

PFAS I SPILDEVAND

DATO: 12. april 2022

Udgiver:
DANVA

Udarbejdet af:
Kai Bester, Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
For:
DANVA, Vandhuset, Godthåbsvej 83, 8660 Skanderborg

Finansiering:
Notatet er finansieret af DANVA

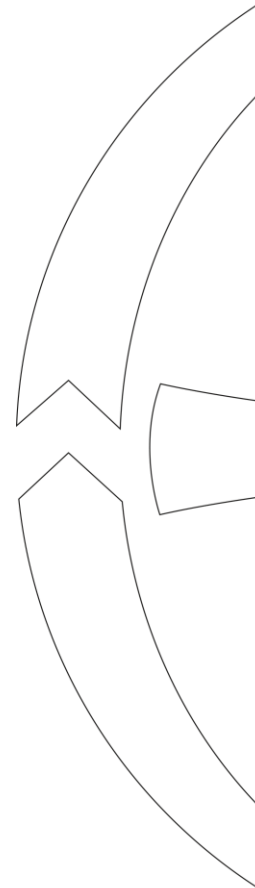
Indholdsfortegnelse

1	Forord	3
2	Hvad er PFAS	4
2.1	Hvor blev de brugt/kilder til miljø	4
2.2	Hvor toksisk er PFAS	5
3	PFAS cases	6
3.1	Uppsala (Sverige)	6
3.2	Möhne (Tyskland)	6
3.3	Rastatt (Tyskland)	6
4	PFAS i spildevand	7
4.1	Baggrundværdier & punktkilder	7
5	Strategier for at nedbringe PFAS i afløbsvand	9
5.1	Teknologier til fjernelsen af PFAS-stoffer fra vand	9
5.2	Helheds rensestrategi	10
6	Referencer	11

1 Forord

Nærværende redegørelse er udarbejdet af Kai Bester, Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab, for DANVA – Dansk Vand og Spildevandsforening. Redegørelsen er et litteraturstudie, der giver et overblik over den pt. kendte viden om PFAS-stoffer i spildevand. I redegørelsen gennemgås kort PFAS som stofgruppe, med fokus på deres brug i historisk perspektiv og deres persistens ved udledning til miljøet.

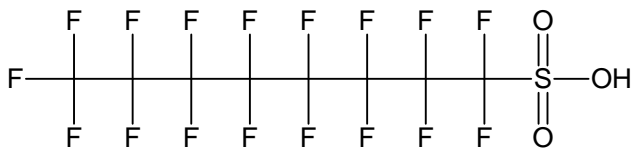
Vi præsenterer en række cases, der eksemplificerer tilfælde med forurening med PFAS-stoffer og de efterfølgende konsekvenser, herunder økonomiske. Viden om PFAS-stoffers forekomst i spildevand generelt præsenteres. Slutteligt gives et kort overblik over den pt. kendte viden om renseteknologier til fjernelse af PFAS fra vand.



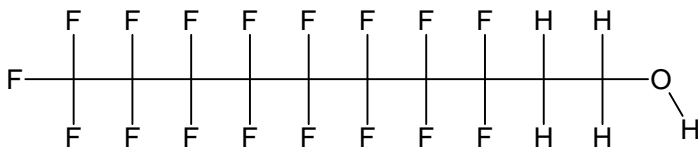
2 Hvad er PFAS

PFAS (perfluorerede alkylsyrer eller poly fluorerede alkylsyrer) er organiske forbindelser med lange kulstofkæder, hvor brintatomer på kulstofkæden erstattes af fluor. Der er flere tusinde forskellige PFAS-stoffer (Sima & Jaffe, 2021) med kulstof-kæder fra 4 til over 16 kulstofatomer og med forskellige funktionelle grupper, såsom sulfonsyrer, carboxylsyrer, alkoholer, phosphater og sulfonamider m.fl. De mest kendte PFAS-forbindelser er PFOS (Perfluorooctansulfonsyre) og PFOA (Perfluorooctansyre), som har kulstofkæder med 8 kulstofatomer.

Der skelnes mellem perfluorerede stoffer (som ikke har brint på noget kulstofatom) og delfluorerede stoffer (som har en blanding af brint og fluor på kulstofatomer). Se Figur 1 og Figur 2 nedenfor.



Figur 1. Eksempel for et perfluoreret stof: Perfluoro Octyl Sulfonsyre (PFOS), med Fluor på alle centrale kulstofatomer.



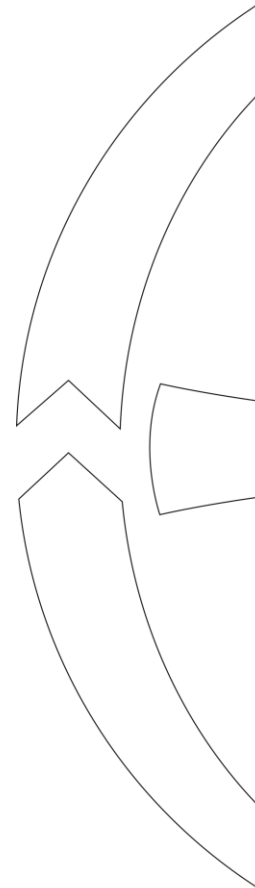
Figur 2. Eksempel for en delfluoreret stof med brint på to kulstofatomer nederst til højre (8:2FTOH).

Mens delfluorerede stoffer i princippet kan nedbrydes (især på de kulstofatomer som er forbundet til brint og ikke fluor), viser det nuværende vidensgrundlag, at perfluorerede stoffer ikke kan nedbrydes overhovedet.

Man skal dog være opmærksom på, at ved nedbrydning af delfluorerede stoffer kan der ofte dannes perfluorerede stoffer (med kortere kulstof kædelængde). PFAS blev tidligere benævnt PFC (perfluorated chemicals) eller PFT (perfluorated tensides) især i Tyskland.

2.1 Hvor blev de brugt/kilder til miljø

Enkeltstoffer eller grupper af PFAS-stoffer er blevet brugt til smudsafvisende overfladebehandling af tøj, tæpper og andre tekstiler; som imprægnering af papir og pap, i forbindelse med forkromningsprocesser; til at beskytte metaloverflader, og i brandslukningsskum (PFOS er dog forbudt i brandslukningsskum i dag) (Goldenman et al., 2019).



Et enkelt PFAS-stof (PFOS) er optaget under Stockholm Konvention (POP konvention) og skal udfases. Generelt set er PFAS forbudt/udfaset for en lang række forskellige anvendelser, og det må derfor forventes, at baggrundskoncentrationer og aktuelle emissioner vil reduceres de næste par år (SWD, 2020, EU, 2019, ECHA, 2021, RIVM, 2021).

Det kan dog forventes, at PFAS fra lossepladser og brandøvelsespladser fortsat vil være en langvarig kilde til miljøet og i renseanlæg.

En opstilling af, hvilke brancher PFAS blev brugt i, findes i Nicolajsen & Tsitonaki, 2016.

Der er pt. en proces i gang for at udfase brugen af PFAS-stoffer (EU, 2006).

2.2 Hvor toksisk er PFAS

Som eksempel for PFAS er toksicitet for PFOS dokumenteret på basis af ECOSAR modellen:

Eksempel for PFOS:

- Chronic value Fish (kronisk toksicitet til fisk) ChV = 3.000 µg/L (ECOSAR 2.0 af 23/1/2022).
- Chronic value Mysid (kronisk toksicitet til Krebsdyr) ChV=171 µg/L (ECOSAR 2.0 af 23/1/2022).
- Dødelig koncentration på 50% af fisk (LC50): 24.300-30.000 µg/L (ECOSAR 2.0 af 23/1/2022).

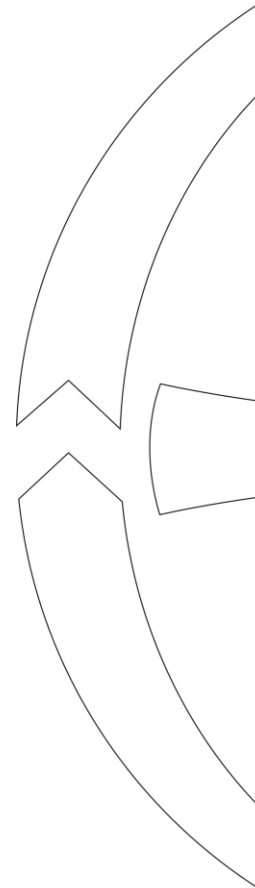
Hovedproblemet med PFOS (og PFAS generelt) er ikke giftighed, men derimod persistens.

Eksempel for Parathion-Ethyl

Til sammenligning blev også toksicitetsdata for pesticidet Parathion-Ethyl (som har en meget anderledes kemisk struktur end PFAS) taget fra ECOSAR:

- Chronic value Fish ChV = 0,052 µg/L (ECOSAR 2.0 from 25/1/2022).
- Chronic value Mysid ChV= 0,00016 µg/L (ECOSAR 2.0 from 25/1/2022).

Det vil sige, at PFAS er problematiske stoffer, fordi de er meget persistente, og de er også giftige, men i spildevand håndteres flere stoffer, som er endnu giftigere. En anden diskussion om giftighed af PFOS findes i Djursing (2022). Det skal dog påpeges, at PFAS-stoffer, pga. deres persistens er et stort problem for kemikalierereguleringen.



3 PFAS cases

3.1 Uppsala (Sverige)

Brandvæsenet trænede over en lang periode i at slukke ildebrande i flymaskiner på et område, som ligger tæt på en drikkevandsindvinding ved byen Uppsala. Koncentrationer af PFAS i denne sag ligger omkring 3.200 ng/L i recipienterne og 43.927 ng/L i grundvand, mens baggrundskoncentrationerne ligger på 13,5 ng/L i overfladevand (Goldenman et al., 2019). Uppsala by blev opmærksom på problemet omkring 1995 og har efterfølgende fjernet PFAS i stor stil (feks. med granuleret aktivkul (GAK)).

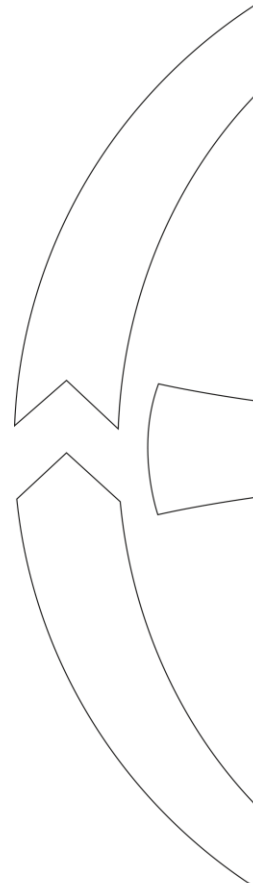
3.2 Möhne (Tyskland)

Der blev brugt produktionsslam fra en PFAS-produktion, som gødning på markerne. Afløbsvand fra markerne løb ind i floden Möhne, som sammen med floden Ruhr og en stor sø/reservoirsystem bliver til drikkevand til 5 millioner mennesker (Skutlarek et al., 2006, van Keer et al., 2020). Ruhrverband (som er ansvarlig for vandforsyning i denne region) blev tvunget til at bruge søen/reservoirret til at foretage en kontrolleret fortynding af PFAS i Ruhr floden for at holde PFAS nede på 300 ng/L, og drikkevandsværkerne måtte bruge granuleret aktivt kul (GAK) i stor stil for at nedbringe koncentrationerne af PFAS i drikkevand til 100 ng/L.

Der blev fastsat en grænseværdi på 100 ng/L i drikkevand baseret på toksikologiske vurderinger, og som stadigvæk er minimumskrav i denne region (NRW, 2020).

3.3 Rastatt (Tyskland)

Slam fra papirindustri blev brugt på landbrugsmarker (430-1.000 ha). Det blev skønnet, at mængden af PFAS, som blev udbragt til miljøet, var 1-5.000 kg (Goldenman et al., 2019). Delfluorede PFAS-stoffer blev dels omdannet i jorden og dels transporteret ved nedsivning ned i grundvandet, som generelt er en knap ressource i denne region (Brendel et al., 2018). PFAS blev detekteret i fødevarer fra disse marker (Brendel et al., 2018). To drikkevandsboringer blev lukket. Især PFAS-stoffer med kort kædelængde dominerede. Drikkevandet bliver på nuværende tidspunkt oprenset med hjælp af GAK filtrering og omvendt osmose i denne region (Goldenman et al., 2019). Omkostningerne ved denne case blev skønnet til 1.000-3.000 Mio € (Goldenman et al., 2019). En lokal gennemgang af sagen – på tysk – findes i Klatt, 2021.



4 PFAS i spildevand

4.1 Baggrundværdier & punktkilder

I Tabel 1 er angivet PFAS data i afløbsvand fra **danske renselanlæg**, et **svensk** - og et europæisk (**EU**) datasæt. Det danske **NOVANA** datasæt er for lille for at konkludere alt for meget med sikkerhed, og det svenske er kun en lille smule større. Til gengæld er størrelsen af det europæiske datasæt fornuftig, men det ses her, at der er enkelte anlæg, som driver både maksimum og gennemsnit meget højt op. Det nyere danske **Nøgletal** datasæt rummer 30 fuldt udbyggede (MBNDK¹) og 4 rent mekaniske anlæg. I dette datasæt er det et eller flere renselanlæg inkluderet, som har en industriel punktkilde (kan også være en losseplads eller brandøvelsesplads). Dette kan ses på den maksimale værdi for eksempelvis PFOA, som er 420 ng/L, hvilket er relativt højt i forhold til et gennemsnit af 17 ng/L for samme stof. Det renselanlæg med den højeste belastning har 25 højere gange koncentrationer end gennemsnittet. I en anden Tabel i det samme studie blev der angivet et gennemsnit på 4,3 ng/L for PFOA, dvs. endnu lavere.

I et datasæt fra **Holland** (Derksen & Baltussen, 2021) blev nogle ret høje koncentrationer vurderet til at stamme fra drænvand fra lossepladser, som kan udgøre en af de største kilder af PFAS for et bestemt renselanlæg (som til gengæld udgør omkring 30% af PFAS masseflowet i dette datasæt).

Det betydelig større datasæt fra **EU** (Loos et al., 2013) viser meget højere maksimum koncentrationer, hvilket viser betydningen af punktkilder. Dette er også nævnt i en lang række af diskussioner om PFAS, der har kørt gennem tiden.

Punktkilder kan hæve afløbsværdier af PFAS i en renselanlæg op til en faktor 10-1.000.

Data viser, at der er "**baggrundskoncentrationer**" i Skandinavien på omkring 1-4 ng/L for enkeltstoffer og måske 10-35 ng/L for sum af 22 PFAS (Strand et al, 2007; Golovko et al., 2020, Kjølholt et al., 2021). Disse "**baggrundskoncentrationer**" anses for at stamme fra almindelige borgere/husholdninger (regn- & idrætstøj, køkken, tæpper).

Hvis renselanlæg har betydelig højere afløbskoncentrationer end 10-35 ng/L for sum af 22 PFAS, kan der være mistanke om punktkilder, såsom udslip fra industrianlæg, losseplads eller lignede. I en sådan situation er der gode muligheder for en effektiv kildebehandling.

¹ Mekanisk-Biologiske renselanlæg med Nitrifikation, Denitrifikation og Kemisk (fosfor) rensning.

Tabel 1. Koncentrationer af PFAS i spildevand [ng/L]. Max: Maximum koncentration; Min: laveste koncentration, Gen: gennemsnits koncentrationer (ikke alle kilder angiver alle tre)

Datasæt	Koncentrationer afløbsvand			Stoffer inkluderet	Antal anlæg	Kilde
	Max	Min	Gen			
NOVANA	PFOS: 18,1 PFOSA: 1,6 PFHxS: 2,7 PFOA: 24,4 PFNA: 3,1 PFDA: 2,5 PFUnA: <2,2	PFOS: <1,5 PFOSA: <0,3 PFHxS: <0,2 PFOA: <2,0 PFNA: <0,8 PFDA: <1,6 PFUnA: <2,2		PFOS,PFOS A, PFHxS, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA	7	Strand et al. 2007
Nøgletal	PFOS: 280 PFHxS: 140 PFOA: 420 PFNA: 67 PFDA: 130 PFHxA: 49		PFOS: 12 PFHxS: 2,3 PFOA: 17 PFNA: 4,2		34	Kjølholt et al., 2021
Slagelse	PFOS: 18 PFOA: 24 PFNA: 3,1 PFHxS: 2,7					Jørgensen & Dyreborg 2020
EU	PFOS: 2100 PFOA: 15900 PFNA: 2735 PFDA: 1687 PFHxA: 23800		PFOS: 62,5 PFOA: 255 PFNA: 35,1 PFDA: 23,9 PFHxA: 304	PFOS PFOA PFNA PFDA PFHxA	90	Loos et al., 2013
Ahrens /SE	PFOS: 15 PFHxS: 7,5 PFOA: 19 PFNA: 1,6 PFDA: <0,4 PFHxA: <4,4 PFUnDA: 4,2 PFDoDA: <17 PFHpA: <2,6	PFOS: <6,4 PFHxS: <5,4 PFOA: <3,6 PFNA: <0,72 PFDA: <0,4 PFHxA: <4,4 PFUnDA: <1,4 PFDoDA: <17 PFHpA: <2,6			15	Golovko et al., 2020
Australien	PFOS: 70 PFHxS: 50	PFOS: 15 PFHxS: ~5			15	Coggan, 2019
Holland (STOWA ²)	ΣPFAS 809	ΣPFAS 13,6		35 PFAS'er	8	Derksen & Baltussen 2021

² Hollandsk organisation for indsamling, udvikling, og implementering af teknologier til vandhåndtering.

5 Strategier for at nedbringe PFAS i afløbsvand

- Identificere og lukke punktkilder (udslip fra industri, losseplads og lignede, øvelses- og trænings pladser for brand- og beredskabsvæsen) (Der kan være forskellige punktkilder for forskellige PFAS-stoffer).
- Forhindre brug af perfluorerede stoffer (De fleste af dem er forbudt i Europa, og dette forbud er yderligere skærpet i Danmark), det kan kræve en indsats at sikre for, at der bliver fulgt op på dette forbud.
- Hvis der er behov for at nedbringe PFAS i afløb under "baggrundsværdi" kan PFAS fjernes i renselanlæggene (næste afsnit). Det giver dog mening at integrere dette i en helhedsstrategi, som omhandler fjernelse af miljøfremmede stoffer generelt fra afløbsvand.

5.1 Teknologier til fjernelsen af PFAS-stoffer fra vand

Da perfluorerede stoffer ikke kan nedbrydes biologisk, er de nuværende succesfulde teknologier for PFAS alle fase-separationsprocesser.

Aktivt kul

Granuleret aktivt kul (GAK) kan anvendes i kolonner for at fjerne PFAS fra kontamineret vand (Barisi & Suri, 2021). Efter brug brændes GAK af under høj temperatur (1300 °C) eller re-konditioneres ved lavere temperatur (500 °C)

GAK er standardløsning i vandindustrien i Europa, da dette materiale også fungerer godt for lave koncentrationer (ng/L-µg/L). Der kan forventes en fjernelsesgrad på 95% i gennemsnit (Barisi & Suri, 2021).

Effektiviteten af GAK ved fjernelse af PFAS er høj i begyndelsen, men effektiviteten går hurtig ned – afhængig af enkelte stof. Efter 10 000 bed volumes³ behandlet vand er fjernelseseffektiviteten mellem 50-95%. Efter 20 000 bed volumes behandlet vand er fjernelseseffektiviteten fra 0-80%. Det peger på, at GAK er mindre effektiv for visse PFAS-stoffer end overfor medicin-stoffer (Belkouteb et al., 2020). Kontakttiden havde i dette eksperiment ikke en stor indflydelse på fjernelsen af PFAS.

I princippet kan pulveriseret aktivt kul (PAK) også bruges – men for at undgå at endnu mere PFAS ender i slammet (og i Skandinavien dermed på markerne), skal PAK anvendes i en separat kontakt- og bundfældnings tank. I modsætning til Schweiz og Tyskland, hvor spildevandsslam brændes af i stor skala, er PAK teknologien i Skandinavien stort set ikke egnet til at fjerne PFAS fra afløbsvand.

Fordele:

GAK er effektiv til at fjerne mange forskellige miljøfarlige stoffer (inklusive PFAS) fra spildevand og er dermed egnet til en helhedsstrategi for at fjerne miljøfremmede stoffer fra afløbsvand.

³ Hvor én bed volume er 1 m³ vand. Dvs. 1 m³ kul har rensset 10.000 m³ vand.

Ulemper:

Anvendelse af GAK har økonomiske konsekvenser, det koster omkring 0.08 €/m³ svarende til 0.6 kr/m³ eller 45-700 kr/år per husstand (Stapf et al., 2020).

GAK har et negativt bidrag til klimabalancen, da produktion af GAK er energikrævende.

Ionbytte kolonner

Ionbytte materialer (resiner) er også velegnet til at fjerne PFAS fra vandet. I dag anvendes de primært til kildebehandling med høje koncentrationer (1 µg/L-3 000 µg/L) (Barisi & Suri, 2021), og her er fjernelsesgraden omkring 90% (afhængig af produkt og PFAS-forbindelser). Kapaciteten af ionbytter er højere end for GAK. Ionbytter kan behandle op til 20.000 bed volumes af vand med en fjernelseseffektivitet af 50-100% (Franke et al., 2019).

Foaming

PFAS opkoncentreres på fasegrænsen luft-vand. Alt slags vand, som kan danne skum, kan bruges til at fjerne PFAS fra vand på denne måde. Fjernelseseffektivitet på 99.8 % (fra 1-3 µg/L til et par ng/L) for nogle PFAS er beskrevet (Burns et al., 2021). Litteraturen omhandler dog mest kildebehandling med høje PFAS-koncentrationer, som afløbsvand fra lossepladser, produktionsaffald og lignende, men der er også eksempler på at recipientvand er behandlet (Burns et al., 2021). Denne teknologi kan anvendes i sandfang og dermed bidrage til lavere koncentrationer af PFAS i både afløbsvand og spildevandsslam. Der eksisterer ikke et klart kost estimat for behandling spildevand ved denne metode på nuværende tidspunkt.

Flokkulanter

Der eksisterer visse flokkulanter (fældningsmaterialer), som er egnet til at overføre PFAS forbindelser fra vand til slamfasen – denne teknik er mest blevet brugt ved selve kilden (lufthavne, brandøvelse, lossepladser).

5.2 Helheds rensestrategi

Hvis man beslutter sig for at oprense PFAS, giver det god mening at indpasse PFAS fjernelsen i en helhedsstrategi i forhold til at fjerne alle miljøfremmede og miljøfarlige stoffer (inklusive medicinrester) fra spildevand. Dette kunne være en kombination af ozonering og aktivt kul, som udpeget i CW Pharma projektet (Bester et al., 2021). Dette ville ikke nødvendigvis være helt optimalt for PFAS, men til gengæld fjernes der også masser af andre miljøfremmede og miljøfarlige stoffer.

6 Referencer

Barisci S., and Suri R., Occurrence and removal of poly/perfluoroalkyl substances (PFAS) in municipal and industrial wastewater treatment plants, *Water Science & Technology* 84, 12, 3442, doi: 10.2166/wst.2021.484

Belkouteb, N., Franke, V., McCleaf, P., Kohler, S., Ahrens, L., Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in a full-scale drinking water treatment plant: Long-term performance of granular activated carbon (GAC) and influence of flow-rate, *Water Research*, 182, 2020, 115913, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115913>

Bester, K., Kharel, S., Kisielius, V., Lukas, M., Skaarup, J., Lauritzen, BS., Stapf, M., Miehe, U., Bogus, A., Testing and developing the CWPharma suggestions for the removal of pharmaceuticals - example Hillerød WWTP, CW Pharma 2 report O2.3 seen on 20/1/2022 at: https://projects.au.dk/fileadmin/www.waterpurification.au.dk/CWPharma_2/20211116_O2_3_final_for_publishing.pdf

Brendel, S., Fetter, E., Staude, C., Vierke, L., Bieler-Engler, A., Short-chain perfluoroalkyl acids: environmental concerns and a regulatory strategy under REACH, *Environ Sci Eur* (2018) 30:9

Burns, D. J., Stevenson, P., & Murphy, P. J. C. PFAS removal from groundwaters using Surface-Active Foam Fractionation. *Remediation*, 31, 19–33, 2021. <https://doi.org/10.1002/rem.21694>

Coggan, T.L., Moodie, D., Kolobaric, A., Szabo, D., Shimeta, J., Crosbie, N.D., Lee, E., Fernandes, M., Clarke, BO., An investigation into per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in nineteen Australian wastewater treatment plants (WWTPs), *Heliyon* 5 (2019) e02316

Derksen & Baltussen 2021 PFAS IN INFLUENT, EFFLUENT EN ZUIVERINGSSLIB RESULTATEN VAN EEN MEETCAMPAGNE OP ACHT RWZI'S, STOWA rapport 46, 2021

Djursing, T., Fluorstoffer Lægen der kastede en redningskrans til de forgiftede, *Ingeniøren*, 14, 16-17, 8. April 2022

Echa, 2021: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas> (seen on 20/1/2022)

EU 2006/122 DIRECTIVE 2006/122/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending for the 30th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (perfluorooctane sulfonates)

EU 2019/1021 Regulation of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on Persistent Organic Pollutants.

Franke V., McCleaf, P., Lidegren, K., and Ahrens, L., Efficient removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: nanofiltration combined with active carbon or anion exchange, ENVIRONMENTAL SCIENCE-WATER RESEARCH & TECHNOLOGY, 5, 1836-1843, 2019, DOI 10.1039/c9ew00286c

Golovko, O., Örn, S., Söregård, M., Friberg, K., Nassazzi, W., Lai, F.Y., Ahrens, L., Occurrence and removal of chemicals of emerging concern in wastewater treatment plants and their impact on receiving water systems, Science of the Total Environment, 754 (2021) 142122

Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., Nordin, A., Schoumacher C., and McNeill, A., The cost of inaction, A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS, TemaNord 2019:516

Jørgensen & Dyreborg 2020, Mikroforurening – PFOS, STFs Døgnkursus - 6 November 2021

Kølholt, J., Schmidt Froskov, L., Arnbjerg-Nielsen, K., Gade Holm A., Nøgletal for miljøfarlige forurenende stoffer i spildevand fra renseanlæg, Miljøstyrelsen, 2021

Klatt, P. PFAS/PFC in Mittlebaden, 2021 seen on 5th April, 2022 at: <https://pfas-dilemma.info/images/PFAS-Broschuere.pdf>

Loos, R., Carvalho, R., Antonio D., C., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R.H., Schwesig, D., Gawlik BM., EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents, Water Res., 47 (2013) 6475 -6487

Nicolajsen, ES., Tsitonaki, K., Kortlægning af brancher der anvender PFAS, MST Rapport 1905, 2016, <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf>

NRW 2020, Bewertungsmaßstäbe für PFAS-Konzentrationen für NRW <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/gefahrstoffe/pfc/bewertungsmassstaebe>

RIVM, 2021: <https://www.rivm.nl/en/pfas/pfas-restriction-proposal>; (seen on 20/1/2022)

Sima, MW., & Jaffe, PR., A critical review of modeling Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in the soil-water environment, [Science of The Total Environment](#), 757, 2021, 143793

Stapf, M.; Miehe, U.; Bester, K.; Lukas, M.: Guideline for advanced API removal. CWPharma project report for GoA3.4: Optimization and control of advanced treatment (2020) seen at https://zenodo.org/record/5069819#.Ye-qP_go9PY

Skudlarek, D., Exner, M., Farber, H., 2006 Perfluorinated Surfactants in Surface and Drinking Waters, Environ Sci Pollut Res 13 (5) 299 – 307 (2006)

Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F., Larsen M.M., PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø, NOVANA screeningsundersøgelse, Faglig rapport fra DMU nr. 608, 2007

SWD (2020) final: COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN

PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Chemicals Strategy for Sustainability, {COM(2020) 667 final} - {SWD(2020) 225 final - [EUR-Lex - 52020SC0249 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)}

Van Keer I., Hohenblum P., Béen F., Vanermen G., Aus der Beek T., Geerts L., Borchers U., Gemoets J. & Bronders J., 2020, WORKSHOP REPORT ON PFAS, MONITORING seen on 23/3 2022 at [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/07/Umweltbundesamt-Final-Workshop-Report-\(Workshop-and-workshop-report-on-PFAS-monitoring\)-van-Keer-Hohenblum-B-en-et-al-Conference-Center-Albert-Borschette-Brussels-13-14-January-2020.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/07/Umweltbundesamt-Final-Workshop-Report-(Workshop-and-workshop-report-on-PFAS-monitoring)-van-Keer-Hohenblum-B-en-et-al-Conference-Center-Albert-Borschette-Brussels-13-14-January-2020.pdf)