

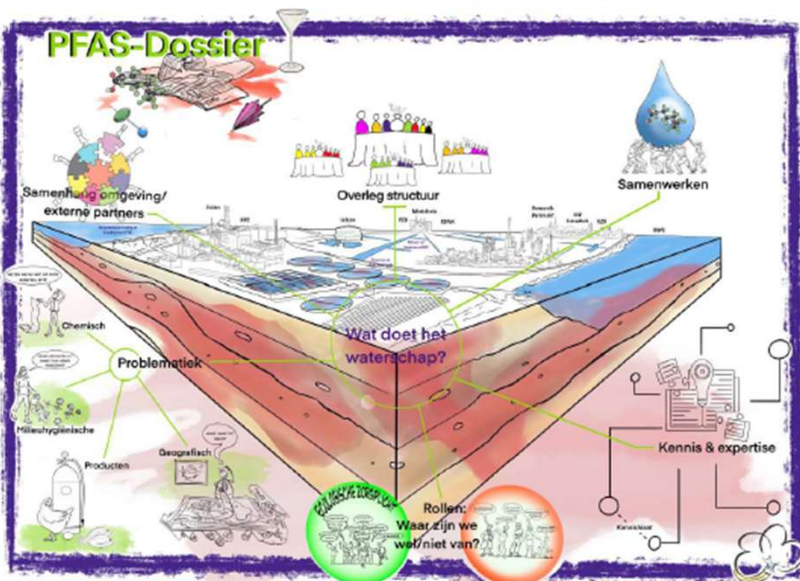
Poster Pitches

stowa



POSTERS

- 1. Waterschap Hollandse Delta:** PFAS en WSHD (Bart van Loon)
- 2. Hoogheemraadschap van Delfland:** Sanering van waterbodem en oppervlaktewaterzuivering PFAS-verontreiniging Forepark (Leontien van den Aker)
- 3. Waterschap Scheldestromen:** Prioritering van RWZI's voor nader bronnenonderzoek (Jos Goossen)
- 4. Hydrex Research:** Data-gedreven grip op indirecte industriële PFAS lozingen (Martijn van Ruiten)
- 5. Deconcern:** Daadwerkelijk PFAS gebruik in Nederland (Thomas Thuijsman)
- 6. STOWA:** Kennisnetwerk Grip op indirecte lozingen (Aiske Rijnks)
- 7. Wageningen University & Research:** TKI project: The monitoring, breakdown and removal of PFAS in (waste) water (Raphael Fredon)
- 8. Deltares:** Biologische methoden voor PFAS-verwijdering: perspectief of illusie? (Tom Bosma)
- 9. Nijhuis Sauer Industries:** Full destruction of short and long chain PFAS with PFAS Destruct™ (Yannick Severin)
- 10. Waterleau:** PFAS-Test Bench: From lab tests to full-scale solutions (Michel Caluwé)
- 11. Sanitas Water:** De AquaSampler... met een compacte monstername-unit PFAS meten, waar en wanneer u wilt (Peter Overvest)
- 12. Forever Analytical:** total PFAS meettechniek op basis van Particle-induced Gamma-ray Emission Spectroscopy (Cor Datema)
- 13. Wetsus en Wageningen University & Research:** Functionalized pillararenes for PFAS adsorption from water (Jesse Goed)
- 14. Wetsus en Wageningen University & Research:** Pillar[5]arene-based sorbents for efficient PFAS removal (Rick Nooijen)



PFAS en WSHD

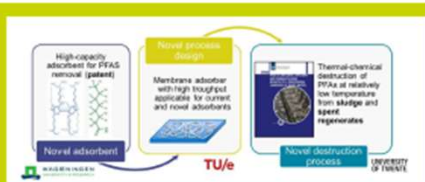
DEXSORB filter op rzwi Dordrecht

Waterschap Hollandse Delta onderzoekt het DEXSORB filter in samenwerking met Waterschap Rijnland en waterschap IJsselmeergebied. Het DEXSORB filter wordt gebruikt voor de verwijdering van PFAS uit het water. Het filter is ontwikkeld door DEXSORB en wordt gebruikt in de waterzuiveringsinstallatie van de rzwi Dordrecht. Het filter is in staat om PFAS te verwijderen uit het water, zelfs bij zeer lage concentraties. Het filter is ook geschikt voor de verwijdering van andere oplosmiddelen. Het filter is een belangrijke component van de waterzuiveringsinstallatie van de rzwi Dordrecht.



Ball-mill project

De ball-mill project is een onderzoek naar de verwijdering van PFAS uit het water. Het project is uitgevoerd door Waterschap Hollandse Delta in samenwerking met Waterschap Rijnland en waterschap IJsselmeergebied. Het project is gericht op de ontwikkeling van een nieuwe technologie voor de verwijdering van PFAS uit het water. Het project is een belangrijke component van de waterzuiveringsinstallatie van de rzwi Dordrecht.



Pillararones

Pillararones zijn een nieuwe klasse van adsorbenten die specifiek zijn ontworpen voor de verwijdering van PFAS uit het water. Ze zijn in staat om PFAS te verwijderen uit het water, zelfs bij zeer lage concentraties. Ze zijn ook geschikt voor de verwijdering van andere oplosmiddelen. Ze zijn een belangrijke component van de waterzuiveringsinstallatie van de rzwi Dordrecht.



Vragen? Meer informatie? www.wshd.nl/pfas

Of mail naar info@wshd.nl o.v.v. PFAS. Uwer bellen: 088-97 43 000!

Of loop even langs bij Bart van Loon, Johanna Weststrate of Olav Klay vandeag

Waterschap Hollandse Delta:
PFAS en WSHD
(Bart van Loon)



SANERING FOREPARK

Aanleiding

In het Forepark is zowel in het water als in de waterbodem een sterke verontreiniging met PFOS aangetroffen. In de waterbodem zijn gehalten tot 800ug/kg ds aangetroffen en in het oppervlaktewater tot bijna 10.000 ng/L. Om verdere verspreiding te voorkomen, zijn er gronddammen geplaatst. Vanwege de zeer hoge gehalten in het oppervlaktewater is er besloten om de waterbodem en onderliggende harde bodem te saneren en het oppervlaktewater te zuiveren. De verontreiniging is ontstaan door een foutieve aansluiting vanuit een bedrijf dat blus oefeningen uitvoert en schuimblussers schoonmaakt en hervult.



Sanering

Alle verontreinigde watergangen zijn gebaggerd tot de vaste bodem. Bij de afgedamde watergang is de zuiveringsunit geplaatst om de watergang droog te pompen en het oppervlaktewater te zuiveren. De capaciteit van de pomp bleek echter onvoldoende en er waren te veel hemelwateraansluitingen aanwezig. Uiteindelijk is bij deze watergang alle bagger en 20 cm van de harde bodem verwijderd, waarna een schone kleilaag is aangebracht.

Zuivering oppervlaktewater

Het oppervlaktewater uit de afgedamde watergang is door een actiefkoolfilter geleid en verpompt naar een andere watergang. Het debiet van de filterinstallatie was 10 m³/per uur. Na de sanering van de watergangen is er regelmatig gemonitord op het rendement van de zuivering. Het rendement is over het algemeen hoger dan 95 %. (Zie tabel).

Op het moment dat de waarden in het oppervlaktewater vele malen lager waren dan voor de sanering en de inspanning van de zuivering onevenredig groot was met het behaalde milieu-rendement, is besloten de zuivering te stoppen en de dammen te verwijderen. Het actiefkoolfilter wordt zo vaak mogelijk geregenereerd en uiteindelijk verbrand (filters zijn een keer vervangen) waardoor de PFAS-verbindingen verbroken worden.

Evaluatie

1. Afdammen van watergang heeft voor- en nadelen. Bij elke casus goed over nadenken of afdammen een goed idee is.
2. De gebruikte zuivering heeft een zeer hoog rendement, maar een laag debiet.
3. In de praktijk bleek dat de gekozen werkwijze niet haalbaar was. In het vervolg willen we door middel van een grondradar alle aansluitingen op een watergang inzichtelijk maken.
4. Sanering van PFAS is vaak een verschuiving van de vervuiling.



Contact

Leontien van den Aker
lvandenaker@hhdelfland.nl
Hoogheemraadschap van Delfland

Datum	Influent PFOS ng/l	Effluent PFOS ng/l	Rendement %
14-11-2024	250	-	-
26-11-2024	-	140/3,9	44-98,4 % rijtans baggerwerk- zaamheden
9-12-2024	-	< 2,5	99%
20-12-2024	1300	59	95,4%
24-12-2024	-	2,0	99,8%
7-1-2025	-	< 1	99,9%
10-01-2025	340	13	96,1%
17-1-2025	-	< 1	99,7%
22-01-2025	400	-	-
29-01-2025	180	< 1	99,4%
11-01-2025	150	-	-

Tabel in- en effluentmetingen en rendement

stowa
PFAS

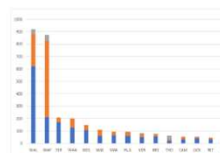
Hoogheemraadschap van
Delfland:
Sanering van waterbodem en
oppervlaktewaterzuivering
PFAS-verontreiniging Forepark
(Leontien van den Aker)

Prioritering PFAS brononderzoek afvalwaterketen

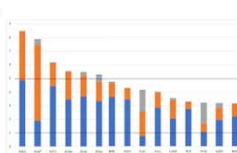
Onderzoek 2023



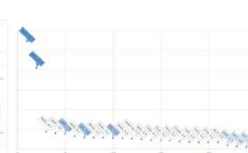
Vracht



Emissiefactor



Vergelijking Stowa-rapport 2021



Prioriteren

Plaats	Code	Uitval locatie (E1/E2)	Concentratie in PFAS water	Concentratie in PFAS slib	Vrijheid opzet	Vrijheid opzet	Basisemissie in PFAS per E1/E2 per jaar	Basisemissie in PFAS per E1/E2 per jaar	Specifieke emissie in PFAS per bron	Prognose in PFAS per bron	Onderzoek in PFAS
Willems	W1	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W2	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W3	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W4	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W5	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W6	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W7	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W8	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W9	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W10	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W11	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W12	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W13	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W14	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W15	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W16	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W17	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W18	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W19	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Willems	W20	101.100	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

Conclusies

- Specifieke bronnen bij aantal rwzi's
- Alle rwzi's matig belast
- 3 rwzi's prioritair voor bronaanpak
- Bronaanpak starten bij rwzi Willem-Anna



Brononderzoek

- Rioleringsgebied als basis
- Gebiedskennis
- Omgevingsdienst
- Invullen ontbrekende info
- Stakeholders meenemen

Volledig onderzoeksrapport
Derksen, AD eco advies, 2024



Contactpersonen:
Els van Soelen
Jos Goossen



Waterschap Scheldestromen

Waterschap
Scheldestromen:
Prioritering van RWZI's
voor nader
bronnenonderzoek
(Jos Goossen)

HYDREX RESEARCH CENTER
CLEAN RIVERS (EN) AND OCEANS

DATA-GEDREVEN GRIP OP INDIRECTE, INDUSTRIËLE PFAS-LOZINGEN

Interactieve hotspottool om risicovolle bedrijven te identificeren en gericht te controleren voor vergunningverlening, toezicht, en handhaving.

UITDAGINGEN

- Vergunningen en regelgeving zijn verouderd en versnipperd
- Toezicht en monitoring van bedrijven zijn financieel en technisch moeilijk haalbaar
- RWZI's zijn vaak niet ontworpen om nieuwe of industriële stoffen, zoals PFAS, effectief te verwijderen.
- Gebrek aan overzicht en prioritering

AANPAK

Systematisch verzamelen en koppelen van bedrijfsinformatie, potentiële geloosde stoffen, lozingsroutes, en risicoklassen

OVERZICHT GEKOPPELDE DATABASES

DASHBOARD HOTSPOTTOOL INDIRECTE, INDUSTRIËLE LOZINGEN

Van losse datasets naar één slimme database met duidelijk overzicht en nieuwe inzichten in een interactief dashboard.

Door mogelijke lozers van schadelijke stoffen in beeld te brengen, werken we aan betere waterkwaliteit en behalen van KRW-doelen.

PFAS CASE STUDY

- Potentiële PFAS-lozers worden in kaart gebracht door economische activiteiten te koppelen aan verwachte PFAS-emissies
- Verkrijgen van inzicht in de bedrijfsbranches die de grootste bijdrage leveren aan potentiële PFAS-lozingen
- Overzicht van de verdeling van mogelijk PFAS-lozende bedrijven per rioolstelsel en RWZI, om inzicht te krijgen in de regionale belasting van het watersysteem
- Bedrijfsinventarisatie ter ondersteuning van risicogebaseerde prioritering

CONCLUSIE

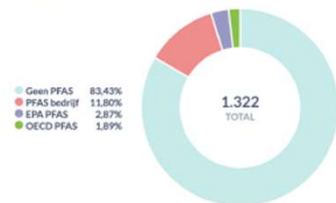
- Door het koppelen van databases ontstaat een inzichtelijk beeld van potentiële indirecte, industriële lozingen
- Het identificeren en prioriteren van risicovolle bedrijven en sectoren draagt bij aan onderbouwde VTH, en bronaanpak waardoor beschikbare capaciteit efficiënter kan worden ingezet
- Het terugdringen van lozingen van ZZZ en KRW-stoffen in afval- en oppervlaktewater draagt bij aan een schoner en gezonder watermilieu.

Onze samenwerkingen

Hydrex Research:
Data-gedreven grip op
indirecte industriële PFAS
lozingen
(Martijn van Ruiten)

Daadwerkelijk PFAS gebruik in Nederland

PFAS bedrijven



Methode

In opdracht van de omgevingsdiensten in Nederland zijn veiligheidsinformatiebladen verzameld en geanalyseerd van in totaal 1.322 bedrijven. Uit deze documenten zijn alle ingrediënten geëxtraheerd en beoordeeld op de aanwezigheid van PFAS.

Voor de beoordeling zijn twee definities van PFAS gehanteerd:

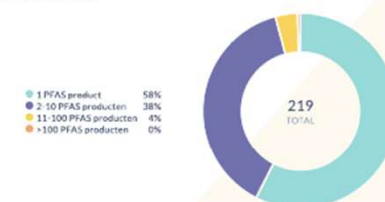
1. De EPA-lijst, waarin specifieke PFAS-verbindingen zijn opgenomen;
2. De OECD-definitie, die stelt dat PFAS, stoffen zijn die ten minste een volledig gefluoreerd methyl- of methyleen-koolstofatoom bevatten (waarop geen waterstof, chloor, broom- of jodiumatoom is gebonden).

De door bedrijven opgegeven EBI-codes zijn gecategoriseerd op basis van bedrijfsactiviteit. Daarnaast zijn producttypes afgeleid op basis van de informatie die in het veiligheidsinformatieblad beschikbaar was.

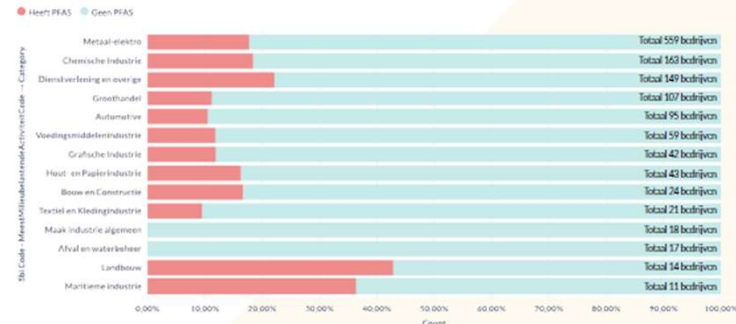
Types PFAS producten



Aantal PFAS producten



PFAS per categorie



Top 10 PFAS

Casnummer	Eg nummer	# Bedrijven	Stofnaam
611-97-2	212-377-0	46	1,1,1,2-tetrafluorethaan
335-67-1	306-387-9	35	perfluoroctaanzuur
28118-26-6	810-135-4	27	Perfluoro, 1,3,3,3-tetrafluoro-, (F)-
1945-83-6	471-480-0	19	1-Propeno, 1,3,3,3-tetrafluoro-
36-1-99-8	306-667-8	16	perfluoroethaan
754-12-1	468-710-7	14	2,3,3,3-tetrafluoropropaan
60475-32-7	279-481-6	14	N-[3-(dimethylamino)propyl]-3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tetradecafluorooctanoylethylphosphonamide N-oxide
34655-29-3	252-046-8	13	Carboxymethyldimethyl-3-[(3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tetradecafluorooctyloxy)phosphoryl]amino]propylammonium hydroxide
420-46-2	206-999-9	12	1,1,1-trichloroethaan



stowa

PFAS

Deconcern:
Daadwerkelijk PFAS gebruik in
Nederland
(Thomas Thuijsman)

stowa

Kennisnetwerk Grip op Indirecte Lozingen



Zomer 2025: Voorstel STOWA Kennisnetwerk Grip op Indirecte Lozingen



START



Juni: In overleg met partneroverheden Samen kennisbehoeften oppakken



Dinsdag 10 Juni: Startbijeenkomst Kennisnetwerk Grip op Indirecte Lozingen

Voor waterschappers

Wageningen in Wageningen

Ochtend: Kennisdelen en inspireren

Samenwerken, meten en monitoren, theoretische risicobenaderingen (viewers) en handvatten voor VTH.

Middag: Kennisbehoefte omzetten in kennisvragen

Workshops kennisbehoeften concretiseren, netwerk vormgeven

Meldt je aan op de STOWA website!



Stof(groep) specifiek (PFAS) - KRW-stoffen - ZZS - Alle stoffen

* Laagdrempelig kennis uitwisselen.

* Samen werken aan kennisvragen.

* Versterken regionale kennisbijeenkomsten

Kennisvragen

-Viewers, toolings, datagedreven risicobenadering, kaarten.

-Meten, data, innovatief monitoren.

-Instrumenten Vergunningverlening en Toezicht en Handhaving.



Omgevingsdienst NL

UNIC VAN WATERSCHAPPEN

VSCHOW

ip

RS

November 2024 Start Verkenning kennisnetwerk Indirecte lozingen

- Waarom willen waterschappen Grip op Indirecte Lozingen?
- Welke inspirerende voorbeelden en Best Practices zijn er?
- Waar liggen de Kennisbehoeften?
- Wat doen partneroverheden en waar kunnen we samenwerken?

27 Juni 2024: Bijeenkomst 'Inzicht in het onzichtbare in het riool.

Kennis- en netwerkbijeenkomst indirecte lozingen voor waterschappen'

Er gebeurt veel (inhoudelijk en proces). Behoeft aan verspreiden van kennis en ervaringen zowel binnen als buiten de waterschappen.

stowa

Meer informatie? M: gripopindirectelozingen@stowa.nl of arjinks@waterpolicypartner.com T: 06-44869506

stowa

PFAS

STOWA:
Kennisnetwerk Grip op
indirecte lozingen
(Aiske Rijnks)

Call for Partners | Monitoring, Breakdown and Removal of PFAS from (Waste) Water

Raphael Fredon, Erik Vriezekolk

Background

PFAS, known for their resistance to breakdown and posing health risks, are increasingly detected in the environment, including groundwater. As this serves as a vital source of drinking water, there is an urgent need for the development of new technologies and processes to ensure the safe reuse of (waste) water streams, prevent the release of PFAS into the environment, and safeguard groundwater as a dependable source of drinking water.

Objectives

The initiative of WFBR focuses on the development of a comprehensive process aimed at monitoring, removing and degrading PFAS from water, thereby ensuring its safe utilisation for various purposes, including agricultural irrigation, industrial processes, and potable water production.

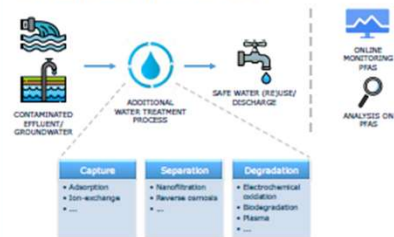
Our Approach

Our approach encompasses a thorough and integrated examination of separation, degradation, and monitoring technologies for PFAS.

Separation methods such as reverse osmosis, ion exchange, and adsorption will be tested for their efficacy in removing PFAS, while degradation technologies including electrochemical oxidation, plasma treatment, and biological processes will be explored for their potential to break down these persistent compounds.

Fast and reliable monitoring will be integrated throughout the treatment train to enable real-time assessment of PFAS removal and ensure safe water for (re)use.

Goal: develop a process (in-situ) for complete removal and degradation of PFAS and fast PFAS monitoring to guarantee water quality



Project Information

Approved TKI project
Duration: 3 years
Start: June 2025

Wageningen University & Research
P.O. Box 123, 6700 AS Wageningen
www.wur.nl/en/research-research-institutes/food-biobased-research.htm

Why this Project?

Despite extensive PFAS research, key gaps remain:

- Integration of synergistic approaches (cascades, hybrids) for complete PFAS destruction.
- Real-world testing in pilot plants.
- Adaptation to diverse water matrices.
- Real-time monitoring and adaptation.
- Economic and operational feasibility.

Proposed Activities

- Experimental testing of state-of-the-art technologies (from industry) and the development of novel methods for PFAS removal and degradation.
- Process modelling, design, and cost estimation to optimise the removal of harmful components.
- Development of robust monitoring systems capable of swiftly detecting PFAS and other contaminants.



Collaboration with Partners

We welcome partners managing water streams affected by PFAS, such as water boards and provincial authorities, industrial partners with residual streams suitable for reuse, and entities involved in groundwater management. Additionally, we are seeking collaboration with technology providers specialising in water treatment, analysis, or monitoring to develop further and optimise the implementation of their products.

Partners are asked to make both cash and in-kind contributions.

Contact Person

dr. ir. Raphael Fredon
Business Development Manager
T: +31 (0) 6 480 431 36
E: raphael.fredon@wur.nl



Contact Person

dr. ir. Erik Vriezekolk
Project leader/researcher
T: +31 (0) 317 481 165
E: erik.vriezekolk@wur.nl



stowa
PFAS

Wageningen University & Research:

TKI project: The monitoring, breakdown and removal of PFAS in (waste) water (Raphael Fredon)



Tom NP Bosma, Sem Braaksmā, Hans Groot, Marien Harkes, Nanne Hoekstra,
Annelotte van der Linden, Marc Verheul & Ewan Zwart (Deltares)
Mattijs Jusing & Maarten Verhoeven (WUR)

Deltares

Biologische methoden voor
PFAS-verwijdering:
perspectief of illusie? 

Achtergrond

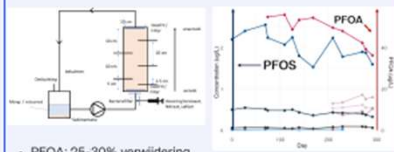
Dat PFAS een probleem vormen behoeft geen verdere uitleg. Het is een veelkopig monster:

- Duizenden verschillende stoffen
- Grote variatie in fysisch-chemische eigenschappen
- Hoge toxiciteit
- Alom aanwezig, b.v. in medische en cosmetische producten
- Achtergrondconcentraties boven ontwikkelde richtwaarden en normen
- Zwaar verontreinigde locaties, etc.

Doel van het onderzoek

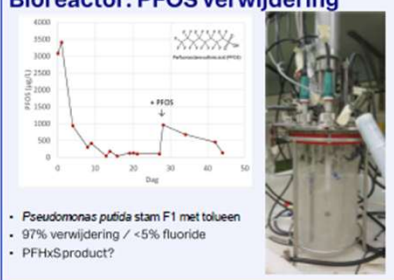
- Microbiele afbraak?
- Opname door planten?
- Gecombineerde fysisch-chemische en biologische processen?

Grondkolom: PFOA verwijdering?



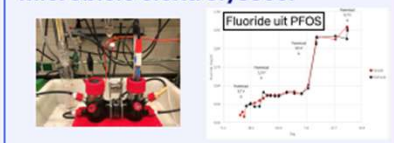
- PFOA: 25-30% verwijdering
- PFOS: onduidelijk
- Proef is nog onderweg

Bioreactor: PFOS verwijdering



- *Pseudomonas putida* stam F1 met toluen
- 97% verwijdering / <5% fluoride
- PFHxS product?

Microbiële elektrolysecel

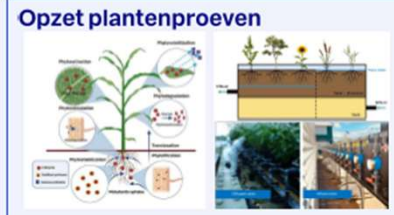


- Fluoridevorming uit PFOS, PFOA, PFBS, PFBA
- <5% fluoride
- Fluoride is constant in controles
- Proef is nog onderweg

Precursorumzetting in rhizosfeer



Opzet plantenproeven



- 7 plantensoorten, meerdere adsorbentia
- Binnen 2 uur volledige omzetting van B-FOSAA in B-PFOS
- Actieve kool beste adsorbens (niet getoond)
- Analyseresultaten planten nog in bewerking



For more information
→ tom.bosma@deltares.nl

Address
Deltaplaan 600, 3444 BK, Utrecht

www.deltares.nl

Deltares:
Biologische methoden voor
PFAS-verwijdering: perspectief
of illusie?
(Tom Bosma)

Full destruction of short and long chain PFAS with PFAS Destruct™



Yannick Severin- Senior Water Consultant
(Yannick.Severin@nijhuisindustries.com)



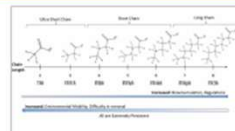
Peter Wessels- Water Consultant
(Peter.Wessels@nijhuisindustries.com)



Rebecca Shawle- R&D Engineer
(Rebecca.Shawle@nijhuisindustries.com)

The PFAS Challenge: Concentration + Destruction = Complete solution

PFAS (poly- and perfluoroalkyl substances) are over 9,000 synthetic chemicals with strong carbon-fluorine bonds. They pose a significant environmental and health risk due to their persistence and toxicity. Especially the short chain ones (with <6 carbon atoms) are particularly hard to be removed.



Choice of technology depends on:

- Chain length and initial PFAS concentration
- Water matrix
- Targeted effluent quality



Next to conventional Activated Carbon and (single use) Ion Exchange, NSI offers a comprehensive portfolio of concentration technologies:

- Ion exchange (**regenerable**): Concentrates short chain PFAS in a very small volume
- Reverse Osmosis: Effective and compact solution to concentrate PFAS both long and short chain
- PFAS FoamFrac™: Selective concentration of PFAS through the adsorption at the air-liquid interface of bubbles. Works well for mid and long chain PFAS, as concentration step.

PFAS FoamFrac™ highlights:

- Whole reactor under vacuum which enhances gas-liquid reactions and process reliability
- Can be constructed in one or several stages in series to increase the concentration factor from 200 up to 1000+ times



Typical PFAS Treatment train



Energy requirement: 0,2 to 0,6 kWh/m³

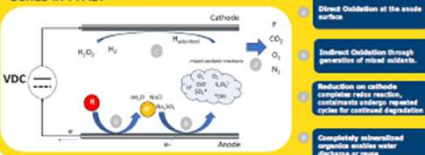
TOTEX (10 year) range: 0,6 to 1,2 €/m³ for a 2000 m³/h plant with a 500x concentration factor

#missionwater

PFAS Destruct™ highlights:

Proven (TRL 9) technology which applies an electrical current to electrodes submerged in the contaminated effluent generating reactive species that break down the strong fluorine bonds in PFAS.

axine



Results PFAS references

PFAS Compound	Concentration	Initial Concentration	Final Concentration	Reduction Factor	Energy Requirement (kWh/m³)	Operating Time (h)	Operating Cost (€/m³)	Operating Cost (€/m³)	Operating Cost (€/m³)	Operating Cost (€/m³)
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorodecanesulfonic acid (PFDS)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorododecanoic acid (PFDDA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorododecanesulfonic acid (PFDDSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotetradecanoic acid (PFTDA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotetradecanesulfonic acid (PFTDSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorohexadecanoic acid (PFHDA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorohexadecanesulfonic acid (PFHDSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanoic acid (PFSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroseptadecanesulfonic acid (PFSSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorooctadecanesulfonic acid (PFODSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanoic acid (PFNA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorononanesulfonic acid (PFNSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanoic acid (PFUUA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoroundecanesulfonic acid (PFUUSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanoic acid (PFTTA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluorotridecanesulfonic acid (PFTTSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanoic acid (PFPA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
Perfluoropentadecanesulfonic acid (PFPSA)	100 mg/L	100 mg/L	10 mg/L	10x	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2



Say goodbye to PFAS, Van labo naar volle schaal oplossing

Daniels H.¹, Lenaic D.¹, Bleeckx D.¹, Schnongs P.¹, Caluwé M.^{1,2},

¹ Waterleau Group NV - Nieuwstraat 26,
3150 Wespelaar, Belgium

² Corresponding author, michel.caluwe@waterleau.com



INTRODUCTIE

How can we protect the environment from PFAS and thereby the economic impact of PFAS?

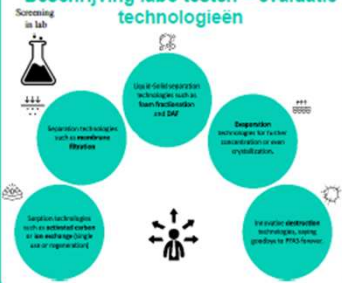
CASE = tank reinigingsbedrijf in de haven van Antwerpen

Eenkele cijfers:

- 1000 m³ tank-reinigingsafval
- Concentraties korte keten PFAS 2.000 – 50.000 ng/L voor PFBSA
- COD behandelde water 200 – 400 mgO₂/L
- Zoutgehalte 10.000 – 20.000 µS/cm



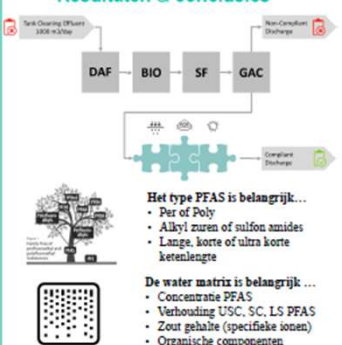
Beschrijving labo testen – evaluatie technologieën



Vervolg stappen: PFAS test bench!



Resultaten & conclusies



Het type PFAS is belangrijk...

- Per of Poly
- Alkyl zuren of sulfon amides
- Lange, korte of ultra korte ketenlengte

De water matrix is belangrijk...

- Concentratie PFAS
- Verhouding USC, SC, LS PFAS
- Zout gehalte (specifieke ionen)
- Organische componenten

Technische en economische haalbaarheid:

- Sorptie: GAC & Resin beperkt aantal bedroevings * hoge open kost
- Membranen: goede rechte en opconcentratie met een factor 4
- Vast-vloeistof scheiding: Schuim fractiërings en dissolved air flotation (DAF): verwijdering enkel lange keten
- Evaporatie: niet economisch haalbaar op deze schaal
- Destructie: succesvol PFAS destructie gedemonstreerd



Nieuws: zuiver drinkwater!



stowa

PFAS

Waterleau: PFAS-Test Bench: From lab tests to full-scale solutions (Michel Caluwé)

WATERLEAU

BECAUSE EVERY DROP COUNTS

www.waterleau.com

De AquaSampler... meten waar en wanneer
u wilt met een compacte monstername-unit

debietproportioneel | monsterconservering | aansturing met camera



Sanitas Water

Kennis van gezond waterbeheer

Peter Overvest — 0624198844

Peter.Overvest@Sanitas-Water.nl

stowa

PFAS

Sanitas Water:

De AquaSampler... met een
compacte monstername-unit
PFAS meten, waar en wanneer
u wilt
(Peter Overvest)

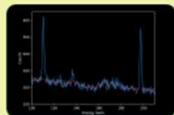
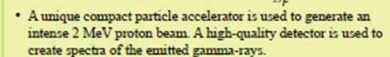


Total PFAS Screening

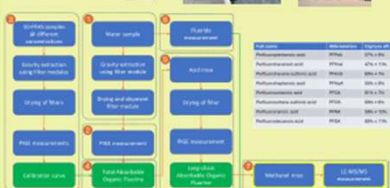
Summary

- Current methods to measure PFAS are expensive, take a long time and typically only cover a small percentage of all types of PFAS.
- Forever Analytical has developed a new measuring technique for total PFAS based on Particle-Induced Gamma-ray Emission (PIGE) Spectroscopy.
- The method combines a simple extraction method or direct measurement of various types of samples: water, soil, air, concrete, products such as clothing, toys, cosmetics and food preparation.
- The technique is fast (1-3 minutes), very sensitive (4 ppt), accurate (5-10%), simple (no lab required) and cheap. It can also be used for inline PFAS measurements.

- Nuclear interactions are used to determine atomic composition of materials. Here, protons are accelerated and interact with fluorine atoms.



- For water samples, a sample kit is shared with customer, containing a filter module, water bag and instructions.
- PFAS is extracted using an activated carbon fiber felt (ACFF) filter module [1].



Downloaded from <http://www.sagepub.com> at NANYANG TECH UNIV LIBRARY on June 11, 2015

Location	Total ADF (µg/g dwt)	Total ADF (µg/g dwt)	Residue Chlorine (µg/g dwt)	Residue Chlorine (µg/g dwt)	PAH (µg/g dwt)	PAH (µg/g dwt)
Atmosphere	38.1 ± 33.0	21.8 ± 15.8	16.3 ± 8.8	7.0 ± 5.8		
Groundwater	108.7 ± 14.1	97.3 ± 16.1	12.8 ± 1.1	12.4 ± 1.1	90.8 ± 13.7	232.2 ± 23.7
Sediment	85.3 ± 18.3	62.8 ± 16.3				

All values are in ng/liter (ppt)

All values are in ng/liter (ppt)

Location	AGE Unexposed	AGE Exposed
Location 1 (3902) - effluent	1215 ± 202	1446 ± 207
Location 2 (3902) - effluent	2176 ± 440	2671 ± 400
Location 3 (3902) - effluent	1946 ± 197	3603 ± 191
Location 4 (3902) - effluent	1508 ± 117	1230 ± 207
Location 5 (3902) - effluent	1104 ± 215	1686 ± 204
Location 6 (3902) - effluent	5648 ± 362	10133 ± 302



All values are in ng/liter (ppt)

Location	Second (pre-1950)	Lowest (post-1950)	Peak (pre-1950)	Peak (post-1950)
Alameda County, California	100%	100%	100%	100%

All values are in ng/liter (ppt). * samples were not detected

- Fire fighting gear contains up to 2% PFAS [2].
- Up to 50% of food packaging contains PFAS [3].
- Baby car seats contain PFAS [4].
- Cosmetics contains PFAS, foundations, mascaras, and lip products have the highest proportion [5].

- Fire fighting gear contains up to 2% PFAS [2].
- Up to 50% of food packaging contains PFAS [3].
- Baby car seats contain PFAS [4].
- Cosmetics contains PFAS, foundations, mascaras, and lip products have the highest proportion [5].

Contact: cdatema@foreveranalytical.com

Contact: cdatema@foreveranalytical.com

Forever Analytical:
total PFAS meettechniek op
basis van Particle-induced
Gamma-ray Emission
Spectroscopy
(Cor Datema)



Jesse Goed

jesse.goed@wur.nl

Motivation

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a class of compounds that is known for their hydrophobicity and oleophobicity. These properties make them useful in many consumer products, including non-stick coatings, firefighting foams, and food packaging. However, their extremely high stability and mobilization by water, cause them to accumulate in biological systems and humans. Despite low environmental concentrations (ng/L), they cause immune disorders, cancers, and birth defects in humans. [1]

PFAS cleanup can be performed by adsorption from water. Currently, water treatment plants adsorb PFAS using Granular Activated Carbon (GAC), because it is cheap. However, GAC is non-selective, breaks through quickly, and requires thermal, off-site regeneration. Non-selectivity is detrimental, because it results in competition with natural organic matter. [2] Thus, there is a need for highly specific PFAS adsorbents.

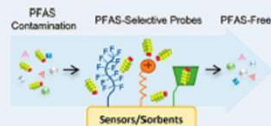


Figure 1. A PFAS adsorbent should be compatible with environmental water, which means that natural organic matter adsorption should be prevented. [3] Our group discovered that a type of macrocycle (called pillararenes) strongly and specifically binds the two most common PFAS compounds, PFOS and PFOA. This results in a Pillararene-PFAS complex (PIP), see Figure 2. Immobilization of pillararenes onto a commercial resin resulted in a PFAS adsorbent with high breakthrough capacity for PFOS (90 mg/g) and PFOA (80 mg/g). Crucially, the resin can be regenerated using salty (0.1 g/L) methanol. [4]

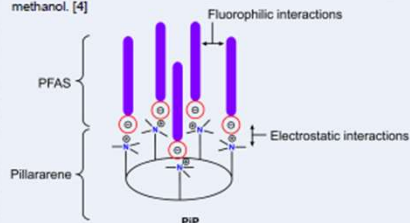


Figure 2. Electrostatic and fluorophilic interactions allow five PFAS molecules to bind on the rim of a pillararene.

Research goals

Fundamentals of PIP formation are poorly understood. This understanding is paramount for the design of a next generation of PFAS-adsorbing pillararenes. These pillararenes should have an extensive PFAS scope and increased PFAS binding strength, while retaining PFAS selectivity and regenerability.

We have formulated the following objectives for our work:

- Design and synthesize new pillararenes and evaluate their binding strengths towards different PFAS.
- Perform computational studies on PIP binding mechanisms to discover what interactions are responsible for PIP formation.
- Implement knowledge on PIP mechanism to design a next generation of PFAS adsorbents.
- Collaborate with the Wetsus-WUR project of Rick Nooijen, in which we investigate what pillararene functionalized surfaces perform best as PFAS adsorbent.



Figure 3. Questions related to our research objectives. We aim to understand the mechanism of PIP formation, and use this knowledge to design a next generation of pillararenes.

Technological challenges

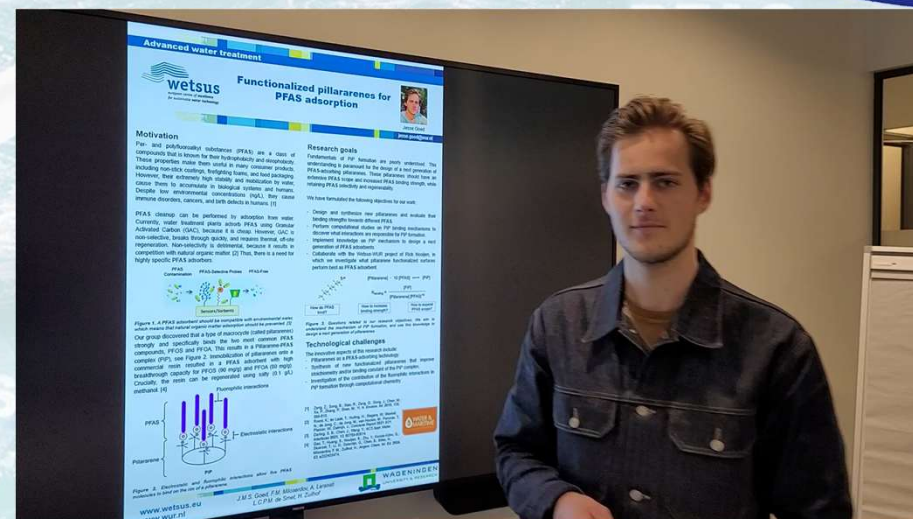
The innovative aspects of this research include:

- Pillararenes as a PFAS-adsorbing technology.
- Synthesis of new functionalized pillararenes that improve stoichiometry and/or binding constant of the PIP complex.
- Investigation of the contribution of the fluorophilic interactions in PIP formation through computational chemistry.

- [1] Zeng, Z.; Song, B.; Xiao, R.; Zeng, G.; Gong, J.; Chen, M.; Xu, P.; Zhang, P.; Shen, M.; Yi, H. *Environ. Int.* 2019, 120, 599-610.
- [2] Roest, K.; ter Laak, T.; Hutting, H.; Olegers, W.; Meekel, N.; de Jong, C.; de Jong, M.; van Houten, M.; Panoras, T.; Plaisier, W.; Dalmijn, J.; Concawe Report 2021 S27.
- [3] Darling, S. B.; Chen, J.; Wang, Y.; *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 50789-50814.
- [4] Gao, T.; Huang, S.; Nooijen, R.; Zhu, Y.; Kodok-Kohn, G.; Stuerzer, T.; Li, G.; Salentijn, G.; Chen, B.; Bitter, H.; Miloserdov, F. M.; Zuilhof, H.; *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63, e202403474.



stowa



Wetsus en Wageningen University & Research: Functionalized pillararenes for PFAS adsorption from water (Jesse Goed)



Rick Nooijen

rick.nooijen@wetsus.nl, rick.nooijen@wur.nl

Motivation

PFAS are a global problem for water quality and safety, considering the persistent risk PFAS pose to human health. Therefore, there is an urgent need for effective PFAS removal. Granular activated carbon adsorption is the standard method applied in water treatment to remove organic pollutants, but it is inefficient for removing PFAS. Consequently, alternatives like anion-exchange resins and clays are being explored. However, small perfluoroalkyl acids, like PFBA, cause early failure of the adsorbent.[1]

Recently, certain cationic, macrocyclic pillar[5]arenes (P5) (Figure 1) have proven to be promising adsorbents that offer a new approach. P5 immobilized on resin beads has unique affinity, selectivity and capacity for the capture of PFOA and PFOS in continuous-flow systems.[2] Some interactions between P5 and PFAS that might play a role are shown in Figure 2.

Technological challenge

The promising results of P5-resin encourage to develop P5-based adsorbents or other methods into a real-world applicable system. Broadening P5 application first requires study of appropriate materials to immobilize P5 onto. The functionalized material must be stable: P5 should not be damaged during use. Thereafter, suitable P5-functionalized materials must be tested on a small scale to elucidate kinetics of the P5-PFAS binding mechanism and robustness against salt and fouling by natural organic matter. Regeneration is important to optimize, because reusability of the adsorbent is paramount for cost-efficiency. Lastly, a P5-based system will have to be scaled up. At this step, it is expected that pre-treatment and operational parameters are the major focus.[3][4]

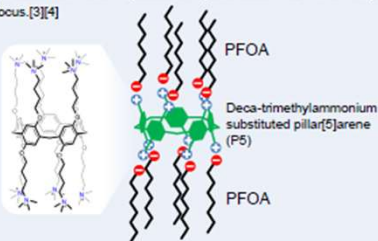


Fig 1. P5 forming a complex with 10 PFOA molecules.

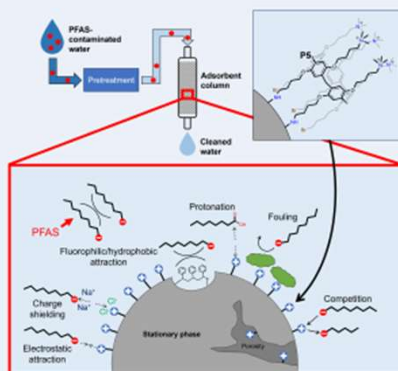


Fig 2. Different kind of interactions and properties that may be at play in a P5-modified resin packed-bed column tested in prior research [2].

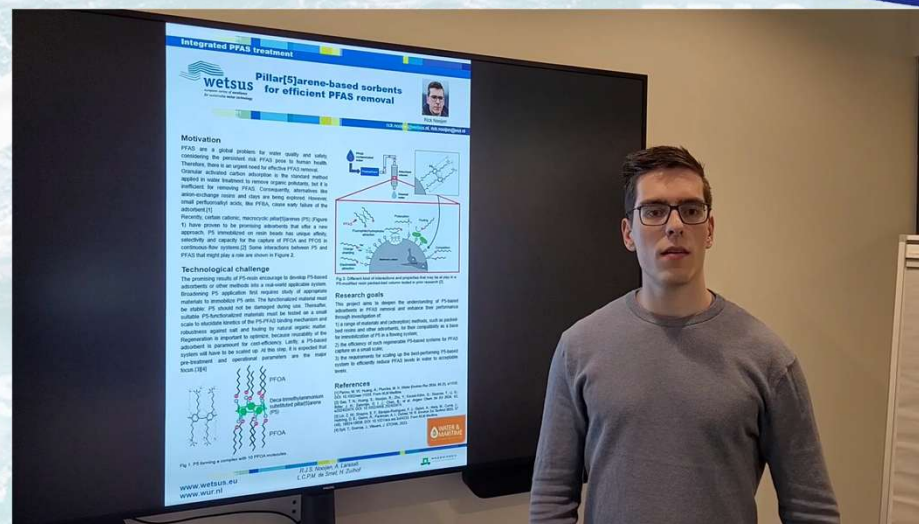
Research goals

This project aims to deepen the understanding of P5-based adsorbents in PFAS removal and enhance their performance through investigation of:

- 1) a range of materials and (adsorption) methods, such as packed-bed resins and other adsorbents, for their compatibility as a base for immobilization of P5 in a flowing system;
- 2) the efficiency of such regenerable P5-based systems for PFAS capture on a small scale;
- 3) the requirements for scaling up the best-performing P5-based system to efficiently reduce PFAS levels in water to acceptable levels.

References

- [1] Panu, M. W.; Huang, A.; Plumley, M. H. *Water Environ Res* 2024, 96 (5), e11035. DOI: 10.1002/wer.11035. From NLM Medline.
- [2] Gao, T. N.; Huang, S.; Nooijen, R.; Zhu, Y.; Kooch-Kohn, G.; Stuerzer, T.; Li, G.; Bitter, J. H.; Salenfin, G. I. J.; Chen, B.; et al. *Angew Chem Int Ed* 2024, 63, e202403474. DOI: 10.1002/anie.202403474.
- [3] Lin, Z. W.; Shapiro, E. F.; Barajas-Rodriguez, F. J.; Galsin, A.; Atela, M.; Currie, J.; Heibling, D. E.; Gahrn, R.; Packman, A. I.; Dichtel, W. R. *Environ Sci Technol* 2023, 57 (48), 19624-19636. DOI: 10.1021/acs.est.3c04233. From NLM Medline.
- [4] Spit, T.; Goense, J.; Viers, J. STOWA, 2023.



Wetsus en Wageningen University & Research: Pillar[5]arene-based sorbents for efficient PFAS removal (Rick Nooijen)

**PAUZE en bezoek postersessie
tot 11:30**

stowa

