

# PFAS set fra en miljøteknisk vinkel

..... Og hvorfor hører vi så meget om PFAS i medierne ?

Søren Dyreborg  
Senior konsulent, NIRAS

Temadag om PFAS – Danske Miljøadvokater - 11. Maj 2023



- Rådgivende ingeniørvirksomhed med 2600 medarbejdere
- 59 kontorer i Europa, Asien, Afrika, Nord- og Sydamerika
- Teknisk Due Diligence / Miljø Due Diligence (TDD / EDD)
- Teknisk bistand til juridiske spørgsmål om forurening
- Teknisk bistand i forhold til spørgsmål om fx planforhold



## Søren Dyreborg

Kontaktoplysninger

E: [sdg@niras.dk](mailto:sdg@niras.dk)

T: 60 40 91 67

# CV

Civilingeniør og Ph.d., IMT (nu DTU Sustain), DTU

- *Forurening i jord, grundvand, vand og sediment*
- *Risikovurderinger*
- *Afværge af jord og grundvandsforurening*

1996-97: Forskningsadjunkt, DTU

1997-2001: Afværgespecialist og procesansvarlig, Krüger

2002-2012: Projektleder, afdelingsleder, afværgespecialist, DGE

2012-2015: Afdelingsleder, projektleder, ALECTIA

2015- : Seniorkonsulent og specialist, Afværge og PFAS, NIRAS

Arbejdet med for PFAS siden 2015 herunder været hovedansvarlig på projektet på Korsør Brandskole

---

# Agenda

- Kort indflyvning til PFAS
- Hvor finder vi PFAS ?
- Hvilke udfordringer har vi, når vi taler om PFAS ?
- Hvilke muligheder har vi fx for at afgøre alderen på en PFAS forurening ?
- Hvorledes kan man rense for PFAS ?

# PFAS i medierne

2021



TV2 ØST Seneste nyt Nyhedsudsendelser Serier Tip os

Søg MENU

PFOS I KORSØR

## Nedslående melding til PFOS-ofre: - Det er de højeste tal, vi har set i Danmark

### PFAS-stoffer fundet i økologiske æg fra hele Danmark

55 min siden  
Opd. 30 min siden



Temadag om forurening med PFAS  
Hos Danske Miljøadvokater – 11. maj 2023  
Søren Dyreborg

Forurening med PFAS

## Naturstyrelsen har fundet for høje PFAS-værdier i 60 ud af 67 prøver

12. jan kl. 16.32  
Opd. 12. jan kl. 17.24



## PFAS kan skade kvinders fertilitet markant, viser ny forskning

29. apr kl. 06.56



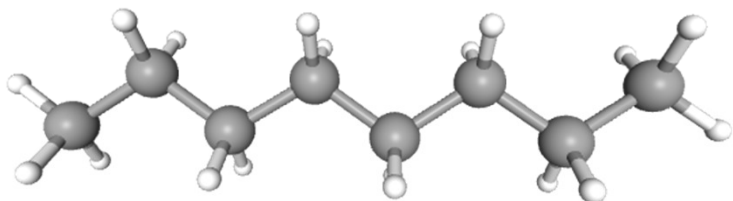
Foto: TV 2 Grafik

af Kaare Gotfredsen

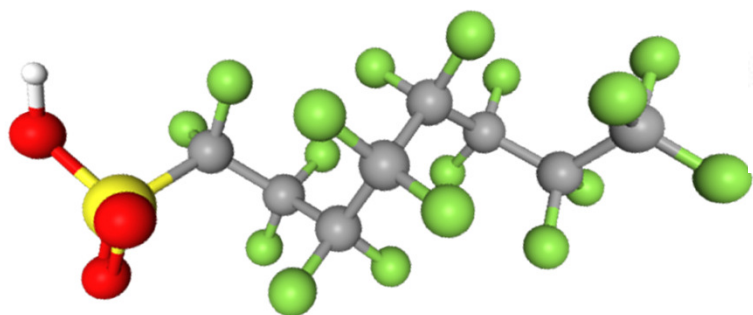
Ny forskning viser fald i frugtbarheden på 40 procent hos kvinder, der har forhøjede niveauer af PFAS i blodet.

**NIRAS**

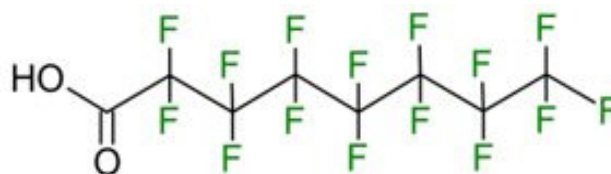
# Intro til PFAS-forbindelser - KEMI



Oktan – en C<sub>8</sub> kulbrinte (fx i olie)

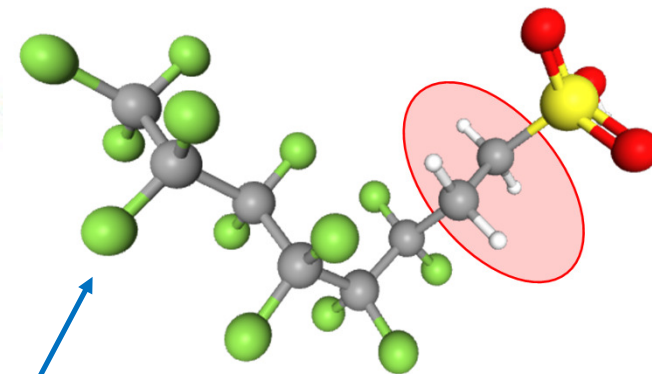


PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)



PFOA (Perfluoroktansyre)

6:2 FTS (6:2 fluortelomersulfonsyre)



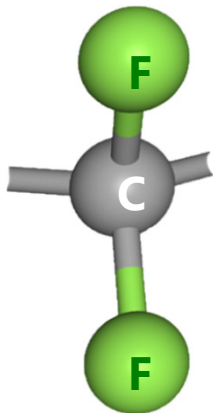
Precursorer – kan omsættes til mindre, men mere persistente PFAS

**PFAS er en forkortelse for PerFluorAlkylStoffer og PolyFluorAlkylStoffer**

# Intro til PFAS-forbindelser

## Over 10.000 PFAS-forbindelser? – Hvorfor er de så specielle?

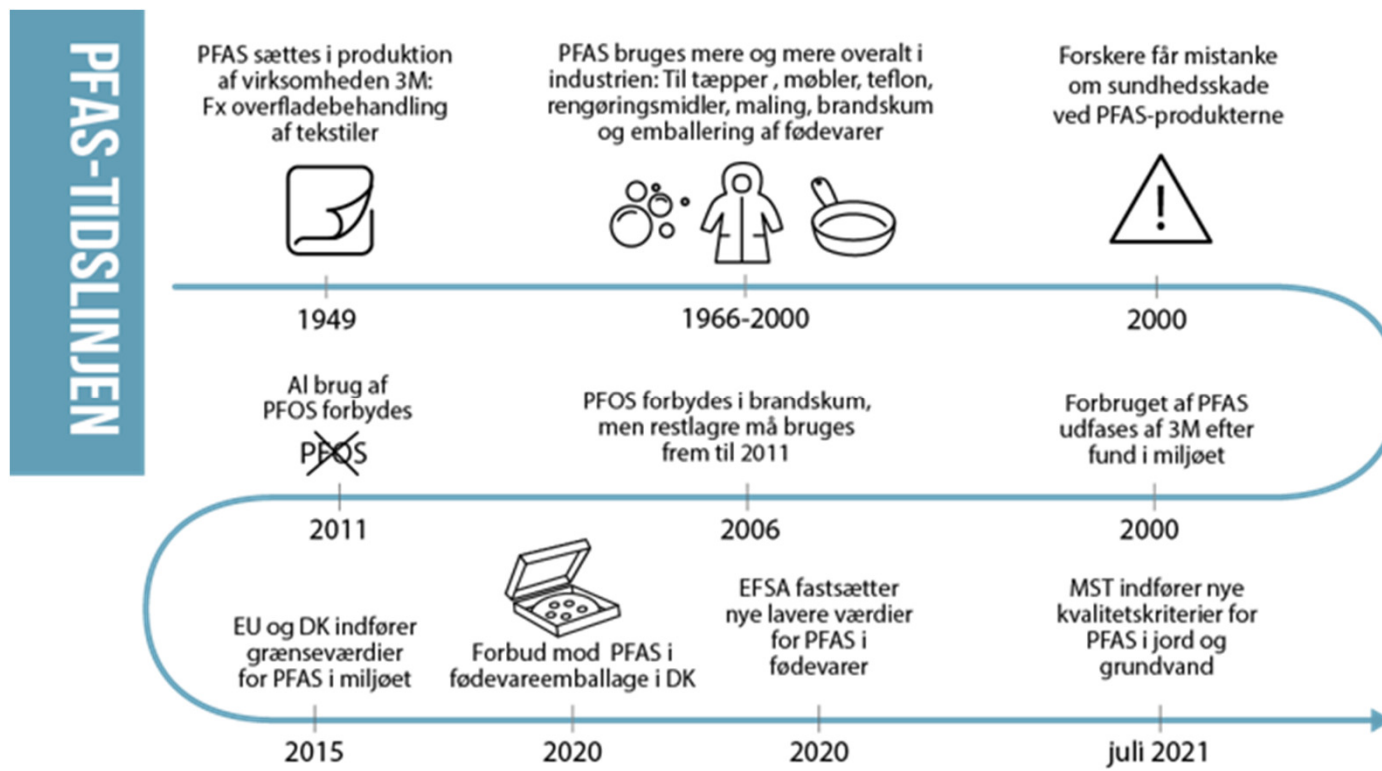
### Den stærke C-F binding !



- Stabil (over for slid, varme og kemikalier)
- Persistent - kan ikke nedbrydes fuldstændigt
- Lipofobe – afviser olie, fedt og snavs
- Hydrofobe – afviser vand
- Overfladeaktive

MEN kun ca. 4.700 PFAS er identificeret af OECD med CAS nr.

# Kort om historien



EU forbyder PFAS ?

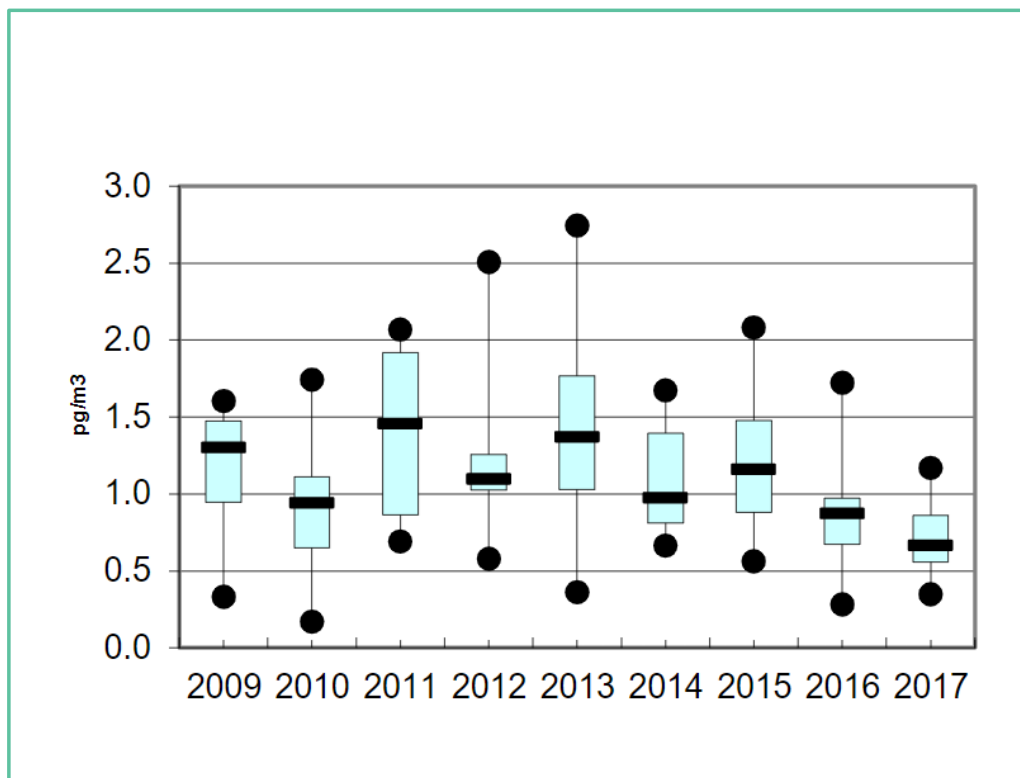


---

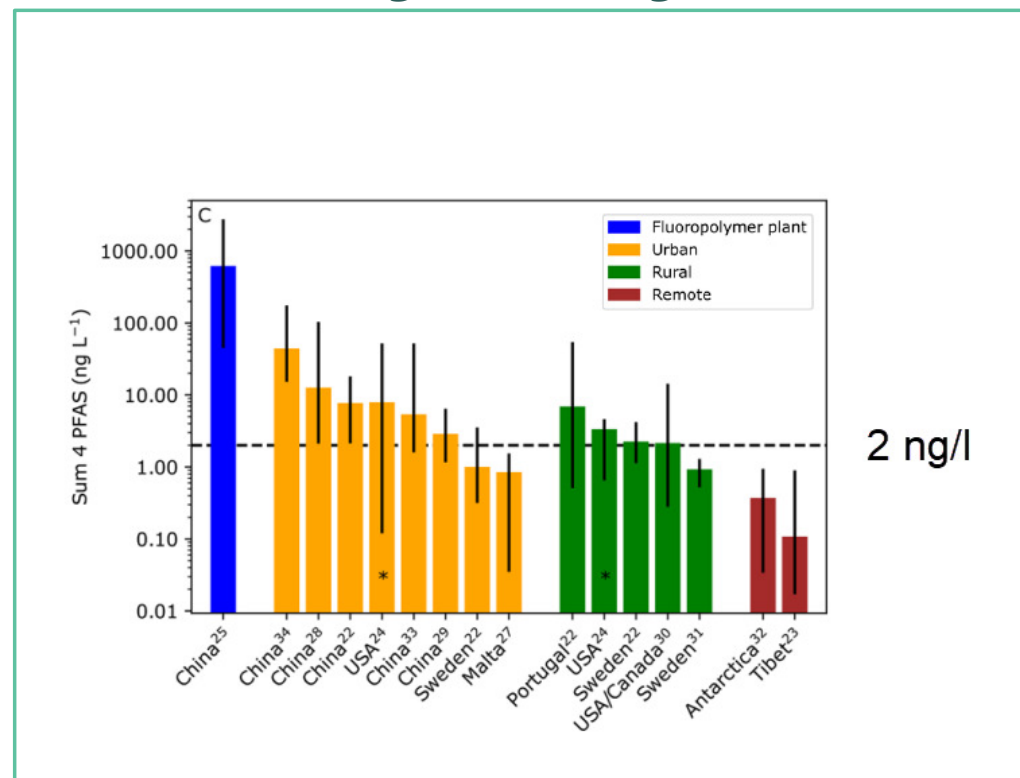
# Kan vi finde PFAS rundt omkring i miljøet?

# PFAS i atmosfæren og i regnvand

## PFOS i atmosfæren (IVL, 2018)



## Sum 4 PFAS i regn (Scheringer et al., 2022)



SAMFUND

## Evighedskemikalier fundet i dansk regn: - Vi er alt for sent ude, siger bekymret professor

13. nov. 2022, 07:01 |



TV 2 fandt PFAS i koncentrationer op til halvandet nanogram pr. liter i regnen, hvilket er tæt på grænseværdien for drikkevand, der er på to nanogram pr. liter. Foto: TV 2

### PFAS i regnen

PFAS koncentrationer i regnvand opsamlet fem forskellige steder i Danmark målt i nanogram pr. liter.

Liseleje

0

Valby

0,56 PFOS, PFOA, PFNA

Odense

0,69 PFOS, PFOA, PFNA

København

0,95 PFOS, PFOA, PFNA

Lyngby

1,5 PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS

Grænseværdi for drikkevand

2 PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS

# PFAS i havskum

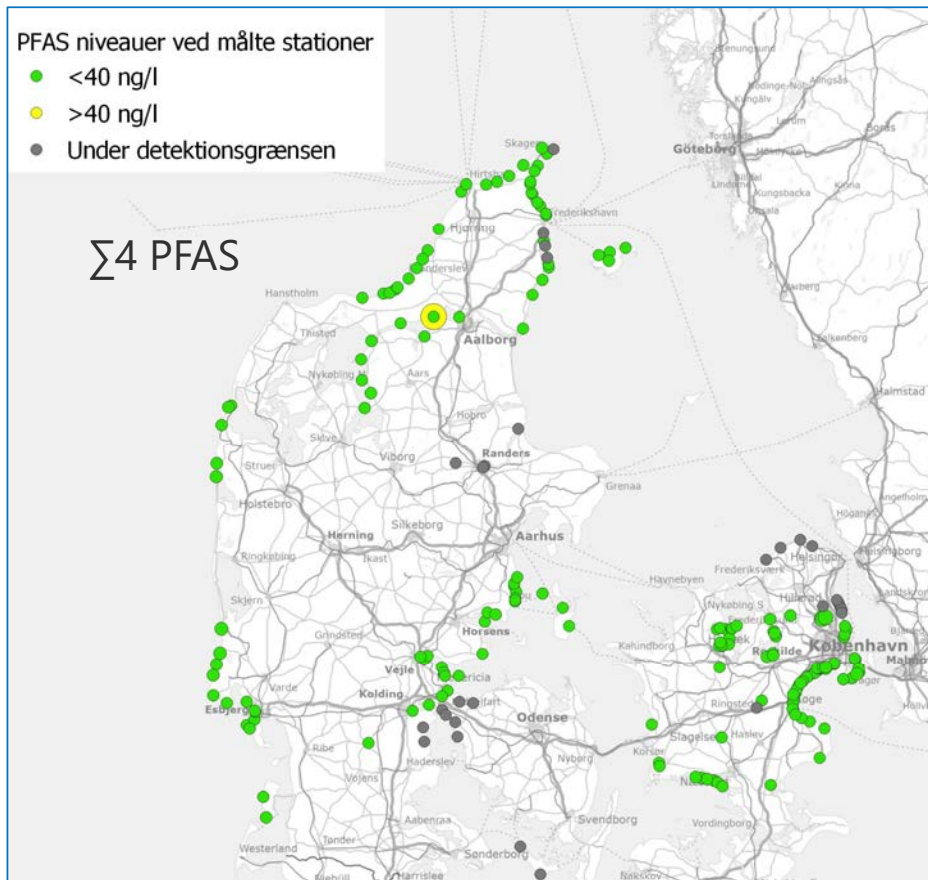


Analyseperiode:	05.04.2022 - 19.04.2022	
Prøvemærke:	Havskum1	
Lab prøvenr:	835-2022-03850315	Enhed

PFAS-forbindelser		
PFBA (Perfluorbutansyre)	<20	ng/l
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<10	ng/l
PFPeA (Perfluorpentansyre)	<10	ng/l
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	25	ng/l
PFHxA (Perfluorhexansyre)	36	ng/l
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	3300	ng/l
PFHpA (Perfluorheptansyre)	1100	ng/l
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	590	ng/l
PFOA (Perfluoroktansyre)	21000	ng/l
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	85000	ng/l
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	170	ng/l
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	200	ng/l
PFNA (Perfluorononansyre)	8900	ng/l
PFNS (Perfluorononansulfonsyre)	<10	ng/l
PFDA (Perfluordekansyre)	3300	ng/l
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	<10	ng/l
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	550	ng/l
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	<10	ng/l
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	35	ng/l
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	<10	ng/l
PFTriDA (Perfluortridekansyre)	22	ng/l
PFTriDS (Perfluortridekansulfonsyre)	<10	ng/l
Sum af PFAS 4 excl. LOQ	120000	ng/l
Sum af PFAS	120000	ng/l

Sum af 4 PFAS i badevand, vejledende kravværdi 40 ng/l  
 Sum af 4 PFAS i drikkevand, kravværdi 2 ng/l

# Badevand

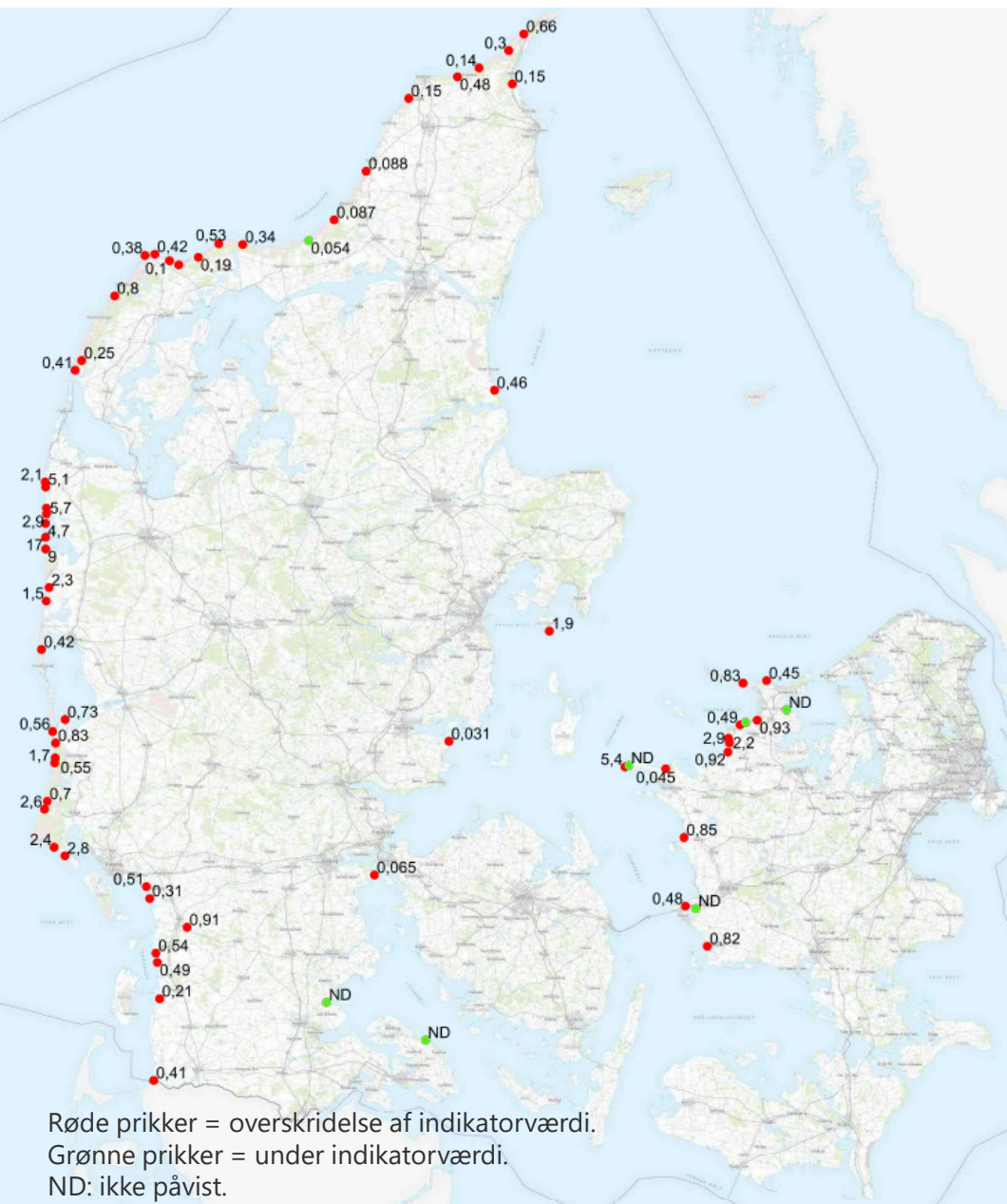


WHO princip: 20 x drikkevandkriterier for badevand (hav- og ferskvand)

➤ 40 ng/l for  $\Sigma$ PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS

Generelt var kriterierne for badevand overholdt ifm. Miljøstyrelsens og kommuners prøvetagning i 2022.





## PFAS i græs

Der er i alt påvist overskridelser af Fødevarestyrelsens indikatorværdier for indhold af PFAS i græs (22 forbindelser, 0,12 µg/kg vv eller PFOS 0,03 µg/kg vv) i ca. 80 % af de undersøgte lokaliteter

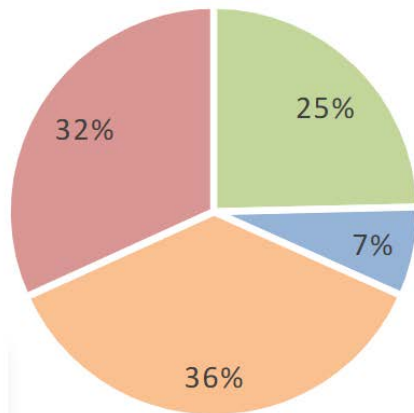
Januar 2023 – NIRAS  
 (<https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2023/jan/pfas-fundet-i-graes-ved-kysten/>)

# Koncentrationer i grundvandet i DK på forurenede lokaliteter

## Regionernes erfaringsopsamling, PFAS undersøgt på 1092 forurenede lokaliteter

### Sum 4 PFAS - fordeling af lokaliteter

■ <det.gr. ■ det.gr.-0,002 µg/l ■ >0,002-0,02 µg/l ■ >0,02 µg/l (10xkriterie)



- Hit-rate : 82%
- Overskridelse: 68%

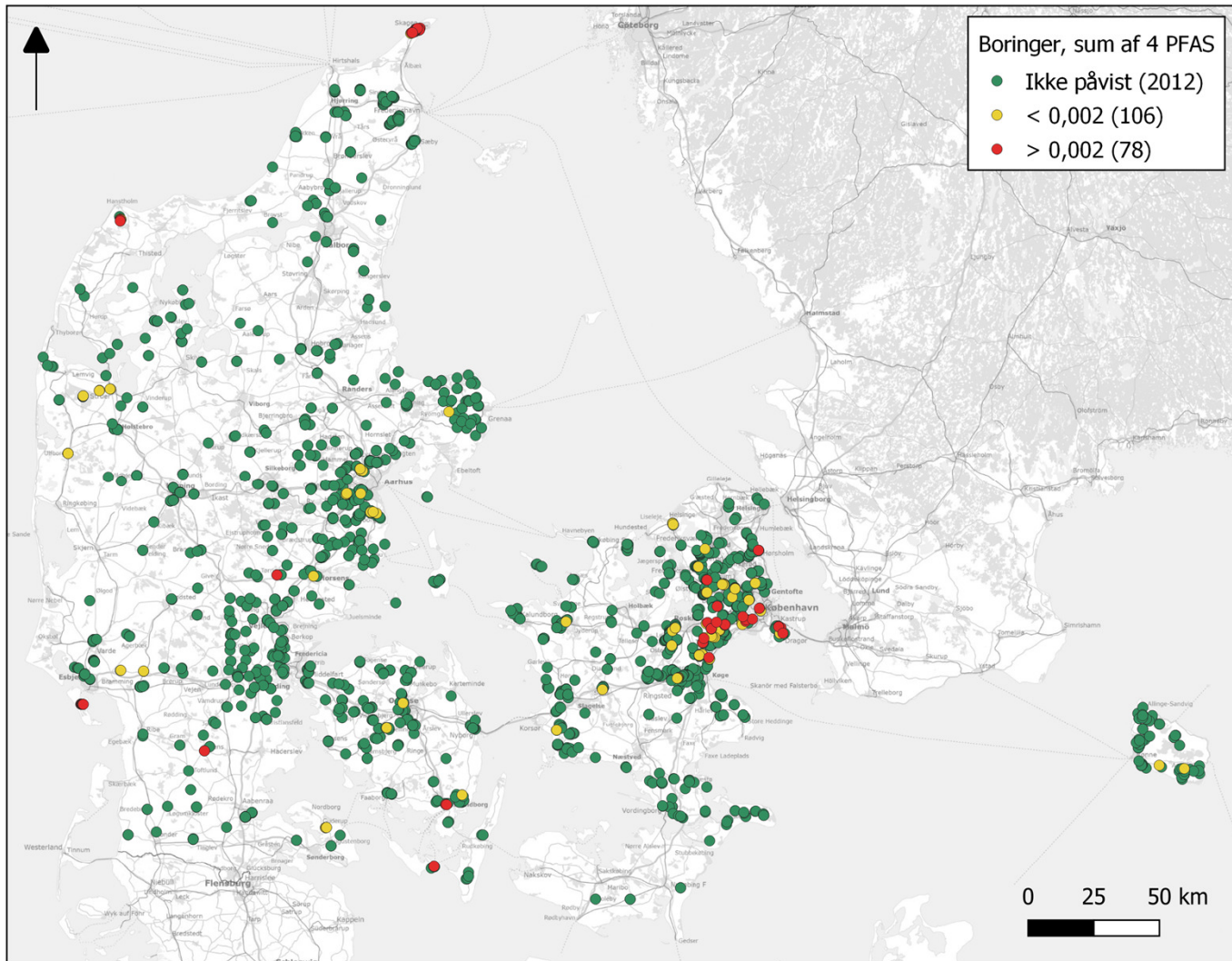
(og hovedfokus har måske ikke været på PFAS)



Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium for sum af 4 PFAS er 0,002 µg/l (2 ng/l)

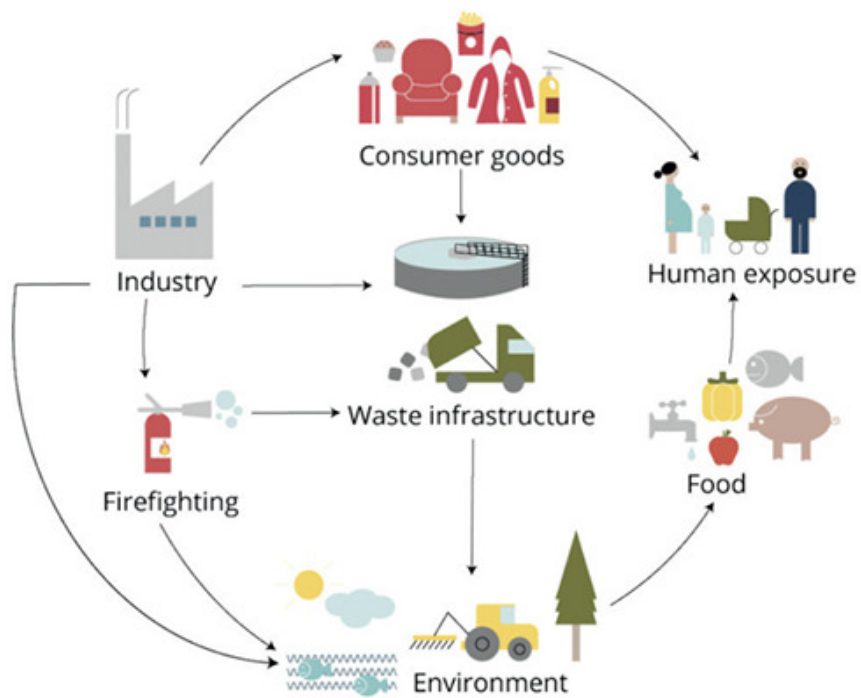
# Vandværksboringer

## Sum af 4 PFAS i seneste analyse





# PFAS i fødevarer



Source: <https://www.eea.europa.eu/>

*Problemer med PFAS mælk i staten i Maine, USA som følge af udbringning af industrispildevand og slam på marker*



(C) Allan Horneman, Arcadis

---

# SUNDHED

# Indlæg af Paula E. C. Hammer (IDA konference, 15. marts 2023)

Bispebjerg og Frederiksberg Hospital

## Helbredseffekter af PFAS jf. Sundhedsstyrelsens rapport

### Væsentlig mistanke

- Nedsat antistofrespons ved vaccination
- Forhøjet kolesterol
- Nedsat fødselsvægt
- Nyrekræft

- Immunforsvar

### Evidens mindre overbevisende

- Forhøjet blodtryk i graviditet
- Påvirkning af leverenzymmer
- Brystkræft
- Testikelkræft
- Påvirkning af skjoldbruskkirtlens hormoner
- Kroniskbetændelse i tyktarmen

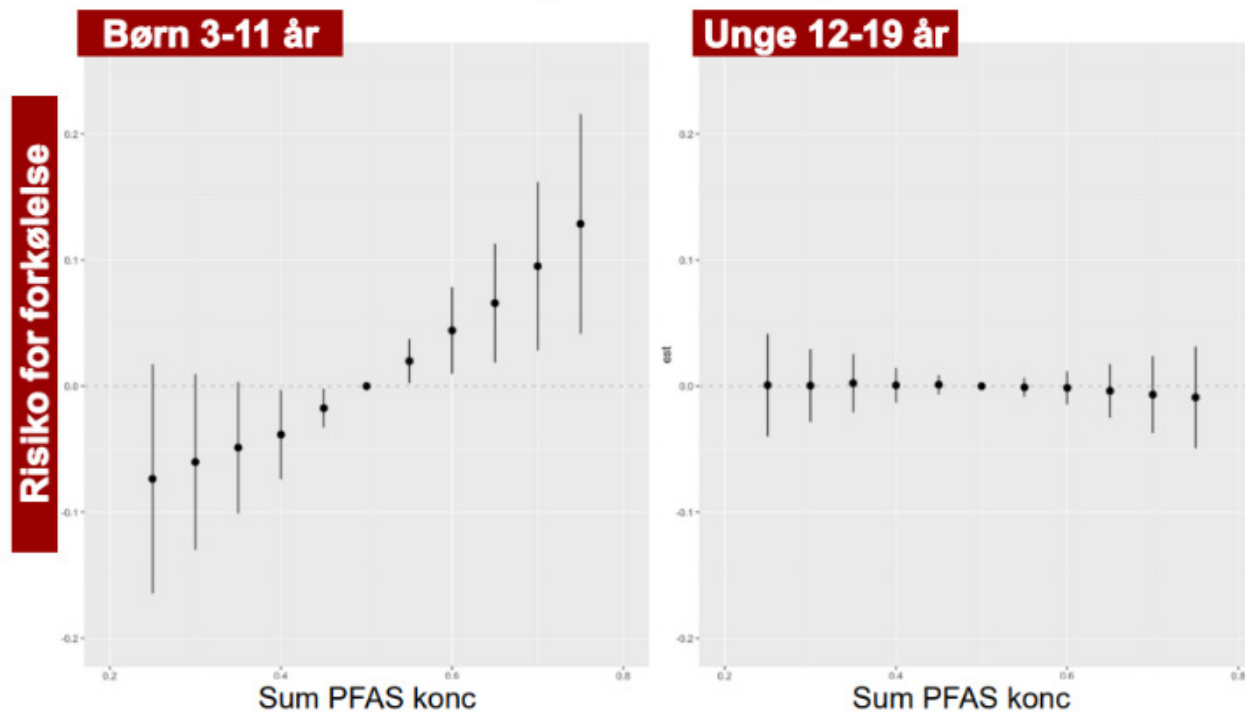
... der forskes i mange flere effekter



# Forkølelse



## Risikoen for forkølelser stiger med stigende PFAS eksponering i 3-11-årige børn i USA



Zhang et al. Association between serum per- and polyfluoroalkyl substances concentrations and common cold among children and adolescents in the United States. Environ Int, 164, 107239, 2022

Temadag om forurening med PFAS  
Hos Danske Miljøadvokater – 11. maj 2023  
Søren Dyreborg

Slide lånt fra  
Vinggaard, DTU, 17.  
april 2023



# Vand

## Grundvandskvalitetskriteriet:

- 2 ng/l for **sum af PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS (sum af 4 PFAS)**
- 100 ng/l for **sum af 22 PFAS**

EU drikkevandsdirektiv, 2020/2184, 2023, og endeligt i 2026.

## Drikkevandskriteriet (bek. 972, 21. juni 2022):

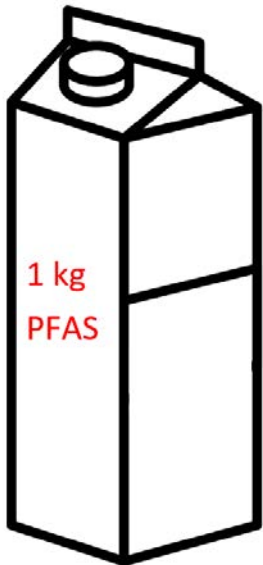
- 2 ng/l for **sum af PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS (sum af 4 PFAS)**
- 100 ng/l for **sum af 12 PFAS**

## Overfladevand (1625 af 19/12/2017), årgennemsnit, ferskvand:

- 0,65 ng/l eller 0,13 ng/l for **PFOS** (årgennemsnit, ferskvand – saltvand)
- 36.000 ng/l eller 7.200 ng/l for **PFOS** (maksimum, ferskvand – saltvand)

## Illustration af kriterierne:

Vi er ca. 6 millioner personer i Danmark, og hver dansker bruger  $\approx 40$  m<sup>3</sup>/år



Drikkevandskvalitetskriteriet er 2 ng/l =  $2 * 10^{-12}$  kg/l

Hvor mange års dansk forbrug af drikkevand kan 1 kg PFAS så forurene?

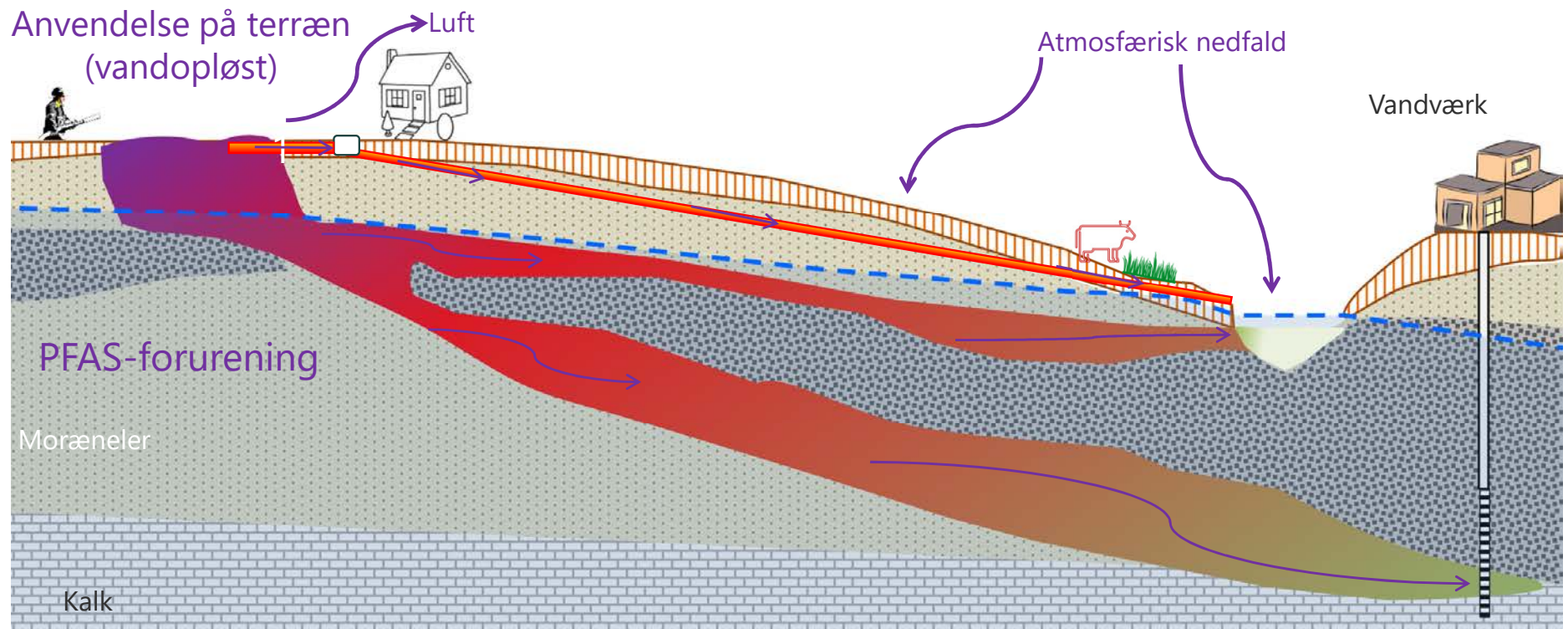
1 kg = 1.000 g = 1.000.000 mg = 1.000.000.000  $\mu$ g = 1.000.000.000.000 ng (1 billion ng)

$$\frac{1.000.000.000.000 \text{ ng}}{6.000.000 \text{ personer} * 40.000 \frac{\text{l}}{\text{person} * \text{år}} * 2 \text{ ng/l}} = \text{hele det danske vandforbrug i 2 år}$$

# Udfordringer for teknikkerne

# Forureningsspredning

## Konceptuel model for spild på terræn ved punktkilder



Lettere redigeret fra: VMR-Håndbog om undersøgelse og afværgelse af forureninger med PFAS-forbindelser



# Jordprøver

## Overfladeprøver:

- Blandeprøver/beregnet gennemsnit af 5 prøver

## Dybere borer

- Håndboringer/ foret maskinboringer
- Passe på krydskontaminering - når udstyr trækkes op gennem overliggende jord

## Hvorfor vigtigt ?

Falske positive og forkerte vurderinger



*Eksempel på prøvetagning af jordprøver hvor risiko for krydskontaminering reduceres ved at forgrave med pælespade.*



# Grundvand / vand

## Prøvetagning fra boringer

- Stor erfaring med prøvetagning
- Udstyr som pejl, pumper, slange, ledninger, tape mv. kan smitte af (falsk positive indhold)
- Lavtydende boringer
- Stort indhold af silt, ler, ..
- Jord som falder ned i borehul under borearbejde?



# PRØVETAGNINGENS UDFORDRINGER

- Kontaminering af prøver under selve prøvetagningen (tøj, handsker, myggespray, cremer, urene hænder mv.)
- Kontaminering af prøver ved brug af forkert emballage
- Kontaminering af prøver ved afgivelse af PFAS fra vores prøvetagningsmaterialer (slanger, pumpe, pejl, håndbor)
- Kontaminering af vandprøver fra materialer i fx. gamle filtre, boringer med eksisterende installationer (pumper, ledninger, dataloggere mv.) der kan afgive PFAS

Løbende test af nyt og eksisterende prøvetagningsmateriel nødvendigt – et par eksempler:

- Pejl (tilfældig brugt) viser afsmitning af PFAS-stoffer
- Motorkablet fra MP1 pumper kan afgive PFAS-stoffer
- Selve MP1 pumpens interne pakninger kan afgive PFAS-stoffer

Løbende rengøring og vedligeholdelses plan nødvendig for udstyr der ikke er engangs forbrugsvare (fx. Håndbor, pejl mv.)



# Biota

## Græs m.fl.



### Græs

- Der udtages flere delprøver fra et delområde
- Græsset rives af (med nitrilhandsker)
- Prøver skal ikke indeholde rødder/jord
- Forskel på analysepakker og laboratorier

### Andre biota

- Grøde (som græs)
- Grøntsager – nedfrosset eller friske.
- Vild (nedfryses og indleveres til laboratorium)
- Fisk – fryses hele og indleveres til lab (analyse af lever eller kød)
- Muslinger og østers
- Husdyr – blodprøve (dyrlæge) eller kød

Kommerciel laboratorium eller Fødevarestyrelsen

# Generelle anbefalinger

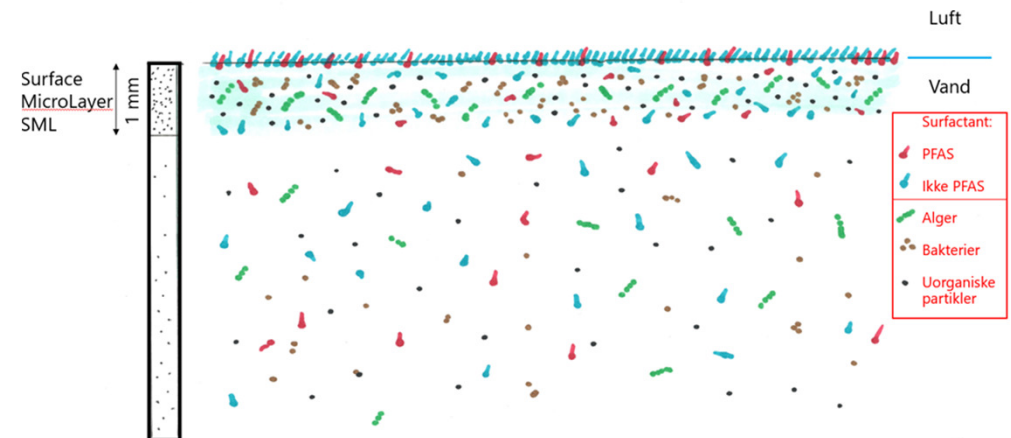
- Sikre mod krydskontaminering
- Blindprøver
- Ikke genbruge udstyr inkl. nitrilhandsker
- Fotodokumentation

## Case med ombytning af prøver:

- Prøvetagning af havvand og Surface Micro Layer (SML)
- SML udtaget ved skimme prøver i vandoverflade

## Resultater

Havvand	SML (Skimmeprøve)
0,79-6,9 ng/l	9 – 1.000 ng/l



# Arbejds miljø

- Generelle anbefalinger vedr. arbejdsmiljø for arbejde med forurenede grundvand og jord
- Generelt ikke behov for ekstra værnemidler i forhold til PFAS – krav til krydskontaminering sikrer også arbejdsmiljø ☺
- Forholdsregler ved jord og vand påvirket af slam/spildevand (hygiejne + vaccination)



## Teknisk viden om PFAS til brug for juridiske vurderinger

- Er der forurening ?
- Hvem har forurennet ?
- Hvornår er forureningen sket ?
- Hvad koster det at rydde op ?

# DETEKTIVARBEJDE OM PFAS



- Historisk viden om PFAS og anvendelse
  - Historisk redegørelse for lokalitet/lokaliteter/branche
  - Geologi / Hydrogeologi / geokemi
  - Kemisk sammensætning ("Fingerprint")
- ↓
- Forståelse af forureningsituation og spredning



---

# PFAS og datering

Skæringsdatoerne i Miljølovgivningen er afgørende, derfor kan en datering af en forurening også være afgørende

BEMÆRK: PFOS har været anvendt lovligt, og PFAS anvendes fortsat lovligt i dag

De fleste PFAS nedbrydes ikke, derfor bliver det svært at datere forurening

# PFAS og datering

ITRC

## A Brief History of PFAS Discovery and Manufacture

### ▶ Two major production processes

- Electrochemical fluorination (ECF)
  - ~70% linear and 30% branched PFAS
- Fluorotelomerization
  - Primarily even numbered, linear PFAS

PFAS <sup>1</sup>	Development Time Period							
	1930s	1940s	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
PTFE	Invented	Non-Stick Coatings			Waterproof Fabrics			
PFOS		Initial Production	Stain & Water Resistant Products	Firefighting foam				U.S. Reduction of PFOS, PFOA, PFNA (and other select PFAS <sup>2</sup> )
PFOA		Initial Production	Protective Coatings					
PFNA					Initial Production	Architectural Resins		
Fluoro-telomers					Initial Production	Firefighting Foams		Predominant form of firefighting foam
Dominant Process <sup>3</sup>		Electrochemical Fluorination (ECF)						Fluoro-telomerization (shorter chain ECF)
Pre-Invention of Chemistry /			Initial Chemical Synthesis / Production			Commercial Products Introduced and Used		



Source: ITRC "History and Use" PFAS fact sheet  
 Module 3: PFAS Production, Uses, Sources & Site Characterization <http://www.itrcweb.org/>

3

# Eksempel på udvikling : Generationer af brandskum - AFFF

## Types of Fluorine-Based AFFF



### Legacy PFOS-based AFFF

- PFOS or PFOS "R" (PFOS with a functional group; PFOS derivative) based
- Developed in 1960s
- Production ended in 2002
- 3M "Light Water" (for example)
- Inventory remains in many locations
- Still major source of PFAS at AFFF-impacted sites
- **Contains PFOS & PFHxS; ratios may vary**

### Legacy Fluorotelomer-based AFFF

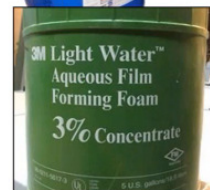
- Sold from 1970s - 2016
- Mixture of 6:2 FTS and 8:2 FTS
- Fluorotelomer sulfonates can break down to PFCAs (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA)
- **Long-chain fluorotelomers (8:2 FTS) can breakdown to PFOA**

### Modern Fluorotelomer AFFF

- 2010-Present
- Short-chain fluorotelomer sulfonates (6:2 and 4:2 FTS)
- Can breakdown to shorter chain PFCAs (PFBA, PFPeA, PFHxA, 5:3 FTCA)
- **Does not contain PFOS and no breakdown to PFOS or PFOA**
- **May contain trace amounts of PFOA as manufacturing impurity or byproduct**

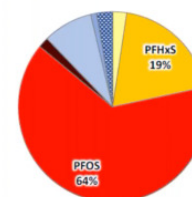
Is That Your PFAS? Using Forensics to Identify Sources

## Aqueous Film Forming Foam (AFFF)



Data source:  
1. American Chemical Society, 2015. Chemical analysis of selected fire-fighting foams. [https://www.acs.org/pressroom/releases/2015/05/150505\\_chemical\\_analysis\\_of\\_selected\\_fire-fighting\\_foams.html](https://www.acs.org/pressroom/releases/2015/05/150505_chemical_analysis_of_selected_fire-fighting_foams.html)  
2. EPA, 2015. PFAS in Consumer Products. <https://www.epa.gov/chemical-safety/pfas-in-consumer-products>. See the full report at <https://www.epa.gov/chemical-safety/pfas-in-consumer-products>.

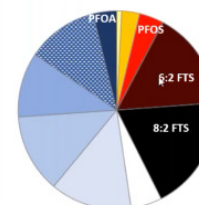
### PFOS-Based AFFF



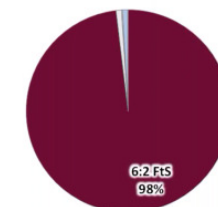
### 1<sup>st</sup> Generation

- Note: Typical composition is mainly PFOS and PFHxS
- Different lots may have different ratios of PFOS/PFHxS

### 2nd Generation



### 8:2 and 6:2 FTS-Based



### Modern Fluorotelomer (6:2 FTS)

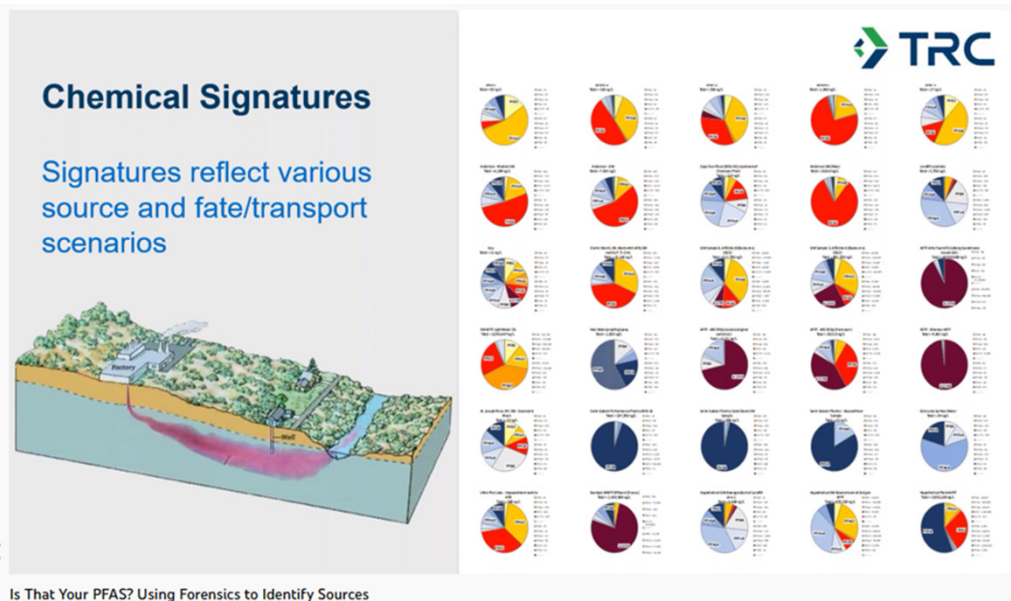
Is That Your PFAS? Using Forensics to Identify Sources

# FINGERPRINT



## Kemisk sammensætning af PFAS-forbindelser

- Grafisk fremstilling
- Fordeling af kortkædede PFAS vs. langkædede PFAS
- PFCA (carboxylsyre) vs. PFSA (sulfonsyre)
- Precursere (Fluorotelomer/6:2 FTS og sulfonamider/PFOA)
- 22 PFAS eller flere stoffer?
- Søjlediagrammer, cirkeldiagrammer eller?
- **PAS PÅ MED LAVE KONCENTRATIONER < 100 ng/l**



Inddeling ?	Bemærkning
Kortkædede PFCA: PFBA-PFHpA	Carboxylsyre
Langkædede PFCA: PFOA - PFTrDA	
Kortkædede PFSA: PFBS-PFPeS	Sulfonsyre
Langkædede PFSA: PFHxS-PFTrDS	
Fluorotelomerer: 6:2 FTS	Precursere
Sulfonamid: PFOSA	

# Problemstilling med PFAS: "Er der PFAS i vores produkter" og "hvor kommer PFAS'en fra (Utilsigtet forurening)" ?

<0,1% (1.000 mg/l) - ingen deklarationskrav ift. REACH og sikkerhedsdatablade (SDS)

Selve navnene fremgår sjældent, i stedet kan man se efter ord som "Fluorosurfactants" eller "fluortensider"

**PFOS** og **PFOA** er POP-stoffer (Persistente Organiske miljøgifte). De er forbudt i produkter i EU, men accepteres som "utilsigtet sporforurening"

EU har angivet disse acceptable grænser i produkter (opstået ved f.eks. kontaminering):

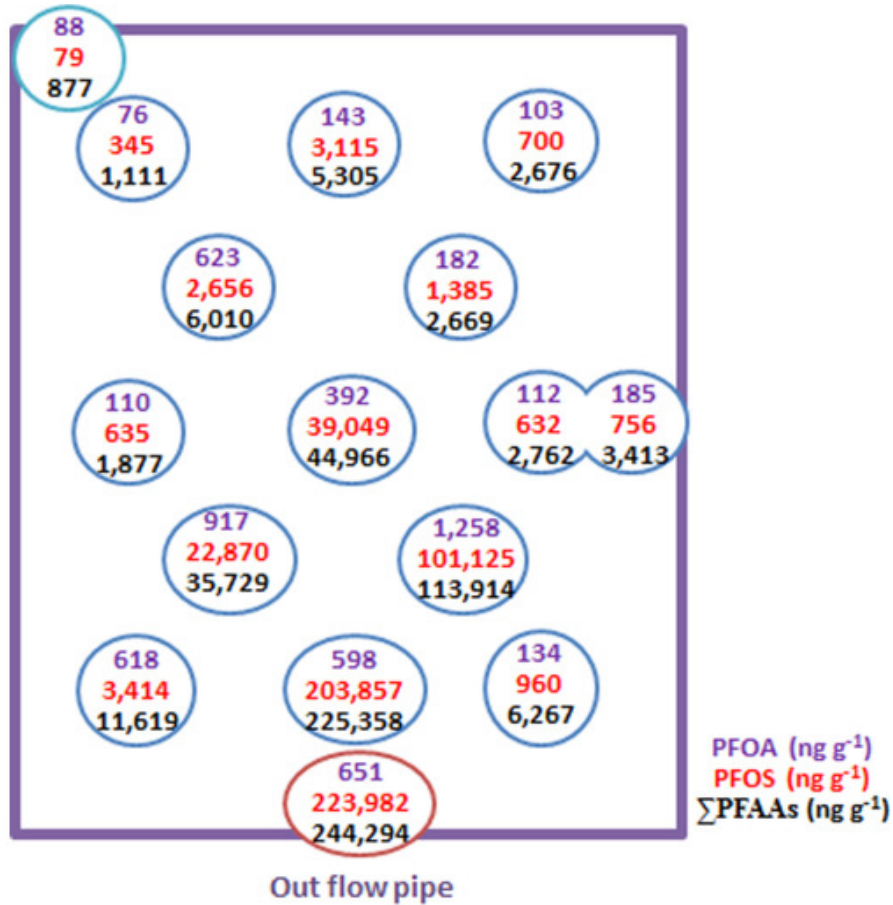
0,001% = 10 mg **PFOS**/kg (10.000 µg/l)

0,0000025% = 0,025 mg **PFOA**/kg (25 µg/l)

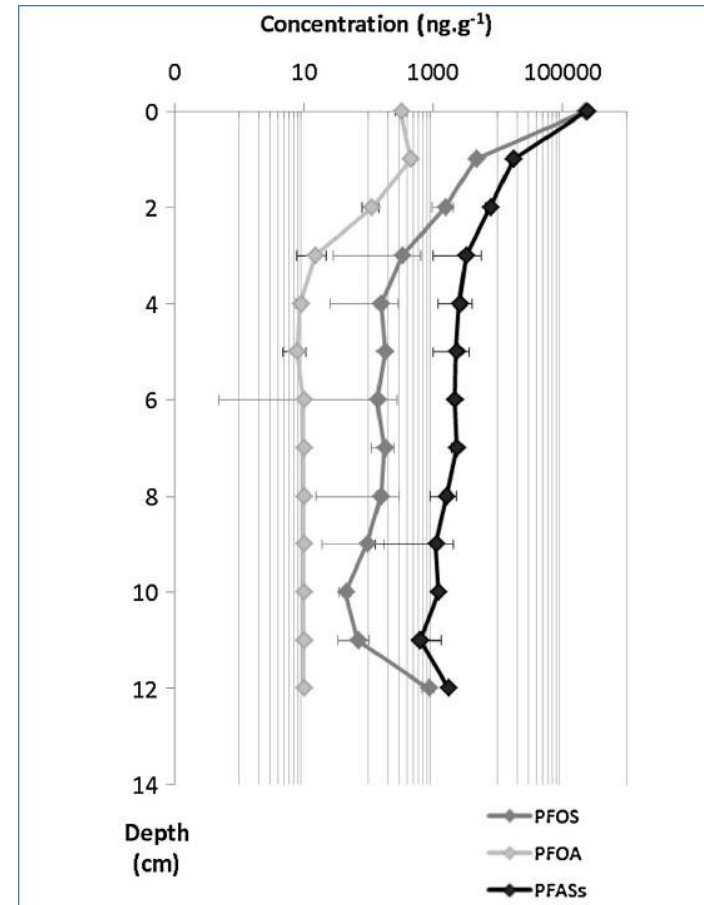
0,0001% = 1 mg **PFOA-beslægtede** stoffer/kg (1.000 µg/l)

(sammenlign med et grundvandskvalitetskriterie på 0,002 µg/l !)

# Problem med rester i installationer: EKSEMPEL: PFAS i Beton



Koncentrationer i betonoverfladen på Brandøvelsesplads



Koncentrationer i dybden i betonen

Data fra Baduel et al. 2015

# Problem med rester i installationer: EKSEMPEL: Afsmitning fra udstyr



## Koncentration (ng/l)

		PFOS	PFAS-12
Strålrør	1	730	1.654
	2	2,9	5,8
	3	15.000	18.519
Slange	1	130.000	151.449
	2	0,44	5,2
	3	1.200	1.598

# Gammel forurening bliver til ny forurening

PFAS nedbrydes ikke – "evigheds-kemikalier"

Gammel forurening, som flyttes til et nyt – uforurenet – medie => ny forurening

Eksempel – inspireret fra et virkeligt hændelsesforløb et sted i verden

I en lufthavn skal der laves en ny landingsbane, og en brandøvelsesplads skal derfor nedlægges  
- jorden ved brandøvelsespladsen er kraftigt forurenet med PFAS, mens resten er uforurenet

Fredagsholdet laver en bunke med PFAS-jord og en bunke med uforurenet jord, inden de går på weekend

Mandagsholdet skal håndtere jorden.

De har aftalt med en landmand i nærheden, at de kan levere jord til jordforbedring

Begge bunkere køres på marken

=> Mandagsholdet har nu lavet en ny forurening med PFAS....



---

Så hvad kan vi gøre ved det ?

FORURENING MED PFAS

## Forskere finder ny metode til at nedbryde giftige PFAS-stoffer

19. aug. 2022, 09:44



Arkivfoto. De skadelige PFAS-stoffer er fundet flere steder i den danske natur – blandt andet på denne forurenede mark ved Korsør. Foto: Ida Marie Odgaard / Ritzau Scanpix

# Afværgeteknologier - jord

Afgravning ! (men hvor skal vi gøre af jorden)?

Under udvikling:

- Termisk oprensning (300-600°C)
- Forceret udvaskning
- Stabilisering ved fx soil mixing

Forhindre spredning i grundvand / overfladevand ?:

- Overdækning / hindre nedsivning

# Afværgeteknologier - Jord - afgravning



# Afgravning - jord - udfordringer

Hvad gør vi med den opgravede jord ?

## Jordmodtagere:

Fortum, Nyborg: 25 tons jord om ugen, 3-4.000 kr/tons, men kun farligt affald (50 mg/kg)

RGS90, Esbjerg: jord med PFAS under jordkvalitetskriteriet (0,4 mg/kg TS)

KMC, København : jord med PFAS under jordkvalitetskriteriet (0,4 mg/kg TS)

Så hvad gør vi med jorden fra 0,4 til 50 mg/kg TS?

Eksport ?

# Afværgeteknologier – jord – termisk oprensning

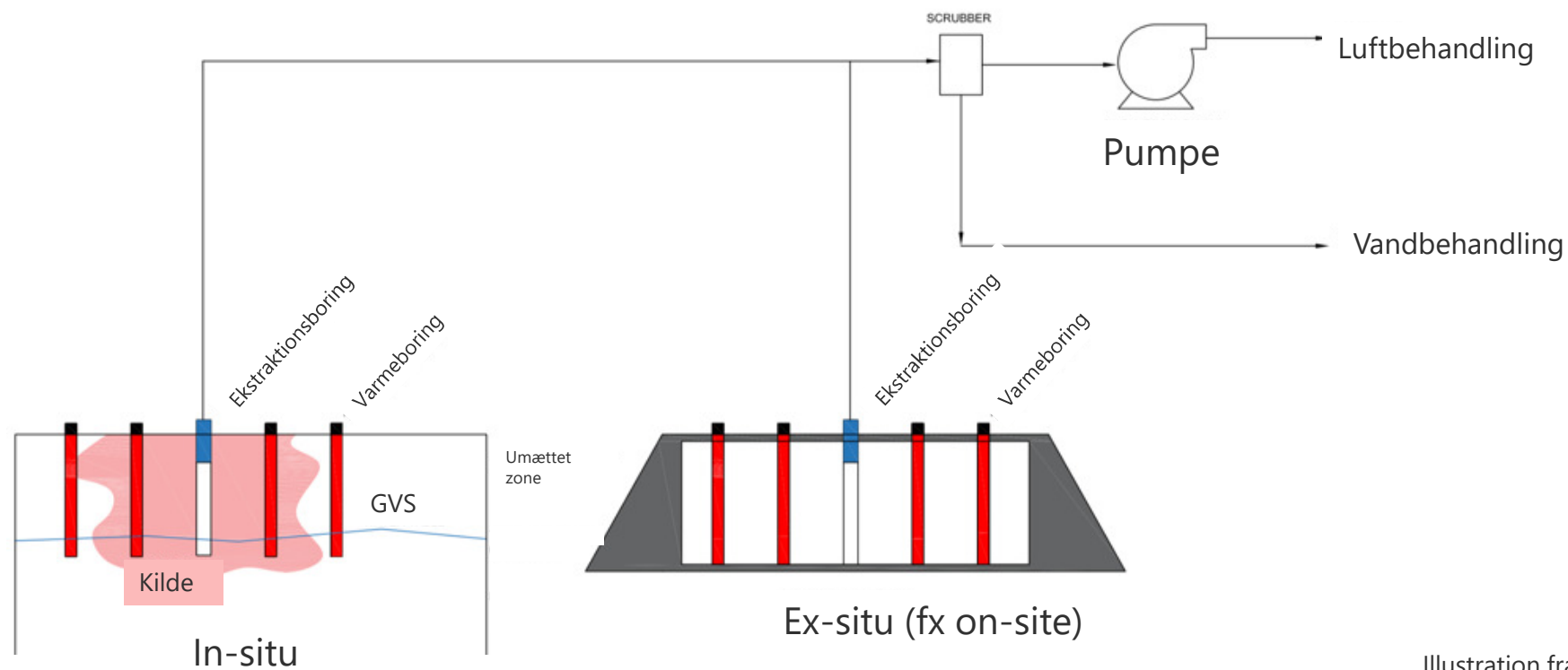
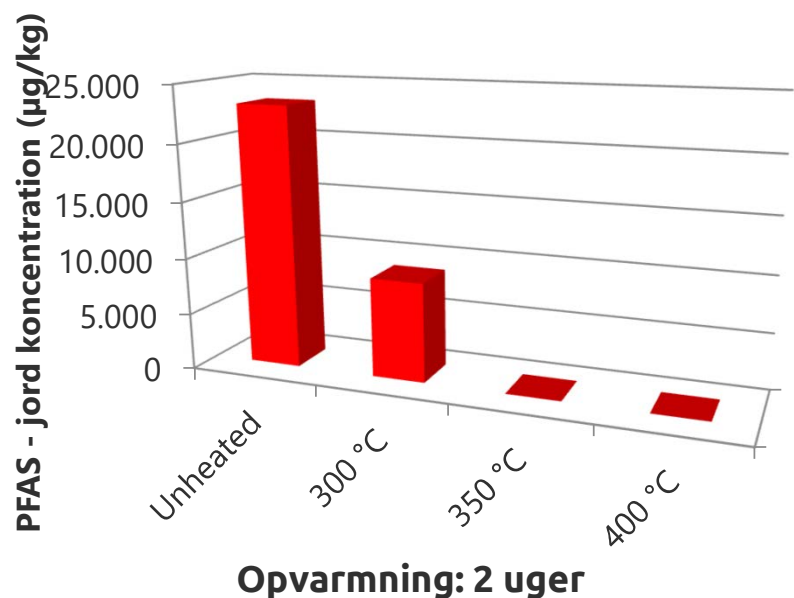


Illustration fra:



# Afværgeteknologier – jord - termisk oprensning

## Laboratorieforsøg



PFAS	Start koncentration (µg/kg)	v. 300 °C % reduktion	v. 350 °C % reduktion	v. 400 °C % reduktion
PFOS	21.000	61.90%	99.92%	>99.999%
PFBA	91	93.85%	99.82%	>99.999%
PFPeA	100	92.60%	<99.8%	>99.999%
PFBS	41	58.54%	99.80%	>99.999%
PFHxA	200	95.30%	99.96%	>99.999%
PFHpA	27	86.67%	98.63%	>99.998%
PFHxS	1.600	51.88%	99.84%	>99.999%
PFNA	16	96.81%	<98.75%	>99.997%
PFDS	48	75.00%	<99.58%	>99.999%
PFOA	64	92.97%	99.22%	>99.865%



Fra: Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances thermal desorption evaluation. Heron et. al. Remediation, 29:77-81, 2019

# Oppumpning af PFAS forurennet grundvand

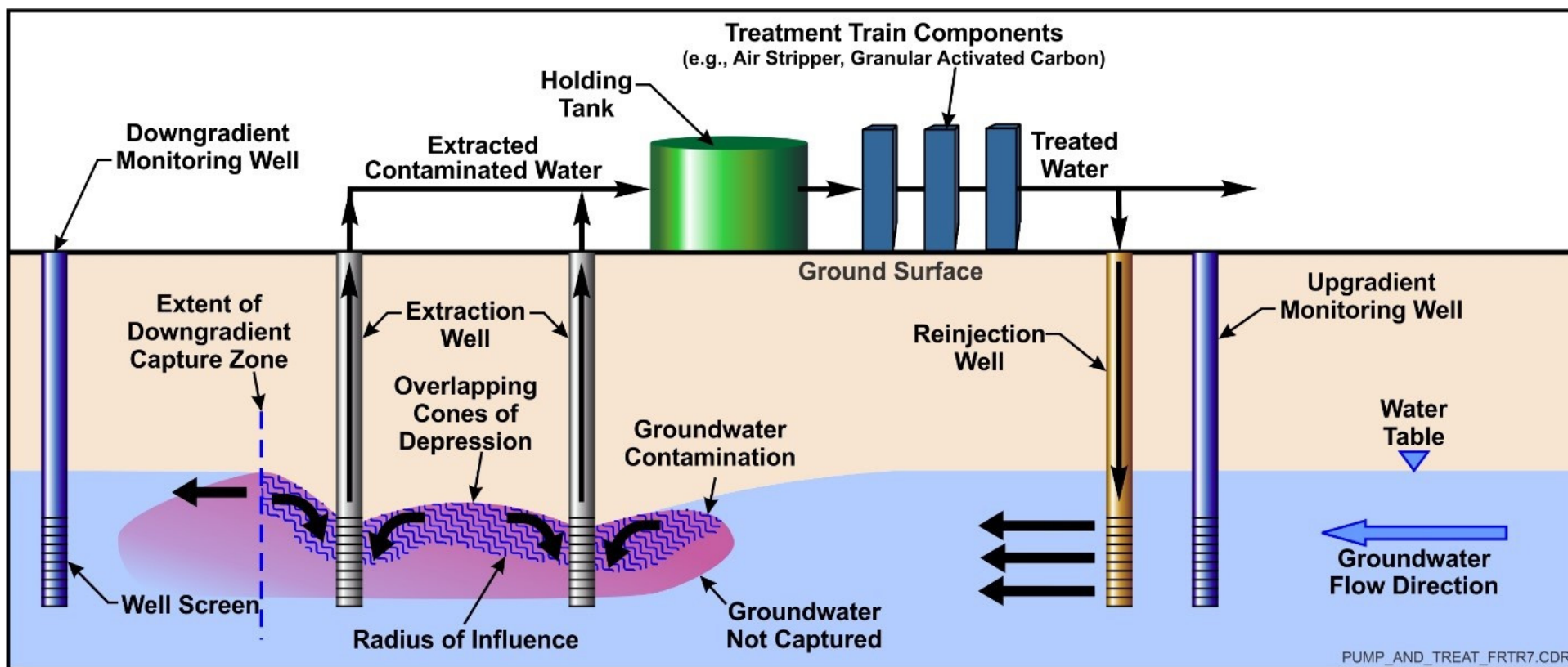
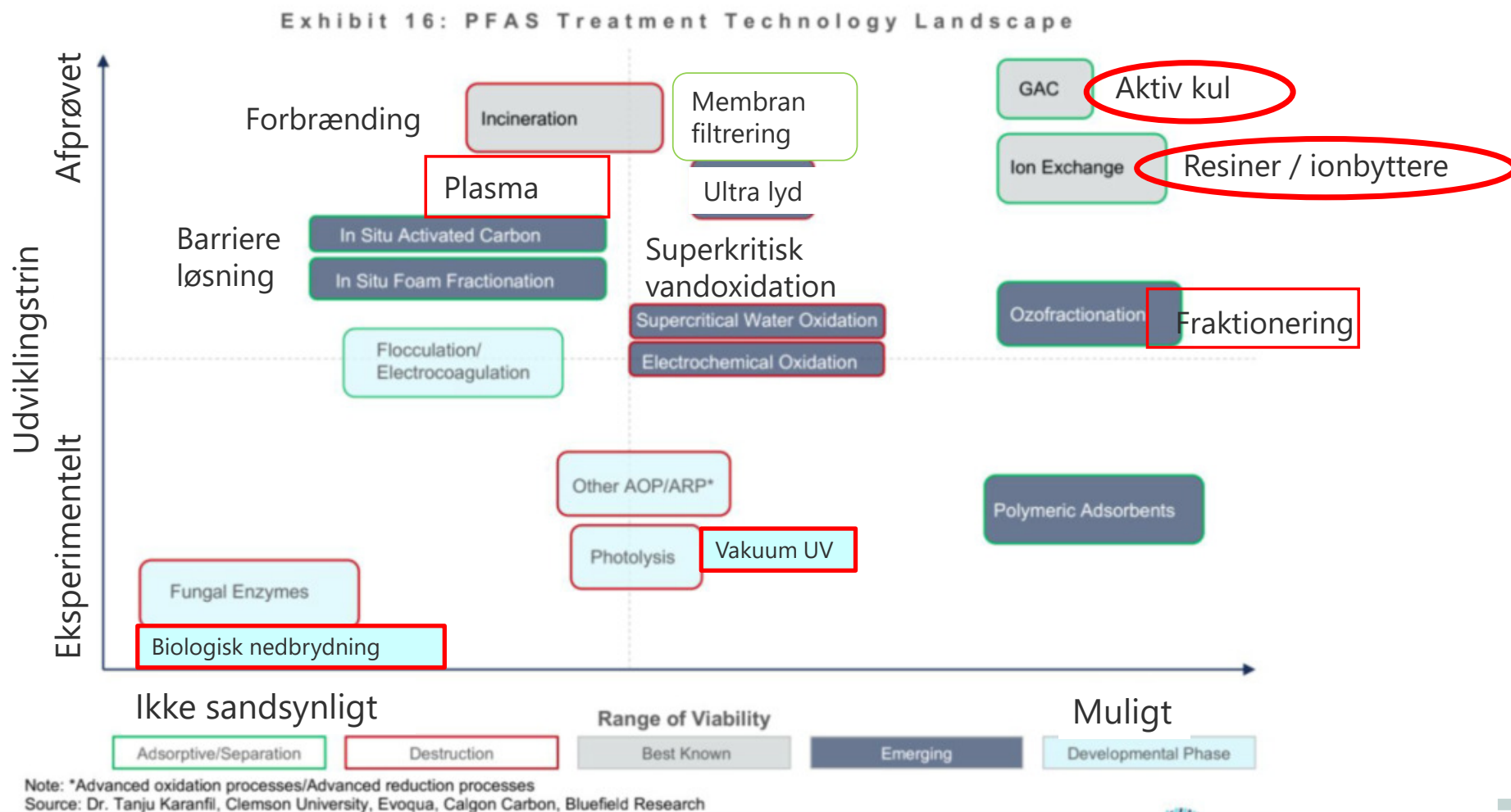


Illustration lånt fra FRTR



# Afværgeteknologier - vand



# Rensningsteknik, on-site, vand:

## Aktiv kul

### Fordele:

- Mange erfaringer
- Velafprøvet
- Skalerbart

### Ulemper:

- Stor variation i kullene
- Hurtig mætning med især de kortkædede PFAS
- Ingen indikation på mætning
- Høj opholdstid
- Restprodukt



Foto fra Silhorko

# Aktiv kul - udfordringer

## Fordele:

- Mange erfaringer
- Velafprøvet
- Skalerbart

## Ulemper:

- Stor variation i de forskellige kul
- Hurtig mætning med især de kortkædede PFAS
- Ingen indikation på mætning
- Høj opholdstid
- Restprodukt

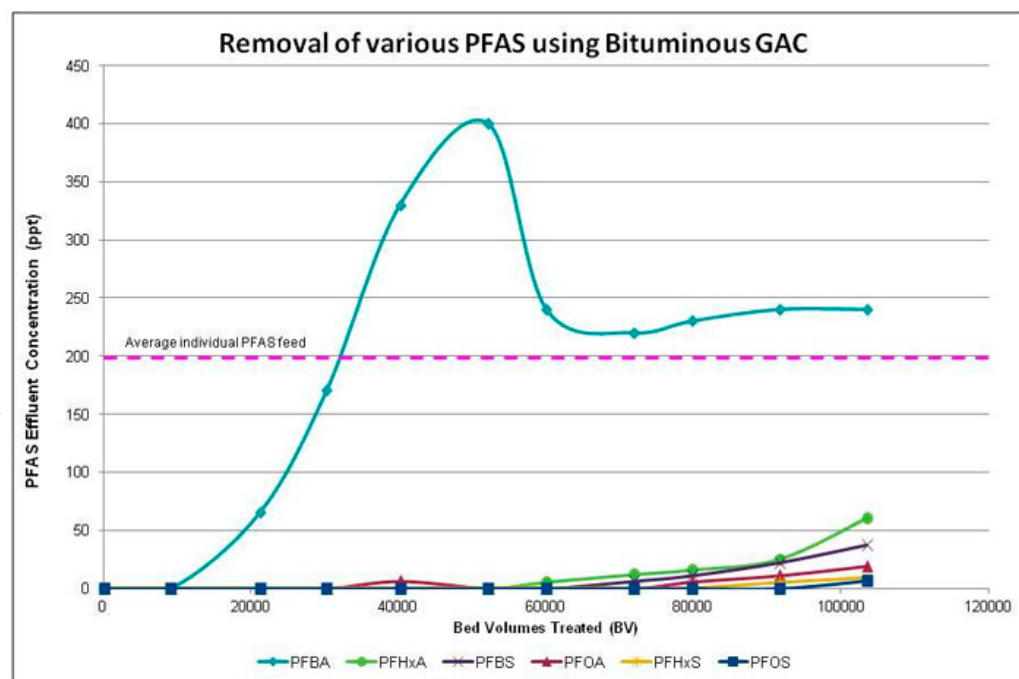


Figure 12-1. Example GAC removal curves at specific influent concentration (15-minute empty bed contact time).

Source: Used with permission from Calgon Carbon Corporation.

Fra: [https://pfas-1.itrcweb.org/12-treatment-technologies/#12\\_2](https://pfas-1.itrcweb.org/12-treatment-technologies/#12_2)

# Rensningsteknik, on-site, vand:

## Resiner

Syntetisk fremstillede  
Typisk anion ionbyttere



Fordele:

- Højere kapacitet end GAC
- Længere levetid end GAC
- Kortere opholdstid end GAC

Ulemper:

- Restprodukt
- Dyrere end GAC

Foto fra Purolite

# Resiner

## Fordele:

- Højere kapacitet end GAC
- Længere levetid end GAC
- Kortere opholdstid end GAC

## Ulemper:

- Restprodukt
- Dyrere end GAC

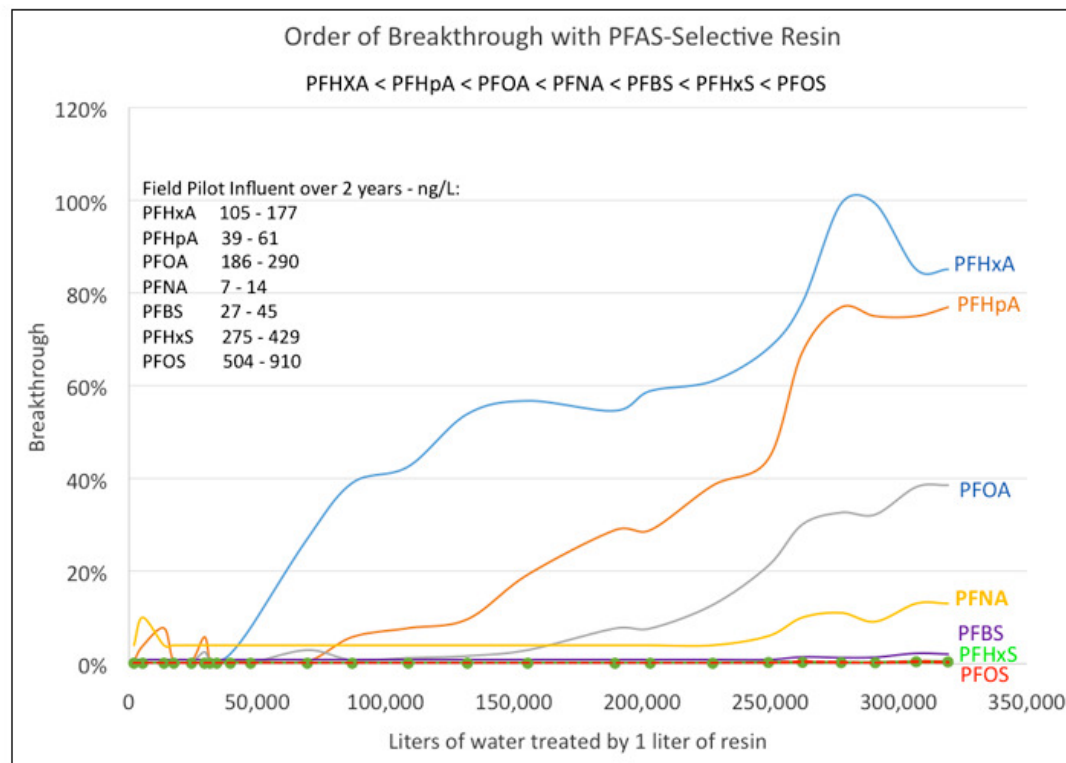


Figure 12-3. Example of IX removal curves from a field pilot study at specific influent concentrations (2.5-minute EBCT).  
(Note: Initial concentrations in ng/L or ppt.)

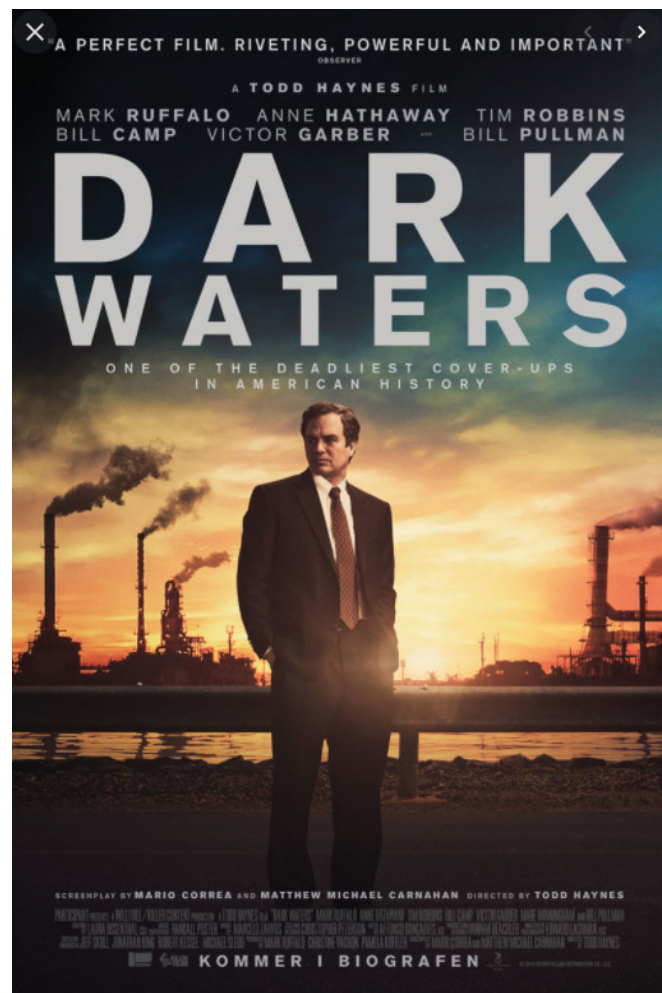
Source: Used with permission from Purolite Corporation.

Fra: [https://pfas-1.itrcweb.org/12-treatment-technologies/#12\\_2](https://pfas-1.itrcweb.org/12-treatment-technologies/#12_2)

# Opsummering

- Mange tusind forskellige PFAS, vi måler for 22
- Vi kan finde PFAS over det hele
- De fleste PFAS er persistente
- De forskellige miljøkvalitetskriterier er meget lave => der skal ikke så meget til
- Det kan være svært at datere en forurening med PFAS
- Der kan være flere forskellige kilder til forurening med PFAS, og selvom det ikke bruges i dag, så kan der stadig sidde PFAS "i systemet"
- Ved en fingerprints analyse kan det være muligt at skelne mellem forskellige forureningskilder, dog er spredningsveje og processer endnu ikke fuld forstået
- Afgravning (jord) og oppumpning (vand) er de to mest anvendelige løsninger i dag til PFAS forureninger

Hvis du vil vide mere ... om PFAS.



Temadag om forurening med PFAS  
Hos Danske Miljøadvokater – 11. maj 2023  
Søren Dyreborg

“Og hvad gør vi nu – lille du ?”

## Regeringen vil have national strategi for PFAS-forurening

17. aug. 2022, 17:41

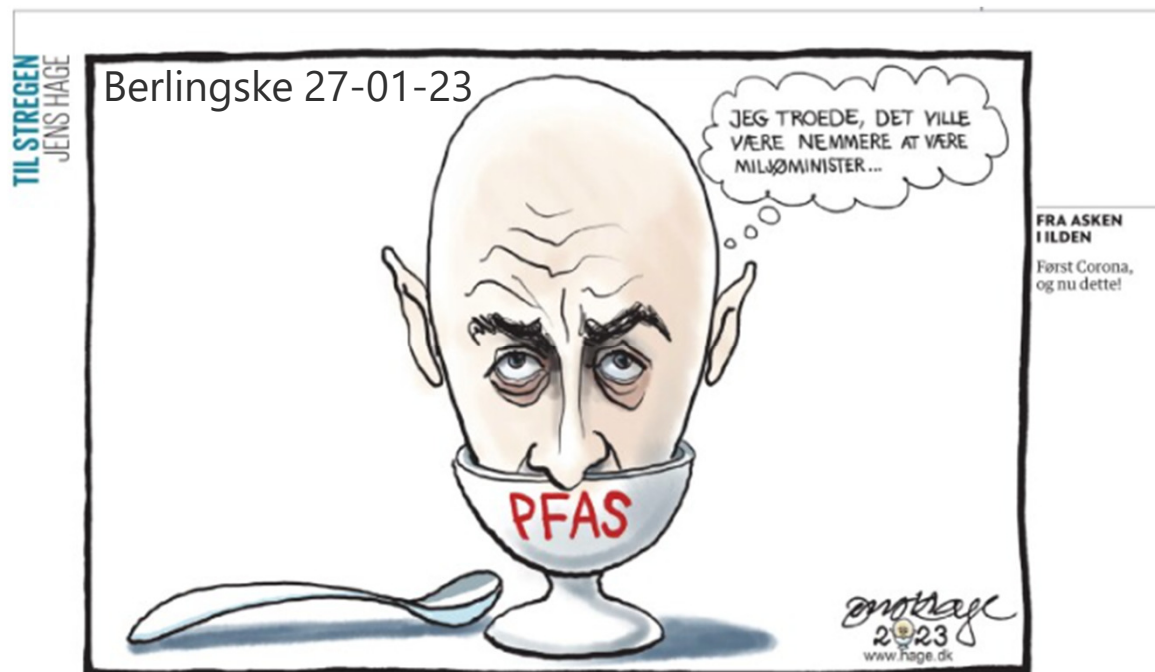


På nuværende tidspunkt mistænkes 15.000 steder i Danmark at være forurenede med de giftige flour-stoffer. Foto: Mads Claus Rasmussen / Ritzau Scanpix

af [Ida Marie Lomholt Wismann](#) & [Anne Klejsgaard Friis](#)

**Miljøminister Lea Wermelin vil ikke svare på, om der følger penge med til den nye strategi.**

Temadag om forurening med PFAS  
Hos Danske Miljøadvokater – 11. maj 2023  
Søren Dyreborg



Nu: Magnus Heunicke





For yderligere spørgsmål:

Søren Dyreborg  
[sdg@niras.dk](mailto:sdg@niras.dk)

+ 45 60 40 91 67

