLUSIEF DE RWA-BEMONSTERING VAN 28/29 MEI ZIJN GEBRUIKT. PROPRANOLOL WAS WEL GEANALYSEERD, MAAR NIET AANGETROFFEN BOVEN RAPPORTAGEGRENZ IN INFLUENT



Hoewel het gemiddelde verwijderingsrendement van de 11 gidsstoffen op basis van de beschikbare onderzoeksgegevens op circa 30% ligt, is dit geen vast gegeven. Naast onzekerheden in analyse, bemonstering en procesconfiguratie van rwzi's, is tot op heden nog niet gemeten wat de invloed is van retourstromen uit een centrale gisting en/of slibontwatering. Als default is daarom in dit rapport het minimum van 10% uit de metingen aangehouden om een veilig ontwerp te krijgen.

Gezien de forse jaarlijkse lasten die samenhangen met de (aanvullende) verwijdering van organische microverontreinigingen, is het zeer waarschijnlijk dat een meetcampagne waarmee een hoger gemiddeld basis actief slib verwijderingsrendement dan 10% kan worden gerechtvaardigd, zich al snel terugverdient. Als minimale eisen voor een dergelijke meetcampagne gelden:

- Meetperiode 1 jaar
- Meetfrequentie 1 maal per maand
- Bemonstering op basis van 48 uren monsters influent en effluent, rekening houdend met de hydraulische verblijftijd in de rwzi
- Analysepakket met minimaal alle vereiste en toekomstige gidsstoffen zoals vastgesteld door het Rijk. Momenteel gelden hiervoor de volgende 11 gidsstoffen carbamazepine, propranolol, trimethoprim, metoprolol, benzotriazol, mengsel van 4-methylbenzotriazol en 5-methylbenzotriazol, hydrochlorothiazide, sulfamethoxazol, diclofenac, clarithromycine en sotalol. Deze lijst is onderhevig aan aanpassing/uitbreiding met de kandidaat stoffen amisulpride, azithromycine, candersartan, citalopram, furosemide, gabapentine, irbesartan propranolol en venlafaxin. De vaststelling van gidsstoffen is aan veranderingen onderhevig in verband met analyseerbaarheid en daaraan gerelateerde nauwkeurigheid van bepaling van prestaties op het gebied van verwijdering van microverontreinigingen uit rioolwater door verschillende technieken in rwzi's. Alle voorgenoemde stoffen wor-

den als 1 analysepakket door de laboratoria aangeboden. Om het actief slibrendement te bepalen dienen minimaal al deze stoffen geanalyseerd te worden in influent en effluent. Bemonstering op basis van 48 uurs monsters influent en effluent, rekeninghoudend met de hydraulische verblijftijd in de rwzi.

5

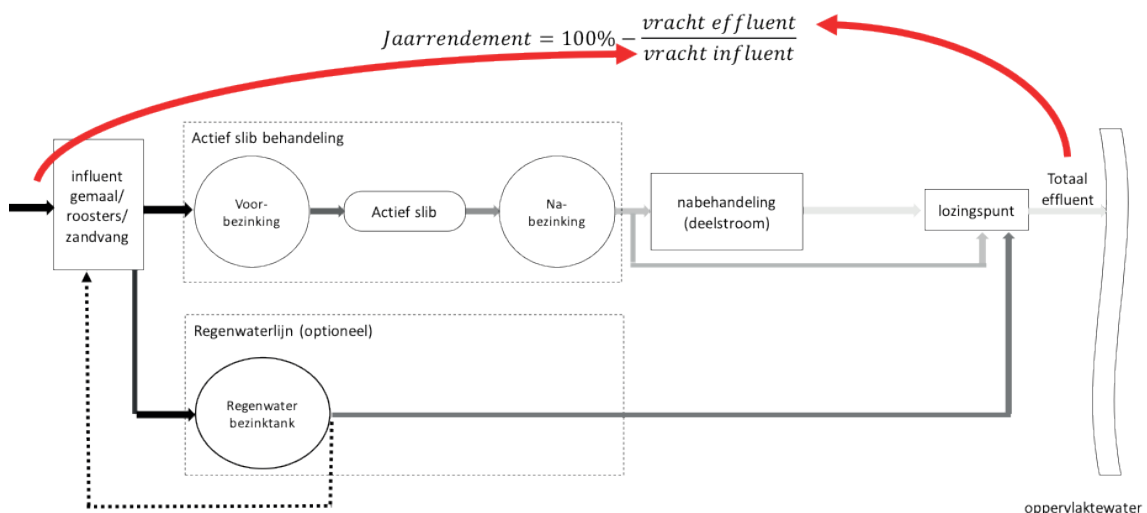
STAP 2. DOELSTELLING VERWIJDERING EN WIJZE VAN BEPALING DOELSTELLING

De ambitie voor verwijdering van organische microverontreinigingen zal waarschijnlijk worden vertaald naar een jaarlijks verwijderingsrendement in plaats van naar bijvoorbeeld een maximale effluentconcentratie. De tool is ingericht op het ontwerp op basis van een jaarrendement op vrachtbasis. Figuur 5.1. toont hoe het jaarrendement voor de verwijdering van medicijnresten en microverontreinigingen is gedefinieerd als de reductie van de via het effluent geloosde vracht medicijnresten naar het oppervlaktewater.

Het berekend jaarrendement per stof wordt bepaald door de volgende aspecten:

- Rendement actief slib (default 10%, aanpassen indien dit volgt uit de meetcampagne van stap 1)
- Bypass van eventueel regenwater via een regenwaterbezinktank/regenwaterlijn (kenmerk rwzi)
- Rendement nabehandeling deelstroom (afhankelijk van techniek en dosering)
- Grootte van de deelstroom behandeld effluent en de bypass hier omheen (afhankelijk van hydraulische capaciteit)
- Dimensionering rwzi (volumes voorbezinking, actief slib en nabezinking)

FIGUUR 5.1 BEPALING JAARRENDEMENT. DE VRACHT INFLUENT EN VRACHT EFFLUENT ZIJN HIERBIJ UIT TE DRUKKEN IN KG MEDICIJNRESTEN OF ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN



Idealiter wordt het jaarrendement bepaald door dagelijks concentratie en debiet van het influent en het totale effluent te bemeten. Uit kostentechnische afwegingen zal deze meting echter niet dagelijks worden uitgevoerd, maar met een veel lagere frequentie. Een praktisch

probleem dat daarbij ontstaat is dat, vanwege de lange, variabele hydraulische verblijftijd op de rwzi, een meting van het influent en van het effluent op dezelfde dag niet geschikt is om betrouwbaar het rendement te bepalen. Stel dat het regent op de monsternamedag en dat deze dag volgt op een droge dag. Dan bevat het influentmonster verdund afvalwater, terwijl het effluentmonster nog grotendeels zal bestaan uit afvalwater van de vorige dag, dat niet is verdund. Het gevolg is dan dat het beoogde rendement waarschijnlijk niet zal voldoen. Het proberen om alleen te meten op droge dagen wordt afgeraden, omdat dat in de praktijk niet goed haalbaar is en een onvolledig beeld geeft van het jaarrendement, waarin RWA dagen ook meetellen. Bij willekeurige selectie van 2 opeenvolgende dagen is de kans klein (slechts 33% !) dat beiden dagen ook een echte DWA dag zijn.

N.B. De situatie is uiteraard anders indien elke dag wordt gemeten, in dat geval verdwijnt het effect van niet matchende monsters, omdat dan de gehele jaarvrucht in influent en effluent nauwkeurig wordt bepaald.

De wijze waarop dit kan worden voorkomen is door de influent- en effluentbemonstering volume proportioneel te sturen, waarbij de monstername van het effluent aanvangt op het tijdstip waarop de monsternamedag voor de influentmeting begint met daarbij opgeteld de op basis van actuele debietmetingen te bepalen actuele hydraulische verblijftijd en eindigt op het tijdstip waarop de monsternamedag voor de influentmeting eindigt met daarbij opgeteld de op basis van actuele debietmetingen te bepalen actuele hydraulische verblijftijd. Op die manier wordt de duur van de monstername in het effluent een functie van het debiet en kan dus zowel korter als langer zijn dan de duur van de monstername in het influent.

Deze werkwijze wijkt af van de gangbare wijze van bemonsteren, waardoor het te verwachten is dat dit niet kan worden gecombineerd met de reguliere effluentbemonstering. Verwacht mag worden dat in plaats daarvan met een extra monsternamekast bemonsterd zal gaan worden op de afloop van de behandelde deelstroom, zie figuur 5.2 en 5.3. Op basis hiervan wordt het rendement berekend van de behandelde deelstroom effluent. Om daaruit het jaarrendement af te leiden, is een correctie nodig voor de grootte van de behandelde deelstroom.

Het jaarrendement per stof volgt dan uit:

$$\text{verwijderingsrendement} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{Q_{\text{behandeld},i}}{(Q_{\text{behandeld},i} + Q_{\text{onbehandeld},i})} * \frac{(C_{\text{influent},i} - C_{\text{effluent},i})}{C_{\text{influent},i}}}{n}$$

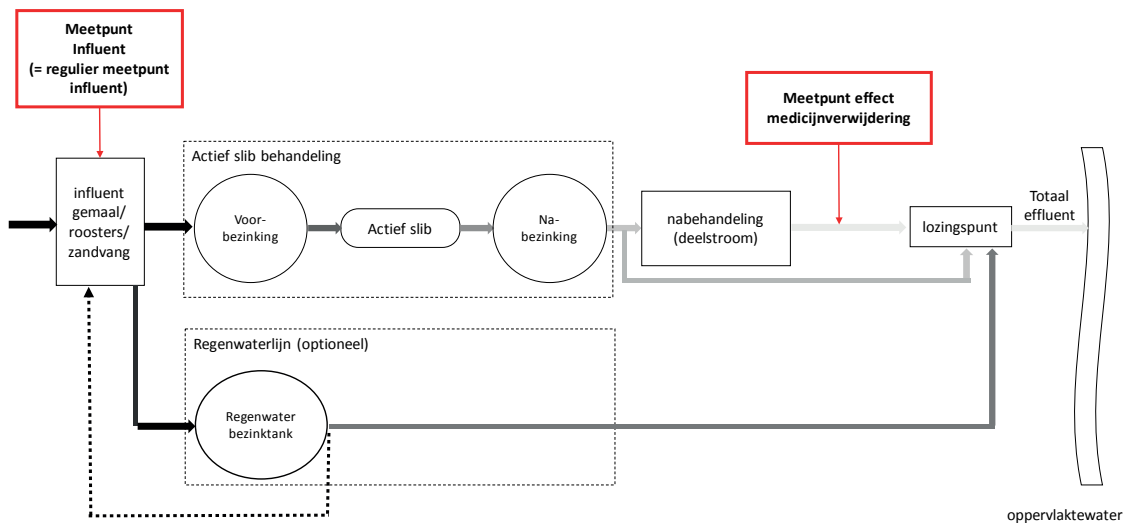
Waarin:

i	dagnummer (met bemonstering)
C_{influent}	gemeten concentratie in influent
$C_{\text{effluent deelstroom}}$	gemeten concentratie in effluent behandelde deelstroom
$Q_{\text{behandeld}}$	deelstroom met verwijderingsrendement voor medicijnresten/microverontreinigingen
$Q_{\text{onbehandeld}}$	niet behandelde deelstroom, bestaande uit de som van by-pass nageschakelde techniek en volume verwerkt in regenwaterlijn

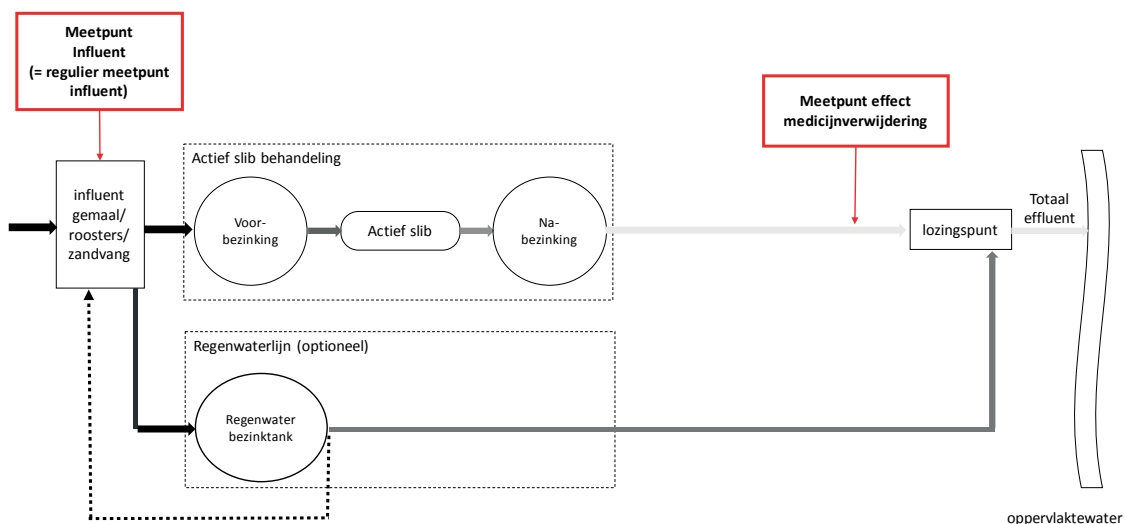
Het verwijderingsrendement per stof kan vervolgens worden gemiddeld om tot een gemiddeld rendement te komen. De in stap 0 genoemde bijdrageregeling kan doorvertaald worden naar een jaarrendement van 70% voor 7 van de 11 gidsstoffen. Om te toetsen of wordt voldaan aan de bijdrageregeling moet worden geanalyseerd of het rendement van de 7 geselecteerde stoffen tenminste 70% bedraagt op basis van individuele monsters. De 'tool' uit bijlage VI is geschikt voor het gebruik van het gemiddelde van gidsstoffen, maar kan ook worden toepast

indien wordt besloten om het rendement op basis van individuele (de maatgevende) of een andere combinatie van stoffen te bepalen.

FIGUUR 5.2 BEMONSTERINGSLOCATIES VOOR BEPALING RENDEMENT MEDICIJNVERWIJDERING BIJ TOEPASSING DEELSTROOMNABEHANDELING



FIGUUR 5.3 BEMONSTERINGSLOCATIES VOOR BEPALING RENDEMENT MEDICIJNVERWIJDERING BIJ TOEPASSING IN LINE TECHNIEK, ZOALS PACAS.



6

STAP 3. BEPAAL AANVOERPATROON EN RELEVANTE KENMERKEN VAN HET AFVALWATERSYSTEEM

6.1 DEFINITIES

Bij de dimensionering van (onderdelen van) rwzi's wordt gebruik gemaakt van een aantal hydraulische kentallen onder de noemer DWA (droogweer afvoer) en RWA (regenweer afvoer). Wat wordt verstaan onder DWA of RWA is afhankelijk van de context. In dit rapport zijn de volgende definities aangehouden:

$DWA_{\text{theoretisch}}$ de droogweerafvoer die wordt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp van zuiveringstechnische werken. Over het algemeen komt dit neer op een ontwerpafvoer van 12 l/inw/h, hoewel sommige waterschappen 10 l/inw/h en anderen 15 l/inw.h hanteren. Deze ontwerpafvoer wordt vermeerderd met de DWA van industrie (soms op basis van gemeten waarden, vaak als kentel van 0,5 m³/h/bruto ha industrieterrein), toerisme (vaak 7 l/toerist/h) en glastuinbouw (afhankelijk van afspraken, doorgaans in range 0,5-1 m³/h ha glastuinbouw). Rioolvreemd water wordt hierin niet meegenomen. Voor gebieden zonder bijtelling voor industrie, glastuinbouw of toerisme ligt de theoretische piekfactor in het ontwerp daarmee op 2,4 (de dagafvoer van 24 uur wordt verondersteld om in 10 uur te worden afgevoerd bij een afvalwaterproductie van 120 l/inw/dag en een piekafvoer van 12 l/inw/h.).

De werkelijke piekfactor, inclusief rioolvreemd water, ligt eerder op de 1.6 (op basis van een aandeel van 25% van rioolvreemd water, 25% regenwater en 50% DWA op de totale jaaraanvoer moet 180 l/inw/dag worden afgevoerd met een capaciteit van 12 l/inw/h, dit duurt 15 uur, waarmee de piekafvoer ligt op 24/15 = 1.6)

$RWA_{\text{theoretisch}}$ de regenweerafvoer die wordt gebruikt voor het hydraulisch ontwerp van zuiveringstechnische werken bestaat uit een DWA component vermeerderd met de overeengekomen pompovercapaciteit (POC). $RWA = DWA + POC$. *Let op : regelmatig wordt de term RWA ten onrechte gebruikt als synoniem van de POC! Het uitgangspunt hiervoor is 0.7 mm/h voor gemengde rioolstelsels en 0.3 mm/h voor verbeterd gescheiden rioolstelsels, beiden betrokken op het aangesloten verhard oppervlak. Gemiddeld gezien ligt de $RWA_{\text{theoretisch}}/DWA_{\text{theoretisch}}$ tussen de 3 en 4*

$DWA_{24 \text{ gem}}$ 24 uursgemiddelde DWA, bepaald op basis van debietmetingen. Dit betekent dat dit inclusief rioolvreemd water is!

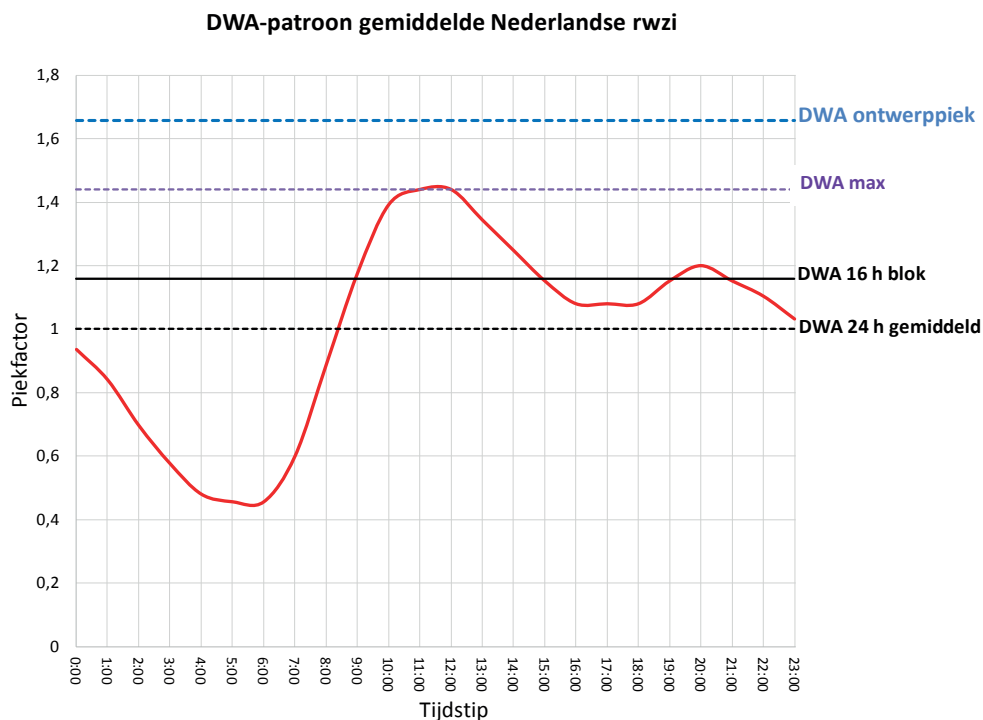
DWA_{16} DWA die wordt bereikt door de totale droogweerafvoer per dag, bepaald op basis van debietmetingen, te verdelen over 16 uur. Deze ligt conform STOWA 2015-27 16% hoger dan de 24 uursgemiddelde DWA, zie figuur 6.1.

DWA_{max} maximale waarde die voor DWA wordt bereikt op uur met maximale afvoer. Deze ligt conform STOWA 2015-27 44% hoger dan de 24 uursgemiddelde DWA, zie figuur 3.1. De DWA_{max} is voor specifieke zuiveringen af te leiden uit de influentdebietmetingen. Met de in bijlage VI gepresenteerde 'tool' is het mogelijk om de DWA curve voor een specifieke zuivering af te leiden.

$DWA_{\text{ontwerppiek}}$ Ten behoeve van een veilig ontwerp van nageschakelde technieken is in STOWA 2015-27 een ontwerppiekfactor van 1,15 voorgesteld om toe te passen op de hiervoor genoemde DWA_{max} . De $DWA_{\text{ontwerppiek}}$ komt hiermee conform STOWA 2015-27 66% hoger dan de 24 uursgemiddelde DWA, zie figuur 6.1.

De $DWA_{\text{ontwerppiek}}$ van 1,66 komt redelijk goed overeen met de ontwerppiek die in de praktijk volgt uit het gebruik bij het bepalen van de benodigde hydraulische capaciteit van rwzi's op basis van de $DWA_{\text{theoretisch}}$ op uurbasis bij aanwezigheid van een gemiddelde hoeveelheid rioolvreemd water. In de rest van dit rapport worden de termen gebruikt conform figuur 6.1.

FIGUUR 6.1 DWA CURVE GEMIDDELTE NEDERLANDSE RWZI OP EEN GEMIDDELTE DWA DAG



6.2 AANVOERPATROON

De gemiddelde Nederlandse rwzi bestaat natuurlijk niet. In deze paragraaf worden voorbeelden gegeven van het aanvoerpatroon en de doorwerking daarvan op de met een bepaalde ontwerpcapaciteit te behandelen percentage van het jaarvolume aan de hand van meetgegevens van een aantal rwzi's: Eindhoven, Kralingseveer, Dokhaven en Raalte.

6.2.1 JAARAANVOER

Naast de verdeling van de aanvoer over de dag, zoals opgenomen in de DWA curve, is ook de verdeling van de aanvoer over het jaar een belangrijke parameter bij het ontwerp. Op basis van aanvoergegevens in m^3/h is het mogelijk om een frequentieverdeling te maken naar het volume dat op jaarbasis bij de rwzi binnenkomt.

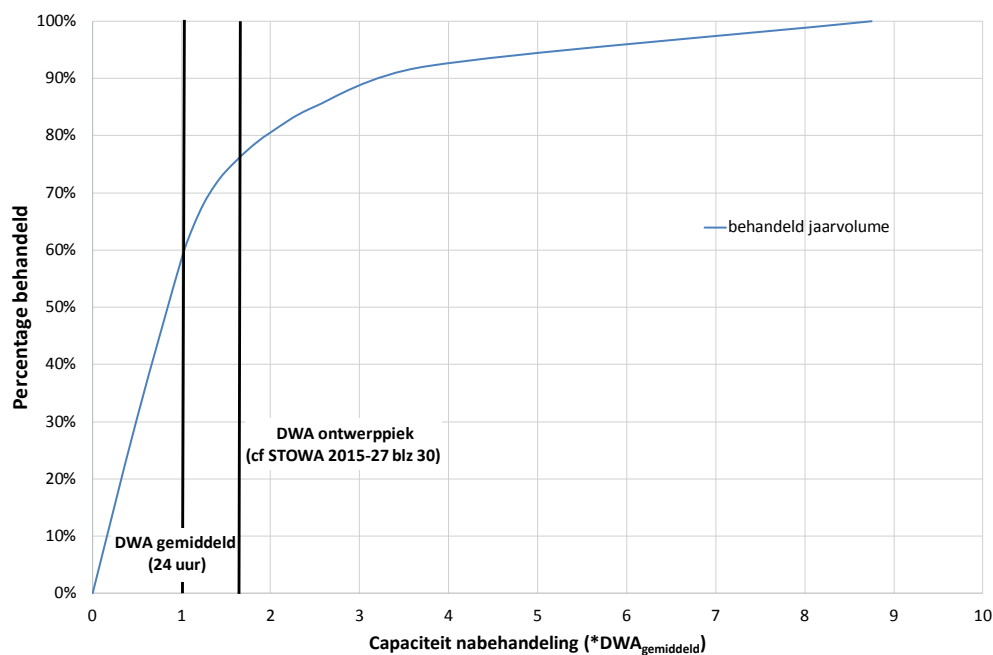
De frequentieverdeling volgt uit verwerking van gemeten uursommen (het over een uur gemeten debiet, dus niet de momentane waarde op 11:00, maar het volume dat langs is gekomen tussen 11:00 en 12:00) die volgen uit de debietmetingen van het influent van de rwzi over een periode van minimaal 1 jaar. Een langere periode van 2 of 3 jaar geeft meer zeker-

heid omdat het aanvoerpatroon door neerslagverschillen van jaar tot jaar kan verschillen. De neerslag werkt immers vaak niet alleen door in de afvoer tijdens regendagen, maar vertaalt zich doorgaans ook in een vertraagde afvoer als rioolvreemd water.

Figuur 6.2 toont het percentage van de jaarafvoer dat kan worden behandeld gegeven de capaciteit van de nabehandeling, waarbij deze capaciteit is uitgedrukt als veelvoud van de $DWA_{24h\text{ gemiddeld}}$. De gangbare RWA/DWA verhouding bij het ontwerp van een rwzi ligt tussen de 3 en 4: ofwel de $RWA_{\text{theoretisch}}$ is 3 tot 4 keer zo groot als de $DWA_{\text{theoretisch}}$. Zoals hiervoor is geïllustreerd, ligt de $DWA_{\text{theoretisch}}$ die wordt gebruikt bij het bepalen van de benodigde hydraulische capaciteit van een rwzi beduidend hoger dan de 24 uren gemiddelde DWA op basis van metingen (DWA_{24}).

De $RWA_{\text{geïnstalleerd}}/DWA_{24}$ bedraagt in het voorbeeld uit figuur 6.2, dat is gebaseerd op 3 jaar aan meetdata van rwzi Eindhoven, maar liefst ruim 8,5. Let daarom in de praktijk op over welke RWA/DWA verhouding het gaat: de RWA/DWA verhouding uit het ontwerp van de rwzi of de RWA/DWA verhouding op basis van metingen. De RWA/DWA verhouding op basis van metingen komt overigens wel redelijk goed overeen met de theoretisch RWA/DWA verhouding bij rwzi's met veel rioolvreemd water, omdat daar de $DWA_{\text{theoretisch}}$ overeenkomt met de $DWA_{\text{ontwerp}}_{\text{piek}}$.

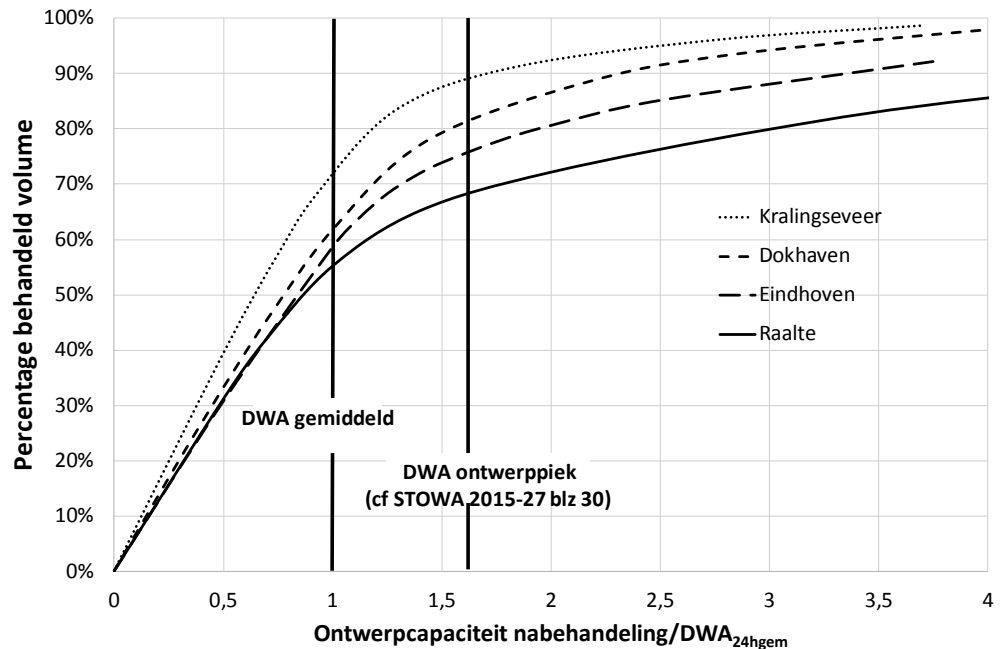
FIGUUR 6.2 PERCENTAGE INFLUENT DAT KAN WORDEN NABEHANDELD AFHANKELIJK VAN DE CAPACITEIT VAN DE NABEHANDELING, UITGEDRUKT IN VEELVOUD VAN $DWA_{\text{GEMIDDELD}}$ (GRAFIEK OP BASIS VAN 3 JAAR DATA RWZI EINDHOVEN)



De vorm van de afvoercurve verschilt flink tussen rwzi's. Figuur 6.3 toont het percentage influent dat kan worden behandeld afhankelijk van de capaciteit van de nabehandeling voor 4 rwzi's. Op rwzi Kralingseveer kan bij toepassing van de DWA ontwerp piek conform STOWA 2015-27 maar liefst 90% van het jaarvolume aan influent worden behandeld, terwijl dit bij rwzi Raalte slechts 70% bedraagt. De omvang van het gebied, de structuur van het afvalwaterstelsel (een systeem met persleidingen reageert veel sneller dan een cascadesysteem waarin bemalingsgebieden naar elkaar doorpompen) en vooral de hoeveelheid rioolvreemd water zijn de dominante verklarende factoren. Immers, de hoeveelheid rioolvreemd water heeft een

grote invloed op de DWA_{24} en daarmee op het debiet dat overeenkomt met de $DWA_{24h\text{ gem}}$. In bijgaand voorbeeld heeft rwzi Kralingseveer 30% rioolvreemd water, uitgedrukt als percentage van de jaaraanvoer ten opzichte van 7% op rwzi Raalte.

FIGUUR 6.3 PERCENTAGE INFLUENTVOLUME DAT CAN WORDEN NABEHANDELD AFHANKELIJK VAN DE CAPACITEIT VAN DE NABEHANDELING, UITGEDRUKT IN VEELVOUD VAN DWAGEMIDDELD VOOR 4 VERSCHILLENDE ZUIVERINGSKRINGEN. (EINDHOVEN 3 JAAR MEETDATA, OVERIGE RWZI'S 1 JAAR MEETDATA)



6.2.2 ONTWERPEN OP VRACHT IN PLAATS VAN VOLUME: INVLOED VERDUNNING BIJ NEERSLAG

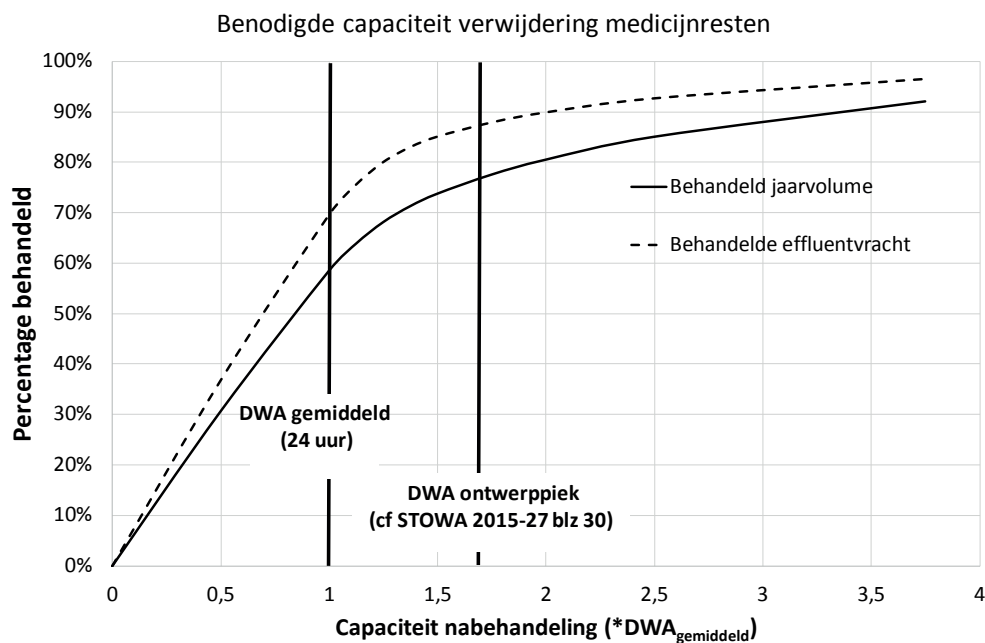
De medicijnresten en ook een groot deel van de overige microverontreinigingen in afvalwater (behalve bestrijdingsmiddelen die alleen een toepassing buitenshuis kennen) bevinden zich in de DWA, zie bijlage III. Dat betekent dat bij behandeling van alleen de DWA al een zeer aanzienlijk deel van de jaarvracht aan medicijnen zal worden behandeld. Figuur 6.4 geeft een voorbeeld aan de hand van rwzi Eindhoven. Uit de grafiek komt naar voren dat bij de $DWA_{\text{ontwerppiek}}$ ongeveer 77% van het jaarvolume kan worden behandeld. Bij dezelfde hydraulische capaciteit van de nabehandeling wordt echter ook al bijna 87% van de medicijnvracht behandeld. Of andersom afgelezen: om 80% van het jaarvolume te behandelen is een capaciteit van $2 * DWA_{24h\text{ gem}}$ benodigd, terwijl 80% van de influentvracht aan medicijnen al kan worden behandeld door $1,2 * DWA_{24h\text{ gem}}$ te behandelen.

De berekening van de medicijnvracht is uitgevoerd met behulp van een influentmodel dat de verdunning modelleert en waarin de concentratie van een willekeurige stof X die alleen voorkomt in DWA is gesteld op 100% bij DWA (Langeveld et al., 2017). Dit influentmodel is in eerste instantie ontwikkeld aan de hand van de ammonium metingen in het influent van rwzi Eindhoven en levert daarmee ongeveer dezelfde resultaten op als zouden worden verkregen bij de methode waarbij ammoniummetingen in het influent worden gebruikt om de mate van verdunning met metingen te bepalen.

Het verdunningsmodel berekent de nog aanwezige medicijnvracht in het effluent bij een bepaalde hydraulische belasting. Het model houdt daarbij alleen rekening met verdunning in het influent door neerslag, de hydraulische verblijftijd op de rwzi en de menging op de rwzi.

Uitgangspunt is propstroom in bezinktanks en volledige menging in actief slib tanks en de afwezigheid van afbraak in de rwzi. De afbraak wordt in een andere module van het model meegerekend in de vorm van het basisrendement van het actief slib en het rendement van een aanvullende zuivering.

FIGUUR 6.4 PERCENTAGE BEHANDELDE JAARVRACHT MEDICIJNEN VERSUS PERCENTAGE BEHANDELD JAARVOLUME AFHANKELIJK VAN DE CAPACITEIT VAN DE NABEHANDELING, UITGEDRUKT IN VEELVOUD VAN DWA_{24H} GEMIDDELD



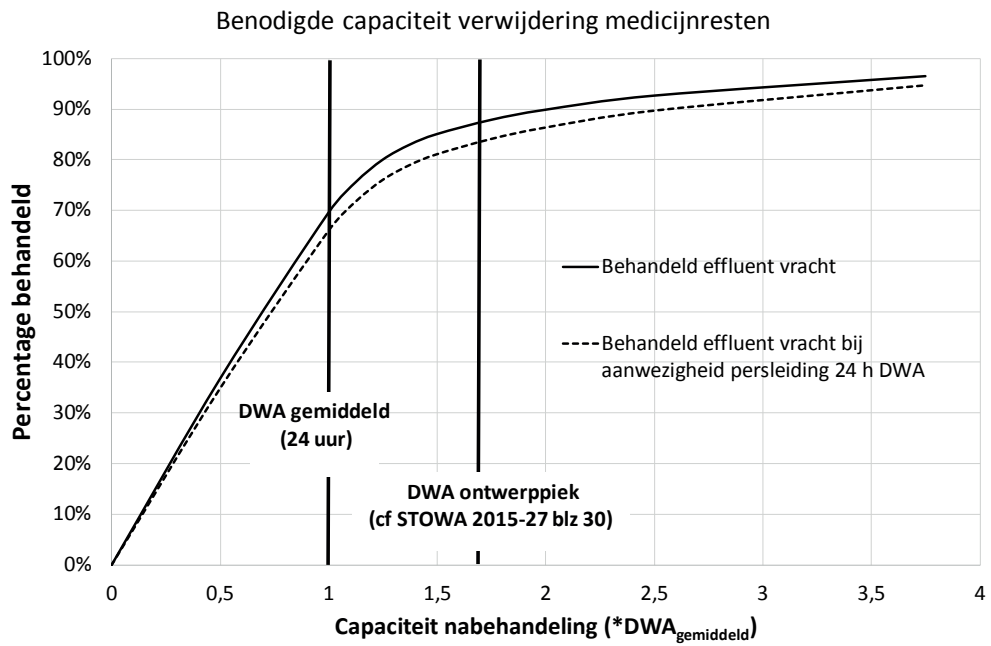
Aangezien de bereikte reducties uiteindelijk worden uitgedrukt in rendement op jaarbasis, is in de rest van dit rapport gewerkt met aanvoercurves op basis van influentvrachten.

6.2.3 BEPERKTE INVLOED AANWEZIGHEID PERSLEIDINGEN

De grootte van een persleiding kan worden uitgedrukt in het aantal keer dat de DWA_{24} in de berging van de persleiding past. Bij persleidingen geldt dat bij het begin van een bui de inhoud van de persleiding met RWA debiet naar de rwzi wordt afgevoerd. Bij grote persleidingen, vanaf grofweg een bergende inhoud van 6 maal de DWA_{24} , leidt dit er toe dat een relatief grote vracht aan medicijnen onbehandeld via een bypass wordt geloosd indien gekozen is voor deelstroombehandeling. De grootte van dit effect is afhankelijk van de omvang van de persleiding. Figuur 6.5 geeft een illustratie aan de hand van de case Eindhoven, waarbij een fictieve persleiding met een verblijftijd bij DWA van 24 uur is meegenomen in de berekening van de behandelde effluentvracht. Bij een dergelijke persleiding neemt de medicijnvracht die behandeld kan worden bij toepassing van de $DWA_{ontwerppiek}$ af van 88% naar 84% op jaarbasis. Aangezien de situatie waarin al het afvalwater via een persleiding wordt aangevoerd met een hydraulische verblijftijd bij DWA van 24 uur zeer zeldzaam is en zelfs in dat geval het verschil in benodigde capaciteit van de nabehandeling beperkt is, is geconcludeerd dat de configuratie van het transportsysteem geen grote invloed heeft op de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit.

FIGUUR 6.5

EFFECT AANWEZIGHEID PERSLEIDING MET INHOUD TER GROOTTE VAN DAGVOLUME DWA OP PERCENTAGE BEHANDELDE JAARVRACHT MEDICIJNEN AFHANKELIJK VAN DE CAPACITEIT VAN DE NABEHANDELING, UITGEDRUKT IN VEELVOUD VAN $DWA_{24\text{ h}}$ GEMIDDELD



7

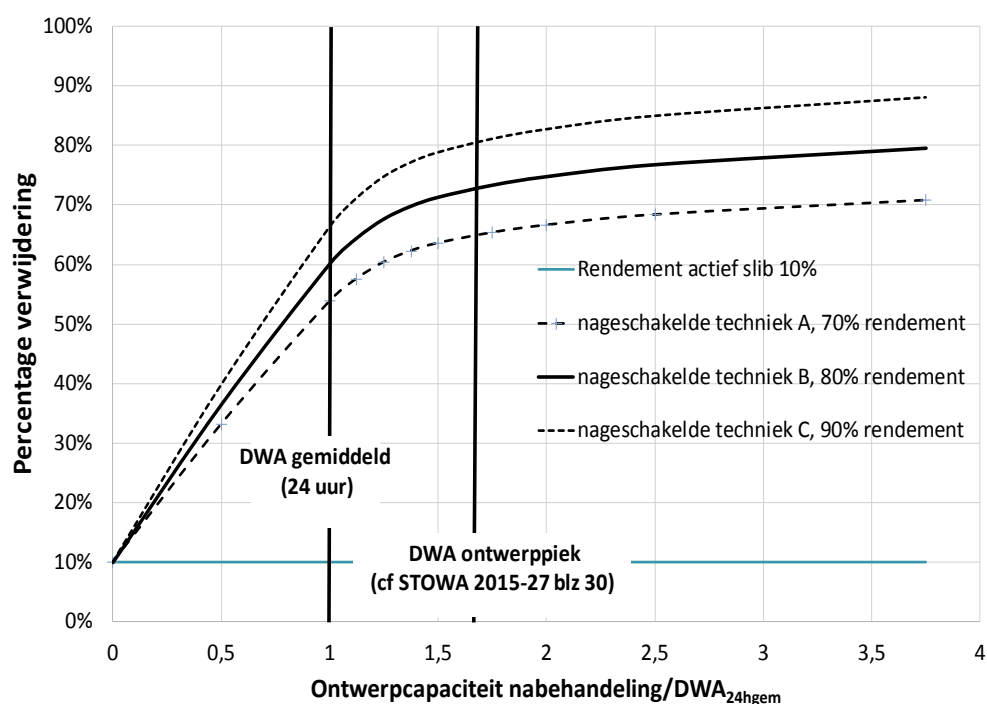
STAP 4. GENEREREN ONTWERPCURVES

7.1 GENEREREN ONTWERPCURVES

In stap 4 worden de ontwerpcurves gegeneerd die uiteindelijk in stap 6 gebruikt worden bij de keuze voor een bepaalde techniek. De ontwerpcurves worden als volgt berekend:

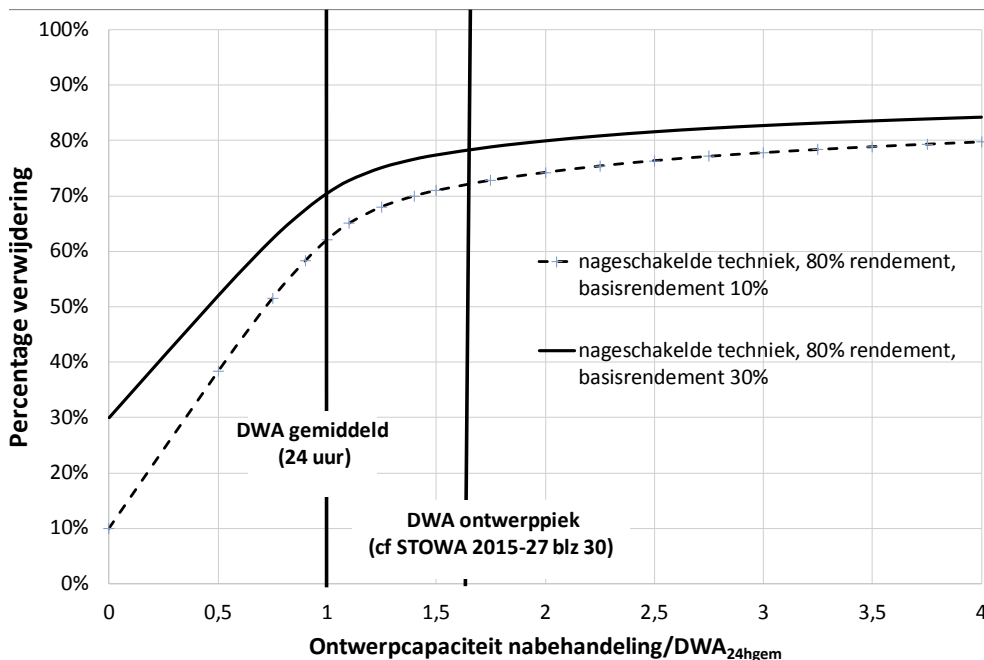
1. Met behulp van het verdunningsmodel wordt bepaald welk deel van de influentvracht aan organische microverontreinigingen behandeld kan worden afhankelijk van de te installeren hydraulische capaciteit. Dat levert een curve zoals opgenomen in figuur 6.4
2. Default wordt gerekend met een rendement van het actief slib systeem van 10% voor alle gidsstoffen. Indien het praktijkrendement van het actief slibstelsysteem gemeten is, dan kan het op metingen gebaseerde rendement worden gebruikt.
3. Vervolgens wordt het verwijderingsrendement dat bereikt kan worden per techniek meegenomen. Het resultaat is een rendementscurve zoals getoond in figuur 7.1, waarbij het rendement is uitgedrukt als percentage verwijdering van de influentvracht. Uit deze figuur is het mogelijk om per nageschakelde techniek af te leiden welke hydraulische capaciteit minimaal benodigd is om een bepaald percentage verwijdering te bereiken. Stel dat bijvoorbeeld een verwijdering van 70% is gewenst, dan is dit te bereiken met techniek C bij een hydraulische capaciteit van $1,2 \cdot DWA_{24\text{hgem}}$, met techniek B bij $1,45 \cdot DWA_{24\text{hgem}}$ en met techniek A bij $3,5 \cdot DWA_{24\text{hgem}}$. Stel dat een verwijdering van 80% is gewenst, dan is dit te bereiken met techniek C bij een hydraulische capaciteit van $1,66 \cdot DWA_{24\text{hgem}}$ of techniek B bij een hydraulische capaciteit van bijna $4,8 \cdot DWA_{24\text{hgem}}$. Met techniek A is het niet mogelijk om 80% verwijdering te bereiken. De vraag is vervolgens welke optie leidt tot de laagste jaarlijkse kosten.

FIGUUR 7.1 VOORBEELDIGRAFIEK RENDEMENTSCURVE/PERCENTAGE (VRACHT)VERWIJDERING DAT BEREIKT CAN WORDEN ALS FUNCTIE VAN HET ONTWERPDEBIET EN HET ZUIVERINGSRENDEMENT VAN EEN NAGESCHAKELDE TECHNIEK BIJ EEN DEFAULT RENDEMENT IN HET ACTIEF SLIB VAN 10%



Figuur 7.2 toont dezelfde voorbeeldgrafiek, maar dan voor de vergelijking van de situatie waarin het basisrendement van het actief slib systeem 10% van de jaarvrucht bedraagt en waarin dit 30% bedraagt. In het basisrendement 30% bedraagt is het bij een beoogd verwijderingsrendement van tenminste 70% al afdoende om de nageschakelde techniek met een rendement van 80% te ontwerpen op $DWA_{24h\text{ gem}}$, terwijl dit bij een basisrendement van 10% ligt op $1,5 * DWA_{24h\text{ gem}}$. Het basisrendement heeft duidelijk een grote invloed op de benodigde hydraulische capaciteit van de nabehandeling.

FIGUUR 7.2 VOORBEELDGRAFIEK RENDEMENTSCURVE/PERCENTAGE (VRUCHT)VERWIJDERING DAT BEREIKT CAN WORDEN ALS FUNCTIE VAN HET ONTWERPDEBIET BIJ EEN ZUIVERINGSRENDEMENT VAN EEN NAGESCHAKELDE TECHNIJK VAN 80% BIJ EEN RENDEMENT IN HET ACTIEF SLIB VAN 10% EN VAN 30%



4. Het combineren van de kostenkennallen uit STOWA 2015-27³ met de rendementscurve uit figuur 7.1 levert inzicht in de jaarlijkse kosten die gemeoid zijn met het bereiken van een bepaald rendement afhankelijk van de gekozen techniek en bijbehorende hydraulische capaciteit.

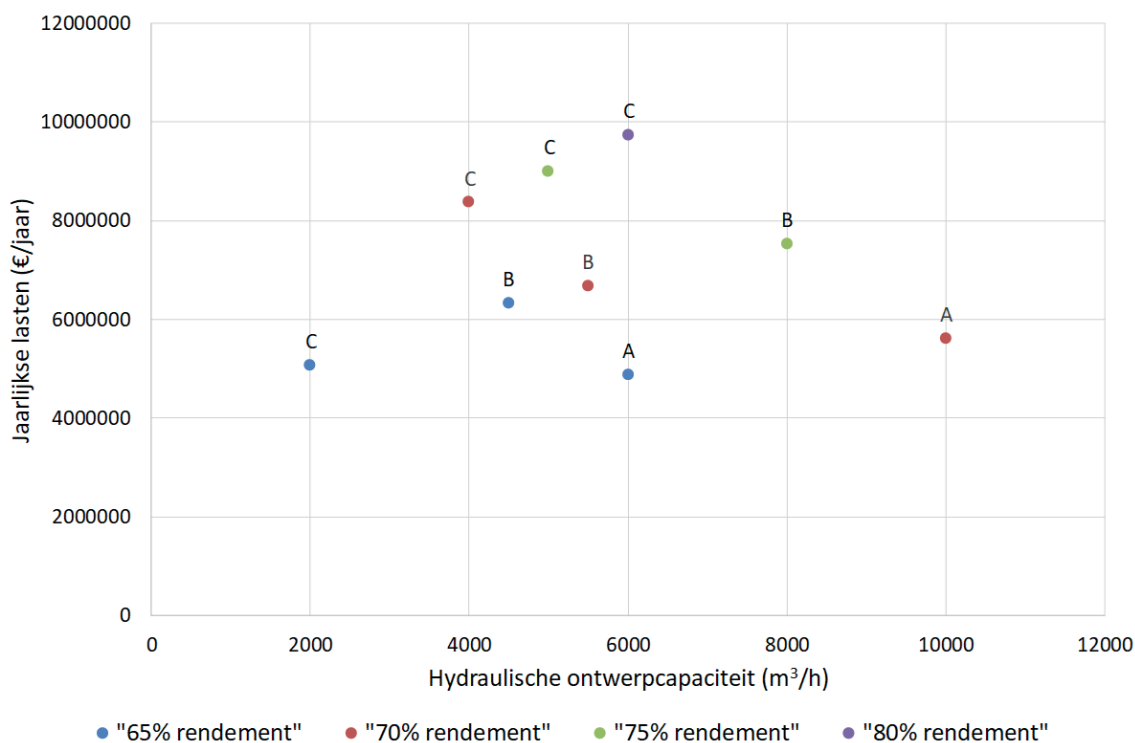
De kostenkennallen voor de gekozen technieken zijn afhankelijk van het DOC gehalte in het effluent, zie paragraaf 7.2.2. Het DOC gehalte is invoer in de 'tool', als standaard is uitgegaan van 11 mg/l.

Figuur 7.3 geeft een fictief voorbeeld op basis van figuur 7.1. Een ambitie van 70% verwijdering is, zoals hiervoor in het voorbeeld reeds aangegeven, mogelijk met alle technieken (zie rode stippen in figuur 7.3): techniek A vereist een hydraulische capaciteit van 10.000 m³/h, techniek B van 5.500 m³/h en techniek C van 4.000 m³/h. De optie met techniek A is in dit fictieve voorbeeld het goedkoopst, vanwege de lagere kostprijs, uitgedrukt in euro/m³ behandeld. De kostenkennallen en bijbehorende aannames zijn beschreven in paragraaf 7.2.2.

Bij een hogere ambitie van 80% verwijdering (parse stippen), dan resteert 1 stip: alleen inzet van techniek C is in dit voorbeeld toereikend.

- 3 Er is voor STOWA 2015-27 gekozen en niet voor de update STOWA 2017-36, omdat in STOWA 2015-27 een gevoeligheidsanalyse is opgenomen voor het effect van het DOC gehalte en ontwerpparameters voor dosering, contacttijd en standtijd en deze informatie niet beschikbaar is in STOWA 2017-36

FIGUUR 7.3 VOORBEELD JAARLIJKSE KOSTEN PER AMBITIENIVEAU (65% - 80% VERWIJDERING) VOOR DE 3 TECHNIEKEN A (70% RENDEMENT), B (80% RENDEMENT) EN C (90% RENDEMENT) MET BIJBEHORENDE BENODIGDE HYDRAULISCHE ONTWERPCAPACITEIT AFGELEID UIT FIGUUR 7.1. RENDEMENT ALS IN VRACHTREDUCTIE



Bovengenoemde stappen en de (fictieve) uitwerking daarvan geven weer hoe idealiter het systeemkeuze proces er uit zou moeten zien. Echter met de huidige beschikbare informatie is dit proces nog niet te doorlopen. Op dit moment is onvoldoende informatie beschikbaar om onderscheid te maken in rendement tussen stoffen en tussen technieken en de daarbij behorende kosten. De kosten zoals die zijn opgesteld in STOWA 2015 – 27 zijn berekend voor drie technieken die in Duitsland en Zwitserland in grootschalig pilotonderzoek of op full scale zijn toegepast. Dit zijn ozonisatie+zandfiltratie, PAK + zandfiltratie en GAK. Om een goede kostenvergelijking tussen de technieken te kunnen maken is vastgesteld op basis van welke ontwerpcriteria vergelijkbare verwijderingsrendementen kunnen worden behaald voor een set geselecteerde stoffen, waaronder 7 van de 11 Nederlandse gidstoffen⁴. Dit heeft geleid tot de volgende ontwerpcriteria:

- Ozonisatie: 0,7 g O₃/g DOC en een contacttijd van 25 minuten
- PAK: 12 mg/l en een contacttijd van 35 minuten
- GAK: contacttijd van 30 minuten en een standtijd van 6 maanden (8.800 bedvolumina)

Bij deze ontwerpcriteria is het rendement van 7 van de 11 Nederlandse gidsstoffen 80% op de behandelde deelstroom. In bijlage IV is per techniek een overzicht gegeven van de behaalde rendementen. Om in de toekomst te komen tot het gewenste proces van een systeemkeuze dienen meer data verzameld te worden die behaalde rendementen direct koppelen aan ontwerpcriteria. De inspanningen die vanuit het innovatieprogramma door de waterschappen worden geleverd zijn een waardevolle bron om de relatie tussen ontwerp – prestatie – kosten inzichtelijk te maken.

4 Dit zijn: benzotriazol, methyl-benzotriazol, metoprolol, carbamazepine, clarithromycine, diclofenac en sulfamethoxazol.

7.2 BESCHRIJVING TECHNIEKEN

De in dit rapport gebruikte technieken zijn:

- PACAS: dosering van actief kool in actief slib tank. PACAS is een procedé waarin poedervormig actief kool wordt toegevoegd aan actief slib. Hiervoor wordt poedervormig actief kool opgelost in water. Deze slurry wordt vervolgens opgemengd met het aerobe deel van het actief slib. Hierdoor adsorberen microverontreinigingen aan dit poederkool en wordt de biologische afbraak van persistente microverontreinigingen door actief slib verhoogd. Dit komt mede doordat vanwege de lange verblijftijd van het actief kool in het actief slibstelsel (gelijk aan slibleeftijd, dus normaliter tussen 10 en 20 dagen), waardoor de bacteriën in de biofilm op het actief kool lang de tijd hebben om de stoffen af te breken. PACAS kan hierdoor worden ingezet om de basisverwijdering in het actief slib systeem te verhogen en zo te besparen op een nageschakelde techniek of zelfs een aanvullende techniek overbodig te maken doordat PACAS als zelfstandige techniek afdoende is. Uit het PACAS onderzoek dat in Papendrecht is uitgevoerd (STOWA 2018 – 02) is gebleken dat bij een dosering van 15 mg/l of hoger de minimale rendementseis van 70% op concentratiebasis conform de bijdrageregeling van het Rijk kan worden behaald.
- Ozon+zandfilter: dosering van ozon op effluent met nageschakeld zandfilter. Ozon (O_3) is een onstabiel molecuul, wat snel reageert met organische verbindingen in rwzi-effluent. Hierdoor worden zuurstof- en hydroxylradicalen ($OH\cdot$) gevormd. Vrij ozon en radicalen reageren vervolgens met de microverontreinigingen en andere, met name opgeloste, organische en anorganische verbindingen. Niet alleen microverontreinigingen reageren met ozon, ook de overige aanwezige organische moleculen worden geoxideerd. Dit wordt concurrentie met organische stof genoemd. Dit betekent, dat de benodigde ozondosering hoger is als opgeloste organische stof aanwezig is, dan dat alleen microverontreinigingen aanwezig zouden zijn. Door ozonisatie worden stoffen die aanwezig zijn in rwzi-effluent niet volledig gemineraliseerd. Om stoffen volledig te mineraliseren (tot CO_2 en H_2O) is een zeer grote hoeveelheid ozon nodig. De doseerhoeveelheid, die momenteel gebruikt wordt in afvalwaterbehandeling, is vele malen lager. Dit betekent dat bij ozonisatie van rwzi-effluent nagenoeg geen stoffen gemineraliseerd worden, maar dat microverontreinigingen en overige organische stof worden omgezet in andere onbekende stoffen, zogenaamde metabolieten, die nog toxische eigenschappen kunnen bezitten. Omdat het veelal niet bekend is welke metabolieten ontstaan, is het niet duidelijk welke eigenschappen deze nieuw gevormde stoffen bezitten. Omdat er nog geen gefundeerde uitspraken kunnen worden gedaan over de toxiciteit van geozoniseerd effluent, wordt daarom uit voorzorg na ozonisatie in Duitsland en Zwitserland een biologisch zandfilter nageschakeld, die tot doel zou hebben om eventueel toxische bijproducten biologisch om te zetten naar minder toxische producten.

Bij de toepassing van ozon kan het bromide gehalte in het effluent leiden tot te hoge bromaatconcentraties. Het Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe geeft aan dat bij de volgende bromide concentratie ozon nog wel of niet kan worden toegepast:

- < 100 $\mu\text{g/l}$ geen belemmering tot 0,7 $\text{gO}_3/\text{g DOC}$
- 100 – 150 $\mu\text{g/l}$ geen belemmering tot 0,5 $\text{gO}_3/\text{g DOC}$
- >150 $\mu\text{g/l}$: Ozon beter niet toepassen.

Of deze richtlijnen kunnen worden toegepast in de Nederlandse situatie en of een nageschakeld zandfilter noodzakelijk is wordt onderzocht.

- PAK + zandfilter: poedervorming actief kool met nageschakeld zandfilter. Om poedervormig actiefkool toe te voegen aan rwzi-effluent, moet het eerst opgemengd worden met water. Deze slurry wordt vervolgens opgemengd met het rwzi-effluent in een contacttank.

Daarna worden in deze contacttank polymeren en metaalzouten gedoseerd om de bezinkbaarheid van het koolslib te verbeteren. In deze contacttank adsorberen de microverontreinigingen aan de actiefkool. Het koolslib wordt vervolgens afgescheiden met een bezinktank en geretourneerd naar de contacttank. Een deel van het koolslib kan ook worden teruggeleid naar het actiefslibstelsel. Omdat niet alle poederkooldeeltjes worden afgescheiden door bezinking, wordt een zandfilter nageschakeld

- GAK: granulaire actief kool in filter. Behandeling van rwzi-effluent met granulair actief kool (GAK) bestaat uit een neerwaarts doorstroomd vastbedfilter gevuld met GAK. Aan het rwzi-effluent kan perslucht worden toegevoegd om de biologische afbraak van stoffen te stimuleren. Om verstopping van het filter te voorkomen, wordt het filter periodiek teruggespoeld met effluent. Dit spoelwater is vervuild met deeltjes en organische stof en wordt teruggestuurd naar de zuivering voor behandeling.

Er is een wezenlijk verschil tussen poederkool en granulair kool. Het werkingsprincipe voor beide soorten van actiefkool is gebaseerd op adsorptie. Verschillende stoffen adsorberen met verschillende snelheden op verschillende plekken in de actiefkool en worden daarmee deels verwijderd. Hydrofobe stoffen adsorberen beter aan actiefkool dan hydrofiele stoffen. Bij een mix van hydrofobe en hydrofiele stoffen in het te zuiveren water, zullen met name de hydrofobe stoffen de beschikbare adsorptieplaatsen bezetten. Organische stof is over het algemeen ook hydrofoob. Als het te zuiveren water veel (opgeloste) organische stof bevat, zal het verwijderingsrendement van hydrofiele stoffen sterk nadelig beïnvloed worden, vanwege deze “concurrentie met organische stof” Dit laatste treedt zowel op bij poederkool als bij granulair kool. Bij toepassing van granulair kool zorgt organische stof in de vorm van deeltjes voor een extra verlaging van het verwijderingsrendement, aangezien deze deeltjes de macroporiën bij granulair kool verstoppen. Daarnaast zorgt de wijze van toepassing van granulair kool in neerwaarts doorstroomde filters, dat verschillende microverontreinigingen eerder “doorbreken” dan andere. Hierdoor moet het filterbed al vaak worden vervangen voordat alle actieve plekken bezet zijn om microverontreinigingen te verwijderen. Samengevat is een gram granulair kool hierdoor minder efficiënt in de opname van de vereiste microverontreinigingen dan poederkool door de uitvoering van het filter en de korrelgrootte.

7.2.1 INVLOEDSFACTOREN RENDEMENTEN

STOFEIGENSCHAPPEN

Voor alle technieken geldt dat het zuiveringsrendement stof specifiek is. Afhankelijk van de stoffeigenschappen adsorberen sommige stoffen goed aan actiefkool en andere stoffen minder. Hetzelfde geldt voor de omzetting van stoffen door ozon. In de drinkwaterwereld kan vrij nauwkeurig worden voorspeld welke techniek welke omzettingen realiseert, en dus welke verwijderingsrendement behaald wordt. Omdat rwzi-effluent echter een zeer “vuile” matrix is, kan dit voor rwzi-effluent lastig voorspeld worden. Met name koolstof bevattende organische componenten, de zogenaamde DOC, veroorzaakt theoretisch niet te voorspellen spreidingen in verwijderingsrendementen (zowel positief als negatief).

INVLOED DOC DISSOLVED ORGANIC CARBON

Alhoewel er in het buitenland veel ervaring is opgedaan met oxidatie door Ozon en in mindere mate met UV/H₂O₂ en adsorptie aan actiefkool, is het lastig te voorspellen (voor stoffen die de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders willen verwijderen) wat de verwijderingsrendementen zullen zijn. Dit wordt alleen al veroorzaakt doordat de DOC-concentratie van Nederlands rwzi-effluent een factor 1,5 tot 2 hoger ligt dan in respectievelijk Duitsland en

Zwitserland. DOC concurreert voor alle technieken met de afbraak van organische microverontreinigingen. Om dezelfde verwijdering van microverontreinigingen te bewerkstelligen is een hogere inspanning nodig bij een hoger DOC-gehalte van rwzi-effluent. Dit uit zich met name in een benodigde hogere dosering van ozon of poederkool of in het geval van granulair kool in een langere contacttijd waardoor meer granulair actief kool beschikbaar is.

Industriële aanvoer van afvalwater zorgt in voorkomende gevallen ook voor bijkomende effecten. Deze kunnen adsorptie, oxidatie en biologische afbraak verhinderen, verminderen en/of in het geval van oxidatie leiden tot vorming van zeer persistente toxische verbindingen, zoals bijvoorbeeld bromaat en NDMA. Deze industriële verbindingen en aanwezigheid van bromide kunnen er toe leiden dat toepassing van oxidatieve technieken zoals ozon niet de voorkeur heeft, danwel dat ozon in lagere concentraties in combinatie met andere technieken moet worden toegepast om het gewenste verwijderingsrendement te behalen.

DOSERING EN ONTWERP

Bij het vertalen van de hydraulische ontwerpcapaciteit naar de benodigde omvang van contacttanks voor nageschakelde technieken wordt conform STOWA 2015-27 doorgaans gerekend met een minimale hydraulische verblijftijd. Deze ligt voor ozon, poederkool en granulair kool op respectievelijk 25, 35 en 30 minuten. De benodigde omvang van de contacttank is daarmee direct gekoppeld aan de gekozen hydraulische ontwerpcapaciteit.

In het ontwerp kan ook gekozen worden om de dosering van ozon of poederkool te verhogen of te verlagen ten opzichte van de standaard kentallen. Bij een vastgesteld te bereiken jaarrendement, ontstaat hierdoor de keuzemogelijkheid om de contacttanks kleiner te dimensioneren en tegelijkertijd een hoger rendement te bereiken door een hogere dosering.

Uit figuur 7.4 blijkt dat bij een hogere ozondosering een hoger rendement kan worden behaald (pilotresultaten AWZI Groote Lucht, STOWA 2018-46). Uit deze grafiek en de verdere resultaten uit STOWA 2018-46 blijkt dat stoffen die eenvoudig oxideerbaar zijn, zoals diclofenac, al bij 0,3 g ozon per gram DOC een zeer hoog verwijderingsrendement wordt bereikt. Voor minder goed oxideerbare stoffen, zoals benzotriazol en aanverwante stoffen, worden pas hogere verwijderingsrendementen bereikt bij doseringen vanaf 1,0 g O₃/g DOC. Een vergelijkbaar resultaat is waargenomen op de pilot Aarle Rixtel, zie bijlage II.2.

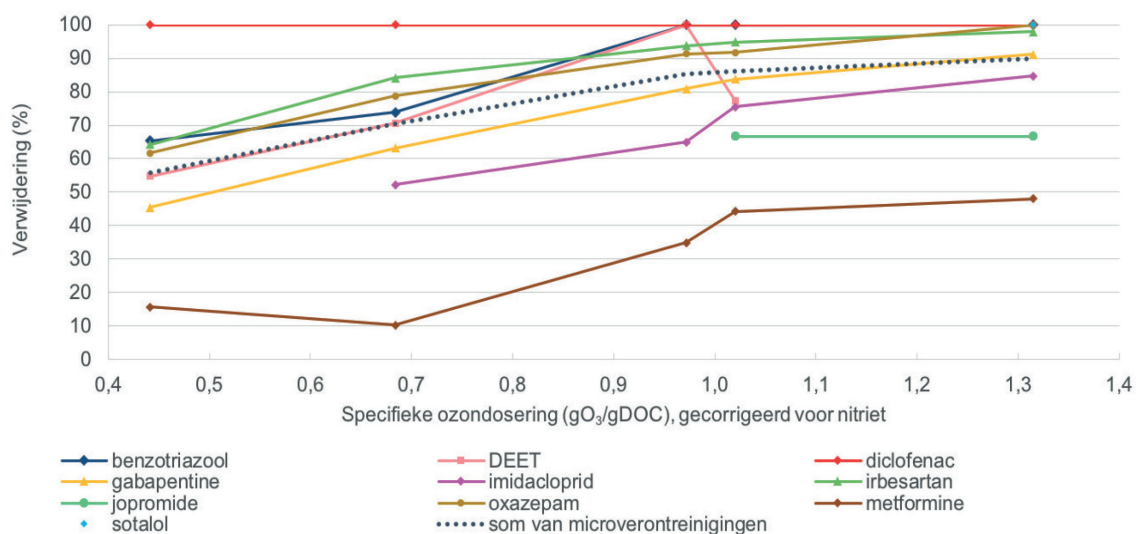
In hoeverre het zinvol is om via een hogere dosering te besparen op de hydraulische ontwerpcapaciteit hangt af van de DOC-waarde van het effluent, de verwijdering van microverontreinigingen door actief slib, de aanvullend ingezette techniek, de influentdynamiek en last but not least de ambitie ten aanzien van verwijdering van individuele of combinaties van organische microverontreinigingen. In de bijgevoegde 'tool' kan de gebruiker hier inzicht in krijgen.

COMBINATIES VAN TECHNIEKEN

De verwijdering van microverontreinigingen door inzet van technologieën is stofspecifiek, waarbij sommige stoffen juist goed verwijderd worden door biologische afbraak, terwijl andere stoffen juist gevoelig zijn voor oxidatie of voor adsorptie. Door combinaties van technieken in te zetten kan een breder pallet aan stoffen worden verwijderd en daarmee een hoger overall verwijderingsrendement worden bereikt. Deze inzet van combinaties, met name de combinatie van poederkool en oxidatieve technieken wordt momenteel onderzocht in het innovatieprogramma 'Microverontreinigingen uit rwzi-afvalwater' van STOWA/IenW. Deze combinaties van technieken zijn niet meegenomen als default in de 'tool'. De gebruiker kan echter wel zelf het verwachte verwijderingsrendement per stof aanpassen in de bijgevoegde

'tool' om zo inzicht te krijgen. Wel biedt de 'tool' de mogelijkheid om PACAS te combineren met een nageschakelde techniek.

FIGUUR 7.4 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN PILOT RWZI GROOTE LUCHT DOOR INZET VAN VERSCHILLENDE OZONDOSERINGEN. UIT: STOWA 2018-46



BEHANDELING VAN RWA

Het STOWA project 'Microverontreinigingen in afstromende neerslag op basis van influentmetingen en fingerprinting' (STOWA 2020-04) heeft als inzicht opgeleverd dat DWA de belangrijkste route is voor medicijnresten en ook voor de meeste andere organische microverontreinigingen. Afstromend regenwater bevat wel hoge concentraties PAKs, zware metalen, DEET en glyfosaat, maar deze stofgroepen worden op de rwzi al voor een deel verwijderd. De overige stoffen die specifiek in afstromend regenwater zitten, komen hierin voor in dermate lage concentraties dat afstromend regenwater, afgezien van PAK en zware metalen, niet leiden tot een verhoogde toxiciteit. Om deze reden is er geen aanleiding om, omwille van de verontreinigingen die specifiek alleen in neerslag voorkomen, te kiezen voor nabehandeling van RWA. De enige reden om een hoge hydraulische ontwerpcapaciteit te overwegen is indien het met de beoogde zuiveringstechniek niet mogelijk is om het gewenste jaarrendement te bereiken bij een ontwerpcapaciteit die ligt tussen $DWA_{24h\text{gemiddeld}}$ en $DWA_{\text{ontwerp\textit{p}iek}}$ conform STOWA 2015-27.

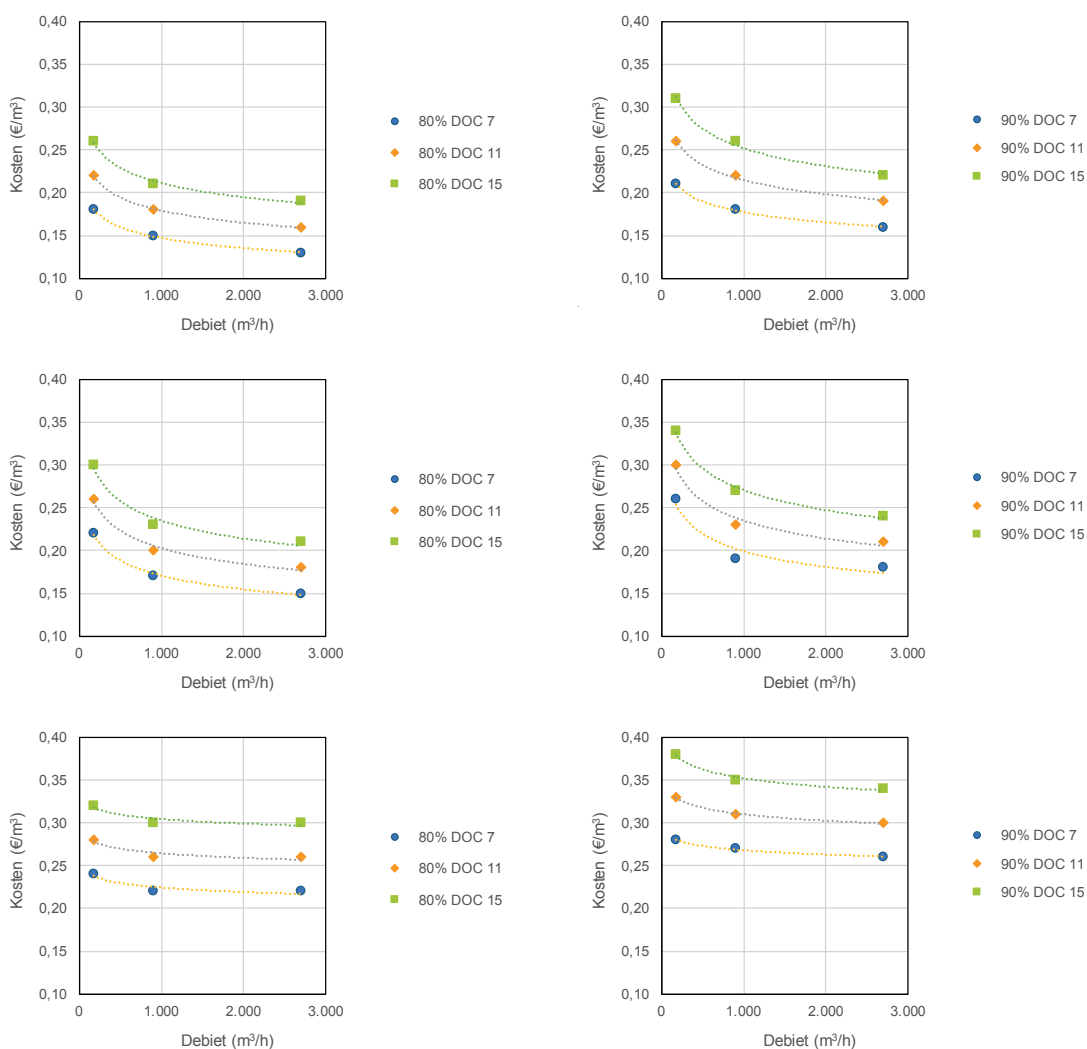
Tijdens RWA kan het wel zinvol zijn om de dosering van ozon of poederkool aan te passen en te variëren met de verblijftijd in de contacttanks om zo in te spelen op de lagere concentraties. De pilots en demo's dienen hier voor de Nederlandse situatie meer inzicht in te geven.

7.2.2 INVLOEDSFACTOREN KOSTEN

Voor inzicht in de kosten is gebruik gemaakt van het STOWA rapport 2015-27. Met de daarin beschikbare informatie is zoals eerder besproken nog geen inzicht te krijgen in kosten afhankelijk van het te behalen rendement van een stof of meerdere stoffen. Wel is inzichtelijk wat de verschillen zijn in kosten tussen de technieken, maar deze zijn berekend bij één set ontwerp-criteria per techniek. Op het moment dat andere keuzes worden gemaakt in het ontwerp van een techniek veranderen de kosten en is niet meer direct de link te leggen met het rendement zoals dat in de kostenberekeningen van STOWA 2015-27 is aangenomen. Om die reden kan met de nu beschikbare kostenkennallen alleen een eerste inzicht worden verkregen in de haalbaarheid van optimalisatiemaatregelen in aanvoer afvalwater en bedrijfsvoering rwzi, waarvan er drie in het volgende hoofdstuk worden besproken.

Om tot de kostenkentalen te komen is naast de gehanteerde ontwerpcriteria in het STOWA rapport 2015-27 een ontwerpdebiet afgeleid. Vervolgens zijn de kosten voor drie ontwerpdebieten te weten 180, 900 en 2.700 m³/h bepaald⁵. Deze kosten zijn berekend voor een rendement van 80% bij een DOC gehalte van 7, 11 of 15 mg/l. Ditzelfde is ook gedaan voor een rendement voor 90%. Dit hogere rendement wordt bereikt door hogere doseringen en daarmee hogere kosten oer behandelde m³. Per techniek zijn de kosten in euro per behandelde m³ als functie van debiet en DOC uitgezet. Met deze gegevens is per techniek en DOC gehalte een kostenformule vastgesteld. De kostenformule heeft de volgende vorm: kosten per m³ = a * debiet (m³/h)^b, waarbij a en b afgeleid worden uit de kostencurves per techniek (zie figuur 7.5). Met de formule is vervolgens voor elk willekeurig debiet en bijbehorend DOC gehalte de kostprijs per m³ berekend. Deze kostprijs (CAPEX+OPEX) is vervolgens weer in de ontwerpcurves gebruikt om de jaarlijkse kosten als functie van het te behandelen debiet af te leiden.

FIGUUR 7.5 KOSTENCURVES VOOR A: OZON + ZANDFILTRATIE, B: GAK + ZANDFILTRATIE EN C: GAK. KOSTEN PER M³ ALS FUNCTIE VAN ONTWERPDEBIET, DOC GEHALTE EFFLUENT EN ZUIVERINGSRENDEMENT. DE KOSTEN ZIJN CAPEX+OPEX EN INCLUSIEF BTW.



De belangrijkste invloedsfactoren voor de kosten zijn het te behandelen debiet en het DOC gehalte van het effluent. Het DOC gehalte in het effluent is een resultante van wat met het influent wordt aangevoerd en wat in de zuivering wordt gevormd. De DOC concentratie is niet te beïnvloeden door de zuivering anders te sturen (of te ontwerpen). In het innovatiepro-

⁵ Debieten komen overeen met zuivering van 20.000 i.e., 100.000 i.e. en 300.000 i.e.

gramma microverontreinigingen wordt onderzocht of het DOC gehalte verlaagd kan worden. Bij de toepassing van ozon en PAK is in de kostenberekening nu nog uitgegaan van de toepassing van zandfiltratie. De vraag is of dit altijd noodzakelijk is. Om deze vraag te beantwoorden is nog meer kennis nodig over de vorming van transformatieproducten en de aanwezigheid van restanten poederkool.

Voor de kosten van PACAS is uitgegaan van de kentallen die volgen uit het onderzoeksproject in Papendrecht, waarbij de kosten liggen in een range tussen 0,03 /behandelde m³ bij een dosering van 10 mg PAK/l en 0,055 €/behandelde m³ bij een dosering van 25 mg PAK/l.

NB1: de berekende kosten in dit rapport en de bijbehorende tool zijn gebaseerd op de huidige kennis en hiermee indicatief en bevatten een onnauwkeurigheidsmarge van 50-100%.

NB 2: door toepassing van PACAS stijgt de calorische waarde van het te verwerken zuiveringsslib. Afhankelijk van de verwerkingsroute kan dit leiden tot extra opbrengsten of kosten. Met name voor mono-slibverbranders die beperkt zijn in thermische capaciteit, kan dit leiden tot extra kosten. Dit wordt momenteel in kaart gebracht. In dit rapport is met deze kostendaling – of stijging nog geen rekening gehouden.

8

STAP 5. VERKEN REK IN ONTWERPCURVES

Door aanpassingen in de riolering, de biologische zuivering of de nabehandeling verschuift de rendementscurve, waardoor mogelijk kan worden volstaan met een kleinere capaciteit van de nabehandeling.

8.1 REK IN AANVOERPATROON

Het aanvoerpatroon op de rwzi is de resultante van de kenmerken van het rioelstelsel, het transportsysteem en het lozingsgedrag van de inwoners en bedrijven. Het STOWA rapport 'rek in afvalwatersystemen' (STOWA 2019-03) geeft een overzicht van een groot aantal mogelijkheden om via maatregelen aan de riolering en het transportsysteem het functioneren van de rwzi positief te beïnvloeden. Een deel van deze maatregelen heeft invloed op de vorm van de DWA curve uit figuur 6.1 of op de afvoercurve uit figuur 6.2. Met het oog op het ontwerp van nageschakelde technieken (of technieken die in het actief slib worden toegepast en daarmee geen invloed hebben op de stroom via de regenwaterlijn, zoals opgenomen in figuur 5.2 en 5.3) geldt dat het gunstig is indien:

- de DWA curve zo vlak mogelijk loopt met een zo laag mogelijke DWA_{piek}
- de (jaar)afvoercurve zo steil mogelijk loopt, zodat een zo groot mogelijk deel van de jaarafvoer kan worden behandeld met een zo klein mogelijke capaciteit van de nabehandeling

De piek in de DWA curve kan worden verlaagd door:

- DWA afvlakking, waarbij de DWA tijdens de piekuren wordt geborgen in de riolering en/of samenloop van de afvoer van verschillende bemalingsgebieden wordt beperkt
- Rioolvreemd water van het riool af te halen
- Samenloop van de afvoer van grote niet-huishoudelijke lozers (bedrijven, vuilstort) met de piek in de huishoudelijke DWA te beperken door het benutten van aanwezige buffers
- Samenloop van de afvoer van de slibverwerking met de piek in de huishoudelijke DWA te beperken door het benutten van aanwezige buffers
- Waterbesparingsmaatregelen

De (jaar)afvoercurve wordt steiler naarmate:

- de piek in de DWA curve afneemt, zoals hiervoor geschetst
- rioolvreemd water wordt gereduceerd
- de RWA capaciteit wordt verlaagd
- door afkoppelen minder regenwater naar de rwzi wordt afgevoerd

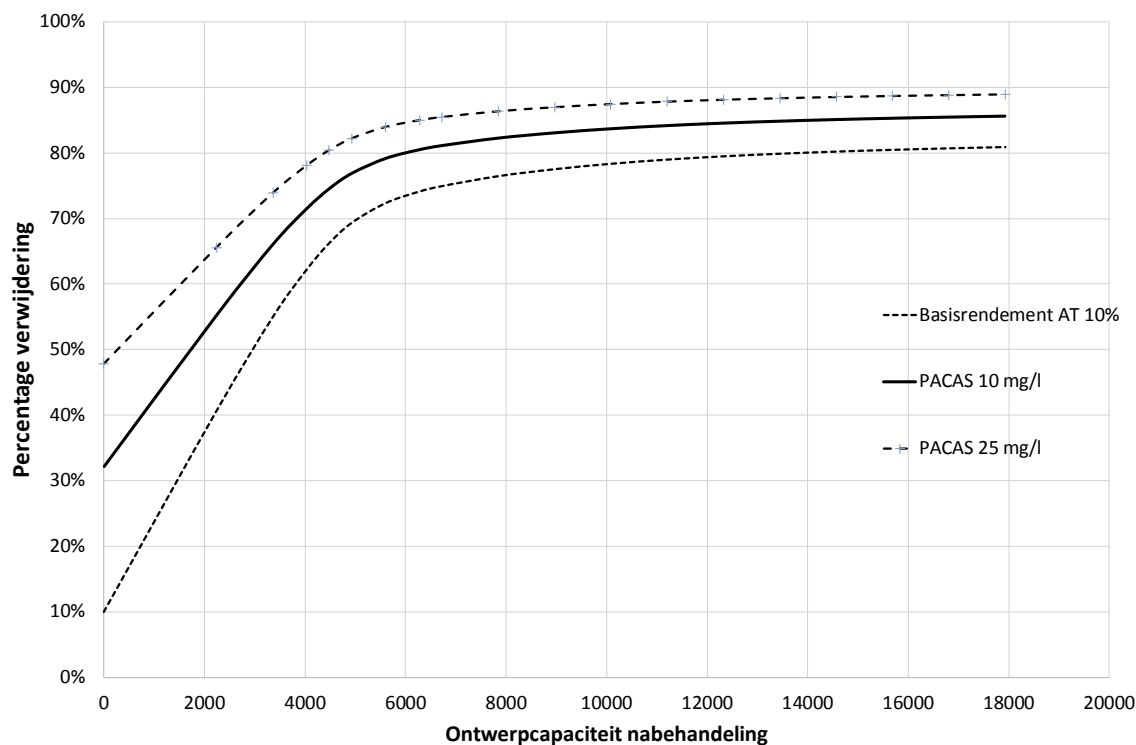
8.2 REK IN ACTIEF SLIB

Het rendement van het actiefslib systeem/zuivering is een belangrijke invloedsfactor voor het te behandelen debiet. Dit rendement is te verhogen door het doseren van poederkool (PACAS). Met een hoger rendement in het actief slib kan de nabehandelingsinstallatie hydraulisch

kleiner uitgevoerd worden en kan mogelijk op kosten worden bespaard indien de besparing tenminste even groot is als de kosten voor de PACAS dosering. In gevallen dat het beoogde rendement al kan worden bereikt met PACAS is aanvullende zuivering dan natuurlijk niet meer nodig.

Zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk is PACAS per m³ goedkoper dan de andere gebruikte technieken, maar met PACAS wordt de gehele afvalwaterstroom behandeld, terwijl bij nageschakelde technieken alleen de nageschakelde deelstroom moet worden behandeld. Het optimum is daarbij onder meer afhankelijk van doseringen, het basisrendement van het actief slib en de aanvoercurve. Voor het voorbeeld, dat is gebaseerd op de afvoercurve van rwzi Eindhoven, is doorgerekend welk effect het toepassen van PACAS heeft op de benodigde hydraulische capaciteit van de nageschakelde techniek. Figuur 8.1 toont het percentage verwijdering van de jaarvrucht voor een nageschakelde techniek met een rendement van 80% voor drie opties: geen PACAS, PACAS met lage dosering en PACAS met hoge dosering. Uit de figuur valt af te leiden dat een rendement van 70% op jaarbasis kan worden bereikt met nageschakelde techniek met een capaciteit van 4.930 m³/h zonder toepassing van PACAS, terwijl bij toepassing van PACAS met een dosering van 25 mg PAK/l een capaciteit van 2.241 m³/h al volstaat.

FIGUUR 8.1 PERCENTAGE VERWIJDERING AFHANKELIJK VAN ONTWERPCAPACITEIT NABEHANDELINGSTECHNIEK MET EEN ZUIVERINGSRENDEMENT VAN 80% BIJ TOEPASSING VAN HET BASISRENDEMENT VAN 10% EN BIJ AANVULLENDE INZET VAN PACAS MET EEN DOSERING VAN 10 MG PAK/L EN EEN DOSERING VAN 25 MG PAK/L



Tabel 8.1 geeft een overzicht van de jaarlijkse kosten voor de drie opties uit figuur 8.1. Uitgangspunt voor de kostenberekening is een DOC in het effluent van 11 mg/l en toepassing van ozon plus zandfiltratie. Uit de tabel komt naar voren dat in het rekenvoorbeeld toepassing van PACAS met een hoge dosering resulteert in de laagste jaarlijkse kosten. Het verschil tussen de duurste en goedkoopste optie is echter minder dan 10%, waarmee deze verschillen beperkt zijn. Gezien de onzekerheden die een rol spelen in het ontwerp is dit voordeel waarschijnlijk te beperkt om op basis van 10% voordeel voor een combinatie van

PACAS+Ozon plus zandfiltratie te kiezen. De kostenverschillen tussen de verschillende technieken, ozon+zandfiltratie, PAK + zandfiltratie en GAK zijn beduidend groter, zie figuur 7.4.

TABEL 8.1 JAARLIJKSE KOSTEN 70% MEDICIJNVERWIJDERING MET BEHULP VAN OZON AL DAN NIET IN COMBINATIE MET PACAS

Parameter	Eenheid	Basisrendement actief slib 10%	Rendement actief slib 32% door poederkooldosering 10 mg PAK/l	Rendement actief slib 48% door poederkooldosering 25 mg PAK/l
Ontwerpcapaciteit ozon + zandfiltratie	m ³ /h	4.930	3.361	2.241
eenheidskosten nabehandeling ⁶	€/m ³	0,149	0,156	0,164
Kosten nabehandeling met ozon	miljoen €/j	5,8	4,5	3,2
eenheidskosten PACAS ⁷	€/m ³	-	0,029	0,055
Kosten PACAS	miljoen €/j	-	1,3	2,1
Kosten totaal	miljoen €/j	5,8	5,6	5,3

Nuancering bij deze vergelijking is nog wel dat de kosten en (verwachte) prestaties van PACAS gebaseerd zijn op onderzoek op één zuivering. De PACAS installaties die de komende vijf jaar worden gerealiseerd bieden de kans om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen ontwerp (dosering) – prestatie (rendement per stof) en kosten. Tot slot is bij de berekening van de kosten voor PACAS geen rekening gehouden met de impact van de aanwezigheid van poederkool in slib op de slibeindverwerkingskosten. De aanwezigheid van poederkool verhoogde de energetische waarde van het slib. Bij de verwerking van dit slib in een verbrandingsinstallatie zal dit de capaciteit (doorzet) van de installatie verlagen en de kosten per ton slibkoek verhogen. De mate waarin zal sterk afhankelijk zijn van het aandeel slib + poederkool in de totaal te verwerken slibhoeveelheid. In een ander STOWA onderzoek wordt de impact van poederkool in slib op de slibeindverwerking in meer detail in beeld gebracht.

De kostenberekening uit tabel 8.1 laat ook zien welke forse besparing mogelijk is indien het rendement van het actief slibstelsel aantoonbaar hoger ligt dan de default 10%. Stel dat uit metingen volgt dat het rendement 32% is (vergelijkbaar in dit geval met effect van lage dosering PACAS, de 4^e kolom uit tabel 8.1), dan liggen de jaarlijkse kosten bij nabehandeling met Ozon 1,3 miljoen € lager dan bij toepassing van het default rendement van 10%. Bij een dergelijke rwzi is het daarmee al snel lonend om het rendement van het actief slib systeem via metingen te bepalen, zoals aangegeven in stap 1 in hoofdstuk 4.

6 Op basis van 80% verwijdering met ozon bij een DOC van 11 mg/l

7 Dit zijn de kosten bij een dosering van 10 mg PAK/l voor een zuivering van 100.000 i.e. De rwzi Eindhoven is vele malen groter (ruim 700.000 i.e.), dus de kosten liggen wellicht iets lager.

9

STAP 6. DIMENSIONEER AANVULLENDE BEHANDELING

Het beoogde verwijderingsrendement voor microverontreinigingen kan op veel manieren worden bereikt. Bij het ontwerp moet een keuze gemaakt worden uit een of meerdere zuiveringstechnieken, die in het actief slib worden toegepast of als nageschakelde techniek worden ingezet. Daarnaast moet een keuze worden gemaakt van de omvang van de te behandelen (deel-)stroom.

Na het doorlopen van stap 5 kan de keuze voor een techniek en bijbehorende benodigde hydraulische capaciteit gemaakt worden. Belangrijk aandachtspunt in deze stap is welke veiligheidsmarge/ontwerpreserve daar bovenop moet worden toegepast in het ontwerp. Belangrijk aandachtspunt is het rekening houden met toekomstige ontwikkelingen tijdens de levensduur van de nageschakelde techniek. Denk daarbij in ieder geval aan veranderingen in de DWA (sommige gebieden zien gestage groei door inwoners, andere soms plotselinge afname door afhaak industrie), de hoeveelheid rioolvreemd water, mogelijke veranderingen in de te selecteren referentiestoffen of een aanpassing van het benodigde verwijderingsrendement.

10

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

10.1 CONCLUSIES

In de tot nu toe verschenen (STOWA) onderzoeken naar de verwijdering van organische microverontreinigingen uit effluent ligt de nadruk veelal op de kosten, verwijderingsrendementen en voor- en nadelen van de in te zetten technieken. Voor de benodigde hydraulische ontwerpcapaciteit wordt daarbij tot nu toe uitgegaan van de in STOWA 2015-27 opgenomen piekfactor van $1,66 \cdot DWA_{24 \text{ h gemiddeld}}$. In de praktijk varieert de aanvoerdynamiek fors tussen verschillende rwzi's. Daarnaast volgt uit recent onderzoek dat het verwijderingsrendement voor organische microverontreinigingen van het actief slib systeem zonder aanvullende technieken (het basisrendement) varieert tussen rwzi's, maar ook tussen verschillende bemonsteringen op dezelfde rwzi. Het actief slibrendement bedraagt gemiddeld 30% voor de gidsstoffen van het ministerie van IenW variërend van 10-50% tussen rwzi's. Daarnaast is de spreiding in de gemeten rendementen per rwzi en per stof hoog met een typische orde van grootte van 20-50% ten opzichte van het gemiddelde. Verklaringen voor de verschillen in rendementen per rwzi en per stof zijn helaas nog niet beschikbaar. Daarnaast is tot op heden nog niet gemeten aan invloed van retourstromen uit een centrale gisting en/of slibontwatering. Als default is in dit rapport het minimum van 10% voor de gidsstoffen van het ministerie van IenW uit de metingen aangehouden om een veilig ontwerp te krijgen.

Op basis van de verkenningen die in het kader van dit project zijn gedaan zijn de volgende conclusies getrokken:

- het basisverwijderingsrendement voor medicijnresten van het actief slib, de aanvoerdynamiek, het beoogde jaarlijkse verwijderingsrendement en het rendement van de nageschakelde techniek zijn de belangrijkste factoren voor de hydraulische ontwerpcapaciteit van nageschakelde technieken
- met behulp van de ontwikkelde 'tool' voor het ontwerp wordt snel inzicht verkregen in de invloed van deze factoren voor een specifieke rwzi
- het toepassen van de ontwerprichtlijnen uit STOWA 2015-27 zonder rekening te houden met de eigenschappen van de rwzi in termen van basisrendement actief slib en aanvoerregime, leidt tot een veilig ontwerp bij een basisrendement van 10% voor de gidsstoffen van IenW en een jaarrendement van 70% .
- bij een basisrendement dat hoger ligt dan genoemde 10%, leidt het toepassen van de standaard piekfactor van 1,66 tot een onnodig grote hydraulische ontwerpcapaciteit en daarmee tot een te duur ontwerp. Reducties tot 30% in hydraulische ontwerpcapaciteit zijn haalbaar. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat goed inzicht wordt verkregen in de (variëaties en spreiding) in actief slib rendement door een uitgebreide meetcampagne uit te voeren.
- een combinatie van PACAS met nageschakelde ozon kan, afhankelijk van het basis actief slib rendement van de rwzi, leiden tot een besparing van 10% op de jaarlijkse kosten ten opzichte van alleen toepassing van ozon.

10.2 AANBEVELINGEN

Bij het opstellen van de tool om een beter inzicht te verkrijgen in de hydraulische ontwerp-capaciteit voor vergaande zuivering van microverontreinigingen is een aantal kennishiaten naar voren gekomen. Aanbevolen wordt om dit verder op te pakken. Het daarbij om:

- terugbrengen van de onzekerheid in de bepaling van het basisrendement van het actief slib systeem door op meerdere rwzi's uitgebreide meetcampagnes uit te voeren en inzicht te krijgen in de invloed van verschillende bemonsterings- en analysemethoden, zodat uiteindelijk reproduceerbare analyses mogelijk zijn.
- onderzoeken bepalende factoren voor verschillen in het basisrendement van het actief slib systeem, zoals de invloed van de procesconfiguratie van rwzi's en de invloed van retourstromen vanuit (centrale) vergistings- en ontwateringsinstallaties.
- het effect van lage doseringen poederkool op het rendement van het actief slib en de invloed daarvan op het rendement van nageschakelde technieken
- de effecten van hoge doseringen ozon op ongewenste nevenproducten
- aanscherpen kostenkennissen aan de hand van praktijkervaringen, inclusief de doorwerking op de kosten van de slibeindverwerking

REFERENTIES

Berkhof, D., Boersma, A., Evenblij, H., Roeleveld, P., Kujawa-Roeleveld, K., Schuman, E., Meier, A., Nafo, I. (2018). PACAS poederkooldosering in actiefslib voor verwijdering van microverontreinigingen. Onderzoek naar effectiviteit en efficiëntie op rwzi Papendrecht. STOWA 2018-02.

de Been, P., van den Braak, M., Boersma, J., Helsen, O., Koomen, A., Aulich, C., Tolman, Y., Knol, E., Scherrenberg, S., van der Oost, R., Leenen, I., Schuman, E., Kujawa-Roeleveld, K., de Wilt, A., Ijpelaar, G. (2018). Zoetwaterfabriek awzi De Groote Lucht. Pilotonderzoek ozonisatie en zandfiltratie. STOWA 2018-46

Götz, G., Otto, J., Singer, H. (2015) Überprüfung des reinigungs effects – Eiswahl geeigneter organischer spurenstoffe, Aqua & Gas (2015) nummer 2

Langeveld J., Van Daal P., Schilperoort R., Nopens I., Flaming T., Weijers S. (2017). Empirical sewer water quality model for generating influent data for WWTP modelling Water (Switzerland),9 (7) 491

Langeveld, J., Voorthuizen, E. van (2019). Rek in afvalwatersystemen: hulpmiddel voor verkennen ruimte voor optimalisatie. STOWA 2019-03

Langeveld, J.G., Post, J.A.B., Liefing, H.J. (2020). Microverontreinigingen in afstromende neerslag op basis van influentmetingen en fingerprinting. STOWA-rapport 2020-04.

Mulder, M., Antakyali, D., Ante, S. (2015) Verwijdering van microverontreinigingen uit effluënten van rwzi's. STOWA 2015-27

Schuman, E., Evenblij, H., en Verhoek, T. (2019). Verwijderingsrendementen microverontreinigingen op RWZI's in regio Rijn-Oost. Rapport Royal HaskoningDHV

Stoll, J-M., Frank, K., von Arx, D., Thomann, D., Obrecht, J., Sobaszkiwicz, M., Boller, M., Freisler, P. (2015) PAK im Belebtschlammbecken: Elimination von Mikroverunreinigungen in der ARA mit Pulveraktivkohle im Belebtschlammbecken, www.umtech.ch.

van Nieuwenhuijzen, A., Bloks, B., Essed, A., de Jong, C. (2017). Verkenning technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater. STOWA 2017-36

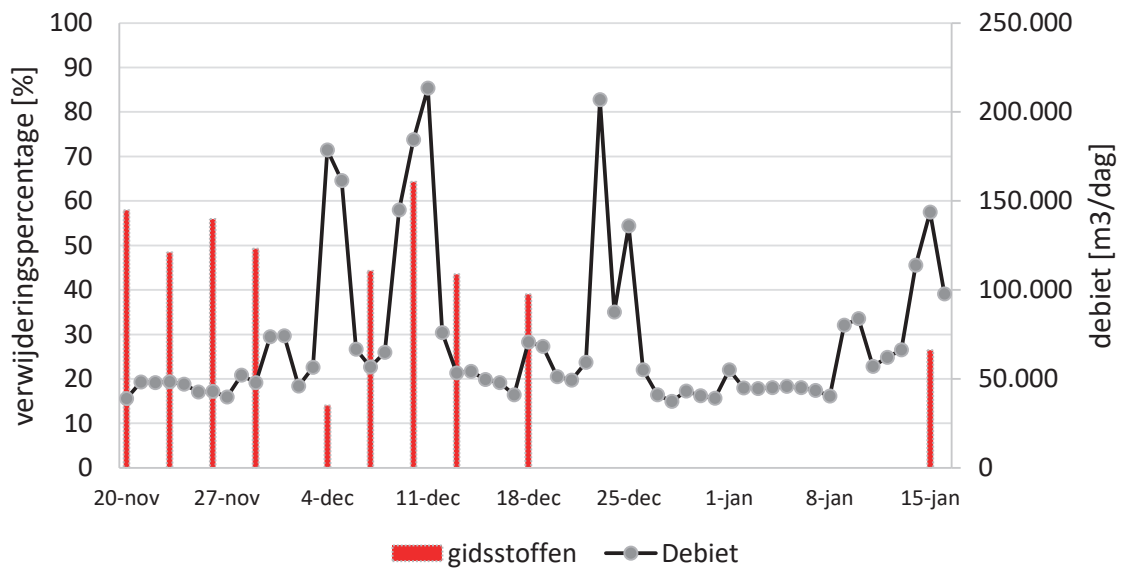
Vissers, M., Vergouwen, L., Witteveen, S. (2017). Landelijke hotspot analyse geneesmiddelen RWZI's. STOWA 2017-42

BIJLAGE I

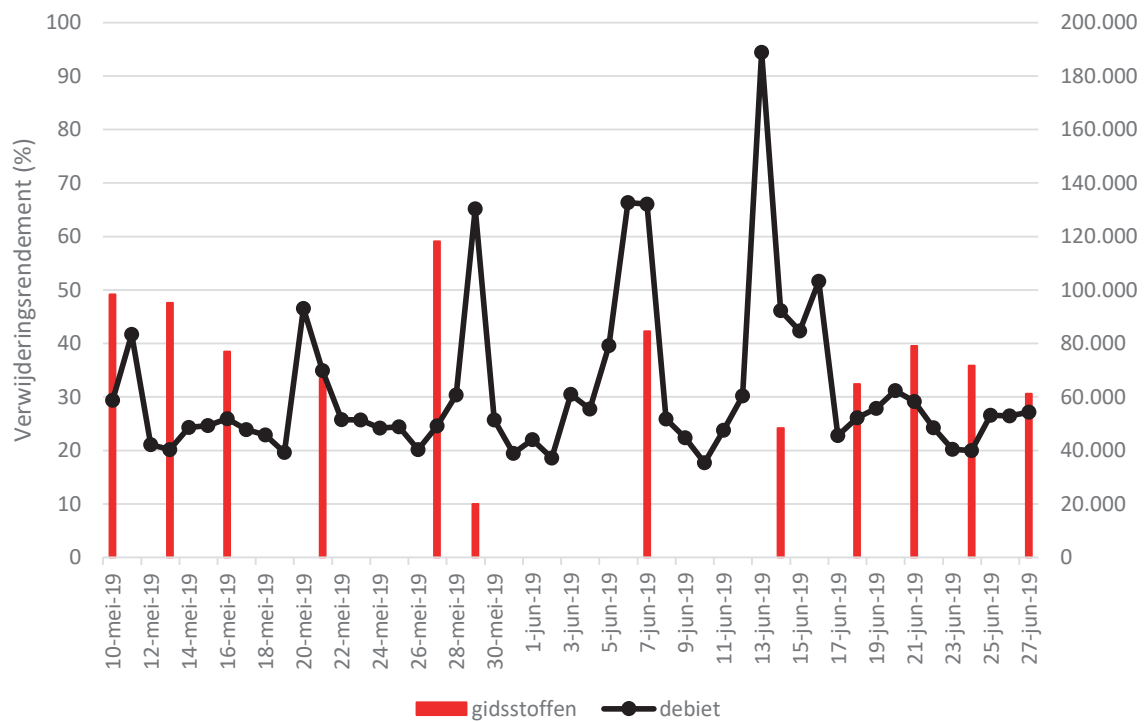
VERWIJDERINGSRENDEMENTEN ACTIEF SLIB AARLE RIXTEL

Bron: Resultaten pilotstudies Aarle Rixtel in publicatie (versie februari 2020)

FIGUUR 1.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN DUURPROEF 1 AARLE RIXTEL; MONSTERNAME OP BASIS VAN 24-H DEBIETPROPORTIONELE MONSTERS MET 24H VERTRAGING START EFFLUENTKAST TEN OPZICHT VAN DE INFLUENTKAST

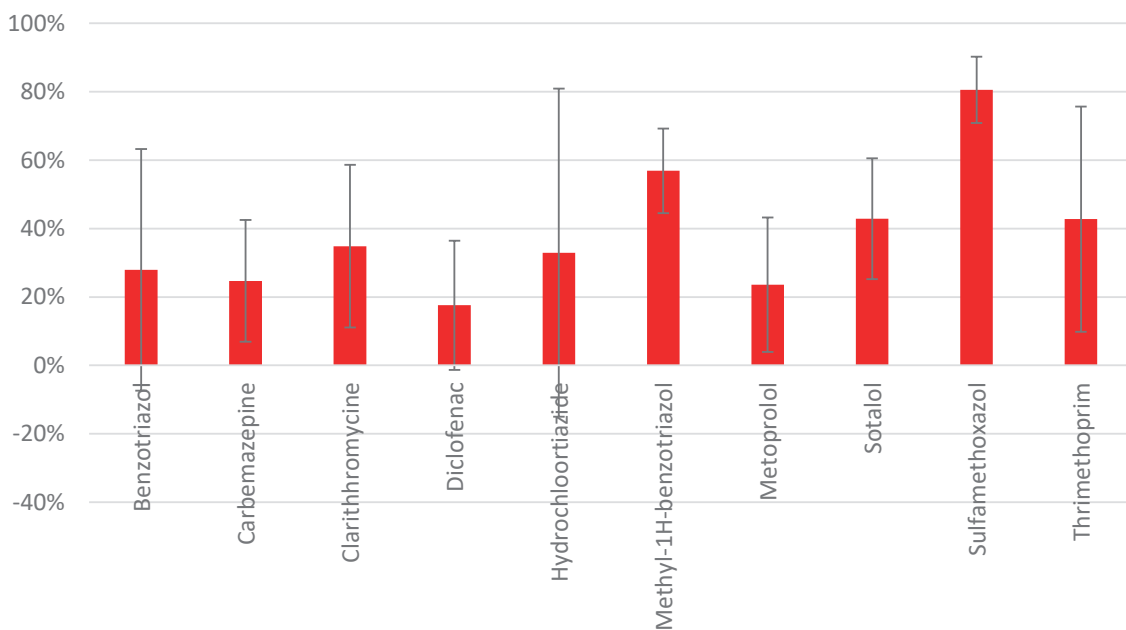


FIGUUR 1.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN DUURPROEF 2 AARLE RIXTEL; MONSTERNAME OP BASIS VAN 24-H DEBIETPROPORTIONELE MONSTERS MET 24H VERTRAGING START EFFLUENTKAST TEN OPZICHT VAN DE INFLUENTKAST



NB. In de rapportage van deze pilot is geen verklaring gezocht voor de verschillen in verwijderingsrendementen bij regenweeraanvoer. De verhoogde aanvoer van regenweer correleert niet met de verwachte afname in verwijderingsrendementen van gidsstoffen. Zo is het verwijderingsrendement op 13 december hoog, op 7 juni normaal, terwijl dit op 28 mei laag is.

FIGUUR 1.3 VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN DUURPROEF 2 AARLE RIXTEL OP BASIS VAN 10 MONSTERS 24-H DEBIETPROPORTIONELE MONSTERS MET 24H VERTRAGING START EFFLUENTKAST TEN OPZICHT VAN DE INFLUENTKAST (BEMONSTERINGSPERIODE 10 MEI -27 JUNI EXCLUSIEF RWA-BEMONSTERING 28/29 MEI)



BIJLAGE II

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN

NAGESCHAKELDE BEHANDELING MET OZON

OF POEDERVORMIG ACTIEFKOOL

In Nederland zijn tot op heden twee pilots uitgevoerd met nageschakelde behandeling van ozon. Tabel II.1 geeft een overzicht van de resultaten voor de huidige 11 gidsstoffen meegenomen en voor de 8 kandidaat gidsstoffen. De kandidaat gidsstoffen komen voort uit het onderzoek naar nauwkeurigheid van analyse en bemonstering van rwzi-afvalwater door de werkgroep fysisch-chemische analyses van de STOWA. In hoeverre het wenselijk is deze kandidaat gidsstoffen daadwerkelijk te gaan gebruiken is nog onduidelijk. Vanuit de bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten' van het Rijk en het innovatieprogramma 'Microverontreinigingen uit rwzi-afvalwater' van STOWA wordt echter wel aanbevolen om zowel de 11 vastgestelde gidsstoffen als de 8 kandidaat gidsstoffen te analyseren in het influent en effluent van respectievelijk de demo's en pilots om de vergelijkbaarheid van resultaten mogelijk te maken.

TABEL II.1 OVERZICHT VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VOOR (KANDIDAAT) GIDSSTOFFEN BIJ OZON DOSERING IN NEDERLANDSE PILOTS

Stof	Status gidsstof	Pilot AWZI Groote Lucht 0,84 g O3/g DOC*	Pilot AWZI Groote lucht, 1,09 g O3/g DOC*	Pilot AWZI Aarle Rixtel 1,2 g O3/g DOC*
amisulpride	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
azythromycine	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	80-90
benzotriazol	gidsstof	65-85	85-95	70-75
candesartan	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
carbamazepine	gidsstof	90-95	>95	> 95
citalopram	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
clarithromycine	gidsstof	90-95	90-95	90-95
diclofenac	gidsstof	90-95	90-95	> 95
furosemide	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet bepaald
gabapentine	kandidaat gidsstof	65-80	80-85	60-70
hydrochloorthiazide	gidsstof	80-95	80-90	85-95
irbesartan	kandidaat gidsstof	75-85	90-95	80-85
metoprolol	gidsstof	>95	>95	80-90
propranolol	gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet bepaald
sotalol	gidsstof	80-90	85-95	85-90
sulfamethoxazol	gidsstof	Niet bepaald	90-95	80-90
trimethoprim	gidsstof	85-95	90-95	90-95
venlafaxine	kandidaat gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
som	gidsstof	Niet gemeten	Niet gemeten	80-90
4-,5-methylbenzotriazol				

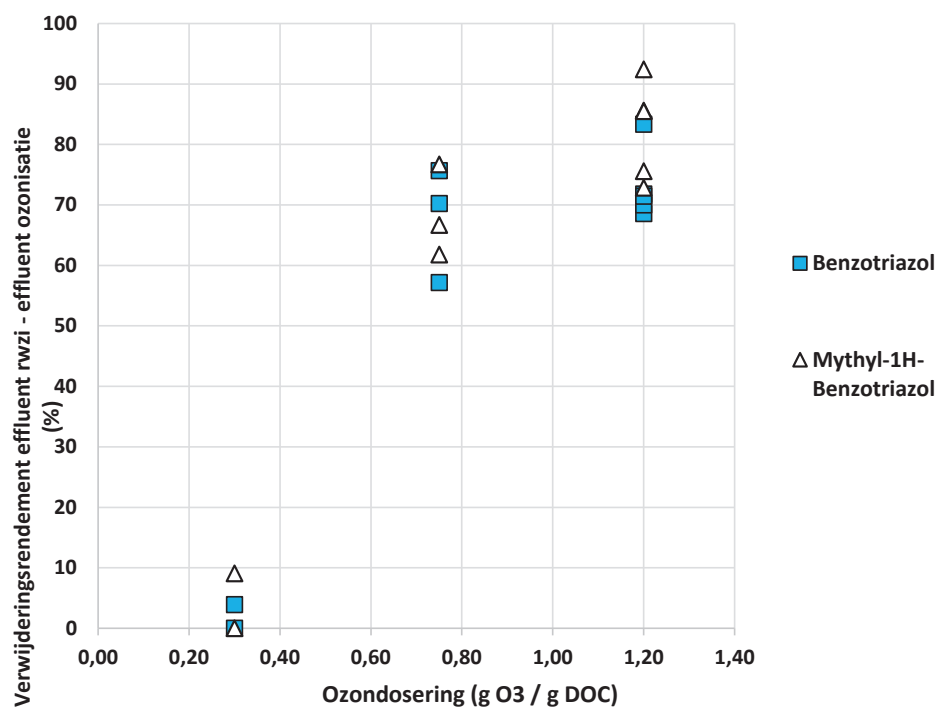
* Niet gemeten: stof is niet gemeten (niet in monitoringspakket); Niet bepaald: concentratie stof in influent < rapportagegrens

TABEL II.2 OVERZICHT VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VOOR (KANDIDAAT) GIDSSTOFFEN BIJ OZON DOSERING IN INTERNATIONAAL ONDERZOEK (GÖTZ ET AL., 2015)

Stof	Status gidsstof	Zwitserland/Duitsland 0,7 g O ₃ /g DOC	Zwitserland/Duitsland 12 mg/l PAK
amisulpride	kandidaat gidsstof	85-95	> 95
azythromycine	kandidaat gidsstof	85-95	80-90
benzotriazol	gidsstof	50-70	80-90
candesartan	kandidaat gidsstof	60-80	50-70
carbamazepine	gidsstof	>95	85-95
citalopram	kandidaat gidsstof	80-90	90-95
clarithromycine	gidsstof	85-95	70-90
diclofenac	gidsstof	>95	80-90
furosemide	kandidaat gidsstof	Onbekend	Onbekend
gabapentine	kandidaat gidsstof	<10	<5
hydrochloorthiazide	gidsstof	70-90	80-90
irbesartan	kandidaat gidsstof	60-80	80-90
metoprolol	gidsstof	60-80	90-95
propranolol	gidsstof	60-80	50-70
sotalol	gidsstof	80-90	70-90
sulfamethoxazol	gidsstof	80-90	50-70
trimethoprim	gidsstof	85-95	70-90
venlafaxine	kandidaat gidsstof	70-90	70-90
som	gidsstof	60-80	80-90
4-,5-methylbenzotriazol			

Uit tabel II.1 blijkt dat zowel op de pilot Groote Lucht als Aarle Rixtel gekozen is voor een hogere ozon dosering dan de in Duitsland en Zwitserland gebruikelijke 0,7 gO₃/gDOC. Deze keuze is gemaakt om zo een hogere verwijderingsrendement te bewerkstelligen. Uit de tabel blijkt dat een hogere dosering voor de moeilijk oxideerbare componenten zoals benzotriazol en methylbenzotriazol ook voor een hogere verwijdering zorgt, zie ook figuur II.1.

FIGUUR II.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT PILOT AARLE RIXTEL DUURPROEF 2 ((BEMONSTERINGSPERIODE 10 MEI -27 JUNI EXCLUSIEF RWA-BEMONSTERING 28/29 MEI 2019)



De hiervoor beschreven resultaten zijn echter niet representatief voor de benodigde verwijdering van 70% overall (effluent nageschakelde techniek ten opzichte van influent) conform de bijdrageregeling van het Rijk. De daarvoor benodigde dosering van ozon ligt conform buitenlandse resultaten op maximaal 0,7 g O₃/g DOC. Op basis van tabel II.3 met daarin de resultaten van buitenlands onderzoek, is ervan uitgegaan dat bij 0,7 g O₃/g DOC het verwijderingsrendement van de nageschakelde techniek 80% bedraagt. Voor poederkool wordt conform STOWA 2015-27 en STOWA 2017-36 uitgegaan van een maximale dosering van 12 mg/l op rwzi-effluent om ditzelfde resultaat te bereiken.

BIJLAGE III

TYPE EN HERKOMST ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

Medicijnresten zijn (helaas) niet de enige soort organische microverontreiniging die aanwezig is in het effluent van de rwzi's. Naast medicijnresten worden onder meer de stofgroepen uit tabel III.1. aangetroffen. Voor veel van deze stoffen zijn de verwijderingsrendementen op rwzi's zonder toepassing van aanvullende zuiveringstechnieken bekend.

TABEL III.1 OVERZICHT MICROVERONTREINIGINGEN UIT DE LANDELIJKE EMISSIEREGISTRATIE WAARVOOR RENDEMENTEN EN CONCENTRATIES BEKEND ZIJN

Stofgroep	Stoffen
Biociden/herbiciden	Carbendazim
BTEX (aromatische koolwaterstoffen)	Ethylbenzeen, Benzeen, Toluene, Xylenen (Totaal)
Ftalaten	Ftalaten, Dibutylftalaat
Industriële chemicaliën	Methyl-T-butylether, Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe), Di(2-Ethylhexyl), Ftalaat, Bisfenol A
Bestrijdingsmiddelen	2,4-Dichloorfenoxiazijnzuur, Mecoprop, Glyfosaat
Insecticide	DEET (Diethyl-m-Toluamide),
Medicijnen	Carbamazepine, Diclofenac, Bezafibraat, Metoprolol, Naproxen, Ibuprofen, Gabapentine, Oxazepam
PCBs	PCBs
PAKS	Fenanthreen, Anthraceen, Fluorantheen, Chryseen, Benzo(a)Anthraceen, Benzo(a)Pyreen, Benzo(b)Fluorantheen, Benzo(k)Fluorantheen, Benzo(ghi)Peryleen, Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen, Naftaleen, Acenaftheen, Acenafthyleen, dibenzo(ah)anthraceen, fluoreen, pyreen, PAK (16 van EPA)
VOCs	Tetrachlooretheen, Trichlooretheen, Trichloormethaan

HERKOMST ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

Medicijnresten bevinden zich, voor zover van humane oorsprong, vrijwel volledig in de droogweerafvoer (DWA) die aankomt bij de rwzi. Dat geldt echter niet voor alle organische microverontreinigingen. Een deel van de organische microverontreinigingen, zoals Glyfosaat, komt alleen voor in de afstromende neerslag in de RWA, terwijl een ander deel zowel voorkomt in DWA als in RWA. Daarnaast speelt dat sommige microverontreinigingen zich tijdens DWA hechten aan de biofilm of het sediment in het riool en bij neerslag in de vorm van een piekbelasting vrijkomen.

Dit maakt dat de bijvangst voor andere organische microverontreinigingen bij de verwijdering van medicijnresten stof(groep) afhankelijk is.

In een parallel STOWA project (Microverontreinigingen in hemelwater (RWA)) is in beeld gebracht via welke route microverontreinigingen bij de rwzi aankomen (DWA-RWA) voor een groot scala aan stoffen.

Tabel III.2 geeft voor een deel van de stoffen uit tabel III.1 aan in welke deelstroom de stoffen zich voornamelijk bevinden, zodat een inschatting kan worden gemaakt van de bijvangst voor deze stoffen bij de verschillende behandelingstechnieken. Naast de in tabel III.2. opgenomen stoffen is in het genoemde STOWA project een groot aantal bestrijdingsmiddelen bemeaten. De meeste komen niet voor in rwzi influent, maar een aantal stoffen vormt de duidelijke

‘kopgroep’ van stoffen die veel voorkomen. Het betreft DEET, Fipronil, Permethrin, Ftalimide en glyfosaat. Alleen laatstgenoemde stof komt alleen voor in RWA, terwijl de overige stoffen juist veel voorkomen in DWA. Stoffen als fipronil en permethrin worden veel gebruikt voor huisdieren, bijvoorbeeld tegen vlooiën.

TABEL III.2 AANWEZIGHEID MICROVERONTREINIGINGEN IN DWA-RWA OP BASIS VAN STOWA PROJECT MICRO'S IN HEMELWATER

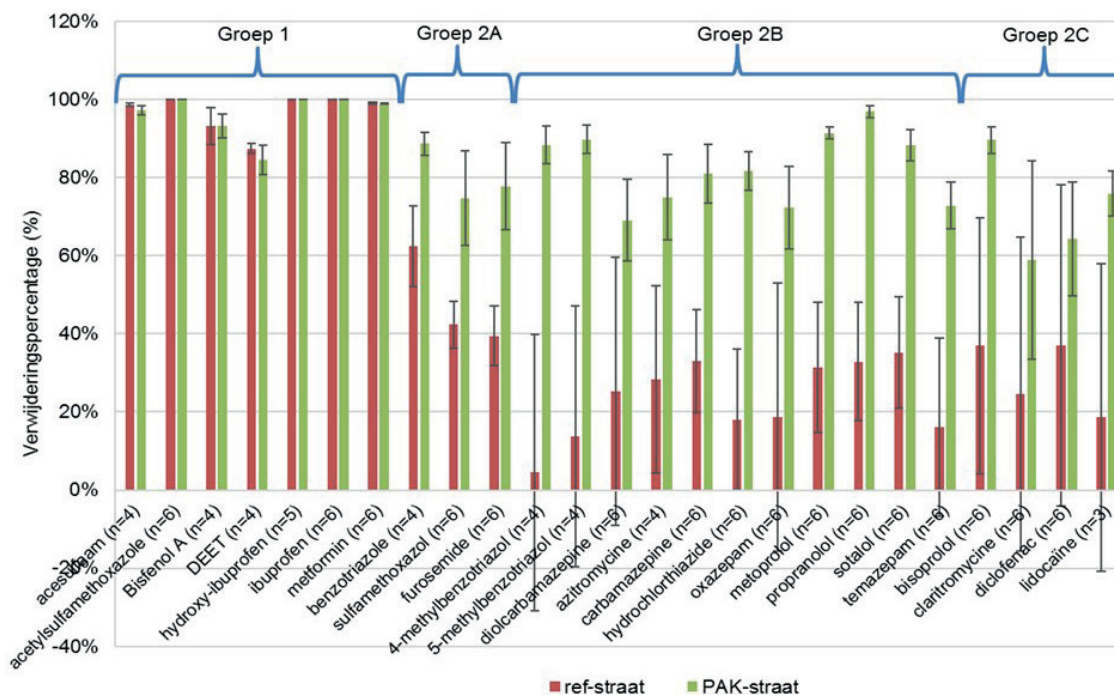
Stofgroep	Stoffen	Aanwezig in:
Biociden/herbiciden	Carbendazim	Niet aangetroffen
BTEX (aromatische koolwaterstoffen)	Ethylbenzeen, Benzeen, Toluëen, Xylenen (Totaal)	Niet gemeten
Ftalaten	Ftalaten, Dibutylftalaat	Niet gemeten
Industriële chemicaliën	Methyl-T-butylether Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe) Di(2-Ethylhexyl) Ftalaat Bisfenol A	Niet gemeten Niet gemeten DWA Niet gemeten Nauwelijks aanwezig (1 maal in 22 RWA monsters)
Bestrijdingsmiddelen	2,4-Dichloorfenoxyazijnzuur Mecoprop Glyfosaat	15% van de RWA monsters 15% van de RWA monsters Alle RWA monsters in lente/zomer, niet in winter
Insecticide	DEET (Diethyl-m-Toluamide),	DWA en RWA
Medicijnen	Carbamazepine, Diclofenac, Bezafibraat, Metoprolol, Naproxen, Ibuprofen, Gabapentine, Oxazepam	Alle medicijnen alleen DWA
PCBs	PCBs	10% RWA monsters
PAKs	Fenanthreen, Anthraceen, Fluorantheen, Chryseen, Benzo(a) Anthraceen, Benzo(a)Pyreen, Benzo(b)Fluorantheen, Benzo(k) Fluorantheen, Benzo(ghi)Peryleen, Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen, Naftaleen, Acenaftheen, Acenafthyleen, dibenzo(ah)anthraceen, fluoreen, pyreen, PAK (16 van EPA)	DWA en RWA (25-100% hoger in RWA)
VOCs	Tetrachlooretheen Trichlooretheen Trichloormethaan	Niet gemeten Niet aangetroffen Niet gemeten

BIJLAGE IV

RENDEMENT EN WERKING PACAS

Poederkooldosering in actief slib is tot op heden full-scale toegepast op 1 rwzi in Zwitserland (Stoll et al., 2015) en in een demo-onderzoek Nederland op rwzi Papendrecht in het Schone Maaswaterketen-project (STOWA 2018-02)⁸. Door dosering van 15 mg/l poederkool aan actief slib is het verwijderingsrendement⁹ van de rwzi verhoogd tot 70%, zie figuur IV.1. Ook de ecotoxiciteit van het te lozen effluent neemt substantieel af (STOWA 2018-02).

FIGUUR IV.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN PACAS ONDERZOEK RWZI PAPENDRECHT (STOWA 2018-02)



⁸ Voor rapporten zie: <http://samenwerkenaanwater.nl/themas/schone-maaswaterketen>

⁹ Verwijderingsrendement wordt in dit rapport bedoeld als effluent nageschakelde behandeling ten opzichte van influent rwzi.

BIJLAGE V

RENDEMENT ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN VOOR OZONISATIE+ ZANDFILTRATIE, PAK+ZANDFILTRATIE EN GAK FILTRATIE

TABEL V.1 RENDEMENTEN NAGESCHAKELDE TECHNIEKEN (STOWA 2015-27)

TABEL 5 AANGENOMEN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN OZONISATIE + ZANDFILTRATIE ⁹

< 30%	30-60%	60-80%	> 80%
Diatrizoaat	Ciproflaxicine Iopamidol Mecoprop Ibuprofen	Benzotriazol Methyl-benzotriazol Metoprolol	Carbamazepine Clarithromycine Diclofenac Sulfamethoxazol Acetyl-sulfamethoxazol 17β estradiol

Gebaseerd op data uit [30][31][32][38][39][40][41][42][44][50] en expert judgement; ozon dosering van 0,7 g O₃/g DOC, contact tijd 25 minuten en andere ontwerpcriteria zoals weergegeven in tabel 3; aangenomen DOC-concentratie rwzi effluent: 11 mg/l

TABEL 6 AANGENOMEN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN PAK DOSERING + ZANDFILTRATIE ⁹

< 30%	30-60%	60-80%	> 80%
Diatrizoaat	Iopamidol Acetyl-sulfamethoxazol Mecoprop	Ciproflaxicine Diclofenac Sulfamethoxazol	Carbamazepine Clarithromycine Ibuprofen Metoprolol 17β estradiol Benzotriazol Methyl-benzotriazol

Gebaseerd op data uit [30][32][38][39][40][41][42][43][44][49][50] en expert judgement; PAK-dosering van 12 mg/l, contacttijd 35 minuten en andere ontwerpcriteria zoals weergegeven in tabel 3; aangenomen DOC-concentratie rwzi effluent: 11 mg/l

TABEL 7 AANGENOMEN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN GAK FILTRATIE ⁹

< 30%	30-60%	60-80%	> 80%
Diatrizoaat	Iopamidol Acetyl-sulfamethoxazol Sulfamethoxazol Ciprofloxicine	Diclofenac Mecoprop Ibuprofen	Carbamazepine Clarithromycine Metoprolol 17β estradiol Benzotriazol Methyl-benzotriazol

Gebaseerd op data uit [32][40][41][42][48][50][51][59][60] en expert judgement, max bed volumes GAK 8.800 en andere ontwerpcriteria zoals weergegeven in tabel 3; aangenomen DOC-concentratie rwzi effluent: 11 mg/l

BIJLAGE VI

SCREENSHOTS TOOL

Om het bepalen van de benodigde hydraulische capaciteit te faciliteren is naast deze rapportage ook een EXCEL-‘tool’ ontwikkeld. Met deze ‘tool’ is het mogelijk om voor een willekeurige rwzi af te leiden met welke techniek, of combinatie van technieken met toepassing van PACAS, het mogelijk is om het gewenste rendement te bereiken. De ‘tool’ voorziet nu in kostenberekeningen voor te bereiken verwijderingspercentages in de range tussen 60% en 80% op jaarbasis.

De ‘tool’ bestaat uit de volgende sheets:

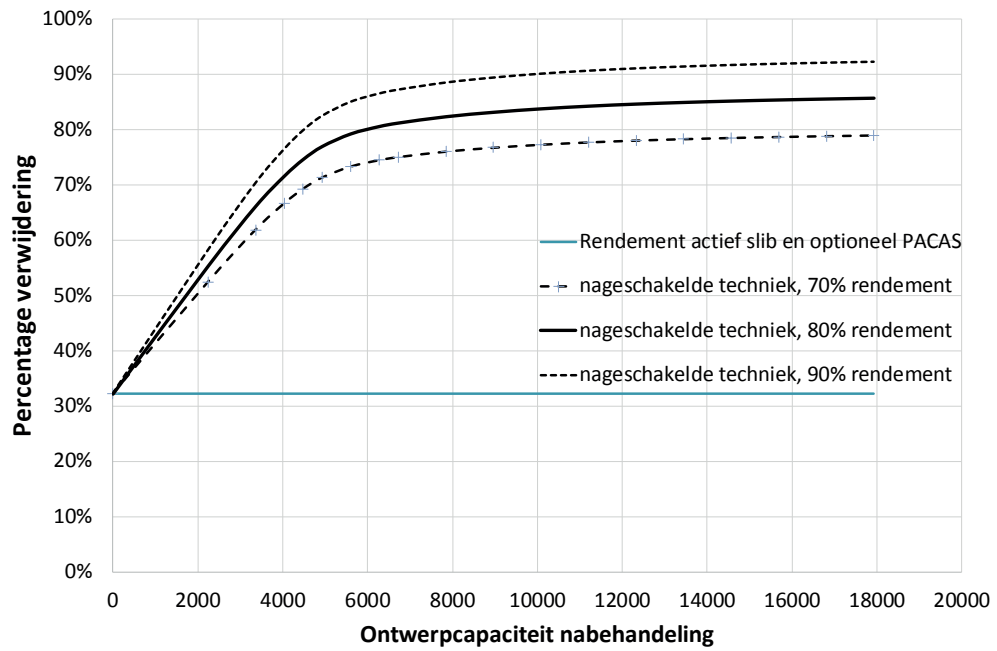
deze excelfile bevat de volgende sheets:	
invoersheet	alleen hierin mogen alleen getallen in groene vlakjes aangepast worden
grafiek_ontwerp_m3/h	grafiek waaruit je benodigde hydraulische capaciteit kunt aflezen, afhankelijk van rendement in te zetten techniek (70%, 80% of 90%). De grafiek bevat ook het rendement van het actief slib en, indien geselecteerd, het rendement van actief slib plus PACAS. voor het PACAS rendement is gewerkt met de relatie tussen dosering en rendementstoename uit Papendrecht. Hierbij is gewerkt met absolute waarde van toename in plaats van met relatieve toename. Dit is te bespreken punt
grafiek_ontwerp	grafiek met zelfde opzet als vorige, maar dan genormeerd naar gemiddelde DWA. De gemiddelde DWA is afgeleid uit de metingen door de 40 percentiel waarde van de dagdebieten te nemen en te delen door 24. dit is stabiel getal
grafiek_kosten_DOC_11	grafiek met de jaarlijkse kosten van alle mogelijke combinaties van ontwerpdebiet en techniek, indien van toepassing ook inclusief PACAS en waarbij voor elke techniek een rendement van 80% is aangehouden bij een Doc van 11 mg/l
grafiek_kosten_DOC_7	grafiek met de jaarlijkse kosten van alle mogelijke combinaties van ontwerpdebiet en techniek, indien van toepassing ook inclusief PACAS en waarbij voor elke techniek een rendement van 80% is aangehouden bij een DOC van 7 mg/l
verzameling resultaten	sheet waarin rekenresultaten worden verzameld voordat deze in grafieken worden opgenomen. Bevat resultaten voor DOC 7, 11 en 15 mg/l en situatie waarin rendement per techniek zou liggen op 70% en 90%
berekening_dynamiek_effluent	sheet waarin uit de influentmetingen een berekening wordt gemaakt van de dynamiek van medicijnresten in het effluent. Aanname is propstroom in persleiding, VBT en NBT en volledig gemengd in AT
grafiek DWA m3_h	grafiek met dwa curves in m3/h
grafiek DWA piekfactoren	grafiek met piekfactoren DWA
DWA curve berekening	sheet waarin DWA curve wordt berekend
kostenkentalen	sheet met tabellen met kostenkentalen. De sheet verzameling resultaten zoekt hierin naar de juiste kostenkentalen, afhankelijk van techniek, rendement en debiet. Voor nageschakelde technieken functie van debiet, voor PACAS functie van dosering. Voor de kostenkentalen voor PACAS is gebruik gemaakt van de getallen voor een capaciteit van 100.000 ie

INVOERSHEET

	m3						
inhoud persleiding	0						
inhoud VBT	18000						
inhoud actief slib	90000						
inhoud NBT	27000						
	%						
rendement AT micro's	10%	default is 10%. Dit mag worden verhoogd na meetcampagne					
	m3/h						
ontwerp DWA	4500						
	mg/l						
DOCgehalte	11	maak keuze uit 7, 11 of 15. default is 11					
pacas dosering	1	nee = 0, ja = 1					
pacas dosering	10	maak keuze uit range 10-25 mg/l					
debietreeks	uursom (m3/h)						
datum/tijd		let op: begin met 00:00 ten behoeve van DWA curve					
	10-2-2011 00:00	4994					
	10-2-2011 01:00	5077					
	10-2-2011 02:00	4674					
	10-2-2011 03:00	4506					

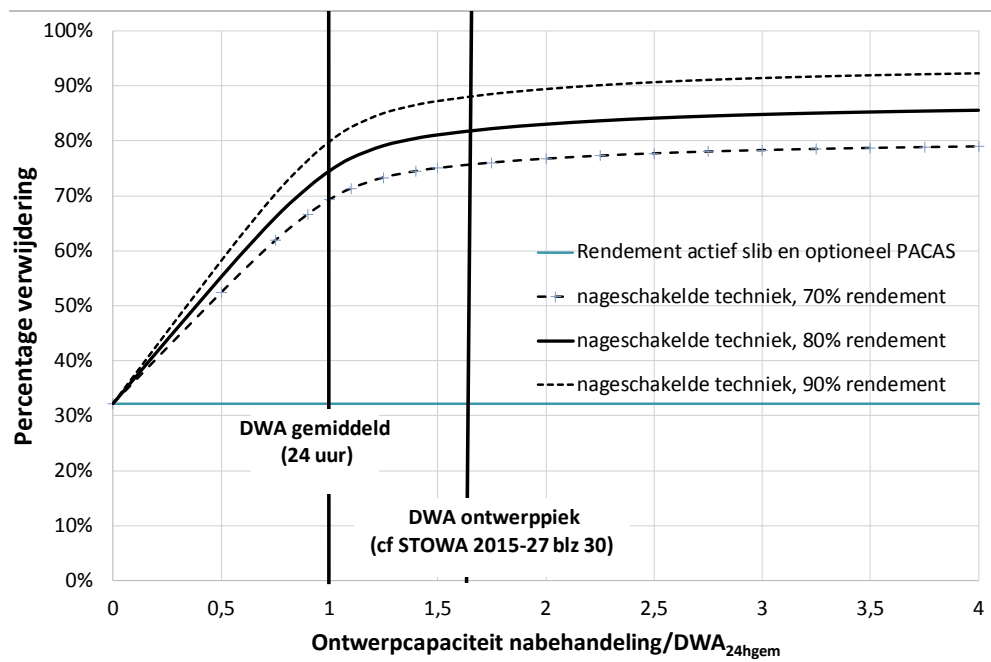
FIGUUR VI.1

GRAFIEK PERCENTAGE VERWIJDERING BIJ VERSCHILLENDE TECHNIEKEN AFHANKELIJK VAN HYDRAULISCHE ONTWERPCAPACITEIT NABEHANDELING

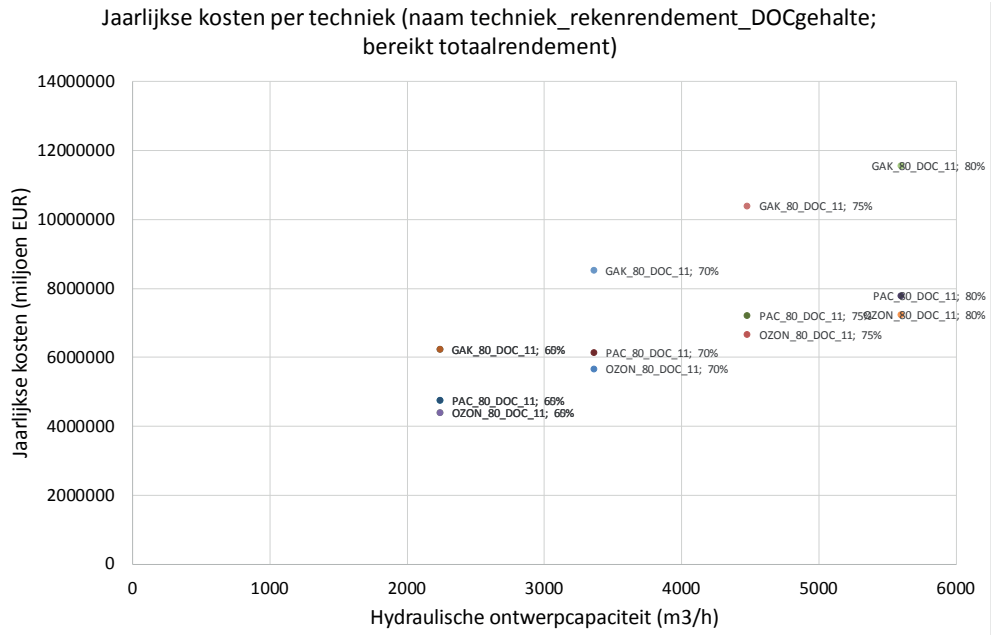


FIGUUR VI.2

GRAFIEK PERCENTAGE VERWIJDERING BIJ VERSCHILLENDE TECHNIEKEN AFHANKELIJK VAN HYDRAULISCHE ONTWERPCAPACITEIT NABEHANDELING, GENORMALISEERD NAAR DWA_{24H} GEMIDDELD



FIGUUR VI.3. GRAFIEK JAARLIJKSE KOSTEN PER TECHNIEK MET BENODIGDE MINIMALE HYDRAULISCHE CAPACITEIT OM MET GENOEMD REKENRENDEMENT VAN DE TECHNIEK HET AANGEGEVEN JAARVERWIJDERINGSPERCENTAGE TE BEREIKEN BIJ EEN DOC IN HET EFFLUENT VAN 11 MG/L



FIGUUR VI.4. GRAFIEK JAARLIJKSE KOSTEN PER TECHNIEK MET BENODIGDE MINIMALE HYDRAULISCHE CAPACITEIT OM MET GENOEMD REKENRENDEMENT VAN DE TECHNIEK HET AANGEGEVEN JAARVERWIJDERINGSPERCENTAGE TE BEREIKEN BIJ EEN DOC IN HET EFFLUENT VAN 7 MG/L

