

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

Kasper Søager, NIRAS



Involverede partner

Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse (FES)

Anne Mette Bräuner Lindof

Bjørn P. Maarupgaard

Rådgiver for FES: NIRAS A/S

Kasper Søager

Morten Røhling Olesen

Anders G. Christensen

Søren Dyreborg

Entreprenører



Pilotforsøg



- FES har inviteret tre leverandører til et forsknings- og udviklingssamarbejde
- 6 måneders forsøg med rensning af PFAS-forurenede grundvand på lokaliteten (forlænget til 8 måneder)
- Start 1. februar 2024
- Forskellige kombinationer af granulat af aktivt kul, resiner, pulveriseret aktivt kul og membraner
- Formål: Få flere praktiske erfaringer med forskellige leverandører og metoder under realistiske forhold

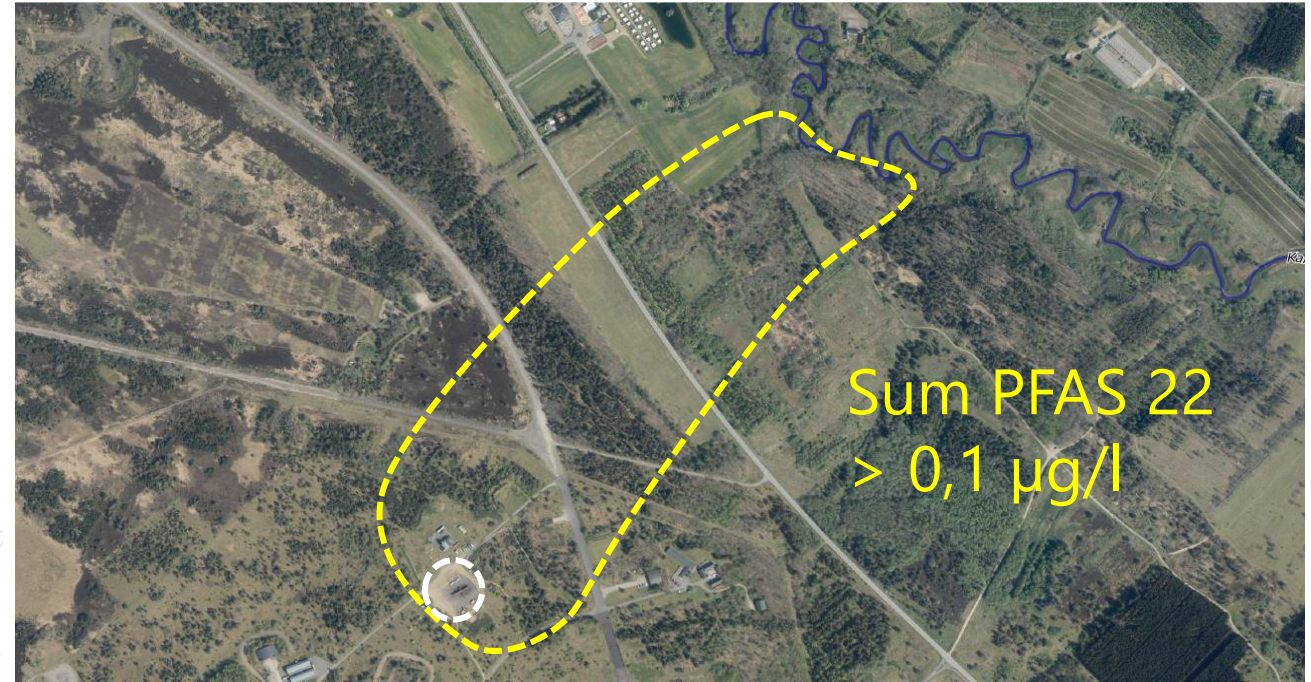
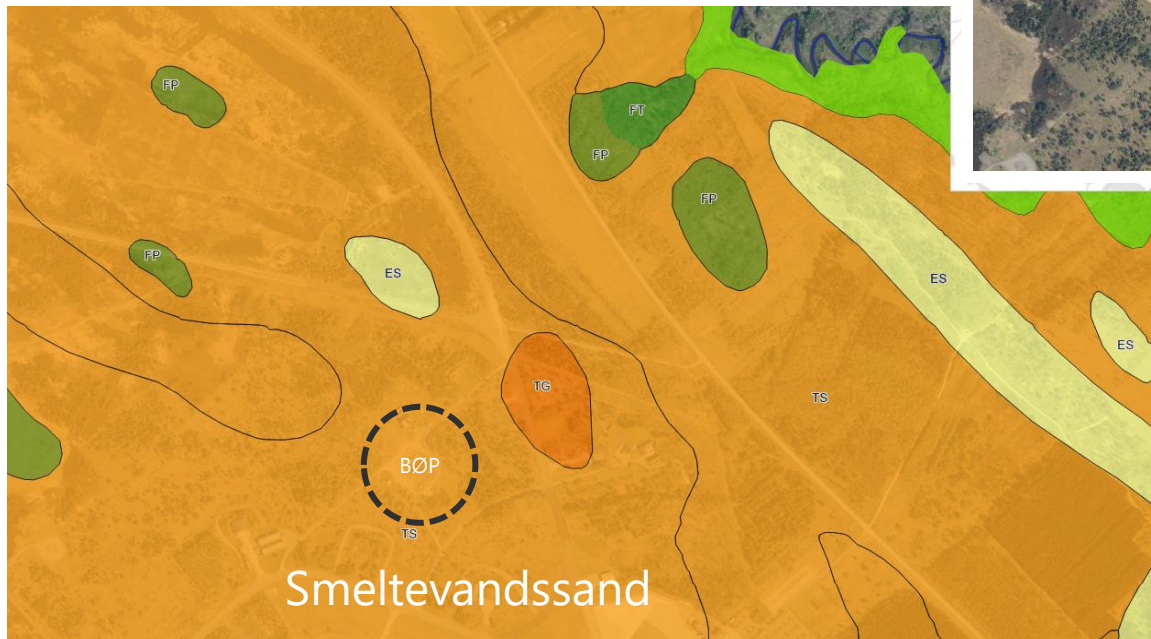
Baggrund

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



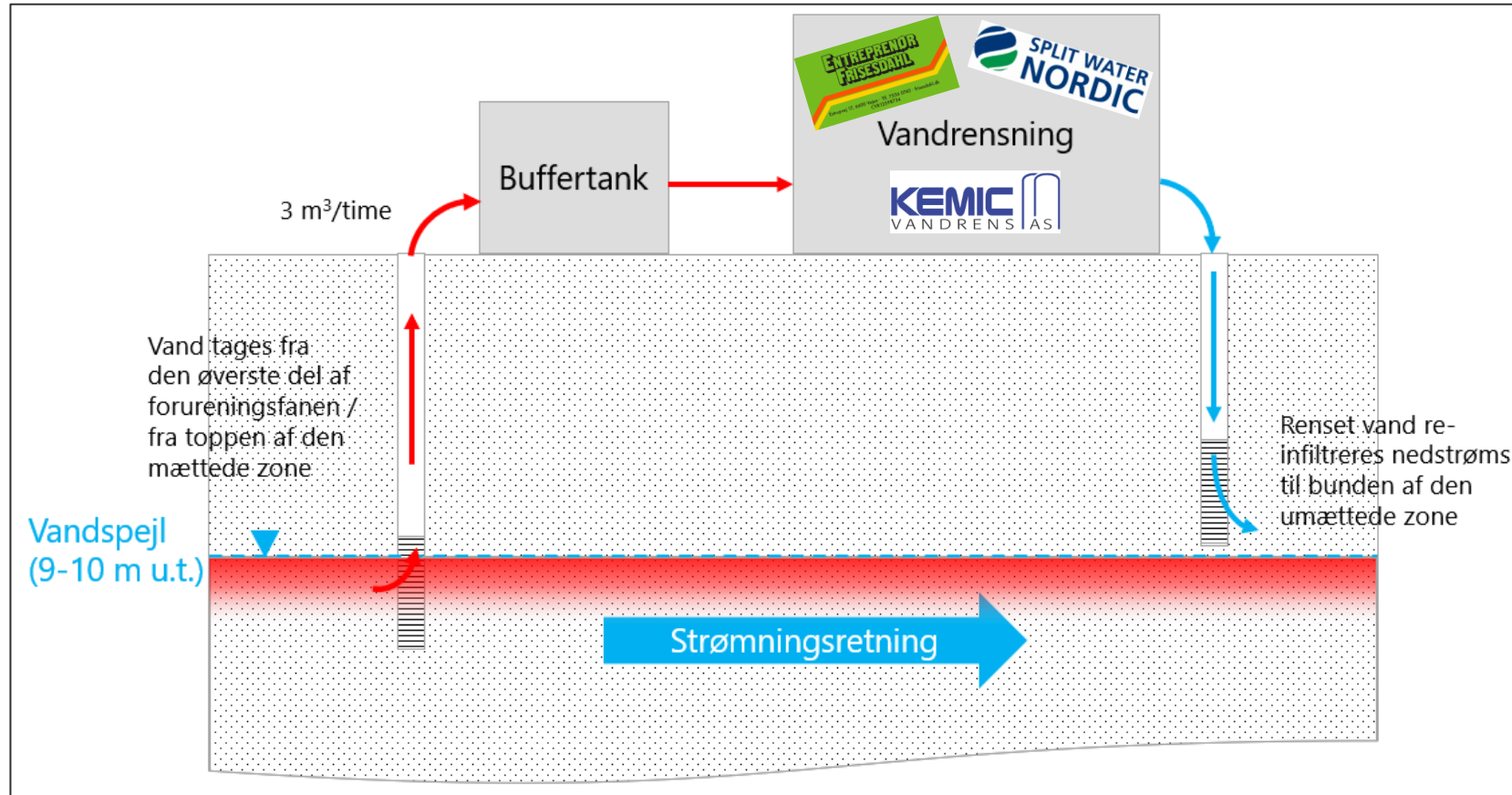
Forureningsbillede & geologi

- **PFAS i grundvandet:**
Ca. 1.000 meter fane mod nordøst med overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet
- Op til 15.000 ng/l nær BØP



- **Geologi:**
Overvejende smeltevandssand med grundvandsspejl omkring 9-10 m u.t. giver egnede hydrogeologiske forhold til forsøget

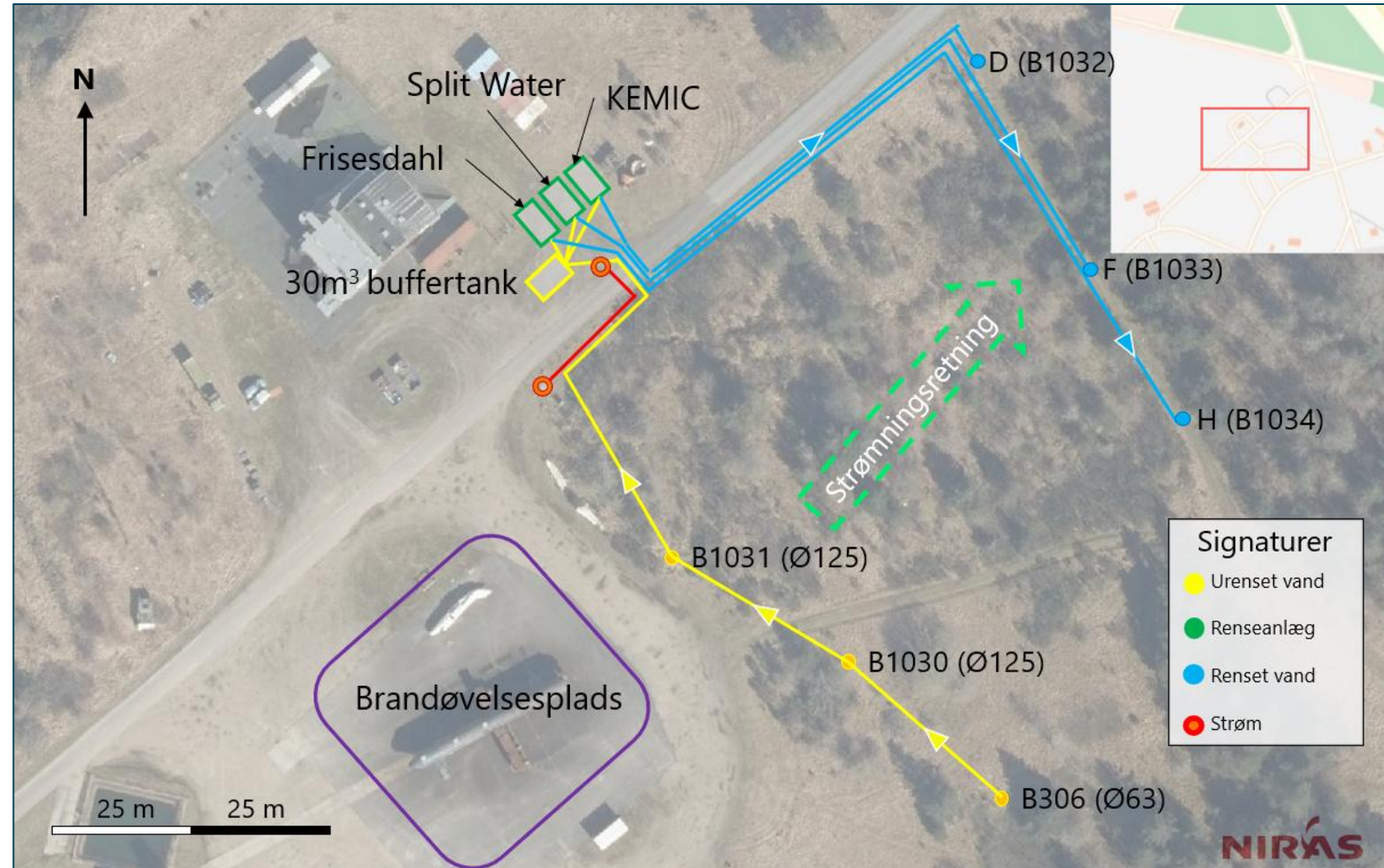
Opstilling I



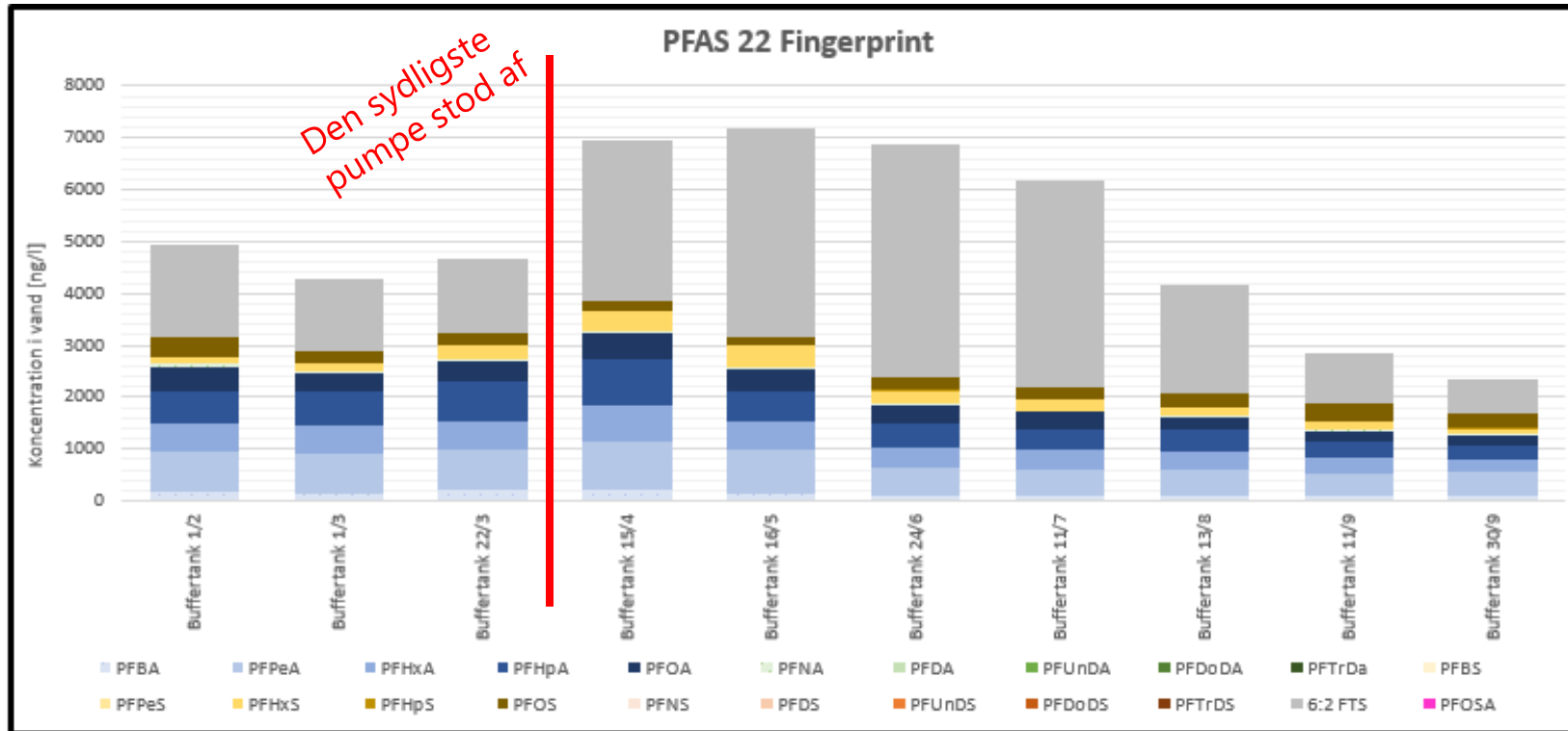
- **Processen:**
Oppumpning af grundvand nedstrøms BØP
- Højeste koncentrationer af PFAS påvist i toppen af grundvandsmagasinet
- Re-infiltration af rensset vand til umættet zone knap 100 meter længere nedstrøms

Opstilling II

- Pumpning fra 3 boringer for at mindske sænkningstragt og holde høj koncentration af PFAS
- 30 m³ buffertank for konstant og ensartet vandforsyning til de tre anlæg
- Rensning af 3 x 1 m³/time
- Re-infiltration med afgangstryk & tyngdekraft til 3 boringer



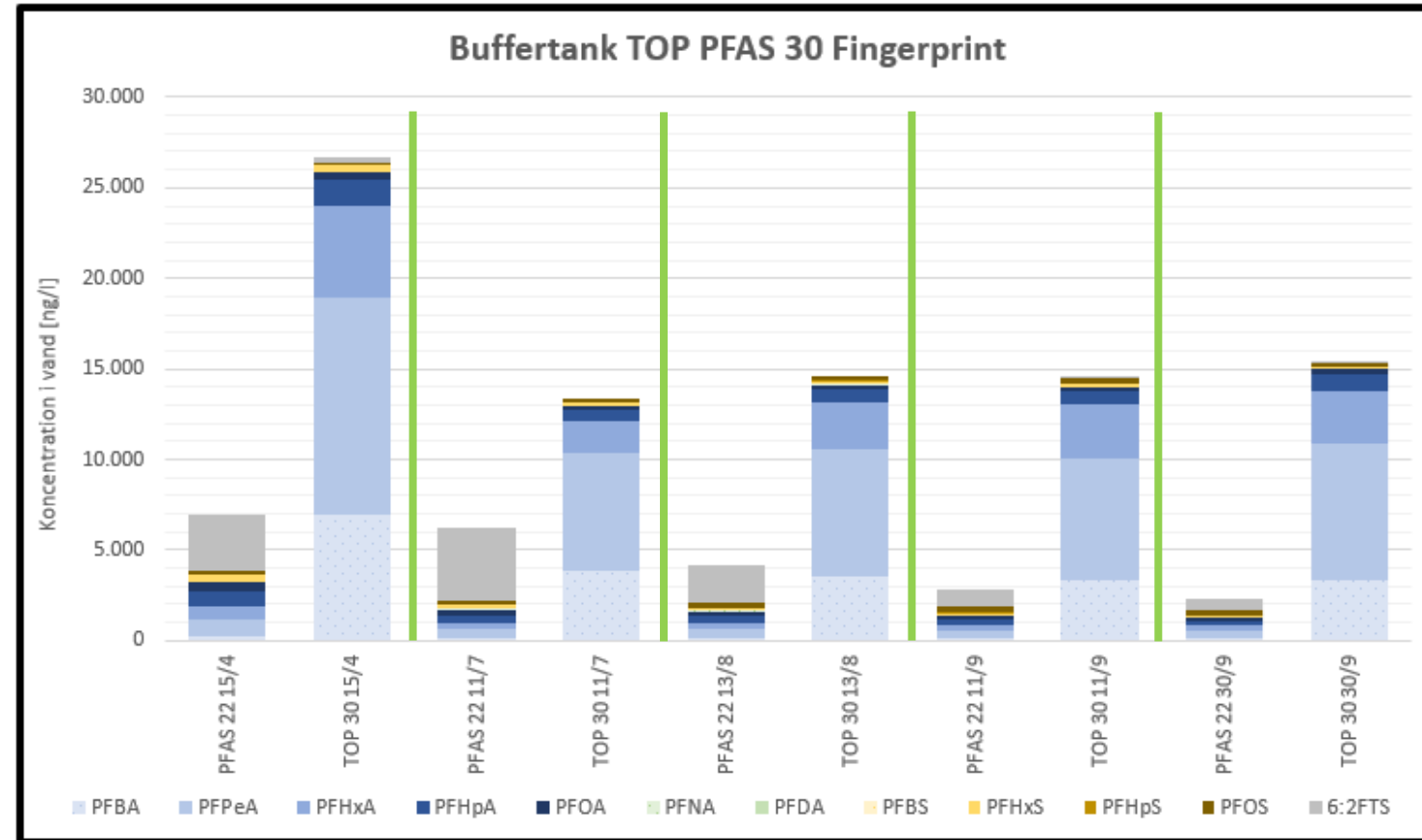
Det urensede vand – 22 PFAS



- 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 fra korte carboxylsyrer (PFPeA, PFHxA, PFHpA og PFOA) og sulfonsyrer (PFHxS og PFOS)

Det urensede vand – avancerede analyser I

- Analyse for yderligere 55 forbindelser
– kun én påvist (FPePA, 13 ng/l)
- 5 stk. TOP PFAS 30-analyser udført (vandprøven oxideres inden analyse)
- Sum TOP PFAS 30 ~ 2-6 x PFAS 22
- 12 PFAS-forbindelser påvist ved TOP
- Efter TOP dominerer fortsat korte carboxylsyrer (PFBA, PFPeA, PFHxA og PFHpA) og sulfonsyrer (PFHxS og PFOS)



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)
- TFA fjernes ikke ved rensningen i forsøget
PFPrA fjernes til dels

Adsorberbar Organisk Fluor (AOF):

- Urenset vand: 14-30 µg/l
Op til 70% af det totale fluor-indhold v. AOF-analyse kan forklares ved TOP-analysen

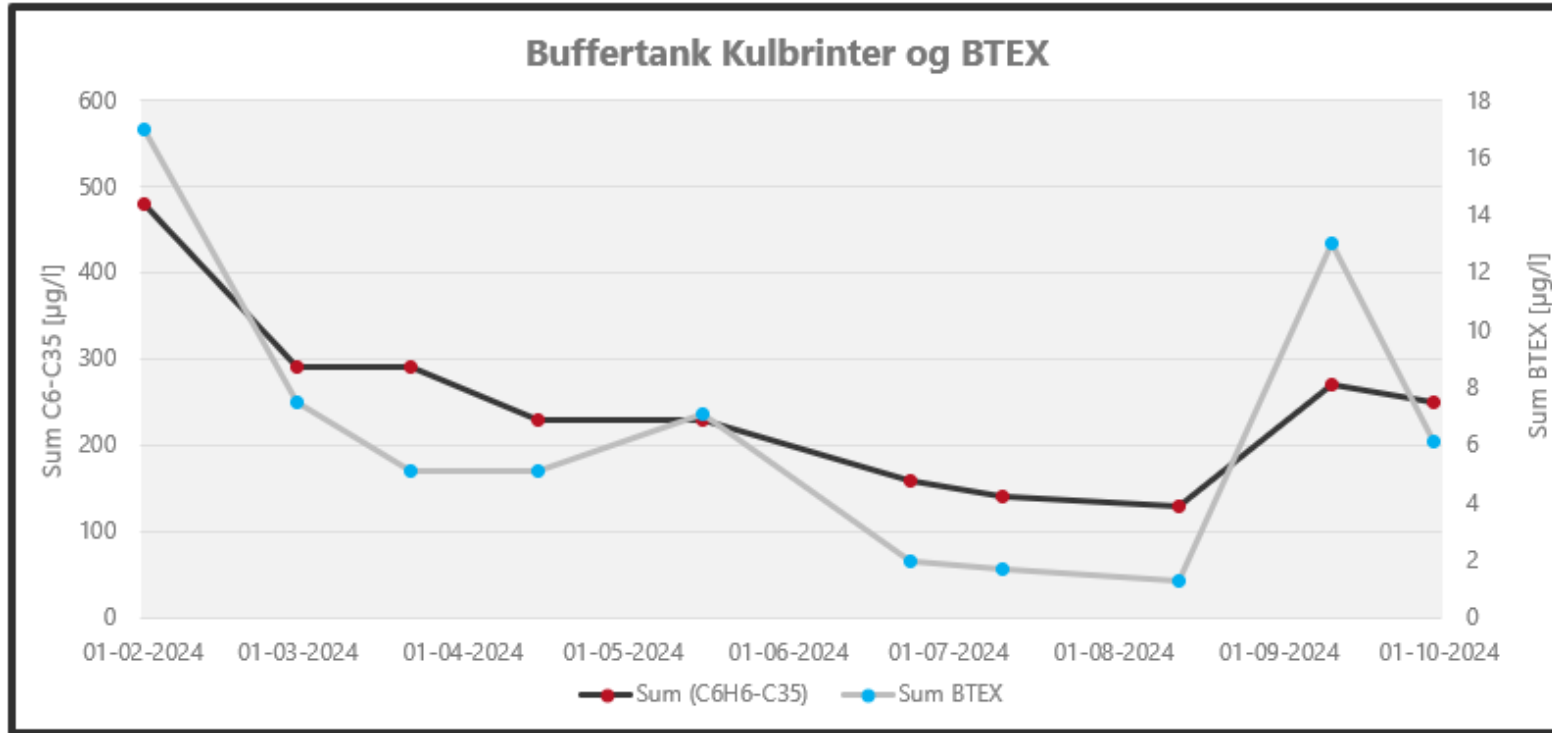
Non-target analyse:

- Ikke muligt at afdække forskel mellem AOF og TOP-resultater



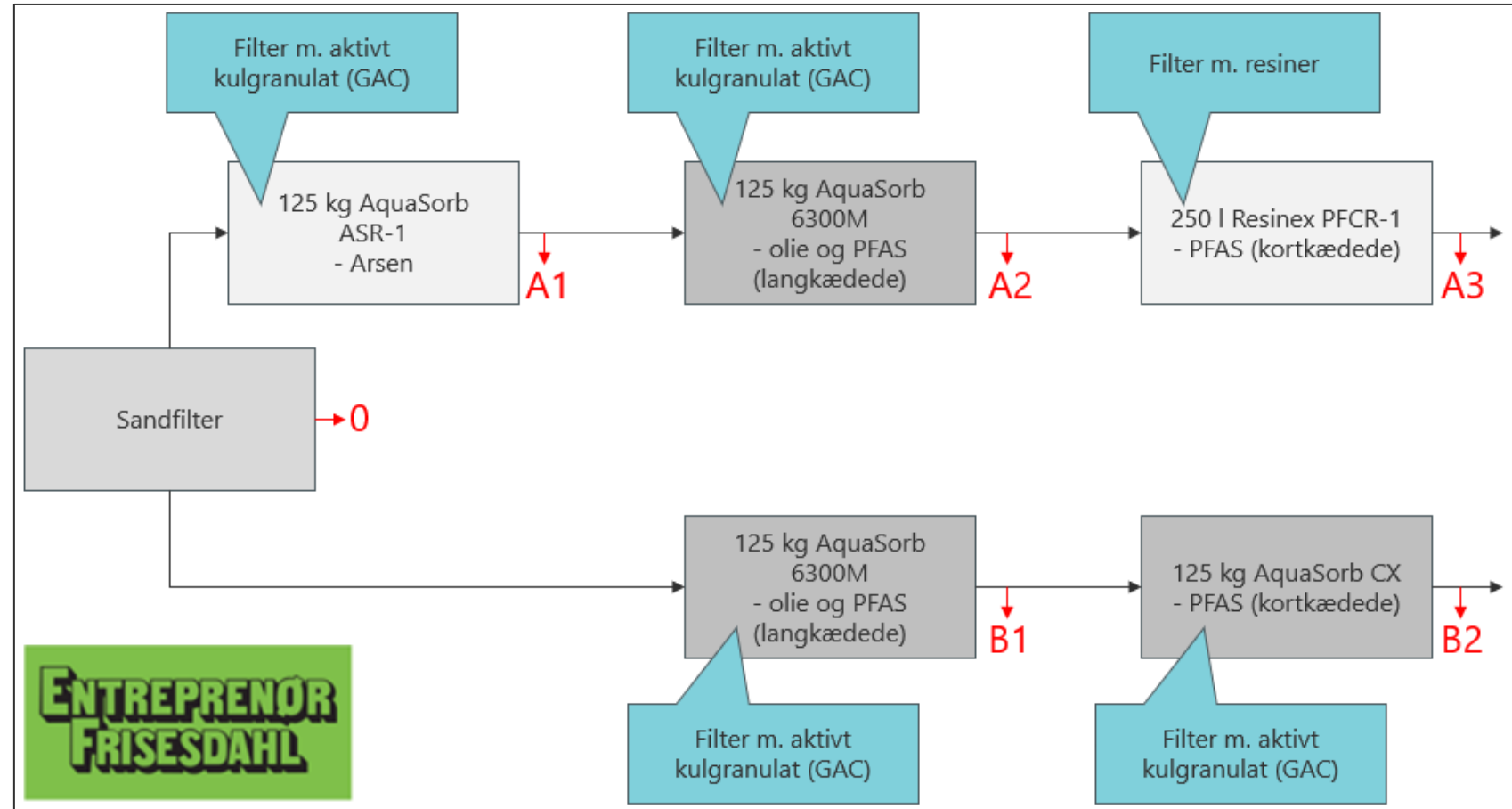
Det urensede vand – andre stoffer

- Op til 480 µg/l total kulbrinter (50 gange grundvandskvalitetskriteriet)
- Sum af BTEX op til 13 µg/l (> grundvandskvalitetskriteriet)
- Svingende koncentrationer af kulbrinter, men aftagende tendens gennem forsøget
- NVOC: 2.600 µg/l
- Jern: 13.000 µg/l
- Mangan: 3.300 µg/l

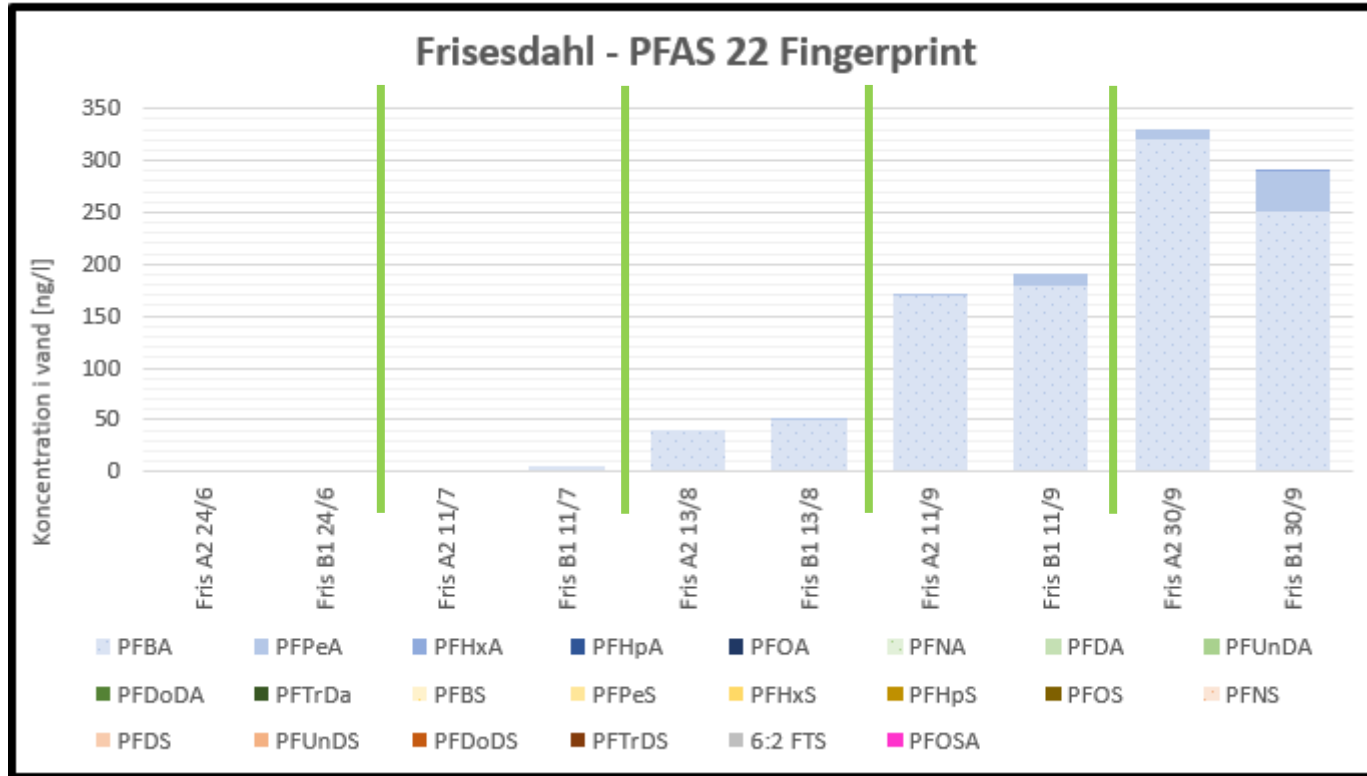


Frisesdahl - opstilling

- 2 linjer med fælles sandfilter til for-rensning
- Kapacitet på 2 x 0,5 m³/time
- A1 med specielt kul målrettet arsen
- 125 kg af samme type stenkulsgranulat i primære filtre (A2 & B1)
- Resiner og kokosbaseret kul i sekundære filtre (A3 & B2)



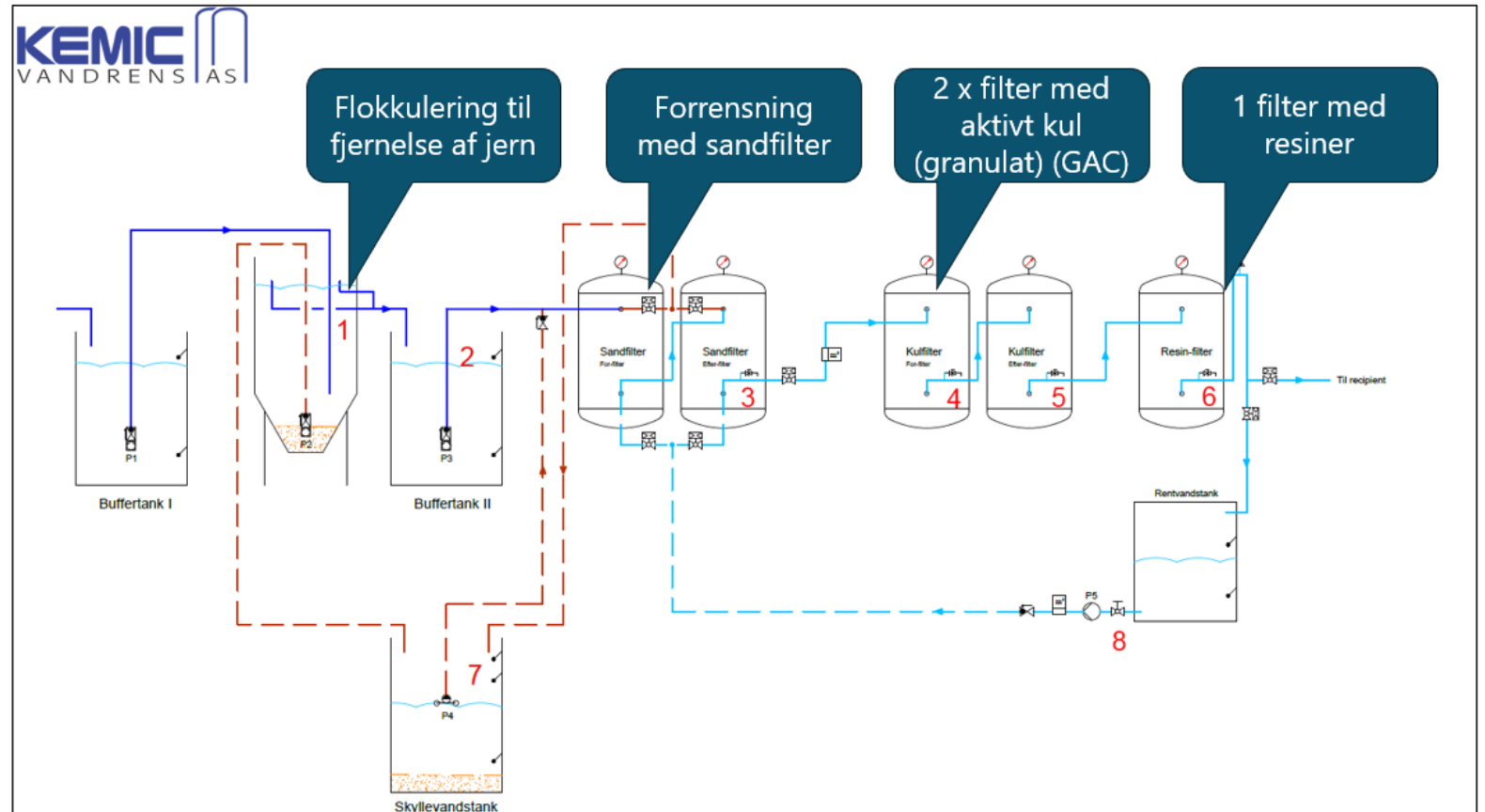
Fridesdahl - rensning



- Filter til rensning af arsen fjernede ingen PFAS
- Både PFAS TOP 30- og AOF-analyseresultater under detektionsgrænse ved afgang af begge linjer
- **Efter 1. filter:** Gennembrud af PFBA i B- og A-linjen efter hhv. 6.100 og 7.000 bed volumes vand
- Næste stoffer gennem 1. filter er: PFPeA (hhv. 8.100 og 9.700 BV) PFHxA (10.000 BV i B-linjen)
- Total kulbrinter renses til under detektionsgrænse. Enkelte prøver med BTEX over detektionsgrænse (efter 1. og 2. kulfilter)

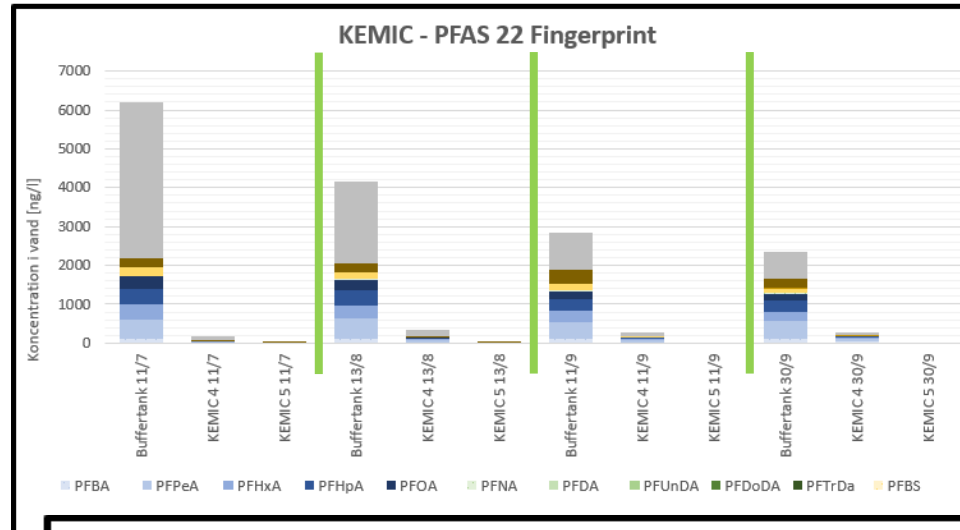
KEMIC - opstilling

- For-rensning flokkulering og sandfiltre
- Én linje med kapacitet på 1 m³/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

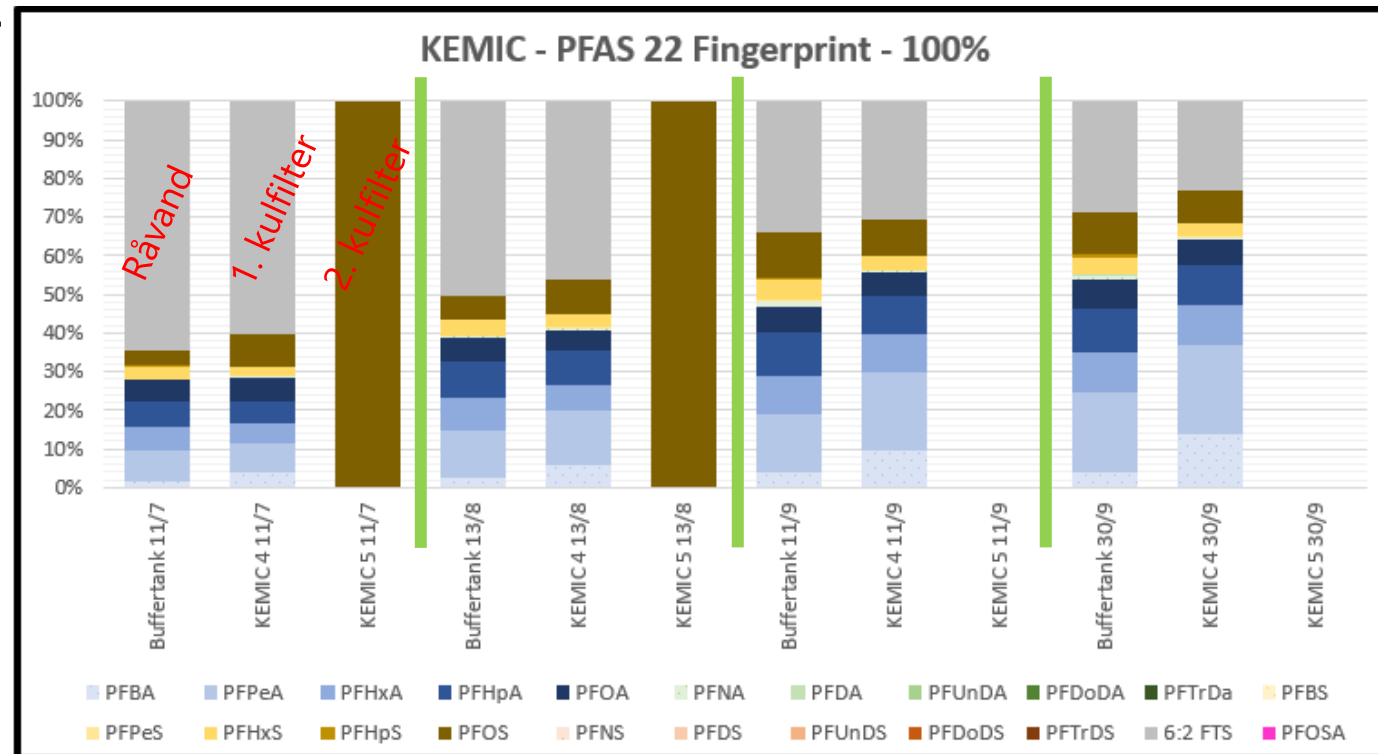


KEMIC - rensning

- Alle PFAS 22-resultater 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 urensset vand og vand efter 1. kulfilter
- Formodning: 3% stigende til 12% af vandet løber urensset igennem 1. kulfilter

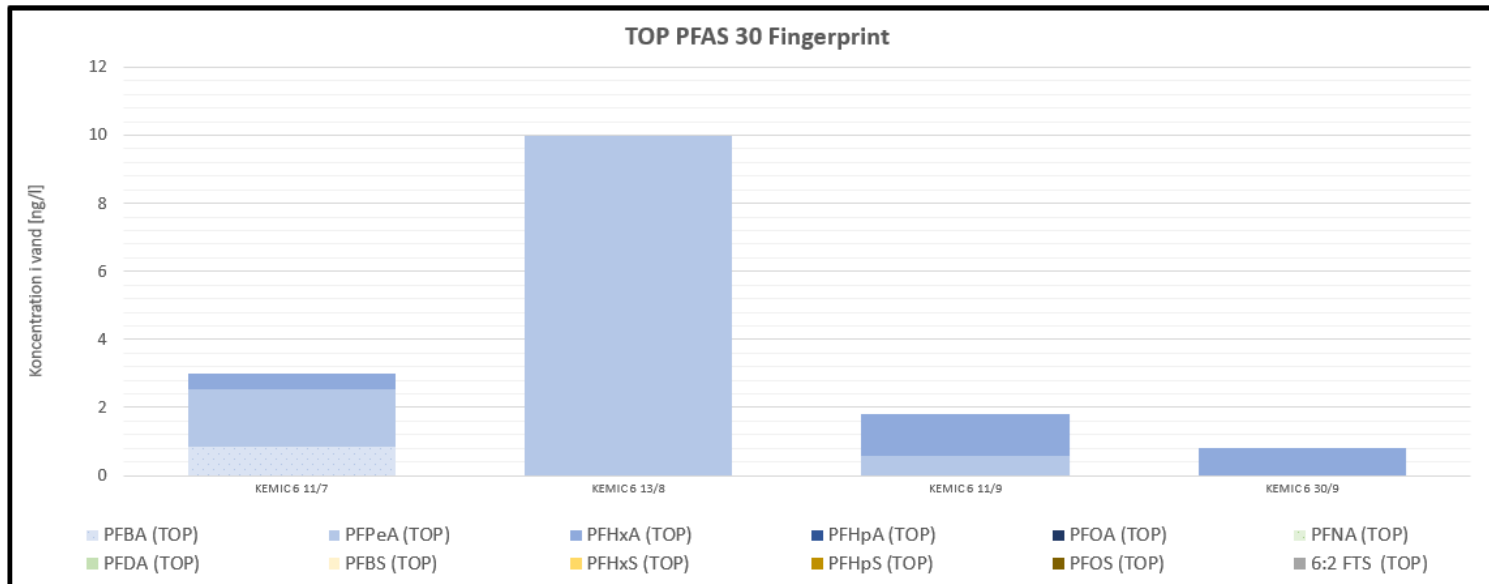
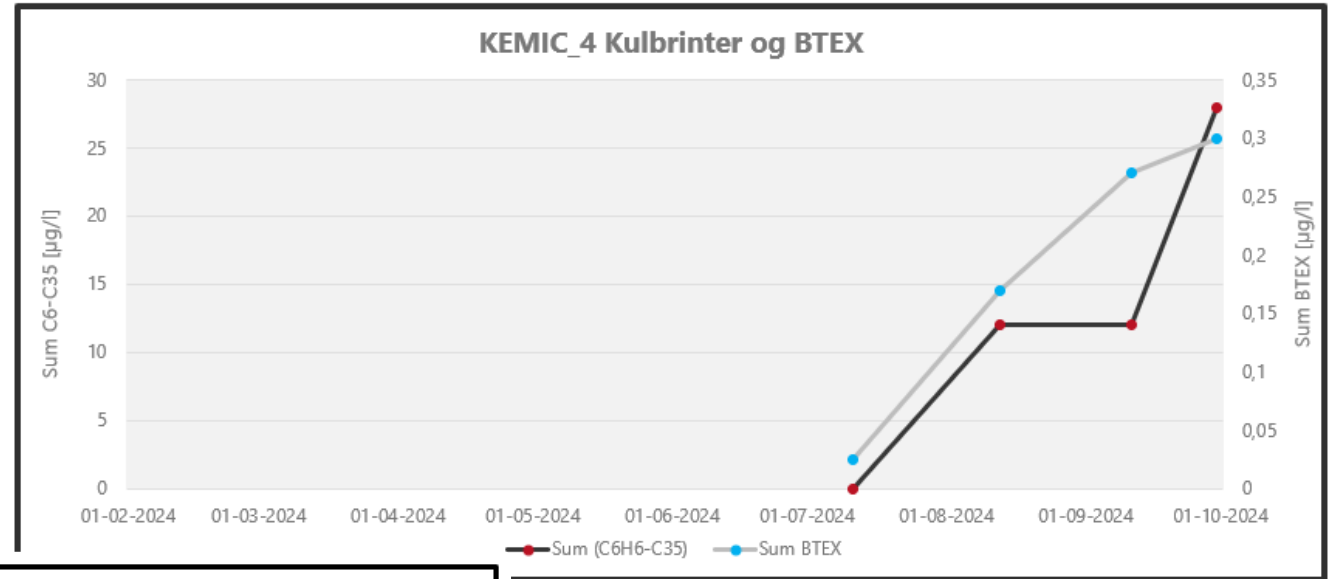


- I to prøver ses også lav koncentration af PFOS efter 2. kulfilter



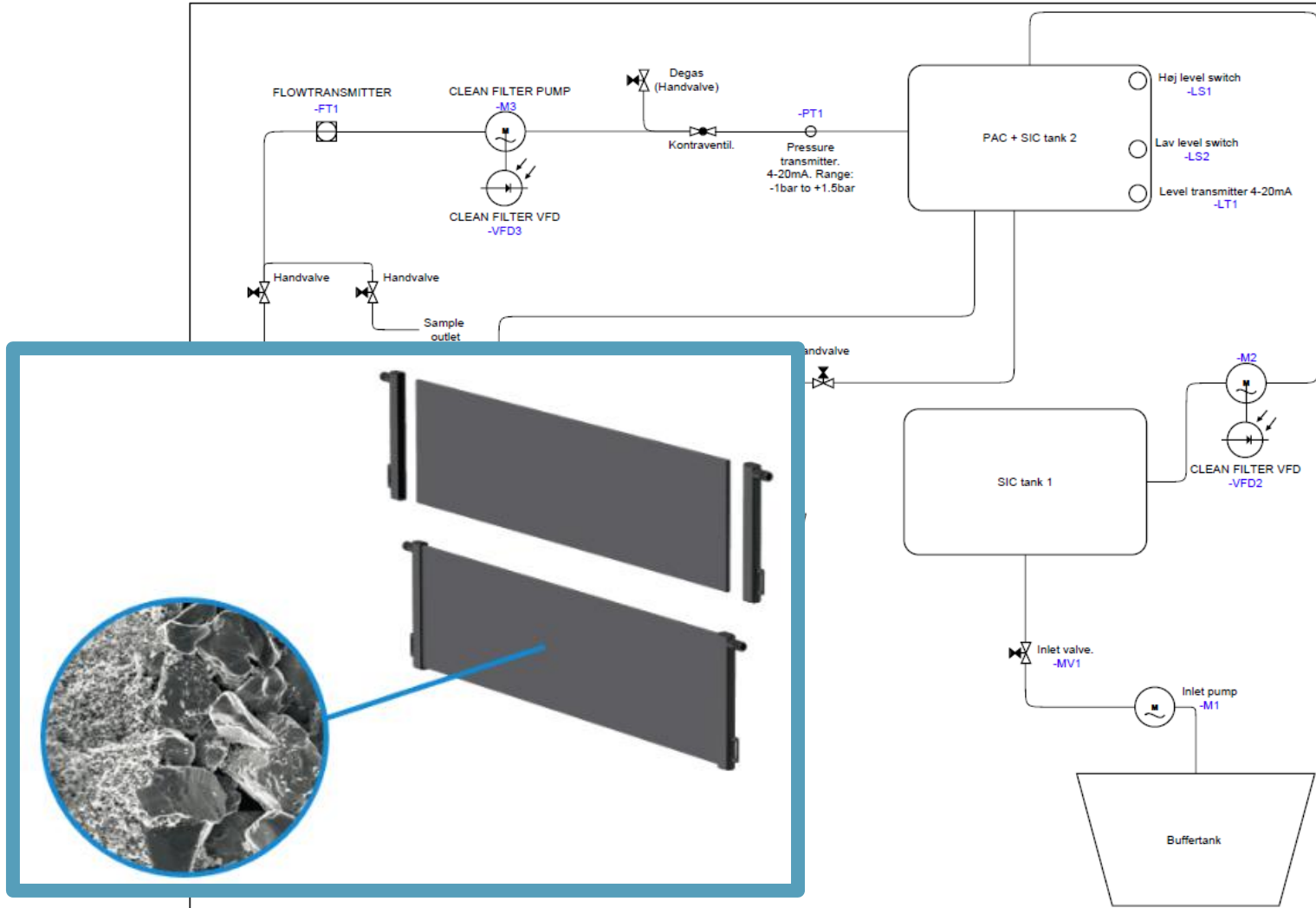
KEMIC – rensning II

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



- Efter 1. kulfilter ligger indhold af kulbrinter og BTEX på 5-10% af det urensede vand
- Understøtter formodning om gennemløb i 1. filter

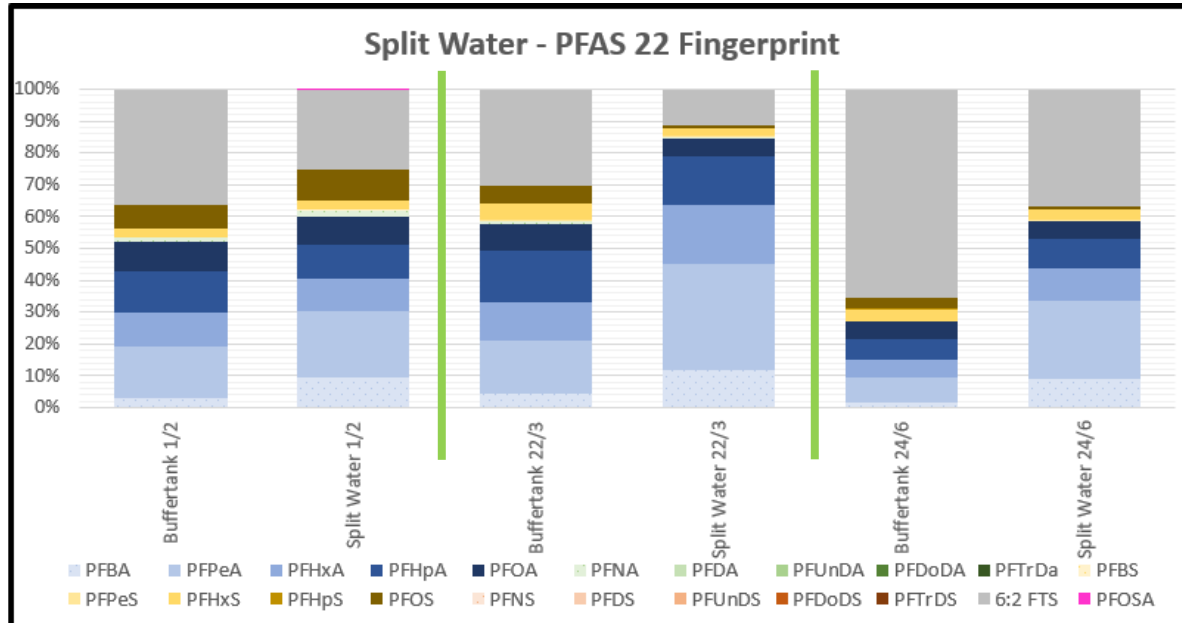
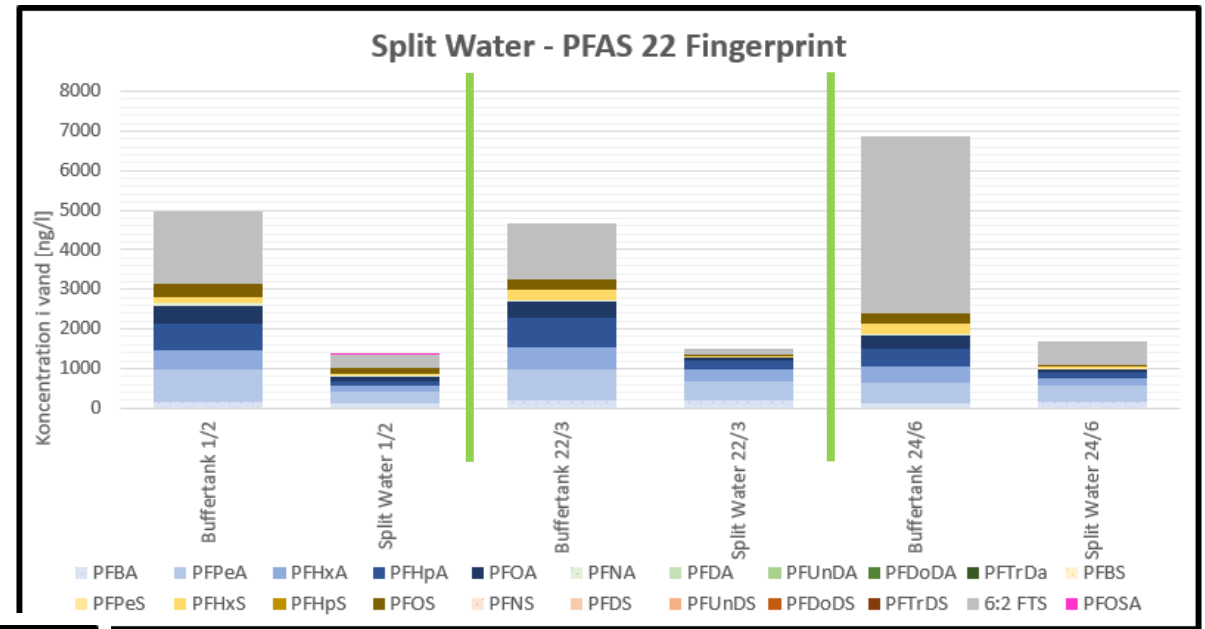
Split Water Nordic (SWN) - opstilling



- Anlægget fra SWN adskiller sig ved brug af keramiske filtre belagt med pulveriseret aktivt kul (PAC)
- Vha. vakuum suges vandet igennem membranen, der tilbageholder alle suspendede 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 ved traditionel anvendelse af granuleret aktivt kul
 - fra 7.000 ng/l til under detektionsgrænsen
- Split Waters anlæg overvældet af vandkvalitet samt koncentrationer af PFAS og olie
 - understreger vigtigheden af for-rensning
 - 60-80% af PFAS-forbindelser fjernet med kun 25 kg aktivt kul
- Tilstopning af udstyr med jernslam var en udfordring
- Potentiale i kombinationer af rensemetoder
- Videre evaluering: effektivitet, strømforbrug, opetid, LCA

