



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

stowa

HAALBAARHEIDSSSTUDIE 03-STEP® FILTER



RAPPORT

2020
18

RAPPORT

HAALBAARHEIDSSTUDIE
O3-STEP® FILTER

2020

18

ISBN 978.90.5773.883.8



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS C.Y. de Jong - Witteveen+Bos
M. Bechger - Waternet

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

P. Wessels - Isle Utilities
M. Mulder - Mirabella Mulder Waste water management
E. Driessen - Isle Utilities
G.B.J. Rijs - Rijkswaterstaat
A. Deeke - waterschap de Dommel
J.F. Kramer - Witteveen+Bos
D. Vogel - WLN
J. Kloosterman - Waterschap Vechtstromen
C.A. Uijterlinde - STOWA
J. Foekema - CABOT

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-18
ISBN 978.90.5773.883.8

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

Het O3-STEP® filterconcept is een veelbelovend concept om op grotere zuiveringen in één compacte zuiveringsstap nutriënten, zwevende stof én microverontreinigingen vergaand te verwijderen door de combinatie van ozonoxidatie en adsorptie aan actief kool.

De actuele technische, maatschappelijke en bestuurlijke aandacht voor de aanwezigheid van geneesmiddelen en andere (organische) microverontreinigingen in oppervlaktewater, grondwater en drinkwater vraagt om extra stappen op de waterzuiveringen. In 2018 is op laboratoriumschaal de haalbaarheid aangetoond van het O3-STEP® filter. Het O3-STEP® filter kan op grotere zuiveringen in één compacte nageschakelde zuiveringsstap nutriënten, zwevende stof én microverontreinigingen vergaand verwijderen.

Deze haalbaarheidsstudie is uitgevoerd in het kader van het innovatieprogramma microverontreinigingen uit water van STOWA en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. In dit project is op basis van de haalbaarheidsstudie uit 2018 het O3-STEP® filter vergeleken met de door de STOWA/Ministerie voorgestelde referentietechnieken: ozondosering, poederkool in actief slib en nageschakelde granulaire kool.

Het O3-STEP® filter scoort op alle gestelde criteria beter dan een conventioneel actiefkoolfilter, waardoor het als zeer veelbelovend wordt gezien: het O3-STEP® filter verwijdert gemiddeld >95 % van de door het ministerie voorgestelde gidsstoffen en over de gehele zuivering (influent-effluent) is een rendement van >90 % haalbaar. Ook de ecotoxicologische effecten zijn naar verwachting erg gunstig met een reductie in SIMONI-score van >50 %. Dit gaat gepaard met acceptabele kosten van € 0,12-0,14 per m³ behandeld afvalwater, wat meer dan 0,10 lager ligt dan de referentietechniek (granulaire actief koolfilter).

Het vervolgonderzoek op pilotschaal richt zich op de volledige integratie van de ozonoxidatiestap en het koolfilter in volcontinue bedrijfsvoering om gedurende langere periode de combinatie van nutriënten- én microverontreinigingenverwijdering aan te tonen.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Het O3-STEP® filter is het resultaat van een aantal onderzoekstrajecten, met als doel om in één stap effectief effluent op te werken naar hoogwaardig filtraat. Het in 2012 opgeleverde 1-STEP® filter is in staat om een breed spectrum aan organische microverontreinigingen te adsorberen, omdat het werkt als een 'normaal' granulair actiefkoolfilter (GAC-filter). Het nadeel aan GAC-filters voor deze toepassing is dat het kool verzadigd raakt, waardoor het regelmatig vervangen moet worden. Dit project werkt aan een betere conventionele GAC-filters op basis van het 1-STEP® filter.

Het O3-STEP® filter is een multifunctioneel, modulair filterconcept, gericht op vergaande effluentpolishing, bestaande uit twee deelsystemen: ozonoxidatie en filtratie in het 1-STEP® filter. Door de unieke combinatie eigenschappen is het O3-STEP® filter dé oplossing op 10 tot 15 (middel)grote Nederlandse zuiveringen waar, op basis van de Hotspotanalyse en recente KRW-rapportages tegelijkertijd stikstof, fosfaat én microverontreinigingen verwijderd moeten worden.

De TRL van de deelsystemen is beiden 9, het O3-STEP® filter heeft momenteel weliswaar slechts een TRL van 4, maar vereist slechts een validatiestap, waarna in zeer korte tijd naar full-scale kan worden gegaan, ruim binnen de 7 jaar die vanuit het innovatieprogramma gevraagd wordt.

Voor deze haalbaarheidsstudie is uitgegaan van een filter uitgelegd op een ontwerpdebiet voldoende voor de volledige DWA-piek, waardoor de behandelde capaciteit circa 80 % van jaardebiet is. De gemiddelde verwijdering over het O3-STEP® filter is >95 % en over de gehele zuivering (influent-effluent) is >90 % haalbaar. Ook de ecotoxicologische effecten zijn naar verwachting erg gunstig met een reductie in SIMONI-score van >50 %.

De kostenberekening voor verwijdering van microverontreinigingen geeft ook gunstige resultaten: de jaarlijkse kosten komen, afhankelijk van de standtijd van het kool, neer op tussen de EUR 826.400 en EUR 945.200, wat omgerekend neerkomt op tussen de EUR 0,13-0,15 per m³ behandeld¹. Dit zit in dezelfde ordegrootte als ozon+zandfilter en ruim 0,10 EUR/m³ lager dan een conventioneel actiefkoolfilter. Tijdens de pilotfase wordt duidelijk hoe ver de standtijd geoptimaliseerd kan worden. Ook de CO₂-footprint van het O3-STEP® filter komt met tussen de 129-161 g CO₂/m³ behandeld substantieel lager uit dan dat van een conventioneel GAC-filter en afhankelijk van de standtijd net iets boven of in dezelfde ordegrootte als PACAS en ozon+zandfilter.

In het vervolgtraject wordt het O3-STEP® filter op pilotschaal gevalideerd, waarna op korte termijn doorgedaan kan worden naar full-scale implementatie.

1 Nutriëntenverwijdering brengt nog circa EUR 0,01 tot 0,02 per m³ behandeld extra met zich mee, ten opzichte van STOWA 2018-67 komt deze haalbaarheidsstudie circa EUR 0,06/m³ lager uit, zie Hoofdstuk 8 voor nadere onderbouwing.

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 ~~en~~ met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

HAALBAARHEIDSTUDIE 03-STEP® FILTER

INHOUD

	TEN GELEIDE SAMENVATTING DE STOWA IN HET KORT	
1	INTRODUCTIE	1
2	DE TECHNIEK	3
3	TECHNOLOGY READINESS LEVEL	4
4	DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN	5
5	ONDERBOUWING VAN CRITERIA	6
5.1	Behandelde hoeveelheid afvalwater	6
5.2	Verwijderingsrendement per gidsstof	7
5.3	Hulpstoffen en chemicaliën	7
5.4	Energieverbruik	8
5.5	Slibproductie	8
5.6	Spoelwaterverbruik en waswaterproductie	8
5.7	CO ₂ -footprint conform model	9
5.8	Filtraatkwaliteit	9
5.9	Kostenberekening	10
5.9.1	Stichtingskosten	10
5.9.2	Jaarlasten	11

6	INPASSING IN DE NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK	13
6.1	Bedrijfsvoering	13
6.1.1	Effluentkwaliteit	13
6.1.2	Slibproductie	13
6.1.3	Chemicaliën en energiegebruik	13
6.2	Fysieke inpassing	14
6.3	Geschikte rwzi's in Nederland	14
7	PROJECT GERELATEERDE ASPECTEN	15
8	REFERENTIES	16

1

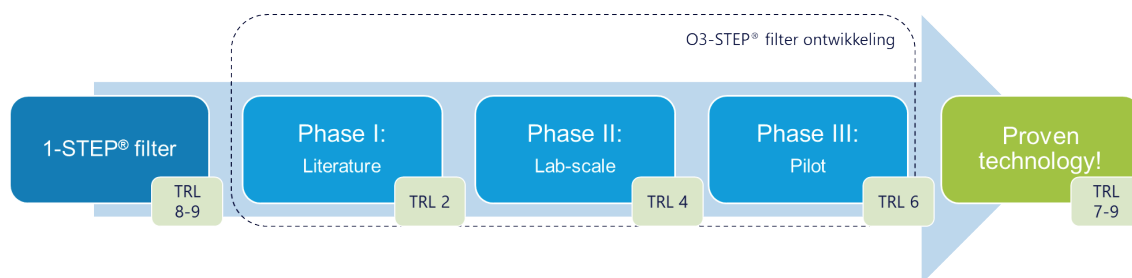
INTRODUCTIE

Het O3-STEP® filter is het resultaat van een aantal onderzoekstrajecten, met als doel om in één stap effectief effluent op te werken naar hoogwaardig filtraat. Op basis van literatuur, lab- en pilotonderzoek (STOWA 2009-32, STOWA 2009-33, STOWA 2009-34) is de full-scale 1-STEP® filter gebouwd en succesvol opgestart in 2012 (gerapporteerd in STOWA 2013-35). Het filter haalt tot op heden met gemak de strenge effluenteisen die vanuit de KRW gesteld worden.

Het 1-STEP® filter is in staat om een breed spectrum aan organische microverontreinigingen te adsorberen, omdat het werkt als een 'normaal' granulair actiefkoolfilter (GAC-filter). In het rapport *Verkenning technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater* (STOWA 2017-36) zijn GAC-filters als één van de op korte termijn toepasbare technieken geïdentificeerd voor vergaande verwijdering van microverontreinigingen. Het nadeel aan GAC-filters voor deze toepassing is dat het kool verzadigd raakt, waardoor het regelmatig vervangen moet worden. Dit heeft negatieve effecten op zowel de duurzaamheid als de (operationele) kosten.

Daarom is in 2015 een samenwerkingsproject gestart onder STOWA-vlag van Waternet, Witteveen+Bos, CABOT en Nijhuis Industries, om een betere versie te maken van de conventionele GAC-filters op basis van het 1-STEP® filter. De samenvatting van de projectfasen inclusief TRL's is in de afbeelding hieronder weergegeven. Na de pilot kan direct doorvertaald worden naar een full-scale filter (TRL 7-8).

AFBEELDING 1.1 ONTWIKKELINGSTRAJECT VAN 1-STEP® FILTER NAAR O3-STEP® FILTER IN HET O3-STEP® FILTER-PROJECT



Op basis van uitgebreid deskresearch is ozonbehandeling gekozen als beste combinatie om microverontreinigingen te verwijderen, met behoud van de rest van de voordelen van het filterconcept. Het O3-STEP® filter werd hier 'geboren': het *ozon-supported* 1-STEP® filter. Dit concept werd op laboratoriumschaal bevestigd: voorbehandeling met ozon verhoogt de verwijderingsefficiëntie en verlengt de standtijd van het actief kool substantieel. De resultaten van O3-STEP® filter fase I en II zijn gepresenteerd in STOWA 2018-67.

Het project tot op heden toont aan dat het O3-STEP® filter substantiële kostenverlaging en duurzaamheidwinst oplevert op ten opzichte van conventionele actiefkoolfilters, terwijl ook de verwijdering van microverontreinigingen sterk verbetert.

DOELSTELLING EN LEESWIJZER

Deze haalbaarheidsstudie is geschreven in het kader van het innovatieprogramma *microverontreinigingen uit afvalwater*, een programma van STOWA en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Deze haalbaarheidsstudie volgt de opzet zoals beschreven in de *Richtlijnen haalbaarheidsstudie* die in januari 2019 door de STOWA verstrekt zijn. De haalbaarheid van het O3-STEP® filter is uitgebreid onderbouwd en gerapporteerd in STOWA 2018-67. Deze haalbaarheidsstudie is een naar de Richtlijnen aangepaste samenvatting van- en uitbreiding op het STOWA rapport, wat kan gezien worden als verdiepend naslagmateriaal en verdere onderbouwing van de inhoud van deze haalbaarheidsstudie. Er zal, waar nodig, worden verwezen naar specifieke hoofdstukken van het STOWA rapport voor meer informatie. De uitgangspunten voor CO₂-berekeningen en kostenberekeningen zijn, waar mogelijk en van toepassing, overgenomen uit het door STOWA verstrekte CO₂-berekeningsmodel, versie 4.1.

2

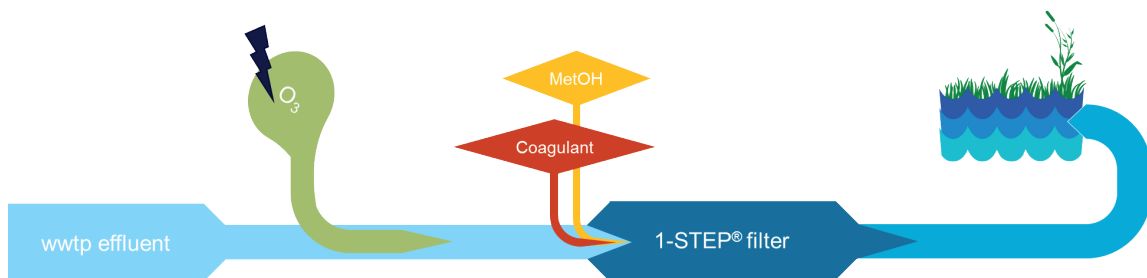
DE TECHNIEK

Het O3-STEP® filter is een multifunctioneel, modulair filterconcept, gericht op vergaande effluentpolishing. Het is een doorontwikkeling van het succesvol toegepaste 1-STEP® filter, een discontinue/vastbedfilter, gericht op verwijdering van brede verwijdering van organische microverontreinigingen. Het O3-STEP® filter bestaat uit 2 stappen: ozonoxidatie en filtratie in het 1-STEP® filter, zoals weergegeven in de afbeelding hieronder. De twee processtappen zijn in hoofdstuk 2 van STOWA 2018-67 in meer detail beschreven:

- de ozonoxidatie:
 - oxideert aanwezige organische (micro)verontreinigingen, waardoor deze gemineraliseerd worden of beter biologisch afbreekbaar worden;
 - biedt de mogelijkheid tot desinfectie;
- het 1-STEP® filter:
 - adsorbeert de overige microverontreinigingen in het actiefkool dat als filtermedium gebruikt wordt;
 - breekt geadsorbeerde microverontreinigingen biologisch af;
 - realiseert vergaande stikstofverwijdering;
 - realiseert vergaande fosfaatverwijdering;
 - verwijdert effectief zwevende stof;
 - levert zeer stabiele, hoge kwaliteit filtraat.

Door de unieke combinatie eigenschappen is het O3-STEP® filter de oplossing op 10 tot 15 (middel)grote Nederlandse zuiveringen waar, op basis van de Hotspotanalyse en recente KRW-rapportages tegelijkertijd stikstof, fosfaat en microverontreinigingen verwijderd moeten worden.

AFBEELDING 2.1 CONCEPTUEEL PROCESSCHEMA. ZIE HOOFDSTUK 3 VOOR EEN UITGEBREIDERE, TECHNISCHE WEERGAVE



3

TECHNOLOGY READINESS LEVEL

Binnen het innovatieprogramma is de eis dat de technologie binnen 7 jaar minimaal op demo-schaal toegepast kan worden. Het O3-STEP® filter is gebaseerd op een combinatie van een tweetal, zeer bekende, technieken:

- 1-STEP® filter, voor microverontreinigingen vergelijkbaar met conventioneel GAC-filter;
- Ozonoxidatie, al dan niet gecombineerd met nageschakeld filter.

De TRL van de deelsystemen is beiden 9, zie hieronder. Ook de combinatie van ozon met GAC voor verwijdering van microverontreinigingen is al op relevante schaal getest (TRL 6). De combinatie van ozon met GAC voor totale effluentpolishing, zoals toegepast in het O3-STEP® filter heeft momenteel weliswaar slechts een TRL van 4, maar vereist slechts een validatie op pilotschaal, waarna in zeer korte tijd naar full-scale kan worden gegaan, ruim binnen de 7 jaar die vanuit het innovatieprogramma gevraagd wordt.

1-STEP® FILTER: TRL 8-9, OP BASIS VAN:

- succesvolle full-scale toepassing van 1-STEP® filter op rwzi Horstermeer voor totale effluentpolishing, inclusief microverontreinigingen.

CONVENTIONELE GAC-FILTERS: TRL 9 OP BASIS VAN:

- succesvolle full-scale toepassing van conventionele GAC-filters voor vergaande verwijdering van microverontreinigingen op communaal afvalwater in buitenland;
- in Duitsland en Zwitserland zijn momenteel 5 filters in praktijkschaal operationeel, 9 in voorbereiding/aanbouw en nog 5 pilot-schaal systemen²;
- succesvolle full-scale toepassing van conventionele zandfilters voor vergaande verwijdering van nutriënten op communaal afvalwater in binnen- en buitenland.

OZONOXIDATIE: TRL 9 OP BASIS VAN:

- succesvolle full-scale toepassing van ozonoxidatie voor vergaande verwijdering van microverontreinigingen op communaal afvalwater in buitenland;
- in Duitsland, Zwitserland en Frankrijk zijn momenteel 12 systemen in praktijkschaal operationeel, 17 in voorbereiding/aanbouw en nog 9 pilot-schaal systemen³.

COMBINATIE OZON-GAC VOOR MICROVERONTREINIGINGEN: TRL 6 OP BASIS VAN:

- succesvolle pilottoepassingen in van ozon-GAC voor vergaande verwijdering van microverontreinigingen op communaal afvalwater in buitenland;
- in Duitsland, Zwitserland en Frankrijk is momenteel 1 systeem in aanbouw en nog 6 pilotschaal systemen;

² <https://www.micropoll.ch/anlagen-projekte/gak/>

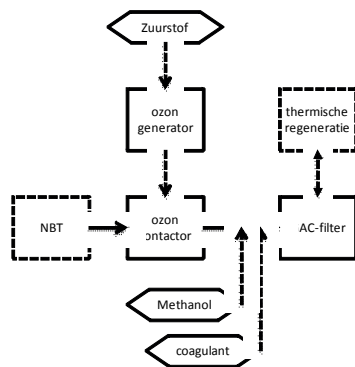
³ <https://www.micropoll.ch/anlagen-projekte/ozon/>

4

DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN

Dit hoofdstuk beschrijft het ontwerp van het O3-STEP® filter op basis van de uitgangspunten zoals gegeven in Tabel 1 in bijlage I van de *Richtlijnen haalbaarheidsstudie*, waar nodig aangevuld met de gegevens uit het door STOWA aangeleverde model voor CO₂-footprint berekening⁴. Het processchema is weergegeven in de afbeelding hieronder. Om de vergelijking met andere (niet-gecombineerde) technieken eerlijk te houden is binnen deze studie verder rekening gehouden met enkel verwijdering van microverontreinigingen en wordt verwijdering van nutriënten en zwevende stof buiten beschouwing gelaten, waardoor in zowel de investeringskosten als operationele kosten de dosering van koolstofbron en coagulant wegvallen. Dit nageschakelde filter behandelt (een deel van) het water uit de nabezinktank en gebruikt actiefkool dat extern thermisch gereactiveerd kan worden.

AFBEELDING 4.1 BLOKSCHEMA O3-STEP® FILTER



De ontwerpsuitgangspunten en -criteria zijn gebaseerd op praktijkervaring vanuit binnen- en buitenland op zowel actiefkoolfiltratie als ozonbehandeling. De meest up-to-date gegevens en nadere onderbouwing zijn in STOWA-rapport 2018-67 te vinden in hoofdstuk 3.5 en 7.6. De meest relevante uitgangspunten zijn:

- ozoncontactor:
 - dosering: 0,7 g O₃/g DOC
 - contacttijd ozoncontactor: 25 minuten
- 1-STEP® filter na ozon voor microverontreinigingen verwijdering:
 - hydraulische belasting (gemiddeld) 10 m/h
 - contacttijd in koolbed (EBCT): 15 min
 - standtijd kool: 12-30 maanden⁵
 - terugspoelwater: 2-5 %⁶

4 Versie 4.1, d.d. 05-06-2019.

5 Ten minste factor 2-5 verbetering t.o.v. losstaand koolfilter, o.b.v. 1-STEP® filter circa 6 maanden. De werkelijke standtijd wordt vastgesteld tijdens het pilotonderzoek.

6 Op basis van praktijkgegevens 1-STEP® filter Horstermeer tijdens normale operationele omstandigheden.

5

ONDERBOUWING VAN CRITERIA

Dit hoofdstuk onderbouwt de criteria zoals weergegeven in de kwantitatieve matrix in Bijlage 1 van de Richtlijnen. De berekeningen zijn gebaseerd op de door STOWA verstrekte Richtlijnen haalbaarheidsonderzoek en het CO₂-model (versie 4.1). Deze zijn, waar nodig, aangevuld eigen ontwerprichtlijnen, die voor zover niet genoemd in hoofdstuk 7 zijn te vinden in STOWA 2018-67.

De kwantitatieve matrix uit de Richtlijnen, inclusief O3-STEP® filter is hieronder weergegeven, waaruit blijkt dat het O3-STEP® filter op verwijderingsrendement veruit het beste scoort. De rest van dit hoofdstuk geeft de onderbouwing voor deze tabel.

Het conventioneel GAC-filter is de referentietechniek voor het O3-STEP® filter. Op alle criteria scoort het O3-STEP® filter ruim beter referentie-alternatief (GAC-filters). Qua kosten en duurzaamheid benadert het O3-STEP® filter zelfs het ozon+zandfilter. De werkelijke standtijd van het kool bepaalt in grote mate de uiteindelijke duurzaamheid- en kostenpost. Voor conventionele GAC-filters, zoals het 1-STEP® filter is de standtijd vaak circa 4-6 maanden. Het O3-STEP® filter haalt tussen de 12 en 30 maanden.

TABEL 5.1

KWANTITATIEVE MATRIX

	Eenheid	PACAS	ozon+zandfiltratie	GAC	O3-STEP® filter
CO ₂ -footprint	kg CO ₂ /m ³ behandeld water	122	128	325	129-161
kosten	EUR/m ³ behandeld	0,05	0,17	0,26	0,13 tot 0,15
verwijderingsrendement	%	70-75	80-85	80-85	>90 %

5.1 BEHANDELDE HOEVEELHEID AFVALWATER

Het O3-STEP® filter kan, afhankelijk van de gewenste behandelingsgraad en lokale omstandigheden uitgelegd worden voor ieder te behandelen debiet. Vanuit de Richtlijnen is gesteld dat minimaal DWA-piek en ten minste 70 % van het totale jaardebiet behandeld dient te kunnen worden. Dit betekent dat als het aangevoerd debiet hoger is, dat dit ge-bypassed wordt en dus niet behandeld. Voor deze haalbaarheidsstudie is uitgegaan van een filter uitgelegd op een ontwerpdebiet voldoende voor de volledige DWA-piek, waardoor de behandelde capaciteit circa 80 % van jaardebiet is.

Er is uitgegaan van een filter met:

- ontwerpcapaciteit van circa 1.100 m³/h (DWA-piek, inclusief ruimte voor gerecirculeerd spoelwater);
- behandelen van 80 % van het jaardebiet, te weten 6.132.000 m³/jaar.

5.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT PER GIDSSTOF

De tabel hieronder geeft de verwachte verwijderingsrendementen per gidsstof over het O3-STEP® filter (afloop nabezinktank-filtraat), op basis van gegevens uit verschillende STOWA onderzoeken.

- het rendement van ozonoxidatie is vastgesteld in STOWA 2018-67, waar nodig aangevuld met STOWA 2015-27 en STOWA 2018-46;
- GAC-filtratie is bepaald o.b.v. STOWA 2013-35, omdat in STOWA 2018-67 het kool vers is en dus beter adsorbeert wordt dit niet als een goede vergelijking voor de praktijksituatie gezien. Niet alle gidsstoffen zijn in 2013 bepaald, dus deze zijn aangevuld vanuit STOWA 2015-27, waar naar circa 6 maanden standtijd is gekeken.
- combinatie ozon+GAC: de verwachting is dat de combinatie een verbetering oplevert ten opzichte van de beide losstaande technieken omdat ozon stoffen ook beter biologisch beschikbaar maakt, waardoor verdere biologische afbraak in het koolbed optreedt. Dit is nu niet meegenomen. De rendementen hier zijn gebaseerd op de combinatie-waarden van ozonisatie en GAC-filtratie uit de tabel.

De gemiddelde verwijdering over het O3-STEP® filter is >95 %. Conform de Richtlijnen worden de technieken onderling vergeleken op verwijderingsrendement over de gehele zuivering (influent-effluent). Daarvoor is uitgegaan dat de hoofdzuivering 40-60 % van de gidsstoffen afbreekt en dat het O3-STEP® filter 80 % van het totale jaardebiet met 95 % verwijderings-effectiviteit behandelt.

Dit komt erop neer dat >90 % verwijdering van de gidsstoffen over de gehele zuivering haalbaar is.

TABEL 5.2

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN GIDSSTOFFEN

Stof	Ozonisatie ¹	GAC-filtratie ²	O3-STEP® filter
benzotriazool	75 - 85 %	90 - 95 %	90 - 95 %
4- en 5 methylbanzotriazool	60-80 %	>80	>80
carbamezapine	>95 %	85 - 95 %	>95 %
clarithromycine	>95 %	>80	>95 %
diclofenac	>95 %	60-80 %	>95 %
Hydrochloorthiazide	60-80 %	65-90 %	>90 %
metoprolol	90 - 95 %	85- 95 %	90 - 95 %
propranolol	n.b.	n.b.	n.b.
sotalol	>95 %	65-80 %	>95 %
sulfamethoxazol	>95 %	30-60 %	>95 %
trimethoprim	>95 %	n.b.	>95 %

5.3 HULPSTOFFEN EN CHEMICALIËN

Voor het verwijderen van microverontreinigingen in het O3-STEP® filter zijn twee relevante hulpstoffen nodig, te weten zuurstof en actiefkool. Op basis van de standaardzuivering uit de Richtlijnen is het verbruik bepaald.

VLOEIBAAR ZUURSTOF (99,6 %)

In de Richtlijnen is uitgegaan van 11 mg DOC/l. Het O3-STEP® filter werkt met een ozon dosis van 0,7 g O₃/g DOC. Daarnaast is uitgegaan van een zuurstofverbruik van 7 Nm³ O₂/kg O₃, omzetting efficiëntie van 90 %, 10 % gasverlies, comprimeerbaarheid van gasvormig O₂ naar LOX van 0,92 Nm³/l. Hieruit komt een *zuurstofverbruik van circa 443.000 kg op jaarbasis.*

GRANULAIR ACTIEFKOOL

Er zijn twee varianten van het kool, geregenereerd en vers. De standtijd van het koolbed tot regeneratie is op basis van STOWA 2018-67 minimaal een factor 2 beter dan een losstaand GAC-filter. Op basis van de prestaties van 1-STEP® filter Horstermeer, waar om de circa 6 maanden het kool geregenereerd zou moeten worden, betekent dit een minimale standtijd van 12 maanden. Na optimalisatie van het ozonsysteem en inclusief biologische afbraak in en op het koolbed is het streven voor het pilotonderzoek om naar een standtijd van 30 maanden te gaan. Dit heeft zijn weerslag op het verbruik.

Het totale koolbed is 190 m³, dat om de 12 tot 30 maanden moet worden geregenereerd. Op jaarbasis wordt zo *de 75 en 190 m³ kool geregenereerd*, afhankelijk van de standtijd. Bij regeneratie gaat er tussen de 10-15 % kool verloren, wat aangevuld moet worden met vers kool, wat dus tussen de 7 en 28 m³ aanvullen op jaarbasis komt te liggen. In het CO₂ footprint model wordt uitgegaan van een dichtheid van kool van 400 kg/m³.

SAMENGEVAT:

- vloeibaar zuurstof: 443.000 kg/jaar;
- granulair actiefkool regenereren: 75 tot 190 m³/jaar, ofwel 30.000 - 75.000 kg/jaar;
- granulair actiefkool nieuw bijkopen: 7 tot 28 m³/jaar, ofwel 3.000 - 11.500 kg/jaar.

5.4 ENERGIEVERBRUIK

Het energieverbruik wordt bepaald door de ozongenerator en de opvoer- en terugspoel-pompen. *Het totale jaarlijks energieverbruik komt zo op 985.000 kWh.* Dit is gebaseerd op:

- pompenergieberekening conform de berekening van het CO₂-footprintmodel, uitgaande van een opvoerhoogte van circa 8 meter en 5 % terugspoelwater van circa 275.000 kWh op jaarbasis;
- energieverbruik voor de productie van ozon, conform de berekening van het CO₂-footprintmodel, uitgaande van 10 kWh/kg O₂ omgezet, komt neer op circa 710.000 kWh op jaarbasis.

5.5 SLIBPRODUCTIE

Het O3-STEP® filter, gericht op microverontreinigingen heeft geen noemenswaardig effect op de slibproductie van de zuivering. Het filter vangt altijd wat zwevende stof in, welke bij terugspoelen teruggevoerd wordt naar de zuivering, maar dit is verwaarloosbaar op de gehele slibbalans van de zuivering.

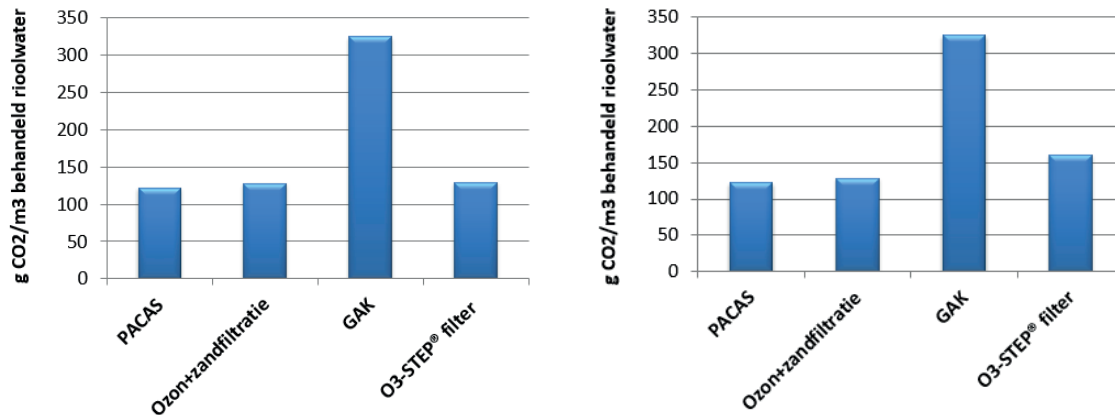
5.6 SPOELWATERVERBRUIK EN WASWATERPRODUCTIE

Afhankelijk van de instellingen en lokale omstandigheden spoelt het 1-STEP® filter gemiddeld 1x per dag, om de 16-18 uur. Op basis van de operationele ervaringen met het filter is de spoelwaterproductie gemiddeld 2,5 tot 5 % van het behandeld debiet. Voor het verwijderen van microverontreinigingen wordt geen fosfaat gedoseerd, waardoor spoelen minder frequent hoeft. Er is hier uitgegaan van 3 % spoelwater ofwel afgerond 185.000 m³/jaar. Het CO₂ berekeningsmodel gaat uit van standaard 10 % spoelwaterdebiet, wat normaal is voor continue filters. Voor vastbedfilters, zoals het 1-STEP® filter ligt dit in praktijk fors lager dus er is gerekend in deze haalbaarheidsstudie met 5 %. Er is geen extra waswater nodig voor het bedrijven van de filters omdat het filtraat gebruikt wordt als terugspoelwater.

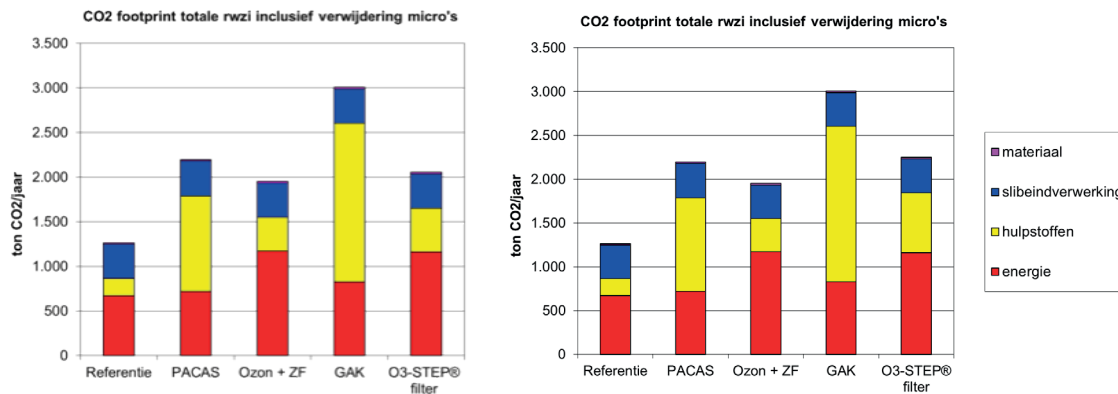
5.7 CO₂-FOOTPRINT CONFORM MODEL

Zoals genoemd heeft de standtijd van het kool grote impact op de uiteindelijke kosten en ook duurzaamheid van het filter. Daarom zijn hieronder zowel de minimale verwachte als de geoptimaliseerde standtijd in beeld gebracht. Tijdens de pilotfase wordt duidelijk hoe ver de standtijd geoptimaliseerd kan worden. De CO₂-footprint van het O3-STEP® filter komt neer op 129-161 g CO₂/m³ behandeld. Daarmee ligt de CO₂ impact van het O3-STEP® filter substantieel lager dan dat van een conventioneel GAC-filter en afhankelijk van de standtijd net iets boven of in dezelfde orde grootte als PACAS en ozon+zandfilter.

AFBEELDING 5.1 OUTPUT VAN DE CO₂-FOOTPRINTBEREKENING VOOR DE REFERENTIE-TECHNIEKEN VERSUS O3-STEP® FILTER. LINKS: UITGAANDE VAN 30 MAANDEN STANDTIJD VAN HET KOOL, RECHTS: UITGAANDE VAN 12 MAANDEN STANDTIJD



AFBEELDING 5.2 OUTPUT VAN DE CO₂-FOOTPRINTBEREKENING VOOR DE GEHELE ZUIVERING INCLUSIEF EXTRA TECHNIEKEN. LINKS: UITGAANDE VAN 30 MAANDEN STANDTIJD VAN HET KOOL, RECHTS: UITGAANDE VAN 12 MAANDEN STANDTIJD



5.8 FILTRAATKWALITEIT

Zoals genoemd in paragraaf 8.2 is het gemiddelde verwijderingsrendement over het O3-STEP® filter circa 95 %, op basis van de gidsstoffen. Over de gehele zuivering is >90 % haalbaar.

Dit ligt hoger dan de losstaande technieken omdat ozonoxidatie een ander reactiemechanisme heeft dan actiefkooladsorptie, waardoor beide technieken elkaar aanvullen en er dus bijvangst is ten opzichte van conventionele actiefkoolfilters of een ozon+zandfilter:

Er zijn een aantal stofgroepen die erom bekend staan niet of nauwelijks oxidatief af te breken maar wel redelijk tot goed adsorptief te verwijderen zijn. Een voorbeeld hiervan zijn PFAS, een grote groep persistente, bio-accumulatieve en toxische stoffen, waaronder PFOS, PFOA

en de GenX stoffen. Er zijn ook stoffen die moeilijker te adsorberen dan te oxideren zijn, een voorbeeld hiervan is hydrochloorthiazade.

Van oxidatietechnieken en ozon in het bijzonder is er vaak zorg rondom toxische afbraakproducten, waaronder bromaat. Daarom is het van belang om dit goed te monitoren tijdens de pilot. Gedurende het voortraject zijn nog geen ecotoxiciteitsmetingen verricht. Er is wel gekeken naar bromaatvorming. Dit is gedurende het laboratoriumonderzoek niet aangetoond.

Gedurende het pilotonderzoek van Hoogheemraadschap van Delfland is op awzi de Grootte Lucht wel uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten van ozon+zandfiltratie op de ecotoxiciteit van het effluent. Daaruit blijkt dat, ten opzichte van de afloop nabezinktank, ozon (1,1 g O₃/g DOC) gecombineerd met een biologisch zandfilter al de toxiciteit van een SIMONI-score van 4 verlaagt naar <1, waardoor de 50 % vermindering makkelijk gehaald wordt.

Voor het O3-STEP® filter worden ten minste vergelijkbare, maar waarschijnlijk betere resultaten verwacht, omdat het koolfilter extra adsorbeert, waardoor eventuele toxische producten beter verwijderd worden. Doordat het O3-STEP® filter vooralsnog wordt ontworpen met een lagere ozondosering (0,7 g O₃/g DOC), is er een lagere kans op het vormen van o.a. bromaat. Het O3-STEP® filterconcept vormt met het koolfilter een dubbele barrière tegen microverontreinigingen.

Tevens kan ozonbehandeling pathogenen afdoden/inactiveren, waardoor het effluent gedesinfecteerd kan worden. Hiervoor kan het nodig zijn de oxidatiestap groter uit te leggen dan noodzakelijk voor verwijdering van microverontreinigingen.

Een andere bijvangst die in deze haalbaarheidsstudie niet in detail is uitgewerkt is de mogelijkheid om vergaand nutriënten te verwijderen. Door het doseren van een koolstofbron en een coagulant wordt het mogelijk om ook N en P vergaand te verwijderen in één integraal behandelingsconcept.

5.9 KOSTENBEREKENING

5.9.1 STICHTINGSKOSTEN

De bouwkosten in deze haalbaarheidsstudie zijn overgenomen uit STOWA 2018-67, waar voor een rwzi van 100.000 i.e. een O3-STEP® filter is geraamd, in onderstaande raming zijn de indirecte (bouw)kosten al meegenomen in de raming van de bouwkosten per discipline. Omwille van een evenwichtige vergelijking zijn de extra kosten gerelateerd aan nutriëntenverwijdering niet meegenomen in de raming⁷. De kostenberekening volgt verder de Richtlijnen van STOWA d.d. 17 januari 2019:

- onvolledigheidsfactor van 25 %;
- opslagfactor van bouw- naar stichtingskosten van 1,8.

⁷ Nutriëntenverwijdering brengt nog circa EUR 400.000 extra stichtingskosten met zich mee.

AFBEELDING 5.3 OVERZICHT VAN BOUW- EN STICHTINGSKOSTEN, OP BASIS VAN STOWA 2018-67

Civiel			
Leidingwerk	€	142.000	
GAC	€	1.120.000	
Gemaalgebouw	€	77.200	
ozoncontactor	€	140.000	
gebouw ozongenerator	€	30.000	
zuurstofopslag	€	10.000	€ 1.519.200
Werktuigbouw			
gac-filter	€	320.000	
gemaalpompen	€	156.000	
ozongenerator	€	245.000	
ozoncontactor	€	58.000	
zuurstofopslagendosering	€	7.500	€ 786.500
Elektro			
GAC-filter	€	160.000	
ozongenerator	€	35.000	
ozoncontactor	€	23.200	
aardings, potentiaalvereffening, bliksem	€	40.000	
energievoorziening	€	5.600	
schakelenverdeelinrichting	€	140.000	
kabeldraagsysteemengraafwerk	€	17.000	
verlichtingenoverig	€	40.000	€ 460.800
Procesautomatisering			
ozongenerator	€	70.000	
ozoncontactor	€	11.600	
procesinstallatieverbruikers	€	102.000	
procesinstallatiemotoren	€	165.000	
auktomatiseringsinstallatie	€	145.000	€ 493.600
Bouwkosten		€ 3.260.100	
<i>onvolledigheidsfactor (25%)</i>		€ 815.025	
Bouwkosten inclusief onvolledigheid		€ 4.075.125	
<i>Opslag ivm stichtingskosten (factor 1,8)</i>		€ 3.260.100	
TOTALE STICHTINGSKOSTEN		€ 7.335.225	

5.9.2 JAARLASTEN

-De jaarlijkse kosten zijn gebaseerd op de eerder genoemde verbruiken en volgt de voor zowel de kapitaal- als onderhoudskosten als de eenheidsprijzen de Richtlijnen:

- kapitaallasten op basis van lineaire afschrijving over 30 jaar voor C en 15 jaar voor W/E/PA, rente van 4 % en inflatie van 1,5 %;
- onderhoudskosten op basis van een percentage over de bouwkosten per discipline (C, W/E/PA) inclusief onvolledigheid/opslagen.
 - Civiel: 0,5 % ;
 - W/E/PA: 3 %;
- personeelskosten: EUR 50.000 per fte;
- elektriciteitskosten: EUR 0,10 /kWh;
- vloeibaar zuurstof: EUR 0,2/kg;
- vers GAC: EUR 1.200/m³
- gereactiveerd GAC: EUR 500/m³;
- verwerking van spoelwater op de rwzi: EUR 0,01/m³.

De jaarlijkse kosten komen, afhankelijk van de standtijd van het kool, neer op tussen de MEUR 0,83 en MEUR 0,95, wat omgerekend neerkomt op tussen de EUR 0,13 tot 0,15 per m³ behandeld⁸. Dit zit in dezelfde orde grootte als ozon+zandfilter en ruim 0,10 EUR/m³ lager dan een conventioneel actiefkoolfilter.

TABEL 5.4 OVERZICHT VAN JAARLIJKSE KOSTEN OP BASIS VAN HUIDIGE BEREKENINGEN

Factor	Deze haalbaarheidsstudie (STOWA 2019)		STOWA 2018-67
	12 maanden standtijd	30 maanden standtijd	12 maanden standtijd
Kapitaallasten	447.000	447.000	687.000
Onderhoud C	9.500	9.500	23.000
Onderhoud W, E/PA	65.300	65.300	133.000
Energiekosten	86.000	86.000	86.000
Vloeibaar zuurstof	88.600	88.600	100.000
Huurkosten vloeibaar zuurstof-installatie	10.000	10.000	11.000
Vers GAC	49.500	13.200	55.000
Geregenereerd GAC	137.500	55.000	125.000
Methanol	-	-	30.000
Coagulant	-	-	16.000
Personeelskosten (1 FTE)	50.000	50.000	50.000
Spoelwaterproductie en verwerking	1.800	1.800	-
Totaal	945.200	826.400	1.316.000
Kosten per m ³ behandeld	0,15	0,13	0,21

In STOWA 2018-67 zijn de kosten per m³ gesteld op EUR 0,21 per m³, uitgaande van 12 maanden standtijd. De kosten in deze haalbaarheidsstudie vallen EUR 0,06/m³ lager uit dit komt door de volgende factoren:

- de *kapitaallasten* zijn EUR 0,04/m³ lager doordat:
 - de kosten voor nutriëntenverwijdering niet meegenomen in deze haalbaarheidsstudie;
 - de kapitaallasten voor E/PA waren in STOWA 2018-67 berekend met een zeer korte afschrijvingstermijn. In deze haalbaarheidsstudie is dit gecorrigeerd en zijn de STOWA-richtlijnen gevolgd waardoor de kapitaallasten lager uitvallen;
- de *onderhoudskosten* zijn EUR 0,01/m³ lager doordat:
 - de onderhoudskosten in STOWA 2018-67 zijn berekend over de totale voorziene bouwkosten:
 - 0,5 % C over de totale voorziene bouwkosten (C, W, E/PA);
 - 3 % W, E/PA de totale voorziene bouwkosten (C, W, E/PA);
 - In deze haalbaarheidsstudie zijn de onderhoudskosten per discipline berekend, conform SSK-methode, waardoor de onderhoudskosten lager uitvallen:
 - 0,5 % C over de voorziene kosten voor C
 - 3 % W, E/PA over de voorziene bouwkosten voor W, E/PA.
- de *operationele kosten* zijn EUR 0,01/m³ lager doordat:
 - nutriëntenverwijdering niet meegenomen is in deze haalbaarheidsstudie;
 - de kosten voor vloeibaar zuurstof met een dubbele factor voor gas- en productieverliezen waren berekend in STOWA 2018-67 dit is gecorrigeerd in deze haalbaarheidsstudie;

8 Nutriëntenverwijdering brengt nog circa EUR 0,01 tot 0,02 per m³ behandeld extra met zich mee.

6

INPASSING IN DE NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK

6.1 BEDRIJFSVOERING

Het effect op de bedrijfsvoering wordt hieronder besproken, opgesplitst in achtereenvolgens: effect op effluentkwaliteit, slibproductie, chemicaliën- en energieverbruik van de water- en sliblijn.

6.1.1 EFFLUENTKwaliteit

Het O3-STEP® filter is een nageschakelde techniek en heeft enkel positieve effecten op de effluentkwaliteit:

MICROVERONTREINIGINGEN

Paragraaf 8.8 beschrijft de effecten van het O3-STEP® filter op de aanwezigheid van microverontreinigingen en de vorming van afbraakproducten in relatie tot ecotoxiciteit. Hieruit blijkt dat door toepassing van het O3-STEP® filter de hoeveelheid microverontreinigingen, gemeten als gidsstoffen, met minstens 90-95 % gereduceerd kan worden ten opzichte van de afloop nabezinktank. Voor de verwijdering over de gehele zuivering is >90 % haalbaar met het O3-STEP® filter, terwijl het aannemelijk is dat de ecotoxiciteit ook substantieel (>50 %) afneemt.

DESINFECTIE

Desgewenst kan de ozonoxidatie ook worden ingezet voor de inactivatie van pathogenen, waardoor het O3-STEP® filter kan bijdragen aan het halen van zwemwaterkwaliteit in het ontvangend oppervlaktewater.

NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

Tenslotte is het O3-STEP® filter modulair op te bouwen, waardoor het als dat gewenst is, simpel om te zetten is van nageschakeld filter voor vergaande verwijdering van microverontreinigingen naar een filter dat geschikt is voor totale effluent polishing. Door stikstof- en/of fosfaatverwijdering toe te voegen levert het O3-STEP® filter zeer hoog kwaliteit filtraat.

6.1.2 SLIBPRODUCTIE

Zoals aangegeven in paragraaf 8.5 produceert het O3-STEP® filter weinig tot geen slib, dus het heeft geen noemenswaardig effect op de slibproductie van de gehele zuivering.

6.1.3 CHEMICALIËN EN ENERGIEGEBRUIK

Het chemicaliën en energiegebruik is beschreven in paragraaf 5.3 en 5.4.

6.2 FYSIEKE INPASSING

Het processchema van het O3-STEP® filter is in hoofdstuk 7 weergegeven. Het is een nageschakeld filter, dus het water is afkomstig uit het (bestaande) effluentgemaal/effluentput, vanwaar het via de ozoncontactor door het filter geleid wordt.

Afhankelijk van de aanwezige buffercapaciteit op de zuivering is nog een vuilspolwaterbuffer nodig. Deze is hier wel meegenomen, maar zou desgewenst weggelaten kunnen worden. Het O3-STEP® filter, inclusief randapparatuur zoals opslag van vloeibaar zuurstof en blower/schakelgebouw, filtraat/spoelwaterbuffer, vuilspolwaterbuffer etc. heeft een footprint van ongeveer 550-650 m², uitgaande van efficiënte bouw, compacte bouw.

6.3 GESCHIKTE RWZI'S IN NEDERLAND

Zoals benoemd in STOWA 2018-67 is, op basis van een analyse van de Landelijke hotspotanalyse geneesmiddelen het O3-STEP® filterconcept toepasbaar op >20 (middel)grote rwzi's in Nederland.

Er zijn drie typen locaties waar het concept toegevoegde waarde heeft. Dit zijn locaties waar:

1. nu nageschakelde filters staan voor N en P verwijdering en waar microverontreinigingen verwijdering noodzakelijk is;
2. nu nog geen nageschakelde filters staan, maar waar verwijdering van N, P en microverontreinigingen noodzakelijk is⁹;
3. onvoldoende ruimte is in biologie voor PAC, of waar PAC onvoldoende verwijdering realiseert.

Een belangrijke toegevoegde waarde van het O3-STEP filterconcept is de gelijktijdige vergaande verwijdering van microverontreinigingen én nutriënten. Deze twee aspecten samen bepalen dus ook op hoeveel locaties het concept van toepassing is.

9 Het gaat hier om relatief grote zuiveringen, voor kleinere zuiveringen is er in de basis van uit gegaan dat PAC een goedkoper alternatief is.

7

PROJECT GERELATEERDE ASPECTEN

De project gerelateerde aspecten zijn te vinden in Bijlage I, Projectidee STOWA microverontreinigingen uit Afvalwater O3-STEP® filterpilot (d.d. 28-08-2018). Het projectidee is ongewijzigd met uitzondering van de planning en de projectfinanciering.

In bijlage I is uitgegaan van projectstart in Q1 2019. Deze planning dient geïnterpreteerd te worden als aantal maanden na start van project, waarbij voor het gehele traject circa 12 maanden voorzien is.

In de projectfinanciering is in Bijlage I uitgegaan van een STOWA/Ministerie-bijdrage van circa EUR 600.000 inclusief omzetbelasting. Conform de Richtlijnen is deze bijdrage gemaximeerd op EUR 300.000 voor een complexe pilot met meerdere technieken. Het resterend bedrag wordt momenteel voorzien in de vorm van een extra investering van Waternet.

PROJECTRISICO'S

Gezien de gedeeld historie van zowel het project als de samenwerkingspartners zijn er weinig projectrisico's voorzien, zodra de financiering rond is. Het gaat om een relatief kleine pilot-test die geen grote impact heeft op het functioneren van de zuivering.

8

REFERENTIES

De inhoud van deze notitie is gebaseerd op:

- richtlijnen voor haalbaarheidsstudie, d.d. 07-02-2019;
- CO₂-footprint model versie 4.1, d.d. 05-06-2019;
- STOWA rapporten, te weten:
- STOWA 2018-67: proof of concept en laboratoriumonderzoek O3-STEP filter;
- STOWA 2018-46: Zoetwaterfabriek de Grootte Lucht;
- STOWA 2017-36: Verkenning technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater;
- STOWA 2015-27: verwijdering van microverontreinigingen uit effluent van rwzi's;
- STOWA 2013-35: Monitoring 1-STEP® filter;
- STOWA 2009-34: 1-STEP® filter als effluentpolishingtechniek;
- STOWA 2009-33: nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West;
- STOWA 2009-32 nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West.