

# Vurdering af in-situ kemisk oxidation (ISCO) kombineret med surfaktant (S-ISCO®<sup>1</sup>)

Region Syddanmark: Jette Balslev Sørensen & Klaus Bundgaard Mortensen  
COWI: **Bastian Germundsson** ([bage@cowi.com](mailto:bage@cowi.com)), Torben Højbjerg Jørgensen & Flemming Dahl  
Geosyntec, USA: Leah MacKinnon, Felipe Solano & Neal D. Durant

*1) S-ISCO and E-Mulse 3 and 145 surfactant are patented, proprietary technologies owned by Ethical Solutions LLC (EthicalChem)*

# Kærgård Plantage – 1956 til 1973



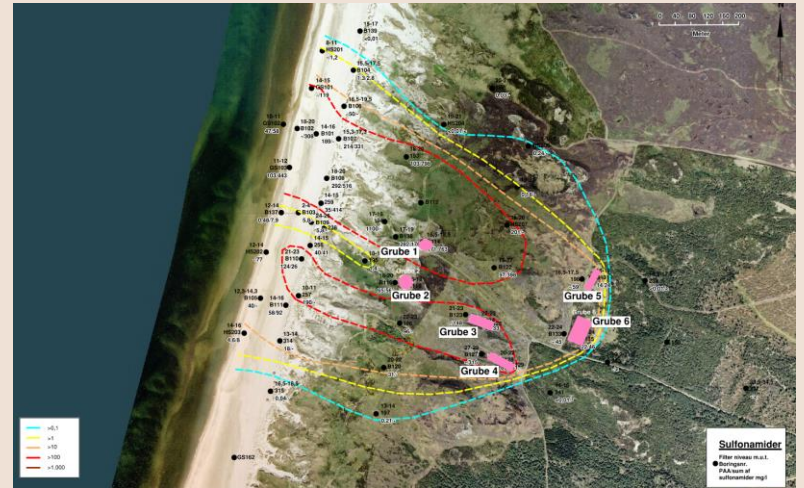
# Forureningen

## Så meget er der dumpet i Kærgård

Ved en typisk forurening fra tidligere tøjrenseri fjerner regionen typisk omkring 100 kg klorerede opløsningsmidler. I Kærgård Klitplantage er der til sammenligning deponeret 215.000 kg.



Fri fase i store mængder

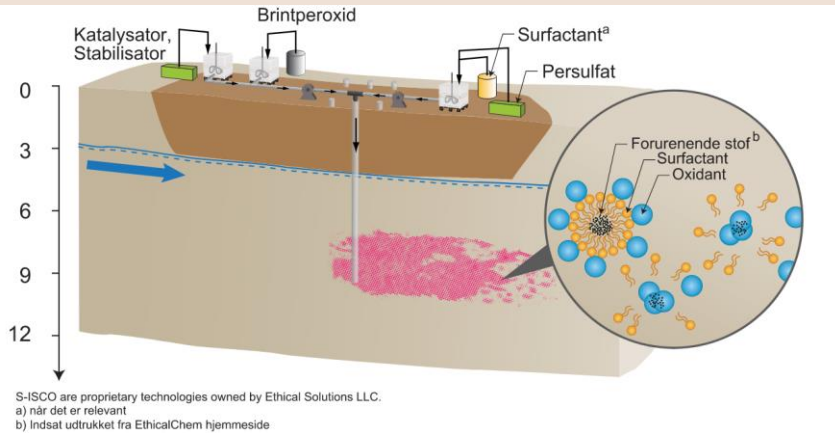


# Målet

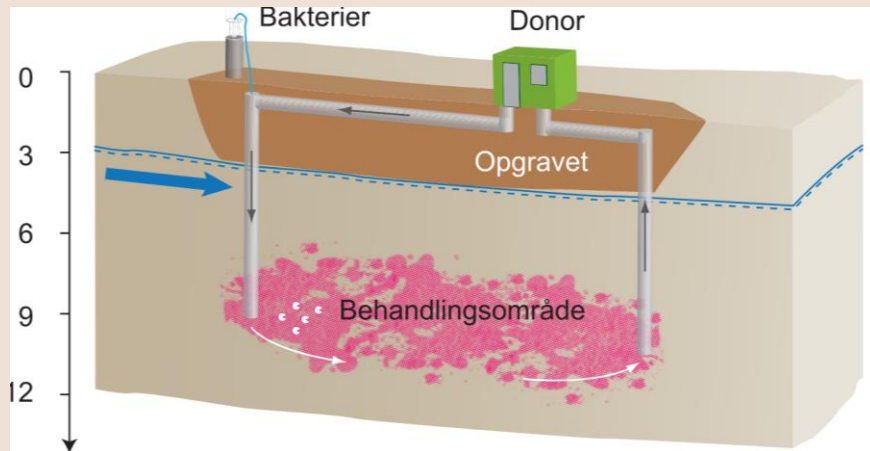
- Hvad: Fjern risikoen for ophold i klitterne/stranden, ophæv badeforbuddet i Vesterhavet og reducer risikoen overfor havmiljøet
- Hvordan: kildeoprensning i grube 1-4



# Midlet



- Opgravning (2008-2014)
- In-situ kemisk oxidation (ISCO)
- Stimuleret reduktiv deklorering (SRD)
  - **Kombineret = mest omkostningseffektiv**
- Dog med begrænset effekt på fri fase...



# Løsningen



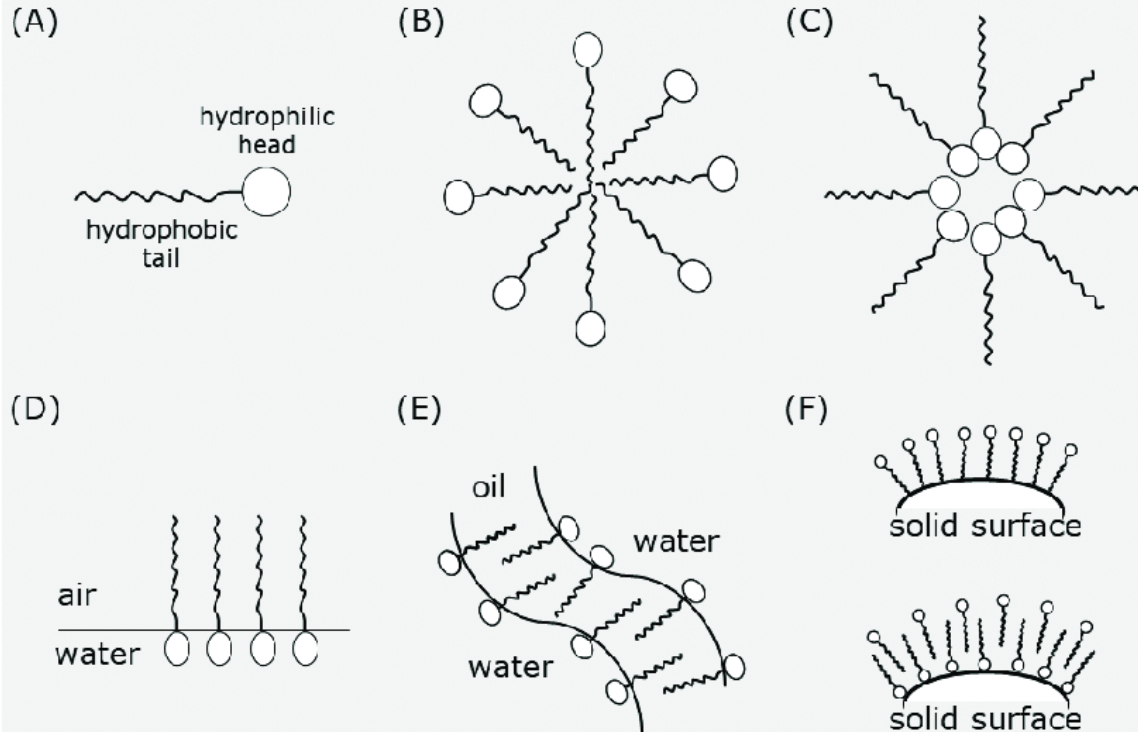
The advertisement features a central image of a green Pril Lime dishwashing liquid bottle with a red cap. To the left, a curved green arrow labeled 'Insta Clean' points from a clean, shiny metal pot towards the bottle. To the right, a man and a woman are smiling; the man is holding the Pril Lime bottle. The background is a bright, clean kitchen setting.

Discover the most pleasurable dishwashing experience!

Pril Lime

## ISCO kombineret med surfaktant – S-ISCO®

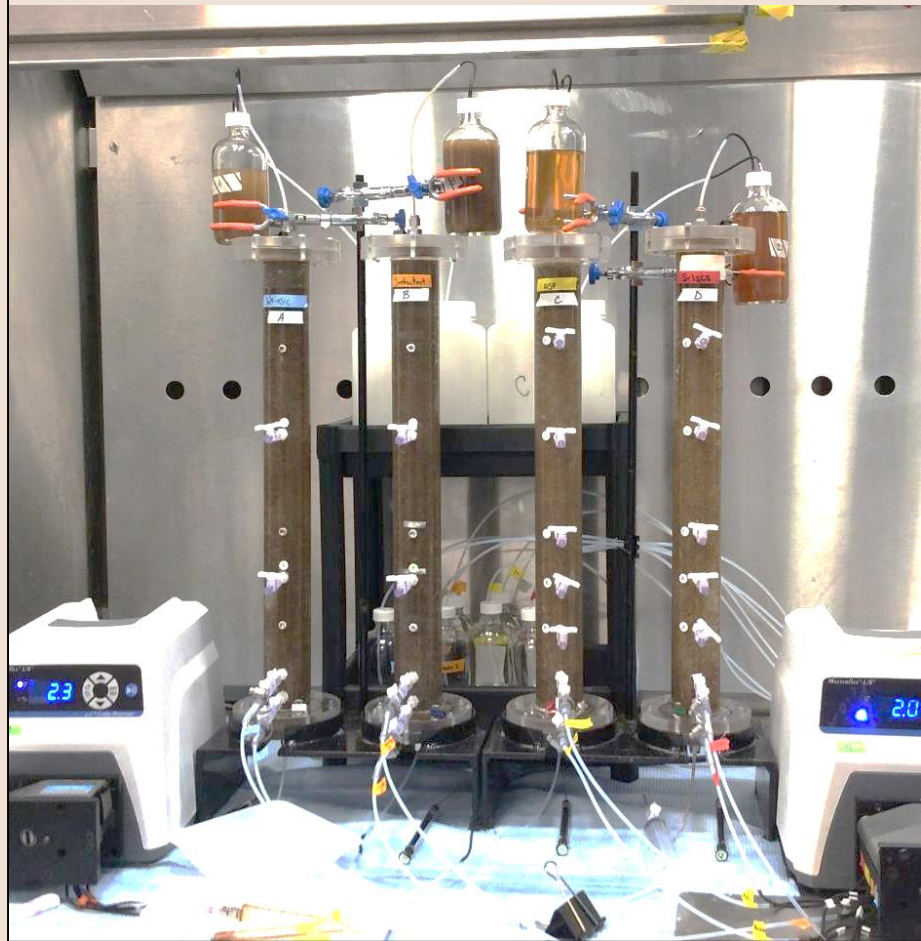
- Laboratorie test (Aalborg universitet, SiREM og COWI)
- Pilot test; pull-push-pull test
- Demonstration i grube 3
- Nu: fuldskala i grube 1-4



Michael Schwarze (2020)

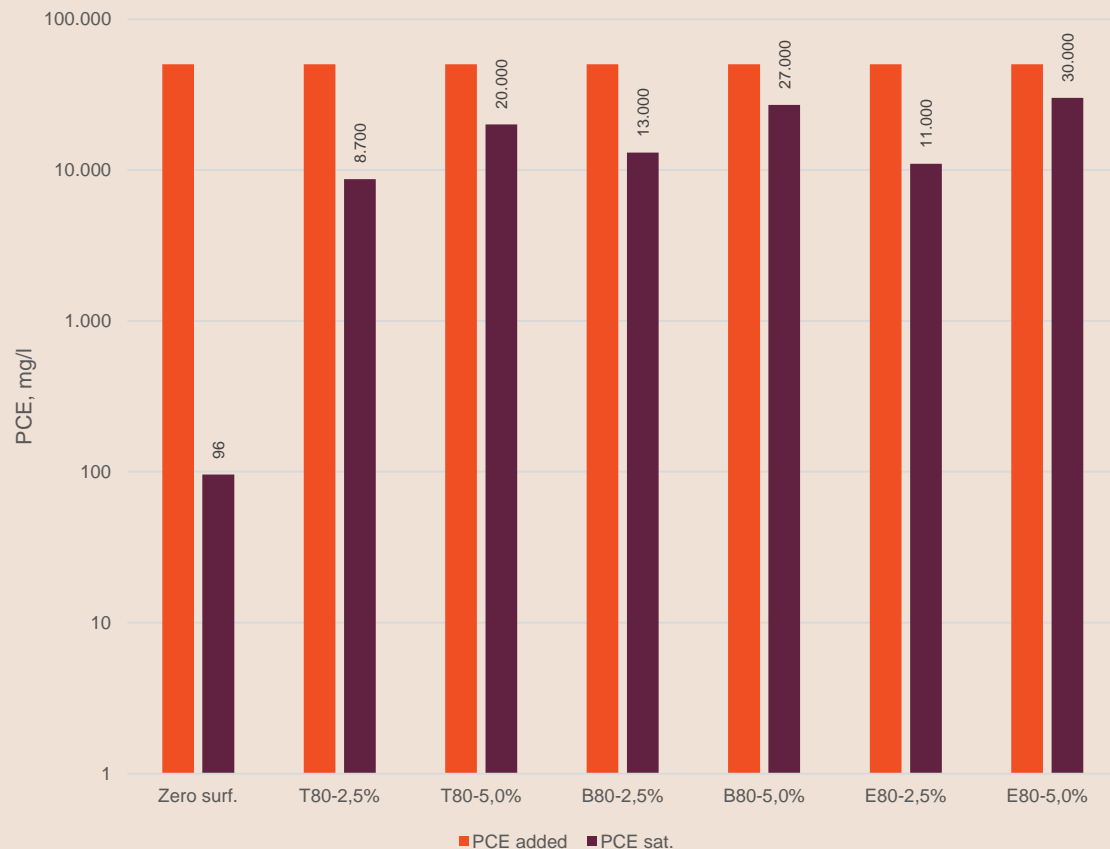
# Laboratorieforsøg

- Aalborg Universitet – batch tests
  - Stabilitet, PCE opløselighed, oxidant forbrug og PCE nedbrydning
- SiREM – batch og kolonne test
  - Surfaktant observationer, interaktion med oxidant, nedbrydning af fri fase PCE og kulbrinter under dynamiske og stationære forhold





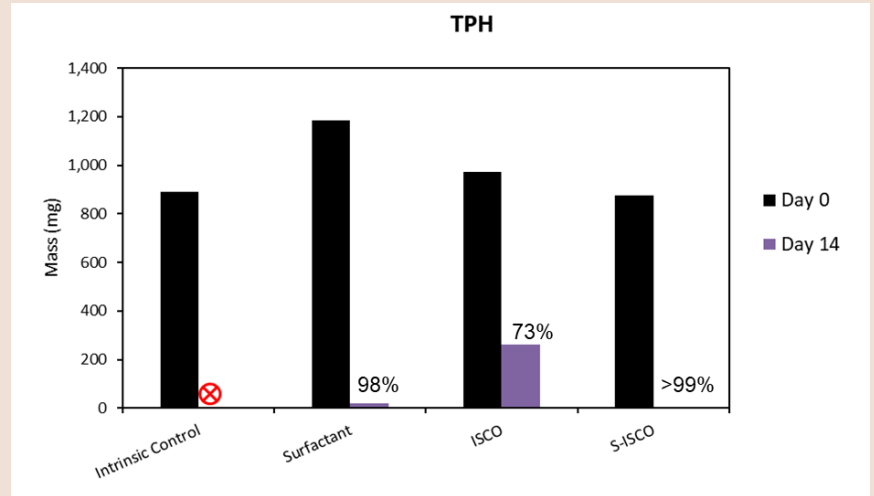
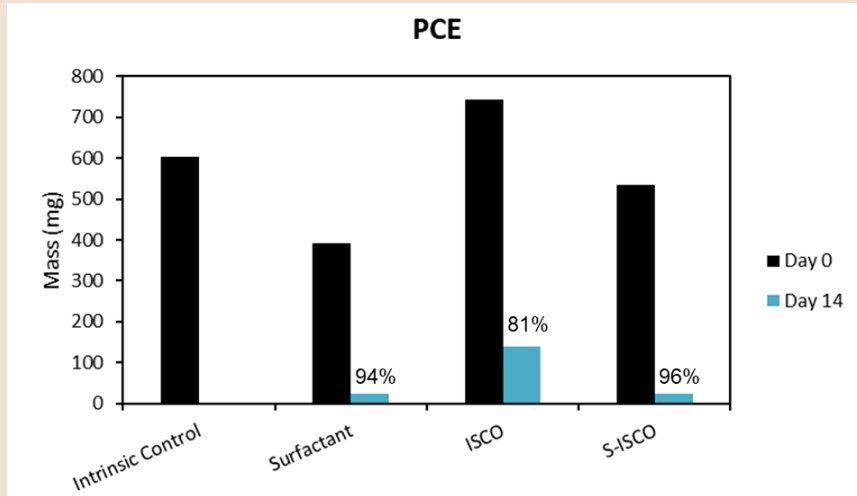
# PCE- opløselighed



- Norm: 0,15 g/L → 150 mg/l → 150.000 µg/l
- 50 g PCE/l tilsættes 150 ml

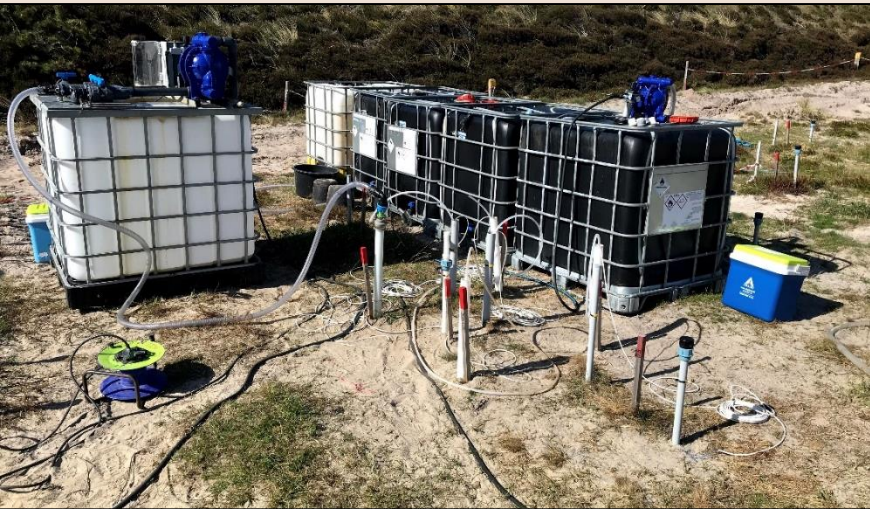
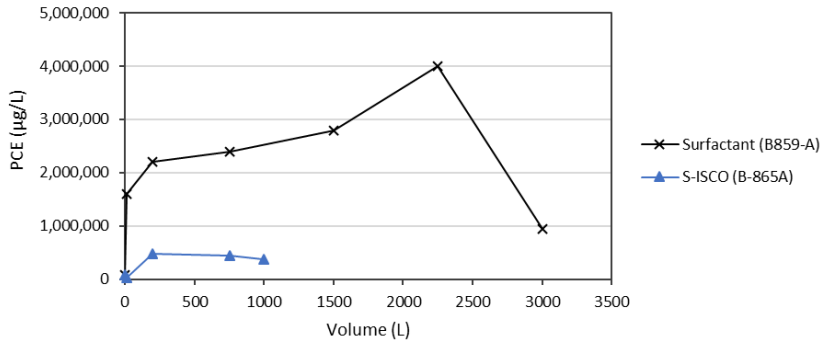
# Kolonneforsøg

XX% - Masse fjernet fra matricen  
 ⊗ - Ikke prøvetaget



- S-ISCO® kolonner med hhv. PCE og total kulbrinter
- Skyllet med 20 g/l persulfat aktiveret med hydrogenperoxid og 1,5 % surfaktant
- Totalt er 14 porevolumener skyllet igennem

## PCE



ATV Vintermøde 2024

# Pilot forsøg pull-push-pull test

- Testes i områder med forventet fri-fase
- Step 1 - Tracer test (NaCl: 100 g/L)
- Step 2a: Surfaktant test: E-Mulse 145 (5%) + tracer (LiCl: 5 mg/L)
  - 78% LiCl genvundet, ca. 9.4 kg PCE masse mobiliseret
- Step 2b: S-ISCO<sup>®</sup> test: persulfat+hydrogenperoxid (70 g/L, 1:1 ratio) + E-Mulse 145 (5%) + tracer (LiCl: 5 mg/L)
  - 36% LiCl genvundet og ca. 1,5 kg PCE masse mobiliseret.
  - Høje koncentrationer af klorid indikerer nedbrydning

# Grube 3 – Fuldskala



- 2018 – 2020: ISCO injektioner: 6 events
- 2020 – 2021: S-ISCO<sup>®</sup> injektioner: 3 events
- Typiske mængder:
  - 20 ton persulfate (70-120 g/l)
  - 20 m<sup>3</sup> of 35% hydrogenperoxid (+ katalysator og stabilisator)
  - 5 ton E-Mulse 145 (2 %)

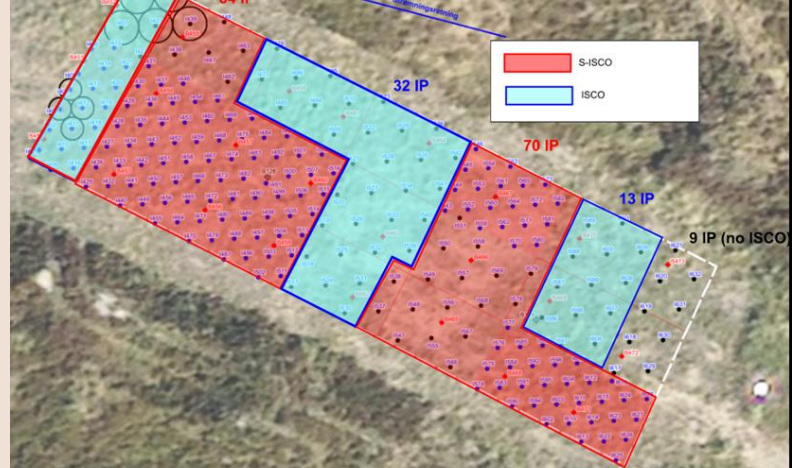
# Grube 3 – Fuldskala

## DESIGN:

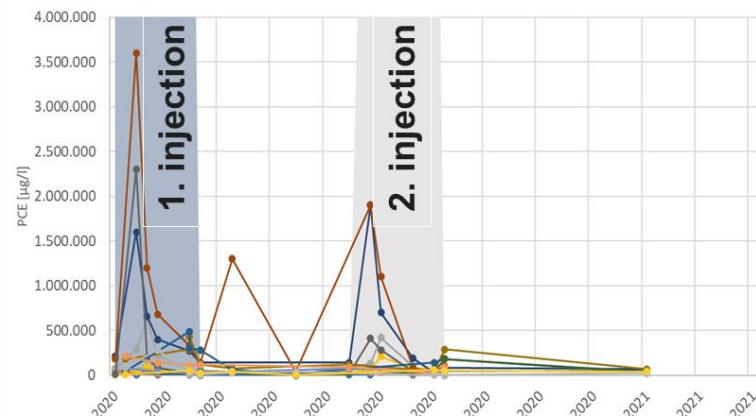
- S-ISCO® er benyttet i områder med frifase (> 1,000 mg PCE/kg)
- Samme metode som ISCO
- Injektion af ISCO nedstrøms S-ISCO® for at undgå spredning ud af gruben

## RESULTATER:

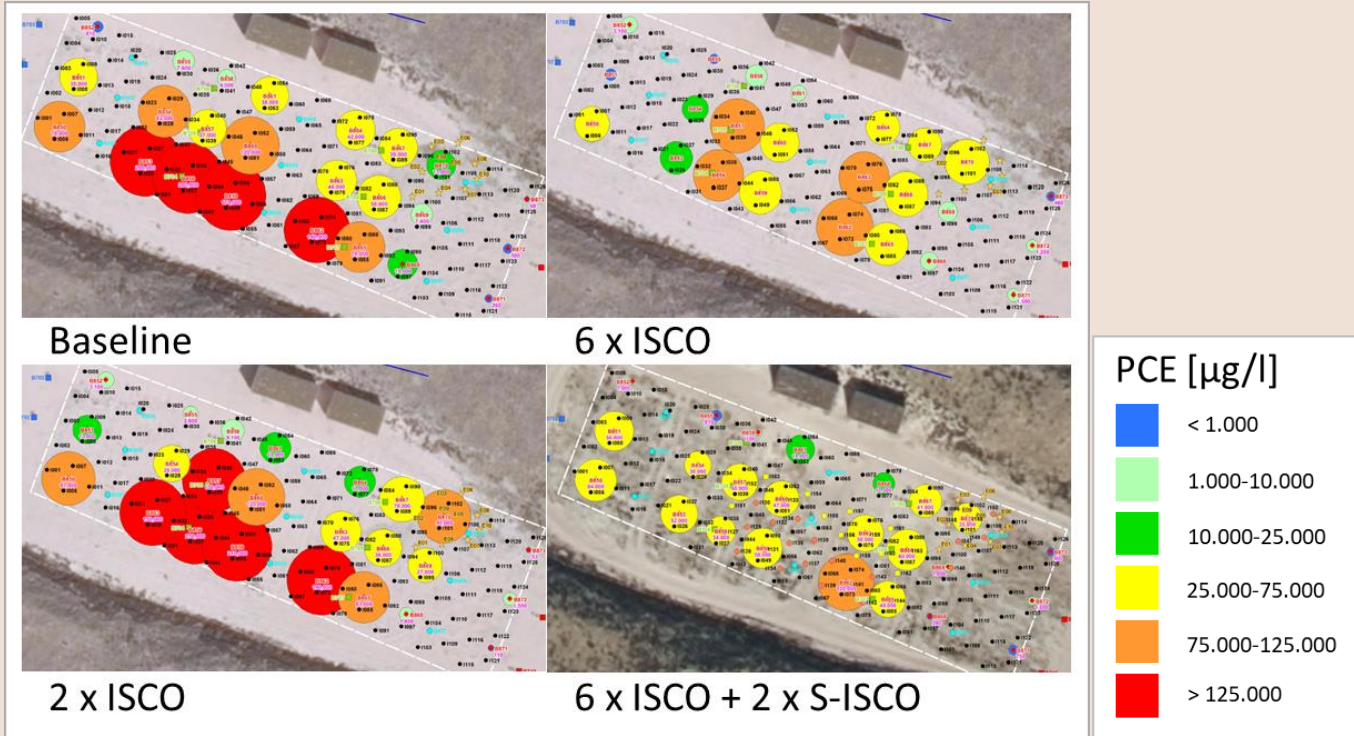
- PCE og TPH bliver opløst og nedbrudt (Målt op til 3.600.000 µg PCE/l → 3,6 g PCE/l)
- Ingen mobilisering ud af gruben
- Til behandling af svær frifase er S-ISCO® langt mere omkostningseffektiv i forhold til ISCO alene



PCE over tid (TA - lag 2.1)



# Grube 3 - Fuldskala



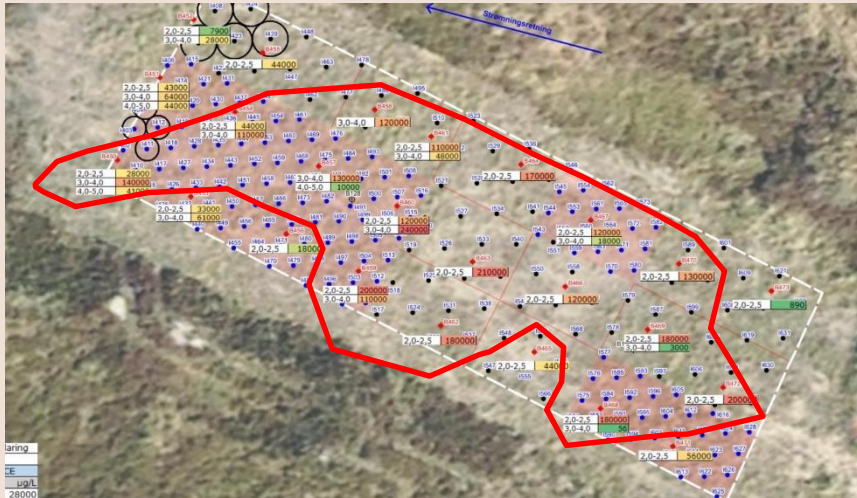


ATV Vintermøde 2024

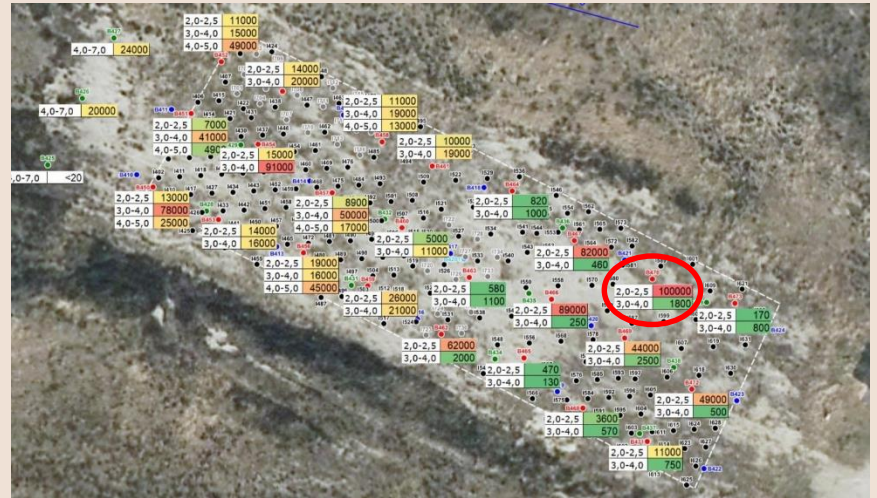
# Status grube 1, 2 og 4

- Grube 1: 8 runder ISCO/S-ISCO®
- Grube 2: 6 runder ISCO/S-ISCO®
- Grube 4: 8 runder ISCO/S-ISCO®

# Status grube 4



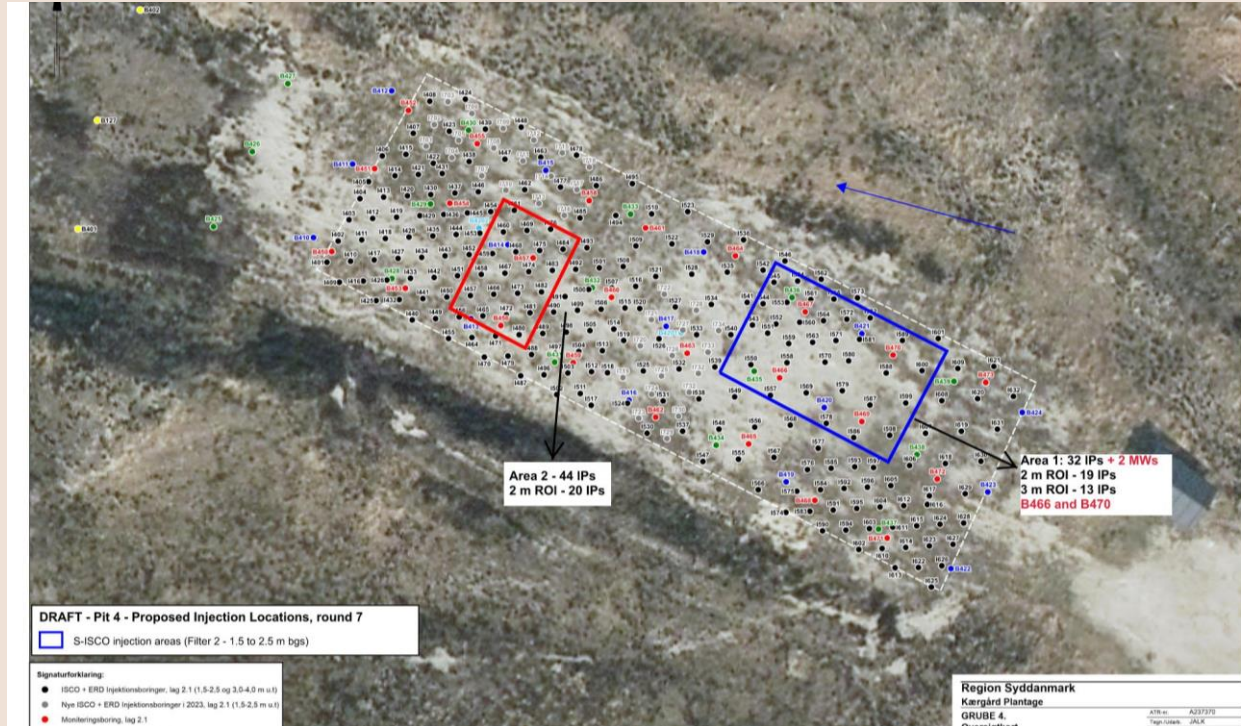
Efter 2 runder



Efter 4 runder

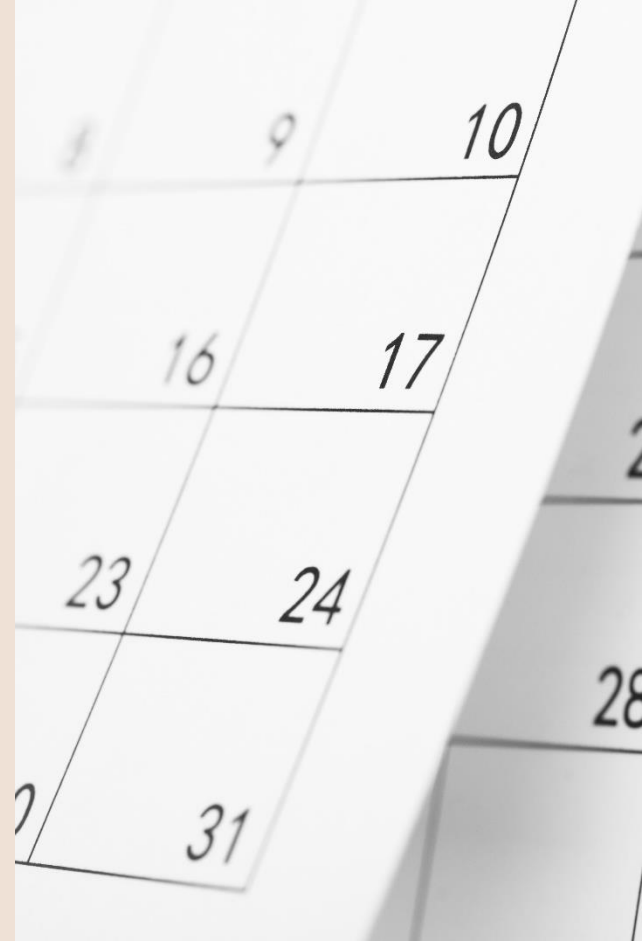


# Status grube 4



# Status 1, 2 og 4 – Plan for 2024

- Igangværende ISCO/S-ISCO færdiggøres i grube 1, 2 og 4
- Stabilisering og udvaskning
- Opstart SRD i alle gruber



# Tak – spørgsmål?

## Tak til:

Region Syddanmark: Jette Balslev Sørensen & Klaus Bundgaard Mortensen

COWI: Torben Højbjerg Jørgensen & Flemming Dahl

Geosyntec, USA: Leah MacKinnon, Felipe Solano & Neal D. Durant

Aalborg Universitet: Jens Muff

Rambøll: Lars Bennedsen & Mette Christophersen