

# Længerevarende pilotforsøg med rensning af PFAS-holdigt grundvand med forskellige teknologier

Morten R. Olesen, NIRAS



# Involverede partner

## **Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse (FES/ETK)**

Anne Mette Bräuner Lindof

Bjørn P. Maarupgaard

## **Rådgiver for FES: NIRAS A/S**

Kasper Søager

Morten Røhling Olesen

Anders G. Christensen

Søren Dyreborg

## **Leverandører af renseteknologier**



# Pilotforsøg



- FES (nu ETK) har inviteret tre danske leverandører til et forsknings- og udviklingssamarbejde
- 6 måneders forsøg med rensning af PFAS-forurenet grundvand på lokaliteten (forlænget til 8 måneder)
- Start 1. februar 2024
- Formål: Få flere praktiske erfaringer med rensningen af PFAS i grundvand



# Baggrund

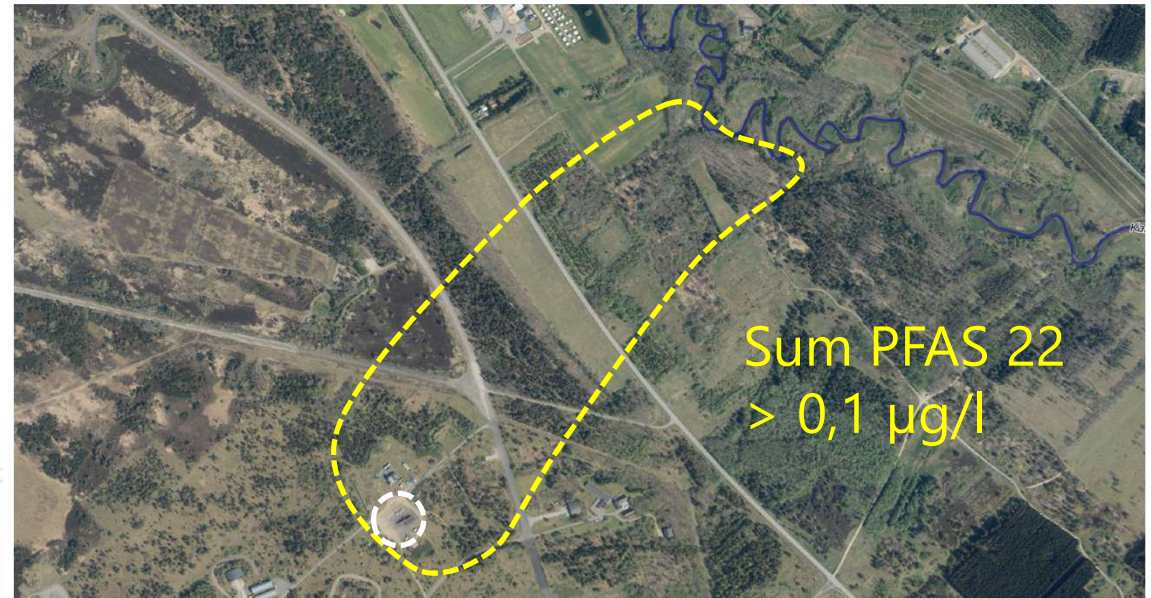
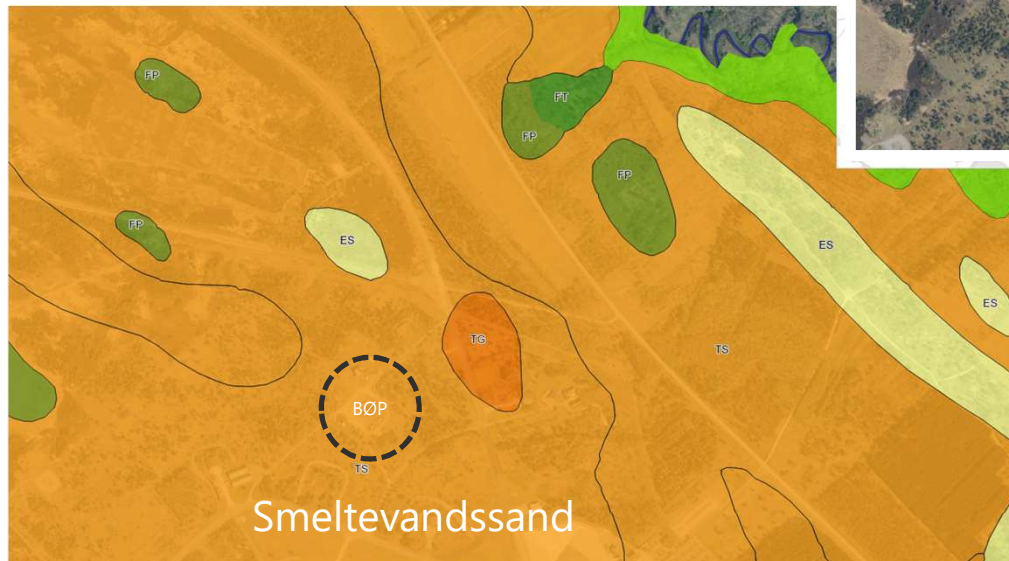
- **Hvor:**  
Flyvestation Karup,  
Ny Brandøvelsesplads  
fra 1977
- **Hvad:** Forurening af  
jord og grundvand med  
PFAS og kulbrinter
- **Hvor meget:**  
PFAS 22: 15.000 ng/l  
Kulbrinter: Fri fase



# Forureningsbillede & geologi

- **PFAS i grundvandet:**

Ca. 1.000 meter fane mod nordøst  
med overskridelse af  
grundvandskvalitetskriteriet



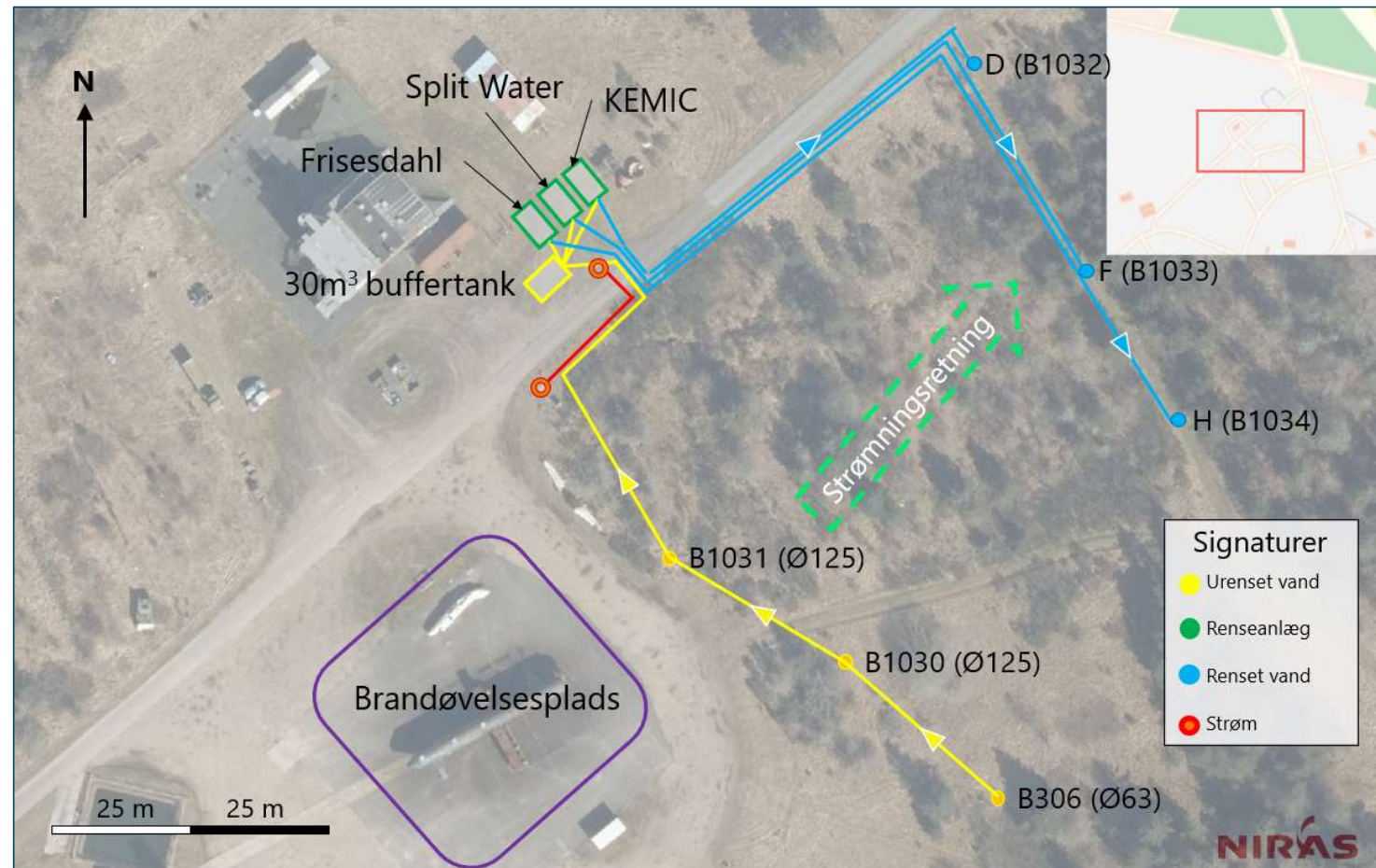
- **Geologi:**

Overvejende smeltevandssand med  
grundvandsspejl omkring 9-10 m u.t.



# Opstilling I

- Pumpning fra 3 boringer for at mindske sænkningstragt og holde høj koncentration af PFAS
- 30 m<sup>3</sup> buffertank for konstant og ensartet vandforsyning til de tre anlæg
- Rensning af 3 x 1 m<sup>3</sup>/time
- Re-infiltration til 3 boringer

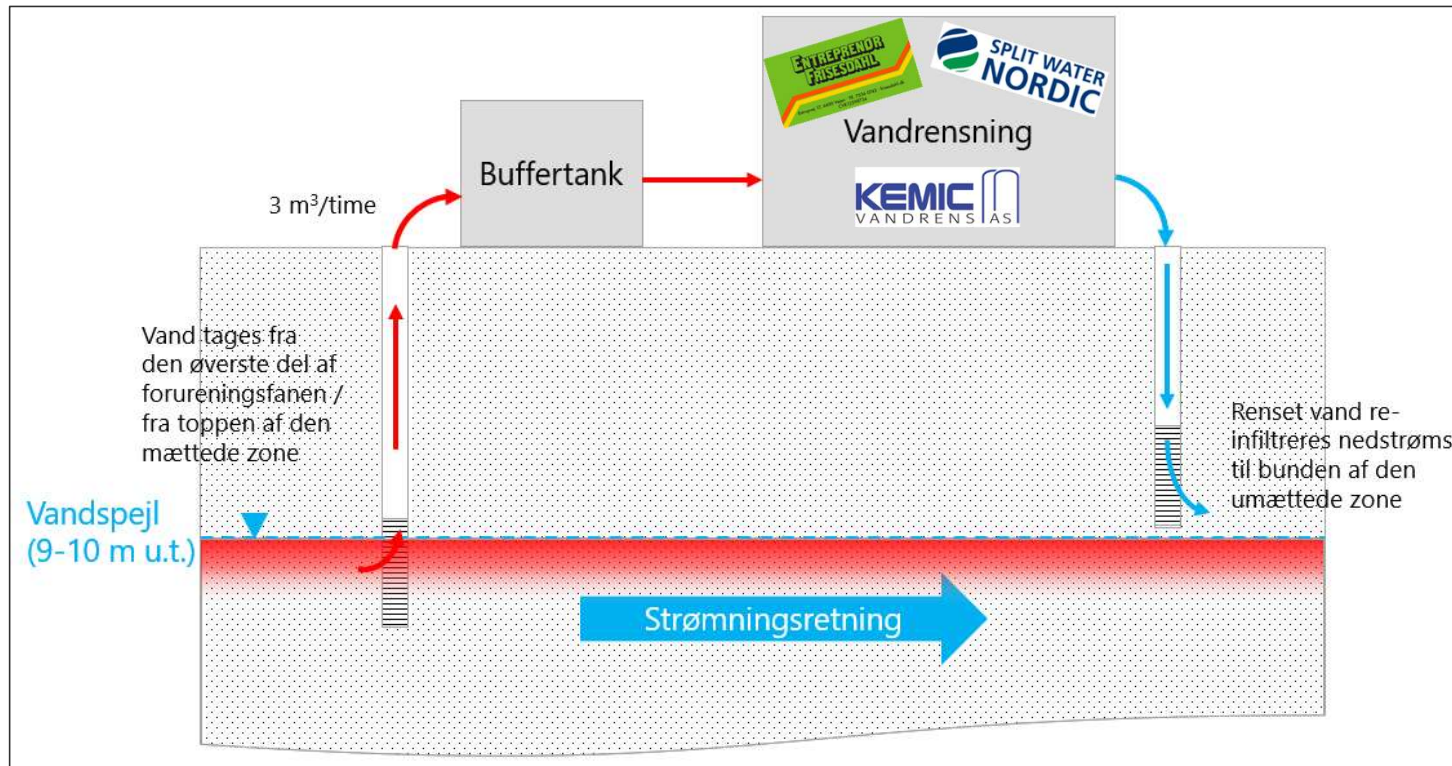


## Opstilling II

- Pumpning fra 3 boringer for at mindske sænkningstragt og holde høj koncentration af PFAS
- 30 m<sup>3</sup> buffertank for konstant og ensartet vandforsyning til de tre anlæg
- Rensning af 3 x 1 m<sup>3</sup>/time
- Re-infiltration til 3 boringer



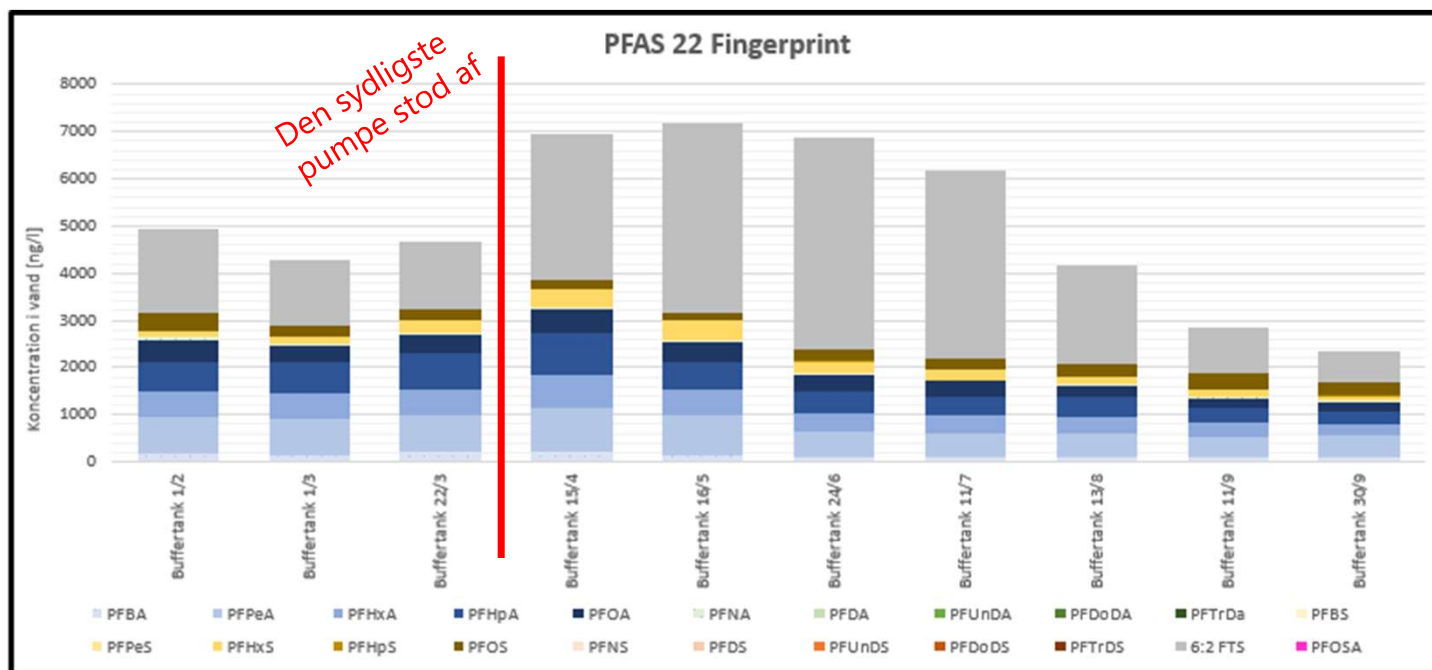
## Opstilling III



- **Processen:**  
Oppumpning af grundvand nedstrøms BØP
- Højeste koncentrationer af PFAS påvist i toppen af grundvandsmagasinet
- Re-infiltration af rensset vand til umættet zone knap 100 meter længere nedstrøms



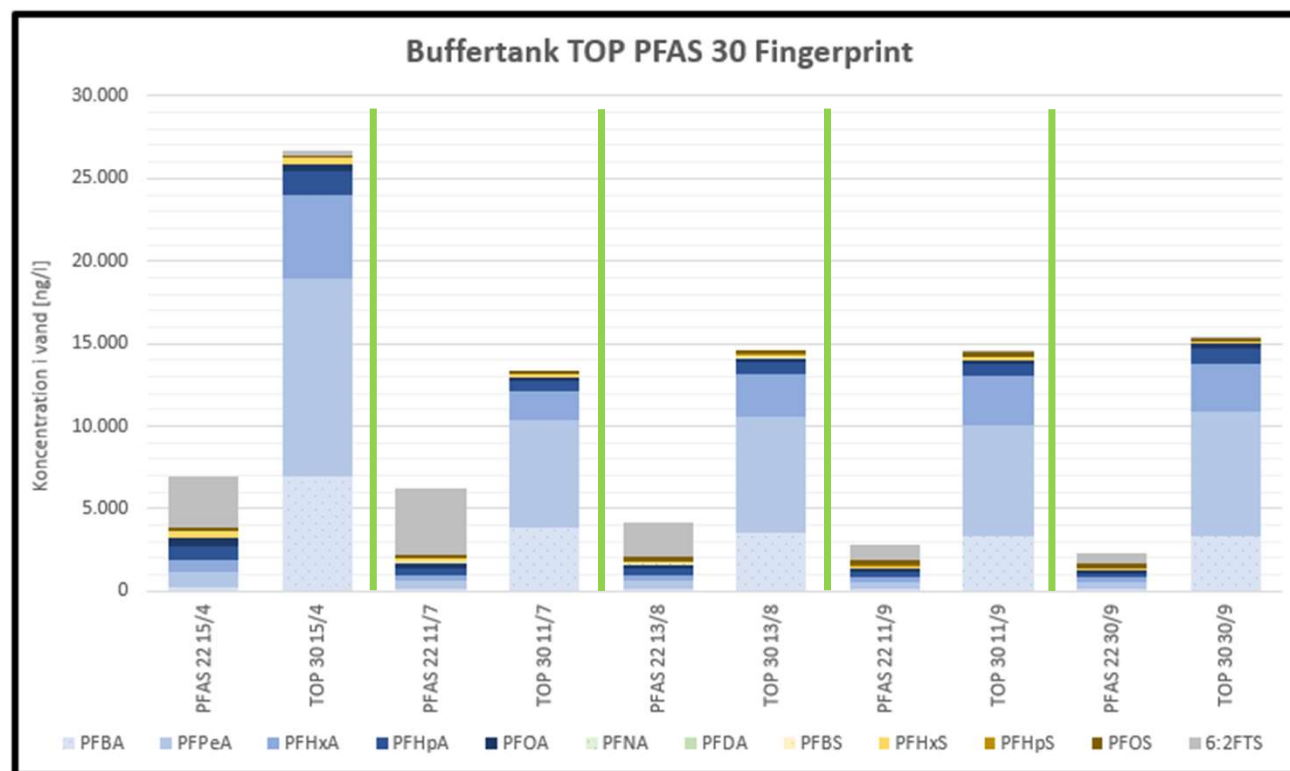
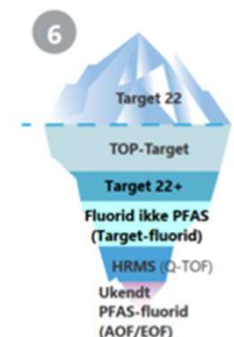
## Buffertank - det urensede vand – 22 PFAS



- Sum af 22 PFAS i råvandet svingede mellem 2-7.000 ng/l ved 10 prøvetagninger
- Aftagende koncentration igennem forsøgsperioden
- 13 af 22 forskellige PFAS-forbindelser påvist
- 6:2 FTS udgjorde 30-65%
- Andre signifikante bidrag PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFHxS og PFOS

# Buffertank - det urensede vand – avancerede analyser I

- Analyse for yderligere 55 forbindelser  
– kun én påvist (FPePA, 13 ng/l)
- 5 stk. TOP PFAS-analyser udført (vandprøven oxideres inden analyse)
- **Sum TOP PFAS ~ 2-6 x PFAS 22**
- 12 PFAS-forbindelser påvist ved TOP. 6:2 FTS omdannet.
- Efter TOP dominerer PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFHxS og PFOS





# Buffertank - det urensede vand – avancerede analyser II

## Ultrakorte PFAS-forbindelser:

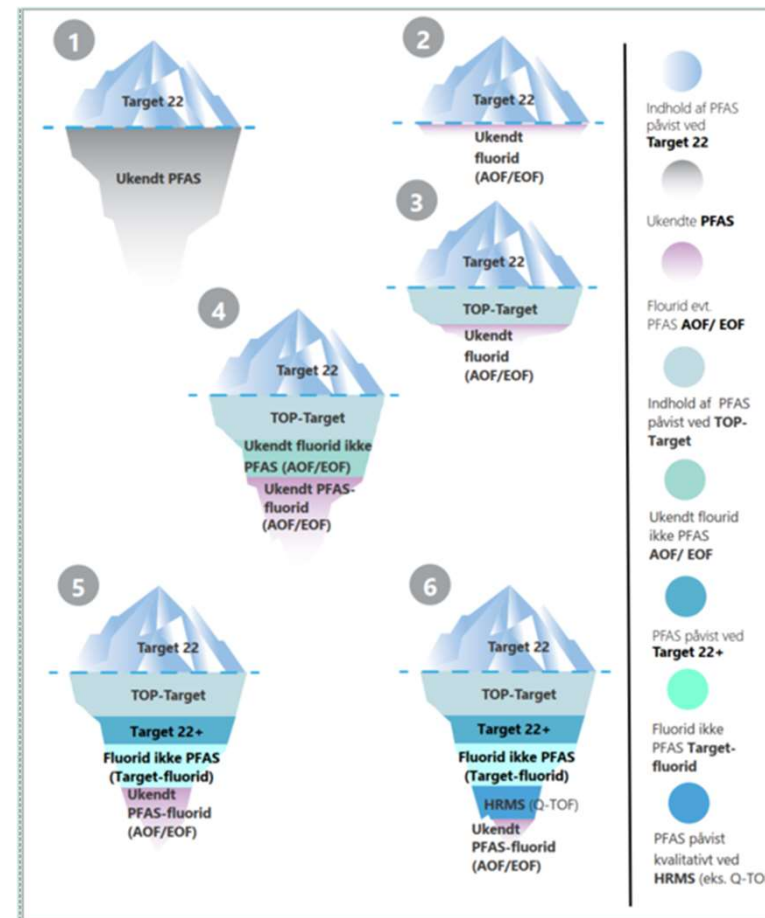
- To ud af fem påvist i det urensede vand (TFA 500 ng/l og PFPrA 10 ng/l)
- Meget begrænset rensning af TFA  
PFPrA fjernes til dels

## Adsorberbar Organisk Fluor (AOF):

- Urenset vand: 14-30 µg/l AOF
- Op til hhv. 15% og 70% af det totale fluor-indhold v. AOF-analyse kan forklares ved PFAS påvist ved hhv. PFAS 22-analyse og TOP-analysen
- Renset vand: AOF < detektionsgrænsen (3 µg/l)

## Non-target analyse:

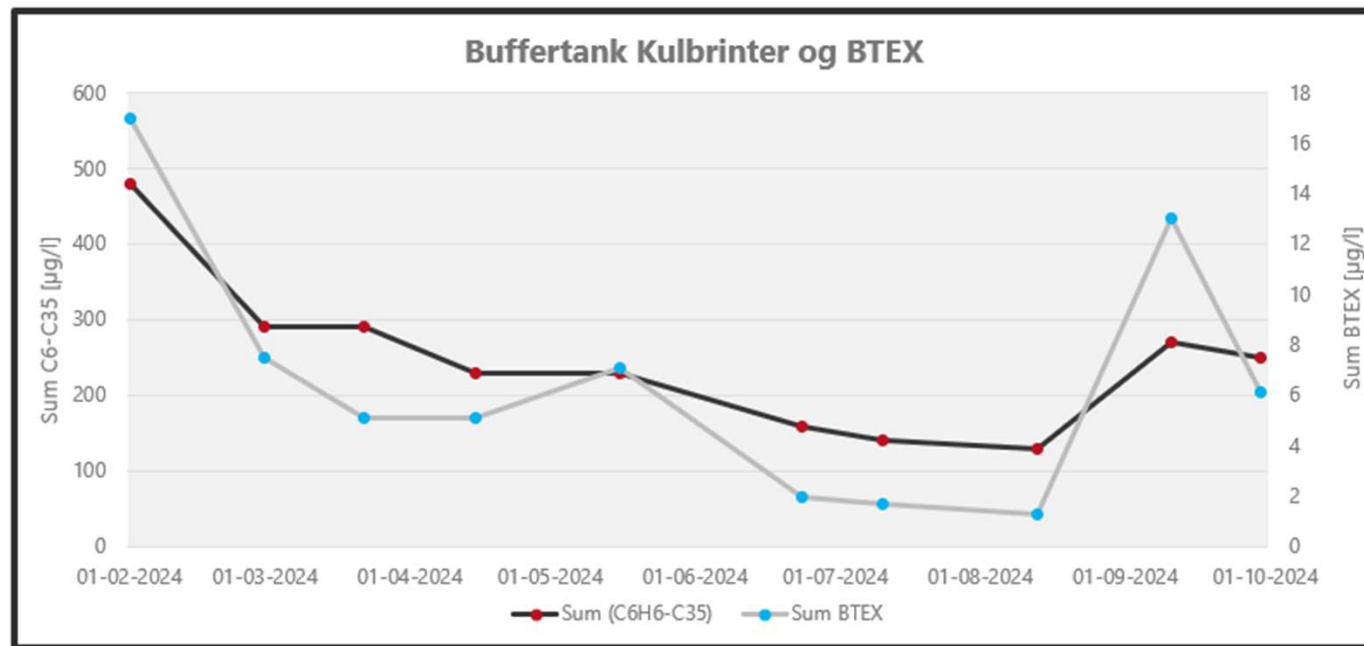
- Afdækker ikke PFAS-forbindelser der kan redegøre for forskel mellem AOF og TOP-resultater



**TUP-projekt.** Udredningsprojekt vedr. analysemetoder til undersøgelse for PFAS-forbindelser i jord, grundvand og overfladevand

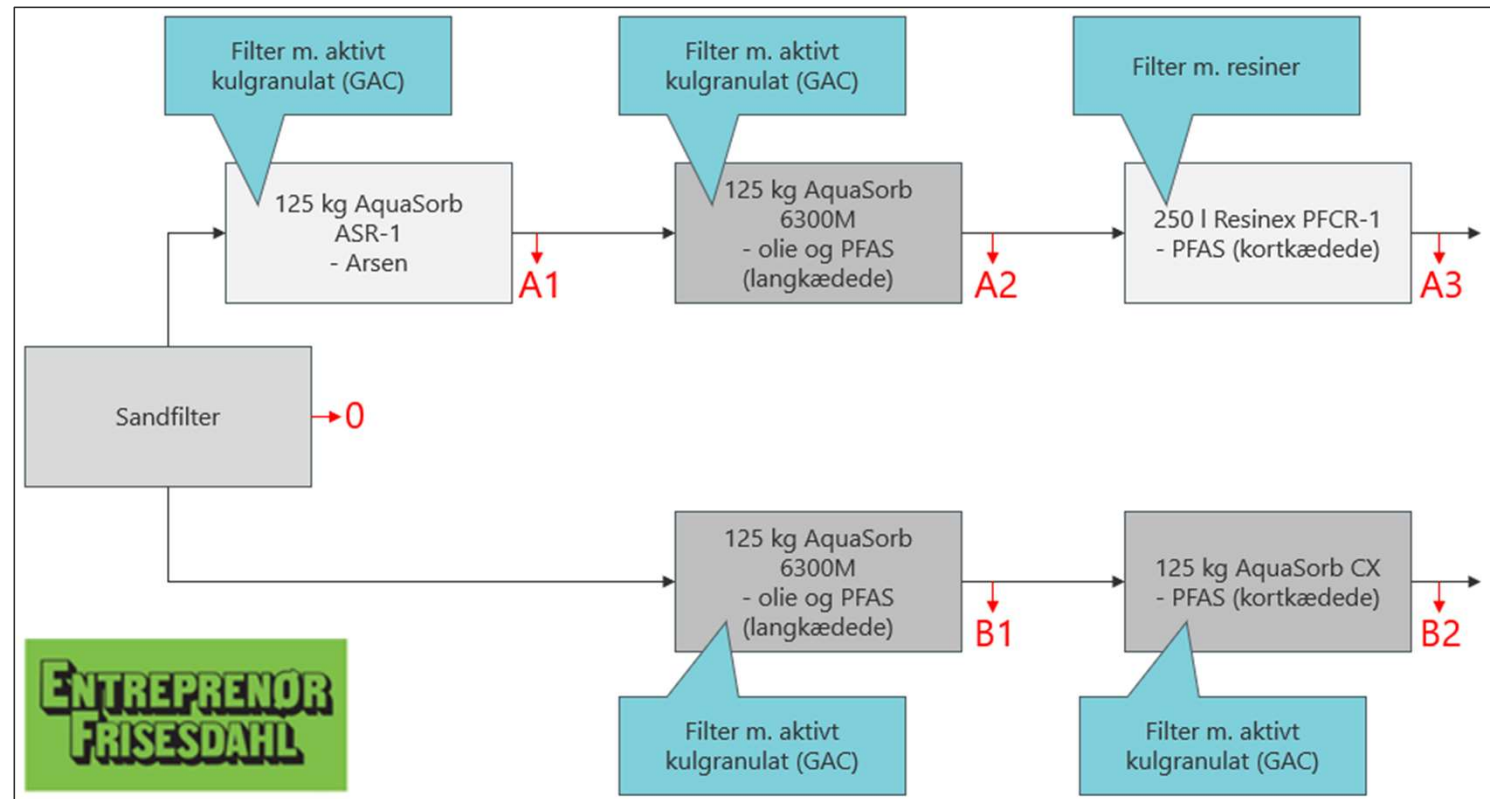
## Buffertank - det urensede vand – andre stoffer

- Op til 480 µg/l total kulbrinter
- Sum af BTEX op til 13 µg/l
- Svingende koncentrationer af kulbrinter, men aftagende tendens gennem forsøget
- Jern: 13 mg/l



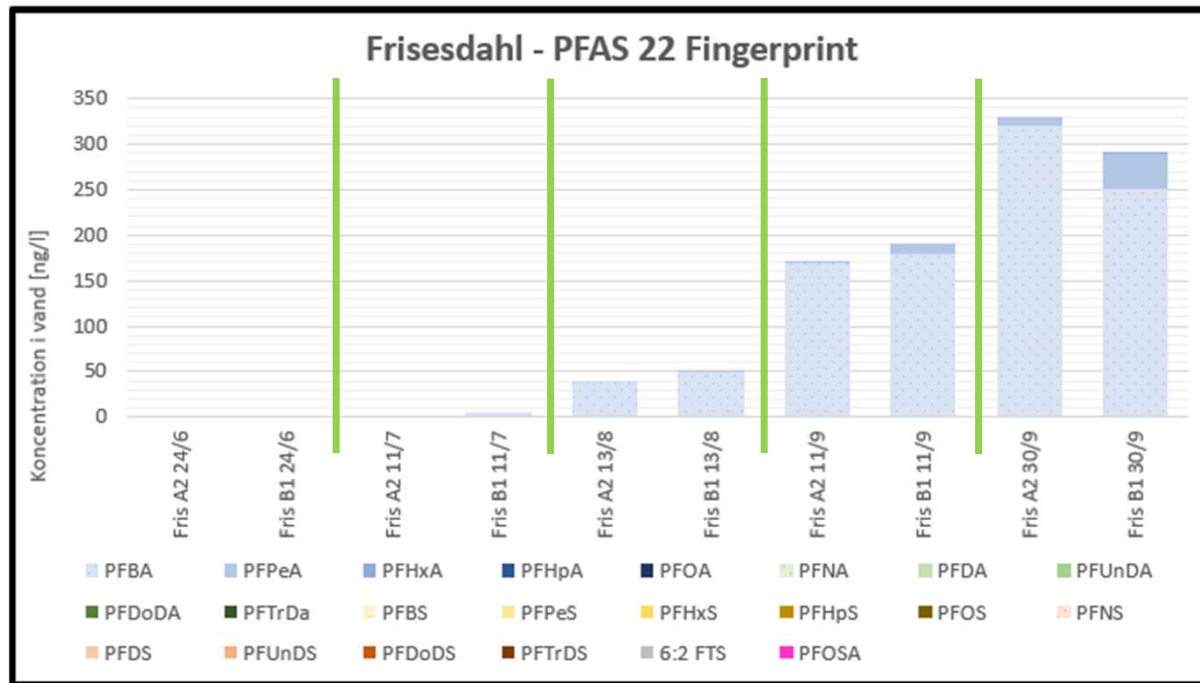
# Frisesdahl - opstilling

- 2 linjer med fælles sandfilter til for-rensning
- Kapacitet på 2 x 0,5 m<sup>3</sup>/time
- A1 med specielt kul målrettet arsen (analyser viser ingen effekt på rensning af PFAS)
- 125 kg af samme type stenkulsgranulat i primære filtre (A2 & B1)
- Resiner og kokosbaseret kul i sekundære filtre (A3 & B2)





# Frisesdahl - rensning

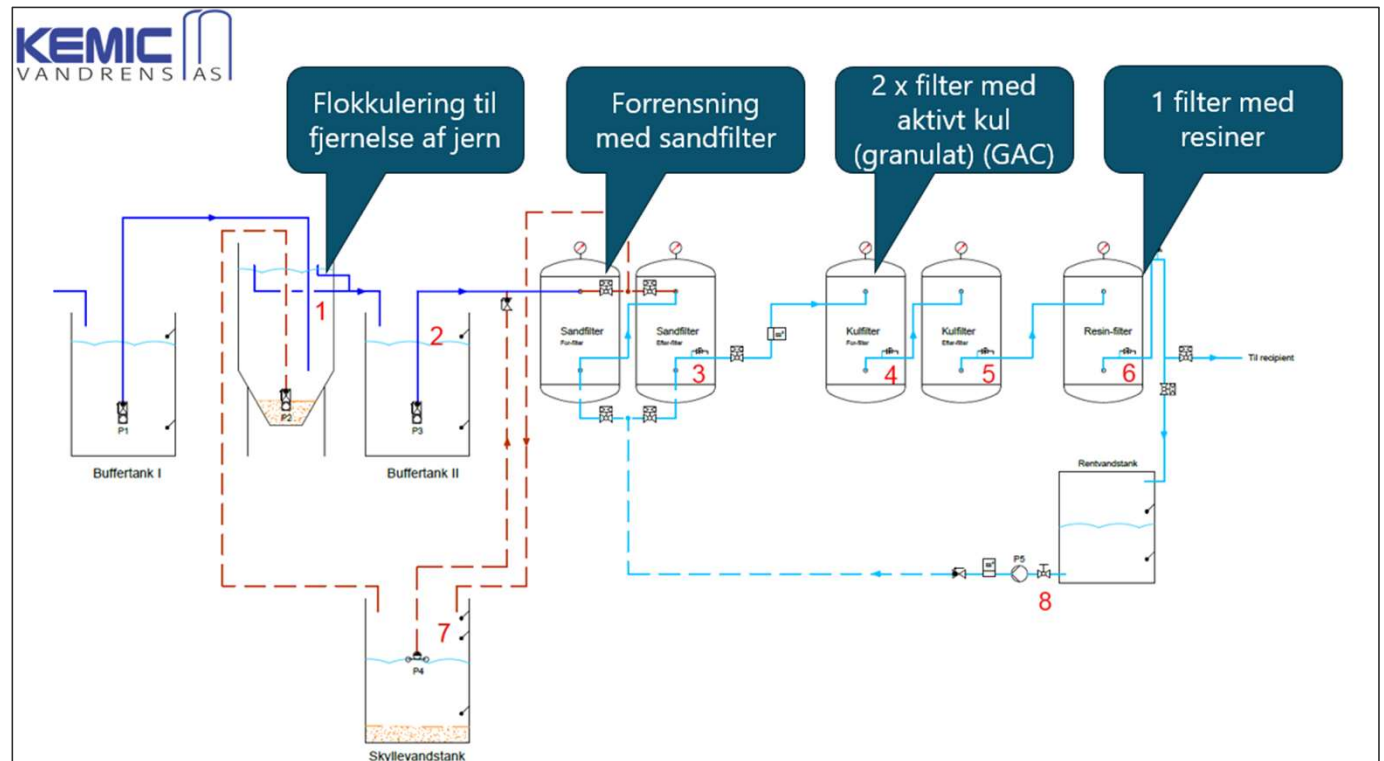


- Både PFAS22, PFAS TOP 30- og AOF-analyseresultater under detektionsgrænse ved afgang af begge linjer
- Total kulbrinter renses til under detektionsgrænse. Enkelte prøver med BTEX over detektionsgrænse ved afgang fra både A- og B-linje (men under grundvandskrit.)
- **Efter 1. filter:** Gennembrud af PFBA i B- og A-linjen efter hhv. 6.100 (5,5 mdr.) og 7.000 (6 mdr.) bed volumes (BV)\* vand. Overskridelse af MST krit. Efter ca. 9.500 bed volumes (7 mdr.) på både linje A og linje B.
- Næste stoffer gennem 1. filter er: PFPeA og efterfølgende PFHxA

\* Bed volumen (BV): Rensning pr. volumen filtermateriale.

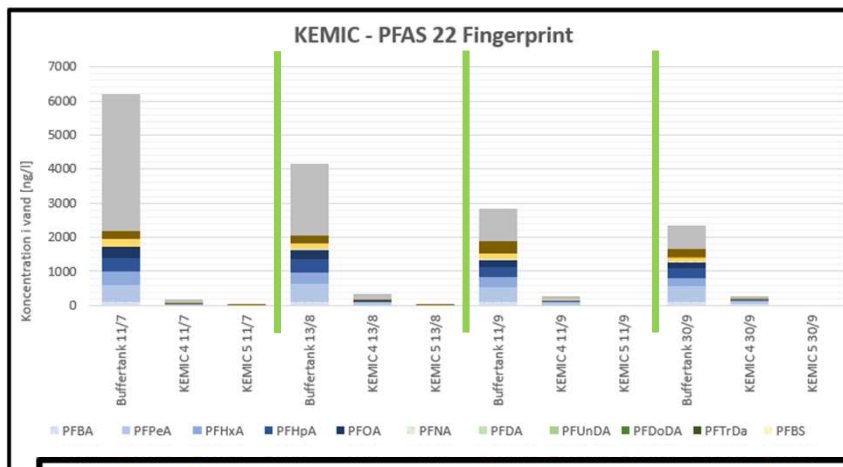
# KEMIC - opstilling

- For-rensning flokkulering (tilføjet) og sandfiltre
- Én linje med kapacitet på 1 m<sup>3</sup>/time
- 2 filtre med 250 liter kulgranulat (stenkul, Filtrasorb 400) og 1 filter med 250 liter resiner (Lewatit TP108 DW)
- KEMIC havde udfordringer med jernindhold (op til 13 mg/l), hvorfor rensning af vandet startede 6 uger senere

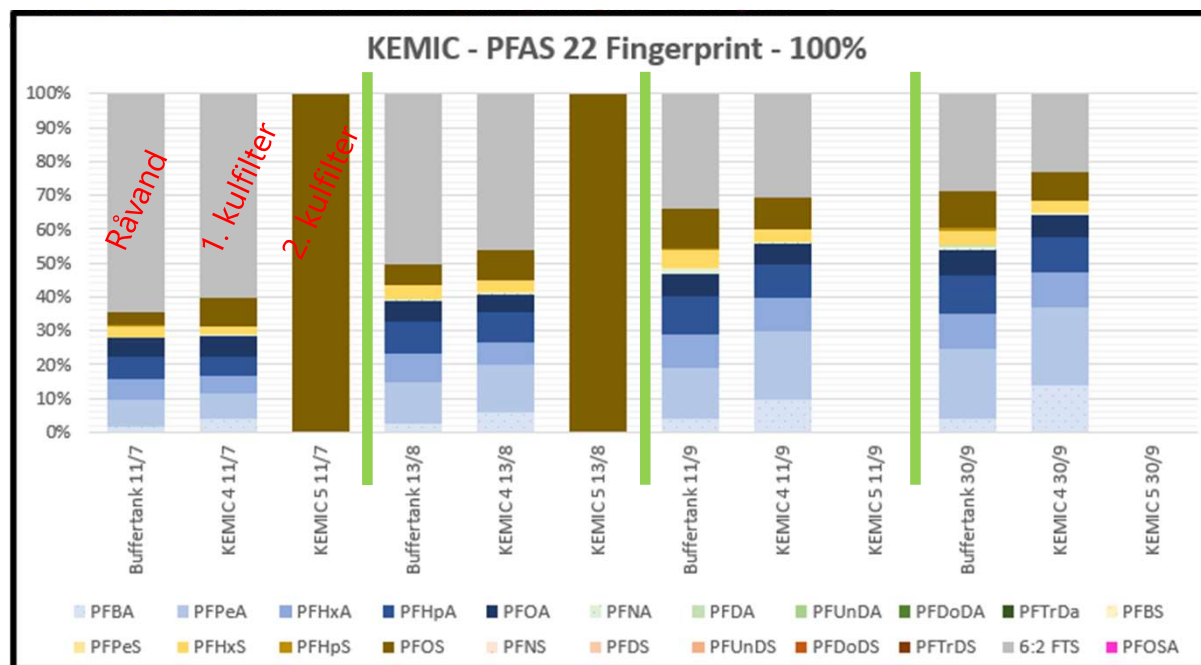


# KEMIC – rensning I

- Alle PFAS 22-resultater og kulbrinter ved afgang af anlægget lå under detektionsgrænse
- Efter et par måneders drift er der taget prøver efter 1. kulfilter: 2-300 ng/l PFAS
- Stor lighed i sammensætning mellem urenset vand og vand efter 1. kulfilter
- Formodning: 3% stigende til 12% af vandet løber urenset igennem 1. kulfilter



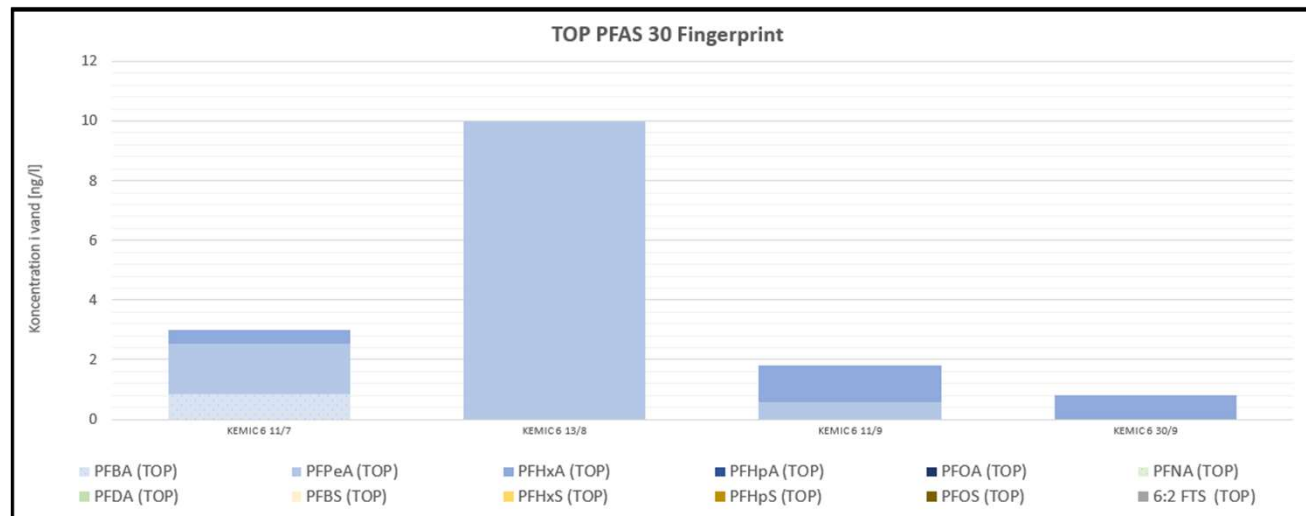
- I to prøver ses også lav koncentration af PFOS efter 2. kulfilter



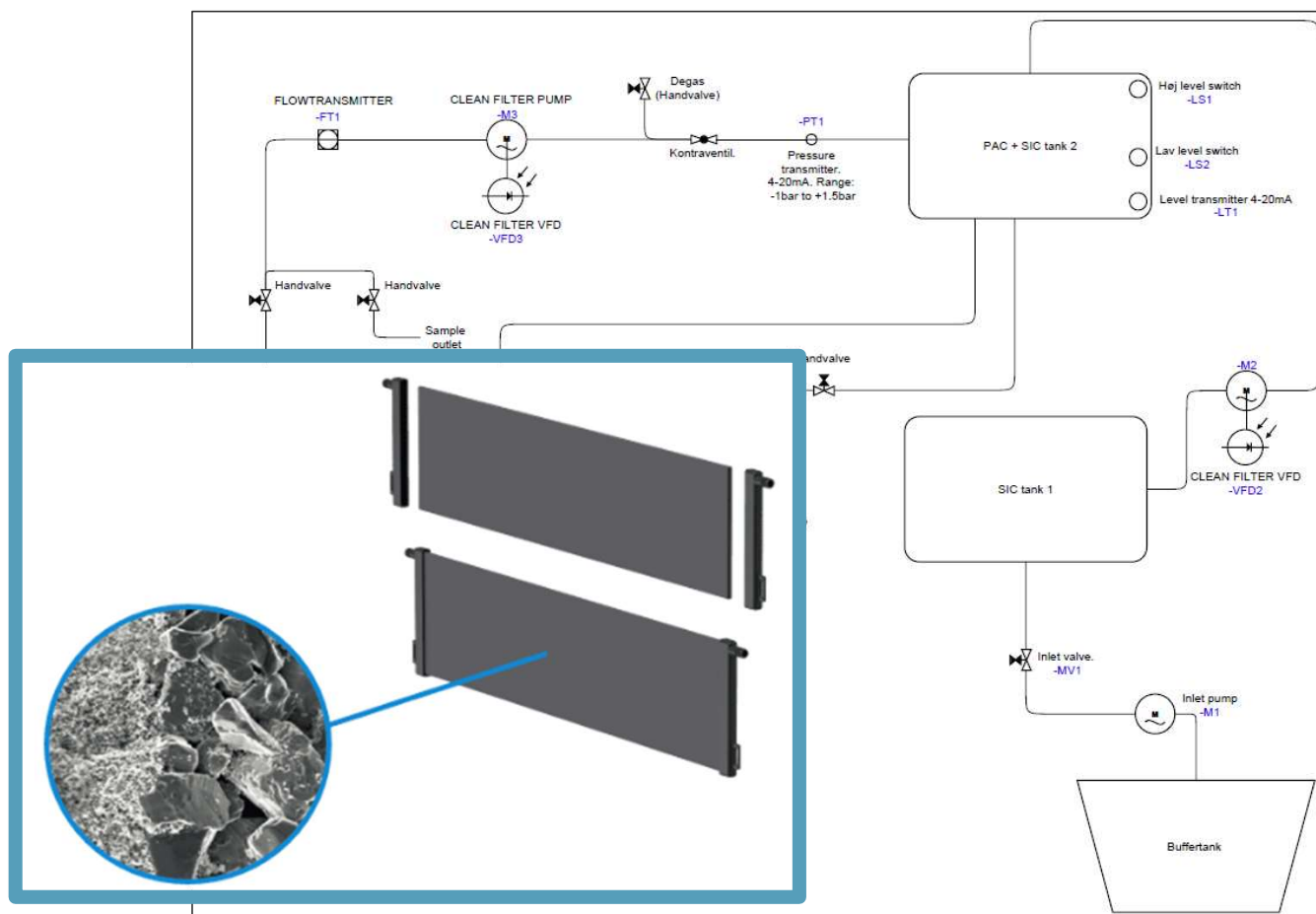


## KEMIC – rensning II

- Alle PFAS 22-analyser under detektionsgrænse ved afgang
- AOF-analyse viser indhold under detektionsgrænsen ved afgang
- PFAS TOP 30-analyse ved afgang fra anlæg viser lave koncentrationer af PFBA, PFPeA og PFHxA (efter oxidering)



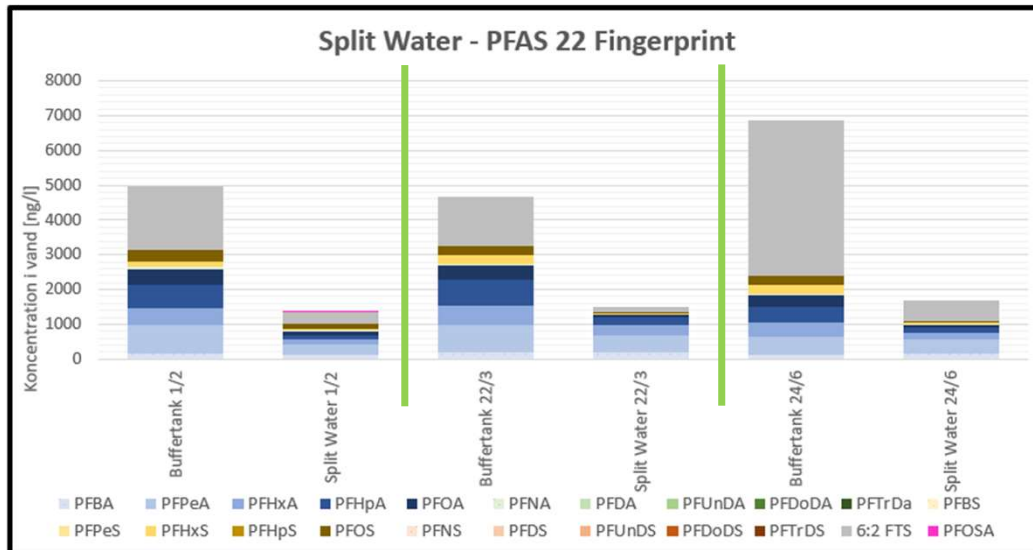
# Split Water Nordic (SWN) - opstilling



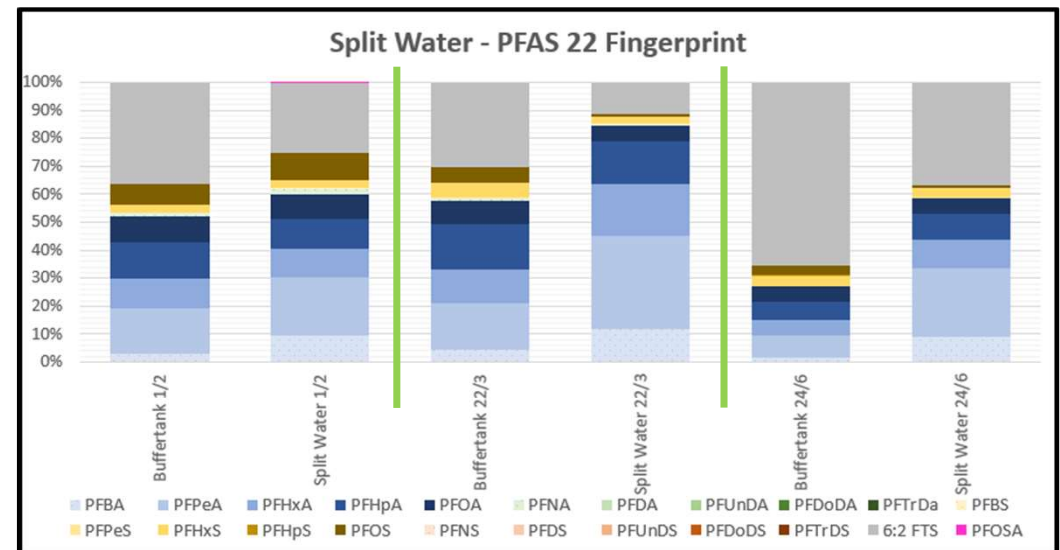
- Anlægget adskiller sig ved brug af **keramiske filtre** belagt med pulveriseret aktivt kul (PAC)
- Vha. vakuum suges vandet igennem membranen, der tilbageholder alle suspenderede partikler inkl. det aktive kul, som fanger PFAS-forbindelserne
- Målet er **lavere forbrug** af både kul og strøm end filtre med kul-granulat (GAC)

# Split Water Nordic - rensning

- Drift af anlægget var udfordret af højt indhold af jern og organiske forbindelser
- PFAS 22-analyser viste, at anlægget fjernede mellem 2/3 og 3/4 af PFAS-indholdet



- Stor lighed med det urensede vand indikerer, at en betydelig del af vandet gik urensset igennem anlægget
- Det samme var tilfældet med kulbrinter i starten af forsøget, men dette punkt forbedredes betragteligt



# Opsummering og perspektivering

- God effekt på PFAS 22 ved traditionel anvendelse af aktivt kul – fra 7.000 ng/l til under detektionsgrænsen **AC0**
- Data indikere at resin tilbageholder de ultrakorte PFAS bedre end kul
- Split Waters anlæg overvældet af vandkvalitet samt koncentrationer af PFAS og olie
  - 70 % af PFAS-forbindelser fjernet (evt. mindre kulforbrug)(evt. potentiale i kombinationer af rensemetoder) **AC1**
- Inddragelse af andre PFAS-analysemetoder (PFAS TOP og AOF) viste et langt større indhold af PFAS i urensede vand.
- Analysemetoderne (PFAS TOP og AOF) underbyggede datagrundlaget for vurderingen af rensemetodernes effekt
- Tilstopning af udstyr (pumper og re-infiltrationsboringe) **AC2** og mange andre praktiske erfaringer
- Sammenstilling: effektivitet, kulforbrug, strømforbrug, opetid, livscyklusvurdering o.s.v.



| Anlæg      | Behandlet vandmængde (m3) |
|------------|---------------------------|
| Fridesdahl | 5.928                     |
| Kemic      | 2.566                     |
| Splitwater | 1.084                     |



**AC0**

Ja - men hvad rolle spille resiner ?

Det der jo er GAC's formål når der er både PFAS og andre organiske stoffer, er jo at først fjerne de øvrige organiske stoffer - og herefter fjerne den tilbageværende PFAS ?

Det skal diskuteres

Anders G. Christensen (AGC); 2025-02-28T08:28:04.982

**AC1**

Netop forrensning som bl.a sker med GAC (udocer jernfjernelsen aller først) - fjerne den noget ? Det har vi vist data på

Anders G. Christensen (AGC); 2025-02-28T08:28:53.677

**AC2**

Hvad menes ? Hvad ser vi Jern+GAC+Resin vs. Jern-GAC ?

Anders G. Christensen (AGC); 2025-02-28T08:29:31.584

Spørgsmål ?