



FORSVARET

ETABLISSEMENT- OG TERRÆNKOMMANDOEN

Tak til mine kollegaer:

Mette Fischer & Philip de Lasson for bidrag til præsentationen.

Forsvarets erfaringer med rensning af vand

Anne Mette Bräuner Lindof

Chefkonsulent – Jord- og grundvandssektionen



FORSVARET

ETABLISSEMENT- OG TERRÆNKOMMANDOEN

ETK – tidligere FES

Hvem er vi?

Etablissement- og Terrænkommandoen blev skabt da Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse blev ændret fra en styrelse under Forsvarsministeriet til en kommando under Forsvarskommandoen.





ETK - samme opgaver nyt navn

- Rådgiver og servicerer myndigheder og styrelser under Forsvarsministeriet ved at levere, udvikle og varetage drift, administration og vedligeholdelse af de fysiske rammer, som er nødvendige for disses virke, herunder arealer, bygninger og faciliteter.
- Rådgiver det politiske og administrative niveau (FMN/FKO).
- **ETK har det koncernfælles ansvar for miljø- og energiområdet under Forsvarsministeriet.**
- **Jord- og grundvandssektionen (JGS)** udfører forureningsundersøgelser herunder risikovurdere overfor grundvand og overfladevand, samt frivillig afværge i forhold til trussel overfor drikkevandsforsyning.
- Rådgivning ifm. Bygge- og anlægsprojekter.





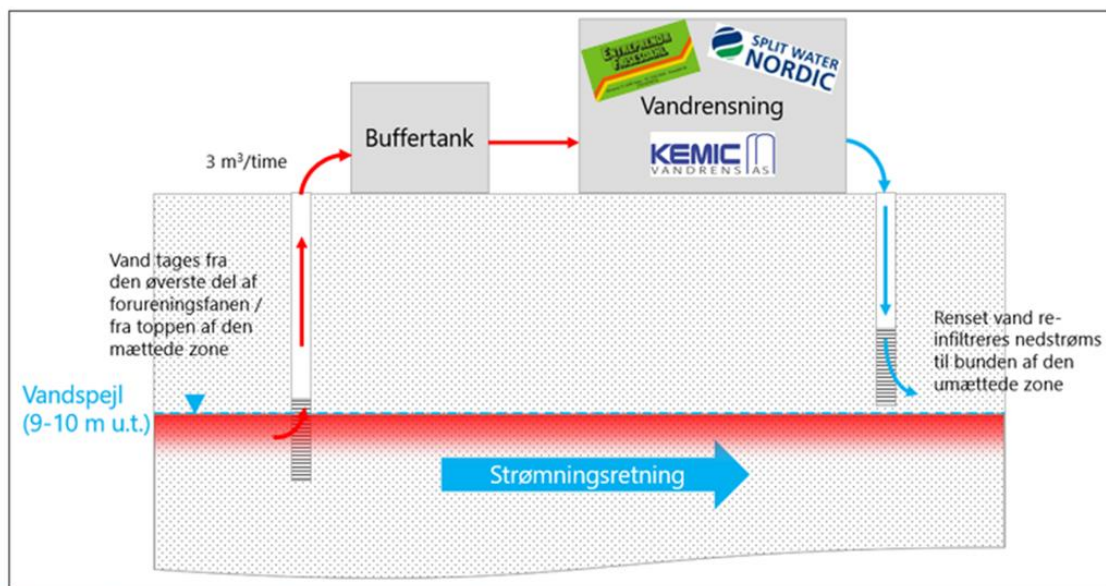
Pilot Projekt – Flyvestation Karup

Forureningsforhold og opstilling

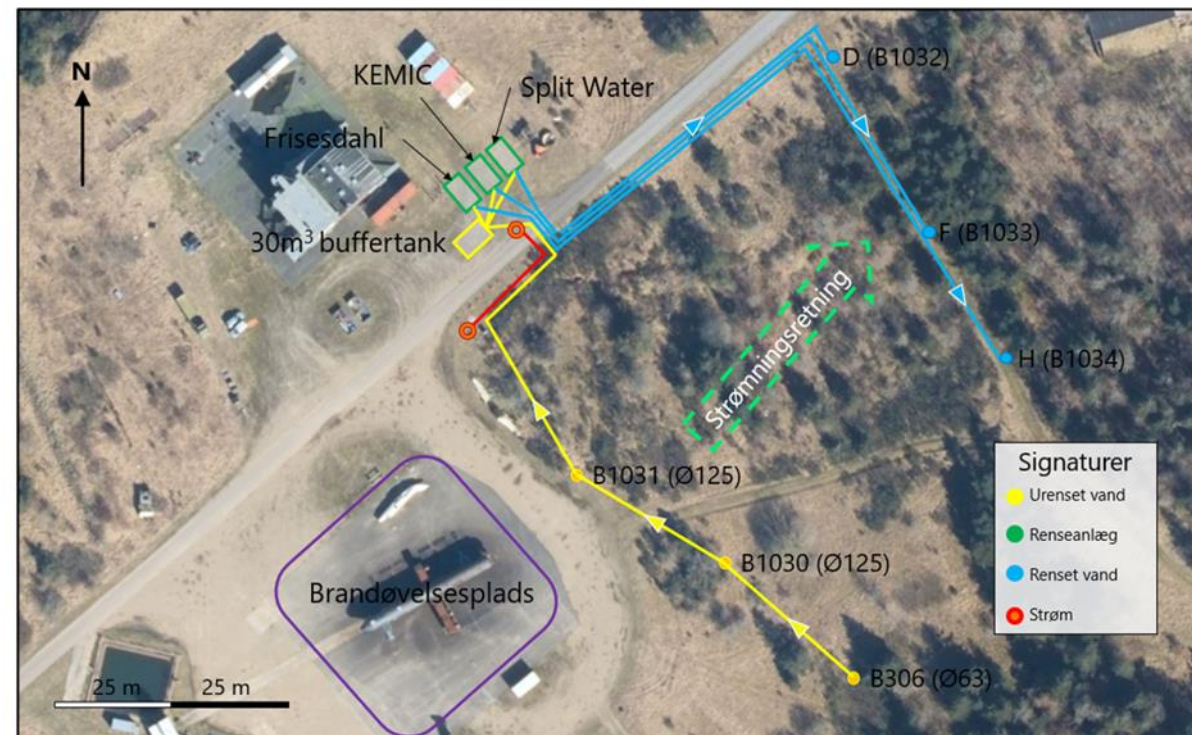
Forureningskomponenter målt inden start:

- $\Sigma 22$ PFAS: ca. 5.000 ng/l
- Kulbrinter $\Sigma C6-C35$: ca. 1.000 $\mu\text{g/l}$

Udover PFAS og kulbrinter er der påvist bl.a. et højt indhold af jern på ca. 30 mg/l og et betydeligt indhold af organisk kulstof (TOC) omkring 5-10 mg/l



Figur 3.1: Skematisk fremstilling af forsøgsopstillingen.



Figur 3.2: Situationsplan med forsøgsopstilling. Kilde: Luftfoto fra SDFI (2023).

Totalkulbrinter i buffertankens vand svingede mellem 130 og 480 $\mu\text{g/l}$. Indholdet af BTEX'er lå mellem 1,3 og 17 $\mu\text{g/l}$.

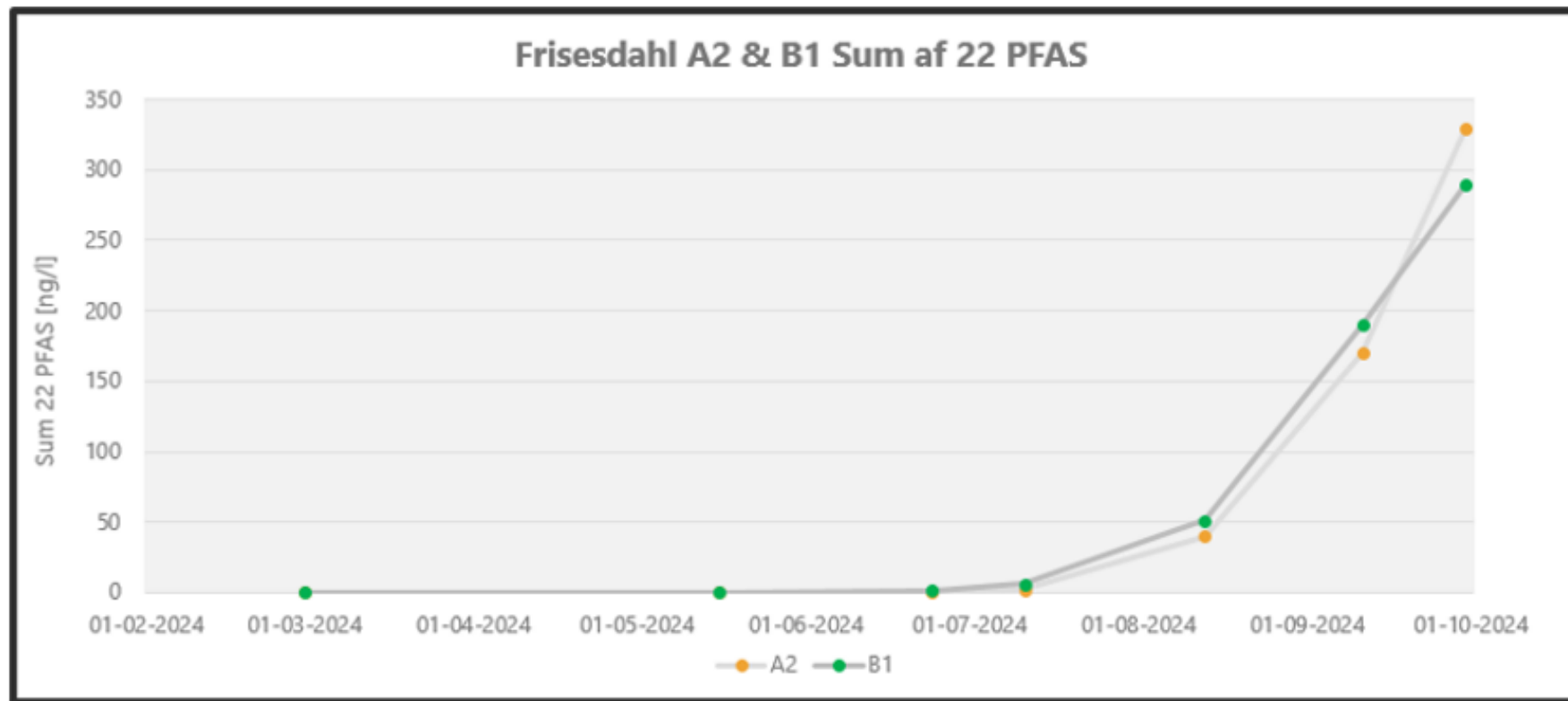
Myndighedsbehandling

- Dispensation fra **naturbeskyttelseslovens §3** til boringer i beskyttet natur jf. §65, stk. 2. Dispensationen giver tilladelse til etablering af boringer og rørføringer i beskyttet natur.
- Tilladelse til etablering af boringer og indvinding af grundvand samt re-infiltrering jf. **vandforsyningslovens §§20 og 21** samt **miljøbeskyttelseslovens §§19 og 24**.
- **Landzonetilladelse** til opstilling af containere med renseanlæg og buffertank.
- **Byggetilladelse** til opstilling af 3 container til pilotforsøg med vandrensning.



Figur 4.1: Situationsplan med angivelse af beskyttede naturtyper.

Gennembrud efter første kulfilter



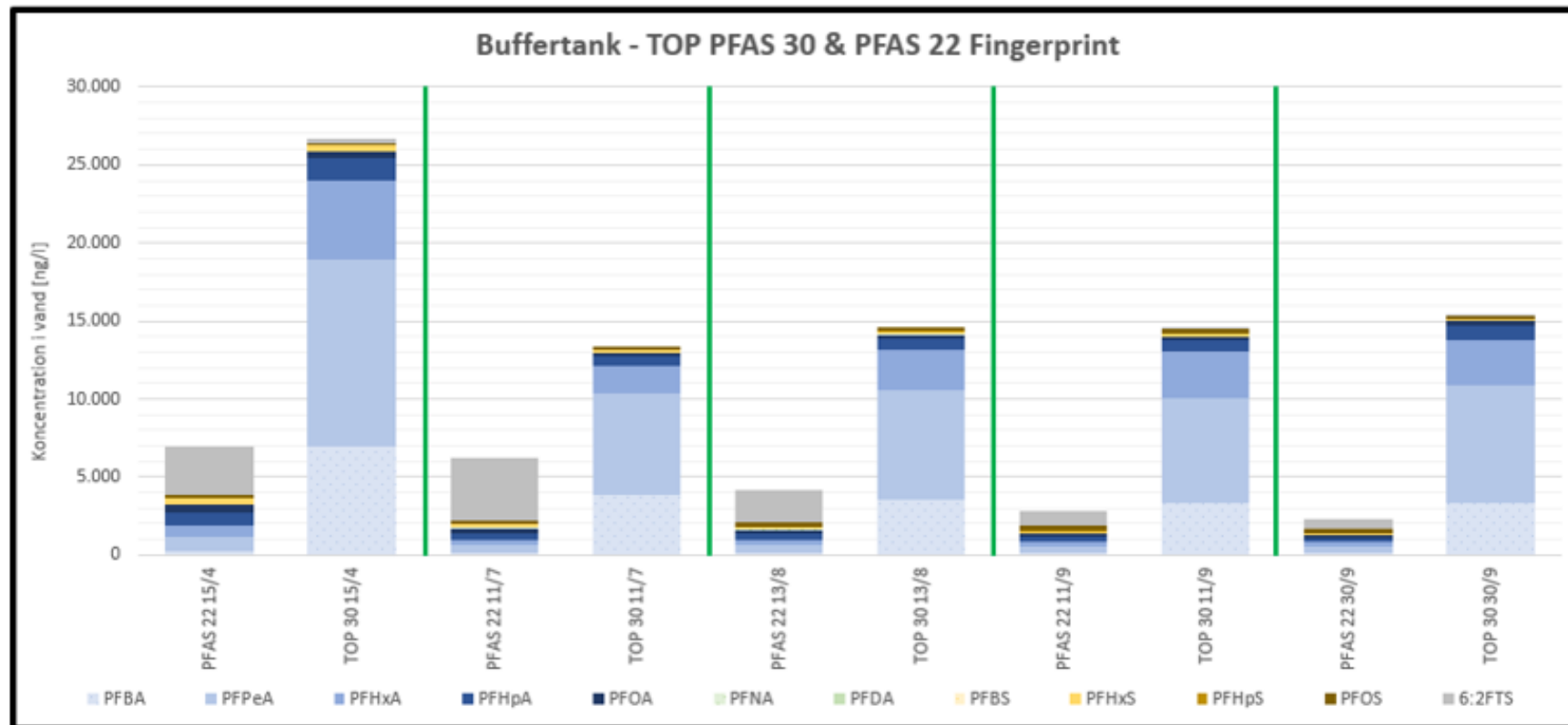
B1: 6.100 liter vand pr. liter filtermateriale ("bed volumes"),
A2: 7.000 liter vand pr. liter filtermateriale ("bed volumes").

> GVK 9.500 liter vand pr. liter filtermateriale ("bed volumes")

Massebalance

AOF-analyse af fluorid.
15/4: 30.000 ng/l
30/9: 14.000 ng/l.

Indholdet af $\Sigma 22$ PFAS- og TOP PFAS 30 kan omregnes til fluorid og sammenholdes med resultatet fra AOF-analysen.



Figur 5.4: PFAS22-fingerprint sammenholdt med fingerprint af TOP30 PFAS-analyse fra buffertanken angivet i ng/l. Kun de 12 påviste stoffer er medtaget i signaturforklaringen.

$$Omregningsfaktor_{stofX} = \text{Antal flouratomer}_{stofX} * \frac{Molærmasse_{Fluor}}{Molærmasse_{stofX}}$$



Massebalance

Dato	15/4 - 2024	11/7 - 2024	30/9 - 2024
AOF (ng F/l)	30.000	26.000	14.000
Analyseresultat fra Σ_{22} PFAS-analyse + ultrakorte (ng PFAS/l)	7.512	6.634	2.871
Beregnet fluorbidrag fra Σ_{22} PFAS-analyse + ultrakorte (ng F/l)	4.615	3.971	1.746
"Ikke-forklaret" organisk fluor (ng F/l)	25.385	22.029	12.254
Forklaringsprocent v. alm. analyse	15,4%	15,3%	12,5%
Sum PFAS-resultat fra TOP-analyse + ultrakorte (ng PFAS/l)	27.204	13.796	15.858
Beregnet fluorbidrag fra TOP-analyse + ultrakorte (ng F/l)	17.484	8.817	10.190
"Ikke-forklaret" organisk fluor (ng F/l)	12.516	17.183	3.810
Forklaringsprocent v. TOP-analyse + ultrakorte	58,3%	33,9%	72,8%

Tabel 5.1: Resultater fra AOF-analyse af det urensede vand i buffertanken og tolkninger heraf.



Kan Masebalancen lukkes?

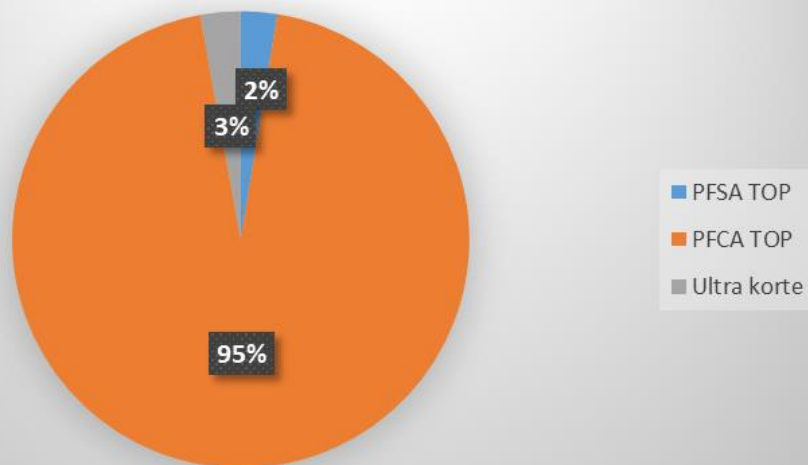
- Der findes "nye" forbindelser
- Vurderes ikke at være tilstrækkeligt

Er der andre informationen at hente?

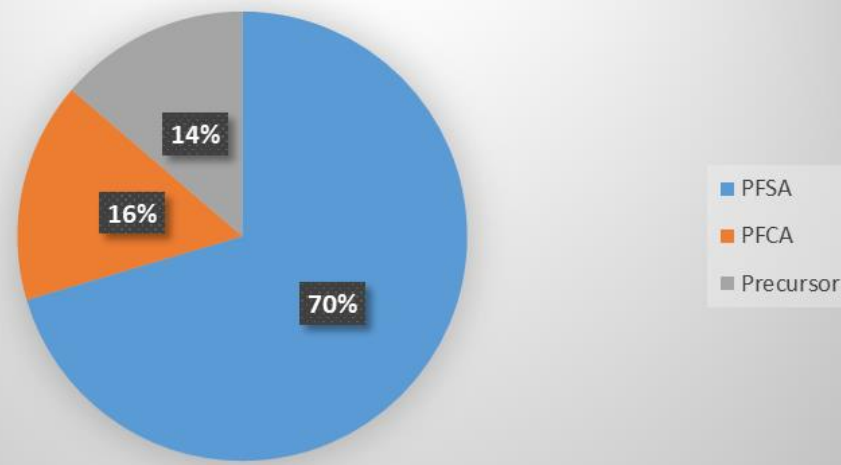
Stor forskel i PFAS profilet alt efter om det er TOP analyse PFAS 30 eller LC-QTOF.

Navn - mulig PFAS
Heptadecafluorooctanesulfonic acid (PFOS)
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)
6:2 FTSAm
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)
6:2 FtSO ₂ AoS
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)
Pentadecafluorooctanoic acid (PFOA)
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)
Ukendt forbindelse m/z: 231,9786
8:2 FtSO ₂ AoS
Ukendt forbindelse m/z: 365,9650
8:2 Fluorotelomer sulfonic acid
Ukendt forbindelse m/z: 441,9786

PFAS fordeling TOP



PFAS fordeling LC-QTOF





Pilot Projekt – Flyvestation Karup

Læringspunkter:

Kend indhold også af andre parameter – jern og mangan.

Afsæt tid til myndighedsbehandling.

Tid til indkøring.

Driftsøkonomi – energiforbrug ikke bare pumper men f.eks også varme.

Massebalance svær - AOF, TOP, LC-QTOF.

Krav til rensning, indflydelse på driftsøkonomi.

Grundvandsrensning for klorerede opløsningsmidler

Depot og værksted, Hjørring

Hjørring Kaserne

- Kilde fra affedtning
- Afværge - aktive pumper mellem to og fem gennem årene.
- Beskyttelse af Bagterp Kildeplads
- Løbende dialog igennem årene med kommune, vandselskab og region.



Historik

- **1995**

Forurening konstateres i offentlig vandforsyningsboring Bagterp Plantage. Chlorede opløsningsmiddel, primært TCE (trichlorethylen)

- **1996-1998**

Undersøgelser konstaterer: Forurening stammer fra et tidl. våbenværksted (affedtningsanlæg) på Hjørring Kaserne 6100 µg/l målt i kilden.

- **1998-1999**

"Pump and treat" anlæg etableres med tre boringer og behandlingsanlæg i container. Udløb af rensat vand til en bæk

- **1999-2026**

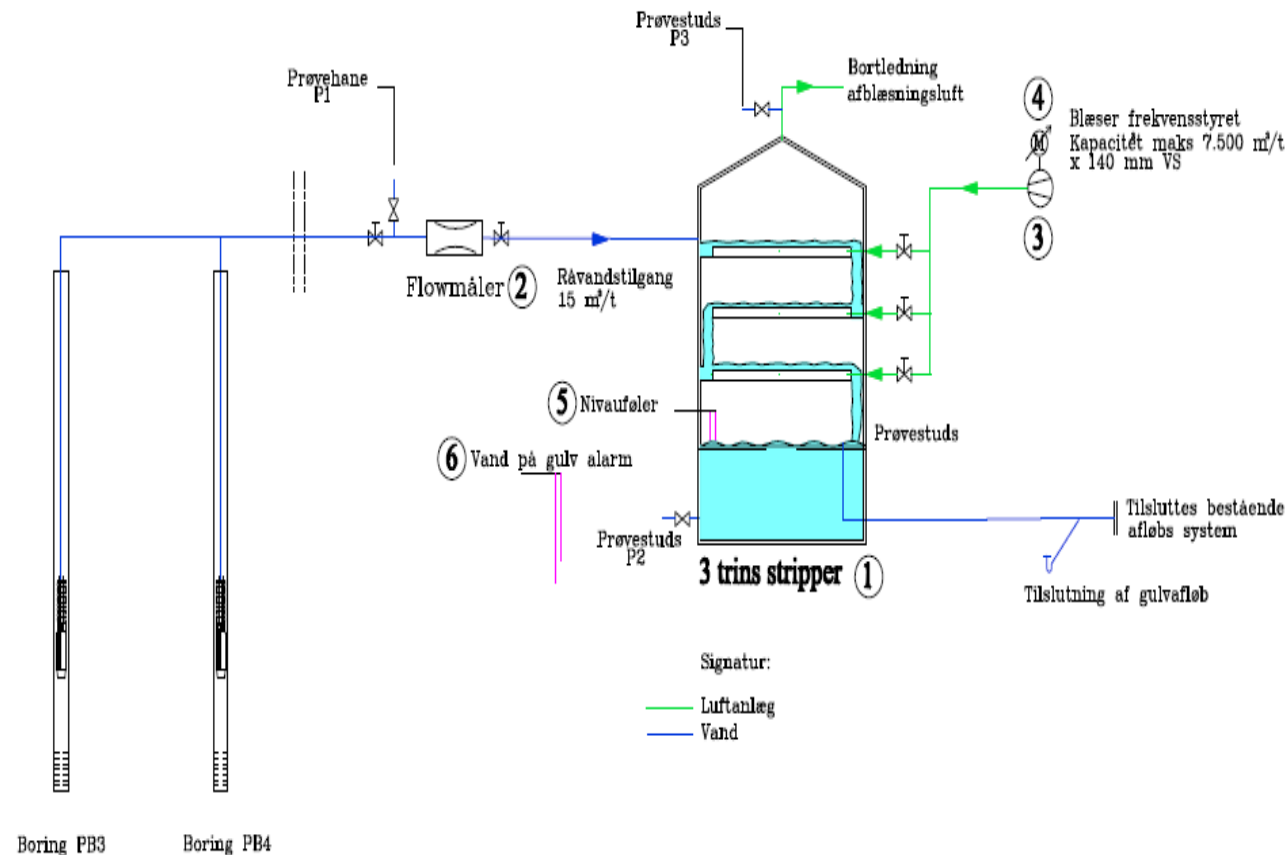
Der ses et tydeligt fald i indholdet af TCE. Anlægget hindrer spredning af TCE til nærliggende kildeplads. I løbet af perioden suppleres med yderligere to boringer for at kontrollere TCE-fanen. Årlig monitoringsrunde af forureningstilstanden i grundvandet

- **2026**

Anlægget er/bliver slukket

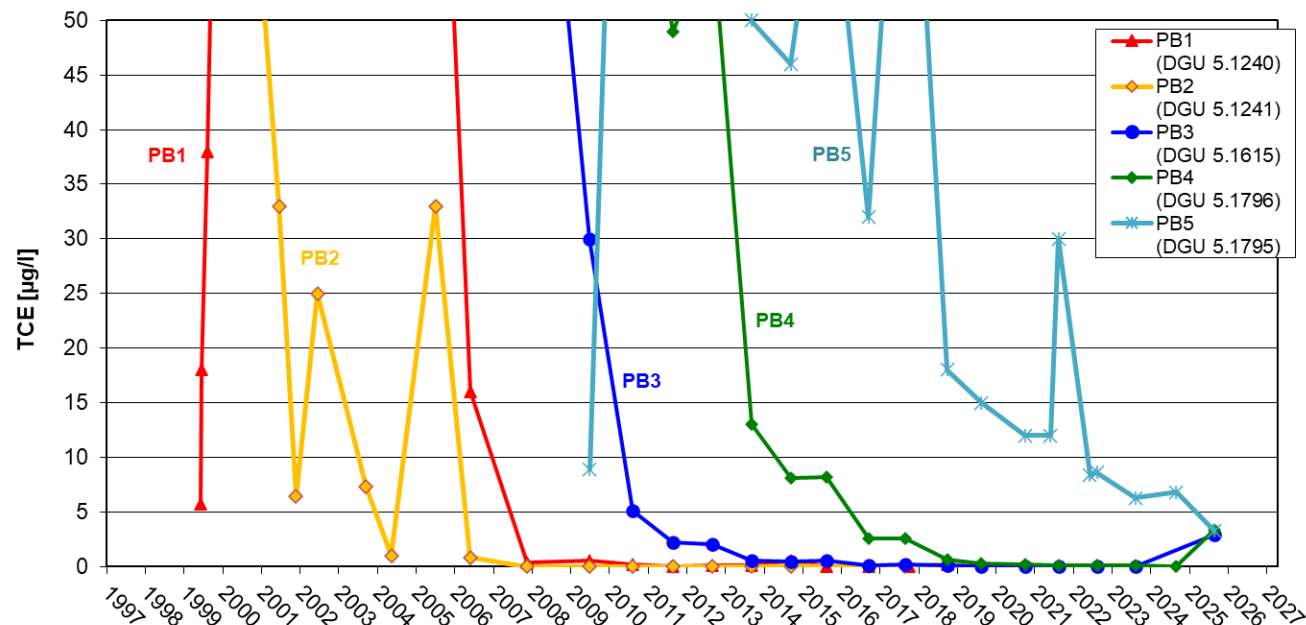
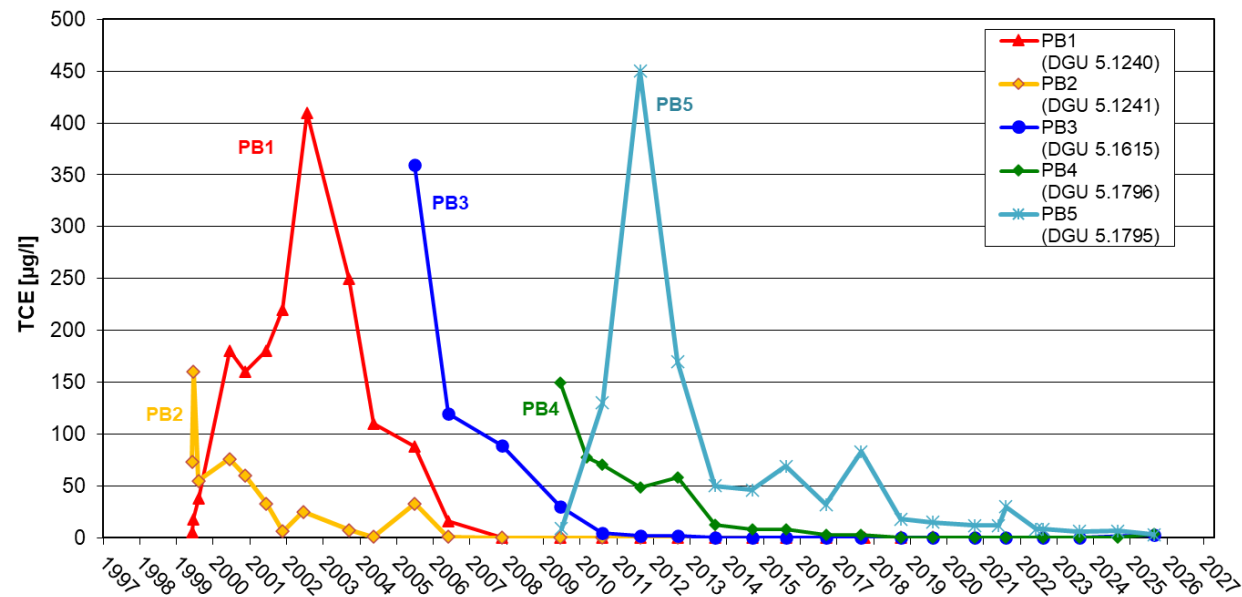
Fremtiden

Monitering i et par år



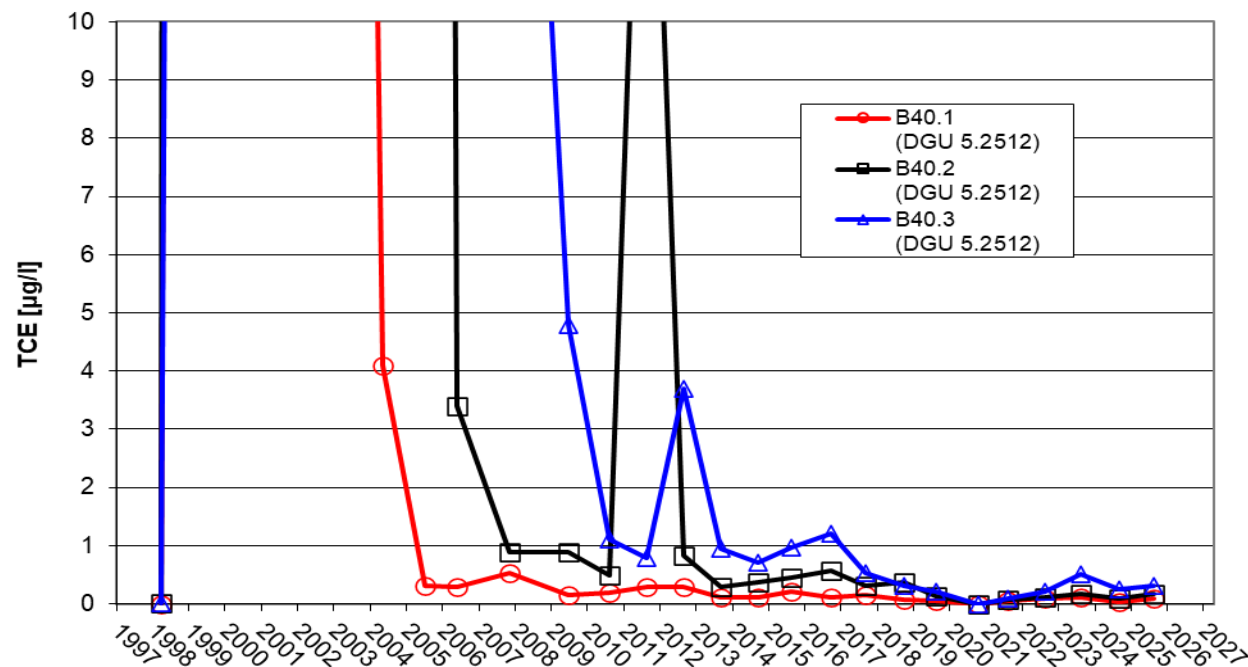
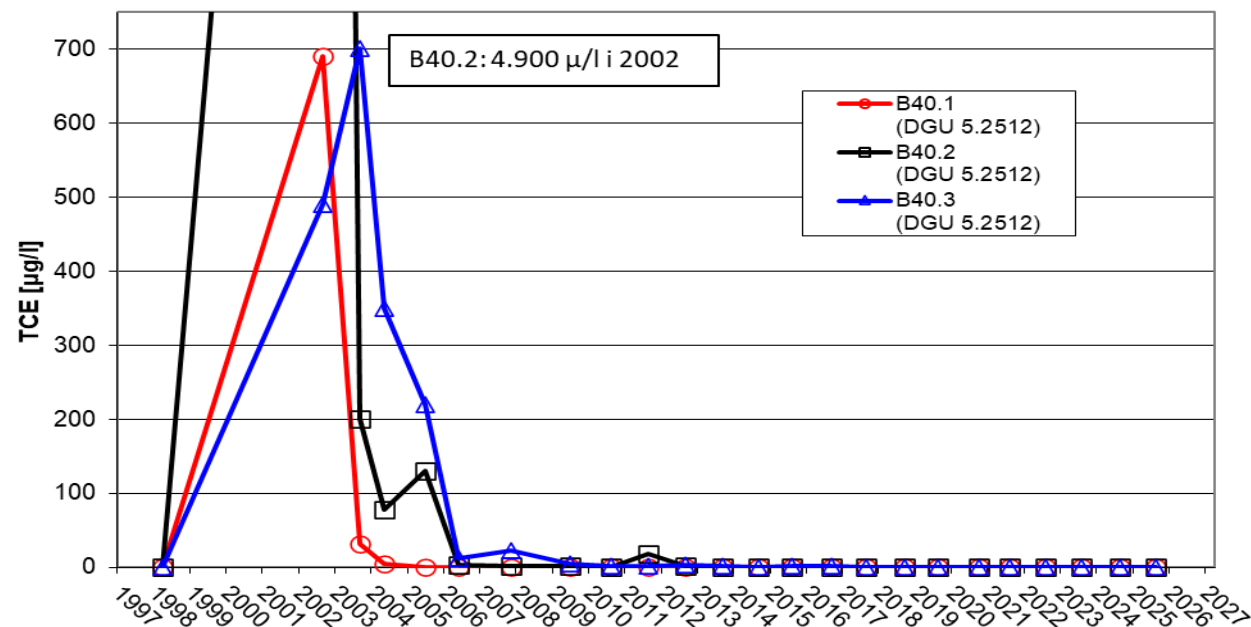
Forureningsudvikling i afværgeboringerne.

Grundvandskvalitetskriterie TCE 1
 $\mu\text{g/l}$.



Forureningsudvikling i udvalgte moniteringsboringer

Grundvandskvalitetskriterie TCE 1
 $\mu\text{g/l}$.



Konklusion

- Anlægget har fjerner 80-95 % af forureningen i det oppumpede vand. Anlægget har i driftsperioden fjernet ca. 45 kg opløsningsmiddel fra grundvandet.
- Slid på mange dele af anlægget, samt det store fald i koncentrationer medførte, at systemet efterhånden blev reduceret i f.eks. pumpeydeler og afblæsning.
- Afblæsningen slukket i 2025.
- Anlægget er/bliver slukket i starten af 2026.



FORSVARET

ETABLISSEMENT- OG TERRÆNKOMMANDOEN



132 Sjælsmark Kaserne

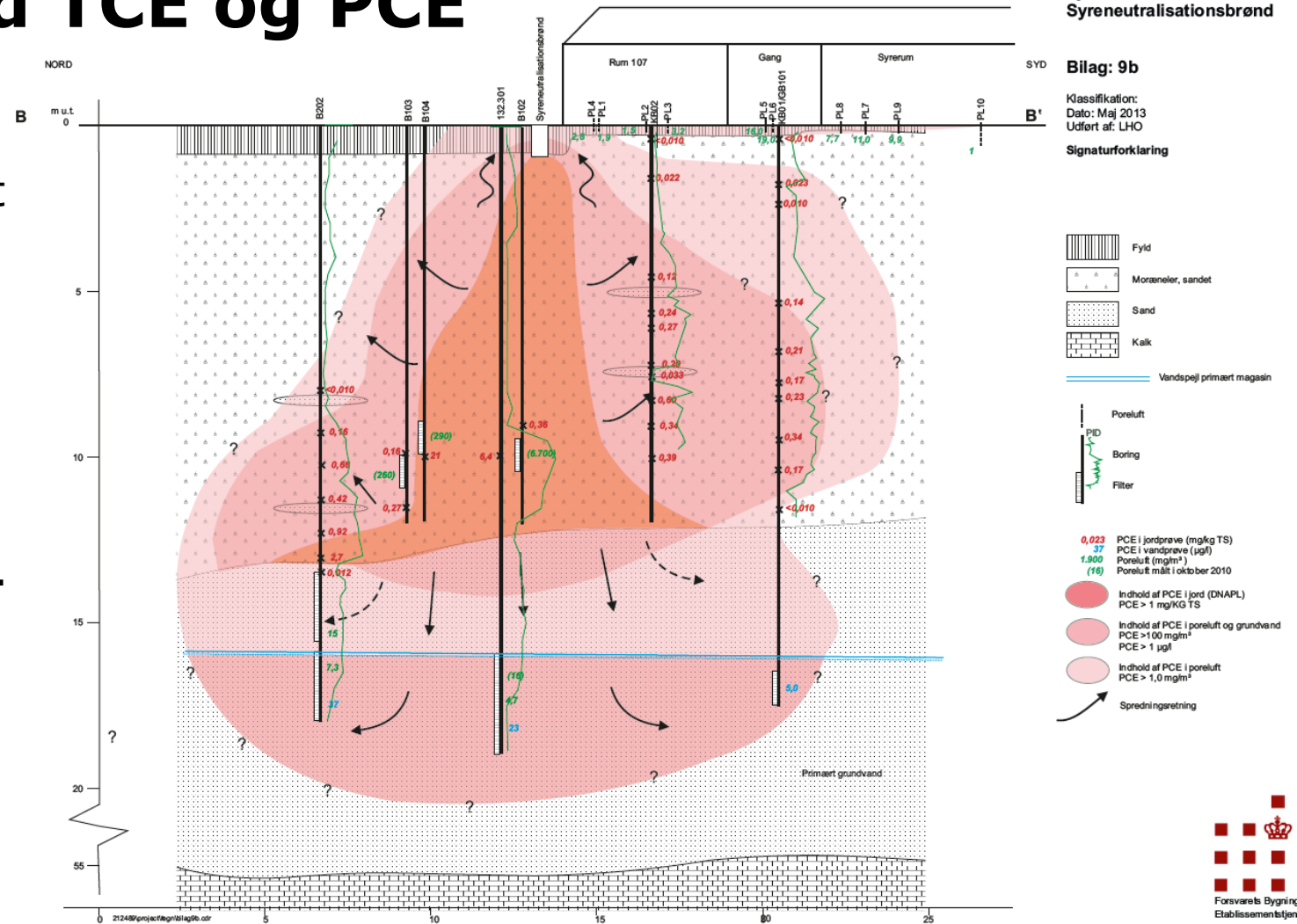
Afværge med passiv ventilation





Forurening med TCE og PCE

- Syreneutraliseringsbrønd tilsluttet "syrrum".
- 2005 Geoprobe
- 2010 Undersøgelse (boringer)
- 2013 Afgrænsende undersøgelser.





Problem!

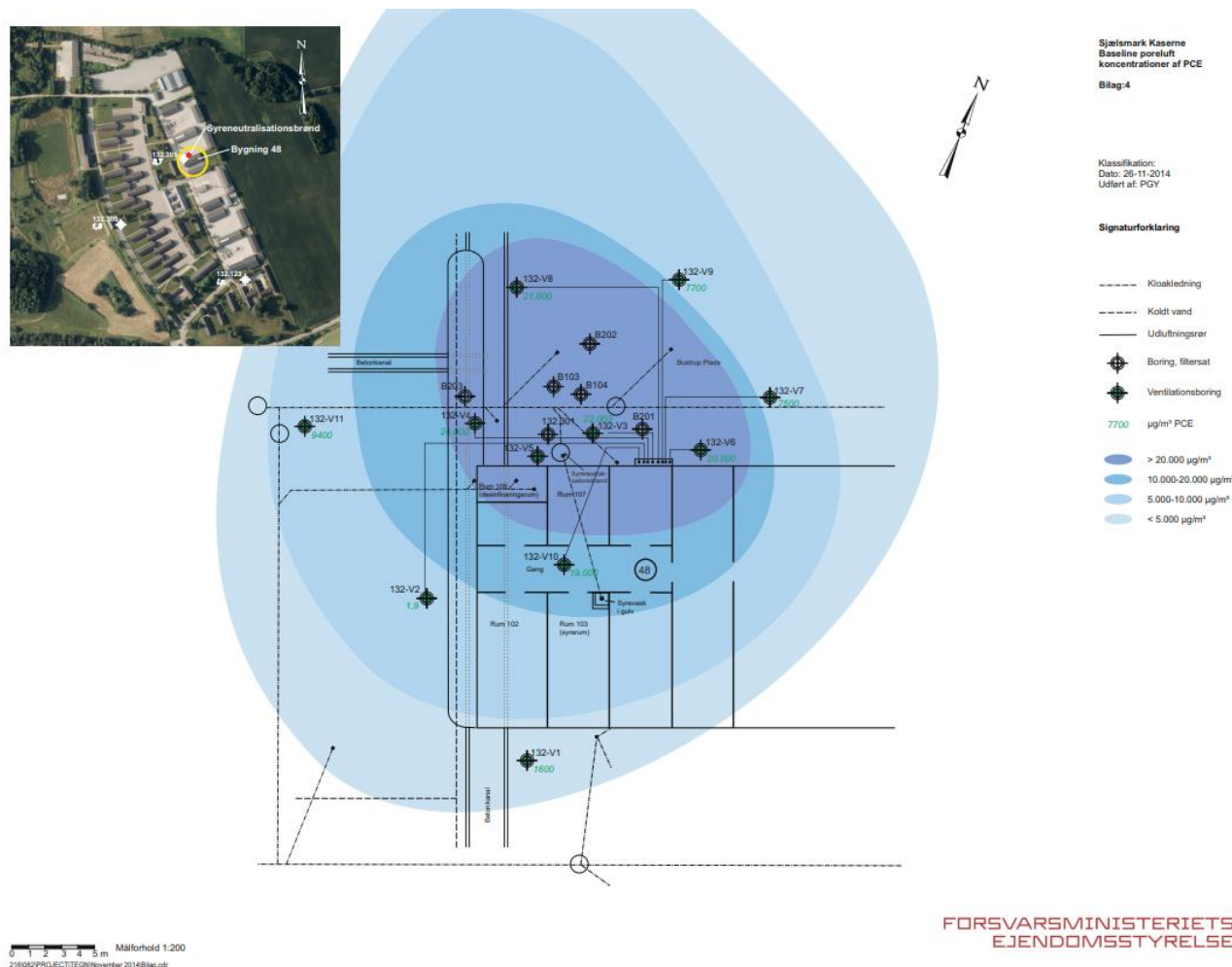




Poreluft koncentrationen i kildeområdet

Afværge

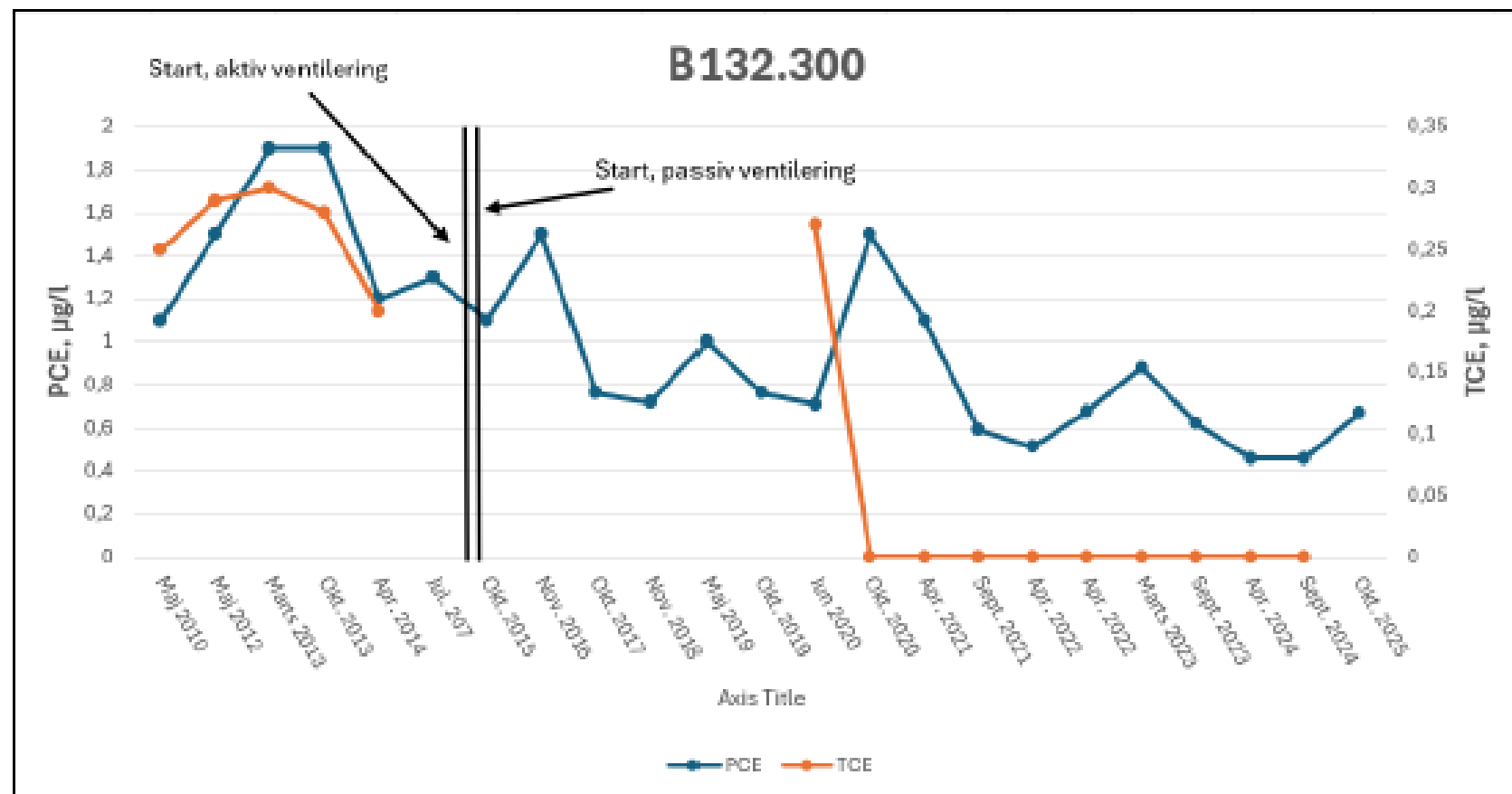
- 2011 Afværgekatalog
- 2012 Ventilationstest
- 2014 Etablering af anlæg
 - Drives af ændringer i atmosfæretrykket





Monitering (2015-2025)

- Poreluft
- Grundvand
 - Hotspot
 - Nedstrøms



Figur 4-8 Udvikling i indholdet af PCE og TCE i grundvandet i boring B132.300 ca. 200 m sydvest for hotspot syd for hotspot/evt. i hotspot.



Konklusion

Passiv ventilation afskærer spredning af chlorerede kulbrinter til grundvandet (i tilstrækkelig grad).

Passiv ventilation alene kan næppe fjerne kilden.

- Kilde anslået til 3,5 kg PCE

- Årlig fjernelse anslået til 350 g PCE

Det er meget vanskeligt at lave pålidelige beregninger over massefluxen

- Stor variation i flow af poreluft – afhængigt af vejrforhold





Anne Mette Bräuner Lindof
Chefkonsulent – Jord- og grundvandssektionen
ETK-JGS12@mil.dk
