



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

stowa

HAALBAARHEIDSSSTUDIE PAK + DOEKFILTRATIE VOOR VERWIJDERING VAN MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI'S



RAPPORT

2020
21

HAALBAARHEIDSSSTUDIE PAK + DOEKFILTRATIE VOOR VERWIJDERING
VAN MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI'S

RAPPORT

2020

21

ISBN 978.90.5773.895.1



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Arnoud de Wilt - Royal HaskoningDHV
Paul Roeleveld - Royal HaskoningDHV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Miriam Bakker – Waterschap Vallei en Veluwe
Patricia Clevering-Loeffen - Sweco
Herman Evenblij – Royal HaskoningDHV
Anna Koenis – Hoogheemraadschap van Rijnland
John Koop – Waterschap Hunze en Aa's
Dirk Koot – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Ad de Man – Waterschapsbedrijf Limburg
Mirabella Mulder – Mirabella Mulder Waste Water Management
Gerard Rijs – Rijkswaterstaat
Ruud Schemen – Waterschap De Dommel
Cora Uijterlinde – STOWA
Bart Verberkt – Waterschap Aa en Maas
Amber Vergnes – Tauw
Rogier Vingerhoeds – Waterschap Brabantse Delta
Ellen van Voorthuizen – Royal HaskoningDHV

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-21
ISBN 978.90.5773.895.1

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

TEN GELEIDE

PAK + DOEKFILTRATIE, EEN VEELBELOVEND CONCEPT

Binnen het Innovatieprogramma Microverontreinigingen (IPMV) van STOWA en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat worden diverse technologieën onderzocht voor de verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater. Ondergebracht in het thema 'Poederactiefkool' is de PAK + Doekfiltratie technologie nader uitgewerkt in een haalbaarheidsstudie. Op de aspecten verwijderingsrendement, kosten en duurzaamheid (CO₂-footprint) is de technologie vergeleken met de referentietechnologieën PACAS, GAK-filtratie en Ozonisatie + Zandfiltratie.

In Duitsland is de PAK + Doekfiltratie technologie reeds op enkele rwzi's op full-scale niveau gerealiseerd. Door het bezoeken van een aantal van deze rwzi's, het afnemen van interviews met ingenieurs die betrokken zijn geweest bij het ontwerp van deze installaties en middels gesprekken met de leveranciers van doekenfilters en poederactiefkool is informatie gewonnen voor het opstellen van de haalbaarheidsstudie. Daarnaast zijn labtesten en praktijkproeven uitgevoerd om de ruimte voor innovatie binnen de PAK + Doekfiltratie technologie te verkennen. Met de opgedane kennis zijn diverse innovatieve ontwerpen van de technologie gemaakt. Deze zijn uitgewerkt in businesscases.

Met name door het lagere verbruik van poederactiefkool in vergelijking met PACAS scoort de PAK + Doekfiltratie technologie beter op CO₂-footprint dan PACAS. Ook scoort het beter dan Ozonisatie + Zandfiltratie en GAK-filtratie op CO₂-footprint. Daarnaast draagt de PAK + Doekfiltratie technologie door de verregaande verwijdering van fosfor ook bij aan het behalen van zeer lage concentraties fosfor in het effluent wat bijdraagt aan het behalen van de KRW-doelen. Door het lagere verbruik van poederactiefkool is ook de slibproductie lager én kan het poederactiefkool gescheiden gehouden worden van het spuislib uit het actiefslibproces. Dit biedt de mogelijkheid voor separate afvoer en verwerking. Op verwijderingsrendement van microverontreinigingen scoort de PAK + Doekfiltratie technologie goed, een vereist minimaal verwijderingsrendement van 70% voor 7 van de 11 gidsstoffen kan eenvoudig bereikt worden. Daarnaast biedt de technologie ook de ruimte om hogere verwijderingspercentages te behalen doordat de technologie ook bij hogere dosering van poederactiefkool bedreven kan worden zonder dat dit impact heeft op de civiele, werktuigbouwkundige en elektrische werken.

Een volgende stap in de ontwikkeling van de PAK + Doekfiltratie technologie is het uitvoeren van pilottesten. Dit onderzoek gaat in 2021 plaatsvinden op rwzi Vinkel. Met pilottesten kan inzicht worden verkregen hoe de technologie functioneert op een Nederlandse rwzi. Daarnaast ligt de focus van de pilottesten op de verdere doorontwikkeling van de technologie. Aspecten die in de pilottesten onderzocht gaan worden zijn het verkleinen van het ruimtebeslag ten opzichte van Duitse rwzi's en het daarmee verlagen van de kosten, het verkrijgen van inzicht in de relatie poederactiefkooldosering en verwijderingsrendementen van de gidsstoffen, en de verwijdering van de verschillende fosfor-fracties.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

PAK + Doekfiltratie is een technologie waarbij poederactiefkool (PAK) wordt gedoseerd aan het effluent van een rwzi en middels een bezink- en doekfiltratiestap wordt afgescheiden van het afvalwater. Gelijk aan andere adsorptietechnologieën worden microverontreinigingen uit het afvalwater verwijderd door adsorptie aan actiefkool. Enkele rwzi's in Duitsland zijn bezocht waar doekfiltratie reeds wordt toegepast.

Lab-testen zijn uitgevoerd om te onderzoeken welke microverontreinigingsverwijderingsrendementen behaald kunnen worden bij verschillende contacttijden tussen effluent en poederkool bij concentraties van 5 en 10 mg/l. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een langere contacttijd bevorderlijk is voor een hoger verwijderingsrendement en dat recirculatie van PAK gewenst is. Voor TSS-concentraties tussen de 2,8 en 3,35 g/l is bevonden dat bezinksnelheden tussen de 1,5 en 2 m/uur liggen. Voor een TSS-concentraties van 0,5 g/l is dit circa 5 m/uur. Deze resultaten zijn gebruikt als grondslagen voor de dimensionering van de ontwerpen. Op vragen over de verhouding contacttijd versus dosering in relatie tot de verwijdering van gidsstoffen, de maximale doekbelasting, en sedimentatie optimalisatie door met PAK en metaalzout te variëren zijn nog geen antwoorden te geven. Deze dienen in een vervolgfase verkregen te worden. De verwachting is dat het mogelijk is om met een dosering van 8 mg/L een verwijderingsrendement van 70% op 7 van de 11 gidsstoffen te behalen.

Binnen de haalbaarheidsstudie zijn een drietal innovatieve ontwerpen uitgewerkt. PAK en metaalzout (FeCl_3) worden in de contacttank gedoseerd, respectievelijk met 8 en 2 mg/L. Het eerste ontwerp bestaat uit een systeem waar adsorptie en bezinking in één stap uitgevoerd worden. Na de contact- en bezinkfase wordt het water afgelaten en door een doekfilter geleid. In het tweede ontwerp zijn adsorptie en bezinking gescheiden in afzonderlijke processtappen. De bezinkfase is klein gedimensioneerd en de doekfiltratiestap is om die reden uitgevoerd als een tweetraps-filtratie. Gelijk aan het tweede ontwerp zijn ook in het derde ontwerp adsorptie en bezinking gescheiden in afzonderlijke processtappen, alleen kent dit ontwerp een grotere bezinkfase gevolgd door een doekfilter gelijk aan het eerste ontwerp. Voor alle ontwerpen zijn de investeringskosten en jaarlijkse kosten uitgewerkt.

De CO_2 -footprint van de PAK + doekfiltratie technologie is berekend en is 95 - 97 g CO_2/m^3 voor respectievelijk ontwerpen 1 en 3. De kleine onderlinge verschillen komen voor uit de verschillende energieverbruiken van de ontwerpen. De CO_2 -footprint van de PAK + doekfiltratie technologie is lager dan de referentietechnieken (PACAS is 122 g CO_2/m^3) doordat er minder PAK ten opzichte van PACAS wordt gedoseerd en veel minder energie wordt verbruikt ten opzichte van ozonisatie. De investerings- en jaarlijkse kosten van de PAK + doekfiltratie technologie voor een rwzi met een capaciteit van 100.000 i.e. zijn uitgewerkt. Ontwerp 1 en 3 kennen vrijwel identieke kosten, deze zijn lager dan ontwerp 2, met 0,15 m^3 behandeld afvalwater. De verwachting is dat gelijk aan de PACAS en ozonisatie technologieën eenzelfde afname van de ecotoxiciteit optreedt bij de PAK + doekfiltratie technologie.

In het vervolgtraject wordt het PAK + doekfiltratie op pilotschaal gevalideerd, waarna op korte termijn doorgedaan kan worden naar een full-scale implementatie.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

HAALBAARHEIDSTUDIE PAK + DOEFILTRATIE VOOR VERWIJDERING VAN MICROVERONTREINIGINGEN OP RWZI'S

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE	1
1.1	Nageschakelde PAK-behandeling	1
1.2	Doekfiltratie	2
1.3	Technology Readiness Level	4
2	LOCATIEBEZOEKEN	5
2.1	Disclaimer vertaling Duitse situatie naar Nederland	5
2.2	RWZI Sankt-Augustin (P-verwijdering)	5
2.3	RWZI Wendlingen (verwijdering microverontreinigingen)	6
2.4	RWZI Lahr (verwijdering microverontreinigingen)	9
3	INNOVATIERUIMTE VOOR (KOSTEN)OPTIMALISATIE	13
3.1	Directe filtratie	13
3.2	Verkorte bezinktijd, hogere belasting doekfilter	14
3.3	Alternatieve afscheidingsmethoden in combinatie met doekfiltratie	15
4	INNOVATIEVE ONTWERPEN	16
5	DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN	17
6	INPASBAARHEID IN NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK	18
6.1	Effect op bedrijfsvoering	18
6.2	Inpassing op de locatie	19
6.3	Voor welke type rwzi's geschikt	19
7	JAARLIJKSE KOSTEN	20

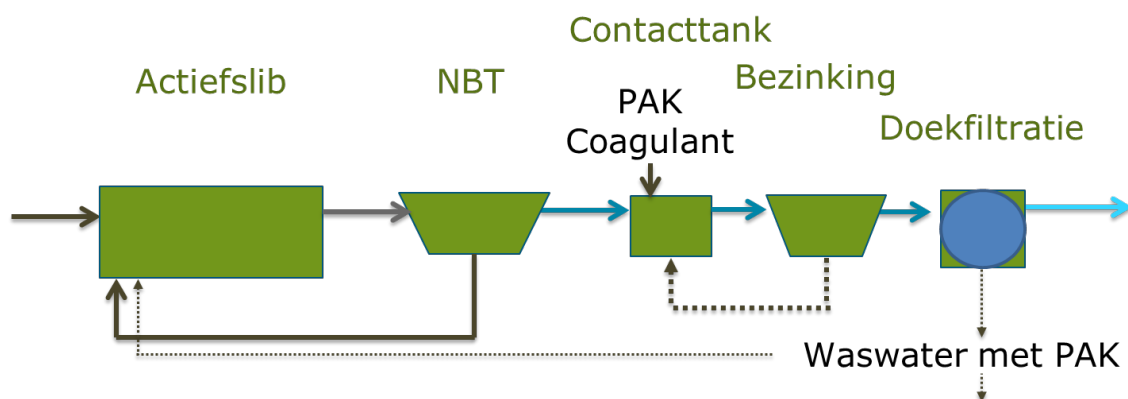
8	BEOORDELING TOETSINGSCRITERIA	22
8.1	Verwijderingsrendement microverontreinigingen	22
8.2	CO ₂ -footprint	22
8.3	Ecotoxiciteit	23
8.4	Bijvangst	23
8.5	Jaarlijkse kosten	24
8.6	Vergelijking ten opzichte van referentietechniek	24
9	CONCEPT PLAN VAN AANPAK VOLGENDE FASE	25
9.1	Onderzoeksvragen	25
9.2	Uitwerkingsvorm	26
10	LITERATUURLIJST	29
BIJLAGE 1	UITGANGSPUNTEN TOETSINGSCRITERIA	30
BIJLAGE 2	UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENINGEN	31
BIJLAGE 3	LAB-TESTEN CONFIGURATIE DIRECTE FILTRATIE	32
BIJLAGE 4	PRAKTIJKTESTEN BEZINKING	37

1

BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE

De PAK + doekfiltratie technologie is een technologie waarbij poederkool (PAK) wordt gedoseerd aan het effluent van het actiefslibproces en middels een bezink- en doekfiltratiestap wordt afgescheiden van het afvalwater. In Figuur 1 is het processchema van de technologie gegeven wanneer toegepast op een rwzi.

FIGUUR 1 PROCESSHEMA INPASSING PAK + DOEKFILTRATIE OP RWZI



Gelijk aan andere technologieën met actiefkool worden microverontreinigingen uit het afvalwater verwijderd door adsorptie aan actiefkool. Door aanpassing van de PAK-dosering, het type PAK, de PAK-concentratie in de contacttank en de contacttijd kunnen verschillende verwijderingsrendementen behaald worden. Tegelijk met PAK wordt ook coagulant (metaalzout) gedoseerd in de contacttank. Dosering van metaalzout dient voor de afvang van fosfor en voor de coagulatie van PAK waardoor dit beter van het afvalwater te scheiden is.

De scheiding van PAK en afvalwater vindt plaats in een tweetraps scheidingsconfiguratie. In de eerste stap wordt de bulk van het PAK door middel van gravitatie bezonken en teruggevoerd naar de contacttank. Door de terugvoer van PAK stijgt de PAK-concentratie in de contacttank. Het resterende PAK dat in de afloop van de bezinkstap aanwezig is wordt afgescheiden middels doekfiltratie. Tijdens reiniging van de doekfilters ontstaat waswater met PAK. Deze stroom kan teruggevoerd worden naar het actiefslibproces waardoor het PAK uiteindelijk in de sliblijn eindigt. Een andere mogelijkheid is om het waswater met PAK als afzonderlijke stroom af te voeren.

1.1 NAGESCHAKELDE PAK-BEHANDELING

PAK + doekfiltratie is een nageschakelde technologie, PAK wordt gedoseerd aan het effluent van een rwzi. Door het PAK aan het effluent te doseren ten opzichte van bijvoorbeeld aan het actiefslibproces zoals bij de PACAS technologie wordt de PAK efficiënter gebruikt voor de verwijdering van microverontreinigingen. Immers, het effluent bevat lagere concentraties aan organische constituenten dan afvalwater in de actiefslibtank. Voor een 70% verwijdering

van 7 van de 11 gidsstoffen is voor de PACAS-technologie een PAK-dosering van circa 15 mg/l nodig (STOWA 2018-02). Praktijkervaring uit Zwitserland en Duitsland toont aan dat bij nageschakelde PAK-technologie een dosering van ca. 10 mg/l volstaat voor een verwijdering van 80% aan een selectie van microverontreinigingen (Zwitserse en Duitse modelstoffen, deels overeenkomstig met gidsstoffen in Nederland). De verwachting is dat voor een 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen een lagere dosering dan 10 mg/l volstaat.

1.2 DOEFILTRATIE

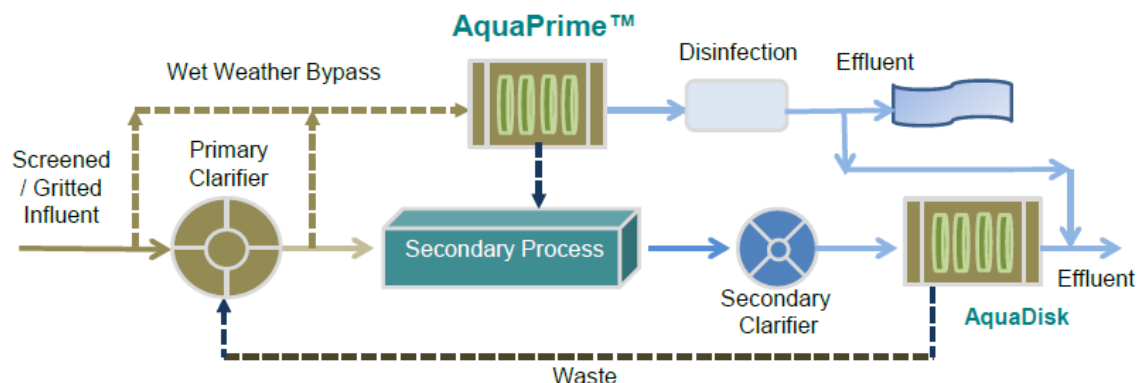
Doekfiltratie is een scheidingstechniek voor de filtratie van onopgeloste bestanddelen. Door (afval)water over het doek te leiden blijven aanwezige deeltjes aan de voedingszijde van het doek achter en vindt daardoor afscheiding plaats van het water dat door het doek heen gaat. Het doek is optisch gezien vergelijkbaar met een hoogpolig tapijt, zie Figuur 2. Het verschil tussen een willekeurig tapijt en een doekfilter is dat de toegepaste doeken zo ontworpen zijn dat ze enerzijds deeltjes goed afscheiden en anderzijds water goed doorlaten. Dit is een samenspel van doeksamenstelling (o.a. materiaalkeuze, weefdichtheid en stofflengte) en reinigingswijze (o.a. type reiniging, frequentie en intensiteit).

FIGUUR 2 VERSCHILLENDE TYPEN DOEK VOOR DOEFILTRATIE (BRON MECANA)



Doekfiltratie wordt in het buitenland reeds op grote schaal toegepast. Door de veelzijdigheid van het doekfilter lopen de toepassingen uiteen van primaire ruw afvalwaterscheiding (alternatief voor voorbezinking), tot filtratie van de regenwaterbypass, tot effluent nabehandeling. Figuur 3 illustreert enkele van deze toepassingsmogelijkheden.

FIGUUR 3 TOEPASSINGEN REGENWATERBYPASS FILTRATIE (AQUAPRIME™) EN EFFLUENTFILTRATIE (AQUADISK) IN HET ZUIVERINGSPROCES VAN COMMUNAAL AFVALWATER (BRON: AQUA-AEROBICS 2019)



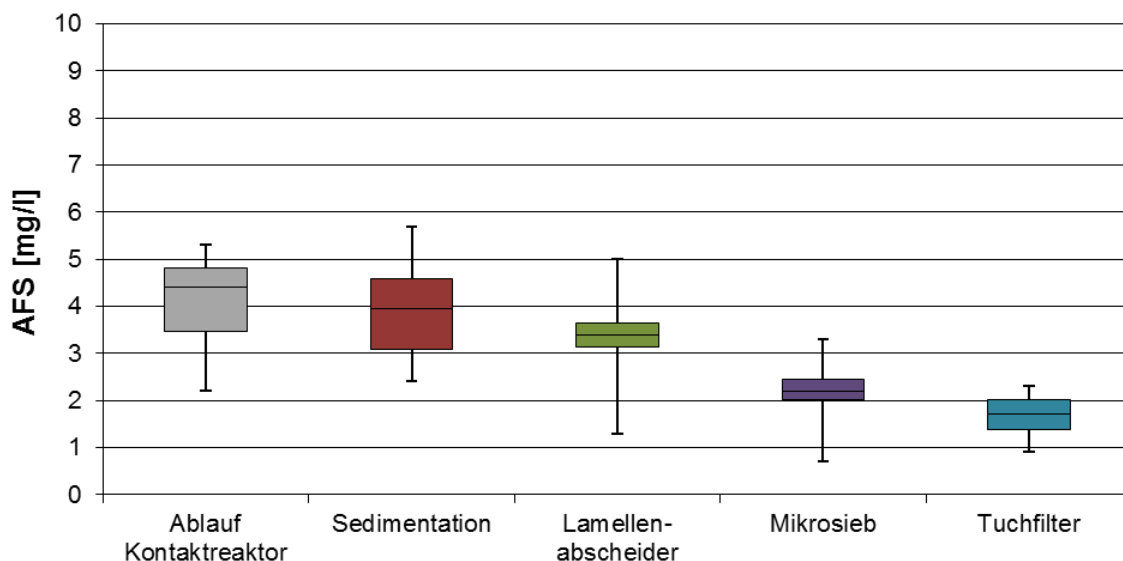
In met name de Verenigde Staten is nageschakelde doekfiltratie toegepast voor de verwijdering van onopgeloste bestanddelen uit het effluent. De doekfilters filteren in deze toepassing de onopgeloste bestanddelen af die uitgespoeld zijn uit de nabezinktanks. Nageschakelde

doekfiltratie voor fosforverwijdering is een veelvoorkomende toepassing in onder andere het Verenigd Koninkrijk. Metaalzout wordt in deze toepassing in het effluent van het actief-slibproces gedoseerd en na een coagulatie-tijd gefiltreerd door een doekfilter. Hierbij worden fosfor en onopgeloste bestanddelen uit het effluent verwijderd. In Duitsland is doekfiltratie ook full-scale toegepast voor de afscheiding van PAK in een nageschakelde configuratie voor de verwijdering van microverontreinigingen, fosfor en onopgeloste bestanddelen.

Er zijn meerdere leveranciers van doekfilters. De toepassing van PAK-filtratie met een doekfilter hebben de meeste leveranciers (nog) niet in hun portfolio. In Europa is er slechts één leverancier (Mecana) met praktijkreferenties op het gebied van doekfiltratie en PAK-afschieding. Er is een tweede leverancier (Nordic Water) die ook bezig is met de ontwikkeling van deze techniek. Nordic Water heeft echter nog geen praktijkreferenties en is pas recentelijk begonnen met de eerste testen op afvalwater. Het Zwitserse Mecana heeft verspreid over verscheidene landen (voornamelijk het Verenigd Koninkrijk en Duitsland) enkele tientallen doekenfilters geïnstalleerd op full-scale rwzi's. Het overgrote deel daarvan heeft als doel het afvangen van onopgeloste bestanddelen en de verwijdering van fosfor. In Duitsland zijn echter ook al een aantal zuiveringen uitgerust met doekfilters voor de afvang van PAK als onderdeel van een nageschakelde behandelingsstap voor de verwijdering van microverontreinigingen. Mecana heeft sinds 1995 ervaring met doekfiltratie en in 2004 en 2010 de mijlpalen van respectievelijk 10.000 m² en 50.000 m² aan geïnstalleerd totaal doekoppervlakte bereikt. Al in 2013 zijn de Mecana doekfilters gebruikt voor de afvang van PAK in industriële toepassing. In 2015 zijn in het Duitse Lahr de eerste doekfilters voor afvang van PAK op communaal afvalwater geplaatst.

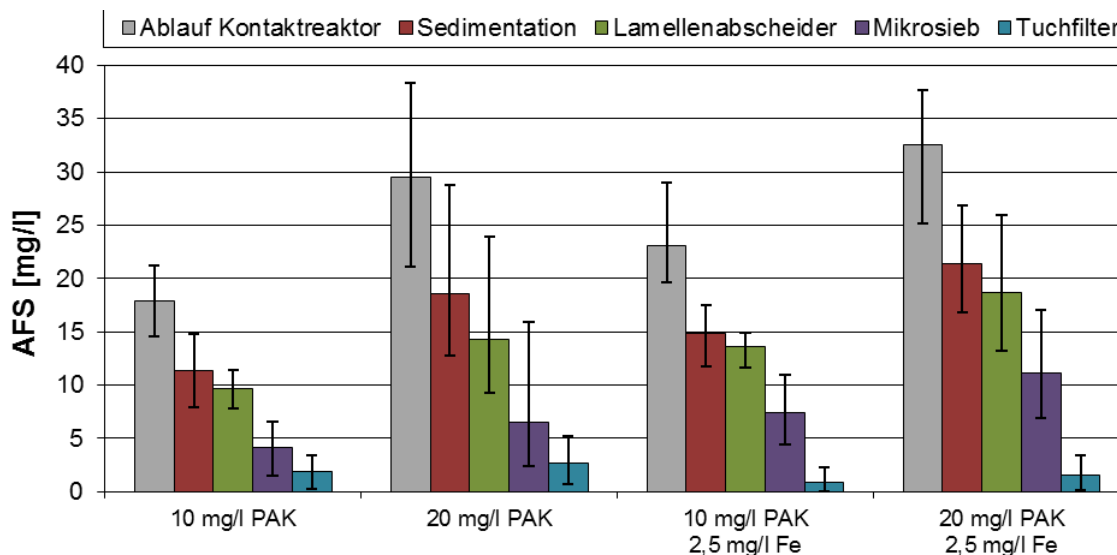
In vergelijking met enkele andere afscheidingstechnieken voor PAK zoals sedimentatie en microzeven haalt doekfiltratie hogere afscheidingsrendementen. In Figuur 4 is dit weergegeven als de concentraties onopgeloste bestanddelen voor en na sedimentatie, lamellen afscheiding, microzeven en doekfiltratie van effluent. Met een gemiddeld afscheidingsrendement van >50% doet het doekfilter het beter dan de andere technieken (Pinnekamp et al. 2012).

FIGUUR 4 AFSCHIEDING VAN ONOPGELOSTE BESTANDSDELEN (AFS) UIT AFLOOP NABEZINKING MIDDELS VIER SCHEIDINGSTECHNIKEN ZOALS IN PILOTTESTEN BEVONDEN (OVERGENOMEN UIT: PINNEKAMP 2012). ABLAUF KONTAKTREAKTOR IS DE VOEDING NAAR DE SCHEIDINGSTECHNIKEN, DIT IS AFKOMSTIG UIT DE AFLOOP VAN EEN NABEZINKTANK VAN EEN RWZI. SEDIMENTATION IS SEDIMENTATIE, LAMELLEN-ABSCHIEDER IS EEN LAMELLEN-AFSCHIEDER, EEN MIKROSIEB IS MICROZEEF EN TUCHFILTER IS EEN DOEKFILTER



In Figuur 5 is de vergelijking gegeven tussen verschillende afscheidingstechnieken wanneer aan het effluent PAK is toegevoegd. Uit deze studie van Pinnekamp et al. uit 2012 is gebleken dat doekfiltratie ook voor de afscheiding van PAK het hoogste afscheidingsrendement haalt. Na toevoeging van PAK en metaalzout lag het afscheidingsrendement van onopgeloste bestanddelen met doekfiltratie tussen de 89 en 96%.

FIGUUR 5 VERWIJDERING VAN ONOPGELOSTE BESTANDSDELEN (AFS) UIT AFLOOP NABEZINKING NA DOSERING VAN POEDERKOOLOPPLOOSINGSTOFFEN (NORIT SAE SUPER ZOALS IN PILOTTTESTEN BEVONDEN (OVERGENOMEN UIT PINNEKAMP 2012)). ABLAUF KONTAKTREAKTOR IS DE VOEDING NAAR DE SCHEIDINGSTECHNIEKEN, DIT IS AFKOMSTIG UIT DE AFLOOP VAN EEN NABEZINKTANK VAN EEN RWZI. SEDIMENTATION IS SEDIMENTATIE, LAMELLEN-ABSCHIEDER IS EEN LAMELLEN-AFSCHIEDER, EEN MIKROSIEB IS MICROZEEF EN TUCHFILTER IS EEN DOEFILTER



1.3 TECHNOLOGY READINESS LEVEL

Doekfiltratie voor de afscheiding van PAK als nageschakelde behandelingstap wordt reeds full-scale toegepast op o.a. de rwzi's van Lahr en Wendlingen in Duitsland. De Technology Readiness Level (TRL) is derhalve 9. Zoals in de volgende hoofdstukken beschreven is er ruimte voor innovatie van de PAK + doekfiltratie technologie, de TRL van deze diverse innovaties ligt rond de 4-6. Met aanvullende lab- en pilottesten kunnen verschillende innovaties/optimalisaties van de technologie en vertaling naar de Nederlandse markt gemaakt worden.

2

LOCATIEBEZOEKEN

In juni 2019 zijn als onderdeel van voorliggende haalbaarheidsstudie enkele rwzi's bezocht waar doekfiltratie reeds wordt toegepast. Opgedane ervaringen van de locatiebezoeken zijn in dit hoofdstuk beschreven. Na een marktscan is geconcludeerd dat Mecana de enige leverancier is met praktijkreferenties in Europa op de afscheiding van PAK uit effluent middels doekfiltratie.

Samen met de leverancier zijn de rwzi's van Sankt-Augustin, Wendlingen en Lahr (allen gelegen in Duitsland) bezocht en is een gesprek gevoerd met ingenieursbureau Weber die de 4e zuiveringstrap van meerdere zuiveringen, waaronder die van Wendlingen en Lahr, heeft ontworpen. De informatie vanuit Weber is verwerkt in de paragrafen over Wendlingen en Lahr. Voor een impressie van de bezochte rwzi's zijn per locatie foto's onderaan desbetreffende paragraaf weergegeven.

2.1 DISCLAIMER VERTALING DUITSE SITUATIE NAAR NEDERLAND

Wetgeving in Duitsland en Nederland met betrekking tot effluenteisen verschilt sterk. Het effect hiervan is dat de ontwerpen in Duitsland anders zijn dan in Nederland. Ten opzichte van de Nederlandse rwzi's zijn Duitse rwzi's vaak groot gedimensioneerd en daarmee ook duurder. Genoemde kosten in dit hoofdstuk dienen derhalve niet een-op-een overgenomen te worden naar de Nederlandse situatie.

2.2 RWZI SANKT-AUGUSTIN (P-VERWIJDERING)

De rwzi van Sankt Augustin maakt gebruik van simultane P-verwijdering door dosering van Fe(III) in de AT. Als polishing-filter om lage fosfaatconcentraties te garanderen zijn ca. 20 jaar geleden diskfilters geplaatst (microzeef / microstrainer) achter de nabezinktanks. Deze functioneerden zeer slecht en de filters konden het niet aan om met flocculant bedreven te worden (verstopping/versmering). Besloten is om de diskfilters te demonteren. In de civiele werken van de diskfilters zijn 2 jaar geleden doekfilters geplaatst. Totaal zijn er 12 parallelle filterkamers uitgerust met een SF1260 doekfilter. Elk SF1260 doekfilter bestaat uit 12 disks met een gezamenlijk oppervlakte van 60 m² aan doek per doekfilter. Het totale doekfilteroppervlakte (720 m²) is voldoende om het volledige RWA debiet te behandelen.

Het effluent van de nabezinktanks stroomt voordat het op de doekfilters wordt gevoerd eerst door twee kleine contacttanks waarin Fe(III) en polymeer (PE) gedoseerd kunnen worden. Daarna wordt het effluent verdeeld over de 12 filterkamers. De doekfilters worden bedreven met een reinigingsregime dat zowel op tijd als op waterniveau gestuurd is. De filters worden standaard elke 6 uur gereinigd. Mocht het waterniveau in de tussentijd stijgen tot 92% van de tankhoogte (basisniveau na reiniging is ca. 82%) dan wordt vroegtijdig gereinigd. In de praktijk wordt enkel op tijd gereinigd omdat de filters niet vervuilen waardoor het waterniveau zelden oploopt.

Elk doekfilter is uitgerust met 4 afzuigers, die elke van 3 disks de vervuiling van de buitenkant van het doek afzuigen. Tijdens reiniging wordt het filter geroteerd en gaan om beurten de afzuiginstallaties aan. Het waswater wordt geretourneerd naar de biologische zuivering en vlak voor het actiefslibproces ingebracht. Tijdens reiniging blijft het doekfilter actief filtreren, er is dus geen down-time. Naast de 6 uren reinigingscyclus heeft het filter na ca. 1,5 jaar door de leverancier (Mecana) een grootonderhoudsbeurt gekregen. Hierbij zijn de doekfilters uit de filterkamers gelicht en is het doek met hogedruk gereinigd.

De verregaande fosforverwijdering is zo ingesteld dat de metaalzoutdosering bij een P-totaal waarde van 0,35 mg/l of hoger begint met doseren. In de praktijk betekent dit dat de metaalzoutdosering niet vaak aanstaat omdat middels simultane P-verwijdering de concentratie in de afloop van de nabezinktanks vaak <0,35 mg/l is. In de afloop van de doekenfilters is de P-totaal concentratie <0,2 mg/l (zie *Figuur 6* rechter foto). Dosering van PE is mogelijk maar is in de praktijk nog nooit gebruikt.

FIGUUR 6

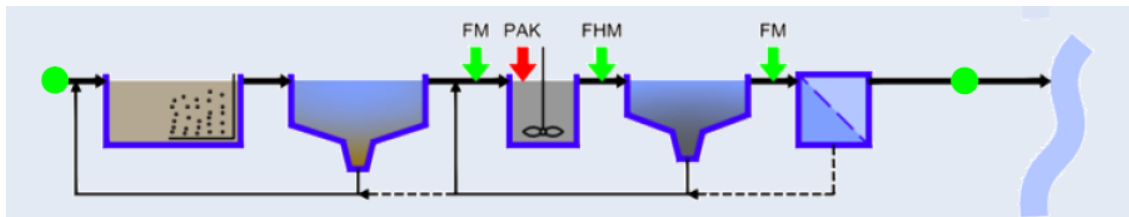
DOEFILTER SANKT-AUGUSTIN (LINKS) EN ONLINE P-METING VOOR AANSTURING DOEKFILTRATIE (RECHTS)



2.3 RWZI WENDLINGEN (VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN)

De rwzi is ontworpen voor 170.000 i.e. en wordt momenteel belast met 130.000 i.e. Eind 2017 is een 4^e zuiveringstrap in gebruik genomen. De 4^e trap bestaat uit een contacttank waarin metaalzout en PAK worden gedoseerd, een bezinktank (Ø 40m) en doekenfilters (4 x SF1575), zie *Figuur 7*. Het totale oppervlakte aan filterdoek is 300 m² waarmee een maximaal debiet van 2600 m³/uur kan worden behandeld. Dit is ongeveer 1,5 keer het DWA debiet. Tijdens RWA wordt een gedeelte van het water via een by-pass om de 4^e zuiveringstrap geleid. Op jaarbasis gaat ca. 85% van het aangevoerde afvalwater over het doekfilter.

FIGUUR 7 CONFIGURATIE RWZI WENDLINGEN, V.L.N.R. ACTIEFSLIBTANK, NABEZINKTANK, 1^E DOSERING METAALZOUT (FM), DOSERING POEDERKOOLO (PAK), DOSERING PE (FHM), BEZINKTANK, 2^E DOSERING METAALZOUT (IS IN WENDLINGEN NIET AANWEZIG), DOEFILTRATIE EN LOZING OP RIVIER DE NECKAR. DE BYPASS VAN DE 4^E ZUIVERINGSTRAP IS NIET WEERGEGEVEN



Vanwege subsidieeisen is in eerste instantie gefocust op verregerende CZV-verwijdering. Deze is door de 4^e zuiveringstrap met meer dan 20% afgenomen van 35 mg/l naar < 28 mg/l. De CZV-verwijdering vond enkel plaats o.b.v. afvang van onopgeloste bestanddelen in de doekfiltratie. In deze periode is geen PAK gedoseerd.

Vanaf april 2018 is de 4^e zuiveringstrap bedreven voor de verwijdering van microverontreinigingen en zijn PAK, metaalzout en PE gedoseerd. De doseringen zijn 10 mg/l voor PAK, 2 mg/l voor metaalzout (Fe(III)) en 0,35 mg/l actief PE. PAK en metaalzout worden voorin de contacttank gedoseerd waarna ze minimaal 30 minuten verblijven in de volledig gemixte tank. PE wordt aan het einde van de contacttank gedoseerd, vlak voor het de bezinktank in stroomt.

Een PAK dosering van 10 mg/l is voldoende voor een 80% verwijdering van een 7-tal gidsstoffen (diclofenac, carbamazepine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, benzotriazol en 4+5 methylbenzotriazol). Door de 4^e zuiveringstrap is de fosforconcentratie in het te lozen effluent afgenomen van 0,4-0,5 mg/l tot 0,2 mg/l waarbij het netto metaalzoutverbruik over de gehele zuivering gezien niet is toegenomen. In de AT is de metaalzoutdosering verminderd.

Door recirculatie van PAK uit de bezinkstap naar de contacttank is de concentratie PAK in de contacttank 3-4 g/l. Na de bezinkfase is de concentratie in de waterlijn circa 3 mg/l, hiermee worden de doekfilters belast. Middels de Schwarzgradbestimmung-methodiek wordt bepaald hoeveel PAK er in de afloop van het doekfilter aanwezig is. Uit metingen blijkt dat het doekfilter vrijwel al het inkomende PAK verwijdert en er nauwelijks PAK in het effluent gemeten kan worden. Surplus PAK uit de bezinktank wordt teruggevoerd naar de AT.

Om de 8 uur worden de doeken gereinigd door de automatische reinigingsinstallatie die het PAK van de buitenkant van het filterdoek afzuigt. Tijdens reiniging blijft de filterwerking gehandhaafd. Eén keer per jaar wordt groot onderhoud door de leverancier (Mecana) uitgevoerd. Hierbij worden de doekenfilters met hoge druk grondig gereinigd. Verder is er tot nog toe geen onderhoud uitgevoerd.

FIGUUR 8 CONTACTTANK WENDLINGEN



FIGUUR 9 OPSLAGSILO EN DOSEERINSTALLATIE IN BETONWERK POEDERKOOLOPSLAG (LINKS) EN OPSLAG METAALZOUT (RECHTS) WENDLINGEN



FIGUUR 10

BEZINKTANK NA CONTACTTANK WENDELINGEN



FIGUUR 11

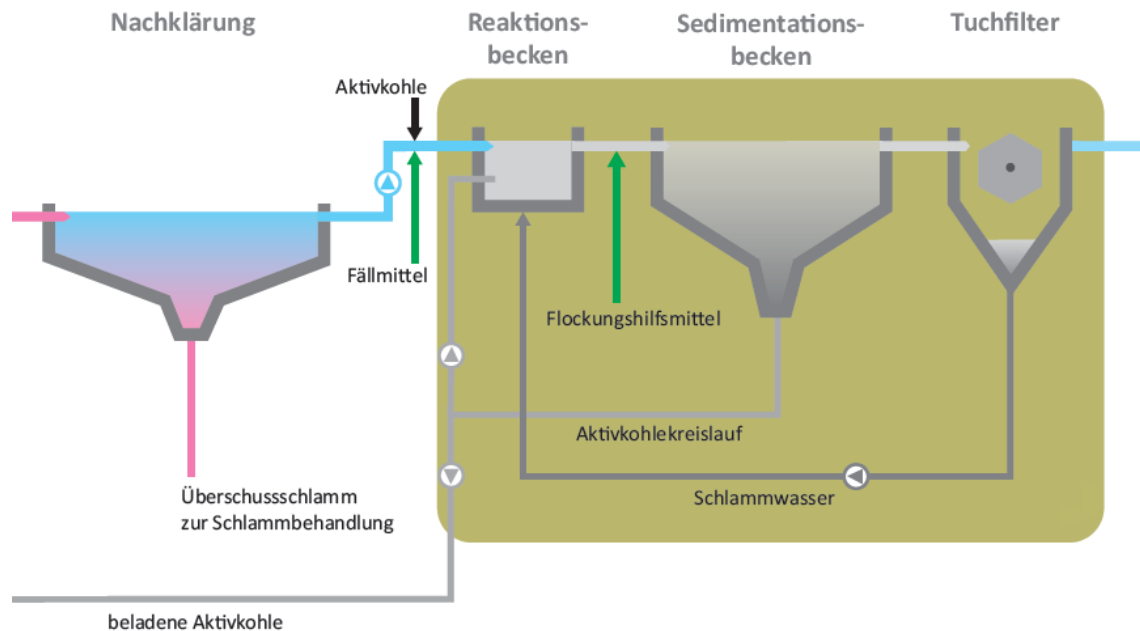
DOEFILTRATIE WENDELINGEN MET HANDMATIG VERLAAGDE WATERSTAND (LINKS) EN TIJDENS NORMAAL BEDRIJF (RECHTS)



2.4 RWZI LAHR (VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN)

Deze locatie is de eerste locatie waar de combinatie van PAK-dosering en doerfiltratie toegepast is op full-scale. Sinds 2015 is de 4^e zuiveringstrap in bedrijf en zijn er goede ervaringen opgedaan zonder dat er zich grote problemen hebben voorgedaan. De 4^e zuiveringstrap in Lahr heeft een configuratie die bestaat uit contacttank, bezinking en doerfiltratie, zie *Figuur 12*. De rwzi behandelt het afvalwater van 100.000 i.e. De biologische zuivering kan maximaal 2.200 m³/uur verwerken. De 4^e zuiveringstrap is uitgelegd op 1.250 m³/uur waarmee ongeveer 85% van het jaardebiet wordt behandeld.

FIGUUR 12 CONFIGURATIE 4^E ZUIVERINGSTRAP RWZI LAHR, OP GROENE ACHTERGROND (BRON [HTTPS://WWW.LAHR.DE](https://www.lahr.de)). NACHKLÄRUNG IS NABEZINKING ACTIESSLIBPROCES, REAKTIONSBECKEN IS CONTACTTANK, SEDIMENTATIONSBECKEN IS BEZINKTANK, TUCHFILTER IS DOEKFILTER, AKTIVKOHLE IS PAK, FÄLLMITTEL IS METAALZOUT, FLOCKUNGSHILFSMITTEL IS PE, AKTIVKOHLEKREISLAUF IS PAK-RECIRCULATIE, SCHLAMMWASSER IS SPOELWATER DOEKFILTER, BELADENE AKTIVKOHLE IS PAK-SPUI NAAR DE AT



De contacttank heeft een volume van 1000 m³ wat achterafgezien aan de grote kant is. Omdat het destijds de 1^e installatie was en er nog geen praktijkervaring was is gekozen voor zekerheid en zijn de procesonderdelen ruim gedimensioneerd. De contacttijd is hierdoor vaak lang (>1 uur). Door de grote dimensionering functioneert het doekfilter als politiefilter voor de bezinktank. De afscheiding van PAK vindt bij DWA vrijwel geheel in de bezinktank plaats, enkel bij RWA slaan er kleine hoeveelheden PAK door naar het doekfilter. Er zijn drie SF1260 doekfilters met een totaal doekoppervlakte van 180 m².

De dosering van PAK is 10 mg/l, 2 mg/l voor metaalzout en 0,4 mg/l actief PE. In Lahr wordt aluminium als metaalzout gedoseerd. De PAK-dosering van 10 mg/l is voldoende voor een 80% verwijdering van een 7-tal gidsstoffen (diclofenac, carbamazepine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, benzotriazool en 4+5 methylbezotriazool). Door de 4^e zuiveringstrap is de fosforconcentratie in het te lozen effluent afgenomen van 0,4 mg/l tot 0,1 mg/l waarbij het netto metaalzoutverbruik over de gehele zuivering gezien iets is afgenomen. In de AT is de metaalzoutdosering verminderd.

Door de lage belasting hoeven de doekfilters weinig gereinigd te worden. Pas na 3 jaar zijn de doekfilters voor het eerst grondig gereinigd door de leverancier (Mecana). Doordat het doek weinig schoongemaakt hoeft te worden ligt de vermoedelijke vervangtijd van het filterdoek op meer dan 9 jaar.

Enkele verbruiksdata van de 4^e zuiveringstrap zijn:

- Actiefkoolverbruik: 40 ton/jaar
- Metaalzoutverbruik: 3 ton/jaar
- Elektriciteitsverbruik: 490.000 kWh/jaar (voornamelijk opvoer water, doekfilter zelf 20 kWh/filter/dag)
- Slibproductie: 210 ton/jaar

De investeringskosten van de gehele 4^e zuiveringstrap bedragen 9,3 M€. De specifieke kosten van de doekfiltratie bedragen ca. 1 M€ waarvan 560 k€ voor de doekfilters zelf (WTB) en de rest voor civiele en elektrawerken. Volgens de managers van de rwzi zouden de kosten van zandfilters met eenzelfde filtratiecapaciteit ca. 3,5 M€ zijn en is daarom voor doekfiltratie gekozen.

De jaarlijkse kosten (afschrijving en exploitatie) bedragen circa 875 k€. Dit is opgebouwd uit 648 k€ kapitaalafschrijving en 227 k€ exploitatielasten. De exploitatielasten zijn opgebouwd uit 88 k€ voor elektriciteitsverbruik, 74 k€ voor actiefkoolverbruik, 13,5 k€ voor metaalzoutverbruik, 17 k€ voor slibafvoer en 35 k€ voor personeel (incl. onderhoud door leverancier).

De kosten per behandelde kuub water bedragen 0,18 €/m³. Per kuub water dat de zuivering verlaat, dus inclusief by-pass, is dit 0,15 €/m³. Algemene opmerking bij alle bovengenoemde kosten is dat vanuit rwzi Lahr zelf signalen werden afgegeven dat de gehele nabehandelingsschakel nogal ruim gedimensioneerd is.

FIGUUR 13

CONTACTTANK (LINKS) EN POEDERKOOLOSILO LAHR (RECHTS)



FIGUUR 14 BEZINKTANK NA CONTACTTANK (LINKS) EN DOEKFILTER LAHR (RECHTS)



FIGUUR 15 SEGMENT DOEKFILTER DEELS OPENGEMAAKT (LINKS), V.L.N.R. AFLOOP EN OPLOOP 4E ZUIVERINGSTRAP LAHR (RECHTS)



3

INNOVATIERUIMTE VOOR (KOSTEN)

OPTIMALISATIE

De oorsprong van de configuraties van de nageschakelde behandelingsstap zoals toegepast op de rwzi's van Wendlingen en Lahr ligt in het ontwerp van een industriële waterzuivering in Ulm. Dit zogenaamde 'Ulmer Verfahren' (Ulmer ontwerp) is afkomstig van een zuiverings-trap waarin afvalwater uit de textielindustrie middels actiefkool van kleur werd ontdaan. Vanwege onbekendheid met de techniek en veiligheidsfactoren kent het Ulmer ontwerp een grote contacttank en een zeer grote sedimentatietank. Als gevolg van laatstgenoemde is de afloop van de sedimentatietank zo schoon is dat het doekenfilter vrijwel geen functie heeft. In rwzi's Lahr en Wendlingen is de veiligheidsmarge al verkleind maar nog steeds zeer ruim. Ook hier worden de doekenfilters zeer laag belast en is de contacttijd lang.

In tegenstelling tot rwzi's Lahr en Wendlingen waar een selectie microverontreinigingen tot 80% verwijderd moet worden is het innovatieprogramma erop gericht om gidsstoffen voor 70% te verwijderen.

Door deze lagere eis kunnen in Nederland andere ontwerpgrondslagen en configuraties gehanteerd worden voor een nageschakelde behandelingsstap met PAK en doekfiltratie dan in Duitsland.

In dit hoofdstuk worden langs verschillende sporen innovatieruimtes binnen de PAK + Doekfiltratie technologie beschreven. Deze vormen in combinatie met de opgedane informatie van de locatiebezoeken de grondslagen van de ontwerpen zoals in hoofdstuk 0 gegeven.

3.1 DIRECTE FILTRATIE

Een mogelijke configuratie van de PAK + doekfiltratie technologie is de dosering van PAK aan effluent in een nageschakelde contacttank met daaropvolgende doekfiltratie zonder recirculatie van gefiltreerd PAK en zonder nabezinktank, met andere woorden directe filtratie. Bij een verwijderingsgraad van 70 i.p.v. 80% is dit mogelijk een realistische en innovatieve configuratie waardoor de sedimentatiestap overgeslagen kan worden.

Het grote verschil tussen deze configuratie en de configuratie zoals op rwzi's Wendlingen en Lahr toegepast is de PAK-concentratie in de contacttank. Bij de directe filtratie configuratie is deze gelijk aan de dosering en daarmee laag ten opzichte van rwzi's Wendlingen en Lahr. Indien met directe filtratie microverontreiniging voldoende verwijderd kunnen worden zou dit een zeer kosteneffectieve configuratie zijn. Het meest cruciale aspect binnen deze configuratie is of met een niet al te lange contacttijd en een lage PAK-dosering de verwijdering van microverontreinigingen voldoende hoog is.

LAB-TESTEN

Om deze configuratie op haalbaarheid te toetsen zijn in lab-testen proeven met verschillende contacttijden en PAK-doseringen uitgevoerd. De opzet, uitvoering en resultaten van de lab-testen zijn in bijlage 3 beschreven. In dit hoofdstuk zijn enkel de conclusies uit de lab-testen opgenomen.

De volgende onderzoeksvraag is geformuleerd om de haalbaarheid van de directe filtratie configuratie te toetsen: *Welke microverontreinigingenverwijderingsrendementen kunnen behaald worden bij contacttijden tussen effluent en poederkool van 10, 20, 30, 60 en 120 minuten en poederkoolconcentraties van 5 en 10 mg/l?*

CONCLUSIES LAB-TESTEN

In antwoord op de onderzoeksvraag kan worden geconcludeerd dat microverontreinigingen bij alle geteste contacttijden en PAK-concentraties verwijderd worden. De verwijderingsrendementen zijn echter te laag om over een gehele rwzi beschouwd een 70% verwijdering van gidsstoffen te bewerkstelligen. Afhankelijk van het aandeel water dat in de PAK + doekfiltratie technologie behandeld wordt zijn daarvoor rendementen van 70-80% over enkel de nageschakelde behandelingsstap nodig.

De lab-testen tonen ook aan dat een langere contacttijd bevorderlijk is voor een hoger verwijderingsrendement. Dit betekent dat recirculatie van PAK gewenst is, dit kan zowel binnen de nageschakelde behandelingsstap als door terugvoer van PAK naar het actiefslibproces bereikt worden. Door recirculatie zal de verblijftijd van PAK en daarmee de contacttijd tussen PAK en microverontreinigingen vergroten en neemt het gemiddelde verwijderingsrendement toe. Binnen de configuratie 'directe filtratie' is recirculatie van PAK ook mogelijk. Hiervoor is een hogere doekfiltratiecapaciteit nodig, of hiervoor meer doekoppervlak nodig is of dat het doekfilter hoger belast kan worden moet in vervolgstudies onderzocht worden.

In de verdere uitwerking binnen de haalbaarheidsstudie van de PAK + Doekfiltratie technologie is de conclusie dat recirculatie nodig is voor een voldoende verwijderingsrendement van microverontreinigingen meegenomen. De verder uitgewerkte ontwerpen zoals die in hoofdstuk 0 gepresenteerd zijn bevatten allen een recirculatie. Er is vooralsnog geen ontwerp gemaakt van een directe filtratie configuratie met interne recirculatie.

3.2 VERKORTE BEZINKTIJD, HOGERE BELASTING DOEKFILTER

De verwachting is dat kortere bezinktijden in combinatie met een hogere belasting van het doekfilter volstaan voor een goede afscheiding van PAK. Op basis van ervaringen in Lahr kan ook de contacttijd verkleind worden. Door de juiste dimensionering kunnen mogelijk contacttijd en bezinking beter op elkaar afgestemd worden. Indien dit mogelijk is kan er bespaard worden op voornamelijk civiele constructies en daarmee zowel het ruimtebeslag als de kosten gedrukt worden. Belangrijk is dat bij bovenstaande innovatieruimte gelet wordt op welke verwijdering van microverontreinigingen haalbaar is.

PRAKTIJKTESTEN

In oktober 2019 is de rwzi Lahr voor een tweede maal bezocht om aanvullende praktijktesten uit te voeren naar de bezinkeigenschappen van het mengsel PAK + aluminium (Al) en daarmee de innovatieruimte binnen de PAK + doekfiltratie technologie op te zoeken. In bijlage 4 zijn de opzet, uitvoering en resultaten van de praktijktesten beschreven, in dit hoofdstuk de conclusies.

CONCLUSIES PRAKTIJKTESTEN

Voor TSS-concentraties tussen de 2,8 en 3,35 g/l is bevonden dat bezinksnelheden tussen de 1,5 en 2 m/uur liggen. Voor een TSS-concentraties van 0,5 g/l is dit circa 5 m/uur. Deze resultaten zijn gebruikt als grondslagen voor de dimensionering van de ontwerpen die in hoofdstukken 0 zijn gepresenteerd.

Op vragen over de verhouding contacttijd versus dosering in relatie tot de verwijdering van gidsstoffen, de maximale doekbelasting en sedimentatie optimalisatie door met PAK en metaalzout te variëren zijn nog geen antwoorden te geven. Deze dienen in een vervolgfase verkregen te worden.

3.3 ALTERNATIEVE AFSCHEIDINGSMETHODEN IN COMBINATIE MET DOEKFILTRATIE

De bezinkstap bij de rwzi's Lahr en Wendlingen kent een relatief groot ruimtebeslag. Voor locaties waar weinig ruimte beschikbaar is zouden alternatieve scheidingsmethoden met een lager ruimtebeslag interessant kunnen zijn. Technieken die hiervoor in aanmerking komen zijn het gebruik van hydrocyclonen en lamellenafscheiders. Beide zijn compacter dan een conventionele bezinkprocessen.

In de studie van Pinnekamp et al. uit 2012 is lamellenafscheiding ook onderzocht. Deze haalde voor de afscheiding van een PAK en metaalzoutmengsel een hoger rendement dan bezinking. Mogelijk dat de bezinkstap vervangen kan worden door een lamellenafscheider.

Op de universiteit van Stuttgart zijn in 2016 eerste testen met het scheiden van PAK en water middels hydrocyclonen met nageschakelde doekfilters uitgevoerd (Otto, 2016). Over de combinatie van beide werd een hoog afscheidingsrendement behaald. De studie is enkel bij lage PAK-concentraties (gemeten als TSS) tot maximaal 60 mg TSS/l uitgevoerd.

Voor de haalbaarheidsstudie zijn de onderzoekers uit Stuttgart telefonisch geconsulteerd over nadere details van de studie uit 2016 en is gevraagd of zij toekomst zien in de PAK-afscheiding middels hydrocyclonen. Zij hebben aangegeven dat de door hen uitgevoerde studie als een eerste test moet worden gezien. Door budgettaire beperkingen is er vooralsnog geen vervolgonderzoek uitgevoerd. Wel gaven zij aan dat de techniek de potentie heeft om de bezinkstap te vervangen.

In de haalbaarheidsstudie zijn hydrocyclonen en lamellenafscheiders vooralsnog niet verder onderzocht. Wel zijn beide technieken benoemd als potentieel interessante technieken voor een vervolgfase in hoofdstuk 9. Afscheidingsrendementen van beide technieken in combinatie met doekfiltratie dienen in een vervolgfase nader onderzocht te worden.

4

INNOVATIEVE ONTWERPEN

Binnen de haalbaarheidsstudie zijn een drietal configuraties uitgewerkt welke binnen de tot nu toe bekende informatie haalbaar lijken. De dimensioneringsgrondslagen van de drie ontwerpen komen voort uit de lab-testen, praktijktesten naar bezinkeigenschappen, de locatiebezoeken in Duitsland en de leveranciersinformatie over praktijkervaringen met doekfilters.

In alle ontwerpen worden PAK en metaalzout (Fe(III)) in de contacttank gedoseerd, respectievelijk met 8 en 2 mg/L. In geen van de ontwerpen wordt PE gedoseerd. Dit omdat de noodzaak daarvan op basis van Duitse ervaringen niet eenduidig is en het een potentieel versmerend effect op de doekfilters kan hebben.

Het eerste ontwerp bestaat uit een systeem waar adsorptie en bezinking in één stap uitgevoerd worden. Na het vullen van de reactor start een contactfase gevolgd door een bezinkfase. Daarna wordt het water afgelaten en door een doekfilter geleid voor de verwijdering van de laatste resten onopgeloste bestanddelen (voornamelijk PAK, metaalzout en onopgeloste bestanddelen uit de nabezinker van het actiefslibproces).

In het tweede ontwerp zijn adsorptie en bezinking gescheiden in afzonderlijke processtappen. De bezinkfase is dermate klein gedimensioneerd dat er een relatief groot aandeel PAK doorslaat naar de doekfilters. De doekfiltratiestap is daarom uitgevoerd als een tweetraps-filtratie, een grove doekfiltratie gevolgd door een fijne doekfiltratie. Hiervoor is meer doekfiltratiecapaciteit nodig dan bij het eerste en derde ontwerp.

Gelijk aan het tweede ontwerp zijn ook in het derde ontwerp adsorptie en bezinking gescheiden in afzonderlijke processtappen. Het derde ontwerp kent een grotere bezinkfase dan het tweede ontwerp gevolgd door een doekfilter gelijk aan het eerste ontwerp voor de afvang van laatste resten onopgeloste bestanddelen.

5

DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN

De dimensioneringsgrondslagen en jaarlijkse verbruiken van de drie ontwerpen van de PAK + doekfiltratie technologie voor een rwzi met een belasting van 100.000 i.e. 150 g TZV zijn in *Tabel 1* weergegeven. Deze dimensioneringsgrondslagen zijn de basis voor de kostenberekening in hoofdstuk 7.

Jaardebiet en ontwerpdebiet zijn overgenomen uit *Richtlijnen haalbaarheidsstudie onderzoeksprogramma microverontreinigingen uit afvalwater*. Bij de dimensionering en kostenberekening is uitgegaan van een terugvoer van het PAK + metaalzoutmengsel naar het actiefslibproces.

TABEL 1 DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN DRIE ONTWERPEN PAK + DOEKFILTRATIE TECHNOLOGIE OP RWZI MET CAPACITEIT 100.000 I.E.

Parameter	Eenheid	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3
Jaardebiet rwzi	m ³ /jaar		7.665.000	
Aandeel behandeld jaardebiet	%		70	
Behandeld debiet	m ³ /jaar		5.365.500	
Ontwerp piek aanvoer	m ³ /uur		1.040	
HRT-absorptiefase	minuten		30	
PAK-dosering	mg/L		8	
PAK-verbruik	ton/jaar		43	
Metaalzout-dosering ¹	mg Fe(III)/L		2	
Metaalzout-verbruik ¹	ton FeCl ₃ /jaar		31	
Metaalzout-besparing actiefslibproces ¹	ton FeCl ₃ /jaar		31	
Concentratie fosfor ingaand	mg/L		0,5	
Concentratie fosfor uitgaand	mg/L		0,1 - 0,2	
Verhouding metaalzout:fosfor	mol Fe:mol P		2,2	
Extra af te voeren slib ²	ton ds/jaar		43	
Besparing op PE voor slibindikking	ton/jaar		0,6	
Opvoerhoogte	m		2	
TSS-concentratie adsorptiefase	g/l	3	0,5	3
Bezinksnelheid PAK+metaalzout mengsel	m/uur	2	5	2
Ruimtebeslag absorptie- en bezinkfase	m ²	1200		
Ruimtebeslag absorptiefase	m ²		200	200
Ruimtebeslag bezinkfase	m ²		350	700
Doekoppervlak ééntrapsfiltratie	m ²	130		130
Doekoppervlak tweetrapsfiltratie	m ²		390	
Ruimtebeslag doekfilters	m ²	50	150	50
Elektriciteitsverbruik	kWh/jaar	124.000	131.000	152.000
Personele belasting	FTE		0,4	

- 1 Conform de richtlijnen vindt er reeds metaalzoutdosering op de 100.000 i.e. rwzi plaats. Ervaring van rwzi's Lahr en Wendlingen is dat de metaalzoutdosering over de gehele rwzi niet toeneemt. Het doseerpunt verandert wel.
- 2 Berekend op basis van de dosering van PAK, metaalzoutdosering is hierin niet meegenomen.

6

INPASBAARHEID IN NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK

Hieronder is de inpasbaarheid gegeven van de PAK + doekfiltratie technologie op Nederlandse rwzi's met een schaalgrootte van 100.000 i.e.

6.1 EFFECT OP BEDRIJFSVOERING

EFFLUENTKWALITEIT

De kwaliteit van het effluent zal toenemen door de afvang van microverontreinigingen, microplastics, fosfaat en onopgeloste bestanddelen zoals uitgespoeld slib. Zowel de chemisch als de ecotoxicologische kwaliteit verbeterd hierdoor.

SLIBPRODUCTIE

Door de dosering van PAK en metaalzout ontstaat er een additionele spuistroom van het PAK-metaalzout mengsel. Bij een dosering van 8 mg/L zal er jaarlijks 43 ton ds PAK afgevoerd moeten worden. De ervaring in Duitsland leert dat bij een zuivering met chemische P-verwijdering de netto metaalzoutdosering gelijk blijft of zelfs licht afneemt. Voor een goed functionerende bio-P rwzi is dit mogelijk anders. Afhankelijk van de rwzi zal de dosering van metaalzout dus tot een vermindering, geen verandering of stijging van de chemisch slibproductie leiden.

Doordat PAK en metaalzout nageschakeld gedoseerd worden is de spuistroom van het mengsel separaat te houden van de actiefslibspui. In Duitsland wordt er echter vrijwel overal voor gekozen om het PAK-metaalzoutmengsel terug te voeren naar het actiefslibproces. Dit heeft een lichte stijging van het droge stof percentage van het ontwaterde slib tot gevolg. Welke effecten de aanwezigheid van PAK in de actiefslibspui heeft op de slibeindverwerking wordt momenteel onderzocht in een andere studie binnen het Innovatieprogramma.

ENERGIEVERBRUIK

Het energieverbruik van de rwzi zal afhankelijk van de gekozen configuratie toenemen met circa 124.000 tot 152.000 kWh per jaar. Dit is berekend inclusief een 2 meter opvoerhoogte van het te behandelen water.

CHEMICALIËNVERBRUIK

Door dosering van PAK is een verbruik van 43 ton PAK per jaar voorzien. Afhankelijk van de rwzi neemt het metaalzoutverbruik toe, blijft gelijk of neemt af. Voor de PAK + doekfiltratie technologie is een metaalzoutdosering van 31 ton FeCl₃ per jaar nodig. Mogelijk dat de verbeterde ontwatering van het actiefslib resulteert in een verlaging van het PE-gebruik

tijdens slibindikking. Dit kan echter niet met zekerheid worden vastgesteld en dient nader onderzocht te worden.

6.2 INPASSING OP DE LOCATIE

De inpassing van de PAK + doekfiltratie technologie is vrijwel gelijk aan overige nageschakelde behandelingstechnieken. In Figuur 1 is schematisch weergegeven hoe de PAK + doekfiltratie technologie op een rwzi kan worden ingepast. De ruimtebeslagen van de verschillende configuraties zijn in hoofdstuk 0 gegeven. Voor de PAK-dosering is doseerinstallatie en -silo nodig, deze is gelijk aan de doseerinstallatie bij de PACAS-technologie (STOWA 2018-02). Het ruimtebeslag hiervan is circa 25 m². Voor metaalzoutdosering is een doseerinstallatie nodig die doorgaans kleiner is dan de doseerinstallatie voor PAK maar een nagenoeg gelijk ruimtebeslag kent. Met de vervanging van de bezinkstap door hydrocyclonen of lamellenafscheider kan het ruimtebeslag mogelijk fors beperkt worden.

6.3 VOOR WELKE TYPE RWZI'S GESCHIKT

De PAK + doekfiltratie technologie is in principe toepasbaar op alle rwzi's waar de wens is om microverontreinigingen en/of fosfaat te verwijderen. Aandacht moet worden besteed aan de wijze waarop de spuistroom van PAK en metaalzout wordt verwerkt. Wordt deze naar het actiefslibproces geleid dan legt dit een beslag op de biologische zuiveringscapaciteit van de rwzi.

7

JAARLIJKSE KOSTEN

Op basis van de dimensioneringsgrondslagen en jaarlijkse verbruiken zoals gegeven in hoofdstuk 0 en conform de kostenkennallen van de richtlijnen Innovatieprogramma zijn de investeringskosten en jaarlijkse kosten uitgewerkt. Deze zijn in Tabel 2 weergegeven voor de drie verschillende configuraties die in de haalbaarheidsstudie ontwikkeld zijn. De investeringskosten zijn opgesplitst in de onderdelen civiel, werktuigbouwkundig en elektrisch/proces automatisering.

TABEL 2 INVESTERINGS- EN JAARLIJKSEKOSTEN PAK + DOEKFILTRATIE TECHNOLOGIE VOOR DE DRIE UITGEWERKTE ONTWERPEN

Investeringskosten	Ontwerp 1			Ontwerp 2			Ontwerp 3		
	C	WTB	E/PA	C	WTB	E/PA	C	WTB	E/PA
Kale bouwkosten	€ 467.904	€ 1.430.600	€ 237.000	€ 549.723	€ 2.020.200	€ 229.000	€ 701.513	€ 1.383.400	€ 237.000
Onvolledigheid	25% € 116.976	€ 357.650	€ 59.250	€ 137.431	€ 505.050	€ 57.250	€ 175.378	€ 345.850	€ 59.250
Opslag aannemerskosten	25% € 146.220	€ 447.063	€ 74.063	€ 171.788	€ 631.313	€ 71.563	€ 219.223	€ 432.313	€ 74.063
Stichtingskosten	80% € 584.881	€ 1.788.250	€ 296.250	€ 687.154	€ 2.525.250	€ 286.250	€ 876.891	€ 1.729.250	€ 296.250
Totaal per post	€ 1.315.981	€ 4.023.563	€ 666.563	€ 1.546.096	€ 5.681.813	€ 644.063	€ 1.973.005	€ 3.890.813	€ 666.563
Totaal	€		6.007.000	€		7.872.000	€		6.531.000

Jaarlijksekosten	Jaarlasten	per kuub	per i.e.	Jaarlasten	per kuub	per i.e.	Jaarlasten	per kuub	per i.e.
	€/jaar	€/m3	€/i.e.	€/jaar	€/m3	€/i.e.	€/jaar	€/m3	€/i.e.
Kapitaalslasten C	€ 76.103	€ 0,014	€ 0,761	€ 89.411	€ 0,017	€ 0,894	€ 114.099	€ 0,021	€ 1,141
Kapitaalslasten WTB	€ 361.884	€ 0,067	€ 3,619	€ 511.028	€ 0,095	€ 5,110	€ 349.944	€ 0,065	€ 3,499
Kapitaalslasten E/PA	€ 59.951	€ 0,011	€ 0,600	€ 57.928	€ 0,011	€ 0,579	€ 59.951	€ 0,011	€ 0,600
Onderhoud C	€ 6.580	€ 0,001	€ 0,066	€ 7.730	€ 0,001	€ 0,077	€ 9.865	€ 0,002	€ 0,099
Onderhoud WTB	€ 120.707	€ 0,022	€ 1,207	€ 170.454	€ 0,032	€ 1,705	€ 116.724	€ 0,022	€ 1,167
Onderhoud E/PA	€ 19.997	€ 0,004	€ 0,200	€ 19.322	€ 0,004	€ 0,193	€ 19.997	€ 0,004	€ 0,200
Personeel	€ 20.000	€ 0,004	€ 0,200	€ 20.000	€ 0,004	€ 0,200	€ 20.000	€ 0,004	€ 0,200
Kosten actiefkool	€ 85.848	€ 0,016	€ 0,858	€ 85.848	€ 0,016	€ 0,858	€ 85.848	€ 0,016	€ 0,858
Kosten coagulant	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Kosten elektriciteit	€ 12.417	€ 0,002	€ 0,124	€ 13.111	€ 0,002	€ 0,131	€ 10.338	€ 0,002	€ 0,103
Kosten extra slibafvoer	€ 25.754	€ 0,005	€ 0,258	€ 25.754	€ 0,005	€ 0,258	€ 25.754	€ 0,005	€ 0,258
Besparing polymeer	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Totaal	€ 789.241	€ 0,147	€ 7,892	€ 1.000.587	€ 0,186	€ 10,006	€ 812.521	€ 0,151	€ 8,125
Berekend over volledige debiet rwzi		€ 0,103			€ 0,131			€ 0,106	

8

BEOORDELING TOETSINGSCRITERIA

In dit hoofdstuk wordt de PAK + doekfiltratie technologie beoordeeld op de toetsingscriteria zoals gesteld in de richtlijnen van het Innovatieprogramma en vergeleken met de referentietechnieken.

8.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT MICROVERONTREINIGINGEN

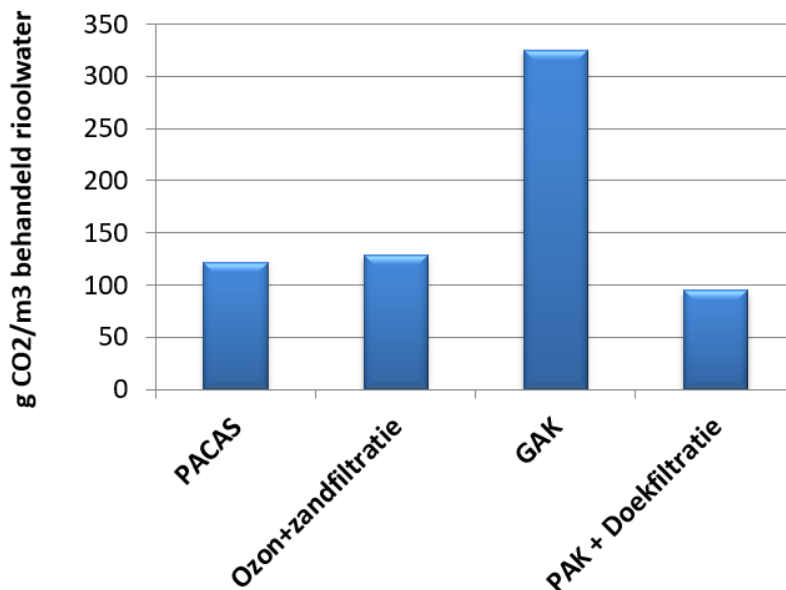
Op basis van de ruime full-scale praktijkervaringen met nageschakelde PAK-behandeling in Duitsland en Zwitserland kan gesteld worden dat de eis van een 70% verwijdering van 7 van de 11 gidsstoffen met de PAK + doekfiltratie technologie behaald kan worden.

Op de rwzi's van Lahr en Wendlingen wordt met een PAK-dosering van 10 mg/L een verwijderingsrendement van 80% behaald. De verwachting is dat het mogelijk is om met een dosering van 8 mg/L een rendement van 70% te behalen. Door verhoging van de PAK-dosering kan ook een hoger verwijderingsrendement behaald worden. In vervolgonderzoek moet bepaald worden welke maximale verwijderingsrendementen haalbaar zijn.

8.2 CO₂-FOOTPRINT

De CO₂-footprint van de PAK + doekfiltratie technologie is berekend op basis van het door STOWA verstrekte model "CO₂-footprint rwzi's micro's 100.000 i.e. versie 5". In de berekening is conform de richtlijnen de opvoer van het effluent niet meegenomen. De CO₂-footprint is 95 - 97 g CO₂/m³ en 1774 - 1788 ton CO₂/jaar, voor respectievelijk ontwerpen 1 en 3. De kleine onderlinge verschillen komen voor uit de verschillende energieverbruiken van de ontwerpen. De CO₂-footprint van de PAK + doekfiltratie technologie is lager dan de referentietechnieken doordat er minder PAK ten opzichte van PACAS wordt gedoseerd en veel minder energie ten opzichte van ozonisatie wordt verbruikt.

FIGUUR 16

CO₂-FOOTPRINT VAN DE PAK + DOEKFILTRATIE TECHNOLOGIE IN VERGELIJKING MET DE REFERENTIE-TECHNIEKEN

8.3 ECOTOXICITEIT

De verwachting is dat gelijk aan de PACAS en ozonisatie technologieën eenzelfde afname van de ecotoxiciteit optreedt bij de PAK + doekfiltratie technologie. Het afvalwater van de Duitse rwzi's Lahr en Wendlingen is ook in toxiciteit afgenomen door de PAK + doekfiltratie technologie. Verwacht wordt dat dit ook in Nederland zal optreden. De daadwerkelijke reductie in ecotoxiciteit is naar alle waarschijnlijkheid afhankelijk van de PAK-dosering en het bijbehorende verwijderingsrendement van microverontreinigingen.

In vergelijking met ozonisatie is het voordeel dat er geen bromaatvorming optreedt bij PAK + doekfiltratie.

8.4 BIJVANGST

Een belangrijk aspect van de PAK + doekfiltratie technologie is dat zowel microverontreinigingen als fosfor uit het afvalwater verwijderd kunnen worden. Op de rwzi's van Lahr en Wendlingen zijn de fosfor-concentraties in het effluent van circa 0,5 tot 0,1 - 0,2 afgenomen zonder dat daarvoor additionele ijzerdosering nodig was. Door gedeeltelijke verschuiving van het doseringspunt van de AT naar de nabehandelingsstap is dit in combinatie met de aanwezigheid van PAK opgetreden.

Ook onopgeloste bestanddelen die uit de nabezinktanks van het actiefslibproces stromen worden afgevangen. Zowel de onopgeloste bestanddelen die gedurende het hele jaar uitspoelen worden tegengehouden alsook slib dat tijdens RWA uitspoelt.

De leverancier van de doekfilters voert momenteel met Duitse universiteiten onderzoek uit naar de afvang van microplastics. Preliminair resultaten tonen aan dat een gedeelte van de microplastics door doekfilters wordt afgevangen.

8.5 JAARLIJKSE KOSTEN

De investerings- en jaarlijkse kosten van de PAK + doekfiltratie technologie voor een rwzi met een capaciteit van 100.000 i.e. zijn uitgewerkt in hoofdstuk 7. Ontwerp 1 en 3 kennen vrijwel identieke kosten, deze zijn lager dan ontwerp 2 en derhalve aangehouden in de vergelijking met de referentietechnieken. De kosten per behandelde kuub afvalwater (OPEX en CAPEX) bedragen afgerond 0,15 voor de PAK + doekfiltratie technologie. Omgerekend per kuub afvalwater dat door de rwzi stroomt bedragen de kosten 0,10.

8.6 VERGELIJKING TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE-TECHNIEK

In Tabel 3 is de vergelijking gegeven op de toetsingscriteria tussen de PAK + doekfiltratie technologie en de referentietechnieken.

TABEL 3 VERGELIJKINGSTABEL PAK + DOEKFILTRATIE TECHNOLOGIE TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE-TECHNIEKEN

	Eenheid	PACAS	Ozon + ZF	GAK	PAK + Doek
CO ₂ -footprint ³	kg CO ₂ /m ³	122	128	325	95
CO ₂ -footprint	ton CO ₂ /jaar	2.198	1.953	3.009	1.774
Kosten	€/m ³	0,05	0,17	0,26	0,15
Verwijderingsrendement gidsstoffen ⁴	%	70-75%	80-85%	80-85%	70-80%
Verwijdering fosfor		n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	++
Verwijdering microplastics		n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	+ ⁵
Extra slibproductie	ton ds/jaar	98 (+7,6%)	n.v.t.	n.v.t.	43 (+3,3%)
Bromaatvorming		n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.

3 Per m³ behandeld afvalwater

4 Verwijderingsrendement voor minimaal 7 van de 11 gidsstoffen benzotriazol, claritromycine, carbamazepine, diclofenac, metoprolol, hydrochloorthiazide, mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazol, propranolol, sotalol, sulfamethoxazol, trimethoprim in elk 24h of 48h debiets- of tijdsproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met verblijftijd van het water in de rioolwaterzuivering

5 Op basis van preliminaire onderzoeksresultaten

9

CONCEPT PLAN VAN AANPAK

VOLGENDE FASE

Met deze rapportage is de haalbaarheidsstudie van het PAK + Doekfiltratie project afgerond. Vanuit de locatiebezoeken in Duitsland, de lab-testen naar 'directe filtratie' en praktijktesten over bezinksnelheden zijn er vragen opgekomen over de PAK + doekfiltratie technologie en de innovatieruimte binnen de technologie. Deze vragen zijn vertaald naar onderzoeksvragen.

9.1 ONDERZOEKSVRAGEN

De hoofdonderzoeksvraag voor een vervolgfase is: wat is de meest kosteneffectieve dimensionering van de PAK + doekfiltratie technologie voor de verwijdering van microverontreinigingen en fosfor? Meerdere deelaspecten zijn als meest bepalend geïdentificeerd voor het beantwoorden van de hoofdonderzoeksvraag. Voor de verschillende deelaspecten zijn deelonderzoeksvragen geformuleerd;

BEZINKING

- Wat is de invloed van de doseerverhouding tussen PAK en Fe op de bezinkeigenschappen van dit mengsel en op de verwijdering van microverontreinigingen en fosfor.
- Welke bezinksnelheden kunnen worden gehaald bij de diverse PAK-concentraties in de contacttank?

ALTERNATIEVE AFSCHEIDINGSTECHNIKEN

Naast bezinking lijken ook de afscheidingstechnieken hydrocycloon en lamellenafscheider potentieel interessante technieken als eerste scheidingsstap. Met name het lagere ruimtebeslag van beide technieken ten opzichte van een bezinkstap maakt beide interessant voor locaties met weinig ruimte.

Voorafgaand aan eventuele testen wordt voor beide afscheidingstechnieken een korte deskstudie verricht naar de (kostentechnische) haalbaarheid van de technieken. Als hier een positief beeld uit naar voren komt zijn de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Welke afscheidingsrendementen kunnen met een hydrocycloon worden behaald?
- Welke afscheidingsrendementen kunnen met een lamellenafscheider worden behaald?

DOEKFILTRATIE

- Wat is de maximale belasting van PAK en Fe van een doekenfilter.
- Hoeveel doorslag van PAK treedt er bij deze belasting op?
- Wat is de invloed van de doseerverhouding tussen PAK en Fe op de filtratieeigenschappen van het mengsel en op de verwijdering van microverontreinigingen en fosfor.
- Wat zijn kritische aspecten met betrekking tot bedrijfsvoering van het doekfilter?

Bijvoorbeeld versmering van het doek, volumina waswater, effectiviteit reinigingsregime, gevoeligheid debietsfluctuaties.

- Welke voor- en nadelen biedt een tweetraps-doekfiltratie voor de verwijdering van PAK?

PAK

- Welke PAKs kunnen geïdentificeerd worden als potentieel meest interessant voor de PAK + Doekfiltratie technologie
- Welke PAK past qua bezink-, filtratie- en adsorptie eigenschappen in combinatie met Fe het beste bij de technologie.
- Verschilt de doorslag van PAK over het doekfilter tussen verschillende type (fijne-grove) PAK?

MICROVERONTREINIGINGEN

- Hoeveel PAK moet gedoseerd worden om aan het gewenste 70% verwijderingsrendement van 7 van de 11 gidsstoffen te komen en welke gidsstoffen worden daarbij verwijderd?
- Hoeveel neemt het verwijderingsrendement toe bij een dosering van enkele grammen meer?
- Bij welke combinaties van hydraulische verblijftijd en concentratie PAK in de contacttank wordt het gewenste verwijderingsrendement behaald?

FOSFOR

- Wat is de relatie tussen Fe dosering en fosforverwijdering?
- Welke fosforfracties en hoeveel van elke fractie worden verwijderd?
- Wat is fosforverwijdering zonder dosering van PAK en Fe?
- Heeft de dosering van PAK een effect op de verwijdering van fosfor en op welke fractie?

9.2 UITWERKINGSVORM

Vooruitblikkend op een vervolgfase lijken pilottesten het meest geschikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Dit omdat er in de vervolgfase vooral gezocht wordt naar de innovatieruimte van een technologie die reeds op full-scale is toegepast. Additionele lab-testen zijn vermoedelijk minder geschikt om deze innovatieruimte op te zoeken.

Met waterschappen Aa en Maas, Hunze en Aa's, en Vallei en Veluwe is consortium PAK + Doekfiltratie aangevangen voor de begeleiding en medefinanciering van een vervolgfase. Waterschap de Dommel sluit zich hier ook mogelijk bij aan. De voornaamste interesse van deelnemende waterschappen ligt op de verwijdering van microverontreinigingen én op de fosforverwijdering.

Waterschap Aa en Maas heeft rwzi Vinkel aangedragen als locatie waar pilottesten kunnen plaatsvinden. Samen met waterschap Aa en Maas is een eerste opzet van de pilottesten opgesteld waarin de onderzoeksvragen uit deze haalbaarheidsstudie beantwoord kunnen worden.

De focus van de vervolgfase ligt op een optimaal ontwerp van de PAK + Doekfiltratie technologie voor de verwijdering van microverontreinigingen. Daarnaast zal ook worden onderzocht wat de verwijdering van fosfor is. Omdat eerste indicaties zijn dat een doekfilter ook microplastics verwijderd zullen monsters uit de pilottesten ter beschikking worden gesteld voor analyse van microplastics. Deze analyses zijn vooralsnog niet voorzien binnen het project zelf.

De pilottesten zijn in vier fases opgedeeld waarbinnen verschillende onderzoeksozettes met specifieke onderzoeksvragen getest kunnen worden. De exacte invulling en planning van

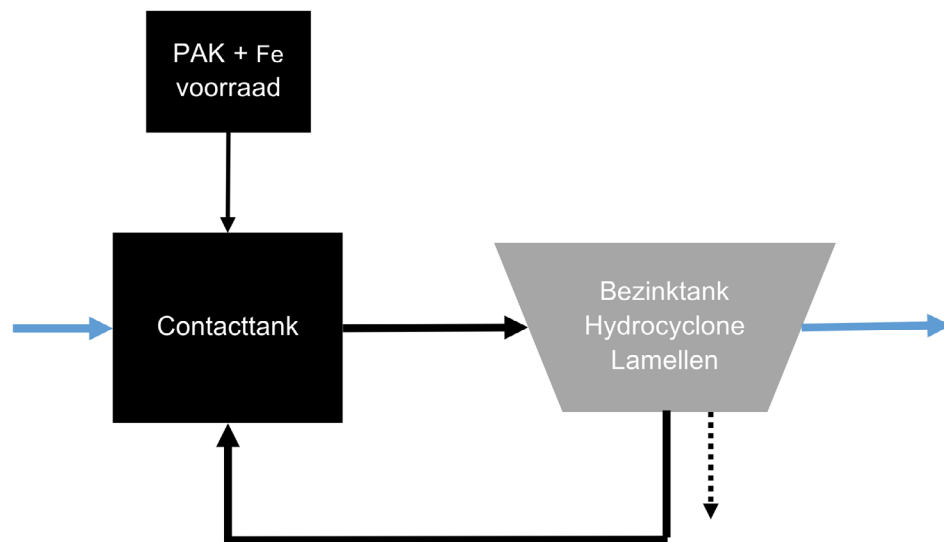
de fases moet nog nader uitgewerkt worden. Een eerste inschatting is dat de pilotduur een periode kent van circa 3-6 maanden. Momenteel lopen de gesprekken met leveranciers van de pilotonderdelen in welke grootte de pilot uitgevoerd kan worden.

In het BC-overleg van 11 februari 2020 is door de BC positief gereageerd op deze eerste pilotopzet. Een volgende stap is om een kostenraming van de pilottesten op te stellen, hier wordt momenteel aan gewerkt.

FASE 'EERSTE AFSCHIEDINGSSTAP'

Binnen deze onderzoeksopzet ligt de focus op de te behalen afscheidingsrendementen in een eerste scheidingsstap (zie Figuur 17). Welke bezinkeigenschappen kunnen worden behaald bij verschillende doseringen en verhoudingen van PAK en metaalzout. Met deze fase kunnen de ontwerpen zoals in hoofdstuk 0 zijn gegeven geverifieerd worden. In deze fase kunnen ook vragen over alternatieve afscheidingstechnieken als hydrocycloon en lamellenafscheider getest worden.

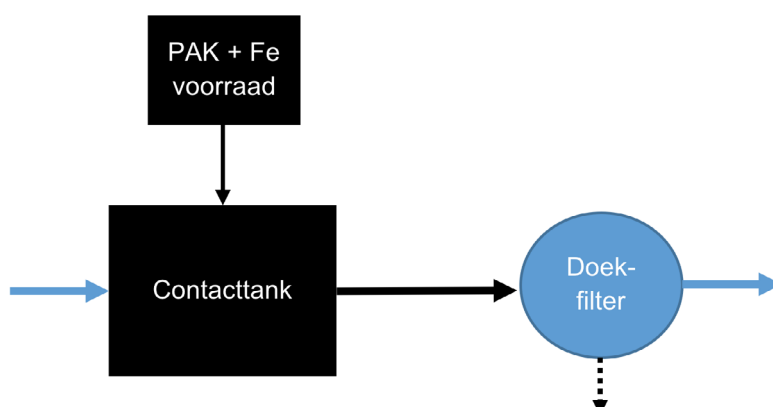
FIGUUR 17 ONDERZOEKSOPZET 'EERSTE AFSCHIEDINGSSTAP'



FASE 'MAXIMALE DOEKFILTERBELASTING'

Deze fase kent de configuratie zoals gegeven in Figuur 18. Binnen de opzet 'maximale doekfilterbelasting' wordt de capaciteit van de doekfilters getest. Hierbij worden zowel de TSS-concentraties, de verhouding PAK:metaalzout en de verschillende typen doek getest.

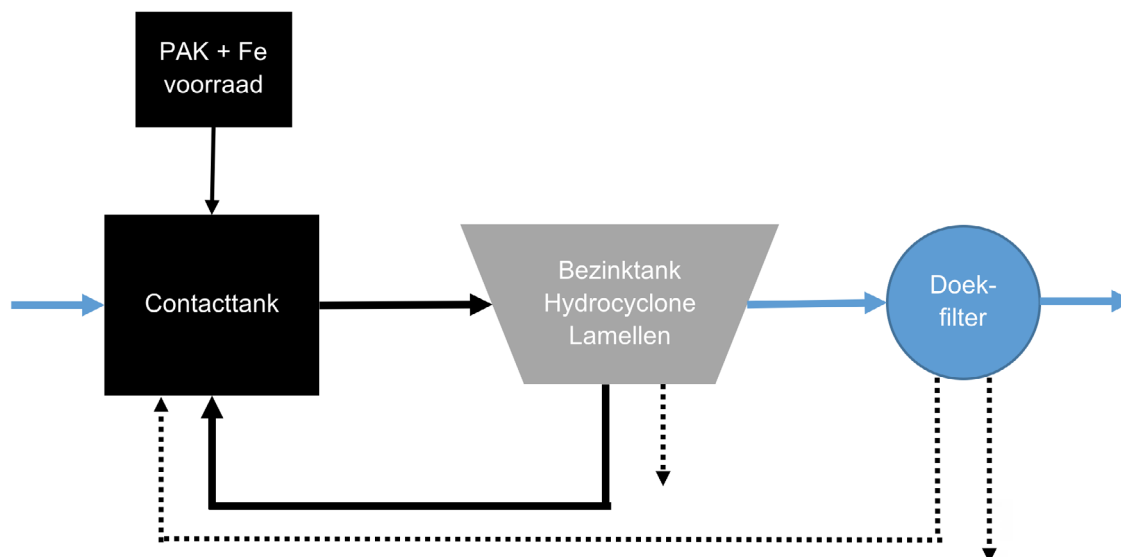
FIGUUR 18 ONDERZOEKSOPZET 'MAXIMALE DOEKFILTERBELASTING'



FASE 'TOTAALCONCEPT MICROVERONTREINIGINGEN & FOSFOR'

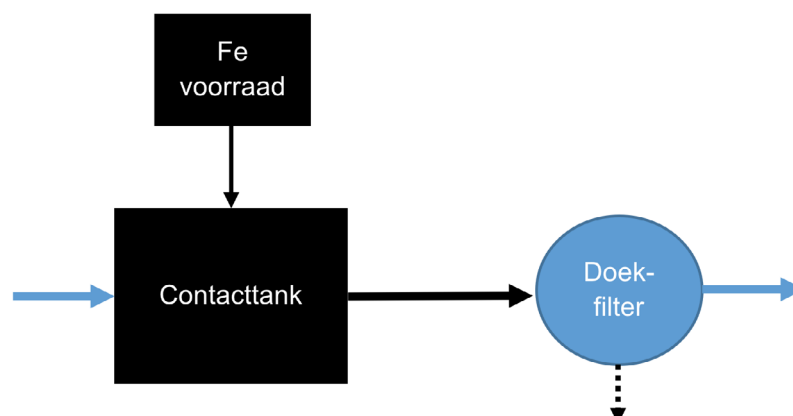
Op basis van de inzichten uit de andere onderzoeksopzetten wordt in het 'totaalconcept microverontreinigingen en fosfor' de volledige PAK + doekfiltratie technologie getest, zie Figuur 19. In deze fase ligt de focus op de te behalen rendementen voor microverontreinigingen en fosfor in relatie tot de afstemming tussen de contacttank, eerste afscheidingsstap en de doekfilters.

FIGUUR 19 ONDERZOEKSOPZET 'TOTAALCONCEPT MICROVERONTREINIGINGEN EN FOSFOR'

**FASE 'ENKEL P-VERWIJDERING'**

Deze fase kent de configuratie zoals gegeven in Figuur 20. In de opzet 'enkel P-verwijdering' wordt enkel metaalzout gedoseerd. Hierbij wordt gekeken naar welke fosforfracties en hoeveel van elke fractie worden verwijderd bij verschillende metaalzoutdoseringen. Ook wordt gekeken welke belasting van metaalzout het doekfilter aankan.

FIGUUR 20 ONDERZOEKSOPZET 'ENKEL P-VERWIJDERING'



10

LITERATUURLIJST

- Aqua-aerobics, website <https://www.aqua-aerobic.com/filtration/cloth-media/>
- Pinnekamp, J.; Bornemann, C. (2012): Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle; Arge „Forschung Spurenstoffe NRW“ MIKROFlock Projekt Nr. 5, Abschlussbericht an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur-und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. AZ IV+7+042 600 001E Vergabenummer 08/058.1
- Grabbe, U. (2018): Phosphor-und Mikroschadstoffelimination mit Tuchfiltern. Symposium 50 Jahre Oswald Schulze-Stiftung -Technische Innovationen bei der Abwasserreinigung. Münster
- Otto, N.; Platz, S.; Fink, T.; Wutscherk, M. en Menzel, U. (2016): Removal of micropollutants with coarse-ground activated carbon for enhanced separation with hydrocyclone classifiers. *Water Science and Technology*, 73(11), 2739–2746.

BIJLAGE 1

UITGANGSPUNTEN TOETSINGSCRITERIA

De volgende afvalwaterhoeveelheid en -samenstelling is gehanteerd:

- Capaciteit rwzi 100.000 i.e. 150g TZV
- Dagdebiet 21.000 m³/dag
- DWA-piek 900 m³/h
- Ontwerp DWA-piek 1.040 m³/h
- Hydraulische capaciteit aanvullende zuivering 1.040 m³/h
- CZV 11.000 kg/d
- BZV 4.400 kg/d
- Ptot 160 kg/d
- Nkj 1.000 kg/d
- Onopgeloste bestanddelen 5.200 kg/d

BIJLAGE 2

UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENINGEN

BEREKENING INVESTERINGEN

Onvolledigheid

In de kostenberekeningen is rekening gehouden met een onvolledigheidsfactor van 25%.

Aannemerskosten

Over kale investeringskosten voor civiele, werktuigbouwkundige, elektrotechnische en procesautomatisering werkzaamheden is rekening gehouden met een opslag van 25%. Deze opslag bestaat uit kosten voor de aannemer om het werk uit te voeren, zoals algemene bouwplaatskosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico.

Bouwkosten en stichtingskosten

Er is een percentage van 80% aangehouden om bouwkosten naar stichtingskosten om te zetten. Deze bestaat uit kosten voor btw, onvoorzien, engineering, projectmanagement, directievoering, verzekeringen, tijdelijke voorzieningen tijdens ombouw en opstart, opleiding en communicatie.

NB. naast bovengenoemde opslagen zijn geen verdere posten onvoorzien opgenomen.

Berekening jaarlasten

Ten aanzien van de berekening van de jaarlasten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Kapitaalslasten zijn berekend op basis van lineaire afschrijving over 30 jaar voor civiele onderdelen, 15 jaar voor werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen, 5 jaar voor procesautomatisering en een rente van 4%.
- Onderhoudskosten: 0,5% van de bouwkosten voor civiele onderdelen en 3% van de bouwkosten voor W/E/PA onderdelen.

Overige kosten inclusief btw

- Personeelskosten: € 50.000 per fte per jaar
- Elektriciteit: € 0,10/kWh
- PE: € 3,-/kg ingekocht product
- Zuivere zuurstof: € 0,20/kg
- IJzerchloride en Aluminiumchloride: € 120/ton 40% w/w
- Poedervormig Actief Kool: € 2,0 /kg
- Granulair Actief Kool: € 1.200 /m³
- Gereactiveerd granulair actief kool: € 500 /m³
- Methanol: € 355/kg
- Slibverwerking: € 600 per ton ds (slibindikking, slibontwatering en slibeindverwerking incl. transport)
- Productie spoelwater: € 0,04/m³
- Verwerking spoelwater op rwzi: € 0,01/m³

BIJLAGE 3

LAB-TESTEN CONFIGURATIE DIRECTE FILTRATIE

In deze bijlage zijn de opzet, uitvoering en resultaten van de lab-testen voor de configuratie directe filtratie beschreven. De conclusies van de lab-testen zijn opgenomen in paragraaf 3.1 van de rapportage.

De volgende onderzoeksvraag is geformuleerd om de haalbaarheid van de directe filtratie configuratie te toetsen in lab-testen: *Welke microverontreinigingsverwijderingsrendementen kunnen behaald worden bij contacttijden tussen effluent en poederkool van 10, 20, 30, 60 en 120 minuten en poederkoolconcentraties van 5 en 10 mg/l?*

OPZET LAB-TESTEN

Voor de sorptietesten is een monster genomen uit de nabezinktank van RWZI Horstermeer op 24-6-2019 (3 l 24-uursdebietsproportioneel monster en 20 l steekmonster). Gedurende de tijd tussen de bemonstering en de inzet van de test in diezelfde week is het water gekoeld bewaard. Vanwege grove slib- en andere deeltjes in het water, is het water eerst papiergefiltreerd (595 Watson) en het 23 l monster is vooraf gemengd.

Het water is gekarakteriseerd op de concentratie microverontreinigingen (enkel geneesmiddelen) en DOC. Uit deze analyse volgt dat 22 van de 37 geneesmiddelen boven de rapportagegrens zijn aangetroffen en 3 stoffen op de rapportagegrens.

Voor de testen is de 'PACAS-poederkool' gebruikt; de PAK die ook in het PACAS-onderzoek op RWZI Papendrecht is toegepast. Dit is Pulsorb WP235 van Chemviron.

UITVOERING SORPTIETESTEN

Sorptietesten zijn uitgevoerd met 5 en 10 mg/l PAK bij verschillende contacttijden: 10, 20, 30, 60 en 120 minuten. De testen zijn in duplo uitgevoerd in 0,5 en 1 L Schott flessen. In elke fles is 0,5 of 1 L monster afgewogen en vervolgens is 5 mg PAK toegevoegd. Zodra het PAK was toegevoegd, is de fles handmatig geschud en zo spoedig mogelijk op een end-over-end shaker gezet (Figuur 21). Na het verstrijken van de contacttijd is direct 70 ml monster gefiltreerd over een 0,2 µm filter om het PAK van het water te scheiden. De tijd liep vanaf het moment dat de PAK aan de fles werd toegevoegd totdat het 70 ml monster was genomen. De testen zijn uitgevoerd op kamertemperatuur (de watertemperatuur in de flessen direct na afloop van de test was gemiddeld 21 °C). Na filtratie zijn de monsters bij 4°C bewaard voor analyse op geneesmiddelen en DOC. Er is een blanco met alleen het monster van de nabezinktank (zonder PAK) meegenomen met een contacttijd van 30 minuten, om te controleren of de waargenomen veranderingen in concentratie het gevolg zijn geweest van de toevoeging van de PAK.

FIGUUR 21

0.5 L FLESSEN OP END-OVER-END SHAKER



RESULTATEN

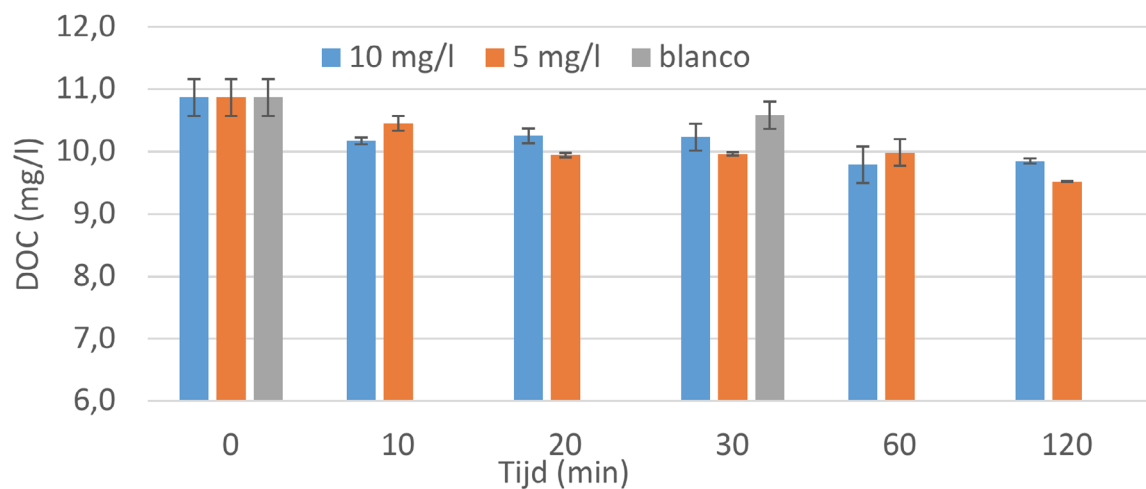
De testen zijn uitgevoerd op effluent, de gepresenteerde verwijderingspercentages voor DOC en microverontreinigingen zijn dus enkel berekend ten opzichte van het effluent en zijn daardoor exclusief de verwijderingspercentages van de rwzi zelf (gemiddeld ca. 40-60% voor microverontreinigingen).

DOC

In *Figuur 22* zijn de DOC-concentraties over tijd weergegeven. De meetfout van een DOC bepaling is 2%, dit komt voor de geteste monsters neer op ca. 0,2 mg/l. De initiële DOC-concentratie van 10,9 mg/l is over de tijd iets afgenomen. In de blanco is deze gedaald tot 10,6 mg/l, dit valt echter in de foutmarge waardoor niet te concluderen is of dit een werkelijke afname is. Bij 5 en 10 mg/l PAK is er een grotere afname welke groter is dan de foutmarge. Deze constatering is in lijn met praktijkervaring, PAK absorbeert doorgaans een klein gedeelte van het DOC.

FIGUUR 22

VERWIJDERING DOC (0, 5 EN 10 MG PAK/L) DE FOUTBALKEN GEVEN HET VERSCHIL TUSSEN DE DUPLOS AAN

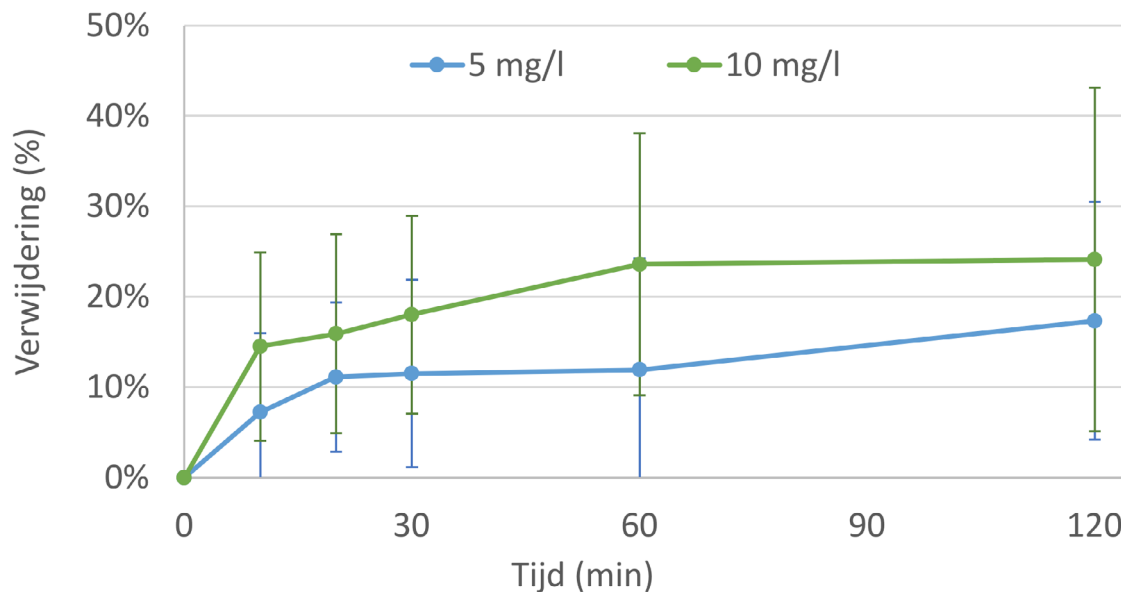


MICROVERONTREINIGINGEN

In *Figuur 23* zijn de verwijderingspercentages weergegeven van de 18 stoffen waarvoor een verwijderingsrendement berekend kon worden, 4 van deze stoffen zijn gidsstoffen (sulfamethoxazole, carbamazepine, diclofenac en claritromycine).

Verwijderingsrendementen zijn zoals verwacht hoger bij 10 mg/l dan bij 5 mg/l. De grootste verwijdering vindt in de eerste 10 minuten plaats, daarna neemt de verwijdering langzaam toe. Na 30 tot 60 minuten neemt de verwijdering voor de meeste stoffen nauwelijks meer toe.

FIGUUR 23 GEMIDDELDE VERWIJDERING 18 STOFFEN (WAARVAN 4 GIDSSTOFFEN) DE FOUTBALKEN GEVEN STANDARD DEVIATIE TUSSEN STOFFEN AAN

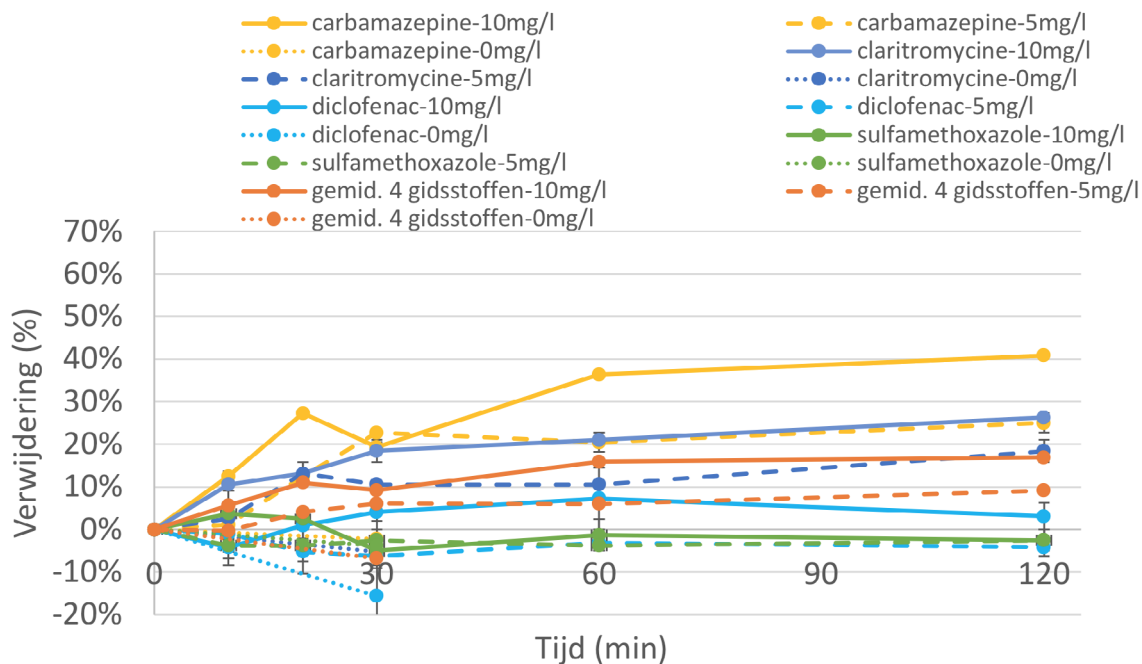


In *Figuur 24* zijn de verwijderingspercentages van de 4 gemeten gidsstoffen weergegeven. Er zijn grote verschillen tussen de gidsstoffen. Carbamazepine wordt snel geabsorbeerd en verwijderd tot ca. 40%, sulfamethoxazole daarentegen wordt niet verwijderd.

Doordat o.a. sulfamethoxazole niet goed verwijderd wordt is de gemiddelde verwijdering van de gidsstoffen aan de lage kant. Een 5^e gidsstof, propranolol (bètablokker), toonde echter een zeer hoge verwijdering van >75%. Doordat de beginconcentratie van propranolol slecht 4 maal groter was dan de rapportagegrens is propranolol niet meegenomen in de resultaten.

FIGUUR 24

VERWIJDERING GIDSSTOFFEN (0, 5 EN 10 MG PAK/L) DE FOUTBALKEN GEVEN HET VERSCHIL TUSSEN DE DUPLOS AAN

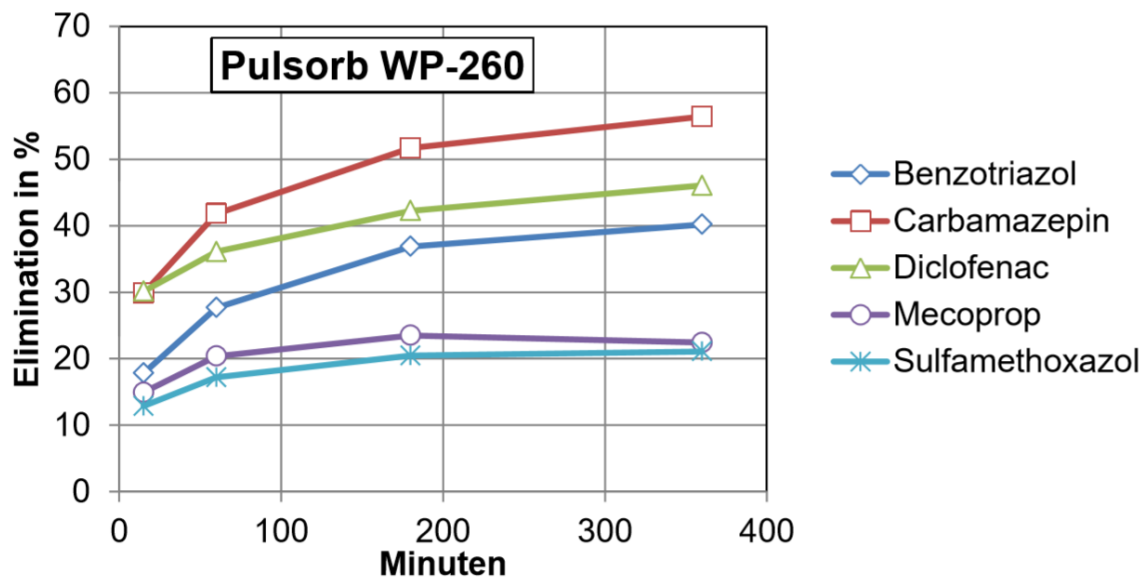


De onderzoeksresultaten zijn ook bediscussieerd met onderzoekers van EAWAG (vooraanstaand Zwitsers onderzoeksinstituut) welke al enkele jaren onderzoek doen op het gebied van microverontreinigingenverwijdering met PAK uit afvalwater. Deze bestempelden de resultaten als 'in lijn met eigen ervaringen'. De percentages zijn aan de lage kant, dit komt mogelijk doordat een ander type PAK dan in Zwitsers onderzoek is gebruikt en omdat de DOC-concentratie van het gebruikte rwzi Horstermeer effluent hoger is dan dat van rwzi's waar in Zwitserland onderzoek naar is gedaan.

Ter informatie zijn Zwitserse onderzoeksresultaten doorgestuurd van vergelijkbare testen (zie *Figuur 25*). In deze testen is met een effectievere (en duurdere) PAK van dezelfde leverancier de verwijdering van een 5-tal stoffen over tijd gevolgd. Belangrijke kanttekening hierbij is dat de DOC-concentratie lager is en dat de gidsstoffen toegevoegd zijn aan het afvalwater tot 50 ug/l. De gidsstoffenconcentraties zijn hierdoor 100-500 maal hoger dan in de uitgevoerde lab-testen waardoor de absorptiekinetiek anders is.

Ook in het Zwitserse onderzoek is de verwijdering gedurende de eerste 15 minuten het grootst, voor slecht adsorbeerbare stoffen neemt de verwijdering na 60 minuten nauwelijks toe. De verwijdering van o.a. carbamazepine gaat ook na 60 minuten nog door. De verwijderingspercentages liggen hoger dan in de uitgevoerde testen. Dit is vooral te verklaren door het type PAK, DOC-concentratie en startconcentraties van de gidsstoffen. De trend is goed vergelijkbaar tussen beide experimenten; carbamazepine sorbeert het best, sulfamethoxazol het slechts, sorptie loopt door na 60 minuten voor carbamazepine, sorptie stopt na 10-15 minuten voor sulfamethoxazol.

FIGUUR 25 TESTRESULTATEN UIT ZWITSERS ONDERZOEK MET POEDERKOOLO EN VERSCHILLENDE CONTACTTIJDEN (15, 60, 180 EN 360 MINUTEN) IN EFFLUENT (CA 8-9 MG DOC/L) BIJ EEN POEDERKOOLOCONCENTRATIE VAN 10 MG/L (TYPE PULSORB WP-260) EN 50 UG/L STARTCONCENTRATIE VOOR ELKE AFZONDERLIJKE STOF (DIT IS 100 TOT 500 MAAL HOGER DAN IN TESTEN BESCHREVEN IN DEZE RAPPORTAGE)



BIJLAGE 4

PRAKTIJKTESTEN BEZINKING

OPZET EN UITVOERING PRAKTIJKTESTEN

De testen zijn uitgevoerd met het PAK + Al mengsel zoals dat in de contacttank van rwzi Lahr aanwezig is. De verblijftijd van PAK + Al is meerdere dagen in deze nageschakelde behandelingsstap, het PAK + Al mengsel is daardoor al vele malen door de gehele installatie rondgepompt en heeft daardoor andere bezinkeigenschappen dan een maagdelijk PAK + Al mengsel. Om deze reden zijn praktijktesten in plaats van lab-testen uitgevoerd om de bezinkeigenschappen te bepalen zoals deze zich in de praktijk ook voordoen. Door de testen in Lahr uit te voeren kon slechts van één type PAK de bezinkeigenschappen bepaald worden. Ook kon er niet met Fe als metaalzout gewerkt worden en niet gevarieerd worden in de doseerverhoudingen van PAK en metaalzout. Dit zal in een vervolgfase van het project moeten plaatsvinden.

De concentratie TSS in de contacttank, welke voornamelijk uit PAK bestaat, was op het moment van de praktijktesten tussen de 2,5 en 3,5 g/l. Met monsters uit de contacttank zijn op locatie bezinktesten uitgevoerd in Imhoff trechters, een emmer en een 1,6 meter kolom, zie Figuur 26. Monsters zijn genomen uit de contacttank vóór het doseerpunt van PE en direct gebruikt in bezinktesten. In de testen zijn de PAK-spiegels visueel bepaald en de TSS-concentraties middels een TSS-sensor.

FIGUUR 26

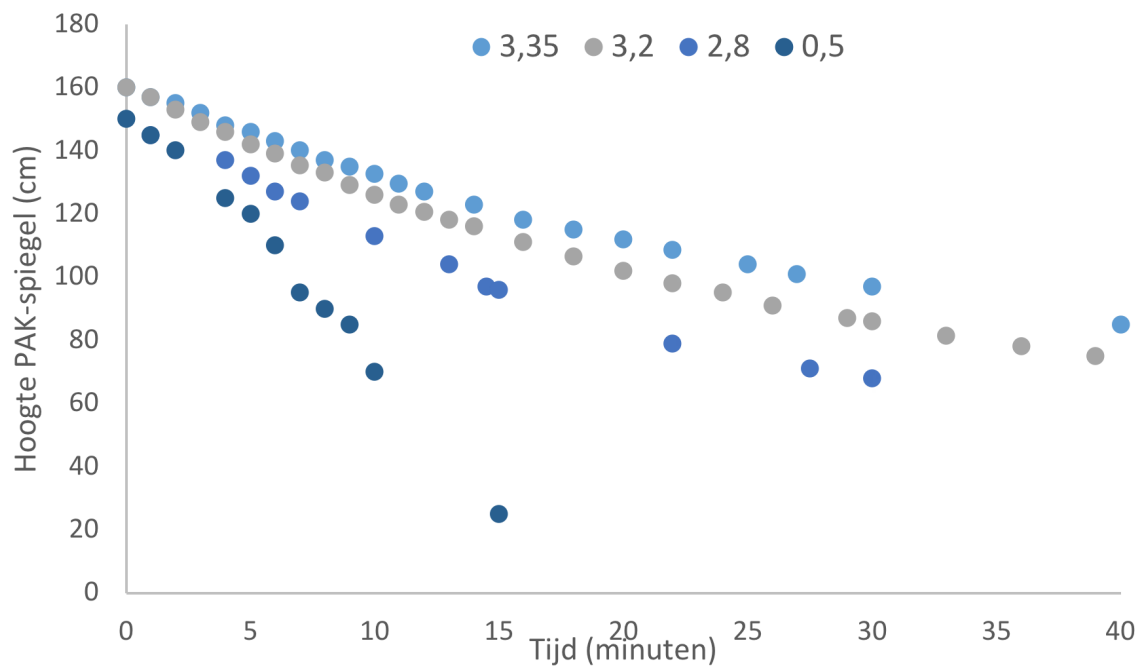
OPSTELLING PRAKTIJKTESTEN BEZINKEIGENSCHAPPEN PAK + AL MENGSEL, NAAST ELKAAR V.L.N.R. DE EMMER MET TSS-SENSOR, DAARNAAST DE KOLOM (PAK-SPIEGEL OP CA. 2/3 V/D HOOGTE) EN DAARNAAST 3 IMHOFF TRECHTERS IN EEN REK.



RESULTATEN

In de kolomtesten kon de PAK-spiegel het meest nauwkeurig bepaald worden. De resultaten van meerdere testen in de kolom zijn gegeven in Figuur 27.

FIGUUR 27 BEZINKING IN KOLOM BIJ 4 VERSCHILLENDE TSS-CONCENTRATIES VAN RESPECTIEVELIJK 3,35, 3,2, 2,8 EN 0,5 G/L



Op basis van de kolomtesten bij de verschillende TSS-concentraties zijn bezinksnelheden van het PAK + Al mengsel bepaald. Voor TSS-concentraties tussen de 2,8 en 3,35 g/l lagen deze tussen de 1,5 en 2 m/uur. Voor een TSS-concentraties van 0,5 g/l was dit circa 5 m/uur.