

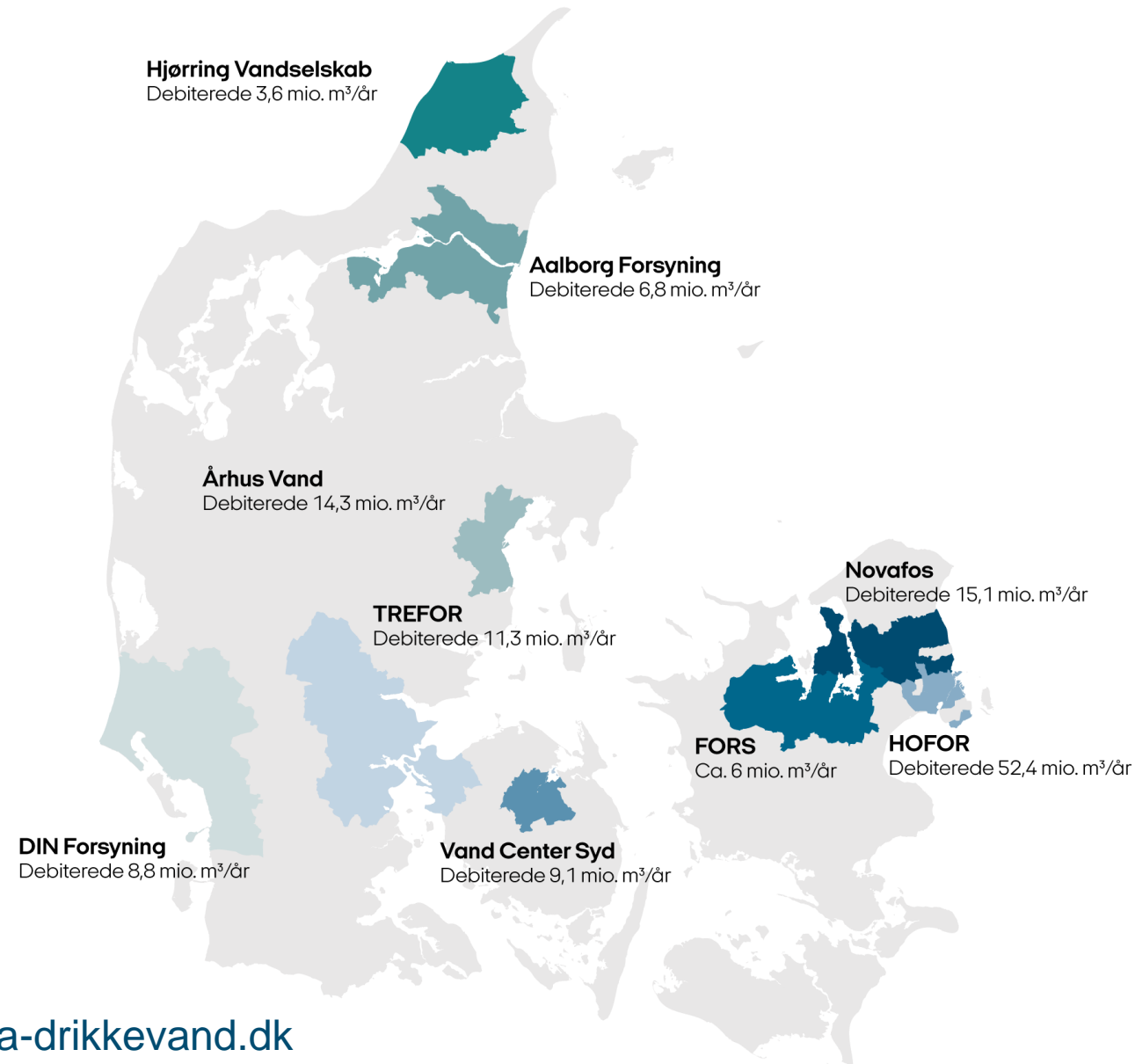
# Rensning af drikkevand for miljøfremmede stoffer i Danmark – -overblik over afprøvede teknologier og erfaringer

ATV Vintermøde 6. marts, Vingsted

- Liselotte Clausen og koordinationsgruppen for InSa-Drikkevand

# Hvem er InSa-Drikkevand?

- Innovationssamarbejde
- 9 af Danmarks største vandforsyninger
  - Leverer vand til mere end hver tredje dansker
- Fagligt referencecenter: DTU Sustain
- Samarbejder med GEUS, Aarhus Universitet, Københavns Universitet, regioner, private teknologi-leverandører og rådgivere.
- Forskningsprojekter, udviklingsprojekter (ph.d., VUDP, MUDP, Innovationsfonden)



Reklame: Følg med på vores hjemmeside: <https://insa-drikkevand.dk>



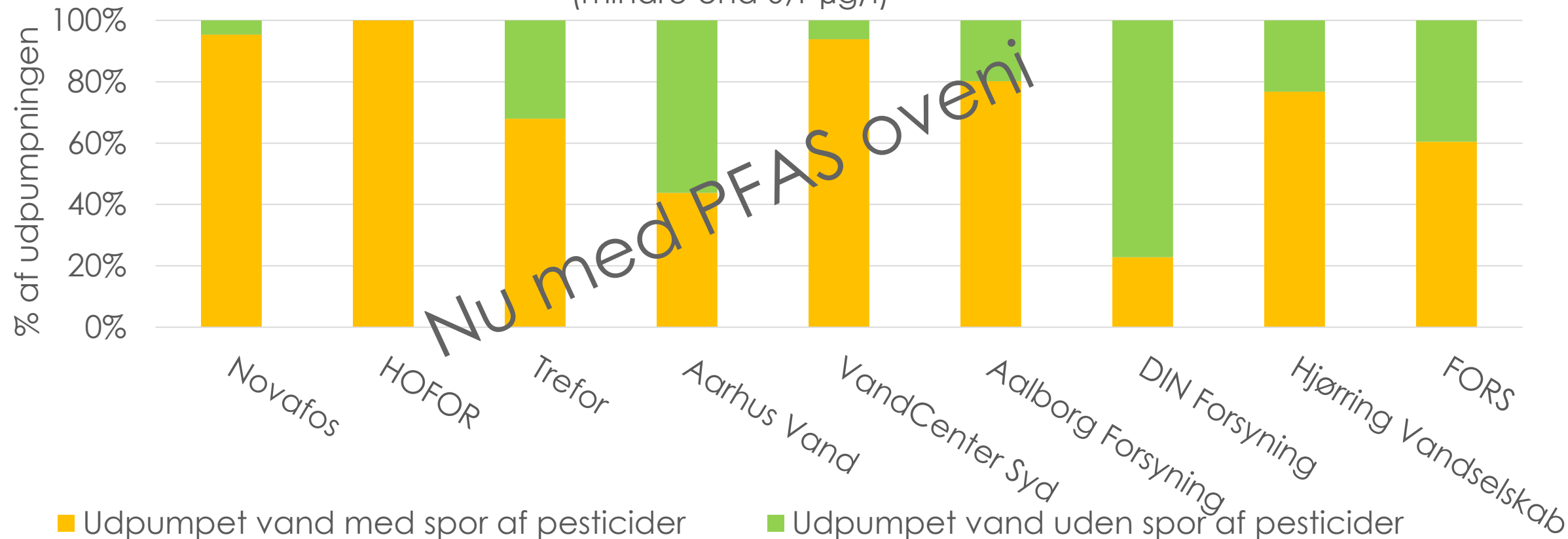
# Medforfattere

- **NOVAFOS:** Peter Lysholm Tüchsen, Bo Lindhardt, Ida Holm Olesen
- **HOFOR:** Natasa Skrbic, Mathilde Jørgensen Hedegaard, Sonsoles Quinzanos, Martin Rygaard
- **FORS:** Dani Mikkelsen, Henriette Jakobsen
- **VandCenter Syd:** Anne Esbjørn, Ulla Brinkmann Trettenes
- **TREFOR:** Niels Emil Søe, Ida Balsby Jakobsen
- **DIN Forsyning:** Iben K. Nilsson, Søren Tygesen
- **Århus Vand:** Rasmus Bærentsen, Bo Vægter
- **Aalborg Forsyning:** Pernille Jakobsen, Lene T. Burgaard
- **Hjørring Vandselskab:** Jakob Andersen
- **DTU:** Anne H. Thomsen, Hans-Jørgen Albrechtsen



# Pesticidproblemer som baggrund for samarbejdet

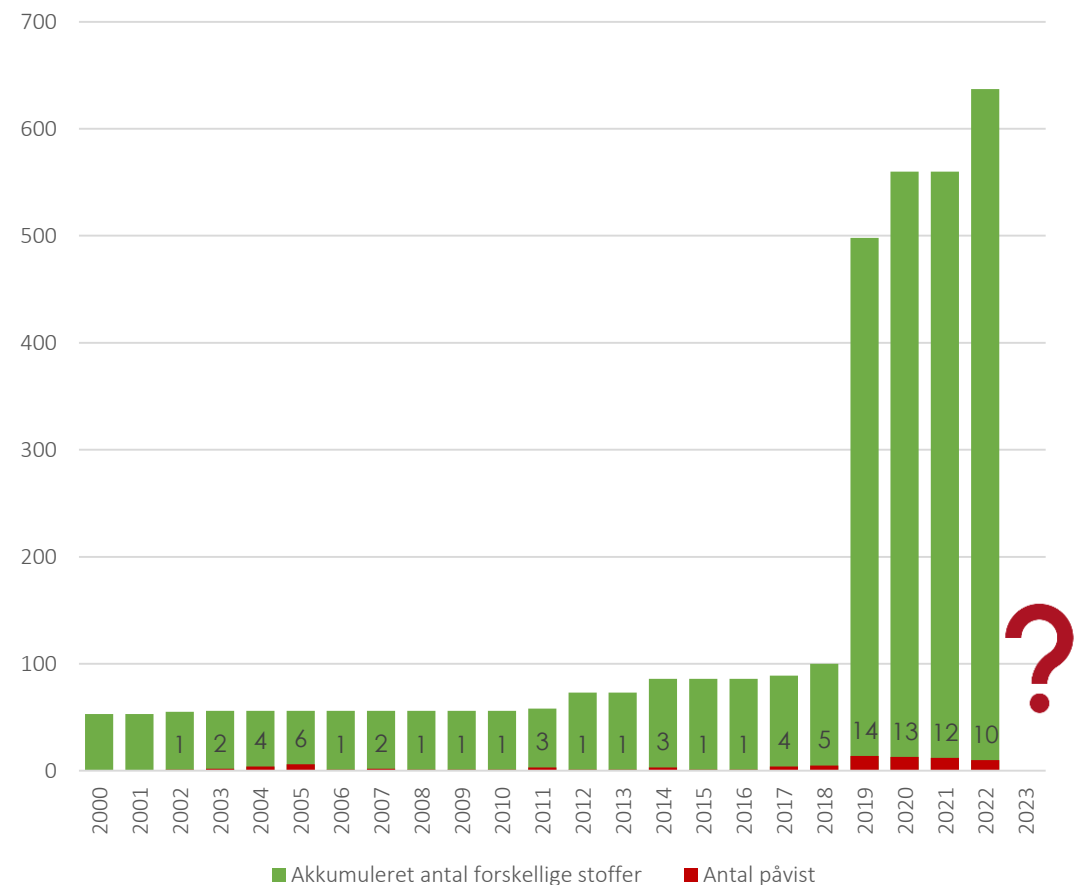
Andel af drikkevand i 2022 med spor af pesticider eller nedbrydningsprodukter (mindre end 0,1 µg/l)



# Miljøfremmede stoffer

- Vi har målt for mere end 650 forskellige pesticidrester, hertil kommer PFAS'erne (nu target analyser for 51 stoffer)
- Antallet vil vokse de næste 10 år med non-target teknologien og reducerede detektionsgrænser
- De seneste 6 år har budt på flere overraskelser:
  - DPC
  - DMS
  - R471811
  - Alachlor ESA
  - Dimethachlor ESA
  - PFAS – Grænseværdinedsættelse fra Sum22 på 100 ng/l til Sum 4 på 2 ng/l
  - Fund af medicinrester

**Drikkevand (afgang vandværker)**  
Antal pesticidrester analyseret og påvist i drikkevand hos Novafos



# Håndtering nu og her - hvor svært kan det være?

## Fokus for InSa-Drikkevand



## Håndtering af MFS – nu og her

- Miljøfremmede stoffers skæbne i grundvandet
- Rensningsteknologier
- Samfundsøkonomi og bæredygtighed

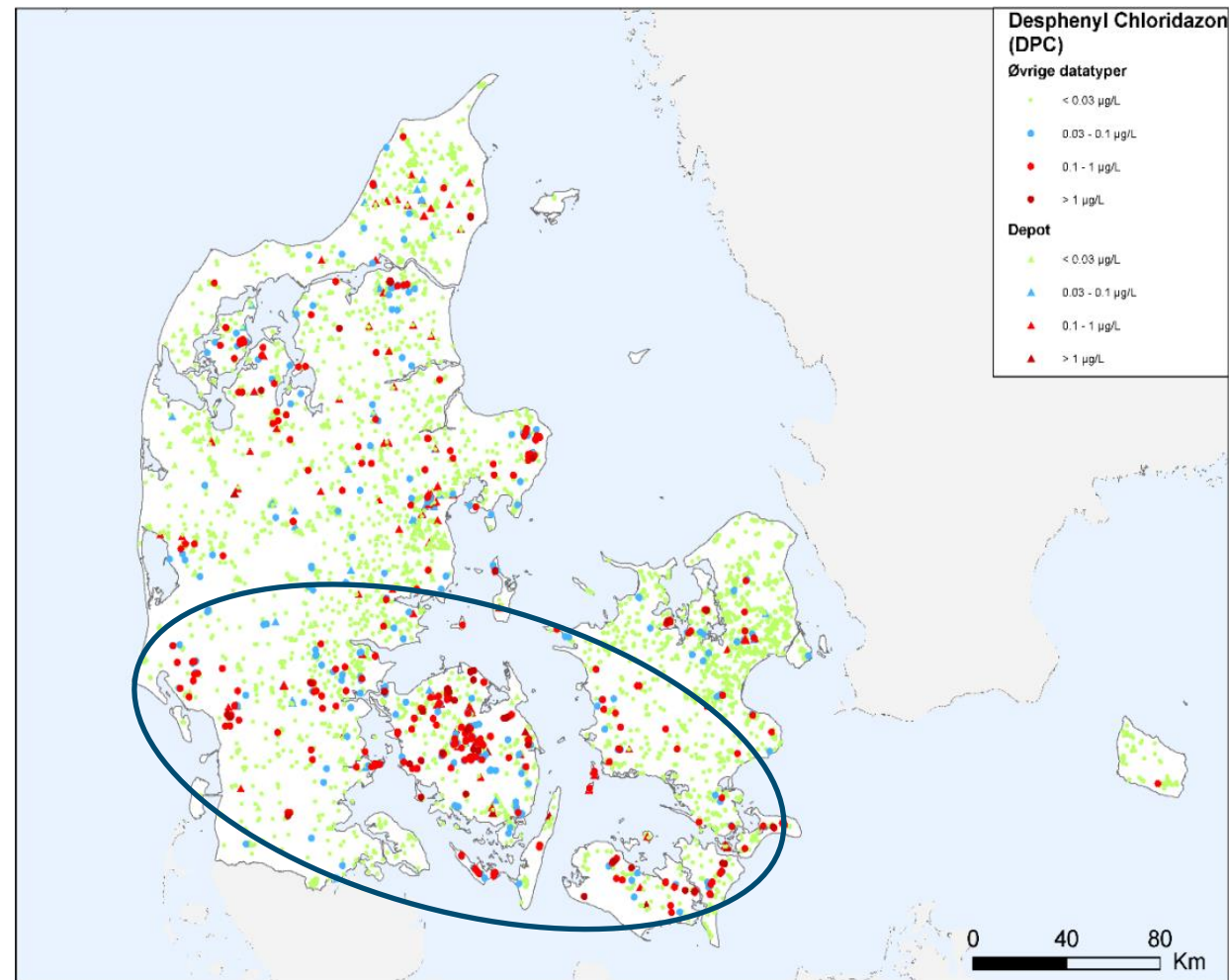
- Flyt indvindingsboringerne væk fra de forurenede områder?
  - Ingen helhedsplan for grundvandsressourcen
  - Ikke længere muligt at finde tilstrækkelige mængder rent grundvand – slet ikke på Sjælland
  - Naturhensyn prioriteres meget højt
- Søg dispensation fra grænseværdier?
  - Ja, for nogle pesticidnedbrydningsprodukter
  - Max 9 år, og det er ikke en brugbar investeringshorisont
- Juster indvindingen, så I kun henter det reneste vand?
- Rensning på vandværket?  
**Nødvendighed og udfordringer –  
3 eksempler/dilemmaer følger.....**



## Eksempel 1: DPC

# Prioritering mellem DPC og arsen?

GRUMO-indtag 2013-2022			Vandforsyningsindtag 2013-2022		
Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)	Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)
1,2,4-Triazol	32,3	8,4	DMS ( <i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	24,1	5,7
DMS ( <i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	31,8	5,2	R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat)	18,7	2,5
DPC (desphenylchloridazon)	29,7	16,8	DPC (desphenylchloridazon)	16,5	4,7
LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on) <sup>a</sup>	21,7	2,0	DEET <sup>a</sup>	14,5	2,2
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	17,1	5,6	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	13,3	1,5
BAM (2,6-dichlorbenzamid)	16,3	5,3	MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	4,1	0,5
DEIA	14,6	2,1	(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	3,8	0,2
R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) <sup>a</sup>	11,6	3,6	LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) <sup>b</sup>	2,5	0,3
Atrazin, desisopropyl-	9,7	0,7	Bentazon	2,4	0,1
CTAS (chlorothalonilamid sulfonsyre, R417888)	7,2	1,6	LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) <sup>b</sup>	2,2	0,1
LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) <sup>a</sup>	7,2	4,4	Dimethachlor ESA	2,1	0,5
LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) <sup>a</sup>	6,4	2,8	Alachlor ESA	1,7	0,2



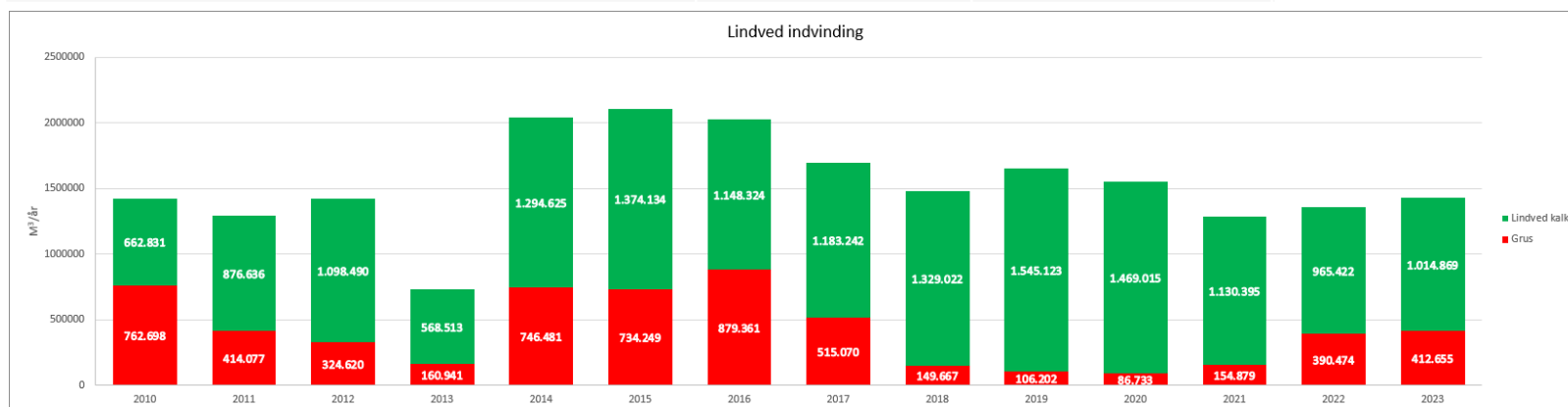
/Thorling et al., 2024. Grundvandsovervågning, GEUS/

## Eksempel 1: DPC



# Prioritering mellem DPC og arsen?

Lindved Værket	FØR Fund (Før 2017)	EFTER fund (2017-2022)
DPC afgang VV [ $\mu\text{g/l}$ ]	0,59	0,04
Arsen afgang VV [ $\mu\text{g/l}$ ]	2,7	3,7
Årlig indvinding [ $\text{m}^3$ ]	2.032.320	1.436.640
Udnyttet tilladelse [%]	97	68



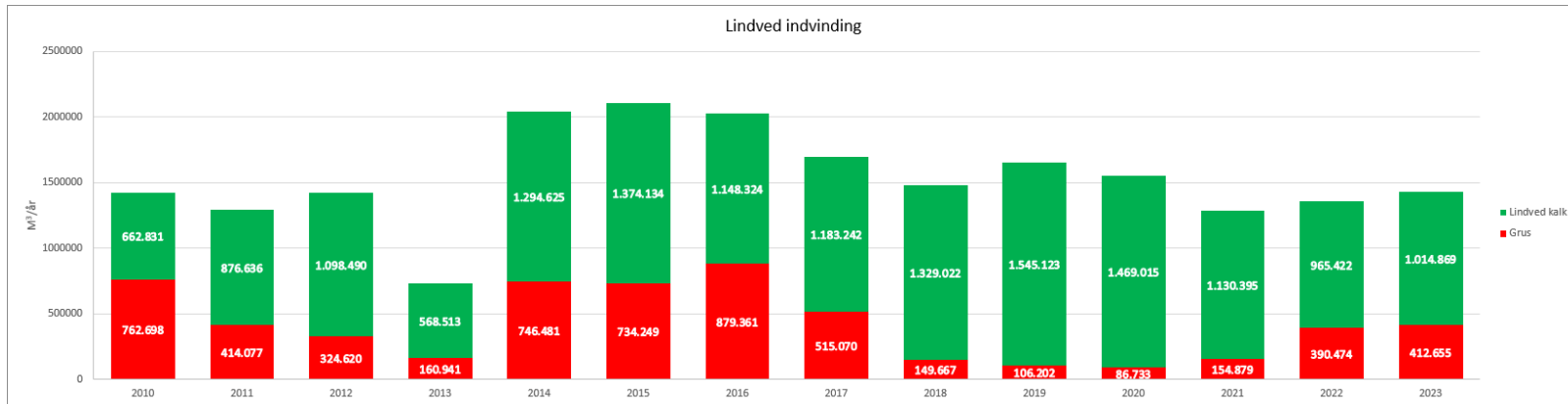


# Eksempel 1: DPC

## Prioritering mellem DPC og arsen?



Lindved Værket	FØR Fund (Før 2017)	EFTER fund (2017-2022)	Med 2x Kulfilter (2024 →)
DPC afgang VV [µg/l]	0,59	0,04	0,02
Arsen afgang VV [µg/l]	2,7	3,7	2,9
Årlig indvinding [m <sup>3</sup> ]	2.032.320	1.436.640	1.700.000
Udnyttet tilladelse [%]	97	68	81



**Vi renser grundvandet for pesticidrester**

Hos VandCenter Syd renser vi grundvandet i udvalgte boringer for pesticidresten Desphenyl-chloridazon (DPC). Rensningen foregår vha. kulfilter og løser de aktuelle problemer med pesticidforurening i vores forsyningsområde her og nu. Den mere langsigtede strategi er fortsat at arbejde intensivt med grundvandsbeskyttelse.

Mange steder i Danmark er grundvandet forurenede med rester af pesticider fra sprøjtet. Det udfordrer drikkevandsforsyningen både hos VandCenter Syd og mange andre steder i landet, fordi de forurenede boringer enten må sættes betydeligt ned i drift eller helt lukkes.

I stedet må indvindingen fra andre boringer sættes op for at opretholde forsyningsikkerheden. På sigt er det dog en uholdbar løsning, der kan resultere i overudnyttelse af andre boringer. Derfor har vi nu opsat kulfilterrensning på en af vores boringer og planlagt opsætning af filtre på yderligere tre boringer.

**Understøtter bæredygtig indvinding**

Formålet med at rense direkte på de enkelte boringer er at sætte målet ind, hvor forureningsproblemet er, og boringer kan dermed fortsat være i drift. På den måde bidrager det til en bæredygtig grundvandsindvinding, hvor vi ikke forurenede vores andre boringer. Hvis en boring overudnyttes, vil der man at dræbe.

**Fordele ved rensning**

Ved lokal rensning på udvalgte boringer opnås følgende fordele:

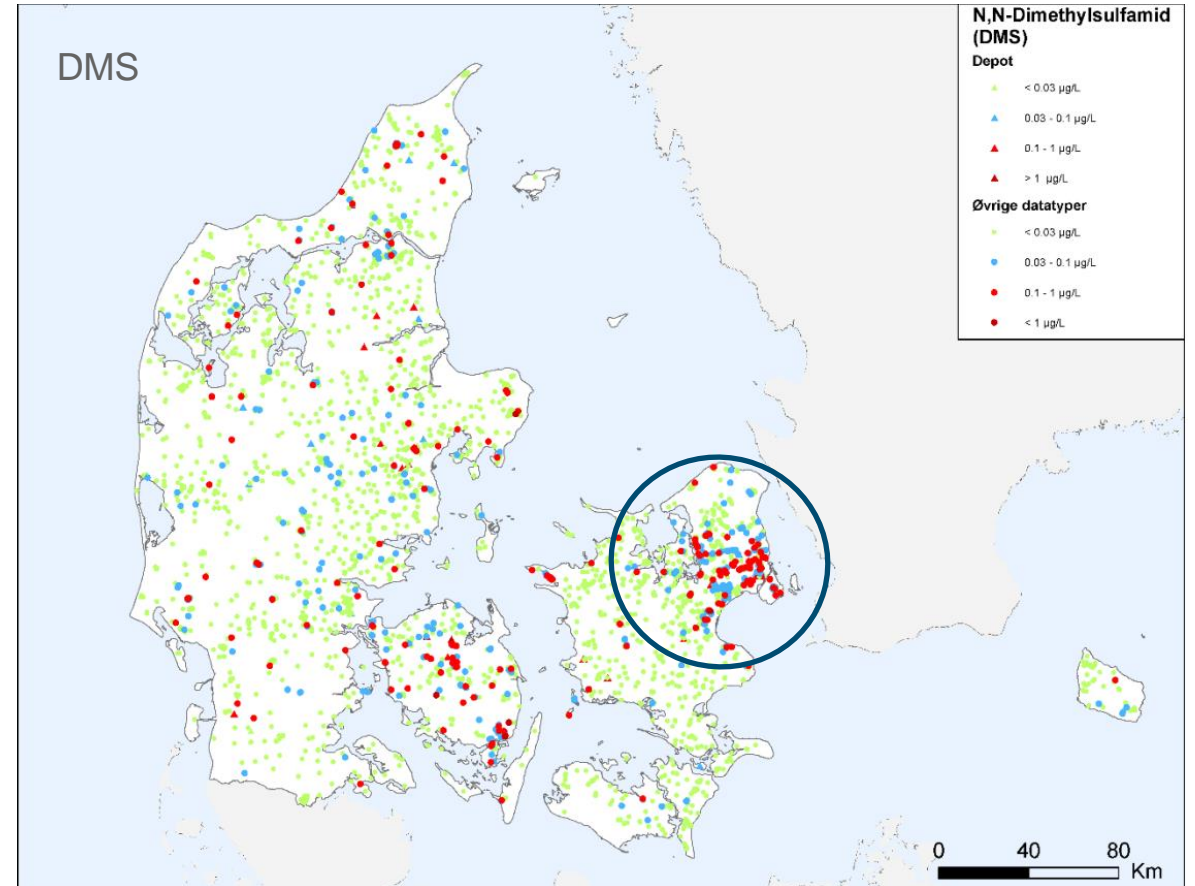
- Målet indsats dér, hvor forureningsproblemet er
- Forureningen "fastholdes" og renses ved boringen, og dermed forhindres spredning



## Eksempel 2: DMS

# Rensning for DMS – er det bæredygtigt? Og får vi sundere drikkevand?

GRUMO-indtag 2013-2022			Vandforsyningsindtag 2013-2022		
Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)	Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)
1,2,4-Triazol	32,3	8,4	DMS ( <i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	24,1	5,7
DMS ( <i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	31,8	5,2	4,4-Di(2,4,6-trichlorobenzensulfonat) <sup>b</sup>	18,7	2,5
DPC (desphenylchloridazon)	29,7	16,8	DPC (desphenylchloridazon)	16,5	4,7
LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on) <sup>a</sup>	21,7	2,0	DEET <sup>a</sup>	14,5	2,2
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	17,1	5,6	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	13,3	1,5
BAM (2,6-dichlorbenzamid)	16,3	5,3	MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	4,1	0,5
DEIA	14,6	2,1	(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	3,8	0,2
R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzenesulfonat) <sup>a</sup>	11,6	3,6	LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) <sup>b</sup>	2,5	0,3
Atrazin, desisopropyl-	9,7	0,7	Bentazon	2,4	0,1
CTAS (chlorothalonilamid sulfonsyre, R417888)	7,2	1,6	LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) <sup>b</sup>	2,2	0,1
LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) <sup>a</sup>	7,2	4,4	Dimethachlor ESA	2,1	0,5
LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) <sup>a</sup>	6,4	2,8	Alachlor ESA	1,7	0,2



# HOFORs rensningsforsøg for DMS på Hvidovre Vandværk

**DMS kan ikke fjernes ved aktivt kulrensning**

Forsøg på Hvidovre  
Vandværk 2018-2022

1) Traditionelt  
Aktivt kul (GAC)  
2018-2019



Ineffektiv og dyr metode:  
Kulforbrug  $\sim 125 \text{ g/m}^3$

2) Resinforsøg  
2019-2021

VUDP: Renseteknologier for nye  
pesticidrester



Ingen fjernelse i pilotskala

3) Micro-GAC ( $\mu\text{GAC}$ )  
2022

VTU: Belastningsundersøgelse af AOP/BAC- og  
 $\mu\text{GAC}$ -renseteknologier



Ny proces med  $\mu\text{GAC}$  gav ikke en  
forbedret rensningseffektivitet ift. GAC



# NOVAFOS og HOFOR – Rensningsforsøg med AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Ingen vandspild

Fjerner DMS med 50-80%



Pilot-test af avanceret kemisk oxidation med UV og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> til fjernelse af pesticidmetabolitter

29.08.2023

Peter L. Tüchsen<sup>1</sup>, Manuela Schliemann-Haug<sup>2</sup>, Anne H. Thomsen<sup>2</sup>, Ronny Rahbek<sup>3</sup>, Liselotte Clausen<sup>4</sup>, Mathilde J. Hedegaard<sup>4</sup>, Rasmus Boe-Hansen<sup>5</sup>, Thea Hummelshøj<sup>2</sup> og Hans-Jørgen Albrechtsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novafos A/S, <sup>2</sup> DTU Sustain, Danmarks Tekniske Universitet, <sup>3</sup> Insatech A/S, <sup>4</sup> HOFOR A/S, <sup>5</sup> Krüger, Veolia Water Technologies



KRÜGER



INSATECH

HOFOR

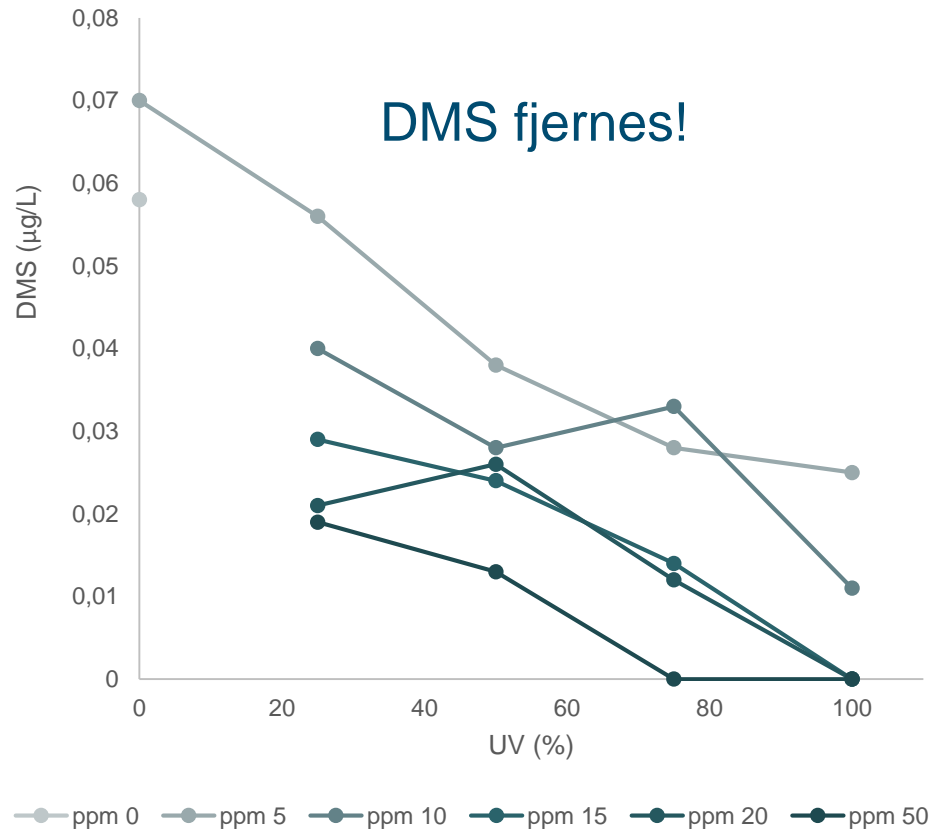
DANVA

Novafos

<https://www.danva.dk/media/9729/bilag-3-pilottest-af-avanceret-kemisk-oxidation-med-uv-og-h2o2-10.pdf/>

# UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

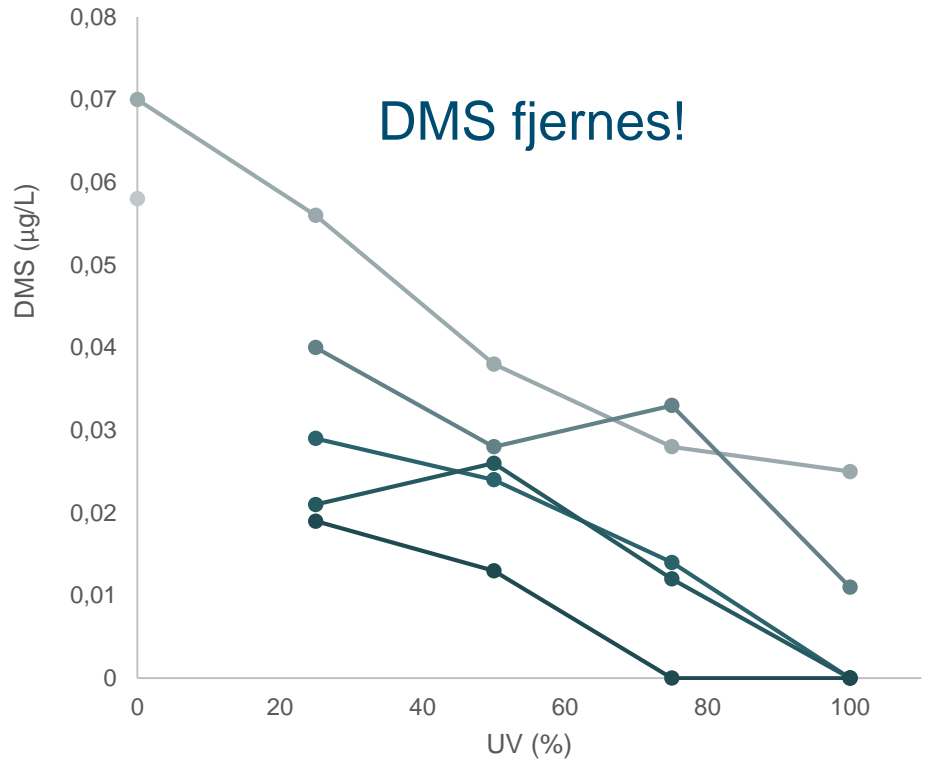
– pilotforsøg på Solhøj Kildeplads



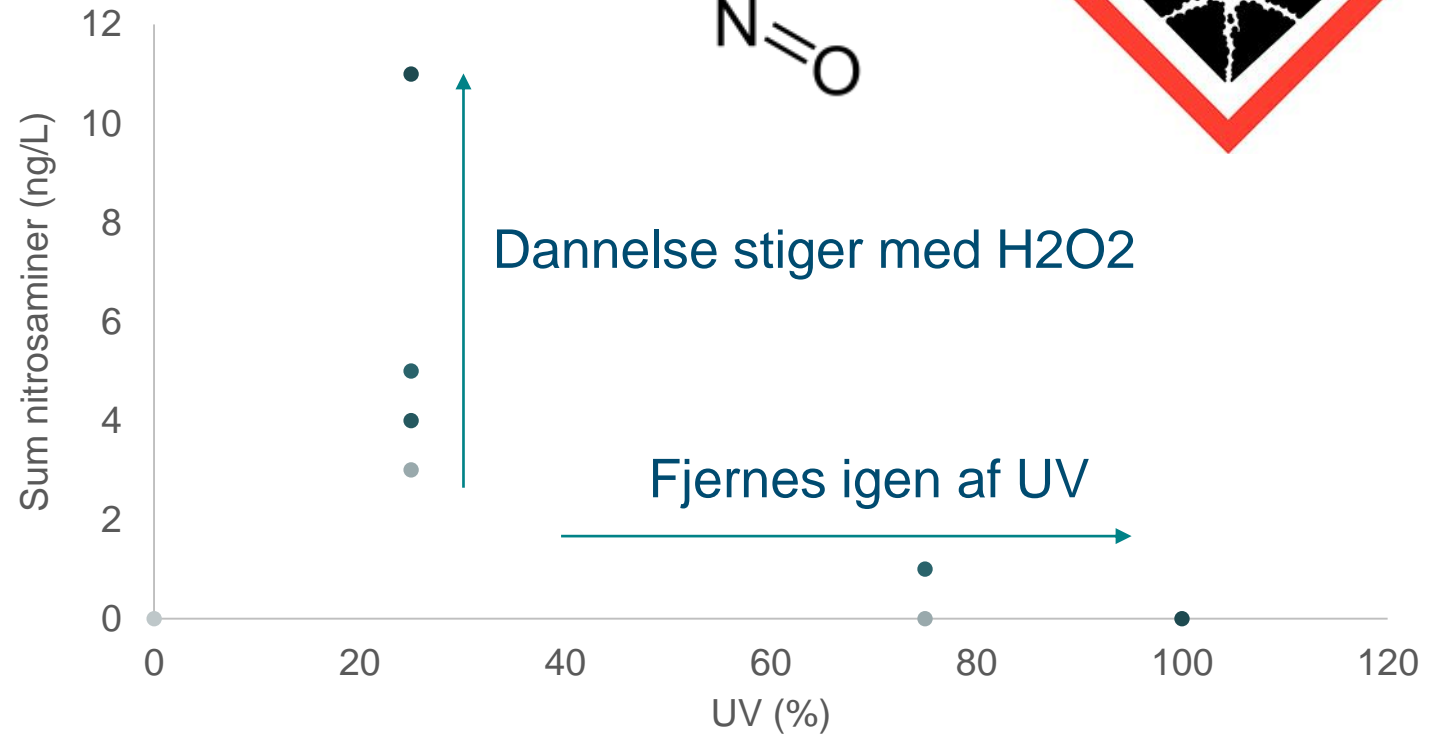


# UV/H2O2

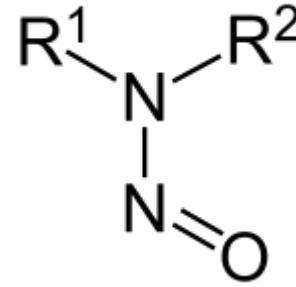
– pilotforsøg på Solhøj Kildeplads



— ppm 0 — ppm 5 — ppm 10 — ppm 15 — ppm 20 — ppm 50



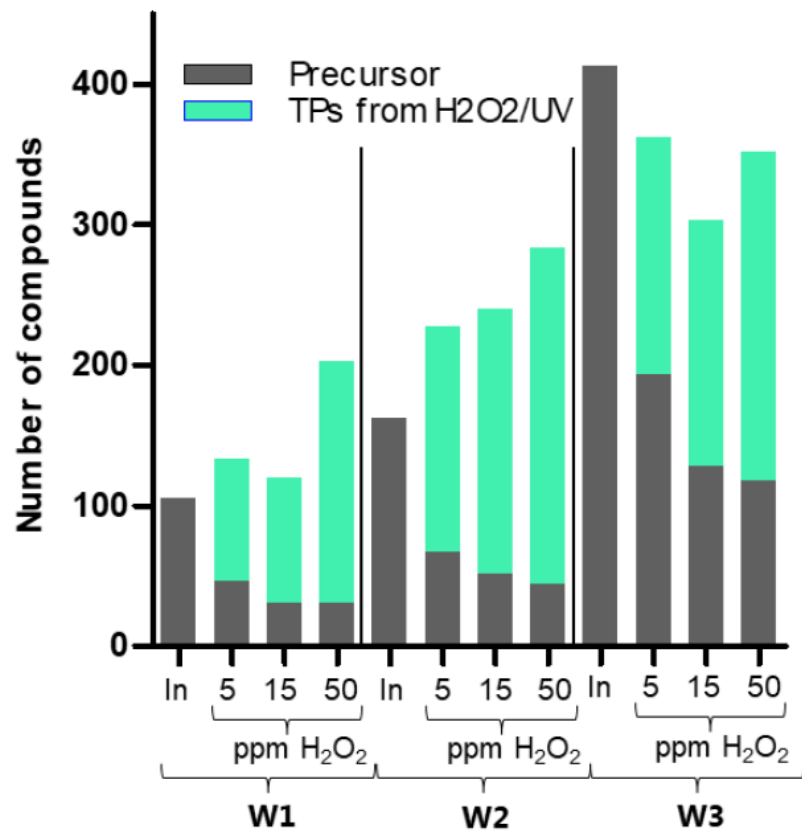
— ppm 0 — ppm 5 — ppm 10 — ppm 15 — ppm 20 — ppm 50





# AOP kan danne flere stoffer end der fjernes !!

## Metoden kræver derfor efterbehandling



Figur 36. Antal af stoffer detekteret med non-target analyse før og efter AOP-behandling med forskellig H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dosering. W1 = Bagsværd, W2 = Pilegården og W3 = Femhøj. (Tisler et al., 2022).

/Tisler et al., 2022/

Pilot-test af avanceret kemisk oxidation med UV og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> til fjernelse af pesticidmetabolitter

29.08.2023

Peter L. Tüchsen<sup>1</sup>, Manuela Schliemann-Haug<sup>2</sup>, Anne H. Thomsen<sup>2</sup>, Ronny Rahbek<sup>3</sup>, Liselotte Clauser<sup>4</sup>, Mathilde J. Hedegaard<sup>4</sup>, Rasmus Boe-Hansen<sup>5</sup>, Thea Hummelshøj<sup>2</sup> og Hans-Jørgen Albrechtsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novafos A/S, <sup>2</sup> DTU Sustain, Danmarks Tekniske Universitet, <sup>3</sup> Insatech A/S, <sup>4</sup> HOFOR A/S, <sup>5</sup> Krüger, Veolia Water Technologies



KRÜGER VEOLIA



<https://www.danva.dk/viden/vudp/projektuddelinger/renseteknologier-for-nye-pesticidrester/>

# HOFOR og NOVAFOS – Rensningsforsøg med AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Ingen vandspild



Fjerner DMS med 50-80%



Dannelse af biprodukter, som efterfølgende skal fjernes i kulfiltre



Pilot-test af avanceret kemisk oxidation med UV og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> til fjernelse af pesticidmetabolitter

29.08.2023

Peter L. Tüchsen<sup>1</sup>, Manuela Schliemann-Haug<sup>2</sup>, Anne H. Thomsen<sup>2</sup>, Ronny Rahbek<sup>3</sup>, Liselotte Clausen<sup>4</sup>, Mathilde J. Hedegaard<sup>4</sup>, Rasmus Boe-Hansen<sup>5</sup>, Thea Hummelshøj<sup>2</sup> og Hans-Jørgen Albrechtsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novafos A/S, <sup>2</sup> DTU Sustain, Danmarks Tekniske Universitet, <sup>3</sup> Insatech A/S, <sup>4</sup> HOFOR A/S, <sup>5</sup> Krüger, Veolia Water Technologies



KRÜGER VEOLIA

INSATECH

HOFOR

DANVA

Novafos



# Membranfiltrering – pilotforsøg på Hvidovre Vandværk - HOFOR

Barriere for alle  
stoffer (50-60%)

Velkendt teknologi

Blødgørings  
teknologi



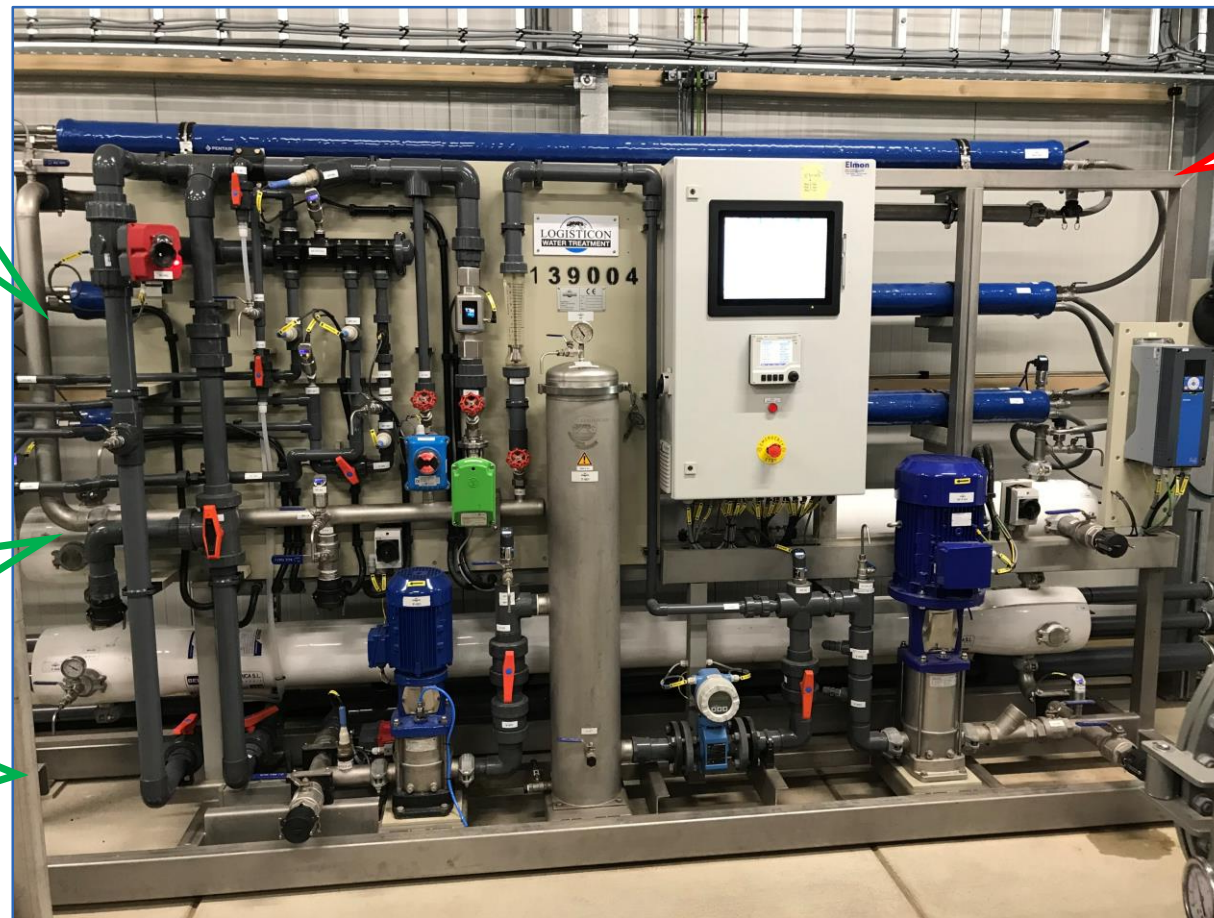


# Membranfiltrering – pilotforsøg på Hvidovre Vandværk

Barriere for alle stoffer (50-60%)

Velkendt teknologi

Blødgørings teknologi



Vandspild ?



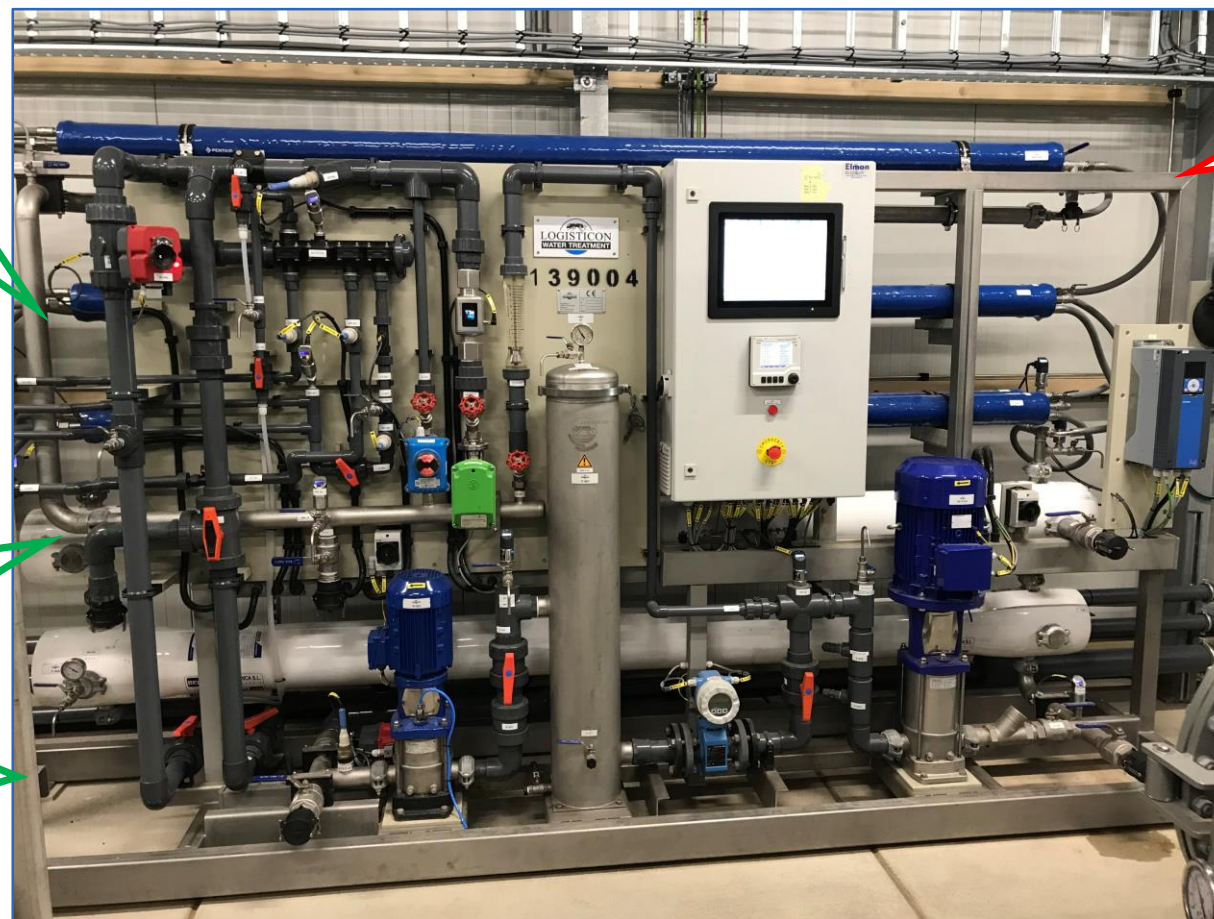
# Membranfiltrering – pilotforsøg på Hvidovre Vandværk



Barriere for alle stoffer (50-60%)

Velkendt teknologi

Blødgørings teknologi



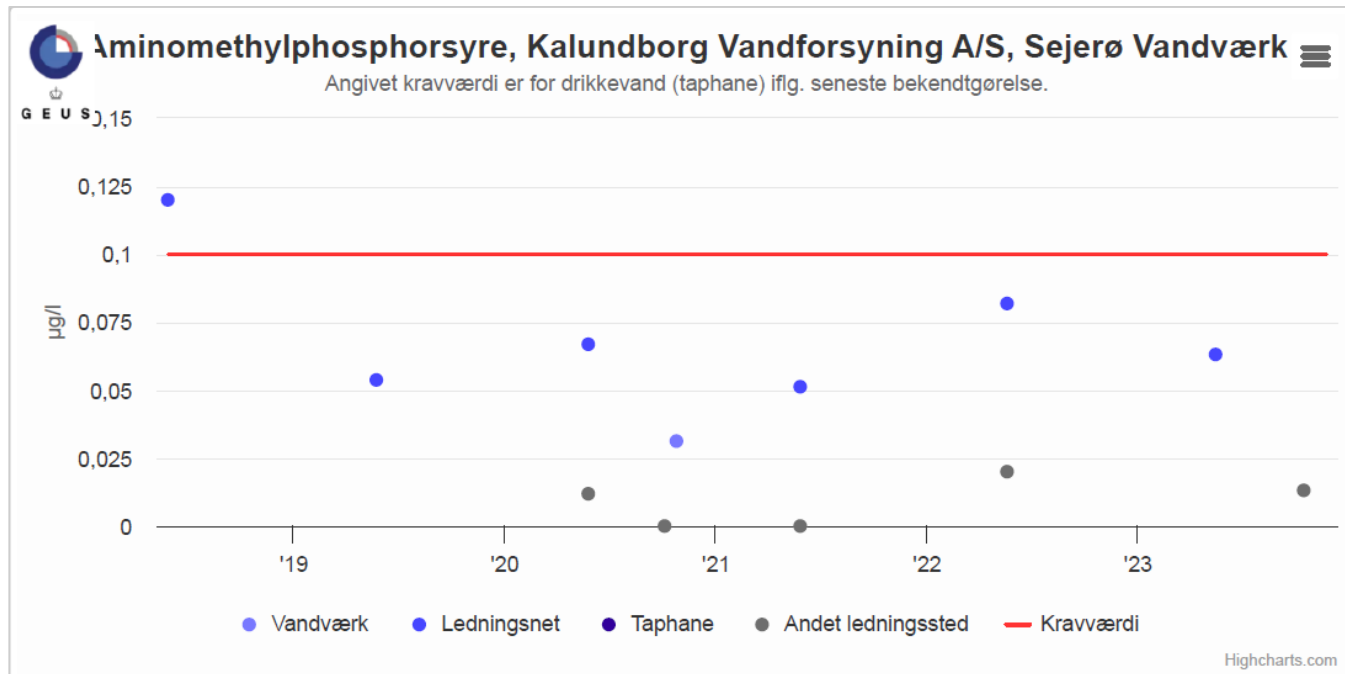
Vandspild ?

Antiskalant?



# Data fra Sejerø Vandværk – fund af AMPA i drikkevand som følge af anvendelse af fosfor-baseret antiskalant

Foto: Sejerø Vandværk



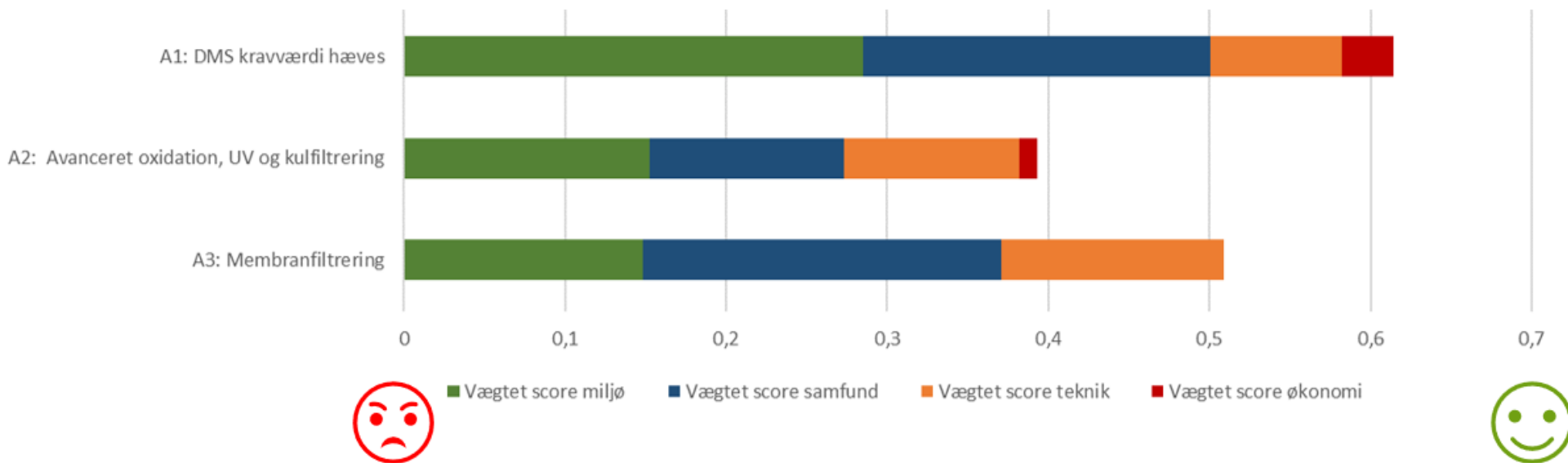
Fund af AMPA i drikkevand – data fra Jupiter





# Resultat fra bæredygtighedsvurdering – Case Nyt vandværk ved Islev

Jo højere score, jo mere bæredygtig!



**Gitte L. Søndergaard, Maria Faragó** (Rambøll)

Liselotte Clausen, Martin Rygaard og Mathilde J. Hedegaard (Hofor)

Bo Lindhardt, Marianne Wesnæs (Novafos)

Nina Tuxen, Gunver Heidemann Olsgaard (Region Hovedstaden)



Rensning af vandet på HOFORs kommende Værket ved Islev i Rødovre

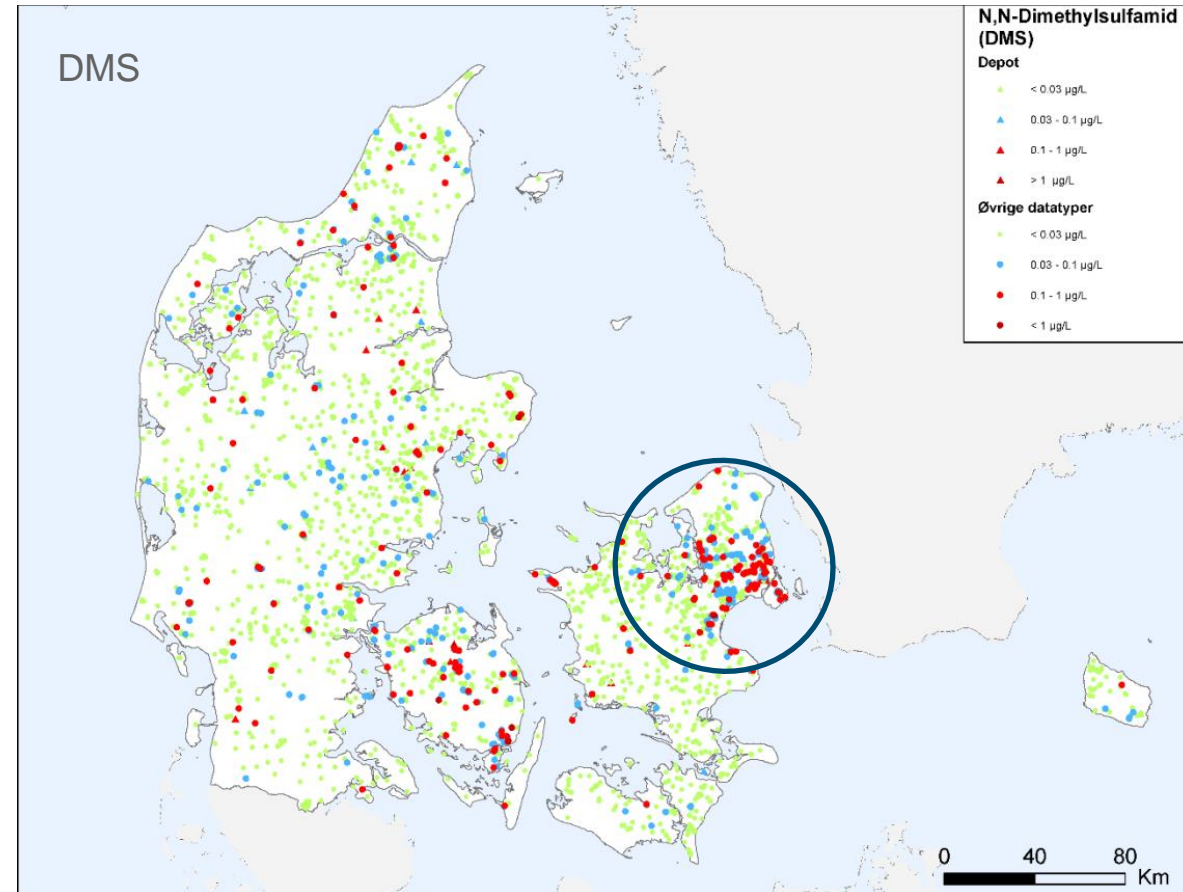


Innovationssamarbejde til sikring af rent drikkevand - fokus på pesticider

## Eksempel 2: DMS

# Rensning for DMS – er det bæredygtigt? Og får vi sundere drikkevand?

- Rensning for DMS vil have en række negative effekter
  - Øget energiforbrug
  - Generering af spildevand, der er svært at få lov at aflede
  - Klimabelastende
  - Dyrt
  - Stort vandtab
  - Risiko for tilførsel af nye, miljøfremmede stoffer
- De fundne koncentrationer udgør ikke en sundhedsmæssig risiko – **vil rensning reelt give en positiv sundhedseffekt?**



## Eksempel 3: PFAS

# Rensning for PFAS – Akut behov for rensning enkelte steder, men hvilke teknologier ?

## Skærpede krav til PFAS-stoffer i drikkevand

08-06-2021

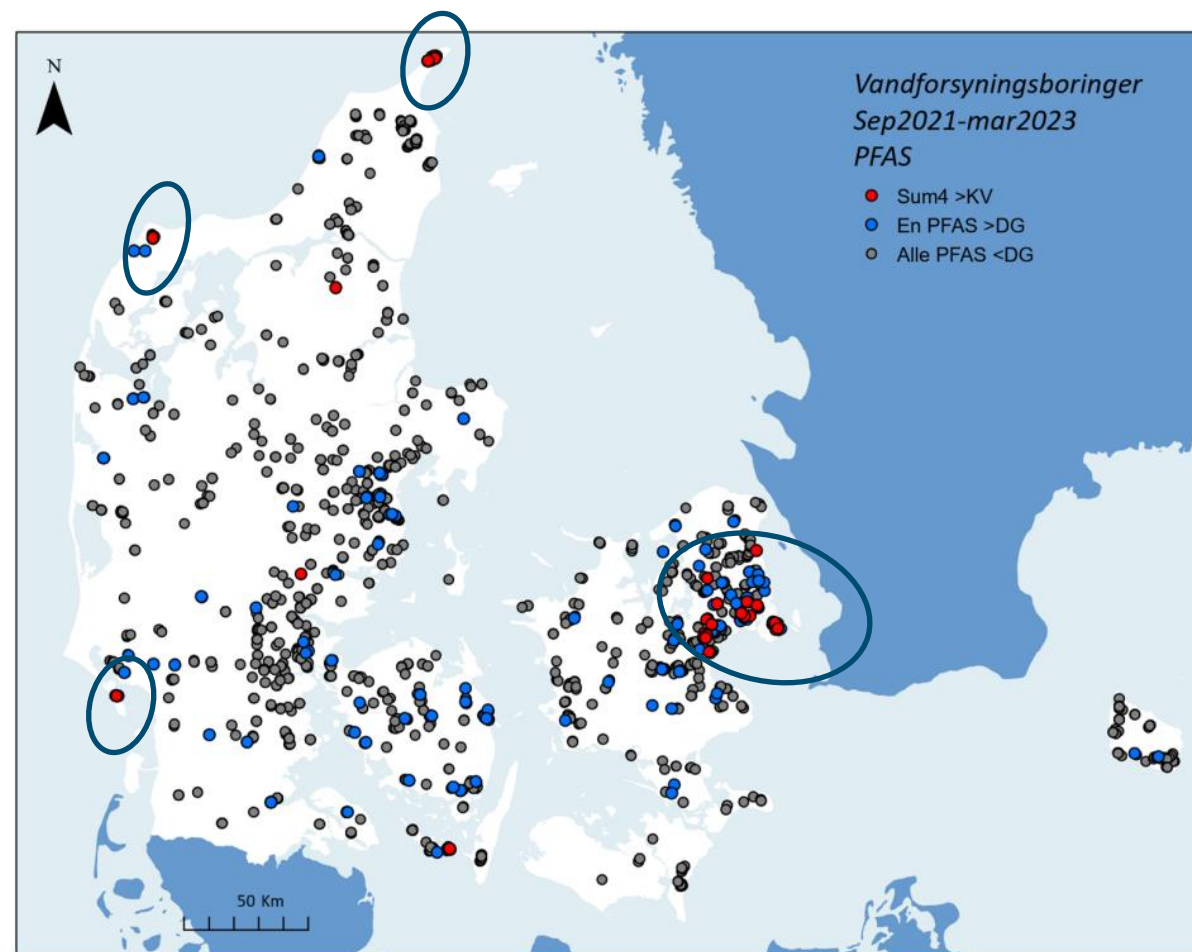
Vand i hverdagen Kemikalier PFAS

Miljøstyrelsen sænker grænseværdien for PFAS-stoffer i drikkevand efter anbefaling fra Det Europæiske Fødevareagentur. OPDATERET 23/2-2022 med faktaboks om de nye og de gamle kvalitetskrav.

## De nye og de gamle kvalitetskrav

Det oprindelige kvalitetskrav på 0,1 mikrogram/liter gælder fortsat for 12 navngivne PFAS-forbindelser. Det nye kvalitetskrav på 0,002 mikrogram/liter gælder for fire PFAS-forbindelser, der er en delmængde af de 12. Det er dette kvalitetskrav, som fremgår af den nyeste drikkevandsbekendtgørelse fra 26. november 2021.

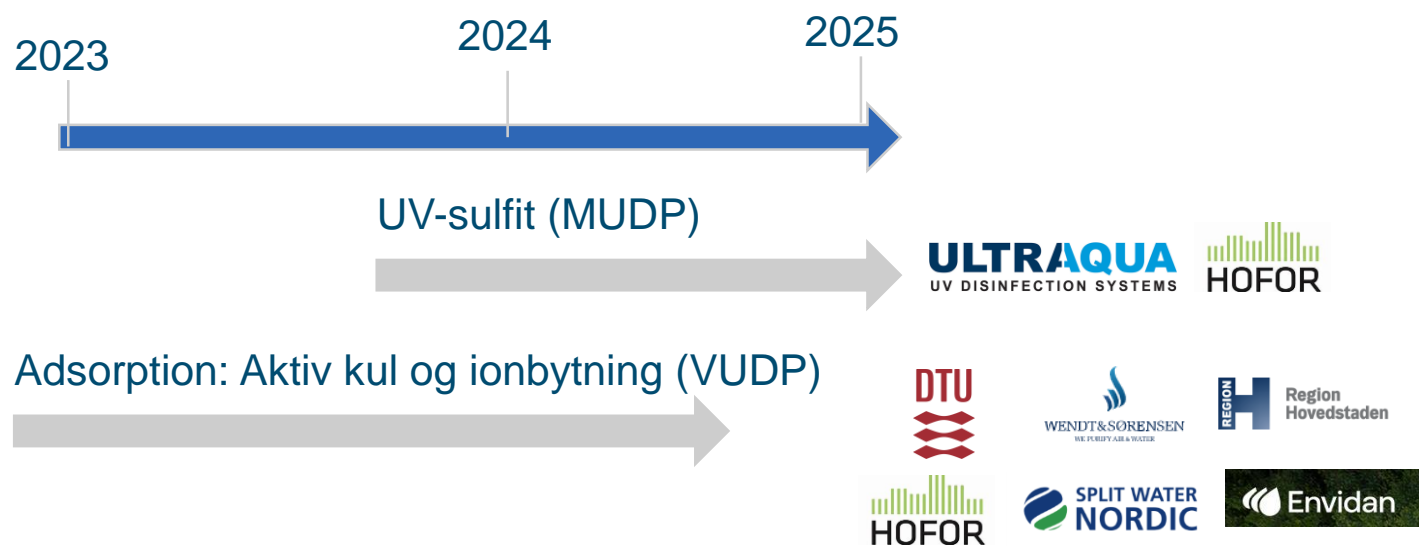
[Kvalitetskravene fremgår af Bilag 1D, inkl. bilagets noter](#)



<https://insa-drikkevand.dk/files/media/document/INSA-GEUSrapport-2023-42.pdf>



## Rensningsforsøg for PFAS på Solhøj Kildeplads



- Sum 4 PFAS – 2 ng/L er det laveste krav i verden
  - Teknologier er uafprøvet ved disse niveauer
- Test af 5 forskellige adsorptionsteknologi på Solhøj
  - Sammenligning af effektivitet og bæredygtighed
- Test af ny teknologi (boble kombineret med UV-sulfit) til destruktion af PFAS





# Forskellige adsorptionsteknologier

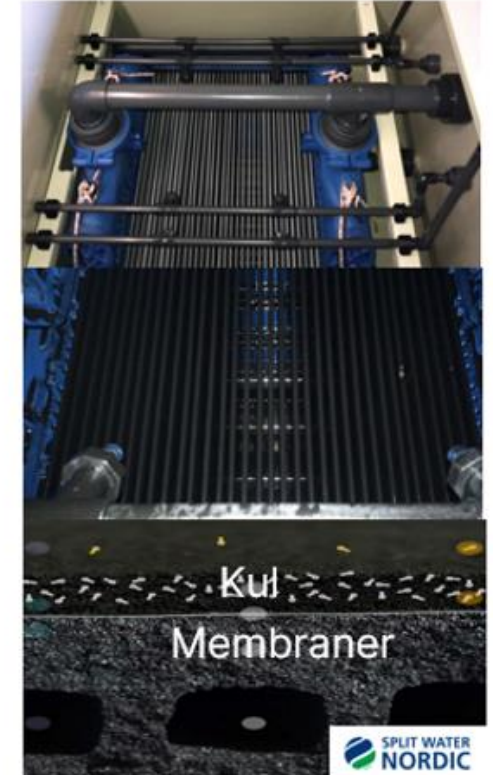
Alle de testede teknologier fjerner effektivt SUM 4 PFAS

2 x GAC filtrering

GAC filtrering +  
resinex

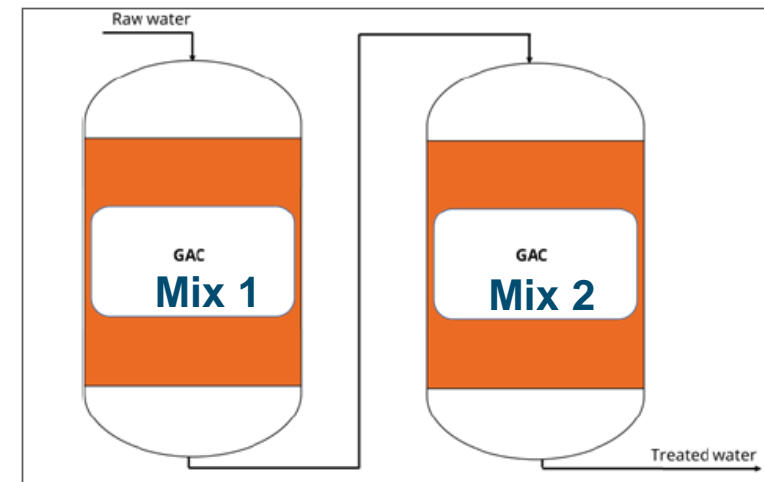
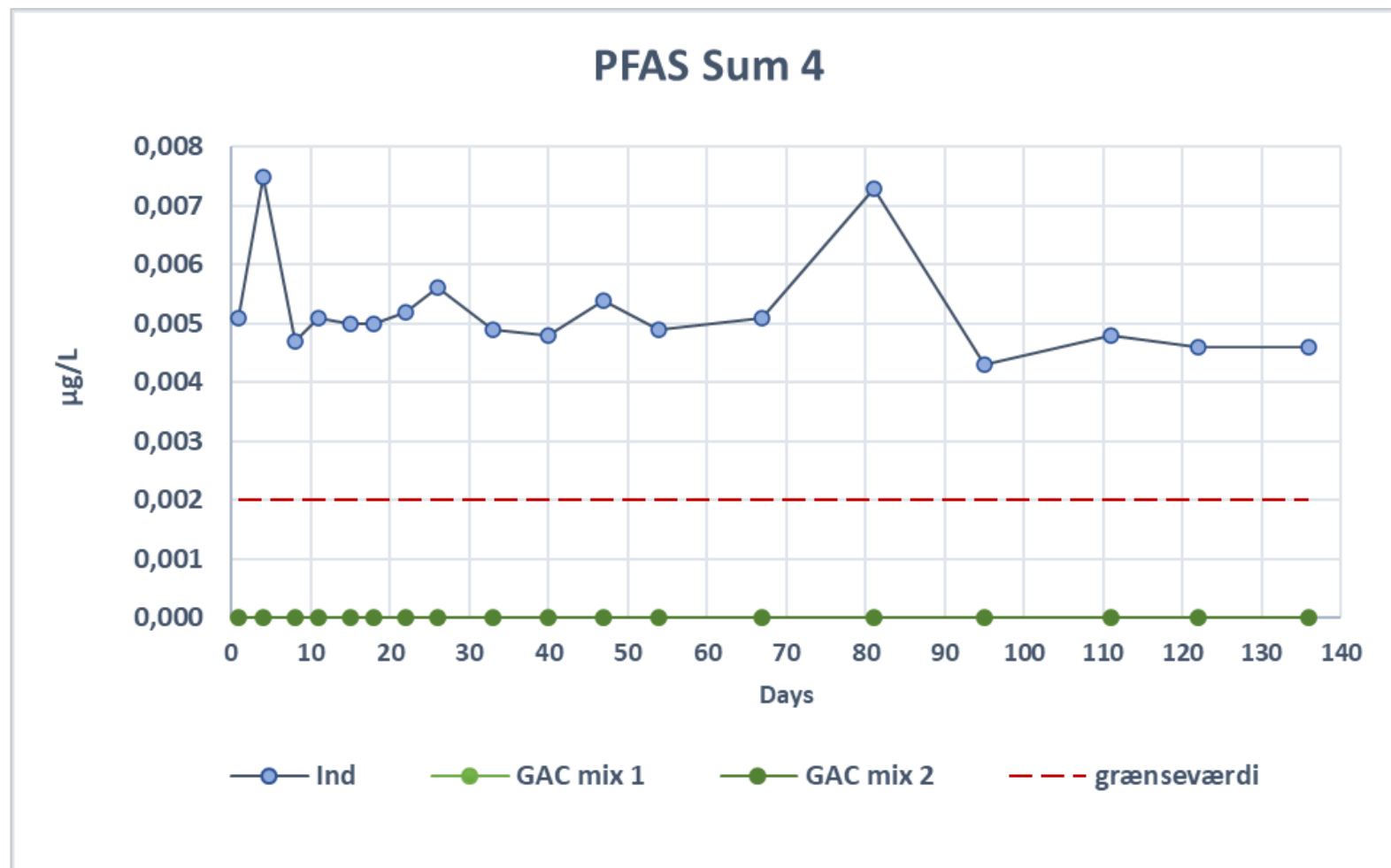
uGAC  
opstrømsfiltrering

PAC + keramiske  
membraner



# Rensning med 2 x GAC mix i serie

Opholdstid: 10 min i hver GAC kolonne





# Afsmitning af miljøfremmede stoffer fra resiner?



## Afsmitning af miljøfremmede stoffer

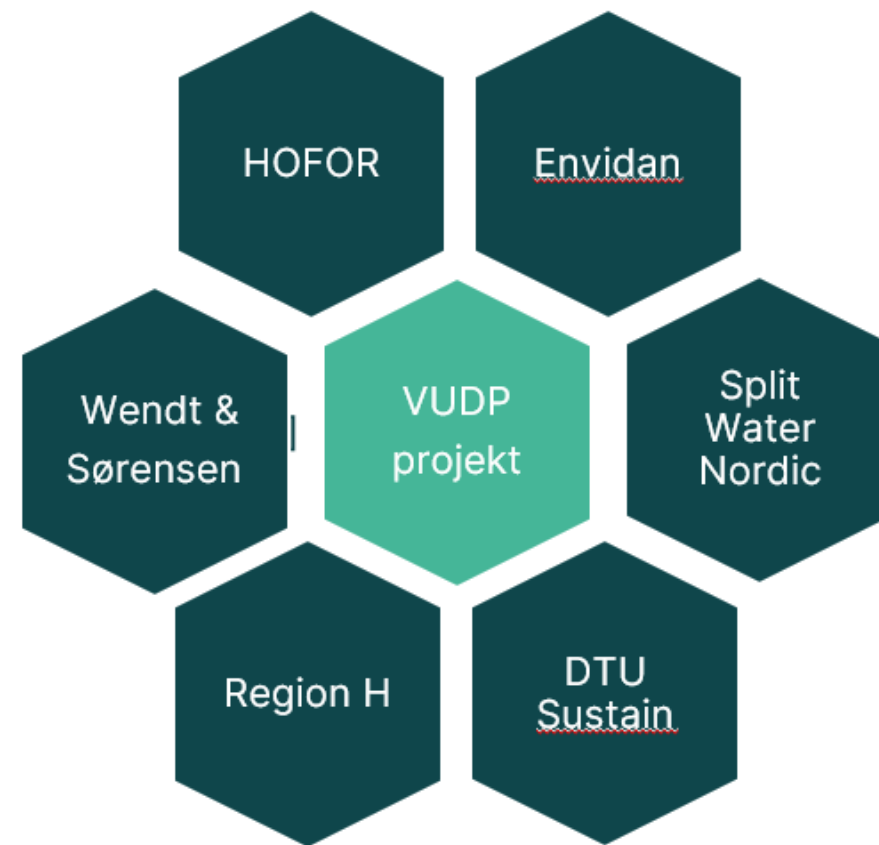
Afsmitning af miljøfremmede stoffer fra aktiv kul og ionbyttermaterialer samt test for tilstedeværelse af og rensning for +50 PFAS stoffer

I 2021 nedsatte Miljøstyrelsen grænseværdien for summen af fire PFAS i drikkevand (PFOA, PFHxS, PFNA og PFOS) til 2 ng/L. Det har udfordret vandforsyningen bl.a. i hovedstadsområdet, hvor PFAS måles under kvalitetskravet i 68 % af det producerede vand. Selvom kvalitetskravene til drikkevandet overholdes, udfordrer miljøfremmede stoffer produktionen, da den udnyttelige del af indvindingstilladelsen mindskes, hvilket forringer forsyningsikkerheden. Der analyseres typisk for 22 PFAS-stoffer i drikkevandet ud af de flere tusinder, der er kendt, så forureningsproblemet kan i værste fald være langt større end erkendt for nuværende. Det må derfor forventes, at rensning bliver mere udbredt fremadrettet, for at der kan leveres sundt og rent drikkevand.

Dette projekts output er at øge vidensniveauet ift. 1) om der findes flere PFAS-stoffer end de allerede typisk kendte i grundvandet 2) hvor effektivt disse PFAS-stoffer fjernes fra drikkevandet ved forskellige rensningsteknikker og 3) om nogle adsorptionsteknikker skaber et nyt problem med afsmitning af miljøfremmede stoffer til drikkevandet fra materialerne.



<https://vudp.dk/projekter/afsmitning-af-miljoefremmede-stoffer.aspx>



# Resultater fra lab. forsøg

## Foreløbige

- Eurofins: Nitrosaminer og chlorerede alifater

Komponent	Blind	Resin 1	Resin 2	Resin 3	Enhed
N-Nitrosomorpholine (NMOR)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosodimethylamin (NDMA)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosodiethylamin (NDEA)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosodipropylamine (NDPA)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosodibutylamine (NDBA)	< 2	67	41	9	ng/l
N-Nitrosomethylethylamin (NMEA)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosopiperidine (NPIP)	< 2	< 2	< 2	< 2	ng/l
N-Nitrosopyrrolidine (NPYR)	< 20	< 20	< 20	< 20	ng/l
Vinylchlorid	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	µg/l
Dichlormethan	< 0,02	< 0,02	0.052	< 0,02	µg/l
Chlorethan	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	µg/l
1,2-dichlorethan	< 0,02	0.17	4.95	< 0,02	µg/l

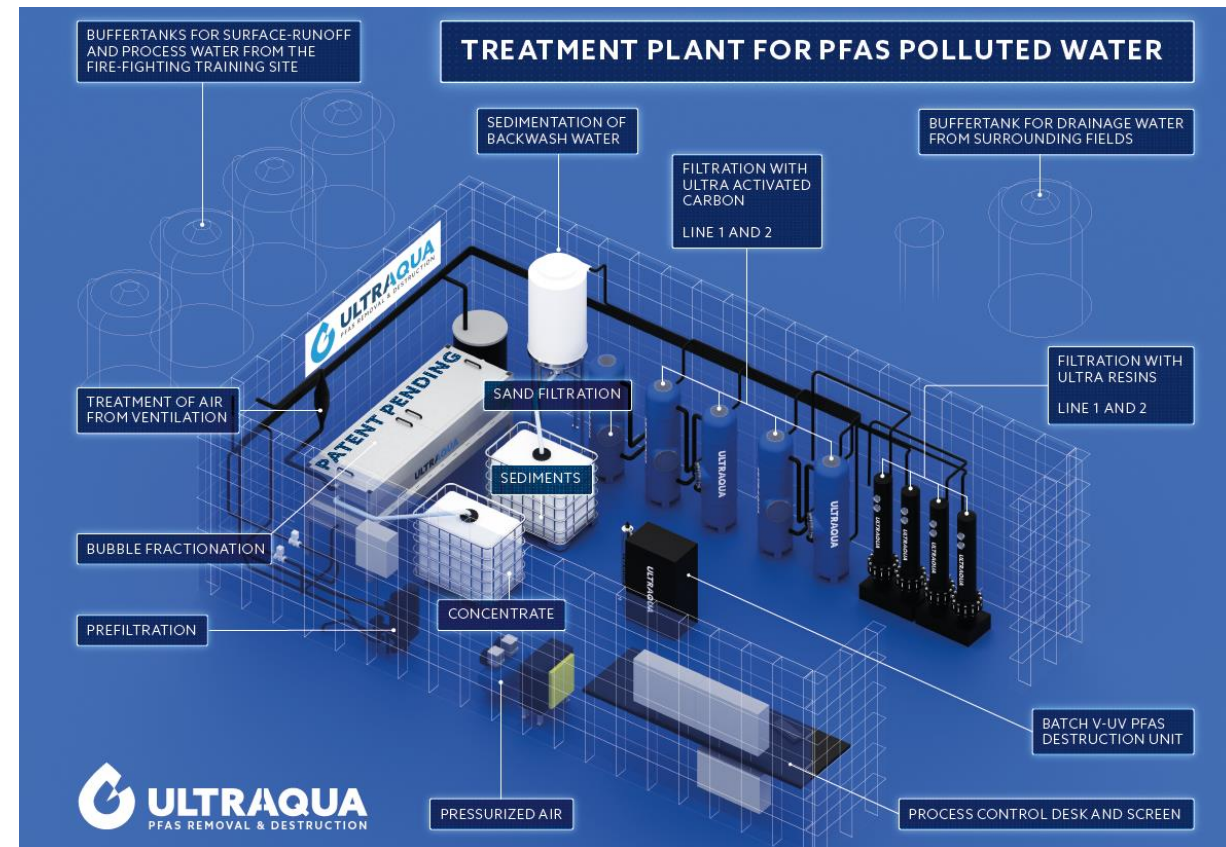
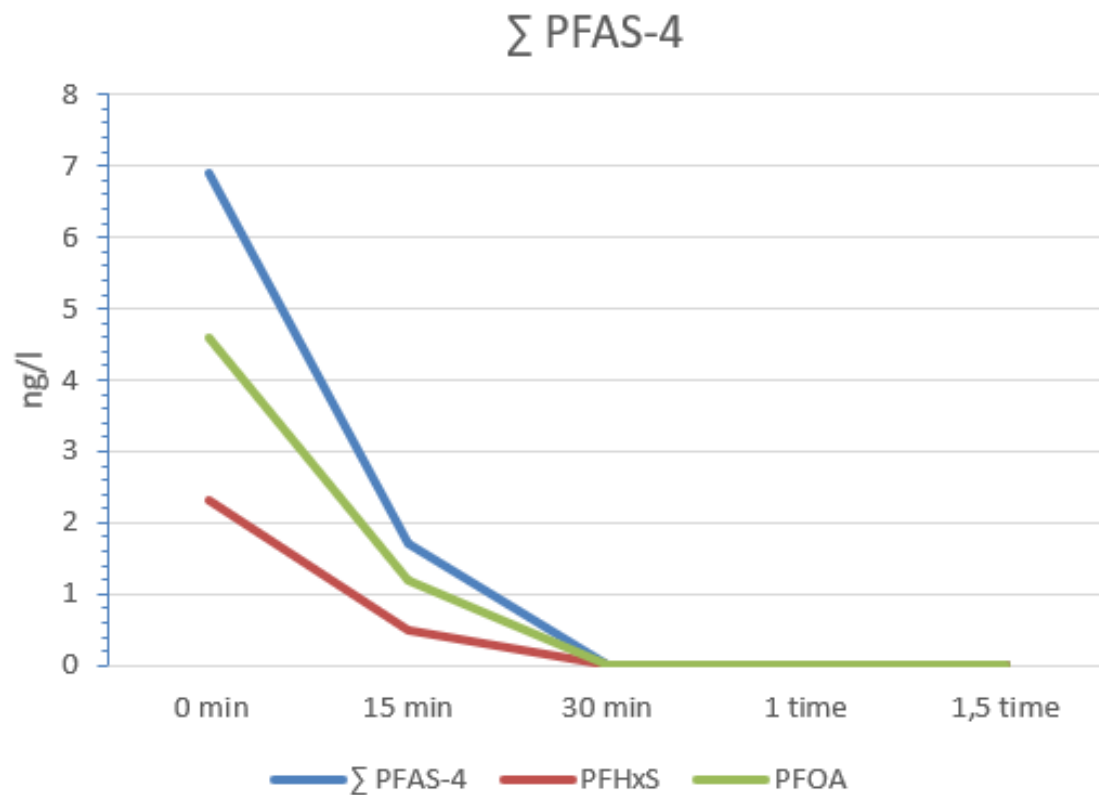
- DTU: Flygtige

Komponent	Blind	Resin 1	Resin 2	Resin 3	Enhed
Formaldehyd	< 1	< 1	383	< 1	µg/l
Benzene	< 0.124	< 0.124	< 0.124	< 0.124	µg/l
MTBE	< 0.124	< 0.124	< 0.124	< 0.124	µg/l



# Boble-fraktionering – resultater fra lab. forsøg hos UltraAqua med vand fra Solhøj Kildeplads

- Udtagning af prøver af 15, 30, 60 og 90 minutter
- Brug af atm. luft

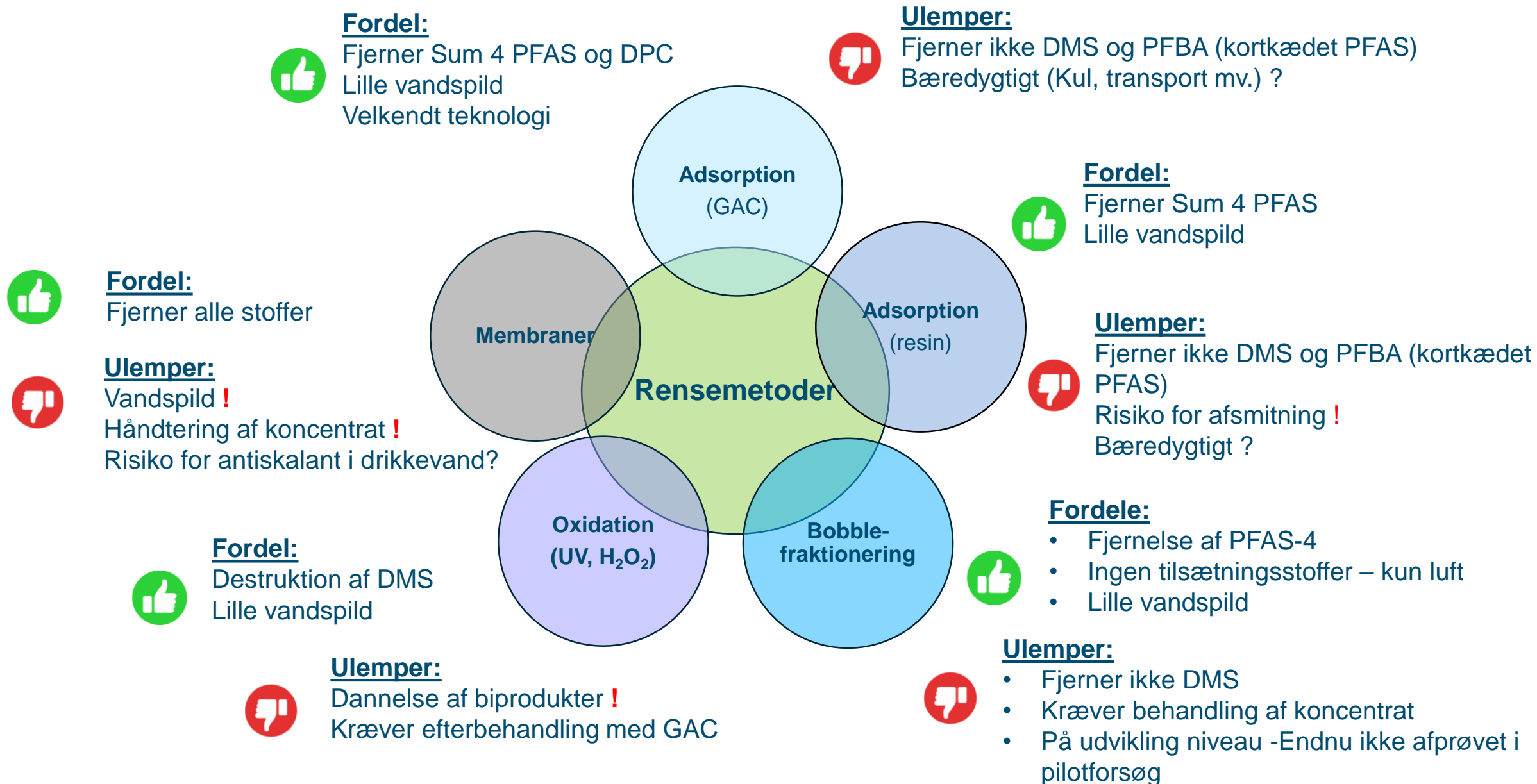


Ulf Nielsen – [uni@ultraaqua.com](mailto:uni@ultraaqua.com)





# Rensning – hvor svært kan det være ?



**Tak for opmærksomheden og tak  
til mine mange super dygtige  
kollegaer**

**Spørgsmål ?**

