



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

stowa

PILOT POEDERKOOLDOSERING NEREDA SIMPELVELD



RAPPORT

2023
02

PILOT POEDERKOOLDOSERING NEREDA SIMPELVELD

RAPPORT

2023

02

ISBN 978.94.6479.012.02



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Sandra Malagón - Waterschapsbedrijf Limburg
Ad de Man - Waterschapsbedrijf Limburg
Herman Evenblij - RHDHV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Patricia Clevering-Loeffen - SWECO
Arnoud de Wilt - RHDHV
Ruud Schemen - Waterschap de Dommel
Dirk Koot - Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Anna Koenis - Hoogheemraadschap van Rijnland
Ad de Man - WBL
Bart Verberkt - Waterschap Aa en Maas
Roger Vingerhoeds - Waterschap Brabantse Delta
John Koop - Waterschap Hunze en Aa's
Miriam Verdurmen - Waterschap Vallei en Veluwe
Gerard Rijs - RWS-WVL
Mirabella Mulder - Mirabella Mulder Waste Water Management
Cora Uijterlinde - STOWA

VORMGEVING Buro Vormvast

STOWA STOWA 2023-02

ISBN 978.94.6479.012.02

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

POEDERKOOLDOSERING IS OOK TOEPASBAAR VOOR AEROOB GRANULAIR NEREDA-SLIB

Pilotonderzoek heeft aangetoond dat poederkool ook in aerobe granulaire systemen (Nereda) toegepast kan worden voor de verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater. Met gebruik van poederkool gemaakt uit hernieuwbare grondstoffen, is de klimaatfootprint te verlagen.

In het Innovatieprogramma Microverontreinigingen (IPMV) van STOWA en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat worden diverse technologieën onderzocht voor de verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater. Dosering van actiefkool in poedervorm (poederkool) is één van de beschikbare technologieën. Met deze technologie adsorberen de in het water opgeloste organische microverontreinigingen aan de poederkool en worden ingevangen in het reeds voorhanden zijnde actiefslib, dat wordt gebruikt voor de biologische omzettingen. In 2016 is met succes een proef gedaan met poederkooldosering in een gesuspendeerd, conventioneel, actiefslibstelsysteem. Dat riep de vraag op of poederkool ook toepasbaar is in een aerob granulair actiefslibstelsysteem.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van het pilot onderzoek met poederkooldosering op één van de twee reactoren met aerob granulair actiefslib op de rwzi Simpelveld van Waterschapsbedrijf Limburg. In het onderzoek is de effectiviteit voor de verwijdering van microverontreinigingen bepaald bij verschillende doseerverhoudingen poederkool. Verder is onderzocht of er interactie is tussen de overige fysische, chemische en biologische zuiveringsprocessen in het actiefslibstelsysteem en de praktische consequenties van het werken met poederkool op een rwzi.

Het onderzoek toont aan dat poederkool ook in een granulair actiefslibstelsysteem microverontreinigingen effectief en efficiënt kan verwijderen. Verder is vastgesteld dat er geen nadelige effecten zijn op de overige processen in de reactor. De bedrijfsvoering van de doseerinstallatie is relatief eenvoudig en kan ingepast worden in het dagelijks beheer van de rwzi.

Poederkool wordt normaliter geproduceerd uit steenkool, wat leidt tot de uitstoot van fossiel koolstof. Om de CO₂-footprint van het gebruik van actiefkool te verlagen zijn kolen ontwikkeld die zijn geproduceerd uit hernieuwbare bronnen, zoals bijvoorbeeld hout. In het pilot onderzoek is één van deze kolen getest waarbij bleek dat deze tenminste net zo goed presteert als de poederkool uit steenkool. Met enige aanpassing in de bedrijfsvoering kan deze kool ook langdurig worden toegepast en zodoende de klimaatfootprint van deze technologie nog verder verlagen.

Poederkooldosering is daarmee een eenvoudig te implementeren technologie bij een relatief laag investeringsniveau, ook toepasbaar voor aerob granulair actiefslib.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

PILOT POEDERKOOLDOSERING NEREDA SIMPELVELD

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	DE STOWA IN HET KORT	
	INHOUD	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling onderzoek PACAS Nereda® Simpelveld	1
1.3	Opzet en organisatie	2
2	ONDERZOEKSOPZET	3
2.1	RWZI Simpelveld	3
2.2	Fasering van het onderzoek: vier doseerperiodes	3
2.3	Bemonstering	4
2.4	Kooldoseringsinstallatie	5
2.5	Poederkool	6
2.6	Regeling kooldosering	6
2.7	Verwerking van resultaten	7
3	RESULTATEN VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN	8
3.1	Nulmeting	8
3.2	Verwijdering van gidsstoffen tijdens poederkooldosering	9
3.2.1	Gemiddelde verwijdering van alle gidsstoffen in Nereda® reactor tijdens poederkooldosering	9
3.2.2	Gemiddelde verwijdering per gidsstof in Nereda® reactor tijdens poederkooldosering	10
3.2.3	Verwijdering van gidsstoffen door Nereda en continue zandfiltratie samen	11
3.2.4	Verwijdering van gidsstoffen door duurzame kool	12
3.3	Bioassays	13
4	VERWIJDERINGSRENDEMENTEN OP BASIS VAN DE PRESTATIEVEREISTEN VOOR EEN DEMO-INSTALLATIE	17
4.1	Nulmeting	17
4.2	Verwijderingsrendementen bij dosering van poederkool	18
4.3	Verwijderingsrendementen bij van Nereda + zandfiltratie	19
4.4	Resultaten proefperiode duurzame kool	19

5	VERWIJDERINGSRENDEMENTEN OP BASIS VAN DE GEREVISEERDE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER	21
6	DEELONDERZOEKEN	24
6.1	Overige prestaties van rwzi Simpelveld tijdens poederkooldosering	24
6.1.1	Nutriënten stikstof en fosfor	24
6.1.2	Overige macroparameters	24
6.1.3	PFAS	25
6.1.4	Zware metalen	28
6.2	PAK in effluent	30
6.3	Verhouding poederkool en slib	31
6.4	Slibbeeld	32
6.5	Onderzoek Kaamera	33
6.6	Werking poederkooldosering tijdens pilot	34
6.7	Slibsamenstelling en -toename	34
6.8	Onderzoek antibiotica resistentie IPMV	36
7	VERGELIJKING RESULTATEN VAN RWZI SIMPELVELD MET HET ONDERZOEK OP RWZI PAPENDRECHT	39
8	PRESTATIES OP KLIMAATFOOTPRINT, KOSTEN EN VERWIJDERINGSRENDEMENT VOLGENS STOWA-SYSTEMATIEK	41
9	CONCLUSIE	43
10	LITERATUURLIJST	45
BIJLAGE 1	SAFETY DATA SHEET VAN DE TOEGEPASTE POEDERKOOLOPLOSSING WP 235	46
BIJLAGE 2	SAFETY DATA SHEET VAN DE DUURZAME POEDERKOOLOPLOSSING ACTICARBONE 2SW	47
BIJLAGE 3	VERWIJDERINGSRENDEMENT MEDICIJNRESTEN	48
BIJLAGE 4	RESULTATEN BIOASSAYS EN INTERPRETATIE-TOOL STOWA	52
BIJLAGE 5	RESULTATEN PFAS ANALYSE	54
BIJLAGE 6	RESULTATEN ZWARE METALEN IN AFVALWATER	57
BIJLAGE 7	KOSTENBEREKENING (100.000 IE)	59
BIJLAGE 8	SLIBBEELD	60

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Poederkooldosering verbetert de verwijdering van microverontreinigingen en is een eenvoudige no-regret maatregel om medicijnresten in continu belaste actief slibinstallaties te verwijderen. De poederkooldosering in Nereda® is het resultaat van het ontwikkeltraject PACAS: Poederkooldosering in actiefslibsystemen (STOWA, 2018) en het bench-scale pilotonderzoek dat heeft plaatsgevonden op de rwzi Utrecht met poederkool en Nereda® in 2019. RHDHV heeft in het bench-scale onderzoek in Utrecht vastgesteld dat de poederkooldosering geen nadelig effect heeft op de activiteit van het aerobe korrelslib en dat er slechts geringe uitspoeling plaatsvindt van poederkool. Tevens zijn testen uitgevoerd met drie typen actiefkool om de meest geschikte koolsoort voor de proef op rwzi Simpelveld te bepalen.

Voor WBL is de locatie Simpelveld geselecteerd om onderzoek te doen naar verwijdering van microverontreinigingen, voor de verbetering van de waterkwaliteit in de ontvangende Eyserbeek.

In deze praktijkproef is de combinatie poederkooldosering en Nereda® getest. Hierbij is tevens aandacht besteed aan het effect op de effluentkwaliteit (P en N), de slibhoeveelheid en -samenstelling en Kaamera productie. In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd.

Op rwzi Simpelveld is voor de eerste keer de combinatie poederkooldosering en Nereda® toegepast. Het onderzoek poederkooldosering in Nereda® op rwzi Simpelveld maakt onderdeel uit van het landelijke innovatieprogramma van de Stowa en het Ministerie van I&W naar de verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater (IPMV).

1.2 DOELSTELLING ONDERZOEK PACAS NEREDA® SIMPELVELD

De doelstelling van het onderzoek naar toepassing van poederkooldosering op de Nereda® Simpelveld is ervaring opdoen met deze technologie in een discontinu systeem. De onderzochte ervaring heeft betrekking op de technologische inpassing, de procesregeling en effecten van de poederkooldosering, bijvoorbeeld op korrelvorming en de Kaamera productie. Daarnaast wordt ervaring opgedaan met praktische aspecten van de dosering, het werken met poederkool en de technische aspecten zoals bijvoorbeeld de poederkooldosering in een Nereda® reactor. Verder is het doel om vast te stellen in hoeverre de waterkwaliteit in de Eyserbeek kan verbeteren door toepassing van deze technologie. Er is getest met een fossiele kool en aan het eind van de proefperiode is er nog een test uitgevoerd met een duurzame actiefkoolsoort.

Qua verwijderingsrendement is de doelstelling om te komen tot een verwijderingsrendement van minimaal 70% van de beste 7 (van de 11) gidsstoffen zoals vastgesteld in de *samenwerkingsovereenkomst zuivering medicijnresten van Ministerie van I&W, versie 2.0, 10 april 2020*. Daarnaast is het doel van het onderzoek om meer informatie te verzamelen over het verwijderingsrendement van alle gidsstoffen.

1.3 OPZET EN ORGANISATIE

De proef met Nereda® is uitgevoerd in nauwe samenwerking met advies- en ingenieursbureau RHDHV, het Duitse bedrijf Sülzle+Kopf (de leverancier van de doseerunit), Chemviron (de leverancier van de poederkool) en de WBL-sectoren Operatie en Onderhoud (aansluitingen, troubleshooting) en Bedrijfsondersteuning (projectrealisatie). Tevens hebben studenten van Hogeschool Zuyd en Avans Breda stage- en afstudeeropdrachten uitgevoerd.

Tenslotte is door Stowa een begeleidingscommissie aangesteld die de voortgang en de kwaliteit heeft bewaakt.

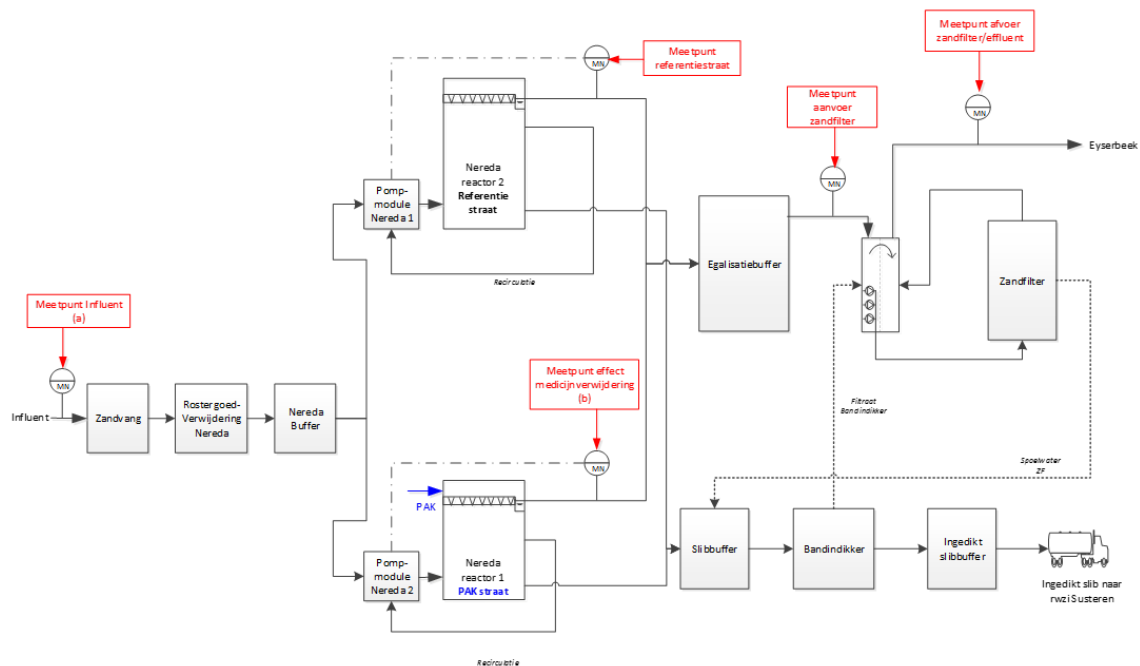
2

ONDERZOEKSOPZET

2.1 RWZI SIMPELVELD

In deze proef is op één Nereda[®]-straat poederactiefkool (PAK) gedoseerd en de andere straat fungeert als referentie, zie Figuur 1. De procesregeling van de poederkooldosering is geïntegreerd in de Nereda[®]-controller, zoals wordt beschreven in paragraaf 2.6. In de PAK-straat wordt naar rato van het reactorvolume van de Nereda[®] tanks 1/3 van het influent behandeld en in de referentiestraat 2/3 deel. De afloop van beide Nereda's (referentiestraat en PAK-straat) wordt in de egalisatiebuffer gemengd. Vanuit deze buffer wordt het water naar de zandfilters geleid. De medicijnresten worden gebonden aan de poederkool en worden daarna samen met het spuislib uit de Nereda[®] afgevoerd via de reguliere slibroute (gisting, ontwatering, droging en verbranding).

FIGUUR 1 PROCESS FLOW DIAGRAM VAN RWZI SIMPELVELD, MET IN ROOD DE PUNTEN WAAR BEMONSTERING PLAATSVOND



2.2 FASERING VAN HET ONDERZOEK: VIER DOSEERPERIODES

Voorafgaand aan het starten van de pilot is er in de periode van 21 maart 2021 t/m 30 maart 2021 een nul-meting uitgevoerd. De proef bestaat uit 4 doseerperiodes waarin de dosering van de poederkool stapsgewijs is verhoogd van 5 naar 10, 15 en 20 mg PAK/l-influent. Bij elke doseerperiode is een instelperiode aangehouden van minimaal 2 weken. De totale proefduur was 14 maanden (april 2021 – mei 2022). Hierna is nog een kortdurende afsluitende proef uitgevoerd met een duurzame poederkool (mei 2022 – juni 2022). De onderzoeksplanning is weergegeven in Figuur 2. Tijdens elke periode is een uitgebreid monitoringsprogramma uitgevoerd. Dit bestaat uit analyses op: medicijnresten, nutriënten (P en N), overige macroparameters (CZV, BZV, zwevende stof), slibsamenstelling en aandachtstoffen zoals PFAS, bromide

FIGUUR 3

MOBIELE DOSEERUNIT VAN DE FIRMA SÜLZLE+KOPF MET VOORRAADBINS



Zowel de chemische analyses als de biologische effectmetingen zijn aan mengmonsters van 48-uur uitgevoerd conform Stowa voorschriften: “Voorlopige werkinstructie bemonstering en chemische analyse in RWZI-afvalwater t.b.v. bijdrageregeling zuivering medicijnresten (IenW) V0.7, 03-04-2022” en “Handreiking voor uitvoeren van biologische effectmonitoring bij vergaande zuivering van RWZI-effluënten V0.7, 03-04-2022”. Hiervoor zijn 24-uur volumeproportionele monsters verzameld. Deze mengmonsters zijn gekoeld en opgeslagen en daarna ter analyse aangeboden. Uit de verzamelde 24-uur monsters werden 48-uur monsters door het laboratorium gemaakt. De monstername van effluent werd gestart 24 uur na start van de influentbemonstering. Zodoende is rekening gehouden met de verblijftijd van het water in de rioolwaterzuivering van circa 24 uur. De monstername werd conform de handreiking alleen bij droogweer (DWA-debiet) in enkelvoud uitgevoerd.

Per doseerperiode werden telkens vijf of zes 48-uursmonsters door een geaccrediteerd laboratorium geanalyseerd op de gidsstoffen.

2.4 KOOLDOSERINGSINSTALLATIE

De kooldoseringsinstallatie is praktisch identiek aan de installatie die gebruikt en beschreven is in het PACAS onderzoek op rwzi Papendrecht (STOWA 2018-02). De doseerinstallatie is ingebouwd in een zeecontainer, met verwisselbare metalen voorraadvaten bovenop, zie ook Figuur 3. De poederkool werd in de installatie gemengd met drinkwater en de poederkoolsuspensie werd 2 meter onder het wateroppervlak in de Nereda® ingebracht. Het korrelbed is op het tijdstip van doseren meer dan 4 meter onder het wateroppervlak, zodat de kool ongeveer halverwege de ‘schoonwaterzone’ werd ingebracht tijdens de beluchtingsfase. Deze locatie is gekozen zodat de afstand tot sensoren groot genoeg is en er voldoende menging mogelijk is. Het tweede inbrengpunt, op 3,5 meter diepte onder wateroppervlak, is bij dit onderzoek niet gebruikt. In iedere cyclus werd eenmaal een actiefkoolgift toegediend tijdens een beluchte fase.

2.5 POEDERKOOL

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de actiefkool van de leverancier Chemviron: Pulsorb WP235. De selectie van de kool is in het vooronderzoek tot stand gekomen (Haalbaarheidsstudie poederkool in Nereda® voor verwijdering van microverontreiniging op rwzi Simpelveld, Stowa-rapport 2020-20). Deze kool is ook gebruikt in het PACAS-onderzoek in Papendrecht. De kool is afkomstig van steenkool en 100% van fossiele oorsprong. De steenkool van het Chemviron wordt gewonnen in Amerika en China. In het productieproces worden grote stukken kool eerst vermalen en vervolgens gecarboniseerd bij 400-600°C. Daarna wordt de kool naar Feluy in België vervoerd. Op deze site wordt de gemalen kool met stoom geactiveerd bij een temperatuur van 1.000°C waardoor er een groot aantal zeer fijne poriën in de kool ontstaan. De kool heeft hierdoor een groot specifiek oppervlak waaraan stoffen kunnen adsorberen. Daarnaast wordt een deel van de organische stoffen tijdens het activatieproces vervluchtigd en thermisch vernietigd. Naast verse fossiele kool wordt bij de samenstelling van Pulsorb WP235 ook eerder gebruikte en gereactiveerde kool van de drinkwatersector als grondstof gebruikt. De verhouding verse kool en gebruikte kool is meestal 50/50. De dichtheid van de fossiele kool bedraagt 350 kg/m³, het vochtgehalte bij levering ca. 5 % en de gemiddelde deeltjesgrootte 30 µm. De CO₂ footprint van Pulsorb is 4 kg CO₂/kg poederkool (informatie van de leverancier). Aanvullende informatie van de Pulsorb wordt in bijlage 1 weergegeven.

Daarnaast is er gedurende een maand een duurzame actiefkool gedoseerd. Voor deze proef is de duurzame kool Acticarbon 2SW van de leverancier Chemviron gebruikt, die naar voren kwam als goed presterende duurzame kool in de Haalbaarheidsstudie duurzame alternatieven poeder actiefkool voor PACAS (STOWA 2020-19) en Laboratorium testen duurzame alternatieven poeder actiefkool (STOWA 2021-24) . Verder was deze kool (in tegenstelling tot bijvoorbeeld het andere alternatief Act+Sorb) in voldoende mate beschikbaar voor een proef. Deze kool wordt vervaardigd uit dennenhout uit Bordeaux en geactiveerd via stoom in Parentis (Frankrijk). De dichtheid van de duurzame kool bedraagt 180 kg/m³ en het vochtgehalte ca. 5 %. De CO₂-footprint van Acticarbon is op dit moment niet bekend. De duurzaamheid is op dit moment nog moeilijk te kwantificeren. Kwalitatief kan gesteld worden dat het hout voor de kool afkomstig is uit een hernieuwbare bron: een duurzaam geplant en onderhouden bos. De vrijgekomen koolstofdioxide bij productie en eindverwerking is daardoor kortcyclisch van aard, in tegenstelling tot actiefkool van fossiele herkomst. Er is op Europees niveau discussie over de manier om de footprint van duurzaam geproduceerde actiefkool te bepalen, bijvoorbeeld over welke tijdsframe de CO₂ berekend moet worden en wat de CO₂ opname tijdens de groei is. Daarnaast zijn er bij de productie van deze kool 3 – 5 keer meer grondstoffen nodig dan voor productie van fossiele kool. Uit het STOWA rapport 2021-24 blijkt dat de CO₂-footprint van Acticarbon 2SW daalt met ca. 35% in vergelijking met de referentie poederkool uit steenkool. Aanvullende informatie van de specificaties van Acticarbon 2SW wordt in bijlage 2 weergegeven.

2.6 REGELING KOOLDOSERING

Nereda® is een batchproces met de volgende fases: voeding/aflaat, beluchting en bezinking. In overleg met RHDHV is ervoor gekozen om de kool kortdurend te doseren 30 minuten vóór het einde van de beluchtingsfase of als het ammoniumgehalte lager is dan 5 mg N/l. De dosering kan ingesteld worden op een vaste hoeveelheid kool per hoeveelheid influent die per batch wordt toegevoerd. De batchgrootte is vooraf bekend en vervolgens wordt de gewenste hoeveelheid kool afgewogen en met water gemengd en binnen enkele minuten als een slurry de reactor ingevoerd. Het mengsel wordt op 2 meter diepte vanaf de bovenkant

in de Nereda® gebracht. De kool wordt in de beluchtingsfase goed gemengd met het slib in de reactor en op dat moment hebben de biologische afbraakprocessen (omzetting van ammonium en oxidatie van organische stof en binding van fosfaat) al voor een groot deel plaatsgevonden.

Analoog aan continue systemen kan de berekening van de kooldosering gedaan worden op basis van hoeveelheid influent; dit is de batchgrootte. Met een instelbare doseerverhouding (gram PAK per m³ influent) kan de actiefkoolgift berekend worden:

$$\text{actiefkoolgift} = \text{doseerverhouding (g/m}^3\text{)} \times \text{batchgrootte (m}^3\text{)} \quad (\text{gram PAK})$$

De cyclustijd van Nereda® wordt aangepast op basis van het aanvoerdebiet: hoe hoger de aanvoer hoe korter de cyclus. De verhoogde aanvoer wordt veroorzaakt door regenwater, waar minder vervuiling in zit. Bij langdurige aanvoer van hoge debieten hoeft dus ook minder PAK gedoseerd te worden om te compenseren voor het regenwater dat immers geen medicijnresten bevat. Bij een cyclustijd van 150 minuten en minder (bij verhoogde aanvoer) wordt de PAK dosering met 15% verlaagd en bedraagt de RWA-factor dus 0,85. De formule voor de actiefkoolgift wordt daarmee:

$$\text{actiefkoolgift} = \text{doseerverhouding (g/m}^3\text{)} \times \text{batchgrootte (m}^3\text{)} \times \text{RWA-factor (-)} \quad (\text{gram PAK})$$

Cyclustijd (min)	RWA-factor (-)
120 – 150	0,85
151 – 270	1

2.7 VERWERKING VAN RESULTATEN

De verwijderingsrendementen worden als volgt berekend

$$\text{Verwijderingsrendement (\%)} = \frac{C_{\text{influent}} - C_{\text{afloop Nereda PAK straat}}}{C_{\text{influent}}} * 100$$

Hierbij wordt het rendement berekend als gemiddelde waarde van de zuiveringsrendementen van de 11 gidsstoffen in elk genomen watermonster op basis van het gemeten concentratieverschil van de betreffende gidsstof in influent en het effluent van de PAK- en referentiestraat. Wanneer de dataset drie of meer waarden bevat, wordt ook de standaarddeviatie gepresenteerd.

3

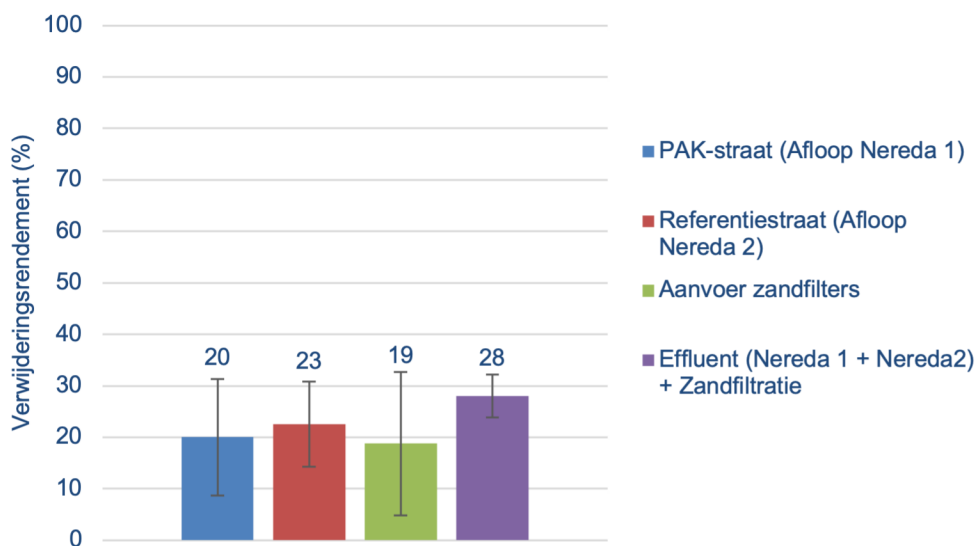
RESULTATEN VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN

3.1 NULMETING

Voorafgaand aan het starten van de pilot zijn er in de periode van 21 maart 2021 t/m 30 maart 2021 bij droogweeraanvoer een serie metingen gedaan in het influent, de afloop van de twee Nereda's, de aanvoer naar de zandfilters en het effluent. Het doel hiervan is om een beeld te krijgen van de aanwezigheid van de gidsstoffen, de concentraties en het verwijderingsrendement van beide Nereda's en het zandfilter. De nul-meting heeft zich vooral gericht op de lijst van de 11 gidsstoffen die door het ministerie van I&W is opgesteld¹.

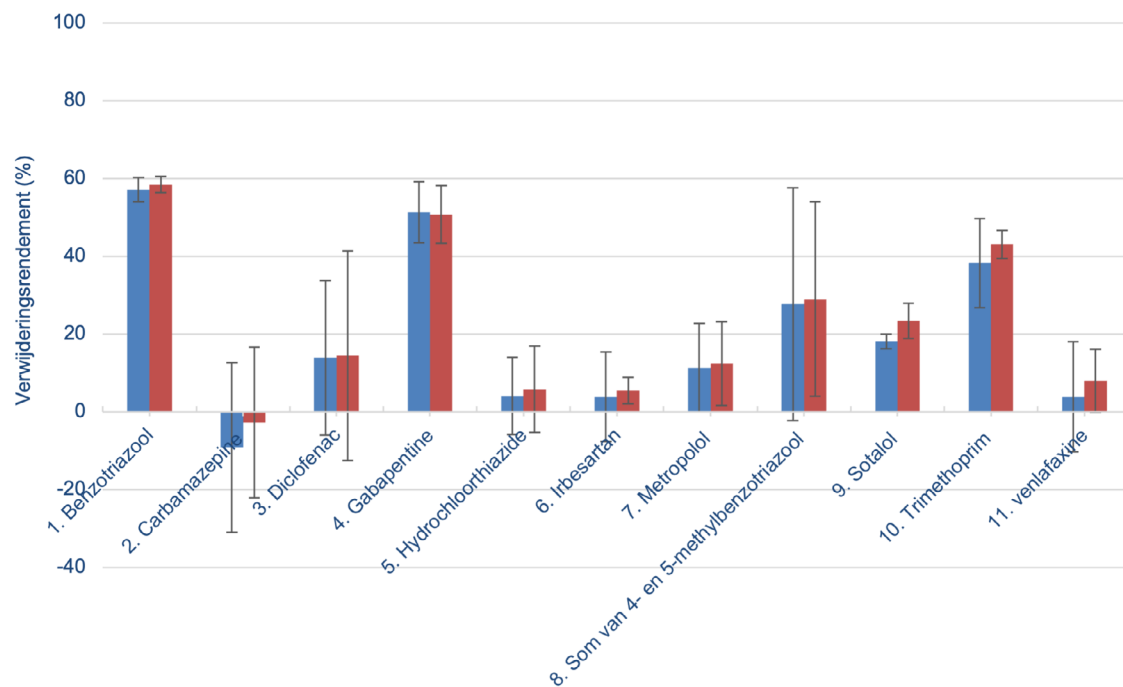
De resultaten zijn in Figuur 4 weergegeven. Deze grafiek laat zien dat het verschil in het verwijderingsrendement tussen de twee Nereda[®] reactoren gering is, deze zijn 20% en 23% voor respectievelijk Nereda[®] 1 en Nereda[®] 2. De afloop van beide Nereda's (referentiestraat en PAK-straat) wordt in de egalisatiebuffer gemengd en daarna wordt het water naar de zandfilters geleid. De resultaten laten zien dat in de zandfilters nog extra verwijdering van medicijnresten plaatsvindt, ca. 8%. Ook zijn de verwijderingsrendementen afzonderlijk per gidsstoffen gepresenteerd (Figuur 5). Alle gidsstoffen zijn in het influent van de rwzi aanwezig en worden voor minder dan 50% verwijderd. Uitzondering hierop is 1,2,3-benzotriazool en gabapentine die voor 57% en 51% worden verwijderd.

FIGUUR 4 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN T.O.V INFLUENT TIJDENS DE REFERENTIEMETING (11 GIDSSTOFFEN). AANTAL WAARNEMINGEN: N=3



¹ Gidsstoffen: 1,2,3-benzotriazool, carbamazepine, diclofenac, gabapentine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool, sotalol, trimethoprim, venlafaxine. Deze lijst is uitgebreid met 8 andere monitoringstoffen, te weten: amisulpride, azitromycine, candesartan, citalopram, claritromycine, furosemide, propranolol, sulfamethoxazol.

FIGUUR 5 RESULTATEN VAN REFERENTIEMETING, GEMIDDELTE VERWIJDERING TEN OPZICHT VAN INFLUENT VOOR 11 GIDSSTOFFEN, N= 3 IN AFLOOP VAN BEIDE NEREDA REACTOREN VOORAFGANG AAN PAK DOSERING



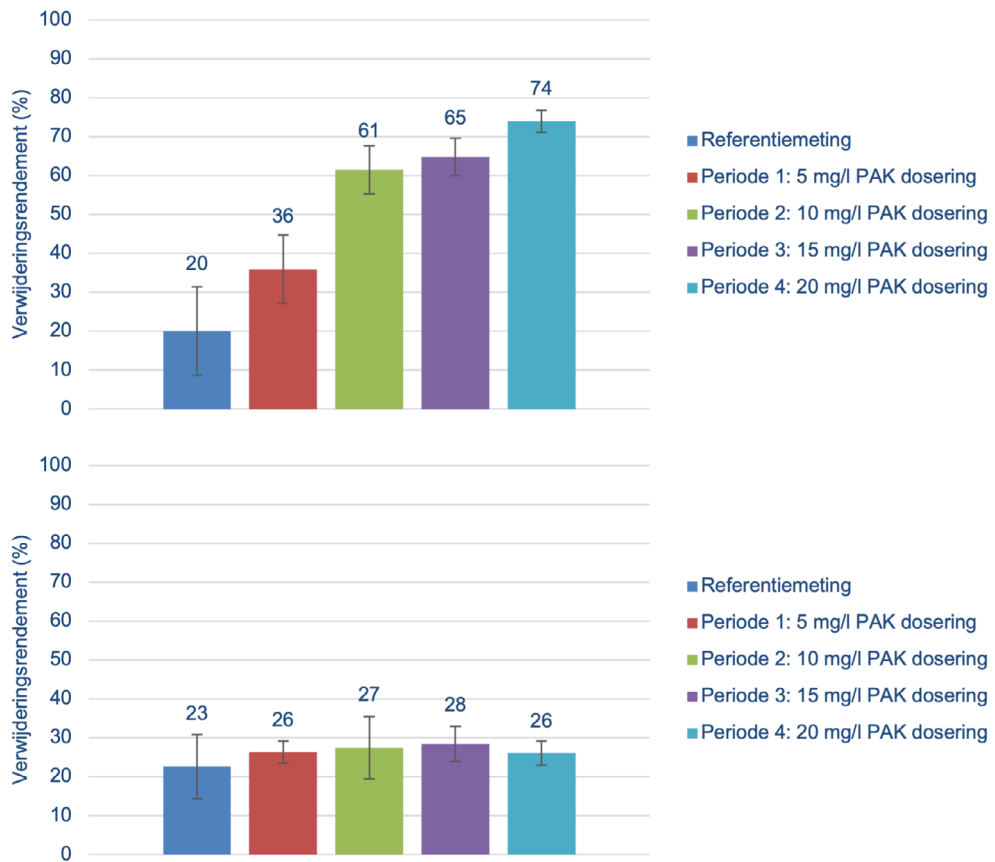
3.2 VERWIJDERING VAN GIDSSTOFFEN TIJDENS POEDERKOOLDOSERING

3.2.1 GEMIDDELTE VERWIJDERING VAN ALLE GIDSSTOFFEN IN NEREDA® REACTOR TIJDENS POEDERKOOLDOSERING

De resultaten geven aan dat het verwijderingsrendement van de medicijnresten in de Nereda® zonder poederkool dosering (referentiestraat) gemiddeld 26% bedraagt met een relatief kleine spreiding gedurende de pilotperiode, zie onderste diagram in Figuur 6. In het bovenste diagram van Figuur 6 zijn de gemiddelde verwijderingsrendementen gepresenteerd voor de 11 gidsstoffen, bij olopende poederkool dosering. In de Nereda® mét poederkool dosering vindt de grootste sprong plaats bij een dosering tussen 5 en 10 mg PAK/l waarbij het verwijderingsrendement wordt verhoogd van 36% naar 61%. Uiteindelijk wordt bij een dosering van 20 mg PAK/L een gemiddeld verwijderingsrendement van 74% bereikt.

FIGUUR 6

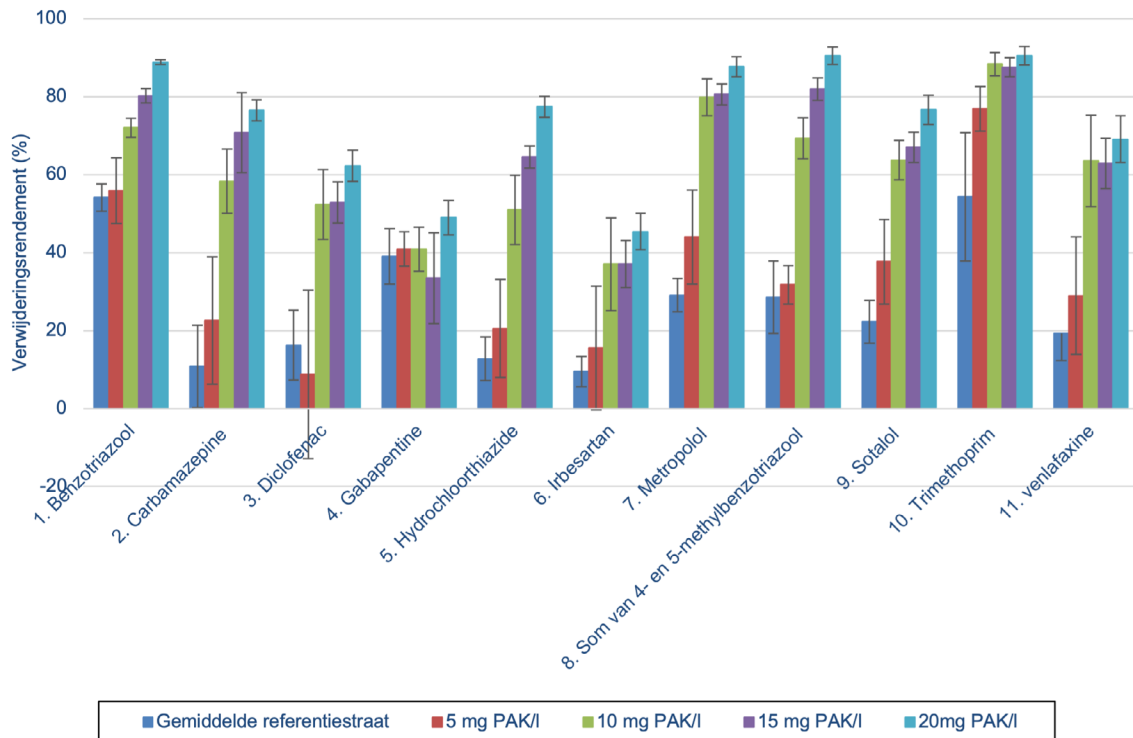
VERWIJDERINGSRENDEMENT O.B.V. ALLE 11 GIDSSTOFFEN IN NEREDA PAK-STRAAT (BOVEN) EN REFERENTIASTRAAT (ONDER) IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022; AANTAL WAARNEMINGEN: REFERENTIEMETING N= 3; 5 MG PAK/L N= 3; 10 MG PAK/L N= 5; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 6



3.2.2 GEMIDDELDE VERWIJDERING PER GIDSSTOF IN NEREDA® REACTOR TIJDENS POEDERKOOLDOSERING

In Figuur 7 zijn per poederkooldosering de individuele verwijderingsrendementen van de gidsstoffen gepresenteerd. De resultaten laten een toenemende verwijdering voor 10 van de 11 gidsstoffen bij een toenemende poederkooldosering. Voor gabapentine is het verwijderingsrendement redelijk stabiel gebleven tijdens alle doseerperiodes. Het maximum verwijderingsrendement bij een dosering van 20 mg PAK/l ligt tussen 75 en 90% voor de volgende stoffen: 1,2,3-benzotriazool, carbamazepine, hydrochloorthiazide, metoprolol, som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool, sotalol en trimethoprim. Voor diclofenac en venlafaxine ligt het rendement tussen 60 en 70%. Irbesartan laat ook een verhoogd rendement zien door poederkooldosering, echter dit ligt rond 45% maximaal. In de Bijlage 3 zijn per dosering en per stof ook de bijbehorende verwijderingsrendementen gepresenteerd inclusief de prestaties van de referentiestraat.

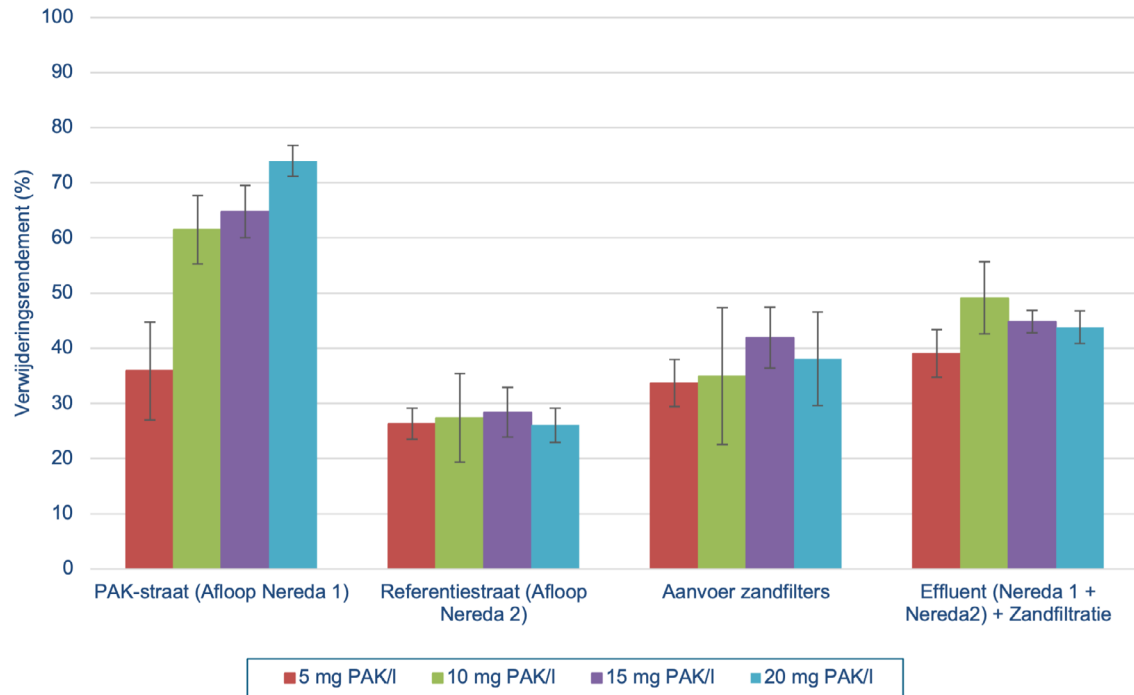
FIGUUR 7 VERWIJDERINGSRENDEMENT PER GIDSSTOF IN NEREDA PAK-STRAAT BIJ OPLOPENDE POEDERKOOL CONCENTRATIES EN REFERENTIESTRAAT ALS GEMIDDELDE OVER DE 5 DOSEERPERIODES; AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N=3; 10 MG PAK/L N=5; 15 MG PAK/L N=6; 20 MG PAK/L N=6



3.2.3 VERWIJDERING VAN GIDSSTOFFEN DOOR NEREDA EN CONTINUE ZANDFILTRATIE SAMEN

Tijdens de pilot zijn ook de aanvoer naar de zandfilters en het effluent bemonsterd. Hierdoor is het effect van de nageschakelde zandfilters op de kwaliteit van het mengsel van effluent van beide straten (PAK en referentie) vastgesteld. In de PAK-street wordt naar rato van het volume van de Nereda tanks 1/3 van het influent behandeld met poederkool en 2/3 deel niet (referentiestraat). De afloop van beide Nereda's (referentiestraat en PAK-street) wordt in de egalisatiebuffer gemengd. Vanuit deze buffer wordt het water naar de zandfilters geleid. De resultaten laten zien dat er in de zandfilters nog extra verwijdering van medicijnresten plaatsvindt, waardoor het gemiddelde totaalrendement (influent/effluent) over alle doseerperiodes nog eens met gemiddeld circa 7 procentpunten toeneemt (Figuur 8). Het verwijderingsmechanisme van medicijnresten in de zandfilters is binnen dit project niet verder onderzocht.

FIGUUR 8 VERWIJDERINGSRENDEMENT OP BASIS VAN 11 GIDSSTOFFEN VAN MEDICIJNRESTEN BIJ VERSCHILLENDE PAK-DOSERINGEN IN DE PAK-STRAAT (AFLOOP NEREDA 1), REFERENTIESTRAAT (AFLOOP NEREDA 2), AANVOER ZANDFILTER (NEREDA 1 + NEREDA 2) EN EFFLUENT (NEREDA 1 + NEREDA2 + ZANDFILTRATIE) IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022. AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N = 3; 10 MG PAK/L N= 5; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 6

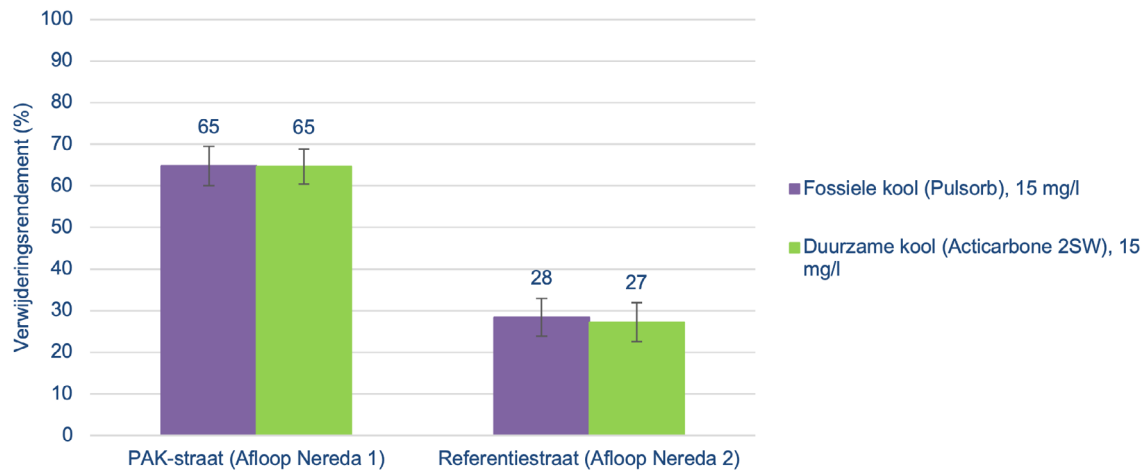


3.2.4 VERWIJDERING VAN GIDSSTOFFEN DOOR DUURZAME KOOL

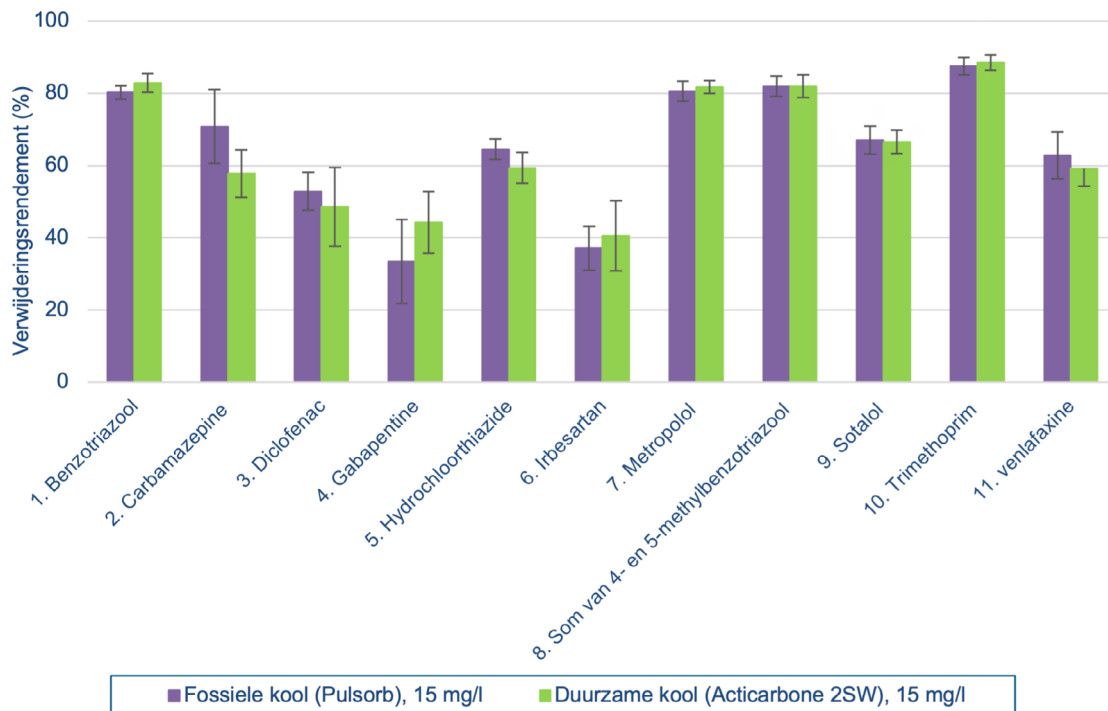
Aan het eind van de proefperiode is er een test is uitgevoerd met een duurzame kool. De looptijd van de test was ca. 1 maand. Voor deze proef is de duurzame kool Acticarbone 2SW van de leverancier Chemviron gebruikt. Uit de resultaten blijkt dat de verwijderingsrendementen bij Acticarbone 2SW in dezelfde range liggen als bij gebruik van fossiele kool, met 64,8% en 64,7% respectievelijk (Figuur 9). Beide kolen kunnen even goed alle gidsstoffen uit het afvalwater verwijderen, zie Figuur 10.

Door de lage dichtheid van de duurzame kool treedt regelmatig brugvorming in de voorraad bins op. Om die reden was het minder makkelijk om te doseren. Als de actieve kool erg fijn is, kan deze bij het vullen van de schaal in de doseerinstallatie ongecontroleerd uit de doseerbuis stromen. Hierdoor komt er ineens veel actieve kool in de vortex terecht, die dan verstopt raakt. Bij een full-scale toepassing dient de silo-doseerinstallatie geschikt te zijn voor kolen met verschillende eigenschappen.

FIGUUR 9 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN O.B.V. ALLE 11 GIDSSTOFFEN BIJ GEBRUIK VAN DUURZAME PAK VERGELEKEN MET FOSSIELE PAK BIJ EEN DOSERING VAN 15 MG/L. AANTAL WAARNEMINGEN: BIJ FOSSIELE KOOL N = 6; BIJ DUURZAME KOOL N= 4 EN REFERENTIESTRAAT (GROEN) GEPRESENTEERD ALS GEMIDDELDE VAN ALLE DOSEERPERIODES



FIGUUR 10 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN GIDSSTOFFEN BIJ GEBRUIK VAN DUURZAME PAK VERGELEKEN MET FOSSIELE PAK BIJ DOSERING VAN 15 MG/L. AANTAL WAARNEMINGEN: BIJ FOSSIELE KOOL N = 6; BIJ DUURZAME KOOL N= 4



3.3 BIOASSAYS

Tijdens de proef is er per doseerperiode een set van bioassays uitgevoerd volgens de "Handreiking voor uitvoeren van biologische effectmonitoring bij vergaande zuivering van RWZI-effluënten V0.7, 03-04-2022" opgesteld door het Ministerie van IenW en Stowa. Door het uitvoeren van bioassays wordt bepaald wat het effect is van mengsels van stoffen op levende organismen (*in vivo*) of cellen of weefsels (*in vitro*). De set van tests bestond uit twee *in vivo* bioassays (Daphniatox en Microtox) en twee *in vitro* (PAH-Calux en ER α -Calux). Over het algemeen beoordelen *in vivo* bioassays de algemene toxiciteit (respons op alle in het water aanwezige stoffen). De ER α -Calux is een indicator voor hormoon verstorende chemicaliën

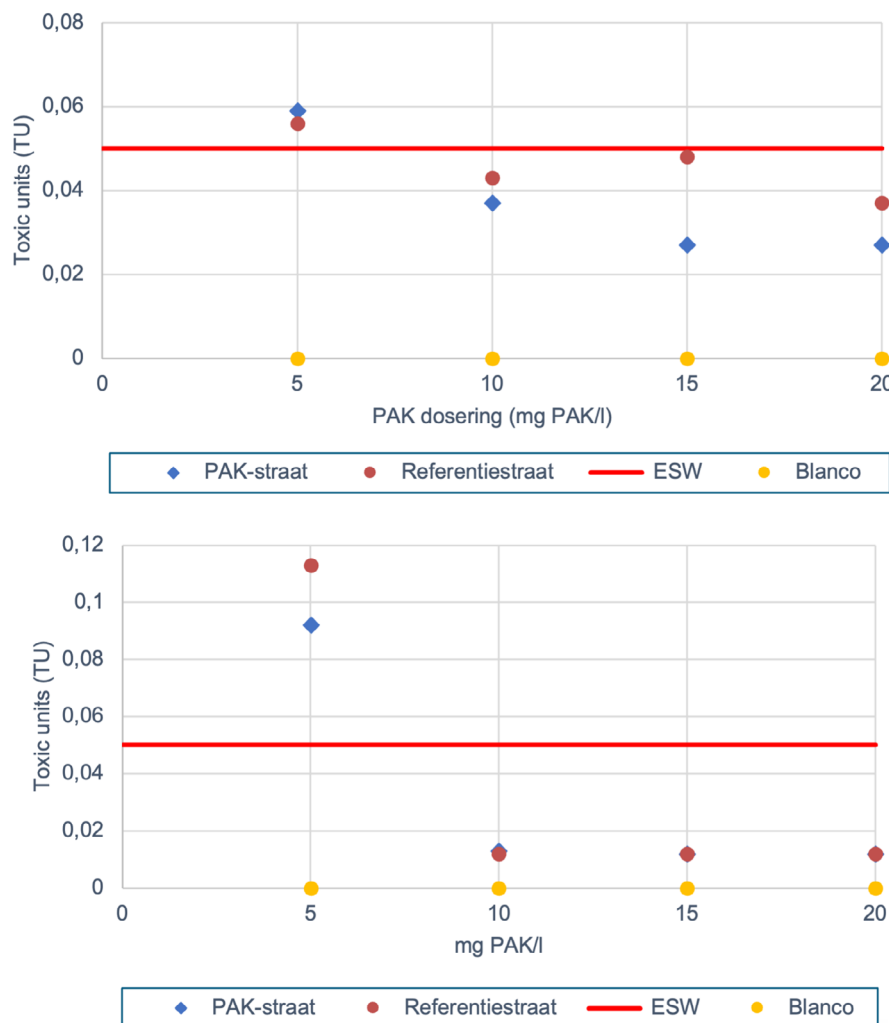
zoals natuurlijke en synthetische estrogene receptoren en de PAH-Calux voor polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Om de ecologische risico's van RWZI-effluent te bepalen zijn effect-sigitaalwaarden afgeleid (ESW). Deze signaalwaarden geven aan of er sprake is van een risico voor het (aquatisch) milieu. Als een bioassay respons de signaalwaarde niet overschrijdt duidt dit op een laag risico op nadelige ecologische effecten. De mate van overschrijding geeft een indicatie van de risico's voor het watermilieu. Per poederkool doseerperiode is er één monster van afloop van beide Nereda's en een procedure blanco geanalyseerd op de set van bioassays.

De resultaten van de *in vivo* bioassays zijn uitgedrukt in Toxische Eenheden (Toxic Units; TU). Deze resultaten zijn vergeleken met de ecologische signaleringswaarde van 0,05². Uit de resultaten blijkt dat

vanaf een poederkooldosering van 10 mg PAK/l geen effect veroorzaakt wordt in zowel de Microtox als de watervlo, waarbij de ESW van 0,05 niet werd overschreden (zie Figuur 11). Dit geldt voor de PAK-straat en de referentiestraat, aangezien er geen gemeten verschil is. In alle gevallen was het resultaat in de procedure blanco kleiner dan de effect-sigitaalwaarden.

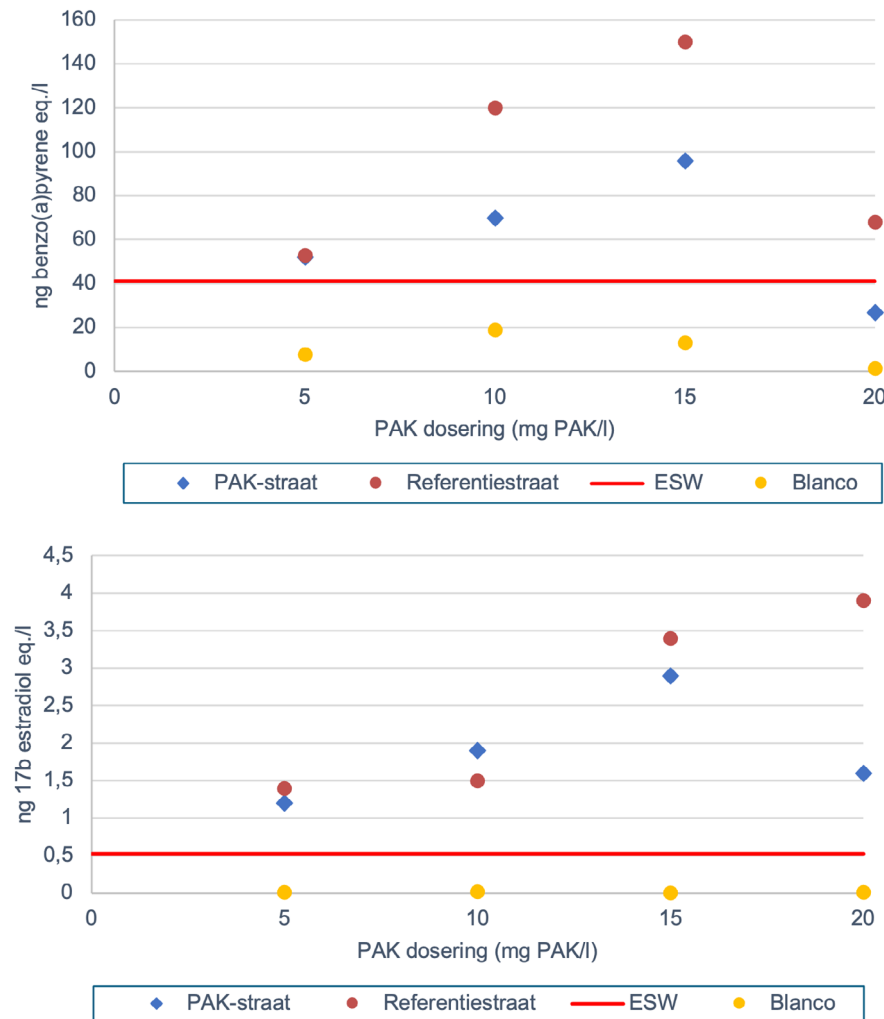
FIGUUR 11 RESULTATEN IN VIVO BIOASSAYS MICROTOX EN WATERVLO IN PAK-STRAAT, REFERENTIASTRAAT EN BLANCO BIJ OPLOPENDE POEDERKOOLOSCENTRATIES. AANTAL WAARNEMINGEN PER DOSEERPERIODE N=1. ESW= EFFECT-SIGITAALWAARDE



2 STOWA (2016a). Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Deel 1. Methode voor het in beeld brengen van de effecten van giftige stoffen in oppervlaktewater. STOWA rapportnummer 2016-15A.

Voor de *in vitro* bioassays zijn de resultaten vergeleken met de ecologische signaleringswaarde van 0,52 voor de ER α -Calux en 41 voor de PAH-Calux. Bij bijna alle poederkool doseringen zijn de ESW-waardes in beide Calux bioassays in de PAK- en referentiestraat overschreden. De overschrijding van de ESW duidt op een verhoogd ecologisch risico bij het lozen van het RWZI-effluent in het oppervlaktewater. Echter is een afname van deze overschrijding waargenomen door het doseren van poederkool bij een concentratie van 10 mg PAK/l en hoger voor de PAH-Calux bioassay. Bij de ER α -Calux is deze afname vanaf een doseerconcentratie van 15 mg PAK/l waargenomen, zie Figuur 12.

FIGUUR 12 RESULTATEN IN VITRO BIOASSAYS PAH-CALUX EN ER α -CALUX IN PAK-STRAAT REFERENTIASTRAAT EN BLANCO BIJ OPLOPENDE POEDERKOOLOSCENTRATIES. AANTAL WAARNEMINGEN PER DOSEERPERIODE N= 1. ESW= EFFECT-SIGNAALWAARDE



Na afloop van het project is de Handreiking biologische effectmonitoring geüpdatet (v0.8, januari 2023, in concept). In deze update wordt de afname per test berekend volgens de volgende formules:

$$\text{Afname Microtox (\%)} = \frac{TU_{\text{referentiestraat}} - TU_{\text{PAK-street}}}{TU_{\text{referentiestraat}}} * 100$$

$$\text{Afname Calux bioassays (\%)} = \frac{Conc_{\text{referentiestraat}} - Conc_{\text{PAK-street}}}{Conc_{\text{referentiestraat}}} * 100$$

Vervolgens worden de afzonderlijk afnames over de geselecteerde bioassays: Microtox, E α - en PAH-Calux rekenkundig gemiddeld tot één afnamepercentage voor de betreffende poederkool doseerperiode. De resultaten in de onderste regel van Tabel 1E. laten zien dat, bij een toenemende poederkooldosering de risico's van het RWZI-effluent voor het ontvangend oppervlaktewater afnemen. In bijlage 4 worden alle resultaten van de biologische effectmonitoring weergegeven. Daarnaast worden de resultaten ook geanalyseerd volgens de online interpretatie-tool van de Stowa.

TABEL 1 E EFFECTIVITEIT VAN DE VERGAANDE ZUIVERING BIJ OPLOPENDE POEDERKOOL CONCENTRATIES ALS AFNAME (%) PAK-STRAAT TEN OPZICHTE VAN REFERENTIASTRAAT PER BIOASSAY EN GEMIDDELD PER DOSEERPERIODE. AANTAL WAARNEMINGEN PER DOSEERPERIODE N= 1

Bioassay	Poederkool dosering			
	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
Era CALUX (ng 17 β estradiol eq./l)	14	-27	15	59
PAH CALUX (ng benzo(a)pyrene eq./l)	2	42	36	60
Microtox (TU)*	-5	14	44	27
Gemiddeld afname van toxiciteit per dosering (%)	4	10	31	49

* Toxic Unit (TU) gedefinieerd als = 100 / EC50-waarde

4

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN OP BASIS VAN DE PRESTATIEVEREISTEN VOOR EEN DEMO-INSTALLATIE

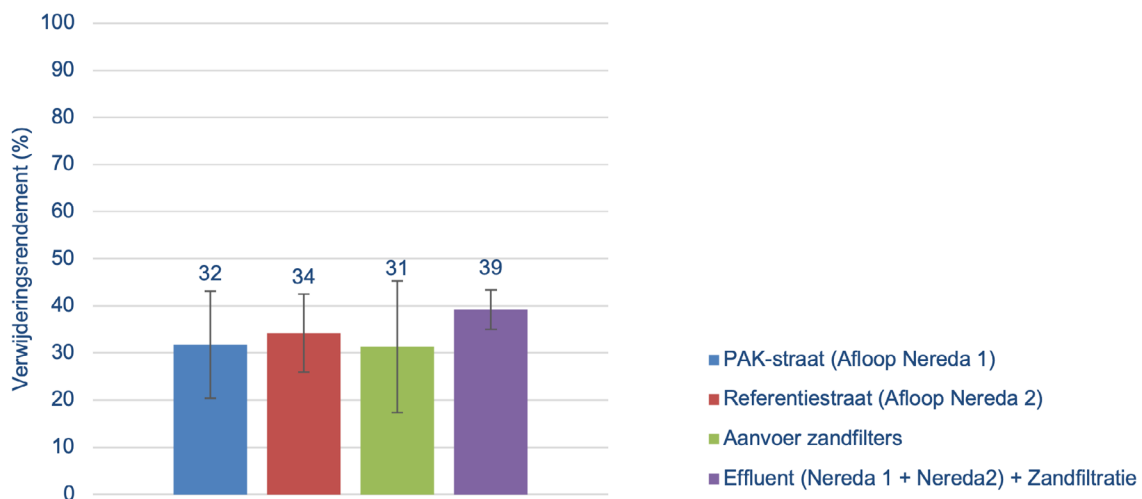
Het verwijderingsrendement is in dit hoofdstuk berekend conform het voorschrift “Samenwerkingsovereenkomst zuivering medicijnresten van Ministerie van I&W, bijlage A: Prestatievereisten voor een demo-installatie”. Hierbij wordt het rendement berekend als gemiddelde waarde van de zuiveringsrendementen van de afzonderlijke beste 7 (van de 11) gidsstoffen³ in elk genomen watermonster op basis van het gemeten concentratieverschil van de betreffende gidsstof in influent en het effluent van de PAK- en referentiestraat:

$$\text{Verwijderingsrendement (\%)} = \frac{C_{\text{influent}} - C_{\text{afloop Nereda PAK straat}}}{C_{\text{influent}}} * 100$$

4.1 NULMETING

De resultaten van de nul-meting zijn in Figuur 13 weergegeven. Deze grafiek laat zien dat er een gering verschil in het verwijderingsrendement tussen de twee Nereda[®] reactoren, deze zijn 32% en 34% voor Nereda[®] 1 en Nereda[®] 2 respectievelijk. Ook in deze berekeningswijze is een extra verwijdering door de zandfilters vastgesteld van circa 8%.

FIGUUR 13 VERWIJDERINGSRENDEMENT TIJDENS DE REFERENTIEMETING O.B.V 7 BESTE VAN 11 GIDSSTOFFEN. AANTAL WAARNEMINGEN: N= 3



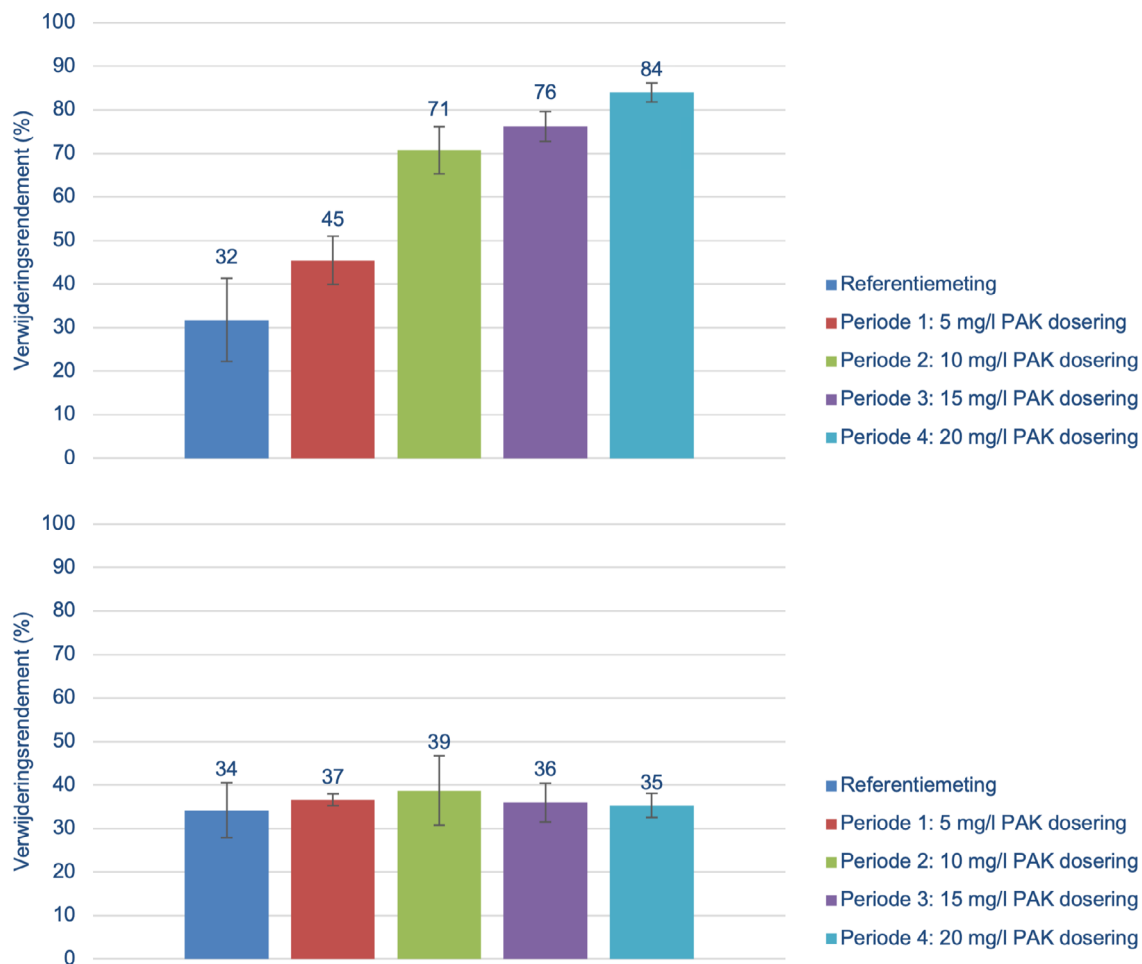
³ Gidsstoffen: 1,2,3-benzotriazool, carbamazepine, diclofenac, gabapentine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool, sotalol, trimethoprim, venlafaxine.

4.2 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN BIJ DOSERING VAN POEDERKOOL

De resultaten geven aan dat het verwijderingsrendement van de medicijnresten in de Nereda® zonder poederkool dosering (referentiestraat) gemiddeld 36% bedraagt met een relatief kleine spreiding gedurende de pilotperiode. In de Nereda® mét poederkooldosering wordt bij een dosering van 5 mg PAK/l het verwijderingsrendement verhoogd naar 45%, bij een dosering van 10 mg PAK/l naar 71%, bij een dosering van 15 mg PAK/l naar 76% en bij een dosering van 20 mg PAK/l naar 84 % (Figuur 14). Het rendement is berekend als gemiddelde waarde van de zuiveringsrendementen van de best verwijderde 7 gidsstoffen (van in totaal 11) in elk genomen watermonster.

Het verwijderingsrendement in de PAK-straat bij 10 mg/l PAK is substantieel hoger dan in de referentiestraat en voldoet hierbij aan de minimale eis gesteld door het Ministerie van I&W van 70%. Bij nog hogere PAK concentraties vlagt de toename van het verwijderingsrendement af.

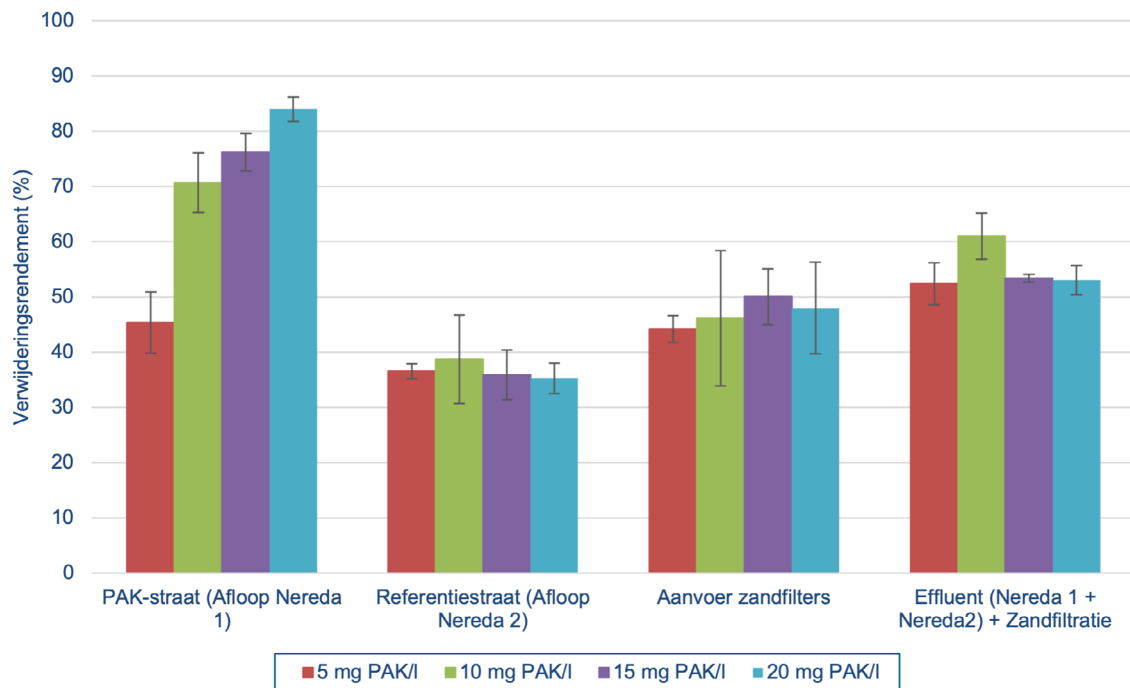
FIGUUR 14 VERWIJDERINGSRENDEMENT O.B.V. 7 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN NEREDA PAK-STRAAT (BOVEN) EN REFERENTIASTRAAT (ONDER) IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022; AANTAL WAARNEMINGEN: REFERENTIEMETING N= 3; 5 MG PAK/L N= 3; 10 MG PAK/L N= 5; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 6



4.3 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN BIJ VAN NEREDA + ZANDFILTRATIE

Het effect van de nageschakelde zandfilters op de kwaliteit van het mengsel van effluent van beide straten (PAK en referentie) o.b.v. van de best verwijderde 7 gidsstoffen (van in totaal 11) is vastgesteld. Zoals hiervoor vermeld, werd 1/3 deel van het influent in de PAK-straat met poederkool behandeld en 2/3 deel niet (referentiestraat). De resultaten in Figuur 15 laten zien dat er in de zandfilters nog extra verwijdering van medicijnresten plaatsvindt, waardoor het gemiddelde totaalrendement (influent/effluent) over alle doseerperiodes nog eens met gemiddeld circa 7 procentpunten toeneemt.

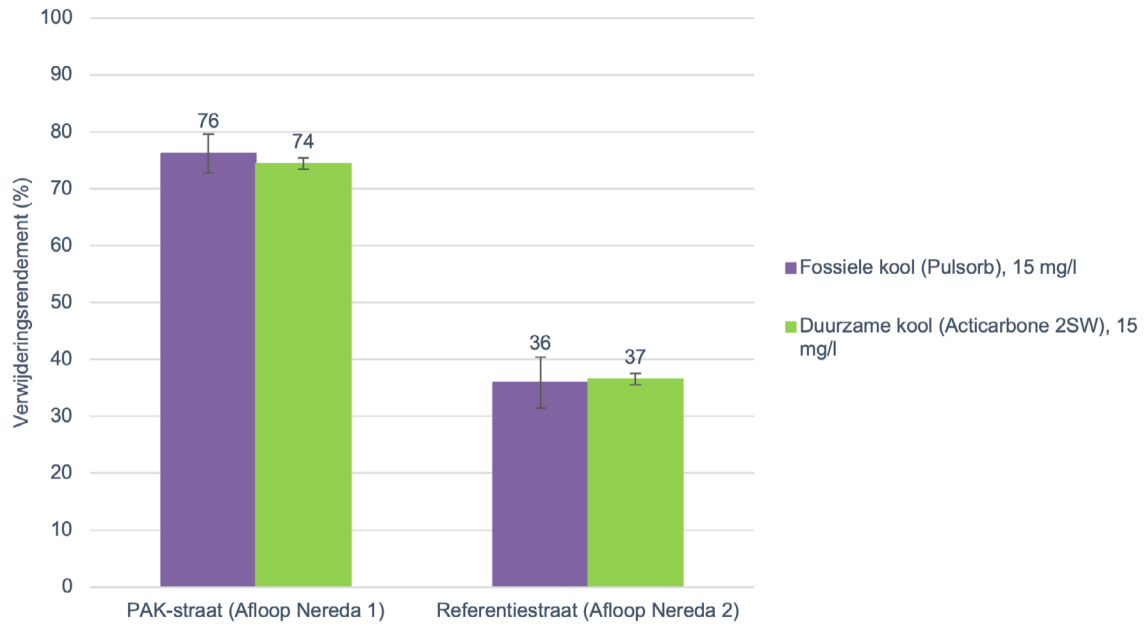
FIGUUR 15 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN MEDICIJNRESTEN BIJ VERSCHILLENDE PAK-DOSERINGEN IN DE PAK-STRAAT (AFLOOP NEREDA 1), REFERENTIASTRAAT (AFLOOP NEREDA 2), ANVOER ZANDFILTER (NEREDA 1 + NEREDA 2) EN EFFLUENT (NEREDA 1 + NEREDA 2 + ZANDFILTRATIE O.B.V. 7 BESTE VAN 11 GIDSSTOFFEN. AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N= 3; 10 MG PAK/L N= 5; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 6



4.4 RESULTATEN PROEFPERIODE DUURZAME KOOL

Aan het eind van de proefperiode is er in mei en juni 2022 een test uitgevoerd met een duurzame kool. De looptijd van de test was ca. 1 maand. Voor deze proef is de duurzame kool Acticarbon 2SW van de leverancier Chemviron gebruikt, met doseerverhouding 15 mg PAK/l. Uit de resultaten blijkt dat het verwijderingsrendement van Acticarbon 2SW even hoog is in vergelijking met de fossiele kool met 74% en 76% respectievelijk bij 15 mg PAK/l zoals die in oktober en december 2021 getest zijn, zie Figuur 15.

FIGUUR 15 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN O.B.V 7 BESTE UIT 11 GIDSSTOFFEN BIJ GEBRUIK VAN DUURZAME PAK VERGELEKEN MET FOSSIELE PAK BIJ DOSERING VAN 15 MG/L. AANTAL WAARNEMINGEN: BIJ FOSSIELE KOOL N = 6; BIJ DUURZAME KOOL N= 4 EN REFERENTIESTRAAT (GROEN) GEPRÉSENTEERD ALS GEMIDDELDE VAN ALLE DOSEERPERIODES



5

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN OP BASIS VAN DE GEREVISEERDE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER

Door de EU is een voorstel gedaan voor een revisie van de Richtlijn Stedelijk Afvalwater⁴. Hierin worden verwijderingsrendementen voorgesteld voor medicijnresten, die enigszins afwijken van de stoffen in het IPMV. Er is sprake van twee categorieën stoffen, zie ook Tabel 2. In de revisie wordt gesteld dat rwzi's groter dan 100.000 i.e. moeten zijn voorzien van een aanvullende verwijdering voor micropollutants en daarnaast per 2040 kleinere zuiveringen met een capaciteit van 10.000-100.000 i.e. die lozen op gevoelig oppervlaktewater vanwege risico's voor de humane gezondheid of het (water)milieu. E.e.a. dient gerealiseerd te zijn in de periode 2030-2035 voor rwzi's groter dan 100.000 i.e. en uiterlijk in 2040 voor kleinere rwzi's.

TABEL 2 DE STOFFENLIJST VAN DE VOORGESTELDE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER AFVALWATER IN VERGELIJKING MET DE NEDERLANDSE 7 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN

Categorie 1 EU	Categorie 2 EU	Gidsstoffen NL
amisulpride	1,2,3-benzotriazool	carbamazepine
carbamazepine	candesartan	diclofenac
citalopram	irbesartan	hydrochloorthiazide
claritromycine	som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool	metoprolol
diclofenac		venlafaxine
hydrochloorthiazide		1,2,3-benzotriazool
metoprolol		irbesartan
venlafaxine		som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool
		gabapentine
		sotalol
		trimethoprim

Het verwijderingspercentage moet conform de nieuwe concept Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater berekend worden over tenminste 6 stoffen van de 12 stoffen. Hierbij dient het aantal stoffen uit Categorie 1 tweemaal zo groot te zijn als het aantal stoffen uit Categorie 2. Hiermee zijn de volgende combinaties mogelijk:

- 6 stoffen: 4 stoffen uit categorie 1 en 2 stoffen uit categorie 2
- 9 stoffen: 6 stoffen uit categorie 1 en 3 stoffen uit categorie 2
- 12 stoffen: 8 stoffen uit categorie 1 en 4 stoffen uit categorie 2

De verwijdering wordt conform het concept EU-voorstel berekend op basis van de gemiddelde verwijdering van de beschouwde stoffen in elk 24h- of 48h-monster op basis van concentraties. Het verwijderingsrendement dient minimaal 80% te bedragen. Volgens de Nederlandse richtlijnen van het Ministerie van IenW dient het verwijderingsrendement berekend te worden

⁴ Zie hier: Proposal for a revised Urban Wastewater Treatment Directive (europa.eu)

over 7 van de 11 gidsstoffen. De verwijdering wordt berekend op dezelfde manier. Hierbij geldt een minimaal verwijderingsrendement in elk monster van 70%.

Met de verzamelde resultaten bij dosering van 5, 10, 15 en 20 mg PAK/l van de fossiele en duurzame poederkool is bepaald wat het verwijderingsrendement zou zijn als dit berekend werd volgens de methode van de voorgestelde nieuwe richtlijn stedelijk afvalwater, zie Tabel 4. Het gaat hierbij om het effluent van de Nereda®, dus zonder het effect van de nageschakelde zandfiltratie. Per doseerperiode is per stof het gemiddelde verwijderingsrendement berekend, waarna de top 4 uit Categorie 1 en de top 2 uit Categorie 2 zijn gemiddeld tot één waarde.

Bij toepassing op de rwzi Simpelveld, waarbij ook nog een continue zandfiltratie is nageschakeld mag verwacht worden dat met een dosering van 15 mg PAK/l het vereiste rendement van 80% gehaald kan worden, wellicht dat dit ook geldt voor duurzame kool, gegeven het feit dat de zandfiltratie tot 8% extra verwijdering blijkt te realiseren. Bij een dosering van 20 mg PAK/l wordt het vereiste rendement ook behaald zonder aanvullende zandfiltratie.

TABEL 3 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN, BEREKEND VOLGENS DE VOORGESTELDE REKENREGELS VAN DE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER IN VERGELIJKING MET DE NEDERLANDSE SYSTEMATIEK CONFORM DE BIJDRAGEREGELING EN HET IPMV VANUIT HET MINISTERIE VAN IENW VOOR DE 7 VAN DE 11 GIDSSTOFFEN

	Ozonisatie	PACAS	Granulair Actief Kool (GAK)	Poederkool in granulaire actiefslib
Instelling	0,7 g O ₃ /g DOC	15-20 mg PAK/l	EBCT (verblijftijd): 30 min; standtijd 6 maanden	5-20 mg PAK/l
Nageschakeld verwijderingsrendement (%)	80-90%	nvt	80-90%	Nvt
Overall verwijderingsrendement (%) volgens rekenregels concept EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater dd 26/10/2022 (6 van de 12 onderverdeeld in categorieën)	75-85%	70-80%	75-85%	47-85%
Gekozen gidsstoffen EU (6 van de 12; verhouding van 2:1 voor aantal stoffen uit categorie 1 ten opzichte van aantal stoffen uit categorie 2)	Benzotriazol, Carbamazepine Diclofenac, Citalopram, - keuze tussen metoprolol of venlafaxine - keuze tussen irbesartan of som 4,5-methyl benzotriazol	Benzotriazol, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Metoprolol; Venlafaxine Citalopram	Benzotriazol, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Metoprolol; Venlafaxine Citalopram	Zie Tabel 5
Overall verwijderingsrendement (%) volgens rekenregels bijdrage-regeling Ministerie IenW en IPMV (7 van de 11)	80-85%	70-80%	80-85%	45 – 84%
Gekozen gidsstoffen NL (7 van de 11)	Carbamazepine, Diclofenac, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Benzotriazole, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Benzotriazole, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Trimethoprim, Benzotriazole, metoprolol, sotalol, som 4,5-methyl benzotriazol, Carbamazepine, Venlafaxine of Hydrochloorthiazide

Het overzicht van de betreffende stoffen die meedoen in de berekening van het gemiddelde verwijderingsrendement, is weergegeven in Tabel 5 en in Tabel 6 zijn de stofnamen gepresenteerd van de top 7 stoffen volgens de rekenregels van het IPMV.

TABEL 4 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN, BEREKEND VOLGENS DE VOORGESTELDE REKENREGELS VAN DE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER (DIT IS EXCLUSIEF HET EFFECT VAN ZANDFILTRATIE)

Dosering (mg PAK/l)	Gemiddeld verwijderingsrendement volgens rekenregels nieuwe EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater bij dosering van fossiele kool (%)	Gemiddeld verwijderingsrendement volgens rekenregels nieuwe EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater bij dosering van duurzame kool (%)
5	47	
10	76	
15	79	74*
20	85	

* voor de duurzame kool n=4; voor de fossiele kool n =6

TABEL 5 DE INDIVIDUELE STOFFEN DIE MEEDOEN IN DE BEREKENING VAN HET GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VOLGENS DE VOORGESTELDE REKENREGELS VAN DE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER

Dosering	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	15 mg/l (duurzame kool)	20 mg/l
Top 4 uit categorie 1	citalopram	citalopram	citalopram	citalopram	citalopram
	metoprolol	metoprolol	metoprolol	metoprolol	metoprolol
	clarithromycine	clarithromycine	clarithromycine	Hydrocloorthiazide	hydrocloorthiazide
	venlafaxine	venlafaxine	carbamazepine	venlafaxine	carbamazepine
Top 2 uit categorie 2	benzotriazool	benzotriazool	benzotriazool	benzotriazool	Som 4 en 5 methylbenzotriazool
	som van 4- en 5-methylbenzotriazool	som van 4- en 5-methylbenzotriazool	som van 4- en 5-methylbenzotriazool	som 4- en 5-methylbenzotriazool	benzotriazool
					benzotriazool

TABEL 6 DE TOP 7 UIT DE 11 GIDSSTOFFEN BIJ DE VERSCHILLENDE POEDERKOOLDOSERINGEN

	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
	Trimethoprim	Trimethoprim	Trimethoprim	Trimethoprim
	Benzotriazool	Benzotriazool	Benzotriazool	Benzotriazool
	Metropolol	Metropolol	Metropolol	Metropolol
	Som van 4- en 5-methylbenzotriazool	Som van 4- en 5-methylbenzotriazool	Som van 4- en 5-methylbenzotriazool	Som van 4- en 5-methylbenzotriazool
	Sotalol	Sotalol	Sotalol	Sotalol
	Gabapentine	Carbamazepine	Carbamazepine	Carbamazepine
	venlafaxine	venlafaxine	Hydrocloorthiazide	Hydrocloorthiazide

6

DEELONDERZOEKEN

6.1 OVERIGE PRESTATIES VAN RWZI SIMPELVELD TIJDENS POEDERKOOLDOSERING

6.1.1 NUTRIËNTEN STIKSTOF EN FOSFOR

De werking van beide Nereda's ten aanzien van de verwijdering van nutriënten is tijdens het onderzoek gemonitord door de online-meters in beide tanks alsook door cuvettentesten en labanalyses. De resultaten van de labanalyses van ammonium, nitraat en stikstof totaal voor de PAK-straat en referentiestraat zijn in Tabel 7 gepresenteerd.

Uit de resultaten blijkt dat de dosering van poederkool geen nadelige invloed heeft op de verwijdering van stikstof. De concentraties in zowel de referentiestraat als de PAK-straat blijven nagenoeg hetzelfde. De kleine verschillen zijn te verklaren door verschillen in slibgehalten en procesinstellingen bij beide Nereda's en hebben geen relatie met het doseren van poederkool.

TABEL 7 CONCENTRATIES VAN NH₄-N, NO₃-N EN N-TOTAAL IN EFFLUENT NEREDA PAK-STRAAT EN REFERENTIASTRAAT IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022. BEREKEND ALS GEMIDDELDE CONCENTRATIES OVER DE 4 DOSEERPERIODES, PER PERIODE N=7

Stikstof	NH ₄ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		N-totaal (mg/l)	
	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)
5 mg PAK/l	1,6	1,5	2,2	2,8	5,8	6,5
10 mg PAK/l	1,6	1,3	3,1	3,7	6,3	7,0
15 mg PAK/l	2,8	2,3	4,6	4,7	9,6	9,2
20 mg PAK/l	3,0	2,1	8,4	8,4	13,0	12,3

Ook de verwijdering van fosfaat wordt niet beïnvloed door het doseren van poederkool (Tabel 8). De fosfaatopname en -binding tijdens het biologisch proces is nagenoeg hetzelfde. Opgemerkt wordt dat op rwzi Simpelveld aanvullend ijzerchloride wordt gedoseerd in de Nereda reactoren en in de toevoerleiding van de zandfilters.

TABEL 8 CONCENTRATIES VAN P-ORTHO EN P-TOTAAL IN EFFLUENT NEREDA PAK-STRAAT EN REFERENTIASTRAAT IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022. BEREKEND ALS GEMIDDELDE CONCENTRATIES OVER DE 4 DOSEERPERIODES, PER PERIODE N=7

Fosfor	Opgelost fosfaat-P (mg/l)		Totaal fosfor (mg/l)	
	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)
5 mg PAK/l	0,3	0,3	0,5	0,5
10 mg PAK/l	0,2	0,3	0,3	0,4
15 mg PAK/l	0,2	0,1	0,5	0,5
20 mg PAK/l	0,3	0,2	0,5	0,5

6.1.2 OVERIGE MACROPARAMETERS

Uit de resultaten blijkt dat de CZV concentratie, colloïdale fractie (CZV – CZV_{gefiltreerd}) en onopgeloste bestanddelen bij de verschillende PAK doseringen niet significant worden beïnvloed. De resultaten worden in Tabel 9 weergegeven.

TABEL 9 **CONCENTRATIES VAN CZV, COLLOÏDALE FRACTIE EN ONOPGELOSTE BESTANDDELEN IN EFFLUENT NEREDA PAK-STRAAT EN REFERENTIASTRAAT IN DE PERIODE APRIL 2021 – MEI 2022. BEREKEND ALS GEMIDDELTE CONCENTRATIES OVER DE 4 DOSEERPERIODES, PER PERIODE N=7**

Macro's	CZV (mg/l)		Colloïdale fractie (mg/l)		Onopgeloste bestanddelen (mg/l)	
	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)	PAK-straat (Nereda 1)	Referentiestraat (Nereda 2)
5 mg PAK/l	35,3	34,7	9,0	10,0	9,9	14,3
10 mg PAK/l	29,2	31,2	4,9	5,0	9,9	10,1
15 mg PAK/l	38,0	35,0	12,5	10,4	14,9	15,1
20 mg PAK/l	42,2	37,3	14,5	7,7	16,8	14,7

6.1.3 PFAS

PFAS staat voor poly- en perfluoralkylstoffen, een verzamelnaam voor zorgwekkende chemische verbindingen die zeer moeilijk zijn af te breken. PFAS vormt een stofgroep die veel aandacht krijgt vanuit waterkwaliteit oogpunt omdat ze persistent, mobiel en nauwelijks biologisch afbreekbaar zijn. Deze stoffen komen via afvalwater in oppervlaktewater en grondwater terecht. De bekende PFAS als PFOS en PFOA zijn zeer stabiel en breken niet af als ze eenmaal in het milieu zijn.

Tijdens de poederkooldosering proef zijn monsters van het influent en afloop van beide Nereda reactoren bij een dosering van 15 mg PAK/l (op 7/14 november en 9 december 2021) en 20 mg PAK/l (op 3/6/8 maart 2022) genomen en geanalyseerd op een aantal PFAS-verbindingen. In het kader van het Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit afvalwater (IPMV) van het Ministerie van IenW en Stowa, zijn monsters van afloop van beide Nereda's genomen bij een dosering van 20 mg PAK/l (op 8/15 maart 2022). De resultaten worden in de hoofdstukken hieronder gepresenteerd.

6.1.3.1 RESULTATEN PFAS TIJDENS POEDERKOOLDOSERING

Tijdens de doseerperiodes van 15 mg PAK/l en 20 mg PAK/l zijn er 3 monsters van het influent, PAK-straat en referentiestraat genomen en geanalyseerd op PFAS. De resultaten hiervan zijn in Tabel 10 weergegeven. De PFAS-analyses zijn voor deze twee periodes uitgevoerd door de Vrije Universiteit Amsterdam (VU), aangezien dit laboratorium beschikt over een gevalideerde analysemethode met lage rapportagegrenzen. Het gebruikte stoffenpakket is weergegeven in Bijlage 5.

In het algemeen is er bij de toegepaste koolsoort en dosering geen aanvullende verwijdering van de stoffen in de PAK-straat t.o.v. de referentiestraat vastgesteld door het doseren van poederkool. Beide straten presteren nagenoeg hetzelfde. PFOA's worden in de Nereda's (met en zonder poederkool) niet of nauwelijks verwijderd. PFOS worden voor ca. 30% verwijderd. Dat PFOS enigszins verwijderd wordt, is wel conform verwachting (binding aan slib). PFOA bindt minder goed en het is dan ook volgens verwachting dat PFOA niet verwijderd wordt. PFAS met een korte koolstofketen zoals PFBA (C4) en PFHxS (C6) worden goed verwijderd in de Nereda's. Het verwijderingsrendement ligt tussen 77 - 82% voor PFHxS en 88 - 92% voor PFBA. Het mechanisme achter de verwijdering van PFBA en PFHxS is niet verder onderzocht binnen dit project.

TABEL 10 RESULTATEN PFAS IN IN- EN EFFLUENT REFERENTIE NEREDA EN PAK-STRAAT VOOR DOSEERPERIODES 15 EN 20 MG/L. AANTAL WAARNEMINGEN PER PERIODE N=3

PAK-straat	15 mg PAK/l			20 mg PAK/l			
	Influent	PAK-straat	Gem. rendement	Influent	PAK-straat	Gem. rendement	
	ng/l	ng/l	%	ng/l	ng/l	%	
som PFOA	4,5	4,4	1,5	som PFOA	5,5	5,3	2,2
som PFHxS	2,3	0,5	77,2	som PFHxS	2,8	0,5	82,3
som PFOS	3,6	2,5	31,1	som PFOS	4,0	2,5	37,5
PFBA	35,7	4,9	85,4	PFBA	45,0	6,3	85,9
Referentiestraat	Influent	Referentie-straat	Gem. rendement	Influent	Referentie-straat	Gem. rendement	
	ng/l	ng/l	%	ng/l	ng/l	%	
som PFOA	4,5	4,7	-4,8	som PFOA	5,5	5,7	-5,5
som PFHxS	2,3	0,5	77,2	som PFHxS	2,8	0,5	81,1
som PFOS	3,6	2,5	32,0	som PFOS	4,0	2,8	29,0
PFBA	35,7	3,9	88,7	PFBA	45,0	3,2	92,7

6.1.3.2 RESULTATEN PFAS ONDERZOEK IPMV

De tekst van deze paragraaf is overgenomen uit de rapportage over metingen op de locatie Simpelveld van de landelijk uitgevoerde bemonsteringscampagne binnen het IPMV.

In diverse pilots en demonstratieprojecten wordt de effectiviteit van nageschakelde technieken voor de vergaande verwijdering van organische micro's uit rwzi-afvalwater onderzocht. Dit onderzoek loopt parallel aan het onderzoek naar antibiotica resistente bacteriën en resistentiegenen. In een overall rapportage zullen de resultaten van alle onderzochte technieken en locaties gebundeld worden en in samenhang gedeut. Hieronder worden de resultaten van de twee monstertmomenten van de pilot poederkooldosering op rwzi Simpelveld gepresenteerd.

OPZET ONDERZOEK EN UITGEVOERDE ANALYSES

Uit eerdere onderzoek naar PFAS bij rwzi (STOWA rapport 2021-46) is naar voren gekomen dat PFAS niet of nauwelijks worden verwijderd op de reguliere zuivering. In veel gevallen is er zelfs sprake van een ogenschijnlijke toename PFAS in rwzi's. Niet geanalyseerde (onbekende) precursors in het influent worden in de rwzi omgezet naar wel geanalyseerde (bekende) precursors en stabiele PFAS met een korte ketenlengte (C4 – C8). Voor een toelichting op wat PFAS en PFAS precursors zijn en hun belang in de rwzi wordt verwezen naar STOWA rapport 2019-46 en 2019-47. In het huidige onderzoek wordt gekeken naar de effectiviteit van aanvullende zuiveringstechnieken bij het verwijderen van PFAS én PFAS precursors uit rwzi-effluent.

Er zijn bij rwzi Simpelveld ten behoeve van PFAS analyses op twee momenten (8-3-22 en 15-3-22) monsters genomen bij een dosering van 20 mg PAK/l op twee verschillende monsterpunten:

- Referentiestraat (Afloop Nereda 1)
- PAK-straat (Afloop Nereda 2)

Er worden drie verschillende analysetechnieken ingezet:

- Het standaard PFAS-analysepakket: 30 verschillende stoffen (stabiele PFAS zoals de bekende stoffen PFOS en PFOA, enkele vervangers daarvan en enkele precursors)
- Analyse van enkele eerder nog nauwelijks onderzochte PFAS met een zeer korte koolstofketen (<C4)
- De TOP-analyse of Totaal Oxideerbare Precursor analyse: een screeningsmethode om een inschatting van de totaal aanwezige precursors (zonder dat bekend is welke stoffen het precies zijn)

RESULTATEN PILOT SIMPELVELD PACAS

De aangetroffen concentraties zijn in Tabel 11 en Figuur 17 weergegeven. Op beide monstermomenten is het beeld vergelijkbaar. PACAS lijkt een kleine afname in concentratie te geven, maar de verschillen zijn klein en waarschijnlijk niet significant. Wanneer naar de concentraties van individuele stoffen wordt gekeken laten PFHxA, PFHpA en PFOA een afname zien van 10-15%, maar niet altijd in beide bemonsteringen. De absolute afname is maximaal 0,4 ng/l per individuele stof. Voor de rest zijn de concentratie óf te laag om iets zinnigs te kunnen zeggen óf is er niet of nauwelijks toe- of afname.

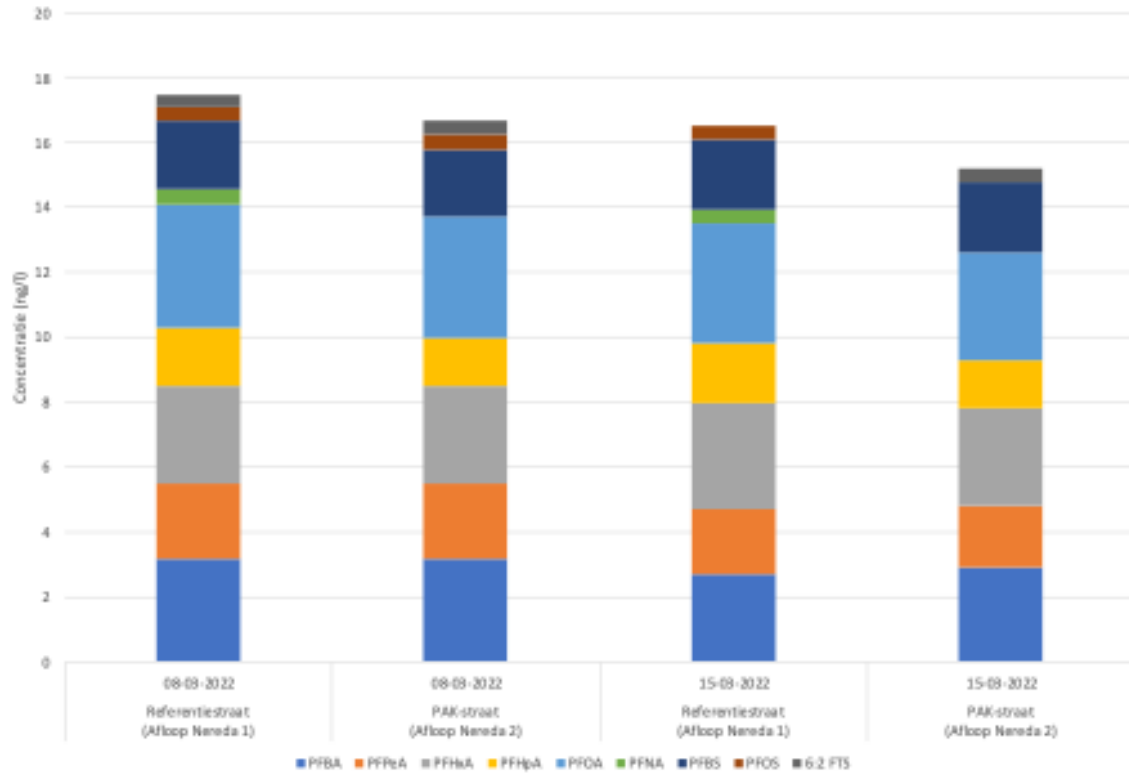
De verwachting is dat actief kool vooral effectief is voor PFAS met langere ketens en dat kortere ketens slecht worden verwijderd. De resultaten lijken dit te bevestigen met enige verwijdering van C6-C8 PFAS uit de groep van PFOA. Of actief kool geschikt is voor het verwijderen van precursors is nog onduidelijk. De precursors uit het standaard analysepakket werden nauwelijks aangetroffen.

TABEL 11

AANGETROFFEN PFAS CONCENTRATIES IN NG/L. GEARCEERDE CONCENTRATIES ZIJN TUSSEN DE DETECTIELIMIET EN DE RAPPORTAGEGREN EN MOGEN ALLEEN INDICATIEF GEBRUIKT WORDEN. DEZE STOFFEN ZIJN WEL AANGETROFFEN MAAR KUNNEN NIET BETROUWBAAR GEKWANTIFICEERD WORDEN. AANTAL WAARNEMINGEN N=2

Matrix	Referentiestraat (Afloop Nereda 1)	PAK-straat (Afloop Nereda 2)	Referentiestraat (Afloop Nereda 1)	PAK-straat (Afloop Nereda 2)
	08-03-2022	08-03-2022	15-03-2022	15-03-2022
PFBA	3,2	3,2	2,7	2,9
PFPeA	2,3	2,3	2,0	1,9
PFHxA	3,0	3,0	3,3	3,0
PFHpA	1,8	1,5	1,8	1,5
PFOA	3,8	3,7	3,7	3,3
PFNA	0,48		0,42	
PFBS	2,1	2,1	2,2	2,2
PFOS	0,40	0,44	0,42	
6:2 FTS	0,41	0,42		0,42

FIGUUR 17 AANGETROFFEN PFAS IN NG/L

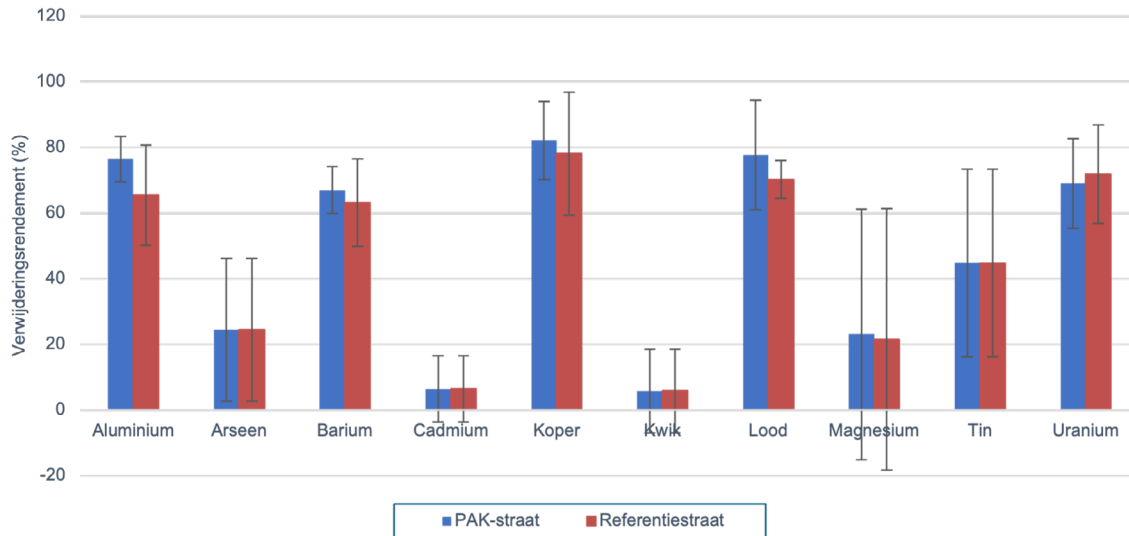


6.1.4 ZWARE METALEN

6.1.4.1 ZWARE METALEN IN AFVALWATER

In de laatste doseerperiode met 20 mg PAK/l zijn er 19 zware metalen gemeten in influent en afloop van PAK- en referentiestraat. In Figuur 18 worden de resultaten van de metalen met een positief verwijderingsrendement weergegeven. De complete dataset is in bijlage 6 gepresenteerd. Uit de resultaten zijn geen significante verschillen naar voren gekomen tussen de PAK-straat en de referentiestraat. In de eerste doseerperioden zijn er ook analyses uitgevoerd, maar doordat de waarden lager uitkwamen dan de detectiegrens zijn deze waarden niet bruikbaar. De analyses in de laatste periode zijn uitgevoerd door een lab met een lagere detectiegrens.

FIGUUR 18 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN ZWARE METALEN MET EN ZONDER DOSERING VAN POEDERKOOI. AANTAL WAARNEMINGEN N=5



6.1.4.2 ZWARE METALEN IN SLIB

Ook zijn er slibmonsters uit de Nereda reactoren genomen en geanalyseerd op zware metalen. De resultaten worden in de Tabel 12 weergegeven. Hieruit blijkt dat ook de concentraties in het slib van beide reactoren weinig verschillen. Het doseren van poederkool leidt niet tot een hoger rendement op deze stoffen. Uitzondering hierop zijn kalium, natrium en zwavel, deze zijn in de PAK-street t.o.v. referentiestraat in hogere concentraties aanwezig. Kalium en zwavel zijn afkomstig uit fossiele steenkool. Belangrijkste punt van aandacht is arseen, vanwege het vermoeden dat deze bij verhoogde adsorptie tot problemen leidt bij de eindverwerking (STOWA 2020-34). Bij de verbranding van slib kan arseen in de asrest terecht komen waaruit fosfor teruggewonnen kan worden. Er bleek door toevoeging van PAK geen toename van arseen in het Nereda slib. Daarnaast kan aanwezigheid van zware metalen mogelijk tot knelpunten leiden bij de afzet van grondstoffen uit het korrelslib, zoals Kaumera®. Opgemerkt wordt dat de analyses zijn gedaan op reactor slib en Kaumera® wordt in de praktijk uit spuislib geëxtraheerd. Reden hiervoor is dat het op de locatie Simpeveld erg lastig is om het spuislib van beide straten separaat te bemonsteren.

TABEL 12 RESULTATEN ZWARE METALEN EN ZWAVEL IN SLIB NEREDA EN PAK-STRAAT BIJ 20 MG PAK/L GEPRESENTEERD ALS GEMIDDELDE WAARDE OVER 3 L METINGEN

Metalen	Referentiestraat (mg/kg ds)	PAK-street (mg/kg ds)	Vershil PAK-street t.o.v referentiestraat (%)
Aluminium	9.667	8.700	-10%
Antimoon	2,2	2,2	0%
Arseen	7,7	7,7	0%
Barium	160	170	6%
Cadmium	0,8	0,8	-8%
Calcium	10.667	11.333	6%
Chroom	27,7	25,7	-7%
Ijzer	34.667	25.333	-27%
Kalium	4.100	5.000	22%
Kobalt	4,9	4,6	-5%
Koper	89,7	90,3	1%
Kwik	0,4	0,3	-38%
Lood	50,3	47,0	-7%
Magnesium	3.267	3.467	6%

Metalen	Referentiestraat (mg/kg ds)	PAK-straat (mg/kg ds)	Vershil PAK-straat t.o.v referentiestraat (%)
Mangaan	180	177	-2%
Molybdeen	3,3	3,7	11%
Natrium	333	510	53%
Nikkel	21,0	22,3	6%
Telluur	1	1	0%
Thallium	1	1	0%
Tin	14,7	13,7	-7%
Vanadium	60,3	53,3	-12%
Zilver	2	2	0%
Zink	707	713	1%
Zwavel	3.900	4.633	19%

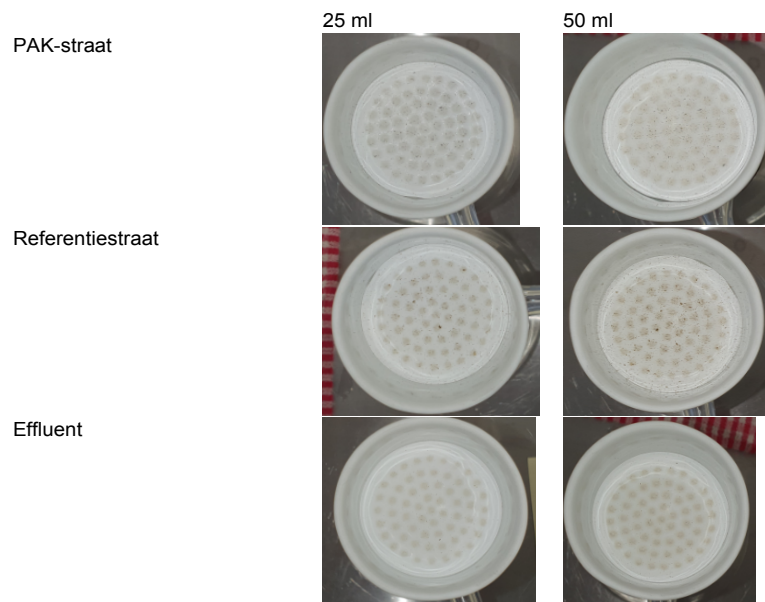
6.2 PAK IN EFFLUENT

De poederkool die in de Nereda® gedoseerd wordt, wordt in de slibkorrels ingevangen en zal via het spuislib afgevoerd worden. Tijdens het onderzoek is de mogelijke uitspoeling van poederkool in het effluent onderzocht. Het is analytisch niet mogelijk om het koolgehalte in effluent te bepalen. Daarom is gekozen voor de zogenaamde Schwarzgradbestimmung, een methodiek die ook in het Duitsland en Zwitserland wordt toegepast en recentelijk ook door Stowa als standaard wordt voorgeschreven (Platz, 2015, Metzger et al, 2011). Er wordt nog onderzocht of deze methode de meest geschikte is. Dit gebeurt in het Stowa onderzoek PAK in Effluent.

Bij deze methode wordt een ijkreeks gemaakt door effluentsamples van de referentiestraat te filtreren met daarin een ingewogen oplopende hoeveelheid poederkool. De filterpapiertjes kleuren steeds donkerder doordat er bij oplopende hoeveelheid ingewogen hoeveelheid kool meer kool op het filter achterblijft. Hierna wordt gewacht tot alle water door het filter is gelopen en wordt een foto gemaakt. Vervolgens wordt opnieuw 25 ml over hetzelfde filter gefiltreerd (50 ml in totaal). Dit wordt herhaald totdat maximaal 100 ml is gefiltreerd per filterpapier. Op deze manier wordt zowel een kleurverschil door poederkool als het kleurverschil door effluent zichtbaar gemaakt. Zodoende ontstaat een ijkreeks waarmee visueel nieuw gefiltreerde samples vergeleken en ingeschaald kunnen worden. Tijdens de proef zijn er monsters van de afloop van de PAK-straat en de referentiestraat via deze methodiek met elkaar vergeleken, om indicatief te bepalen of poederkool via het effluent het proces verlaat (Figuur 19). Hieruit blijkt dat de uitstroom van PAK in de afloop van de PAK-straat zeer beperkt is. De uitspoeling van kool uit Nereda® lag altijd onder de 'rapportagegrens' van de de Schwarzgradbestimmung (1 mg/l). Hiermee is bevestigd dat het overgrote deel van de gedoseerde poederkool in het slib wordt ingevangen. In een full-scale situatie kan overwogen worden om met een nauwkeuriger methode (bijvoorbeeld thermogravimetrische analyse) eventuele koolresten in het effluent te kwantificeren.

In Figuur 18 is te zien dat de kleuring na filtratie in het zandfilter nog verder afneemt. Het filter verwerkt de gemengde stroom van de PAK-straat en de Referentiestraat, dus concentraties zouden moeten afnemen. Mogelijk dat ook het zandfilter zelf nog een filterende werking heeft voor de eventueel nog aanwezige poederkool.

FIGUUR 19 VISUELE BEPALING VAN UITSTROOM PAK IN HET EFFLUENT NEREDA TIJDENS DOSERING VAN 15 MG PAK/L VOLGENS DE SCHWARZGRAD BESTIMMUNG BEPALING. HIERBIJ IS TELKENS 25 EN 50 ML GEFILTREERD



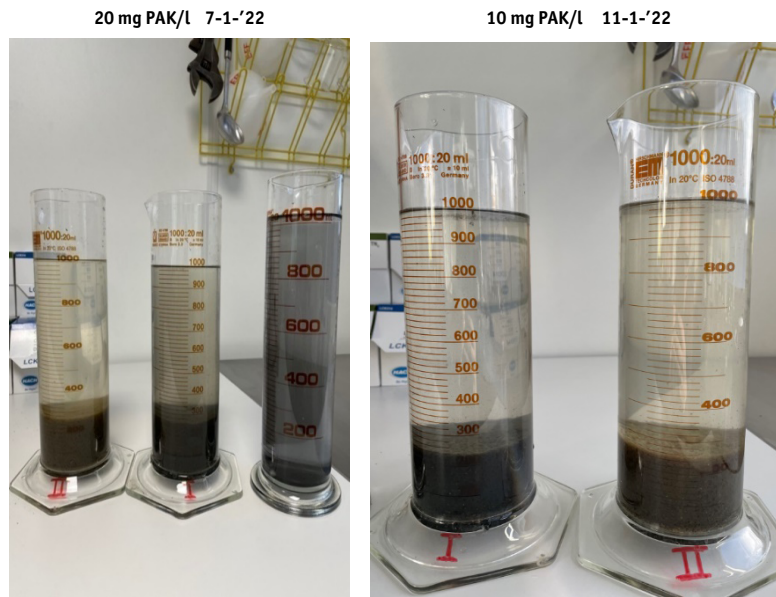
6.3 VERHOUDING POEDERKOOLOSERING EN SLIB

De gedoseerde poederkool wordt opgenomen in het slib. Bij te lage slibgehalten in de Nereda® kan het voorkomen dat niet alle kool in het slib wordt opgenomen waardoor de kool in het effluent terecht komt. Deze situatie heeft zich voorgedaan begin januari 2022. Bij een dosering van 20 mg PAK/l en een ds-gehalte van 7,8 g ds/l is toen geconstateerd dat in de bezinkingsproeven met Nereda® slib de bovenstaande vloeistof bij de PAK-straat donkerder van kleur was dan van de referentiestraat (Figuur 20). Het was zichtbaar dat niet alle kool uit de PAK-straat in het slib werd opgenomen. Daarna is de dosering verlaagd naar 10 mg PAK/l en was de bovenstaande vloeistof in de bezinkproef weer helder. Om dit te kwantificeren is de term 'poederkool slibbelasting' geïntroduceerd. Deze is gedefinieerd als:

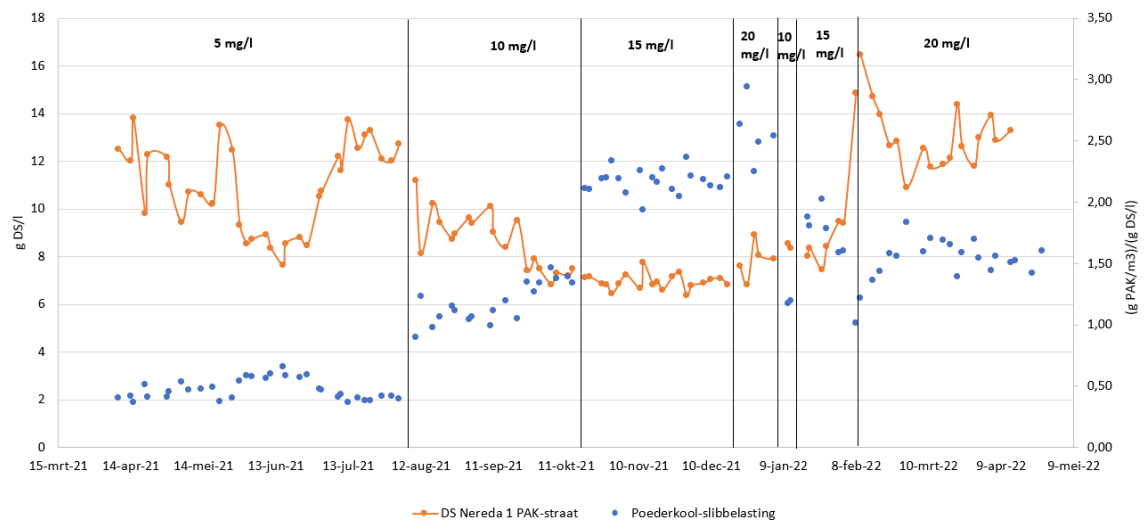
$$\text{Poederkool slibbelasting} = \frac{g \text{ PAK } / m^3 \text{ influent}}{g \text{ ds slib } / l \text{ reactorvolume}}$$

In de periode daaropvolgend heeft in de praktijkinstallatie bij een verhouding kool/slib van minder dan 2 g PAK/m³-influent / g ds slib/l Nereda® geen uitspoeling van kool in het effluent van de PAK-straat meer plaatsgevonden, zie ook Figuur 21 voor het verloop van de poederkool-slibbelasting.

FIGUUR 20 BEZINKPROEVEN MET SLIB UIT DE PAK-STRAAT (NEREDA-1, I IN DE FOTO) EN DE REFERENTIESTRAAT (NEREDA-2, II IN DE FOTO). MONSTERS GENOMEN TIJDENS DE BELUCHTINGSFASE. FOTO'S NA 30 MINUTEN BEZINKING



FIGUUR 21 BEREKENDE POEDERKOO-SLIBBELASTING EN GEMETEN DROGESTOF IN DE PAK-STRAAT APRIL 2021 – MEI 2022

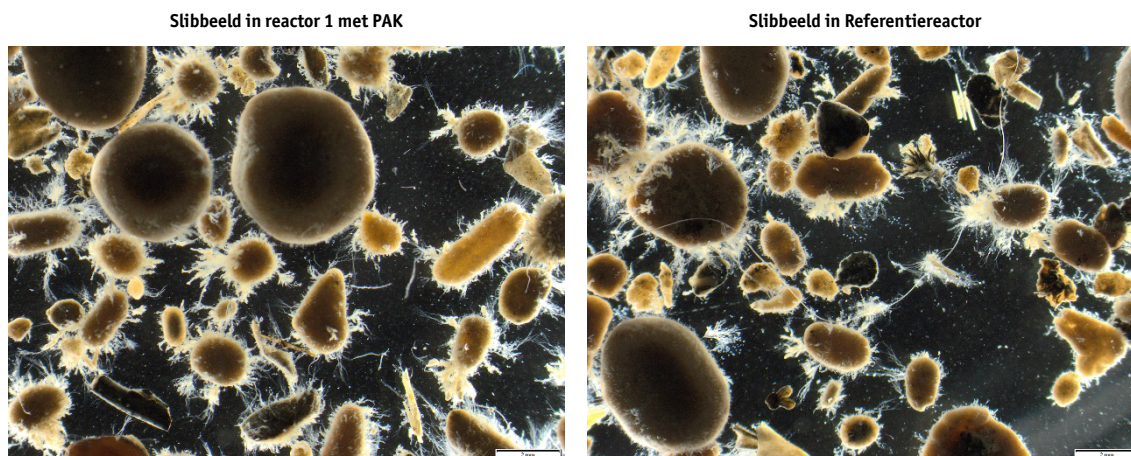


6.4 SLIBBEELD

Driemaal is een microscopische slibbeeldbepaling uitgevoerd op het slib uit beide reactoren, in maart, augustus en oktober 2021, de slibbeelden van de PAK straat staan in Bijlage 8, zie ook Figuur 22. Hieruit werd duidelijk dat er geen visuele verschillen waarneembaar zijn tussen slib uit de reactor met poederkooldosering en de referentiereactor.

De poederkooldosering heeft geen effect gehad op de morfologie van de slibkorrels.

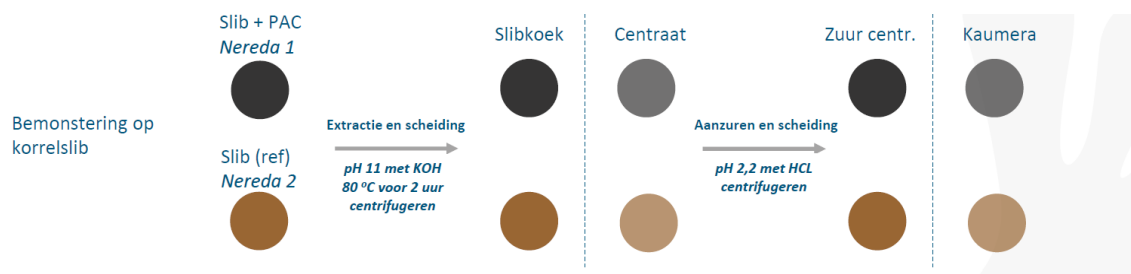
FIGUUR 22 MICROSCOPISCH SLIBBEELD VAN SLIB UIT DE PAK-REACTOR EN DE REFERENTIEACTOR NA EEN HALF JAAR DOSEREN VAN POEDERKOOLO



6.5 ONDERZOEK KAUMERA

Uit de slibkorrels van het Nereda zuiveringsproces kan de grondstof Kaumera teruggewonnen worden met een chemische extractie. Om die reden is er nagegaan of poederkooldosering een effect heeft op de Kaumera-extractie. Vanwege praktische redenen is ervoor gekozen om slib uit de Nereda's (reactorslib) te bemonsteren in plaats van spuislib. De extractie van Kaumera bestaat uit de volgende stappen: verwarming van het slib tot 80°C en toevoegen van KOH tot pH 11; centrifugeren voor 2 uur; aanzuren van het centraat met HCl tot pH 2,2; centrifugeren (Figuur 23).

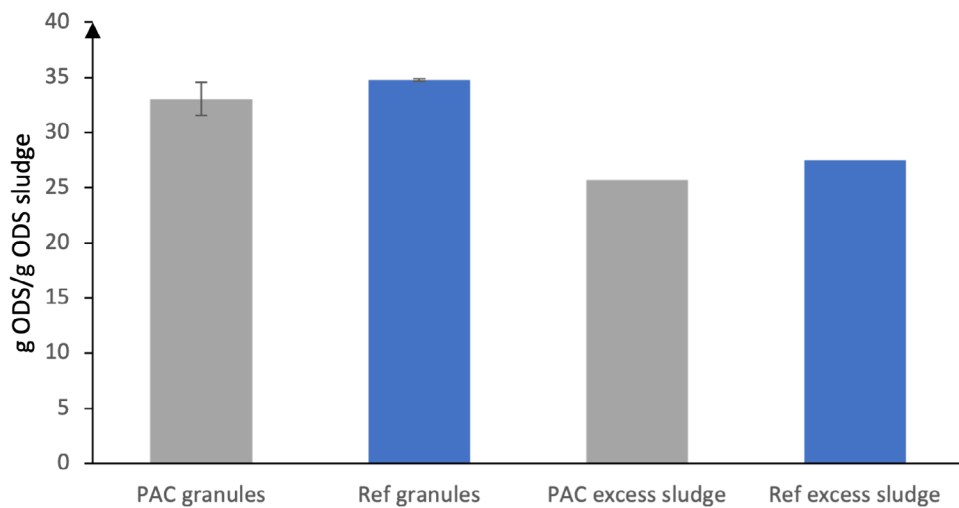
FIGUUR 23 PROCESSCHEMA KAUMERA EXTRACTIE VAN REACTORSLIB UIT DE PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT



Uit de testen met reactorslib bleek geen verschil te bestaan tussen beide straten; beide slibsoorten gaven evenveel Kaumera, ca. 34% van ODS (Figuur 24). Poederkool komt waarschijnlijk voor een deel in de Kaumera terecht. Om die reden heeft Kaumera uit de PAK-straat een donkere kleur. Dit heeft echter geen invloed op de Kaumera-yield.

In de praktijk wordt Kaumera geëxtraheerd uit spuislib. Daarom is er een vervolgonderzoek uitgevoerd met spuislib. De resultaten (Tabel 13 en Figuur 24) laten zien dat er ook in het spuislib geen significant verschil is in de mogelijke opbrengst van Kaumera.

FIGUUR 24 ORGANISCHE DROOGSTOF BALANS TIJDENS KAUMERA EXTRACTIE VAN REACTORSLIB (GRANULES) EN SPUISLIB (EXCESS SLUDGE) UIT DE PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT



TABEL 13 RESULTATEN KAUMERA EXTRACTIE UIT SPUSLIB VAN REFERENTIESTRAAT EN PAK-STRAAT. AANTAL WAARNEMINGEN N=1

	PAK-straat	Referentiestraat
DS of original sample (after thickening)	5.4%	5.6%
VS of original sample	61%	65%
pH of the original sample	5.5	5.5
Amount of Kaumera (g)	116	128
Kaumera yield (g ODS Kaumera/g ODS sludge)	25,7%	27,5%

6.6 WERKING POEDERKOOLDOSERING TIJDENS PILOT

De doseerinstallatie die tijdens het onderzoek is gebruikt, is zeer effectief en efficiënt gebleken om poederkool in de Nereda® reactor te doseren. De dosering kan ingesteld worden op een vaste hoeveelheid kool per hoeveelheid influent die per batch wordt toegevoerd. Bij elke dosering, en per cyclus wordt berekend hoeveel PAK gedoseerd dient te worden aan de hand van de batchgrootte (m³ influent). De hoeveelheid PAK wordt afgewogen, met water gemengd en daarna als een slurry in de Nereda® gebracht.

De installatie is als plug-and-play module in gebruik genomen. Het aantal storingen tijdens de proef is beperkt gebleven, waarvan de meeste een direct gevolg waren van het klonteren van poederkool in het voorraadvat. Door luchtinjectie is brugvorming in de meeste gevallen te voorkomen.

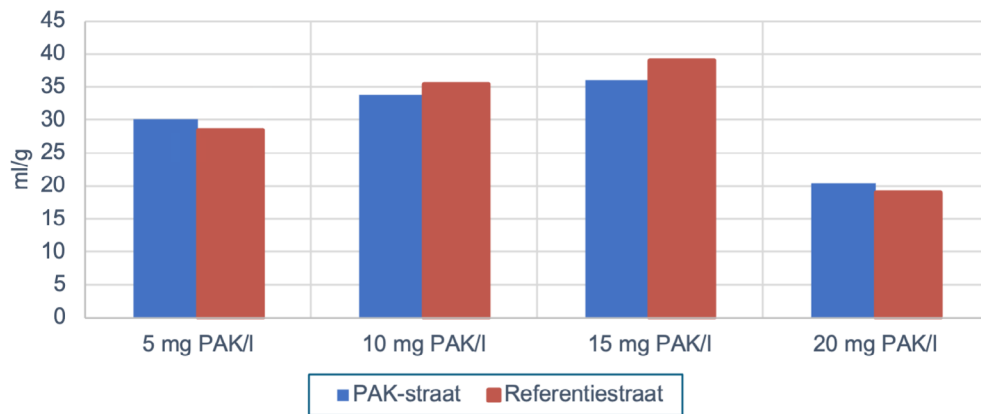
6.7 SLIBSAMENSTELLING EN -TOENAME

Er zijn standaard slibanalyses (drogestof, asrest, SVI en korrelgrootte) uitgevoerd. Het doel hiervan is om vast te stellen of er een nadelige invloed is van het doseren van poederkool op de korrelvorming en de bezinkingseigenschappen van het Nereda® slib.

In Figuur 25 is de slibvolume-index (SVI) en de asrest voor beide straten weergegeven. De resultaten laten zien dat de SVI na dertig minuten bezinking 20 tot 40 ml/g bedraagt in beide Nereda® reactoren. Tussen de periodes zijn er geen significante verschillen waarneembaar tussen de PAK-straat en de referentiestraat. Het asgehalte bij 550°C varieert in de tijd en is voor beide straten vrijwel gelijk (Figuur 26). De variaties houden waarschijnlijk verband met de inspoeling van löss tijdens regenweer. De löss kan zich tijdelijk ophopen in het slib en verdwijnt daarna geleidelijk weer.

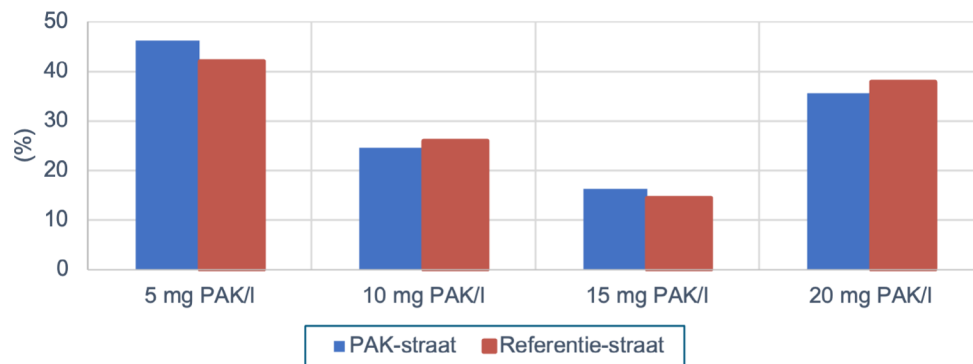
FIGUUR 25

RESULTATEN SVI IN SLIB NEREDA EN PAK-STRAAT. PERIODE : APRIL 2021 – MEI 2022. AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N = 12; 10 MG PAK/L N= 8; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 10



FIGUUR 26

RESULTATEN ASREST IN SLIB NEREDA EN PAK-STRAAT. PERIODE : APRIL 2021 – MEI 2022. AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N = 12; 10 MG PAK/L N= 8; 15 MG PAK/L N= 6; 20 MG PAK/L N= 10



In de verschillende doseerperiodes is de korrelgrootte van het slib in beide straten bepaald. Om de korrelgrootte te bepalen wordt een set zeven gebruikt met verschillende maaswijdten (212, 1000, 2000 μm). De resultaten worden gegeven als massapercentage van de korrels die door de zeef gaan. De korrels met een grotere diameter dan de openingen blijven op het zeefdek, terwijl de korrels met een kleinere diameter door de zeef heen gaan, zie ook Figuur 27. De resultaten worden in Tabel 14 weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat de poederkool dosering vrijwel geen effect heeft op de afmeting van de korrels.

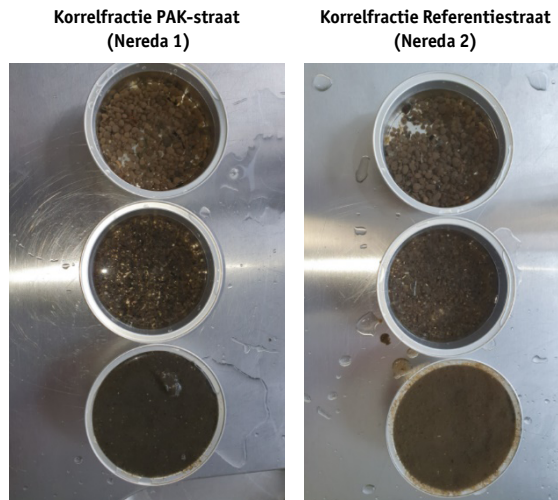
TABEL 14

RESULTATEN KORRELFRACTIE (%) IN SLIB PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT. PERIODE : APRIL 2021 – MEI 2022

Periode	Korrelfractie	PAK-street (% w/w)	Referentiestraat (% w/w)
5 mg PAK/l	>212 μm	32,7	27,4
	>1000 μm	17,9	17
	>2000 μm	16,3	21,9
10 mg PAK/l	>212 μm	56	52,6
	>1000 μm	11,2	8,7
	>2000 μm	17,4	8,3
15 mg PAK/l	>212 μm	49,3	51,8
	>1000 μm	12,3	15
	>2000 μm	14,6	16,4
20 mg PAK/l	>212 μm	28,1	33
	>1000 μm	32,3	25,7
	>2000 μm	10,7	7,9

FIGUUR 27

KORRELFRACTIE PAK-STRAAT EN REFERENTIASTRAAT. BOVEN: >2000, MIDDEN: >1000, BENEDEN: >212 µM



De extra slibhoeveelheid als gevolg van de poederkooldosering tijdens de proef is te gering om dit in de praktijk vast te kunnen stellen. De extra slibhoeveelheid kan wel worden berekend. Tijdens de proef is 1/3 deel van het afvalwater behandeld in de PAK-straat.

Uitgaande van een dosering van 15 mg/l en behandeling van het totale afvalwaterdebiet zal er op jaarbasis ca. 19,5 ton ds/j actiefkool zijn toegevoegd. De slibproductie in Simpelveld bedraagt orde-grootte 356 ton ds/jaar. De slibtoename bedraagt ca. 5% op basis van droge stof.

6.8 ONDERZOEK ANTIBIOTICA RESISTENTIE IPMV

In het kader van het Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit afvalwater (IPMV) van het Ministerie van IenW en Stowa is er onderzoek gedaan naar de verwijdering van antibioticaresistentie tijdens de pilot poederkooldosering op rwzi Simpelveld.

Er wordt onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van antibiotica resistente bacteriën en genen. In een overall rapportage worden deze resultaten en data gebundeld en de effectiviteit van diverse nageschakelde technieken voor deze bacteriën of genen onderzocht. Momenteel zijn nog niet alle analyses van deze pilots bekend en wordt hier alleen kort aangegeven wat er is onderzocht en wat de resultaten van de monsternomenten van de pilot op rwzi Simpelveld zijn.

OPZET ONDERZOEK EN UITGEVOERDE ANALYSES

Er zijn diverse antibiotica resistente bacteriën (AMR), waarvan CPE (Carbapenemase-producerende enterobacteriaceae) bacteriën en ESBL (Extended spectrum beta-lactamases) bacteriën de meeste bekende en voorkomende zijn. De combinatie van de CPE- en ESBL-analyse geeft een goede indicatie van de aanwezigheid van darmbacteriën, die ongevoelig (resistent) zijn voor sommige antibiotica. CPE-bacteriën worden niet altijd aangetroffen in rwzi-effluent en de analyse hiervan is duur. Daarom is in dit project een ESBL-analyse uitgevoerd.

De analyse van *E. coli* bacteriën is eenvoudiger en goedkoper dan antibiotica resistente bacteriën (ESBL). Voor rioolwater wordt een verband tussen de aanwezigheid van *E. coli* en ESBL verwacht. Als blijkt dat deze relatie inderdaad bestaat dan zou kunnen worden volstaan met alleen analyse van *E. coli*: als er geen *E. coli* aanwezig is zullen AMR ook niet aanwezig zijn. *E. coli* is in deze studie met 2 verschillende analysemethoden uitgevoerd: de standaard methode voor (drink)water (LSA-methode) en een methode die mogelijk beter geschikt is in sterk vervuild water (NBX-methode).

Als er antibioticaresistente bacteriën worden aangetroffen, kunnen er ook antibiotica-resistente genen worden aangetroffen. De relatie hiertussen in rwzi-effluent is nog niet duidelijk. Wel zijn er aanwijzingen dat vergaande oxidatie van rwzi-effluent leidt tot meer antibioticaresistente genen. Daarom is ook de analyse van (20 geselecteerde) genen meege-nomen.

Monsterpunten Simpelveld:

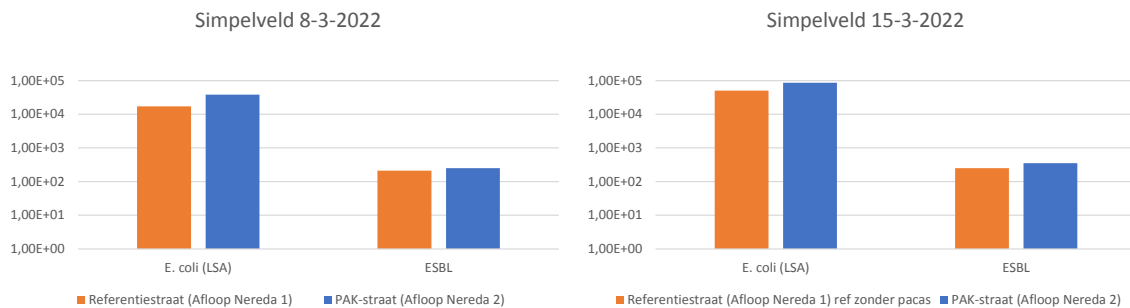
Er zijn op twee momenten (8-3-22 en 15-3-22) monsters genomen op 2 verschillende monster-punten:

- Referentiestraat (Afloop Nereda 1)
- PAK-straat (Afloop Nereda 2)

RESULTATEN SIMPELVELD

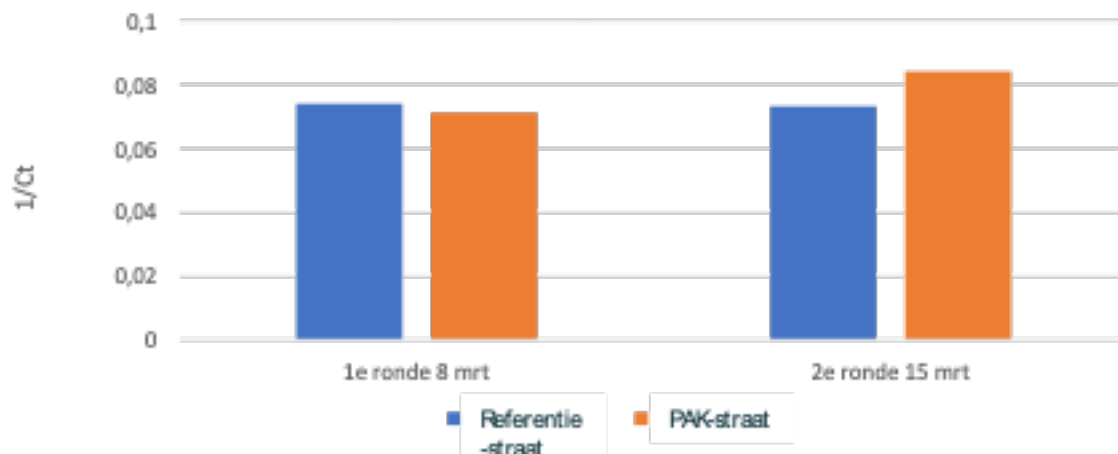
De resultaten van de verwijdering van *E. coli* en ESBL (AMR) zijn hieronder weergegeven.

FIGUUR 28 RESULTATEN VERWIJDERING VAN *E. COLI* EN ESBL (AMR). AANTAL WAARNEMINGEN: N=2



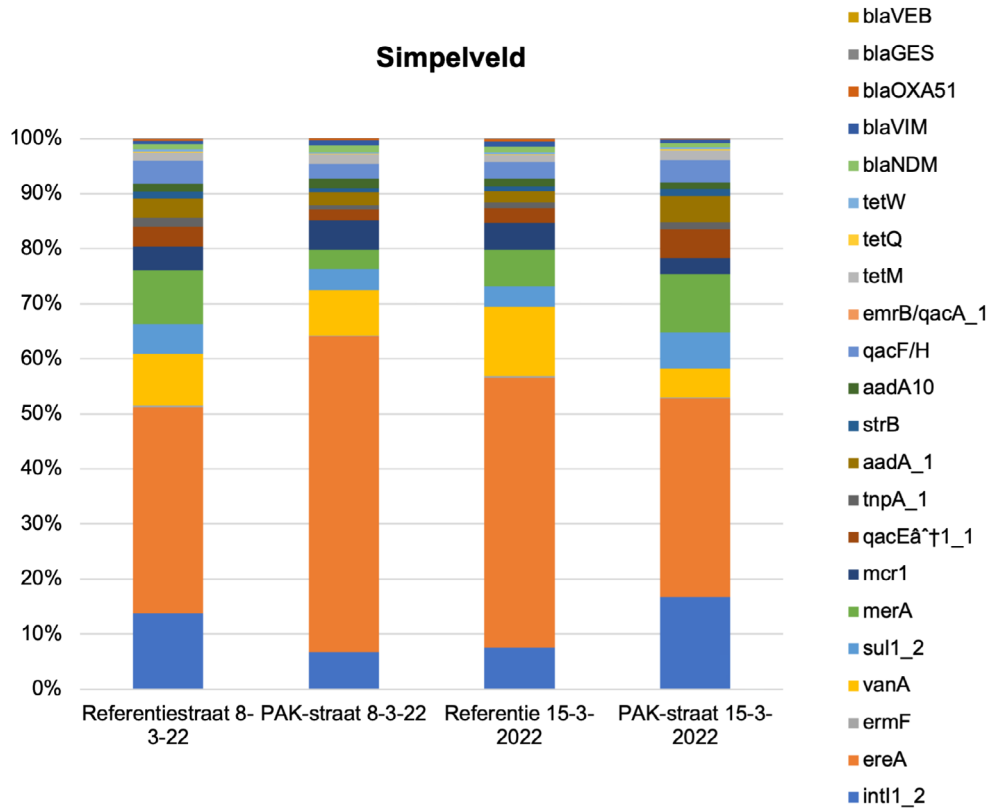
Op alle twee de monsternamemomenten is het beeld vergelijkbaar. Er vindt geen verwij-dering van *E. coli* en ESBL plaats door PAK dosering. De analyse van de 16S concentratie (maat voor DNA) geeft een vergelijkbaar beeld. Er is geen significant verschil tussen beide straten (zie Figuur 29).

FIGUUR 29 RESULTATEN RESULTATEN VERWIJDERING VAN 16S GEN. AANTAL WAARNEMINGEN: N=2



Er lijkt een lichte verschuiving plaats te vinden in de specifieke AMR-gen samenstelling (zie Figuur 30) na PAK, maar dat beeld is niet consistent.

FIGUUR 30 RESULTATEN AMR-GEN SAMENSTELLING. AANTAL WAARNEMINGEN: N=2



De verwachting was dat PAK geen tot weinig invloed zou hebben op de verwijdering van zowel antibioticaresistente bacteriën (ESBL) en AMR-genen. Deze resultaten bevestigen dit beeld.

7

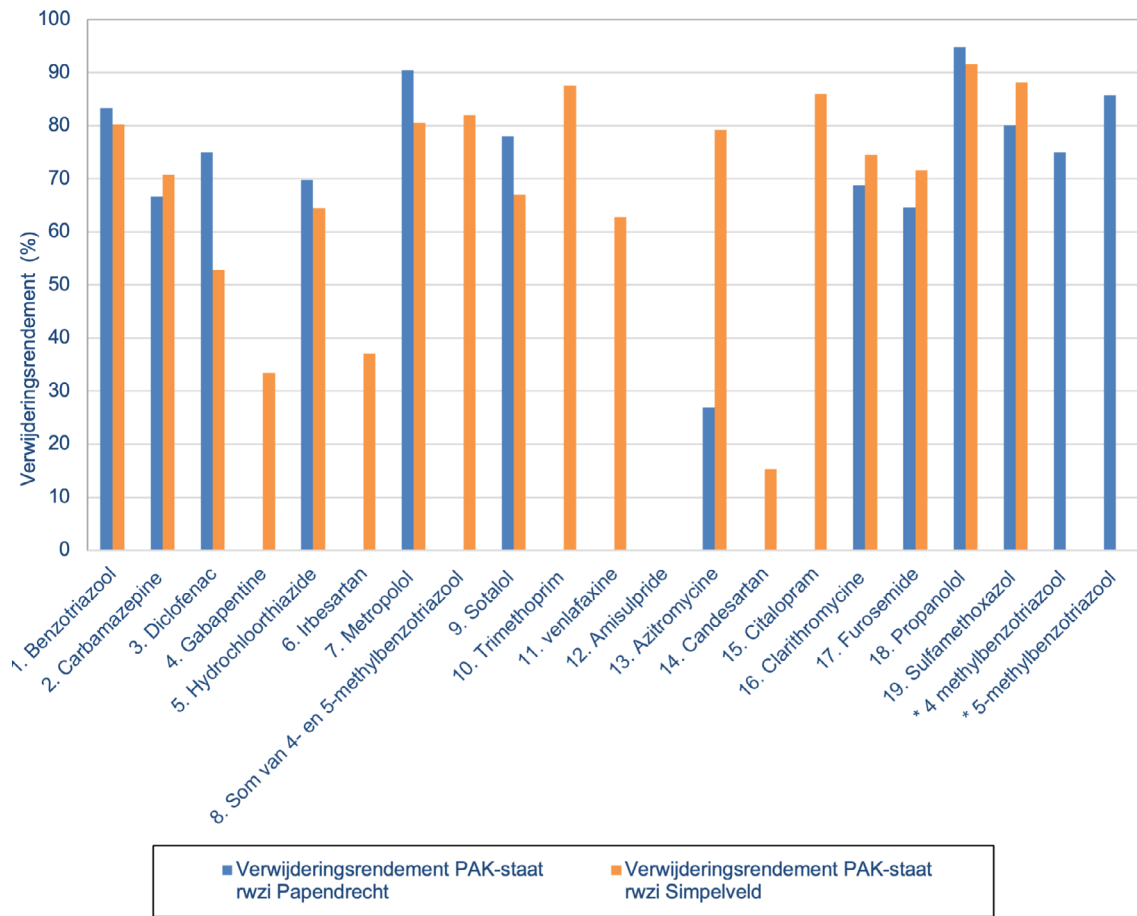
VERGELIJKING RESULTATEN VAN RWZI SIMPELVELD MET HET ONDERZOEK OP RWZI PAPENDRECHT

In rwzi Papendrecht werd poederkool gedoseerd in een conventioneel actiefslib systeem. Hierbij zijn de concentraties van poederkool stapsgewijs verhoogd van 10 mg PAK/l naar 15, 20 en 25 mg PAK/l. Tijdens de proef werd gebruik gemaakt van hetzelfde type kool als bij de proef op rwzi Simpelveld, Pulsorb 235 van de leverancier Chemviron. In tegenstelling tot de bemonstering van de pilot in Simpelveld (48 uur met 1 dag verschil tussen influent en effluent) zijn de analyses van de microverontreinigingen in de proef in Papendrecht op debietsproportionele 24-uursmonsters gedaan, zonder tijdsverschuiving. Er zijn bij het onderzoek op rwzi Papendrecht in totaal 34 stoffen gemeten verdeeld in verschillende pakketten: pakket 1: Medicijnresten en röntgencontrastmiddelen, Pakket 2: Industriële verontreinigingen en consumentproducten en Pakket 3: gewasbeschermingsmiddelen. Tevens zijn de verwijderingsrendementen anders berekend. Om die reden kunnen de resultaten van de 2 pilots niet direct 1 op 1 vergeleken worden. In Tabel 15 worden de gerapporteerde verwijderingsrendementen van rwzi Papendrecht en Simpelveld bij de verschillende doseringen weergegeven. In het algemeen worden vergelijkbare verwijderingen behaald. De verschillen kunnen gerelateerd zijn aan de bemonstering, de standaard afwijking van de analysemethode en de berekeningswijze van het rendement.

TABEL 15 RESULTATEN VERWIJDERINGSRENDEMENT PER STOF BIJ VERSCHILLENDE PAK DOSERINGEN OP RWZI SIMPELVELD EN RWZI PAPENDRECHT

Gidsstoffen	rwzi Simpelveld				rwzi Papendrecht			
	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20mg/l	25mg/l
1. Benzotriazool	55,8	72,0	80,2	88,8	70,0	83,3	88,6	88,5
2. Carbamazepine	22,6	58,3	70,8	76,5	60,0	74,2	73,3	80,9
3. Diclofenac	8,7	52,3	52,9	62,3	2	61	68	64
4. Gabapentine	40,9	40,9	33,4	49,0				
5. Hydrochloorthiazide	20,5	51,0	64,5	77,4	61,5	69,8	78,8	81,5
6. Irbesartan	15,6	37,0	37,1	45,4				
7. Metoprolol	44,0	79,8	80,6	87,7	76,0	88,7	85,3	91,4
8. Som van 4- en 5-methylbenzotriazool	31,7	69,3	82,0	90,5				
9. Sotalol	37,7	63,7	67,0	76,6	64,9	75,2	84,3	88,3
10. Trimethoprim	76,9	88,4	87,5	90,5				
11. venlafaxine	28,9	63,6	62,8	69,1				

FIGUUR 31 VERGELIJKEN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN PAK-STRAAT OP RWZI SIMPELVELD EN RWZI PAPENDRECHT. AANTAL
 WAARNEMINGEN: BIJ 15 MG PAK/L RWZI SIMPELVELD N=6, BIJ 15 MG PAK/L RWZI PAPENDRECHT N=6



8

PRESTATIES OP KLIMAATFOOTPRINT, KOSTEN EN VERWIJDERINGSRENDEMENT VOLGENS STOWA-SYSTEMATIEK

Bij de pilot met poederkooldosering op rwzi Simpelveld is vastgesteld dat deze onder vergelijkbare omstandigheden vergelijkbaar functioneert met vergelijkbare resultaten als in een continu actiefslibstelsysteem, zoals gedemonstreerd op rwzi Papendrecht en beschreven in STOWA 2018-02.

Op twee punten is er een verschil ten opzichte van continue dosering in een actiefslibstelsysteem:

1. De benodigde dosering voor het bereiken van 70% verwijdering van de gidsstoffen uit het IPMV.
2. Het waterverbruik en het daarmee samenhangende energieverbruik.

Ad 1. Dit onderzoek heeft laten zien dat met een dosering van 10 tot 15 mg PAK/l een verwijderingsrendement van 70% voor 7 uit de 11 gidsstoffen gehaald kon worden in de Nereda® op rwzi Simpelveld. Bij 10 mg/l werd een rendement van 70,5% bereikt. De CO₂-footprint in Tabel 16 laat daarom de range zien die hoort bij doseringen van 10 tot 15 mg PAK per liter.

Ad 2. Aangezien de dosering in Nereda® slechts eenmaal per cyclus plaatsvindt, hoeft de installatie niet continu te draaien. Normaliter wordt continu een stroom schoon water van enkele kubieke meters per uur langs de doseerunit geleid om de poederkool in op te lossen. Dit hoeft nu alleen tijdens de doseerfase, die ongeveer 10 minuten in beslag neemt op een cyclustijd van bijvoorbeeld 6 uur. Hierdoor zal het energieverbruik iets lager zijn en het waterverbruik zal aanzienlijk lager zijn.

Voor grootschalige installaties met meerdere reactoren wordt dit verschil uiteraard kleiner, maar zal nog steeds substantieel zijn.

Met bovengenoemde punten blijven de geprognosticeerde uitgangspunten van de dosering van poederkool in Nereda® voor de CO₂-footprint, de kosten en het behaalde verwijderingsrendement dezelfde als die in de haalbaarheidsstudie zijn aangenomen, zie Tabel 16. De uitgangspunten voor de kostenberekening zijn opgenomen in Bijlage 7. Zoals vermeld is uitgegaan van het prijspeil van 2017, om de vergelijking te kunnen blijven maken met de destijds doorgerekende referentietechnieken. Merk op dat in de tussentijd de prijzen voor poederkool zijn twee tot driemaal hoger zijn geworden, deze prijsverhoging is in de hier getoonde kosten dus niet verwerkt.

TABEL 16 **BEORDELIJNGSCRITERIA VAN TOEPASSING VAN POEDERKOOL IN NEREDA IN VERGELIJKING MET DE TECHNIEKEN ZOALS GEHANTEERD IN HET IPMV; HET RENDEMENT WORDT BEPAALD OP 7 UIT DE 11 GIDSSTOFFEN (PRIJSPEIL 2017)**

	Eenheid	PACAS	Ozon+zandfilter	GAK	PAK in Nereda [*]
CO ₂ footprint	g CO ₂ /m ³ (¹)	116	118	325	84-116 [*]
Kosten	€/m ³ (¹)	0,05	0,17	0,26	0,041 – 0,054
Verwijderingsrendement gidsstoffen I&W	%(²)	70-75	80-85	80-85	70-75 ^{**}

^{*} deze range geeft weer dat uitgegaan wordt van een benodigde dosering tussen 10 en 15 mg PAK/L.

^{**} deze range geeft de impact weer van de verwachte benodigde doseering tussen 10 en 15 mg/L. N.B. Dit is exclusief de (eveneens) verwachte extra verwijdering van de nageschakelde zandfiltratie.

¹ Per m³ behandeld rioolwater oftewel de totale kosten of CO₂ emissie van de inzet van de aanvullende technologie gedeeld door het aantal behandelde m³.

² Verwijderingsrendement effluent rwzi ten opzichte van influent rwzi voor minimaal 7 van de 11 gidsstoffen benzotriazool, carbamazepine, diclofenac, gabapentine, hydrochloorthiazide, irbesartan, metoprolol, som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool, sotalol, trimethoprim, venlafaxine in elk 24h of 48h debiets- of tijdsproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met verblijftijd van het rioolwater in de rwzi.

9

CONCLUSIE

Poederkooldosering in Nereda® is gedurende 14 maanden succesvol toegepast op Nereda® Simpelveld.

Hierbij bleek dat:

- met toevoeging van 15 mg PAK per liter influent een verwijdering van 65% van de 11 in het IPMV benoemde gidsstoffen haalbaar is in de afloop van de Nereda® reactor;
- als de prestaties worden berekend volgens de Prestatievereisten voor een demo-installatie in het IPMV (de 7 best verwijderde van de 11 gidsstoffen), dan kan aan deze vereisten voldaan worden met een PAK-dosering tussen 10 en 15 mg/l;
- door de verlaging van de concentraties medicijnresten wordt ook de toxiciteit van het effluent verlaagd met maximaal 50% bij een dosering van 20 mg PAK/l, daarmee verlaagt het risico van de effluentlozing voor de waterkwaliteit van het ontvangend oppervlaktewater, de Eyserbeek.

De poederkooldoseerinstallatie is als plug-and-play module 14 maanden in gebruik geweest, en heeft zeer nauwkeurig de gewenste dosering gerealiseerd. Het aantal storingen tijdens de proef is beperkt gebleven. Deze storingen kunnen in een definitieve installatie met relatief eenvoudige voorzieningen voorkomen worden. Deze resultaten zijn in grote lijnen vergelijkbaar met de resultaten zoals die behaald zijn in het PACAS onderzoek op de rwzi Papendrecht (STOWA 2018-02).

De uitspoeling van kool met het effluent van Nereda® was altijd lager dan de detectiegrens van de gebruikte meetmethode, en bedraagt daarmee (veel) minder dan 1 mg/l. De gedoseerde poederkool wordt, net als in gesuspendeerd slib, ook in aerobisch korrelslib ingevangen, vooropgesteld dat het slibgehalte in de reactor voldoende hoog is. Bij een doseerverhouding tot 2 ($\text{g PAK/m}^3 \text{ influent}$) / ($\text{kg slib-ds} / \text{m}^3 \text{ reactorvolume Nereda}$) wordt de poederkool in het slib opgenomen. In dit onderzoek werd een minimum slibgehalte van circa 8 g/l gevonden die nodig is om de poederkool door het korrelslib te laten opnemen.

De poederkool heeft geen nadelige effecten op korrelvorming, afbraak van nutriënten, de kwaliteit of hoeveelheid van Kaumera of de effluentkwaliteit. De gebruikte poederkool (Pulsorb WP235) levert bij de geteste concentratie geen verhoogde verwijdering op van PFAS of zware metalen.

Bij alle geteste doseerhoeveelheden worden de slibbezinkingseigenschappen, de asrest (bij 550°C) en de korrelvorming van het korrelslib niet beïnvloed. De slibsamenvatting qua PFAS wordt door de poederkooldosering niet beïnvloed. Ook voor metalen geldt dat de dosering van poederkool niet leidt tot verhoogde gehalten in het slib, het is wel mogelijk dat de gehalten aan kalium, natrium en zwavel toenemen in het slib.

De toegevoegde poederkool wordt samen met het spuislib afgevoerd. Uitgaande van een dosering van 15 mg PAK/l zal de slibproductie op de schaalgrootte van Simpelveld toenemen met 19 ton ds/j, dat is ongeveer 5% extra slibproductie op basis van droge stof.

In een testperiode van ongeveer een maand is een poederkool getest die geproduceerd is uit hout. Deze duurzame kool kan even goed medicijnresten uit het afvalwater verwijderen als de fossiele kool bij een dosering van 15 mg PAK/l. Aandachtspunt bij toepassing van deze kool is de lagere dichtheid, die eerder tot doseerproblemen leidt. Om ook met alternatieve, meer duurzame kolen met een lagere dichtheid te kunnen werken dient de opslag en doseerinstallatie voorzien te zijn van afdoende voorzieningen om brugvorming te voorkomen.

In onderstaande tabel zijn de gemiddelde verwijderingsrendement gepresenteerd bij de verschillende selecties van gidsstoffen en berekeningswijzen.

TABEL 17 GEMIDDELDE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN IN PROCENTEN, BEREKEND MET VERSCHILLENDE (GROEPEN VAN) GIDSSTOFFEN

PAK dosering in mg/l	11 gidsstoffen van het IPMV*	7 beste uit 11 gidsstoffen van het IPMV*	6 beste uit 10 gidsstoffen van de herziene EU richtlijn stedelijk afvalwater**
5	36	45	47
10	61	71	76
15	65	76	79
15 (duurzame kool)	65	74	74
20	74	84	85

* Verwijderingsrendement effluent rwzi ten opzichte van influent rwzi voor 11 (of beste 7 van de 11) gidsstoffen benzotriazool, carbamazepine, diclofenac, gabapentine, hydrochlorothiazide, irbesartan, metoprolol, som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool, sotalol, trimethoprim, venlafaxine in elk 24h of 48h debiets- of tijdsproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met verblijftijd van het rioolwater in de rwzi.

** Verwijderingsrendement effluent rwzi ten opzichte van influent rwzi voor gidsstoffen EU o.b.v. 6 van de 12; verhouding van 2:1 voor aantal stoffen uit categorie 1 ten opzichte van aantal stoffen uit categorie 2

Categorie 1 EU: amisulpride, carbamazepine, citalopram, claritromycine, diclofenac, hydrochlorothiazide, metoprolol en venlafaxine

Categorie 2 EU: 1,2,3-benzotriazool, candesartan, irbesartan en som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazool

10

LITERATUURLIJST

Metzger, 2011; S. Metzger, A. Rössler, H. Kapp; Optimierung der Pulveraktivkohleabtrennung durch Filtration als Grundlage zur Anlagendimensionierung. Abschlussbericht.

Platz, 2015; S. Platz; Charakterisierung, Abtrennung und Nachweis von Pulveraktivkohle in der Abwasserreinigung, PhD-thesis, Universität Stuttgart.

STOWA 2018-02; PACAS poederkooldosering in actiefslib voor verwijdering van microverontreinigingen. Onderzoek naar effectiviteit en efficiëntie op rwzi Papendrecht.

STOWA 2020-20

BIJLAGE 1

SAFETY DATA SHEET VAN DE TOEGEPASTE POEDERKOOL PULSORB WP 235

Data Sheet



PULSORB® WP235 Powder Activated Carbon

DESCRIPTION

PULSORB® WP235 is steam activated powder activated carbon (PAC) suitable for the removal of a wide variety of pollutants from water. PULSORB® WP235 is ideally suited to the removal of total organic carbon (TOC) from drinking water, whilst having excellent adsorption properties on soluble herbicides and pesticides traditionally poorly adsorbed by other PAC. It can also be used in the treatment of municipal or industrial wastewaters, where its high adsorption performance allows the removal of a large fraction of micropollutants from COD- and BOD-loaded wastewater.

FEATURES

PULSORB® WP235 has several properties which explain its superior performance in drinking and wastewater applications:

- Optimal mesh size that ensures a rapid rate of adsorption.
- Particle size distribution specifically designed for ease of handling in most feed systems.
- Optimal pore size distribution that ensures excellent performance in the removal of certain micropollutants.
- Meets EN12903 and the latest edition of the Food Chemicals Codex (FCC).

SELECTION

PULSORB® WP235 is designed for the removal of organic matter, pesticides and a range of micropollutants. The product, originally designed for drinking water, has been successfully used for the removal of emerging contaminants from wastewaters.

PACKAGING

- Big bags
- Bulk deliveries

SAFETY MESSAGE

Wet activated carbon preferentially removes oxygen from air. In closed or partially closed containers and vessels, oxygen depletion may reach hazardous levels. If workers are to enter a vessel containing carbon, appropriate sampling and work procedures for potentially low-oxygen spaces should be followed.

PROPERTIES

PULSORB® WP235 SPECIFICATIONS	
Iodine number, min., mg/g	850
Moisture, as packed, max., wt%	5
Particle size analysis, wt% < US Mesh 325 (45 µm)	65-85

(Please refer to the Sales Specification Sheets, which state the Chemviron test method used to define the above specifications. Copies are available upon request.)

PULSORB® WP235 TYPICAL PROPERTIES	
Iodine number, mg/g	875
Particle size analysis, %	
< 250 µm	100
< 150 µm	99
< 75 µm	90
< 45 µm	75
< 20 µm	50
< 10 µm	30
Mean Particle Diameter, µm	30
Density, loose packed ¹ , kg/m ³	350

¹ Loose packed density to determine amount that can be filled into silo by bulk tanker

QUALITY

Each of our worldwide operations has achieved ISO 9001:2008 certification for their quality management system related to activated carbon. Chemviron guarantees the specifications against representative sampling.

CHEMVRON

Chemviron, the European operation of Calgon Carbon Corporation, is a global manufacturer, supplier, and developer of activated carbons, innovative treatment systems, value added technologies and services for optimising production processes and safely purifying the environment.

With our experience developed since the early years of the twentieth century, facilities around the world, and a world-class team of over 1,300 employees, Calgon Carbon Corporation can provide the solutions to your most difficult purification challenges.

N.B. Chemviron reserves the right to change specifications without notice. All rights reserved for reproduction in part or in full without prior permission from Chemviron

W-12229/10-2018

BIJLAGE 2

SAFETY DATA SHEET VAN DE DUURZAME POEDERKOOLOOL ACTICARBONE 2SW

ACTICARBONE® 2SW, 3SW, 4S

Wood powdered activated carbon - Steam activated

DESCRIPTION

ACTICARBONE® 2SW, 3SW, 4S, powdered form are steam activated carbons produced from marine pine wood.

FEATURES

ACTICARBONE® 2SW, 3SW, 4S have good adsorption capacity and a high level of purity combined with superior filterability for improved productivity.

These grades comply with the specifications of the current edition of the US Food Chemicals Codex monograph.

APPLICATION

These products are very suitable for:

- Decolorization and purification of a large variety of products, like agro-food products and fine chemicals.
- Removal of colour precursors and contaminants. Adsorption of undesired taste and odour compounds.

PACKAGING

- 15 kg bags for 2SW, 3SW, 4S
- Big bags

STORAGE

ACTICARBONE® should be stored in its original packing, in a dry warehouse, free of volatile matter.

PROPERTIES

SPECIFICATIONS	2SW	3SW	4S
Moisture content, as packed, max., wt%	≤ 5	≤ 8	≤ 8
Total Ashes, max., wt %	≤ 7	≤ 7	≤ 7
Methylene Blue Number	≥ 12	≥ 14	≥ 18
Molasse number, min	≥ 160	≥ 190	≥ 230
Retained on 40 µm, max, wt%	≤ 35	≤ 35	≤ 35

(Please refer to the Sales Specification Sheets, which state the Chemviron test method used to define the above specifications. Copies are available upon request.)

TYPICAL PROPERTIES	2SW	3SW	4S
Apparent density, g/cm ³	0.30	0.27	0.25
Iodine number (PTM1), cg/g	115	125	130
Iodine number, mg/g	925	1000	1025
Permeability mDa	160	170	170
Particle size analysis by laser, D50, µm	28	29.5	29.5
Particle size analysis by laser, D10, µm	7	7.5	7.5

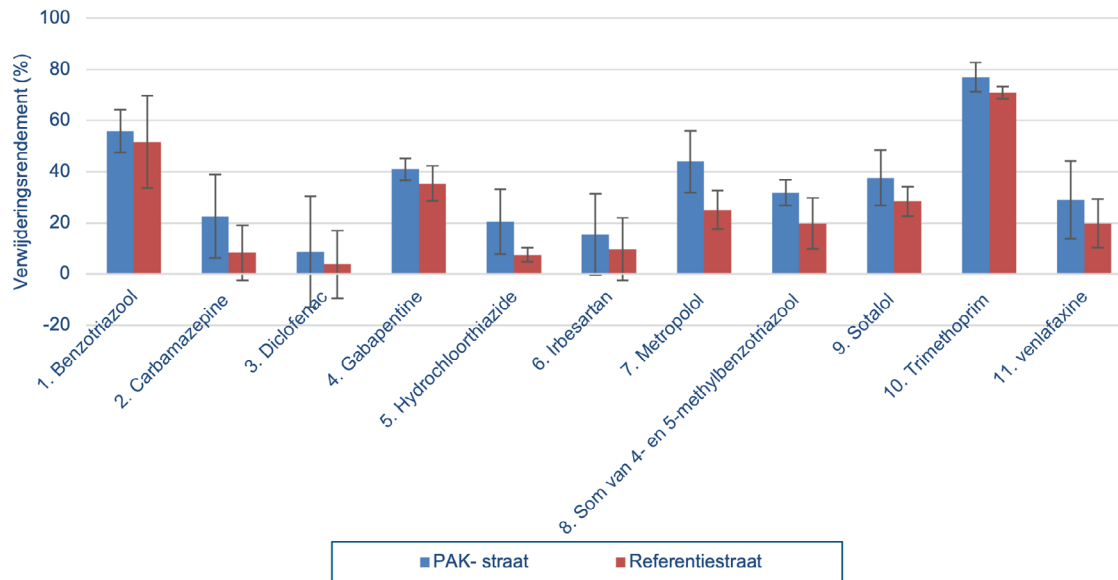


BIJLAGE 3

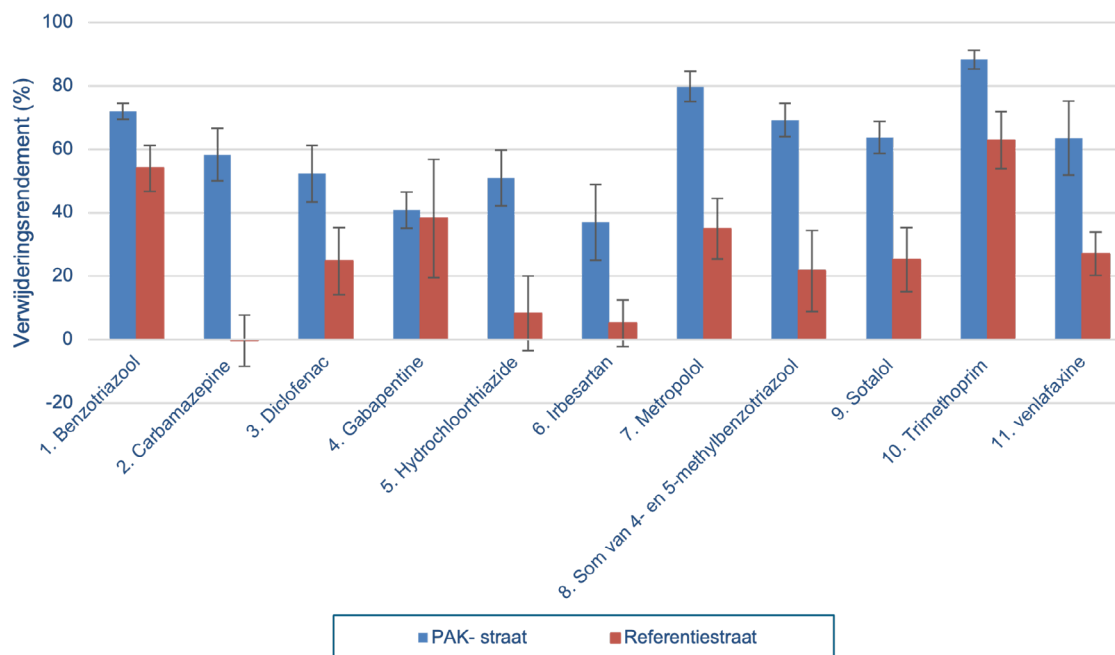
VERWIJDERINGSRENDEMENT

MEDICIJNRESTEN

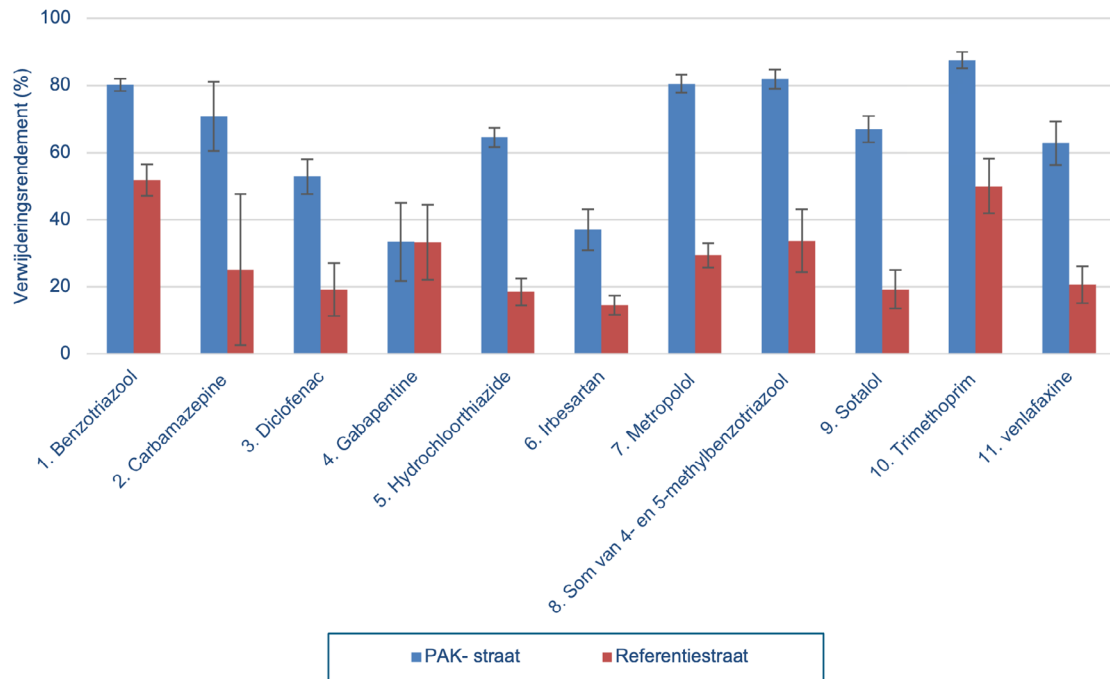
FIGUUR 32 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 11 GIDSSTOFFEN IN PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT BIJ EEN DOSERING VAN 5 MG PAK/L, N=3



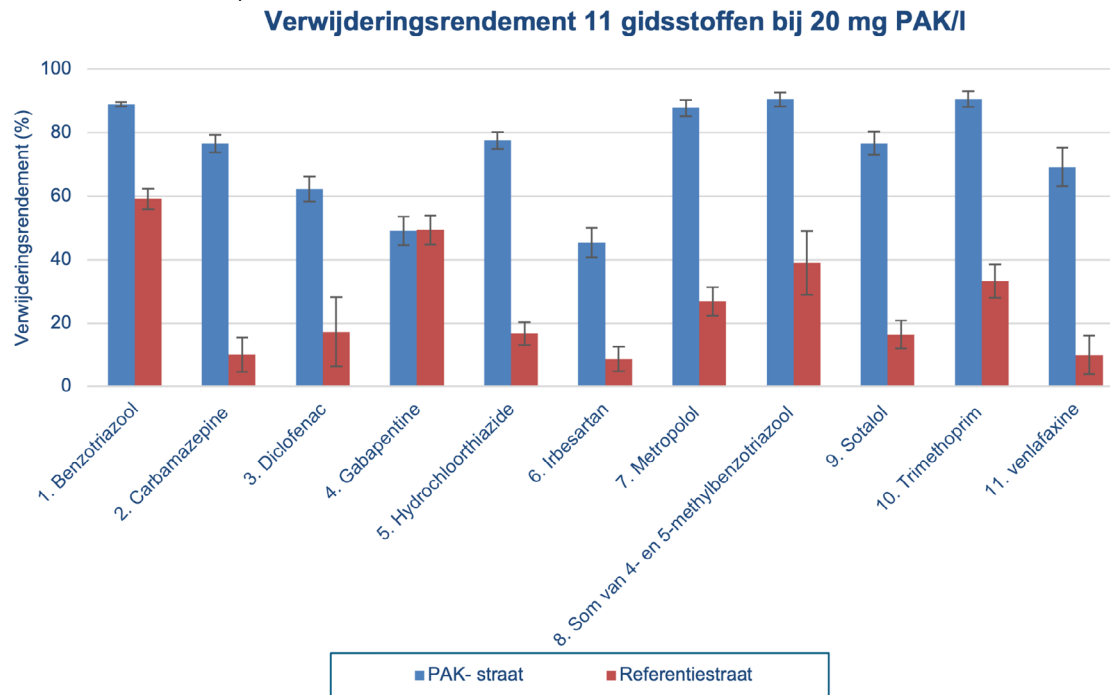
FIGUUR 33 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 11 GIDSSTOFFEN IN PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT BIJ EEN DOSERING VAN 10 MG PAK/L, N=5



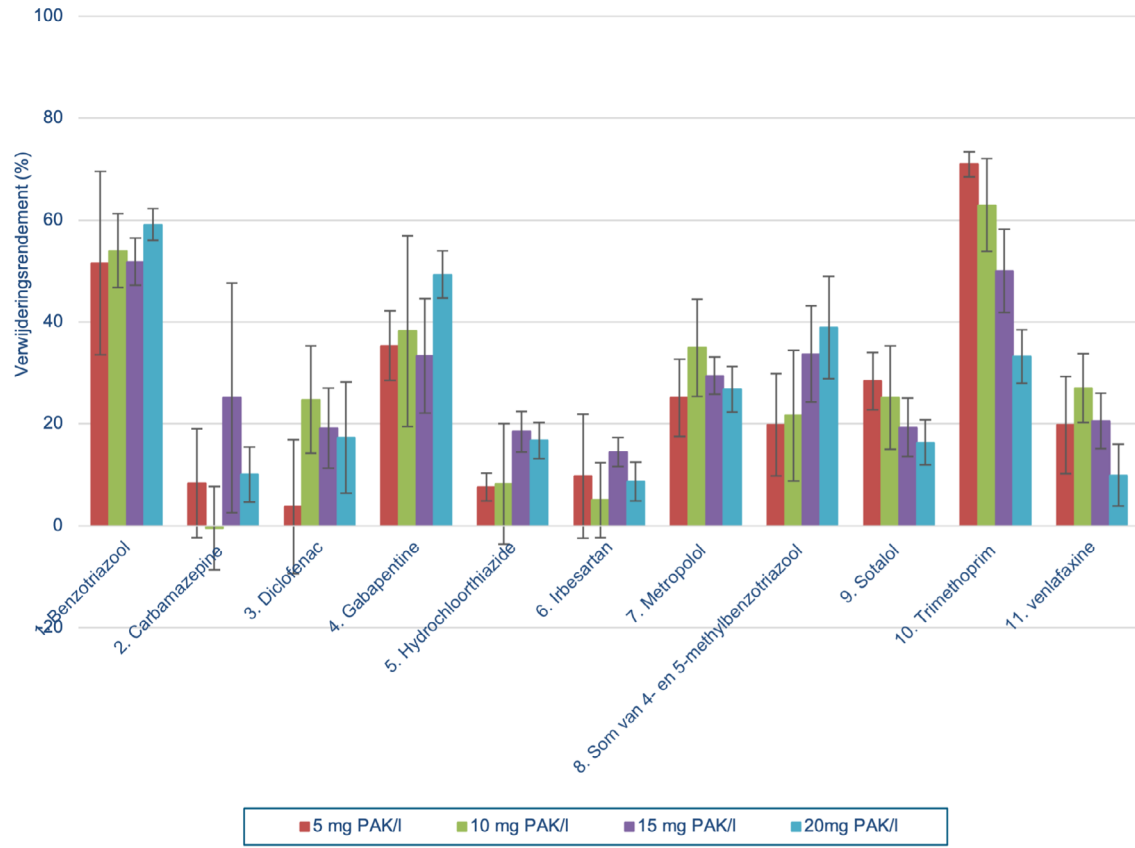
FIGUUR 34 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 11 GIDSSTOFFEN IN PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT BIJ EEN DOSERING VAN 15 MG PAK/L, N=6



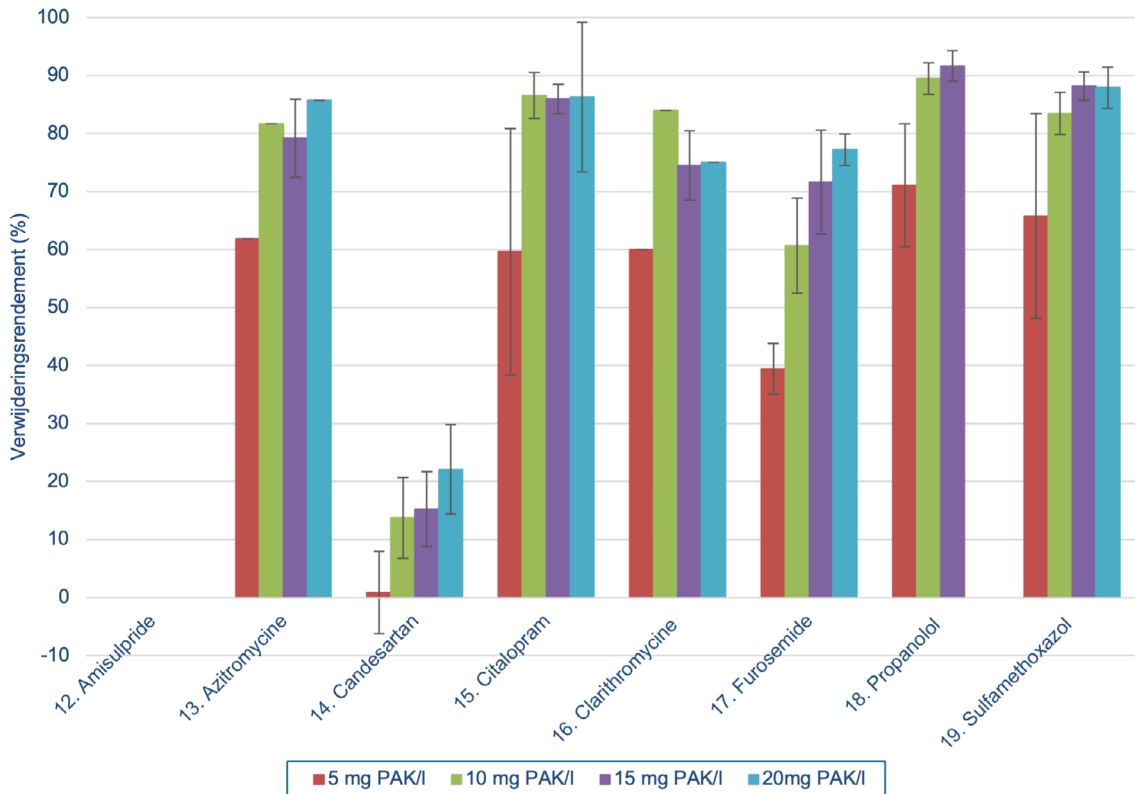
FIGUUR 35 VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN 11 GIDSSTOFFEN IN PAK-STRAAT EN REFERENTIESTRAAT BIJ EEN DOSERING VAN 20 MG PAK/L, N=6



FIGUUR 36 VERWIJDERINGSRENDEMENT PER GIDSSTOF IN DE REFERENTIESTRAAT (AFLOOP NEREDA 1) ZONDER POEDERKOOLDOSERING TIJDENS DE VERSCHILLENDE DOSEERPERIODES; AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N = 3; 10 MG PAK/L N = 5; 15 MG PAK/L N=6: 20 MG PAK/L N=6



FIGUUR 37 VERWIJDERINGSRENDEMENT MONITORINGSTOFFEN IN DE PAK-STRAAT BIJ OPLOPENDE POEDERKOOL CONCENTRATIES; AANTAL WAARNEMINGEN: 5 MG PAK/L N = 3; 10 MG PAK/L N = 5; 15 MG PAK/L N=6: 20 MG PAK/L N=6



Concentraties van Propanolol in de afloop PAK-sstraat bij 20 mg PAK/l liggen onder rapportagegrens, om die reden was niet mogelijk om het verwijderingsrendement te bepalen. Voor amisulpride was het niet mogelijk om het verwijderingsrendement vast te stellen omdat de concentraties in zowel het influent als afloop PAK-sstraat onder de rapportagegrens liggen.

BIJLAGE 4

RESULTATEN BIOASSAYS EN INTERPRETATIE-TOOL STOWA

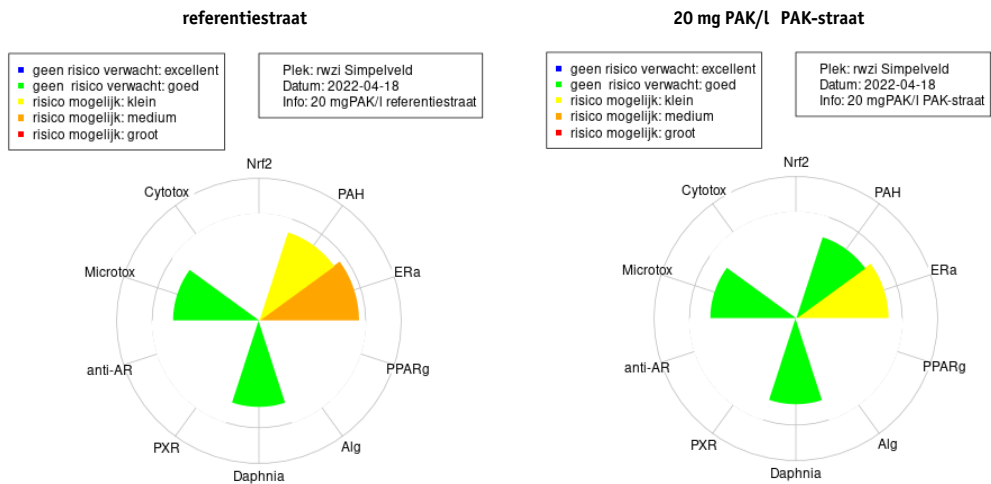
Blanco	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
Era CALUX (ng 17b estradiol eq./l)	LOQ(<0,012)	LOQ(<0,017)	LOQ(<0,0057)	LOQ(<0,0088)
PAH CALUX (ng benzo(a)pyrene eq./l)	7,7	19	13	1,3
Watervlo				
NOECf	77,9	78,9	77,7	77,6
Ecf, 50	>77,9	>78,9	>77,7	>77,6
TU	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013
Microtox				
Ecf, 20	>35	>35	>35	>35
Ecf, 50	>35	>35	>35	>35
TU	<0,029	<0,028	<0,029	<0,029
PAK-straat	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
Era CALUX (ng 17b estradiol eq./l)	1,2	1,9	2,9	1,6
PAH CALUX (ng benzo(a)pyrene eq./l)	52	70	96	27
Watervlo				
NOECf	4,9	78,8	82,5	81
Ecf, 50	10,9	>78,8	>82,5	>81,0
TU	0,092	<0,013	<0,012	<0,012
Microtox				
Ecf, 20	4,3	8	9,2	8,7
Ecf, 50	16,9	26,8	36,6	37
TU	0,059	0,037	0,027	0,027
Referentiestraat	5 mg/l	10 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
Era CALUX (ng 17b estradiol eq./l)	1,4	1,5	3,4	3,9
PAH CALUX (ng benzo(a)pyrene eq./l)	53	120	150	68
Watervlo				
NOECf	4,9	80,6	82,3	82,2
Ecf, 50	8,8	>80,6	>82,3	>82,2
TU	0,113	<0,012	<0,012	<0,012
Microtox				
Ecf, 20	4,7	3,7	5,2	4,2
Ecf, 50	17,8	23,4	20,7	27,2
TU	0,056	0,043	0,048	0,037

Interpretatie-tool Stowa:

De resultaten van de biologische effectmonitoring zijn ook geanalyseerd volgens de online interpretatie-tool van de Stowa waarmee resultaten worden getoetst aan grenswaarden voor het oppervlaktewater. Door middel van deze tool wordt aan de hand van de gemeten bioassay een bepaling van de chemische waterkwaliteit gemaakt. Hiervoor worden de bioassay responsen gekoppeld aan het vijf-klassensysteem van de chemische waterkwaliteit, zie ook de website van de Kennisimpuls Waterkwaliteit voor de Interpretatie Bioassay



In Figuur 38 wordt een voorbeeld gegeven voor de doseerperiode van 20 mg PAK/l. Uit de resultaten blijkt dat de kwaliteit van het effluent in de PAK-straat “beter” is, d.w.z. minder risico's voor het (aquatisch) milieu. Interpretatie-tool is niet meer beschikbaar om andere grafieken te kunnen maken.



BIJLAGE 5

RESULTATEN PFAS ANALYSE

GEMETEN PFAS-VERBINDINGEN BIJ VRIJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM ANALYSE PROEF
POEDERKOOLDOSERING

Geanalyseerde parameters met de analysemethoden W-PFAS100 en 104		
Parameter	CAS nummer	Afkorting
Perfluorbutaanzuur	375-22-4	PFBA
Perfluorpentaanzuur	2706-90-3	PFPeA
Perfluorhexaanzuur	307-24-4	PFHxA
Perfluorheptaanzuur	375-85-9	PFHpA
Perfluoroctaanzuur vertakt		br-PFOA
Perfluoroctaanzuur lineair	335-67-1	I-PFOA
Perfluoromonaanzuur	375-95-1	PFNA
Perfluordecaanzuur	335-76-2	PFDA
Perfluorundecaanzuur	2058-94-8	PFUnDA
Perfluordodecaanzuur	307-55-1	PFDoDA
Perfluortridecaanzuur	72629-94-8	PFTrDA
Perfluortetradecaanzuur	376-06-7	PFTeDA
TetraFluoro-2-(heptafluorpropoxy) propaanzuur	13252-13-6	HFPO-DA
Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonoaat	958445-44-8	ADONA
2H-perfluor-2-deceenzuur	2321-3-20	8:2FTUCA
Perfluorbutaansulfonaat	375-73-5	PFBS
Perfluorpentaansulfonaat	2706-91-4	PFPeS
Perfluorhexaansulfonaat, vertakt		br-PFHxS
Perfluorhexaansulfonaat, lineair	355-46-4	I-PFHxS
Perfluorheptaansulfonaat	375-92-8	PFHpS
Perfluoroctaansulfonaat vertakt		br-PFOS
Perfluoroctaansulfonaat lineair	1763-23-1	I-PFOS
Perfluoromonaansulfonaat	68259-12-1	PFNS
Perfluordecaansulfonaat	335-77-3	PFDS
4:2 Fluortelomeer sulfonzuur	757124-72-4	4:2FTS
6:2 Fluortelomeer sulfonzuur	27619-97-2	6:2FTS
8:2 Fluortelomeer sulfonzuur	39108-34-4	8:2FTS
10:2 Fluortelomeer sulfonzuur	120226-60-0	10:2FTS
Perfluoroctaansulfonylamide-(N-Methyl)acetaat	2355-31-9	N-MeFOSAA
Perfluoroctaansulfonylamide-(N-ethyl)acetaat	2991-50-6	N-EtFOSAA
Perfluorbutaansulfonylamide-(N-Methyl)acetaat	159381-10-9	N-MeFBSAA
9-chloohexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat	756426-58-1	9Cl-PF3ONS
11-chlooreicosaanfluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat	4151-50-2	11Cl-PF3ODS
8:2 Fluortelomeer fosfaatdiester	678-41-1	8:2diPAP

RESULTATEN PFAS BIJ 15 MG PAK/L:

Datum	Influent			Referentiestraat			PAK-straat		
	7-nov-21	14-nov-21	9-dec-21	7-nov-21	14-nov-21	9-dec-21	7-nov-21	14-nov-21	9-dec-21
Analyse	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
PFBA	49	38	20	5,8	3,3	2,7	4,4	6,8	3,4
PFPeA	2,8	2,4	5,3	3,2	2,5	4,9	3,3	2,3	4,9
PFHxA	3,4	2,8	4,7	6,9	5,2	7,7	6,1	4,9	6,3
PFHpA	1,4	1,5	2	1,9	1,6	2,4	1,7	1,5	2,1
br-PFOA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
l-PFOA	4,8	4,3	4,3	4,6	4,2	5,2	4,7	4,3	4,2
PFNA	0,8	0,7	1,1	1,1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9
PFDA	1	1,4	1,4	0,8	0,9	0,8	0,9	1,2	0,7
PFunDA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PFDoDA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PFTriDA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PFTeDA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
HFPO-DA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
DONA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
8:2FTUCA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PFBS	2,1	2,5	2	1,7	2,3	2,5	3,2	3	1,8
PFPeS	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
br-PFHxS	1,8	1,5	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
l-PFHxS	1,1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
PFHpS	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
br-PFOS	2,2	2	1,9	1,6	1,3	1,6	1,7	1,3	1,4
l-PFOS	1,7	1,4	1,6	1	1,2	0,7	1,1	1,3	0,6
PFNS	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PFDS	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
42FTS	<1	<1	<1	<0.99	<1	<1	<1	<1	<1
62FTS	<1	1,9	1,5	<1	1,8	1,1	<1	1,9	<1
82FTS	<1	<1	<1	<0.99	<1	<1	<1	<1	<1
102FTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MeFOSAA	<1	<1	<1	<0.99	<1	<1	<1	<1	<1
N-EtFOSAA	1,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MeFBSAA	3,1	3,5	1,7	4,2	4,3	2,9	4,8	4,4	3,2
9ClPF3OUdS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
11ClPF3OUdS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
82diPAP	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
som PFOA	4,8	4,3	4,3	4,6	4,2	5,2	4,7	4,3	4,2
som PFHxS	2,9	2,3	1,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
som PFOS	3,9	3,4	3,6	2,6	2,5	2,3	2,8	2,6	2,1

RESULTATEN PFAS BIJ 20 MG PAK/L:

Datum	Influent			Referentiestraat			PAK-straat		
	3-mrt-22	6-mrt-22	8-mrt-22	3-mrt-22	6-mrt-22	8-mrt-22	3-mrt-22	6-mrt-22	8-mrt-22
Analyse	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
PFBA	50	44	41	2	4,5	3,2	5,2	9	4,7
PFPeA	2,8	2,7	2,4	3,1	2,9	2,9	3	2,8	3,1
PFHxA	3,3	3,5	3,5	4,7	4,3	4,1	5,3	4	4
PFHpA	1,8	1,7	1,6	2,1	2	1,8	2	1,7	1,6
br-PFOA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
L-PFOA	5,5	5	6	5,9	6,3	5	5,5	5,5	5
PFNA	0,8	0,8	0,7	1	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8
PFDA	0,8	0,8	0,9	0,8	0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5
PFunDA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
PFDoDA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
PFTriDA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
PFTeDA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
HFPO-DA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
DONA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
8:2FTUCA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PFBS	2	2	2,1	2,1	2,9	2,3	2,2	2,5	2,5
PFPeS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
br-PFHxS	1,7	1,7	1,6	0,5	0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
L-PFHxS	1	1	1,4	0,5	0,6	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
PFHpS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
br-PFOS	2,3	2,5	2,4	1,9	2	1,9	1,7	1,8	1,9
L-PFOS	1,4	1,7	1,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8
PFNS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
PFDS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
42FTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
62FTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
82FTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
102FTS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MeFOSAA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
N-EtFOSAA	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MeFBSAA	2,4	3,4	2,3	5,4	7,7	6,7	4	4,8	4,2
9ClPF3OUdS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
11ClPF3OUdS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
82diPAP	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
som PFOA	5,5	5	6	5,9	6,3	5	5,5	5,5	5
som PFHxS	2,8	2,7	3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
som PFOS	3,8	4,2	4	2,9	2,9	2,7	2,3	2,5	2,7

BIJLAGE 6

RESULTATEN ZWARE METALEN IN AFVALWATER

Monster Datum	Influent				PAK-straat				Referentiestraat					
	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	31-3-2022	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	31-3-2022	5-4-2022	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	3-4-2022	5-4-2022
Metalen	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Aluminium	520	480	350	460	160	86	110	79	89	110	100	200	140	190
Antimoon	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arseen	1,6	1,8	1	1,2	1	1	1,1	1	1	1	1	1,1	1	1
Barium	34	35	19	13	11	8,5	7,2	7,4	5,5	9,6	8,4	9,2	7,8	7
Beryllium	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmium	0,11	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calcium	68000	63000	33000	22000	68000	62000	41000	41000	23000	67000	61000	43000	38000	24000
Chroom	2,3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4,2	2	2
IJzer	870	1100	700	790	1100	1000	1200	760	680	1100	1100	1700	1400	1700
Kalium	17000	18000	10000	5900	15000	18000	14000	10000	5700	16000	18000	14000	9900	6100
Koper	14	16	11	8,6	3	2	3,2	2,2	2,3	2,5	1,9	3,4	2,8	4,2
Kwik	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Lood	2,9	3	7	5,9	1,3	1	1	0,1	1	1	1	1,4	1,2	1,8
Magnesium	6400	6300	34000	2200	6000	6600	4900	4200	2300	6800	6500	4900	4000	2300
Mangaan	150	170	94	73	150	150	100	160	78	150	150	130	130	89
Molybdeen	2	2	2	2	2,5	3,1	2	2,1	2	2	2	2	2	2
Natrium	51000	51000	30000	16000	48000	53000	39000	33000	18000	48000	52000	39000	31000	18000
Nikkel	2,9	3	1,8	1,9	30	3,1	2,5	2,1	1,5	4,7	3,2	4,3	2,9	2,1
Strontium	150	140	78	68	150	160	110	120	69	170	160	110	110	72
Telluur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Thalium	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tin	2,7	3,4	1,5	2,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Monster	Influent				PAK-straat				Referentiestraat							
	Datum	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	3-4-2022	5-4-2022	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	3-4-2022	5-4-2022	27-3-2022	29-3-2022	31-3-2022	3-4-2022	5-4-2022
Metalen	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Uranium	0,35	0,31	0,16	0,25	0,1	0,11	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05
Vanadium	1,8	1,7	1,8	1	2,1	3,9	2,5	2,2	2	2,2	2	3,2	2,8	3,2	2,8	3,8
Wolfraam	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zilver	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zink	78	83	180	92	170	340	110	100	54	100	54	110	140	89	130	78
Zwavel	19000	18000	9800	17000	5200	19000	2000	12000	13000	5500	19000	19000	19000	13000	11000	5800
Kobalt	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1

BIJLAGE 7

KOSTENBEREKENING (100.000 IE)

STICHTINGSKOSTEN (100.000 IE)

De Stichtingskosten zijn overgenomen uit Stowa 2018-02, blz. 79. Voor een schaalgrootte van 100.000 IE en een gemiddeld dagdebiet van 20.800 m³/d is deze ingeschat op 866.000 euro.

JAARLASTEN (100.000 IE)

De jaarlasten voor de combinatie poederkooldosering en Nereda wordt als volgt ingeschat.

		Prijs/eenheid	Euro/j	Bron
Investering	866.250			Stowa 2018-02
Kapitaalslasten			76.000	Stowa 2018-02
Onderhoud	Civiel/wtb/e/pa		14.000	Stowa 2018-02
Elektriciteit	115.000 kWh/j	0,10 euro/kWh	11.500	Zie STOWA 2020-20
Personeel	0,2 FTE	50.000 /FTE	10.000	Eigen inschatting
Poederkool (15 mg/l)	114.000 kg/j	2 euro/kg PAK	228.000	Zie STOWA 2020-20
Productie van spoelwater	20.000 m ³ /j	0,04 euro/m ³	800	Zie STOWA 2020-20
Verwerking van spoelwater op rwzi	20.000 m ³ /j	0,01 euro/m ³	200	Eigen inschatting
Verwerking van extra slib	114 ton ds/j	600 euro/ton ds	68.300	Zie STOWA 2020-20
Subtotaal (afgerond)			408.500	
Volume behandeld	7.592.000	m ³ /jaar		
Eurocent per m ³			5,4	

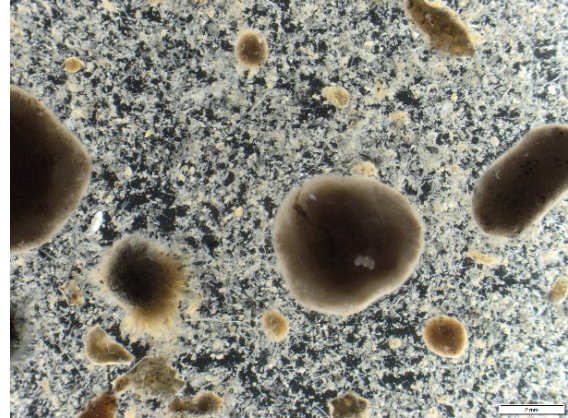
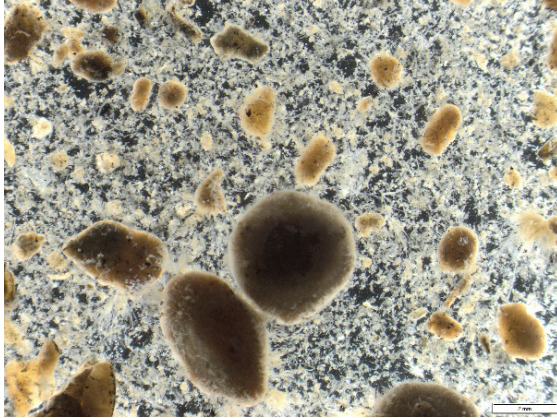
De investering is opgebouwd uit de volgende onderdelen

Civiel	EUR
Fundering poederkoolsilo	25.000
Onvolledigheid	6.250
Stichtingskosten Civiel ((incl 1,8 opslagfactor)	56.250
Werktuigbouwkunde/Electrotechniek/PA	
Silo voor poederkool	150.000
Doseerunit	200.000
Leidingwerk	10.000
Onvolledig	90.000
Stichtingskosten WTB/E/PA ((incl 1,8 opslagfactor)	810.000
Totaal	866.250

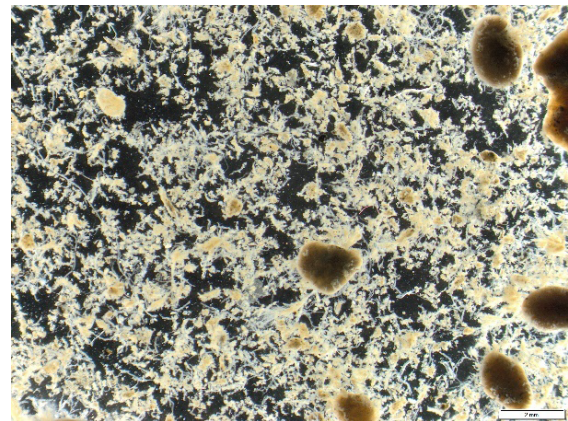
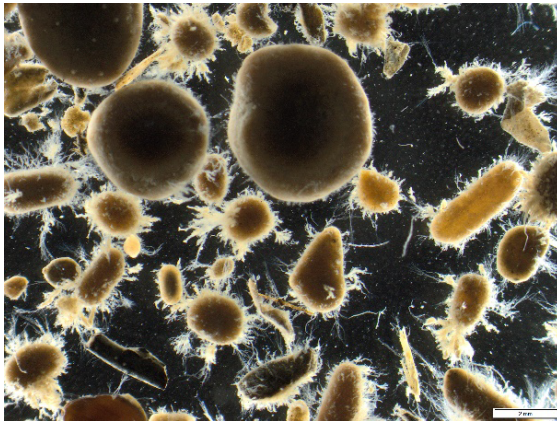
BIJLAGE 8

SLIBBEELD

IN MAART 2021, VOORAFGAAND AAN DE PROEF.



IN AUGUSTUS 2021, NA 4 MAANDEN DOSEREN VAN 5 MG/L



IN OKTOBER 2021

