

PFAS verwijderen uit industriële afvalwater

Thema-avond water



Welkom!

Veerle Depuydt, VITO Kennispunt Water



Agenda

18.40 Wetgevend kader

Lut Hoebeke, VMM

19.10 Onderzoeksresultaten TETRA-project

Koen Goossens, UAntwerpen en Bartel Devos, UGent

19.40 Bezoek aan de innovatiebeurs

21.00 Netwerkreceptie



Wetgevend kader voor PFAS (en andere ZS)

Lut Hoebeke
20 maart 2025

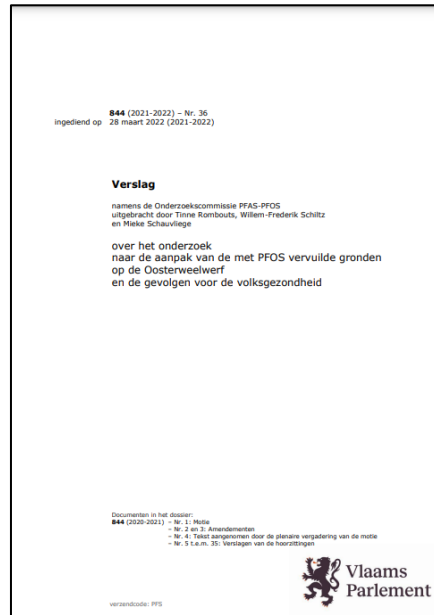
VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ

Inhoud

- PFAS in Vlaanderen
- Dochterrichtlijn Prioritaire stoffen
- Kaderrichtlijn Water
- PFAS in de vergunningen
- Waterzuiveringstechnieken voor PFAS
- Kenniscentrum innovatieve technieken (KIS)
- Meetmethodes voor PFAS
- Van PFAS naar ZS
- VLAREM trein bedrijfsafvalwater
- Richtlijn industriële emissies
- Zorgwekkende stoffen in Vlaanderen

PFAS in Vlaanderen

➤ PFAS crisis 2021



- ✓ Versterkte samenwerking binnen Vlaamse overheid
- ✓ Intense samenwerking tussen de luiken milieu, natuur en gezondheid
- ✓ Beleid dient verruimd te worden naar het geheel van zorgwekkende stoffen

Dochterrichtlijn Prioritaire stoffen (in herziening)

➤ Nieuwe voorstel : groepsnorm voor 24 PFAS

		JG-MKN OW als PFOA equivalent	JG-MKN biota als PFOA equivalent
Huidig	PFOS	0,00065 µg/l	9,1 µg/kg nat gewicht
Voorstel	Som 24 PFAS	0,0044 µg/l	0,077µg/kg nat gewicht

Kaderrichtlijn Water

KRW heeft dubbel doel

- Geen achteruitgang van de toestand
- Verbetering van waterlichamen met het oog op het halen van de goede toestand onder (voorbehoud van de uitzonderingsregimes)

Beide doelstellingen zijn evenwaardig

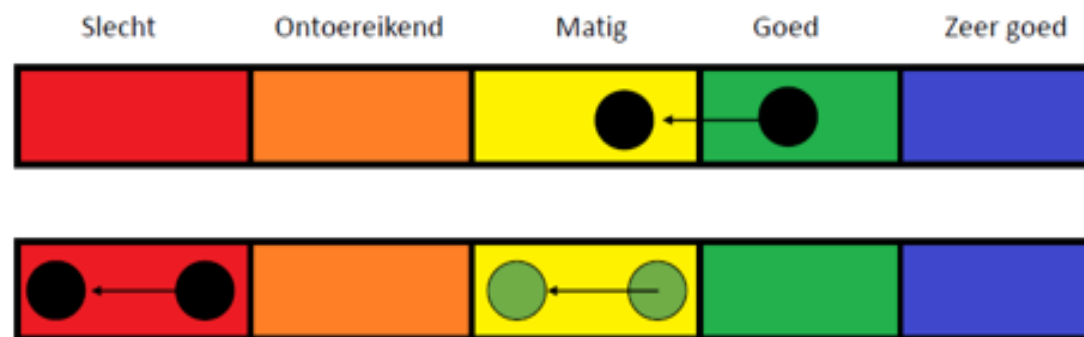
- Moeten voorafgaand aan elke vergunning beoordeeld worden

Kaderrichtlijn Water

Het Wezerarrest (en een aantal latere arresten) hebben uitgelegd wat moet verstaan worden onder “achteruitgang van de toestand”

=> zeer strikte interpretatie

- Indien 1 van de kwaliteitselementen een klasse achteruitgaat
- Indien reeds in de laagste klasse: elke concentratiestijging moet beschouwd worden als achteruitgang
- Marge binnen een klasse = geringe impact



Het idee van de ‘balk’ is ontleend aan J. Van Kempen, ‘*Wat zijn de milieudoelstellingen van de KRW en hoe werken ze door naar het Nederlandse recht*’, VMR-leergang, 2-2-2023

Kaderrichtlijn Water

Voor heel wat gevaarlijke stoffen (PFAS, PAKs, fosfor, zouten, kobalt...) bevinden een groot aantal Vlaamse waterlichamen zich momenteel in de laagste klasse.

- **Bestaande bedrijven** hebben verbeterverplichting richting zuivering tot MKN
 - afwijkingsregimes voorzien in KRW – minder strenge doelstelling (doelfasering)
- **Nieuwe bedrijven en uitbreidingen van de geloosde vracht** niet meer mogelijk (tenzij zuivering tot MKN) omdat deze achteruitgang veroorzaken
 - toepassing systeembenadering

PFAS in de vergunningen

- Alle PFAS-verbindingen dragen bij tot de totale PFAS-impact moeten ze **als groep bekeken**.
- Alle PFAS zijn aangemerkt als **prioritair gevaarlijke stof** => de lozing ervan moet stopgezet of geleidelijk beëindigd worden.
- De route **secundaire vergiftiging van de mens** door het opnemen van in het water levende organismen is doorslaggevend.
- De metingen van PFOS tonen aan dat de **normen sowieso ruimschoots overschreden** zullen worden.
- Elke bijkomende lozing van PFAS zal dus leiden tot een druk die de **draagkracht van het aquatische ecosysteem overschrijdt** en de facto een achteruitgang van de toestand veroorzaken.
- **Ook voor PFAS die niet op de lijst** van de 24 perfluorverbindingen staan, kan deze redenering doorgetrokken worden.
- **Uitfasering of vergaande zuivering (BBT+)** dringt zich dan ook op voor deze stoffen.
- Er moet zover als mogelijk gezuiverd worden. De huidige **rapportagegrens** per individuele component geldt hierbij als **richtwaarde**.

PFAS in de vergunningen

1ste ronde van herzieningen (2021-2022):

Alle bestaande vergunde PFAS-lozingen aangescherpt:

- Op basis van concrete meetgegevens
- Beperkt tot 2 jaar
- Verplichtingen tot extra metingen
- Optimalisatie van de zuiveringstechnieken en preventieve maatregelen met het oog op het behalen van de rapportagegrenzen
- Regelmatige rapportage aan de overheid over de meetgegevens, de voortgang en het plan van aanpak.

PFAS in de vergunningen

2^{de} ronde van herzieningen (2023- 2024)

- Lange keten PFAS => RG
- Korte en ultra korte keten PFAS : overgangperiode beperkt tot 2 jaar en enkel mogelijk indien:
 - belangrijke reductie-inspanningen zijn geleverd
 - duidelijke reductie van de geloosde vrachten is bereikt
- Maandelijks metingen
- Verdere optimalisatie van de zuiveringstechnieken en preventieve maatregelen met het oog op het behalen van de rapportagegrenzen
- Regelmatige rapportage aan de overheid over de meetgegevens, de voortgang en het plan van aanpak.

Waterzuiveringstechnieken voor PFAS

- **Meest gangbare technieken :**

- ⇒ Eén of meer actief kool kolommen, al of niet in combinatie met ionenuitwisseling en membraan gebaseerde technieken.

- Voor lange keten PFAS : concentraties < huidige rapportagegrenzen
- Voor korte PFAS : minder goede rendementen en concentraties meer variabel

- **Optimalisatie van gangbare technieken:**

- ⇒ Microporeuze actief kool


- ⇒ Regeneerbare harsen

- ⇒ Een dedicated actief kool filter als laatste in serie in de zuiveringstrein die niet wordt doorgeschoven

- ⇒ Proces sturen op de doorbraak van korte ketens

- **Innovatieve technieken of innovatieve combinaties** worden volop uitgetest, met speciale aandacht voor korte (en ultrakorte PFAS)

Kenniscentrum innovatieve saneringstechnieken (KIS)

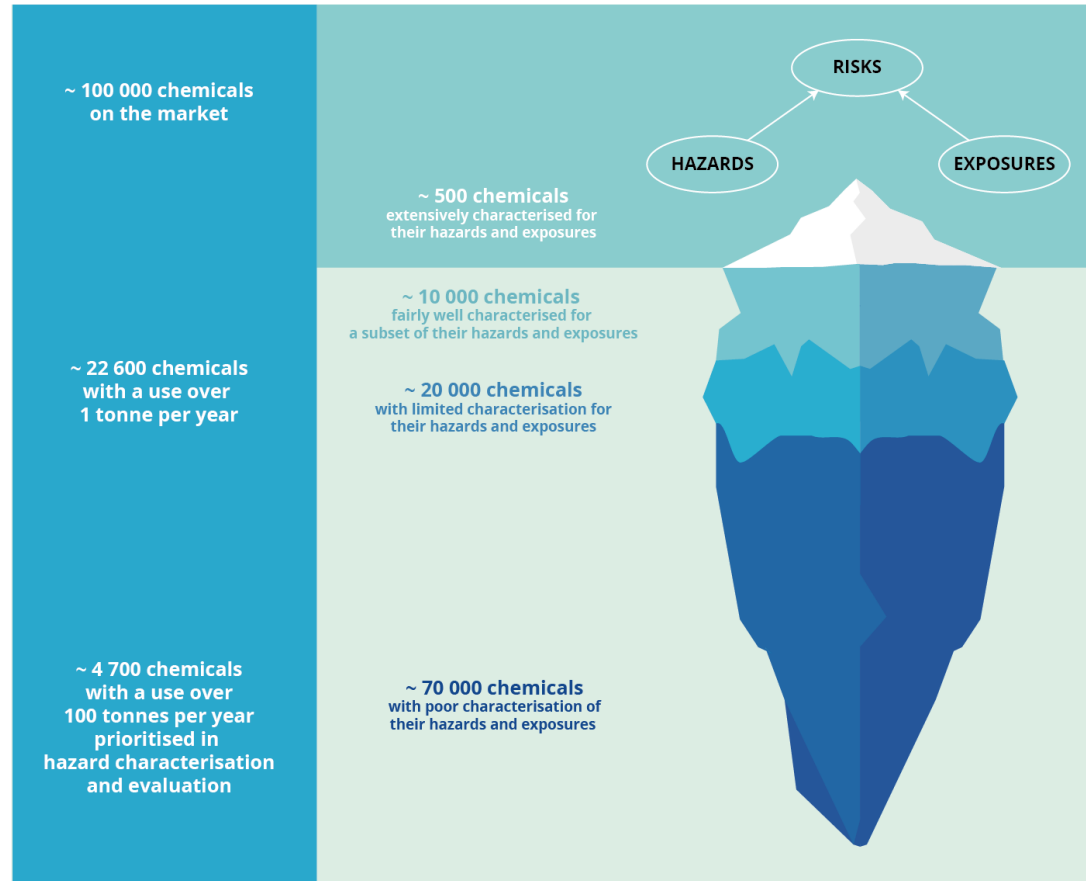
Oproep	Acronym (start)	Titel onderzoeksproject	Technologie
2023	PLANTS (8/2024)	Safeguarding Soil with Plants: exploring phytoremediation for PFAS cleanup (lager TRL)	Fytoremediatie (met additieven)
1 st oproep: CIST-2024-I	INSERT (12/2024)	Integratie van sociale en ecologische criteria voor het herstellen van PFAS-vervuilingen (transversaalproject)	
	P-FRESCO (12/2024)	Plasma and Foaming-based Remediation with Enhanced Chemical Screening for PFAS (grondwater)	Opconcentratie via schuim + destructie met niet thermisch plasma (NTP)
	PIGGS (12/2024)	PFAS-Immobilisatie voor Grond- en Grondwatersanering en Screening (Bodem)	In-situ Immobilisatie in bronzone
	HEMP4PFAS (11/2024)	Fytoremediatie met industriële hennep als innovatieve saneringstechniek voor mild (Bodem)	Fytoremediatie (met additieven) gekoppeld aan verdienmodel
	InsuFix (12/2024)	Onderzoek naar de haalbaarheid van in situ stabilisatie van PFAS door injectie van organoklei (Bodem)	In situ Immobilisatie in bronzone
	MembRix (12/2024)	Ontwikkeling en demonstratie van een proces dat regenerereerbare ionenuitwisselings- en membraantechnologie combineert voor de verwijdering van PFAS in het afvalwaterbeheer van de industriële wasserijsector (afvalwater)	Nanofiltratie + regenerereerbare harsen
	 IPS@TACK (11/2024)	Innovatieve PFAS sanering @ TACK (bedrijfsafvalwater)	Opconcentratie met membranen + destructie met niet-thermisch plasma (NTP) + polishing sorbentia

Meetmethodes voor PFAS

- **Stofspecifiek**
 - ⇒ WAC025 : rapportagegrenzen : 20-50 µg/l
 - ⇒ WAC026 (ultrakorte PFAS) : hogere rapportagegrenzen
- **Groepsparameters**
 - ⇒ Er moet nog een keuze gemaakt worden (TOF, AOF, EOF, TOPA)
- **Non target screening en suspect screening**
 - ⇒ Onderzoeksprojecten bij VITO zijn veelbelovend

Een combinatie van analysetechnieken is aan te raden

Van PFAS naar Zorgwekkende Stoffen (ZS)



- Conceptnota Visie Zeer Zorgwekkende Stoffen -
 - Mededeling VR 14/7/2023
- Gezondheidsdoelstelling Milieugezondheidszorg (o.a. ZS) (VR: 1/3/2024)
- Vlaams regeerakkoord ZS: voorkomen, aanpakken en beheersen van vervuiling
- Beleidsplan ZS in ontwikkeling...

VLAREM trein bedrijfsafvalwater

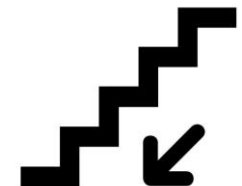
- Sectorale lozingsnormen voor PFAS voor de textielsector worden geschrapt
- Cascadebenadering met indelingscriterium, milieurisicogrens, rapportagegrens en bepalingsgrens
- Opstellen en actueel houden van een overzicht afvalwaterstromen
 - => 1^e keer principieel goedgekeurd werden in september 2022
 - => stap richting 2^e principiële goedkeuring nog niet gezet

VLAREM trein bedrijfsafvalwater

Aanbeveling 18 Parlementaire onderzoekscommissie PFAS:

De wetgeving m.b.t. vergunningsplicht voor het lozen van gevaarlijke stoffen wordt verduidelijkt en aangescherpt.

Cascade:



VLAREM trein Bedrijfsafvalwater

Aanbeveling 21 Parlementaire Onderzoekscommissie: Stoffenbalans

Een aan de vergunning gekoppelde totale stoffenbalans dient te worden uitgewerkt. Dit zorgt ervoor dat de relevante bevoegde overheden informatie ter beschikking hebben m.b.t. gebruik en emissies van gevaarlijke stoffen.

- ⇒ Overzicht afvalwaterstromen (VLAREM trein bedrijfsafvalwater)
- ⇒ Inventaris chemische stoffen (reeds opgenomen in de herziene Richtlijn Industriële emissies)

VLAREM trein Bedrijfsafvalwater

Overzicht afvalwaterstromen

De emissies naar water in kaart brengen door het opstellen en actueel houden van een overzicht van de afvalwaterstromen. Wanneer er een impact is op de lozing door wijzigingen in het productieproces of in de gebruikte (grond)stoffen, of doordat tot nu toe ongekennde gevaarlijke stoffen worden vastgesteld, moet het overzicht zo snel mogelijk worden aangepast.

=> Reeds in aanvraagformulier voor het indienen van een omgevingsvergunning.

- R3: afvalwaterstromen beschrijven
- R3B: karakteristieken van het geloosde bedrijfsafvalwater per lozingspunt te vermelden (alle relevante gevaarlijke stoffen, met als zonder kwaliteitsnormen)

Richtlijn Industriële Emissies

Inventaris chemische stoffen

- **Artikel 14bis2.d)**

- Een inventarisatie van de gevaarlijke chemische stoffen die in de installatie aanwezig zijn of daaruit worden uitgestoten als zodanig, als bestanddeel van andere stoffen of als onderdeel van mengsels, met bijzondere aandacht voor de stoffen die voldoen aan de criteria van artikel 57 van Verordening (EG) nr. 1907/2006 en stoffen die onder de in bijlage XVII bij Verordening (EG) nr. 1907/2006 bedoelde beperkingen vallen
- en een risicobeoordeling van de gevolgen van die stoffen voor de menselijke gezondheid en voor het milieu, alsmede een analyse van de mogelijkheden om ze door veiliger alternatieven te vervangen of het gebruik of de emissies ervan te verminderen

- **Artikel 14.1.a) ter: Zorgwekkende stoffen in de vergunning**

- Passende voorschriften voor de beoordeling van de noodzaak van het voorkomen of verminderen van de emissies van stoffen die voldoen aan de criteria van artikel 57 of stoffen die onder de in bijlage XVII bij Verordening (EG) nr. 1907/2006 bedoelde beperkingen vallen

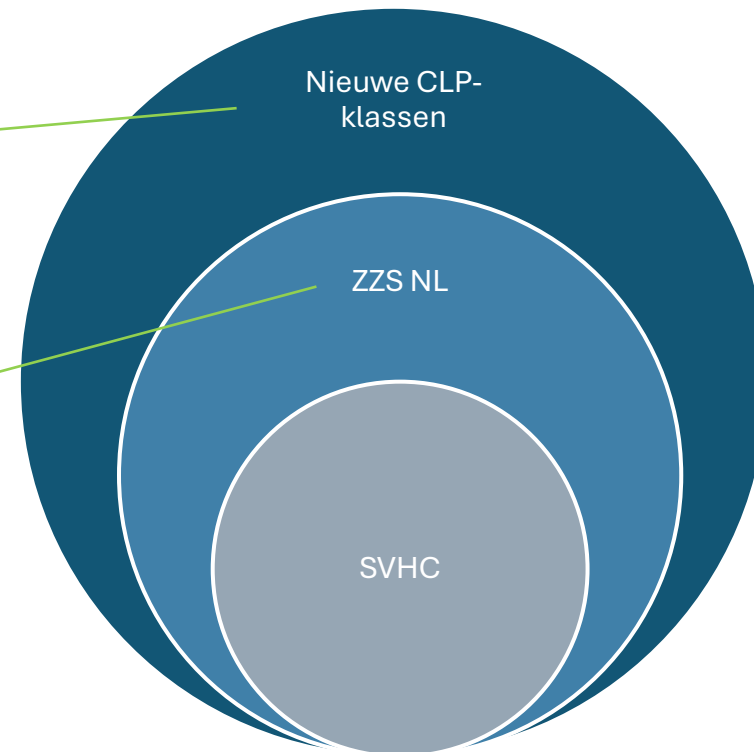
Zorgwekkende stoffen in VL - PFAS

- Definitie ZS
- Lijst ZS

Nieuwe CLP-classes
2. ED HH/ENV
3. PMT/zPzM

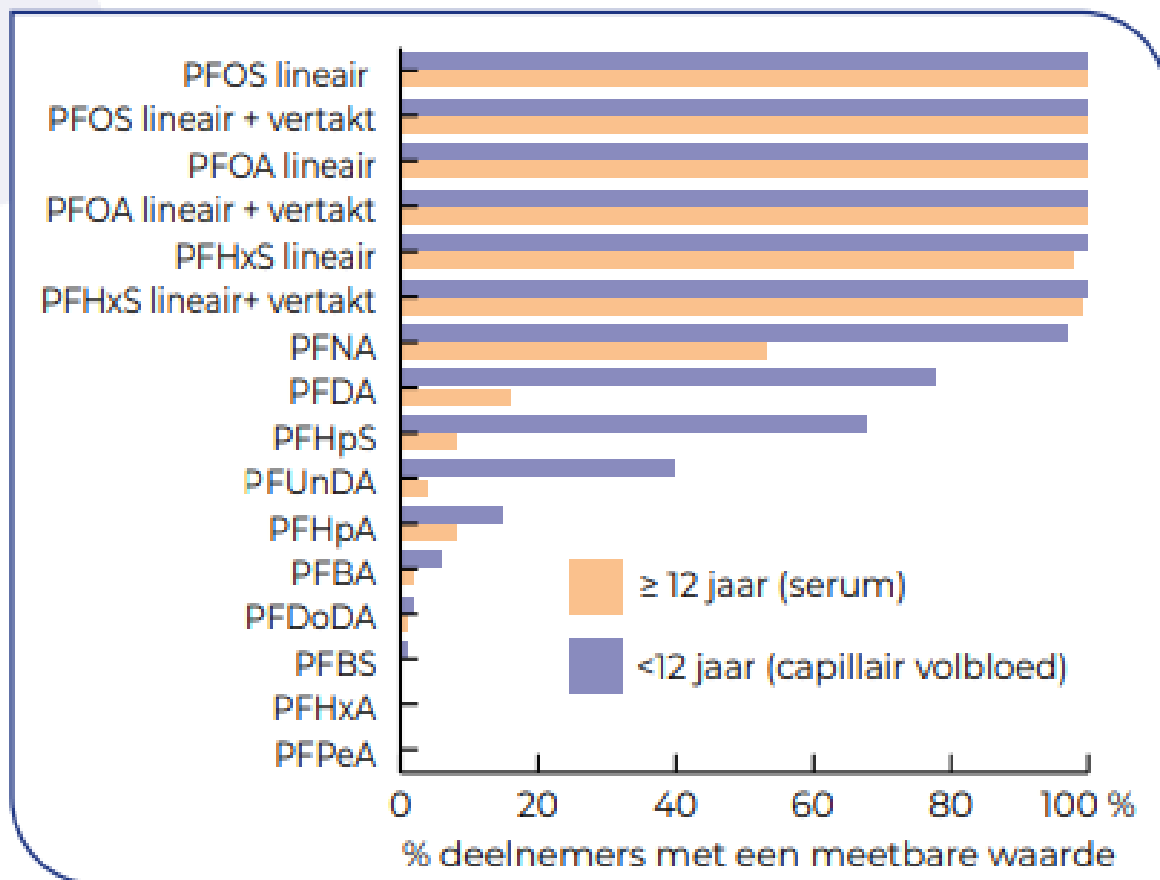
Stoffen die voldoen aan art 57 REACH

1. CLP: CMR 1A/1B stoffen (bijlage VI)
2. REACH kandidaatlijst SVHC voor autorisatie
3. REACH restrictielijst (bijlage XVII)
4. POP verordening gelijkwaardige stoffen
5. OSPAR lijst stoffen voor prioritaire actie
6. Prioritaire stoffen KRW
7. Stoffen die voldoen aan ED criteria



Groepsresultaten bloedonderzoek (Dep. Zorg)

Detectiefrequenties (%) voor alle PFAS-componenten gemeten bij de deelnemers van het grootschalig bloedonderzoek PFAS



VRAGEN?



PFAS verwijdering uit industrieel afvalwater

Resultaten van het VLAIO TETRA project

Koen Goossens, Srishti Singh, Bartel Devos, Kristof Demeestere, Lieven Bervoets, Stijn Van Hulle & Jan Dries

“excuses dat ik er niet bij kan zijn, maar
Koen Goossens zal de presentatie geven”
(Jan Dries, UAntwerpen)

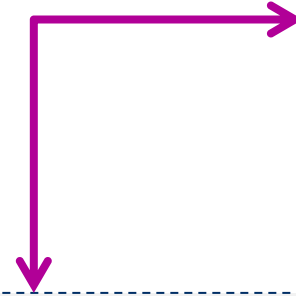
“stel hem gerust
lastige vragen!”



TETRA... wasda?!



begeleidingsgroep



“vertaal” onderzoek



bestaande
kennis



implementatie



Begeleidingsgroep

- Federaties
- Eindgebruikers
- Technologie leveranciers
- Consultants



*Commissie Tank Cleaning v.z.w.
Commision Tank Cleaning a.s.b.l.*



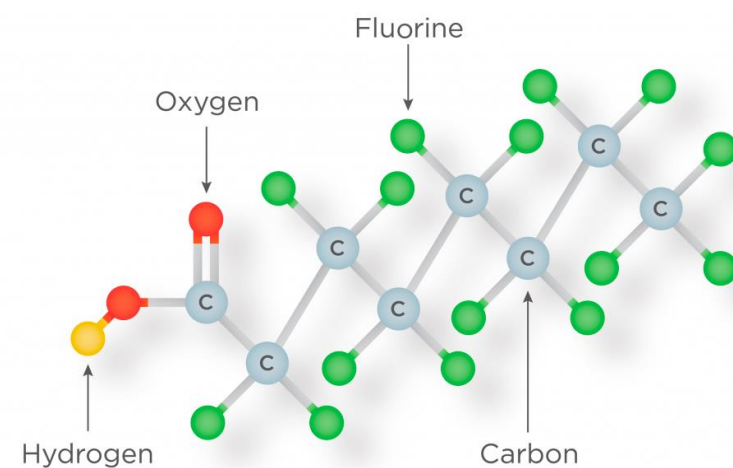


Onderzoeksgroepen

- UGent – LIWET
 - Stijn Van Hulle
 - Kristof Demeestere
 - Bartel Devos
- UAntwerpen – BioWAVE
 - Jan Dries
 - Koen Goossens
 - Srishti Singh
- UAntwerpen – ECOSPHERE
 - Lieven Bervoets
 - Freddy Dardenne
 - Thimo Groffen



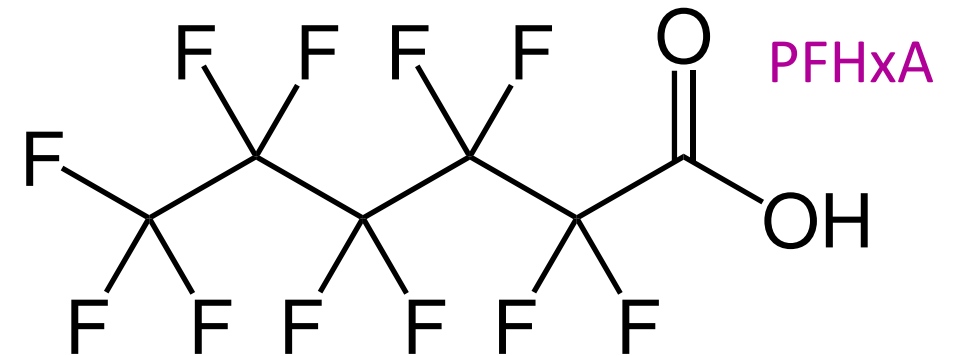
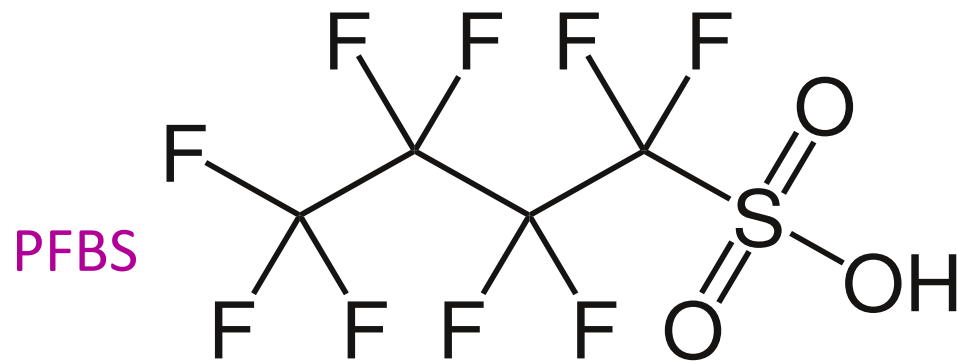
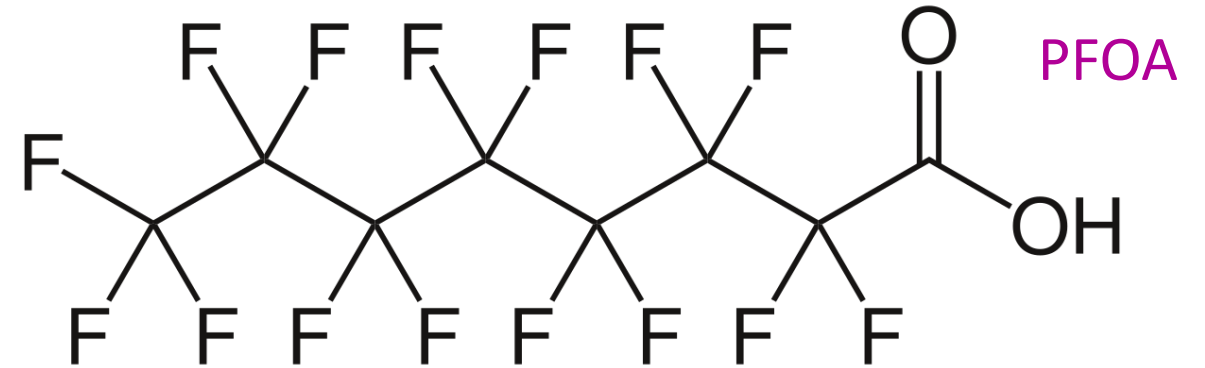
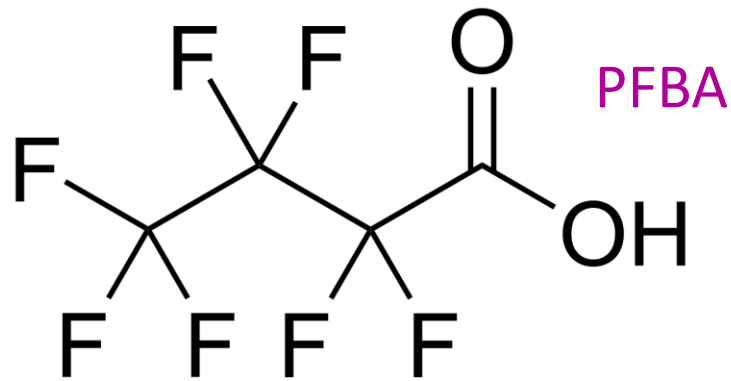
Doelstellingen



- Laboschaal evaluatie en optimalisatie van bestaande PFAS **destructie** technologieën voor...
 - Industriële effluenten
 - membraan concentraatstromen (NF, RO)
- Inschatting van de opschalingsvoorwaarden
- Bepaling van het gedrag van PFAS in een industriële actief slib installatie
- Actieve betrokkenheid van studenten (cursussen, projecten, eindwerken...)

Gesimuleerd effluent

- 4 PFAS



Technologie screening

- Gesimuleerd effluent +PFAS @ 1 µg/L

Technologie		Destructie	Wie?
ECF	Electro Coagulatie Flotatie	-	UGent
NF	Nanofiltratie	-	UGent
RO	Omgekeerde Osmose	-	Derde partij
AOP	Geavanceerde Oxidatie Processen	X	UGent
ARP	Geavanceerde Reductie Processen	X	UGent
EO	Elektro Oxidatie	X	UAntwerpen

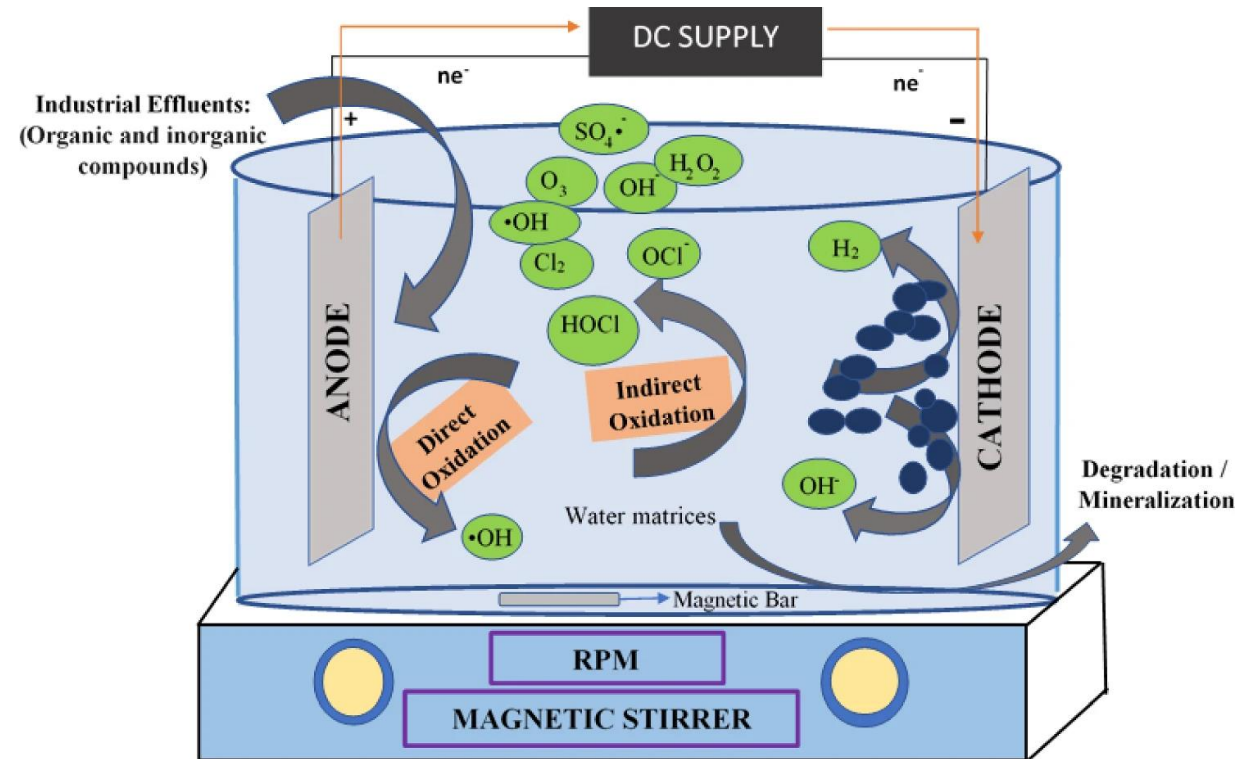
Technologie screening

- Selectie op basis van literatuuronderzoek

Technologie		Destructie	Wie?
ECF	Electro Coagulatie Flotatie	-	UGent
NF	Nanofiltratie	-	UGent
RO	Omgekeerde Osmose	-	Derde partij
AOP	Geavanceerde Oxidatie Processen	X	UGent
ARP	Geavanceerde Reductie Processen	X	UGent
EO	Elektro Oxidatie	X	UAntwerpen

Elektro Oxidatie

- **Elektrochemische reactie**
 - Kathode: roestvrij staal
 - Anode: **BDD** Boron Doped Diamond
- **Reactiemechanismen**
 - Directe oxidatie aan BDD oppervlak
 - Indirecte oxidatie via radicalen
- **PFAS verwijdering**
 - Gesimuleerd effluent @1 µg/L



PFBA	PFHxA	PFOA	PFBS
> 75%	> 75%	> 75%	< 25%

Technologie optimalisatie

- Optimalisatieparameters voor elektro oxidatie met BDD

Parameter	Eenheid	Waarden
Zout conc. (Na_2SO_4)	mM	10 – 55 – 100
pH	-	2 – 6.5 – 11
Stroomdichtheid	mA/cm^2	10 – 30 – 50

Technologie optimalisatie

- Optimalisatieparameters voor elektro oxidatie met BDD

Parameter	Eenheid	Waarden
Zout conc. (Na_2SO_4)	mM	10 – 55 – 100
pH	-	2 – 6.5 – 11
Stroomdichtheid	mA/cm^2	10 – 30 – 50

PFBA	PFHxA	PFOA	PFBS
84%	>99%	100%	<10%

Toepassing (1)

- PFAS verwijdering met BDD: **Bio-effluent Tankreiniging**

PFAS	Initiële concentratie (ng/L)
PFBA (C4)	96
PFPeA (C5)	5
PFHxA (C6)	23
PFOA (C8)	27
6:2 FTS (C8)	18
Totaal	174

Toepassing (1)

- PFAS verwijdering met BDD: **Bio-effluent Tankreiniging**

PFAS	Initiële concentratie (ng/L)	% verwijdering (na 6h)
PFBA (C4)	96	100
PFPeA (C5)	5	100
PFHxA (C6)	23	100
PFOA (C8)	27	100
6:2 FTS (C8)	18	100
Totaal	174	100

Toepassing (2)

- PFAS verwijdering met BDD: **RO-Concentraat Tankreiniging**

PFAS	Initiële concentratie (ng/L)
PFBA (C4)	848
PFPeA (C5)	97
PFHxA (C6)	177
PFOA (C8)	218
6:2 FTS (C8)	9
Totaal	1638

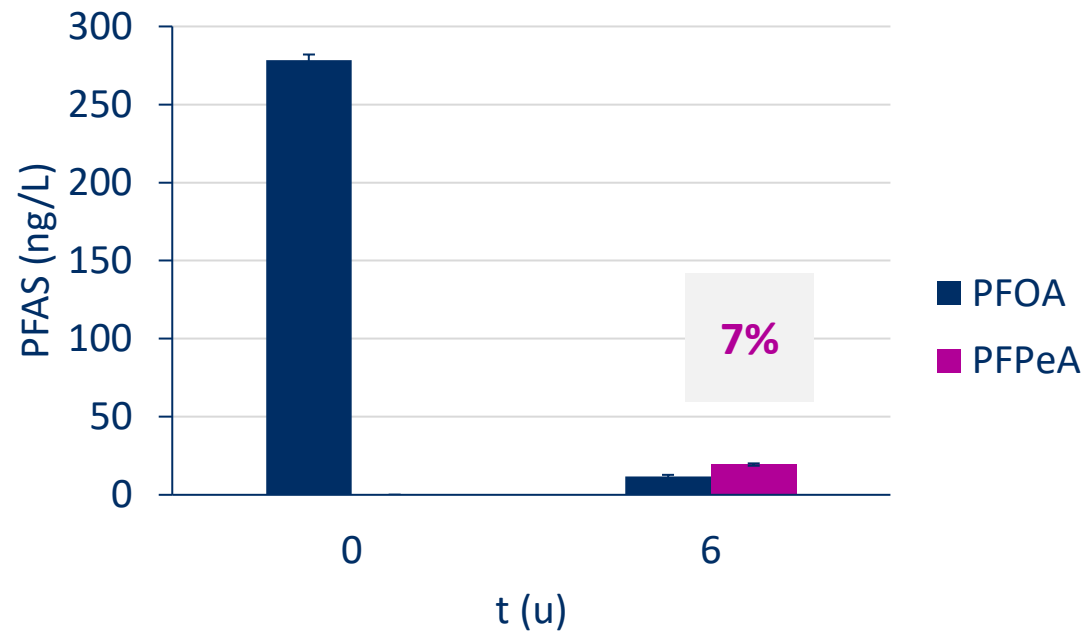
Toepassing (2)

- PFAS verwijdering met BDD: **RO-Concentraat Tankreiniging**

PFAS	Initiële concentratie (ng/L)	% verwijdering (na 6h)
PFBA (C4)	848	12
PFPeA (C5)	97	- 165
PFHxA (C6)	177	65
PFOA (C8)	218	91
6:2 FTS (C8)	9	100
Totaal	1638	34

Toepassing (2)

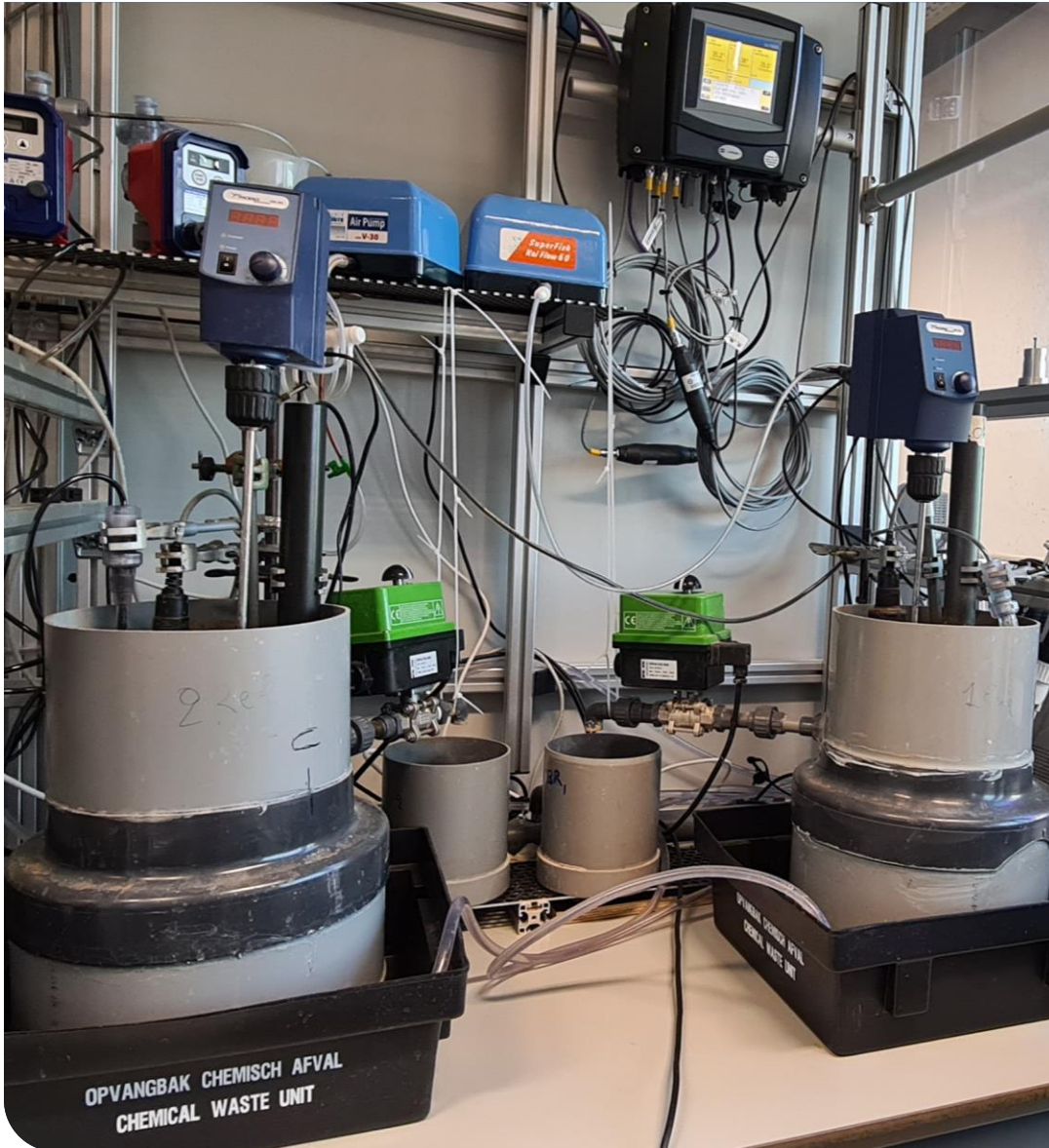
▪ PFAS verwijdering met BDD: RO-Concentraat Tankreiniging



- Vorming van kortere keten PFAS tijdens afbraak?
- Negatieve verwijdering!

Deelconclusie A: elektro oxidatie

- **Gesimuleerd effluent @1 µg/L**
 - Volledige verwijdering PFCA (PFBA, PFOA...)
 - Onvolledige verwijdering van PFBS ↔ lagere reactiviteit
- **Tankreiniging (en andere)**
 - Bio-effluent → volledige verwijdering (van de *gemeten* PFAS!)
 - RO concentraat
 - Impact van concentraat matrix (CZV > 500 mg/L)
 - Onvolledige afbraak van PFAS (precursoren)
- **Verdere optimalisatie is aangewezen!**

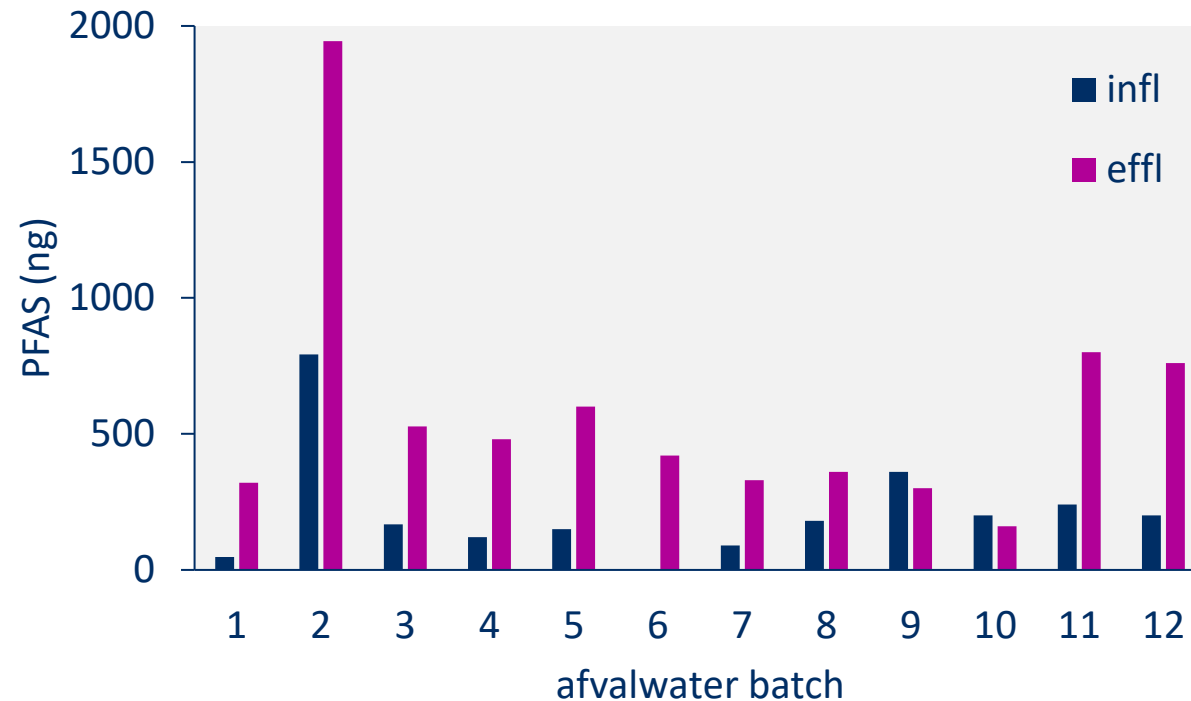


Gedrag van PFAS in een actief slib installatie

- Influent: tankreiniging
- Vergelijking van:
 - Conventioneel actief slib (CAS)
 - Aeroob korrelslib (AGS)
 - PACT proces

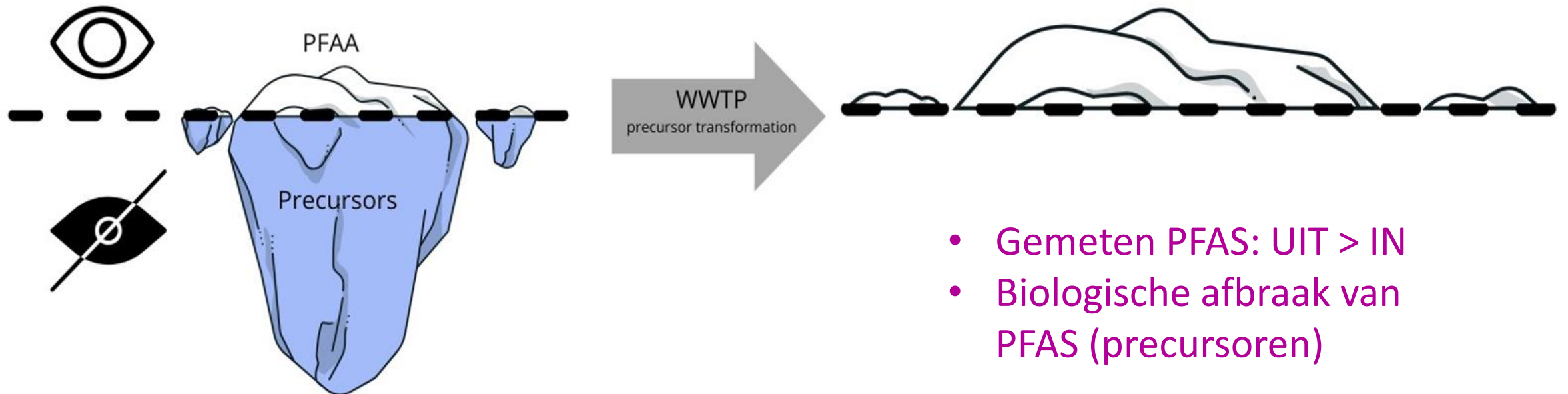
Gedrag van PFAS in een actief slib installatie

- Conventioneel Actief Slib (CAS)



Gedrag van PFAS in een actief slib installatie

▪ Conventioneel Actief Slib (CAS)

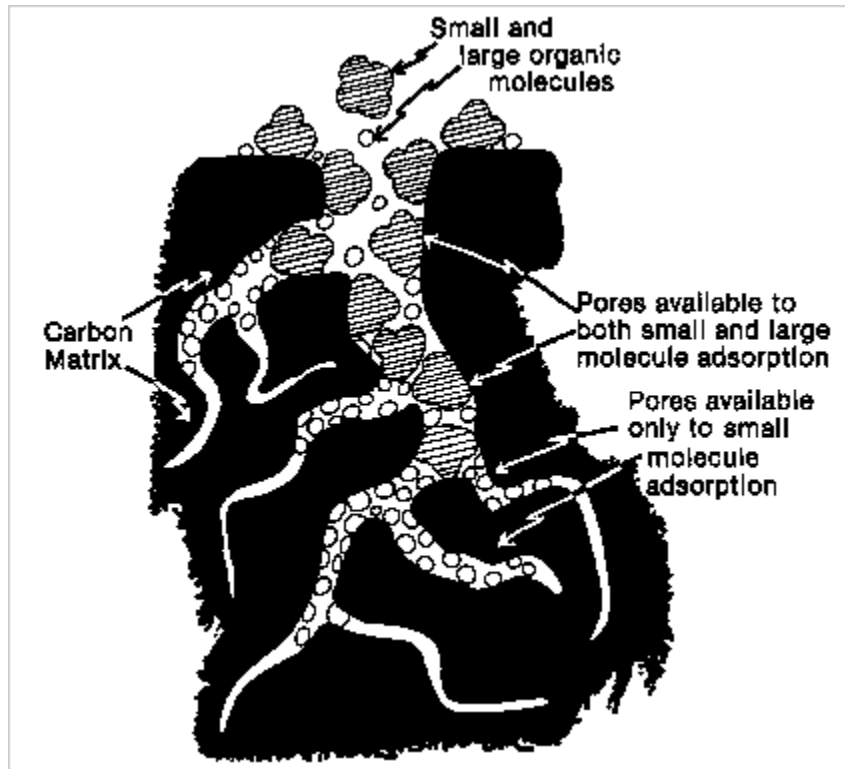


Deelconclusie B: resultaten UAntwerpen

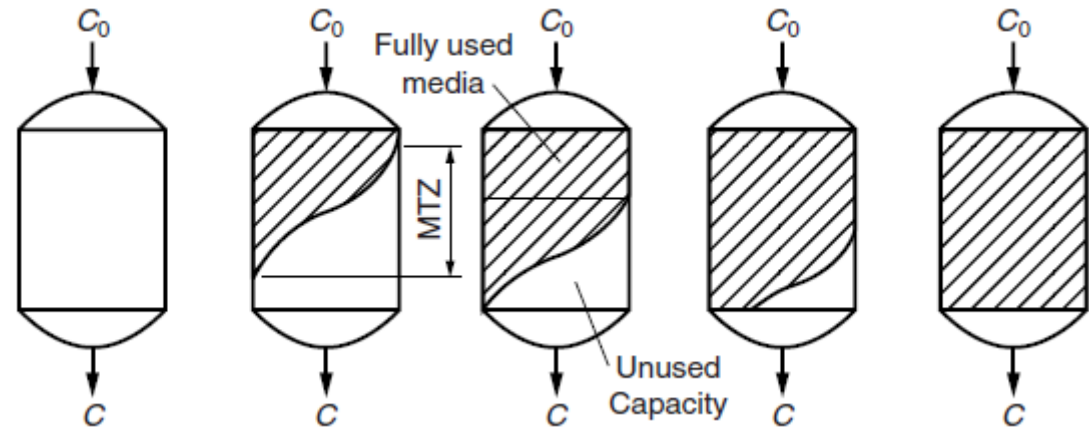
- Actief slib = “bron” van PFAS
- PFAS destructie via EO
 - Impact afvalwater matrix
 - Vorming van onvolledige reactieproducten
 - *Work in progress*: economische haalbaarheid
- Alternatieve “pragmatische” aanpak
 - Optimalisatie van actief koolfiltratie voor PFAS verwijdering
 - Door de biologische werking → **BAK** filter

TETRA project²

- BAK - Biologische Actief Koolfiltratie \Rightarrow AK standtijd verlengen?



Contact: jan.dries2@uantwerpen.be





SCREENING OF PFAS REMOVAL TECHNOLOGIES ON INDUSTRIAL WASTEWATER

Bartel Devos – Prof. dr. ir. Stijn Van Hulle [UGent]

Srishti Singh – Prof. dr. ir. Jan Dries [UAntwerpen]



UNIVERSITEIT GENT
CAMPUS KORTRIJK

UGENT CAMPUS KORTRIJK



LIWET

- Industrial water treatment and re-use
- Upscaling philosophy



Focus on application: optimising and combining existing technologies

DEMAND-DRIVEN, APPLIED RESEARCH

- LED H2O (= Local and Accessible Expertise and Service Centre)
- 40+ companies per year

vito KENNISPUNT
WATER



SCREENING/OPTIMISATION PROCEDURE

Advanced oxidation

UV/H₂O₂; O₃; O₃/H₂O₂

Advanced reduction

UV/SO₃

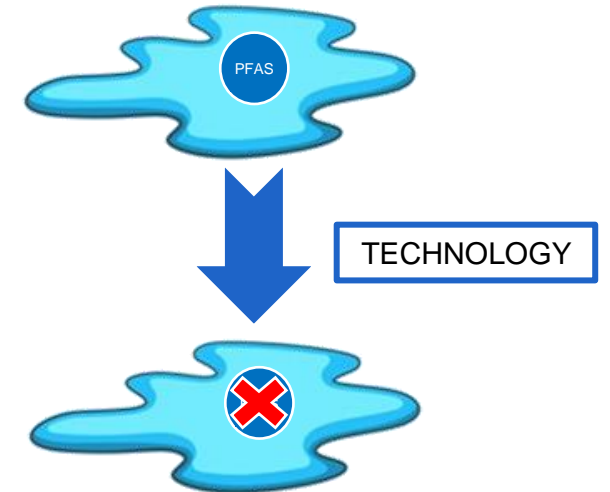
Electro-oxidation

Ti-MMO, BDD

Activated carbon– Ion exchange



SYNTHETIC WASTEWATER / REAL INDUSTRIAL EFFLUENT



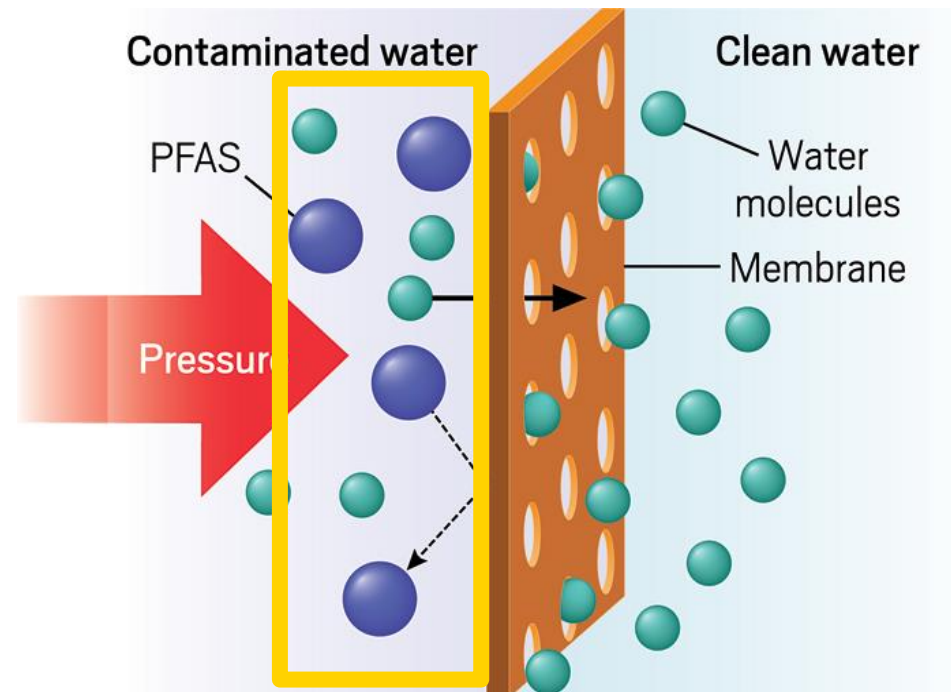
QUEST TO FULL REMOVAL...

❖ Membrane filtration [NF/RO]

❖ Permeate stream

❖ Concentrate stream

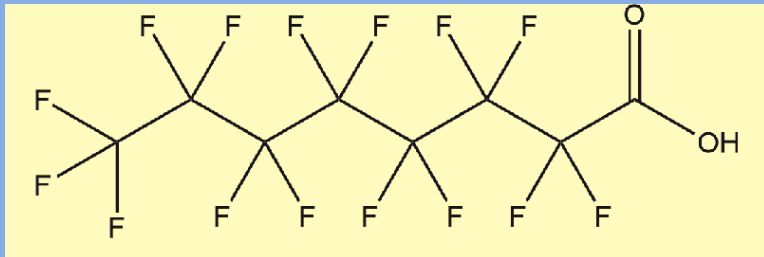
➔ Similar optimisation



COMPOUNDS OF INTEREST

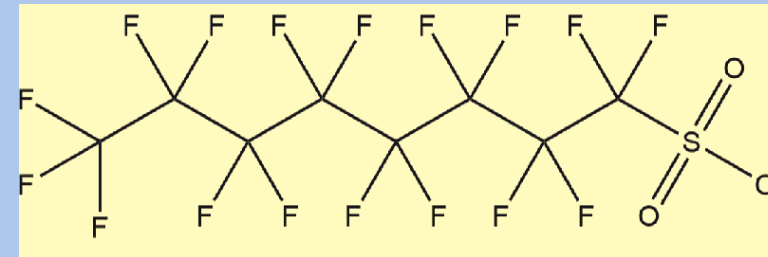
PFCAs

PFBA
PFHxA
PFOA



PFSA's

PFBS



TESTED INFLUENT

- Real wastewater samples
 - Mix of compounds: spiked in **1 µg/L each**
 - Different technologies screened, same influent
 - Comparison synthet. ↔ real

COMPOUNDS OF INTEREST

Compound	Concen. (µg/L)
PFBA	/
PFHxA	0,047
PFOA	0,073
PFBS	<0,0088

OTHER COMPOUNDS

Compound	Concen. (µg/L)
PFPeA	0,048
PFHpA	0,017
PFNA	<0,0088
PFHxS	0,012
PFOS	0,088
6:2 FTS	0,023
MEPFBSAA	0,015

MEMBRANE FILTRATION



UNIVERSITEIT GENT
CAMPUS KORTRJK

RO CONCENTRATE

- PFAS content @ 84% recovery
 - 67-78% recovery also analysed

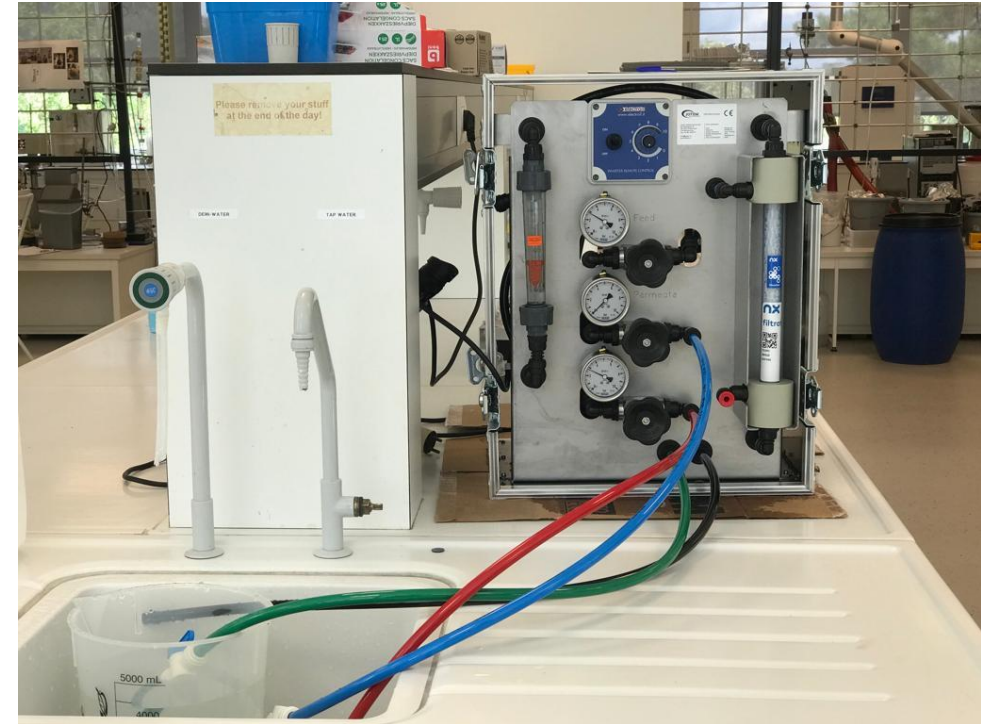
Compound	Input sample (µg/L)	Retentate (µg/L)	Permeate (µg/L)
PFPeA	0,048	0,24	<0,0087
PFHxA	0,047	0,23	<0,0087
PFHpA	0,017	<0,095	<0,0087
PFOA	0,073	0,12	<0,0087
PFNA	<0,0088	<0,095	<0,0087
PFBS	<0,0088	<0,095	<0,0087

Removal efficiency:

PFHxA (81-83%), PFOA (72-88%)

NANOFILTRATION REAL WW.

- **Mexplorer NX test unit**
- Spiked $1\mu\text{g/L}$ each
- Parameters:
 - Feed flow 70 L/h
 - TMP 3,5 bar



Collect samples at: permeate & concentrate @ 80% recovery

dNF40 membranes:

MWCO 400 g/mol

MW PFBA (C4) 214,04 g/mol

MW PFOA (C8) 414,07 g/mol

NF CONCENTRATE

– PFAS content @ 80% recovery

Concentration increase factor:
Theoretically 5,0
Average factor 4,5

Compound	Concen. IN (µg/L)	PERMEATE (µg/L)	CONCENTRATE (µg/L)
PFBA	1,0	0,43	4,4
PFHxA	1,0	0,17	5,2
PFBS	1,0	0,60	4,0

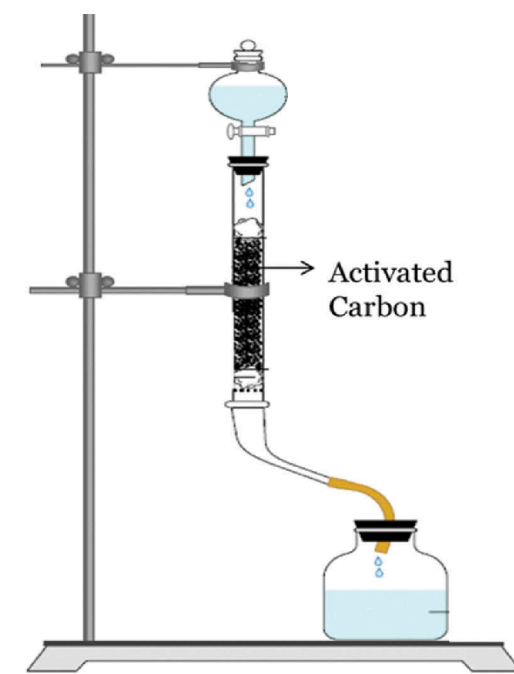
Removal efficiency: PFBS (40-63%), PFBA (57-72%), PFHxA (83-88%)

ACTIVATED CARBON



GAC SCREENING

- Two different industrial suppliers
- Different EBCT (6 vs 26 mins)



Compound	Removal after 60 BVs	
	TYPE#1	
	SYNTHET.	REAL
PFBA	>99%	47%
PFHxA	>99%	52%
PFOA	99%	55%
PFBS	>99%	61%

after 100 BVs
TYPE#2
REAL
98%
>99%
99%
>99%

ION EXCHANGE



ION EXCHANGE REAL WW.

- Strong-base AER
- EBCT 4 mins
- No difference in removal efficiency
 - Still 99% after 100 BVs

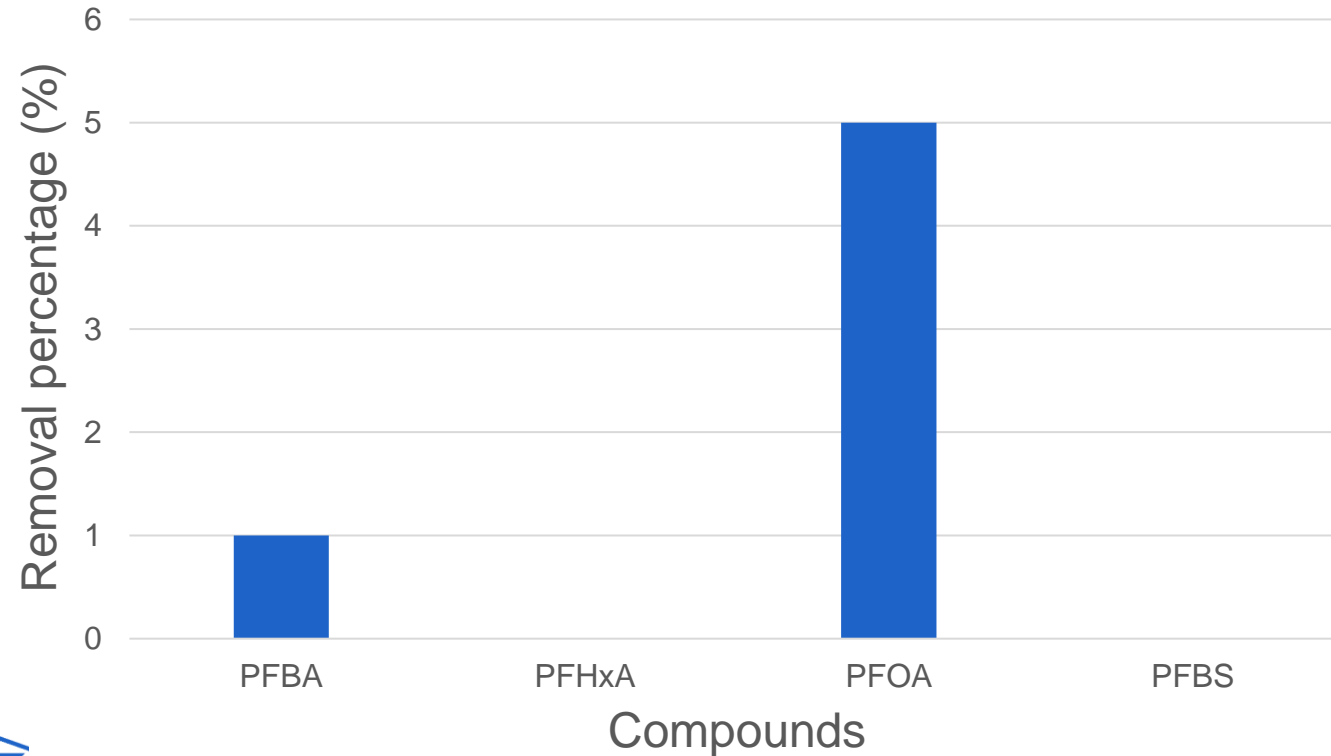
Compound	Influent (µg/L)	After 25 BVs (µg/L)	After 50 BVs (µg/L)	After 100 BVs (µg/L)
PFBA	1,1	<0,010	<0,010	<0,010
PFHxA	1,1	<0,010	<0,010	<0,010
PFOA	1,6	<0,010	<0,010	<0,010
PFBS	0,84	<0,010	<0,010	<0,010

ELECTROCOAGULATION FLOTATION (ECF)



ECF RESULTS

- No short chain removal
- Long chain (max. 5%)



SYNTHET



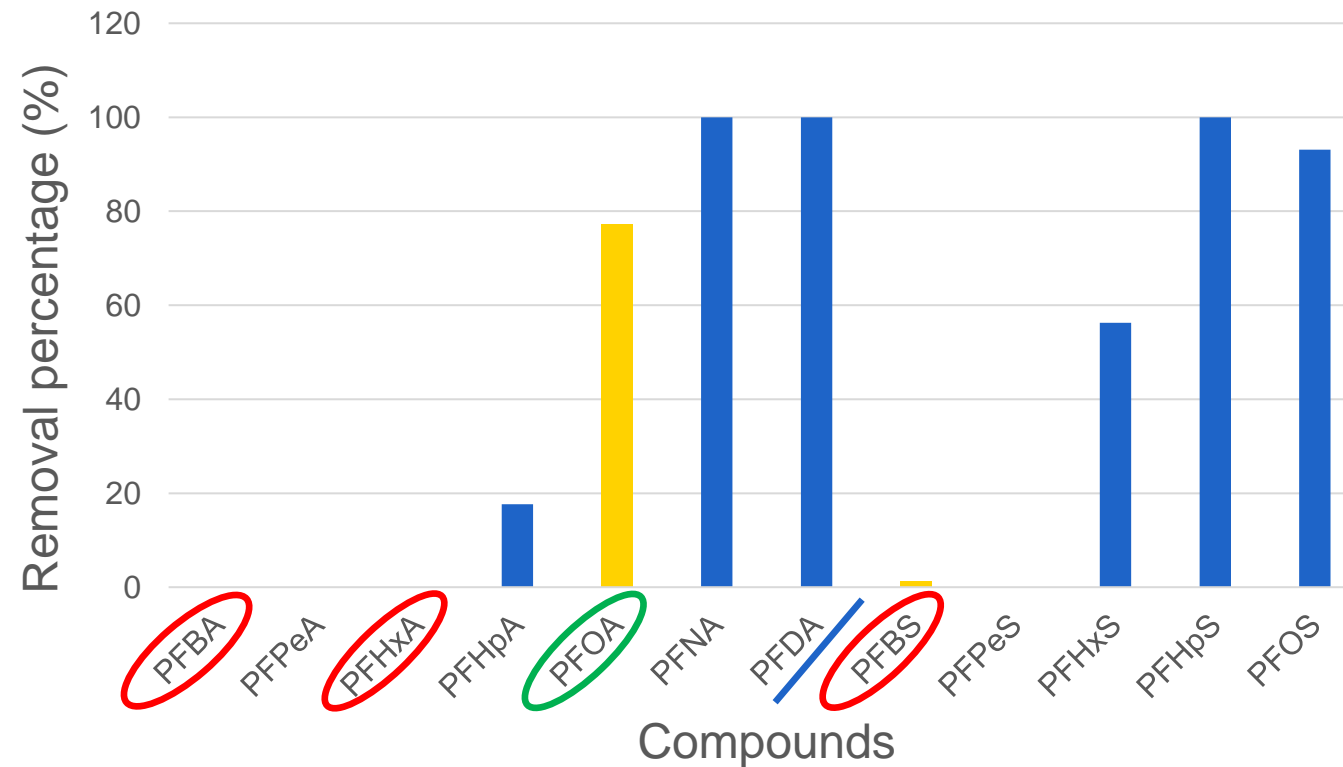
ECF

- Landfill leachate sample
- Iron (anode) // SS electrode (cathode)
- pH 5,0
- Conductivity 7,76 mS/cm
- Conditions:
- 2L/h at 3A



ECF RESULTS LFL

- Low short chain removal (<20%)
- Long chain (starting at C6)



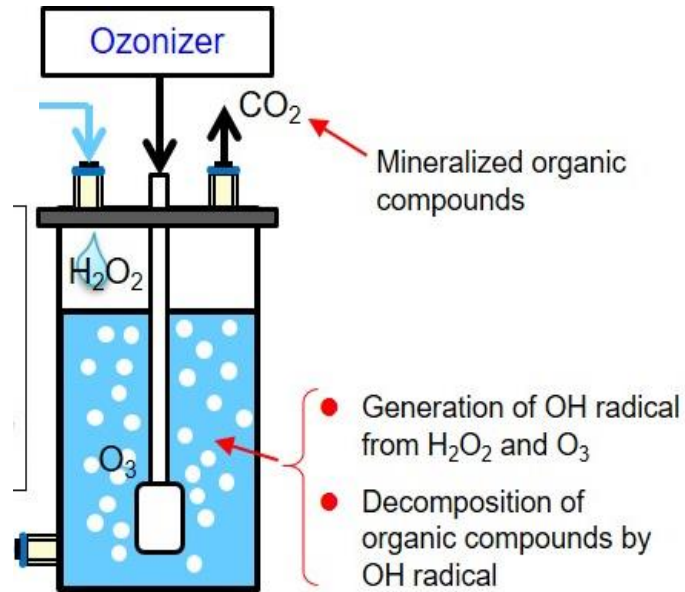
ADVANCED OXIDATION



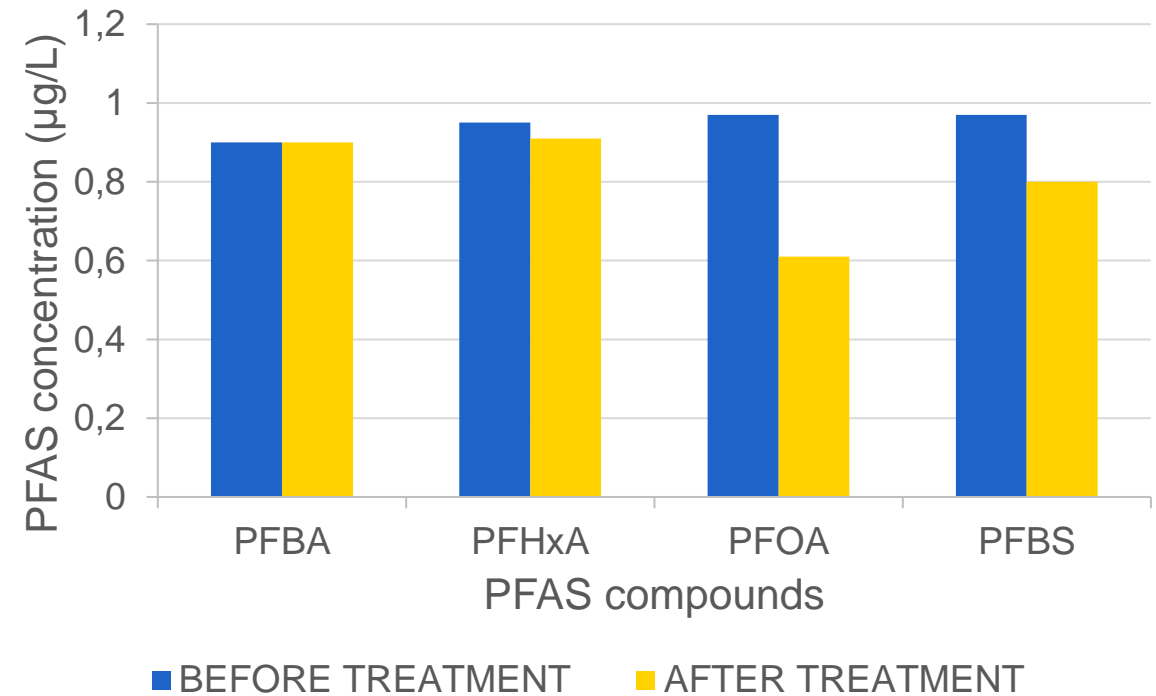
UNIVERSITEIT GENT
CAMPUS KORTRJK

O₃ (+H₂O₂) TREATMENT

- Use of different O₃-concentrations (synthet.)
- Short chain removal still challenging



→ O₃ alone is insufficient



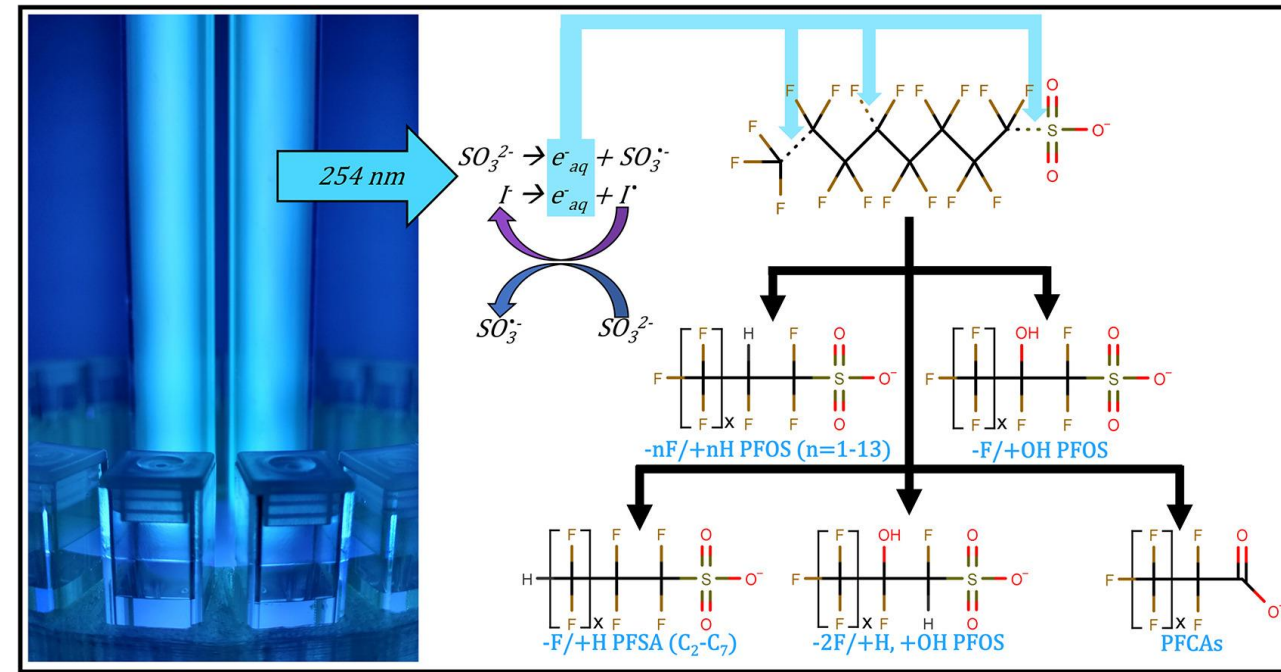
ADVANCED REDUCTION



UNIVERSITEIT GENT
CAMPUS KORTRJK

BACKGROUND (UV/SO₃²⁻ + I⁻)

- Generation of **aqueous electrons**
- Use of I⁻ :
 - Extra e⁻_{aq} available
- Combined with SO₃²⁻ :
 - Scavenge O₂
 - Regenerate I⁻ from RIS



O'Connor, N., Patch, D., Noble, D., Scott, J., Koch, I., Mumford, K. G., & Weber, K. (2023).

UV/SO₃²⁻ + I⁻

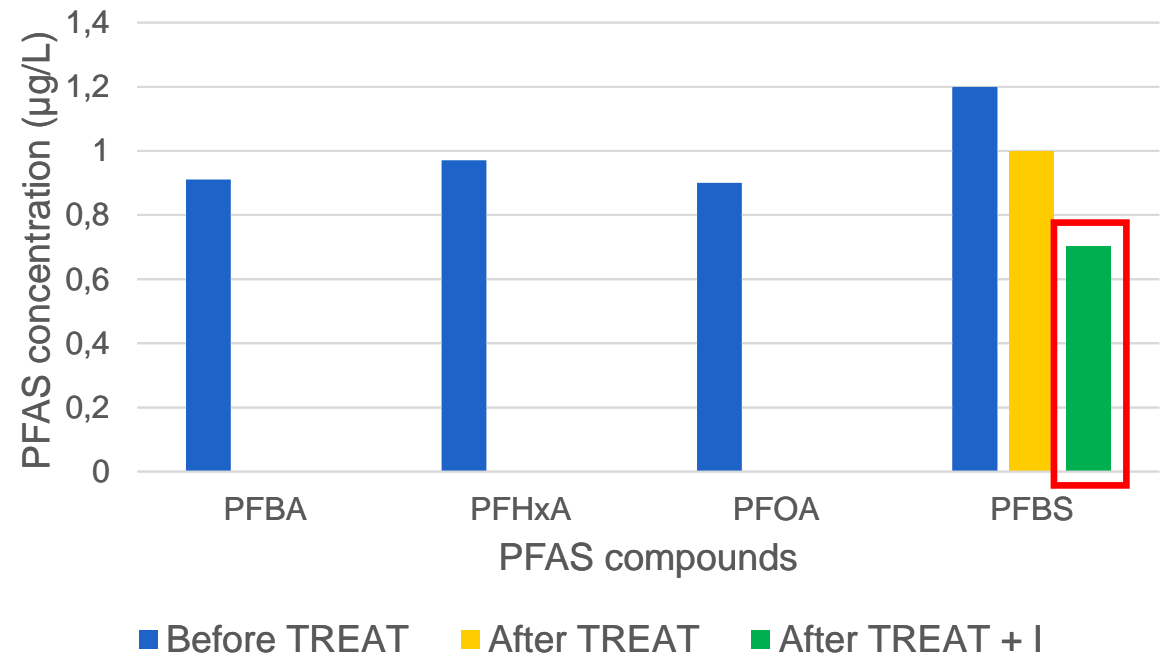
– Synthetic wastewater experiment

→ **PFBS** only remaining compound

→ Reason KI addition

Sulfite dose: 20 mM

KI dose: 2 mM



SCREENING RESULTS

Compound	Removal after 24h	
	SYNTHET.	REAL
PFBA	100%	25%
PFHxA	100%	23%
PFOA	100%	24%
PFBS	42%	9,1%

- ### SETTINGS
- Operation 24h
 - 20 mM SO_3^{2-} (from sodium sulphite)
 - 2 mM I^- (from potassium iodide)



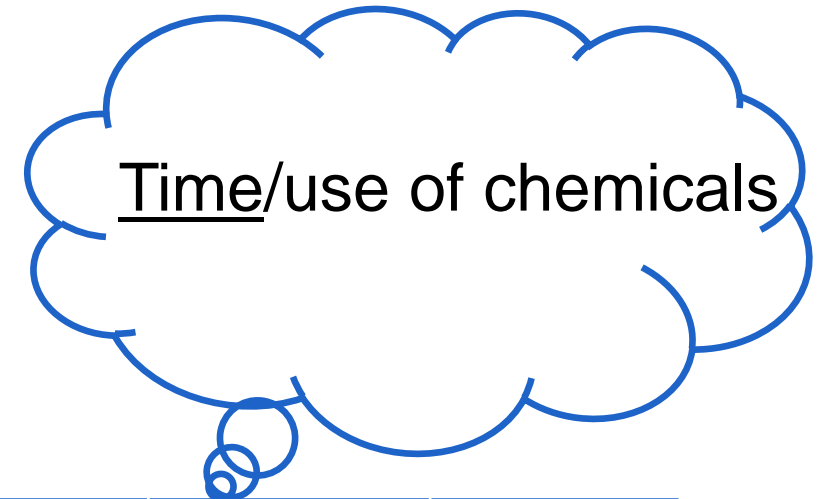
EFFECTIVE DEGRADATION (C-F BONDS)?

Synthet. wastewater

- Higher concentrations spiked
 - PFAS concentration approx. **2 mg/L** each
- Only IC for F⁻ analysis
 - **Approx. 35% of available F⁻ released**

REAL WASTEWATER TESTING

- Two main optimizations:
 - Using different $\text{SO}_3^{2-}/\text{I}^-$ ratio
 - $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ pretreatment



Compound	Concen. IN ($\mu\text{g/L}$)	Concen. AFTER 8h ($\mu\text{g/L}$)	Concen. OUT ($\mu\text{g/L}$)
PFBA	1,0	0,43	0,015
PFHxA	1,2	0,47	<0,010
PFOA	1,1	0,38	<0,010
PFBS	1,2	1,3	1,3

OVERVIEW



UNIVERSITEIT GENT
CAMPUS KORTRJK

CONCLUSIONS

- ARP most promising regarding SC-PFAS removal
 - Except for PFBS (C4)
 - Still some practical issues (duration, chemicals)
- Importance of pretreatment (O_3/H_2O_2)
- ECF and O_3 not sufficient for SC (as stand-alone)
 - ➔ Need of combined treatment

Bartel Devos

Project researcher

BW24 GREEN CHEMISTRY & TECHNOLOGY

E bartel.devos@ugent.be

www.ugent.be/campuskortrijk



UGent Campus Kortrijk



@ugent



@ugent



Ghent University



VRAGEN?



Agenda

18.40 Wetgevend kader

Vlaamse Milieumaatschappij

19.10 Onderzoeksresultaten TETRA-project

Universiteit Antwerpen en Universiteit Gent

19.40 Bezoek aan de innovatiebeurs

21.00 Netwerkreceptie