

➤ Verwijdering van PFAS bij vergaande zuiveringstechnieken

Symposium PFAS en de
Waterketen, 17 april 2025

Anja Derksen, AD eco advies

29
2024



Aanleiding, doel en opzet



Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit riool-afvalwater (IPMV)

- 2019 – 2023
 - Kansrijke nieuwe (combinaties van) technieken onderzocht
 - Gericht op verwijdering medicijnenresten
 - Voordelen voor rendement, kosten en CO₂ voetafdruk?
 - Evaluatie: STOWA-rap 2024-28
- Bijvangst aan verwijdering van PFAS? En PFAS-precursors?



TOP analyse

- Eerst analyse stabiele PFAS
- Behandeling monster met een sterk oxidatiemiddel bij pH12: aanwezige precursors breken af
- Opnieuw analyse stabiele PFAS
- Verschil is een maat voor de totaal hoeveelheid (on)bekende precursors
- Welke precursors blijft onbekend

Doel

- Vergaren en verbreden kennis over:
 - De verwijdering van PFAS en PFAS precursors door vergaande zuivering
 - De aanwezigheid van PFAS en PFAS precursors in rwzi effluenten
 - De aanwezigheid van zeer korte keten (<C4) in rwzi effluenten (*nieuw*)
 - De toepasbaarheid van de Totaal Oxideerbare Precursors (TOP) analyses voor het monitoren van (on)bekende PFAS precursors (*nieuw*)

Opzet

- 10 rwzi's, 15 technieken
- PFAS: 12 pilots en 3 demo's
- 3 analyses
 - Standaard PFAS pakket (n = 30)
 - Ultrakorte ketens (C1 – C3)
 - Totaal Oxideerbare Precursors (TOP)
- Resultaten indicatief
 - Aantal locaties en herhalingen beperkt

Principe / technologie	Subcategorie	Opmerking	Rwzi	PFAS onderzoek?
Pilot installaties				
1. Adsorptie aan Poeder Actiefkool (PAK)				
PAK+doek			Vinkel	nee
PACAS Nereda			Simpelveld	ja
PAK+O ₃		ook bij oxidatie	Leiden Noord	ja
2. Adsorptie aan Granulair Actiefkool (GAK)				
O ₃ -STEP	niet belucht	ook bij oxidatie	Horstermeer	ja
upflow GAK	niet belucht, continu		Hapert	ja
BODAC+O ₂	belucht		Emmen	ja
Bio-GAK	belucht, continu		Emmen	ja
BO ₃	combinatie van oxidatie en biologische afbraak, belucht GAK	ook bij oxidatie	Horstermeer	ja
3. Adsorptie aan overige niet-fossiele materialen				
DEX-filter			Lelystad	ja
AdOx			Leiden Noord	ja
4. Oxidatieve technieken				
ZF+UV/H ₂ O ₂			Aarle Rixtel	nee
O ₃ +ultrasound			Winterswijk	nee
O ₃ -STEP	combinatie van oxidatie en actief kool	ook bij GAK	Horstermeer	ja
PAK+O ₃	combinatie van oxidatie en actief kool	ook bij PAK	Leiden Noord	ja
Microforce	combinatie van oxidatie en biologische afbraak		Walcheren	ja
BO ₃	combinatie van oxidatie en biologische afbraak, belucht GAK	ook bij GAK	Horstermeer	ja
NF+UV/H ₂ O ₂	combinatie van oxidatie en nanofiltratie	ook bij filtratie	Asten	ja
O ₃ +keramische MF	combinatie van oxidatie en microfiltratie	ook bij filtratie	Wervershoof	ja
5. Filtratietechnieken in combinatie met oxidatie				
NF+H ₂ O ₂	combinatie van oxidatie en nanofiltratie	ook bij oxidatie	Asten	ja
O ₃ +keramische MF	combinatie van oxidatie en microfiltratie	ook bij oxidatie	Wervershoof	ja
Demo installaties				
PACAS			Leiden Noord	ja
Ozon			Houten	ja
Ozon			Wervershoof	ja

PFAS in regulier effluent



Waarom aandacht voor regulier effluent?

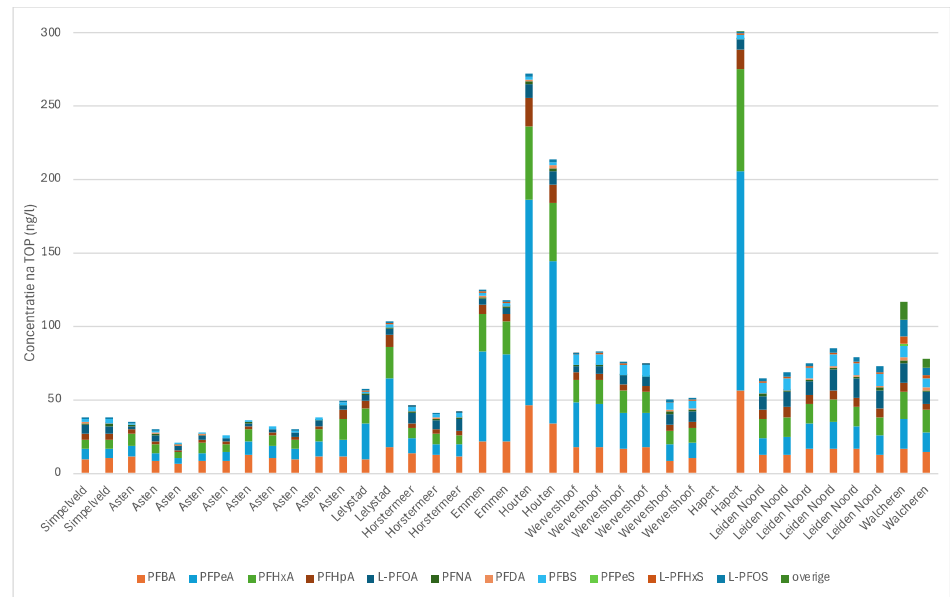
- Regulier effluent = influent pilots
- Van belang voor doorvertaling effect vergaande zuiveringstechniek
 - Representativiteit onderzochte rwzi's?
 - Wat er niet in zit kun je er niet uit halen!
- Verbreden kennis over aanwezigheid, vrachten en emissie van PFAS
- Vergaren kennis over zeer korte ketens (<C4) en (on)bekende precursors

vergelijkbaar met
landelijk beeld

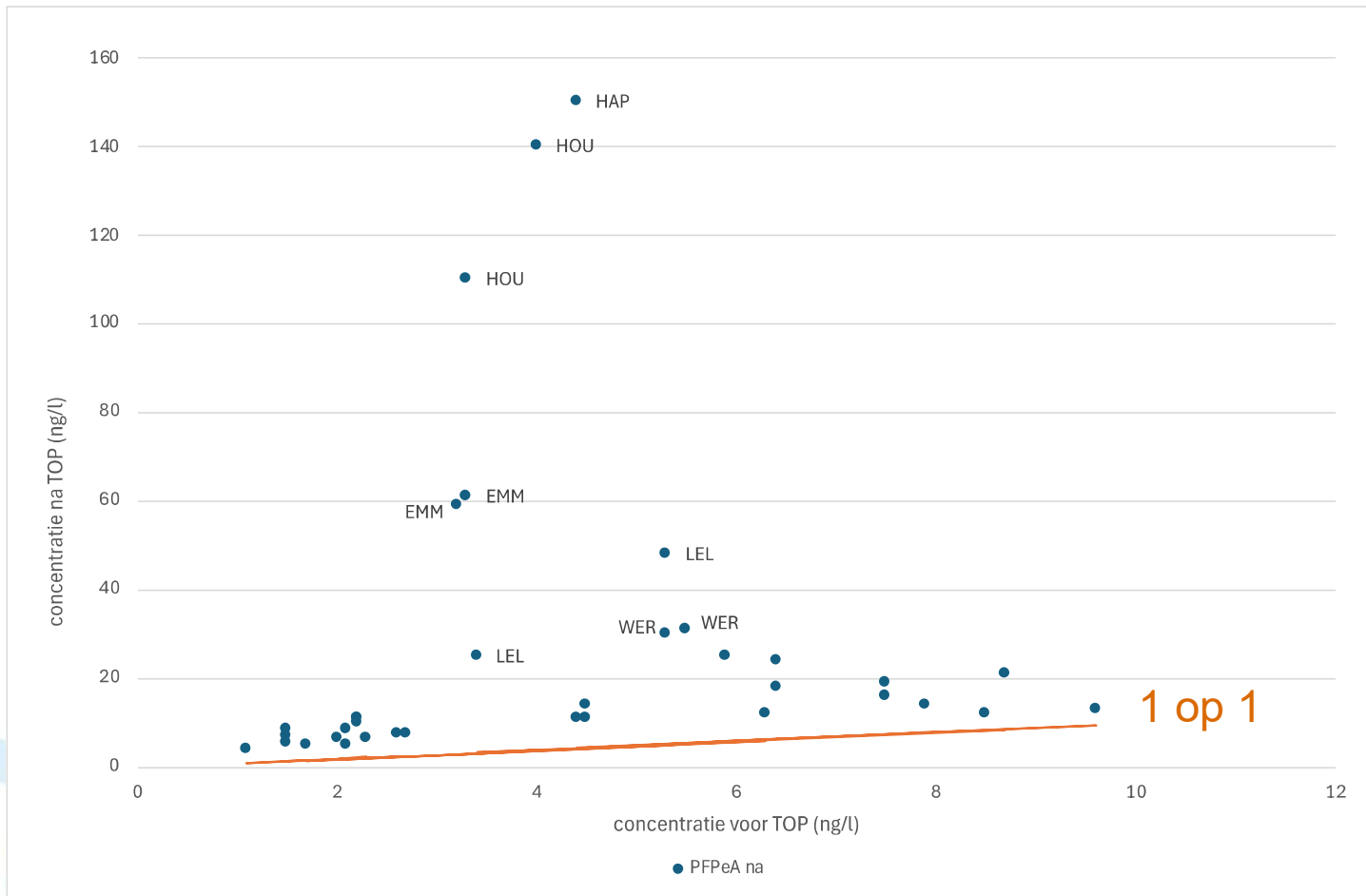
concentraties en fingerprint variëren tussen rwzi's en in tijd



Na TOP analyse: concentraties altijd hoger, **overall precursors aanwezig**



Bij sommige rwzi's meer precursors dan bij andere



C5 voor en na TOP:

In alle gevallen
toename, maar bij
enkele rwzi's meer
dan 30x!

Duidt op
**soms forse
hoeveelheden
(on)bekende
precursors**

Concentraties samenvatting

rwzi		Simpelveld	Asten	Lelystad	Horstermeer	Emmen	Houten	Wervershoof	Hapert	Leiden Noord	Walcheren
debiet (2021)	10 ⁶ m ³ /jaar	1,4	5,6	5,0	9,1	10,9	4,6	17,5	4,7	9,3	15,4
belasting (2021)	IE150	11.000	66.000	107.000	144.000	161.000	64.000	273.000	50.000	115.000	169.000
gemiddelde concentratie											
PFAS (n=30)	ng/l	17,0	18,6	26,3	28,1	29,5	34,9	38,1	44,8	55,4	74,0
na TOP (n=30)	ng/l	37,6	31,9	80,7	43,0	121,5	242,9	69,3	150,6	74,1	97,4
TFA	ng/l	985	819	620	723	1.050	740	1.950	610	1.467	720

ultrakorte ketens: alleen (TFA en TFMS) aangetroffen

**concentraties TFA een ordegrrootte
hoger dan PFAS(30)
(µg/l vs ng/l)**

Vrachten en emissiefactoren samenvatting

Emissie per inwonerequivalent per jaar: mate van belasting met PFAS

Maakt eerlijke vergelijking rwzi's van verschillende grootte mogelijk

rwzi		Simpelveld	Asten	Lelystad	Horstermeer	Emmen	Houten	Wervershoof	Hapert	Leiden Noord	Walcheren
debiet (2021)	10 ⁶ m ³ /jaar	1,4	5,6	5,0	9,1	10,9	4,6	17,5	4,7	9,3	15,4
belasting (2021)	IE150	11.000	66.000	107.000	144.000	161.000	64.000	273.000	50.000	115.000	169.000
jaarvrachten											
PFAS (n=30)	g/jaar	23	104	131	257	321	162	668	212	514	1.142
na TOP (n=30)	g/jaar	51	177	403	393	1.323	1.126	1.213	713	687	1.504
TFA	g/jaar	1.338	4.554	3.096	6.607	11.434	3.429	34.137	2.890	13.608	11.115
emissiefactoren											
PFAS (n=30)	mg/i.e/jaar	2,1	1,6	1,2	1,8	2,0	2,5	2,4	4,2	4,5	6,8
na TOP (n=30)	mg/i.e/jaar	4,7	2,7	3,8	2,7	8,2	17,6	4,4	14,2	6,0	8,9
TFA	mg/i.e/jaar	122	69	29	46	71	54	125	58	119	66

PFAS(30), precursors en TFA hebben andere bronnen!

PFAS en vergaande zuivering

Adsorptietechnieken met actief kool

- Poeder actief kool (PACAS): geen verwijdering
- Granulair actief kool:
 - Verwijdering 0 – 20%
 - Bij aanwezigheid precursors kunnen concentraties toenemen

Actief kool is een bewezen techniek voor PFAS-verwijdering!
Waarom is hier dan geen verwijdering gevonden?

Waarom bij rwzi geen verwijdering door actief kool?

- Vooral lange ketens worden verwijderd, korte ketens en precursors veel minder
- De bindingscapaciteit voor PFAS is zeer laag in vergelijking met andere micro's:
 - PFAS slaat snel door
 - Filters moeten vaak vervangen worden
- Verwijdering afhankelijk van het type actief kool (tailor made)
- Vaak worden meerdere actief kool filters in serie geschakeld
- Bereiken lage eindconcentraties technisch en economisch lastig

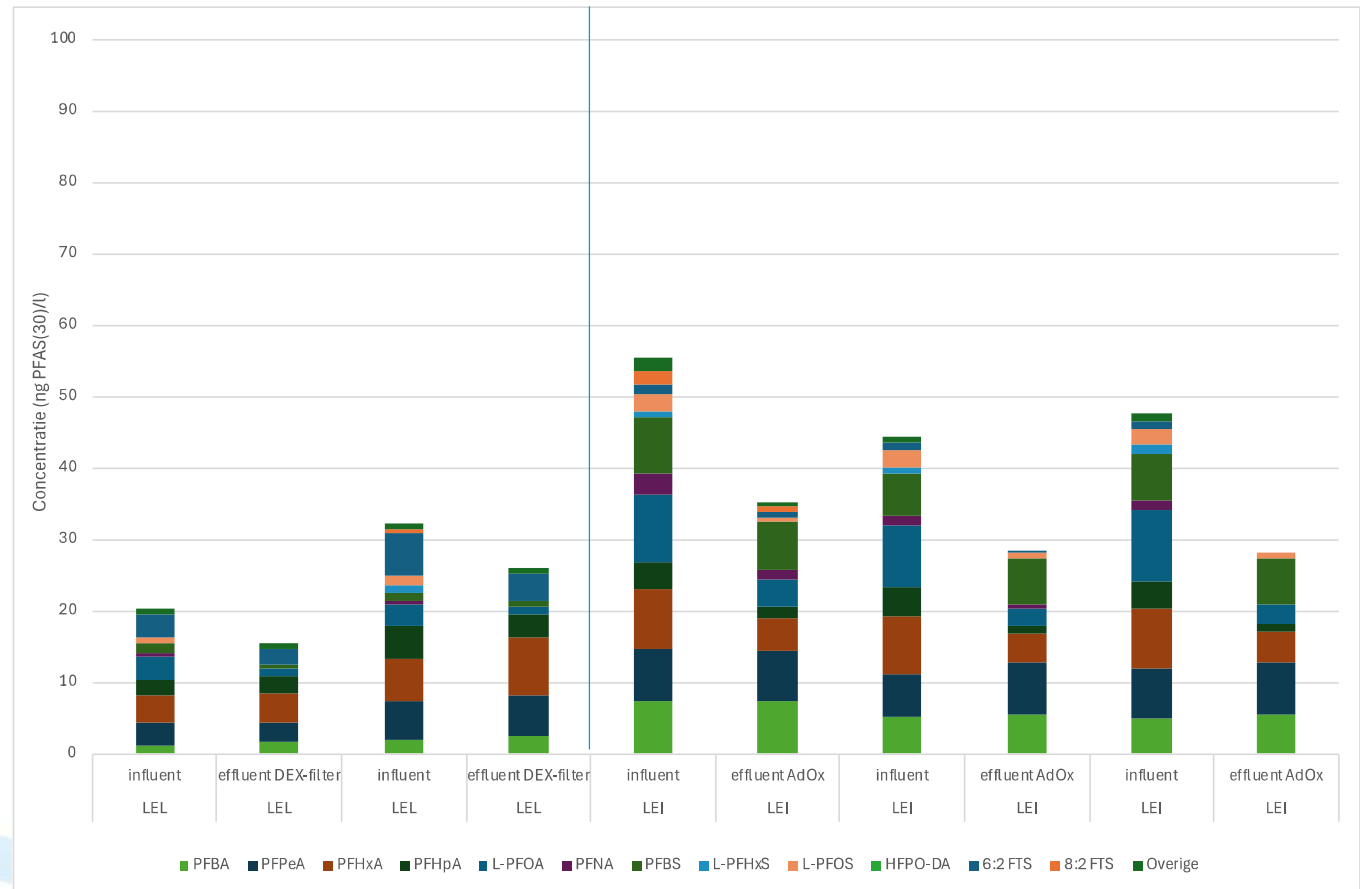
Verwijdering alternatieve adsorptietechnieken

DEX-filter (cyclodextrine):
20-25%

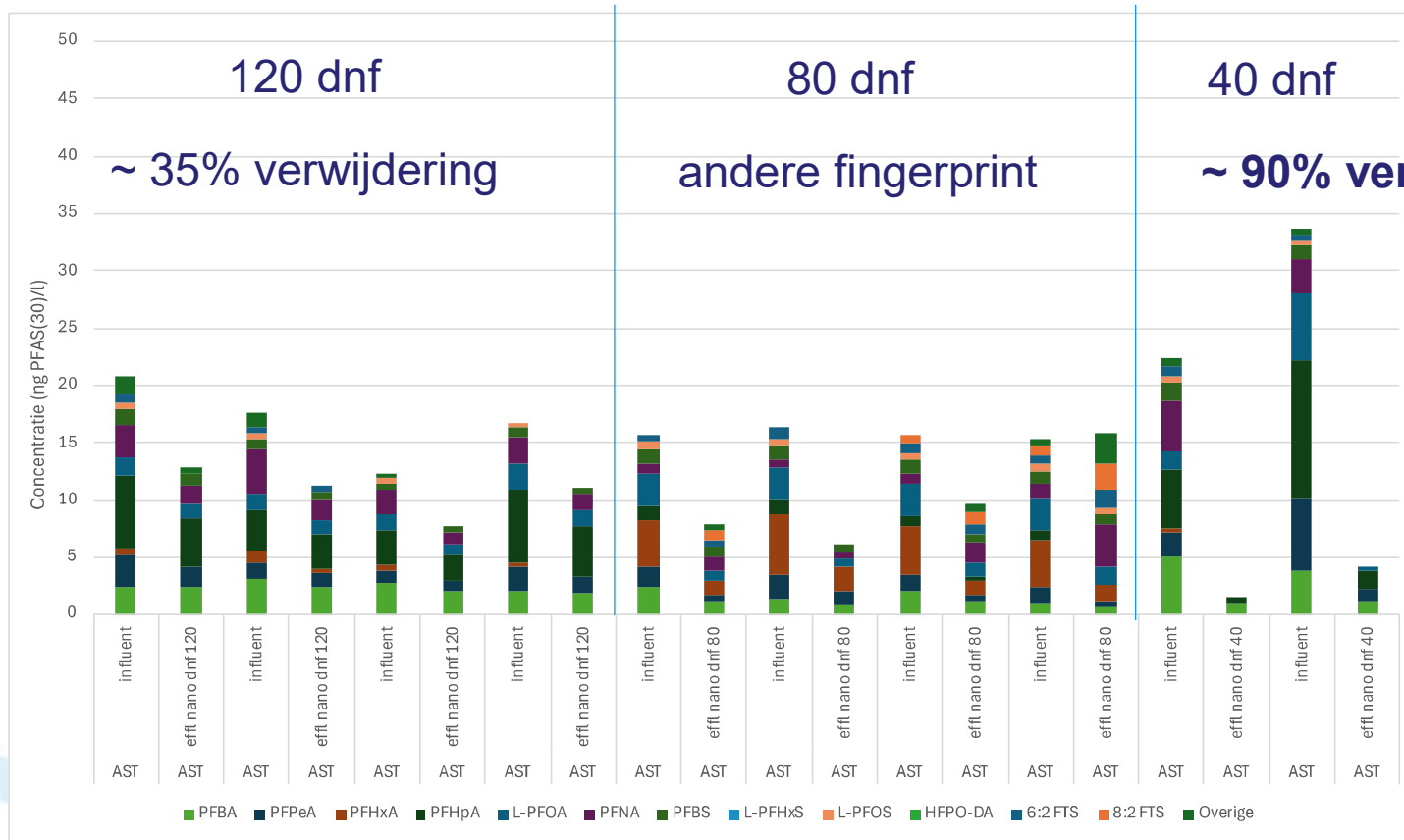
AdOx (zeoliet): 35-40%

Na TOP vergelijkbaar

Beide pilots hebben
niet optimaal
gefunctioneerd!



Nanofiltratie gevolgd door oxidatie: Asten



Verwijdering door ozon

- In pilots alleen in combinatie met andere technieken (adsorptie, filtratie of biologische stap) getest, in demo's ook als stand alone
- Ozondoseringen laag (0,1 - 0,43 gO₃/gDOC) t.o.v. referentiedosering (0,7 gO₃/gDOC); bij rwzi Wervershoof hogere dosering (0,6 – 1,1 gO₃/gDOC)
- Effect wisselend, eventuele toenames of afnames blijven gering
- Maar let op als er (veel) (on)bekende precursors aanwezig zijn!
 - Bij rwzi Houten forse toename stabiele PFAS
Verklaring: omzetting van onbekende precursors naar stabiele PFAS

Andere bevindingen en observaties

- **Ultrakorte ketens (TFA en TFMS) worden door geen enkele techniek verwijderd!**
- De bevindingen **bevestigen de verwachtingen** ten aanzien van de technieken **onder de geteste procesomstandigheden**
- De veelbelovende technieken (nanofiltratie, DEX-filter en AdOx) leveren een reststroom en vormen daarmee geen eindoplossing
- **TOP analyse heeft toegevoegde waarde:**
 - Brengt (verschillen in) de aanwezigheid van onbekende precursors in beeld
 - Daardoor resultaten beter en met meer zekerheid te verklaren
 - Maar... analysemethode lijkt nog niet geheel uitontwikkeld en interpretatie soms lastig

Conclusies en aanbevelingen



Conclusies vergaande zuivering

- De bijvangst is beperkt: de meeste onderzochte vergaande zuiverings-technieken verwijderen geen PFAS onder de geteste procesomstandigheden
- Bij sommige technieken nemen de concentraties zelfs toe, vooral als PFAS precursors in het reguliere effluent aanwezig zijn
- Filtrertechnieken (nanofiltratie, AdOx en DEX-filter) lijken PFAS in enige mate te verwijderen, nanofiltratie met fijne membranen is het meest veelbelovend
- PFAS met zeer korte ketens worden door geen enkele techniek verwijderd

Aanbevelingen

- Weeg aanwezigheid van PFAS en PFAS-precursors mee bij keuze zuiveringstechniek
 - Verwijdering bij de bron!
 - Filtratietechnieken zijn geen eindoplossing: onderzoek destructietechnieken geconcentreerde PFAS-stromen
 - Concentraties, vrachten en emissiefactoren variëren in de tijd: voor een representatief beeld moet je langere tijd monitoren
 - Effectiviteit niet onderzochte technieken (o.a. omgekeerde osmose, schuimfractionering, ionenwisselaars)?
- 



<https://www.stowa.nl/onderwerpen/waterkwaliteit/nieuwe-stoffen/verwijdering-van-pfas-bij-vergaande-zuiveringstechnieken>

Cora Uijterlinde (STOWA) +31 6 55 751083; uijterlinde@stowa.nl

Anja Derksen (AD eco advies) +31 6 44751979; anja.derksen@adecoadvies.nl

