

9 år med afværgeteknologien PlumeStop - virker det stadig?



RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

03-03-2026 ATV Vintermøde

Region Hovedstaden

Nina Tuxen, Henriette Kern-Jespersen,
Anette Riishøj

Rambøll

Majken Frederiksen, Dorte Harrekilde



Dagsorden

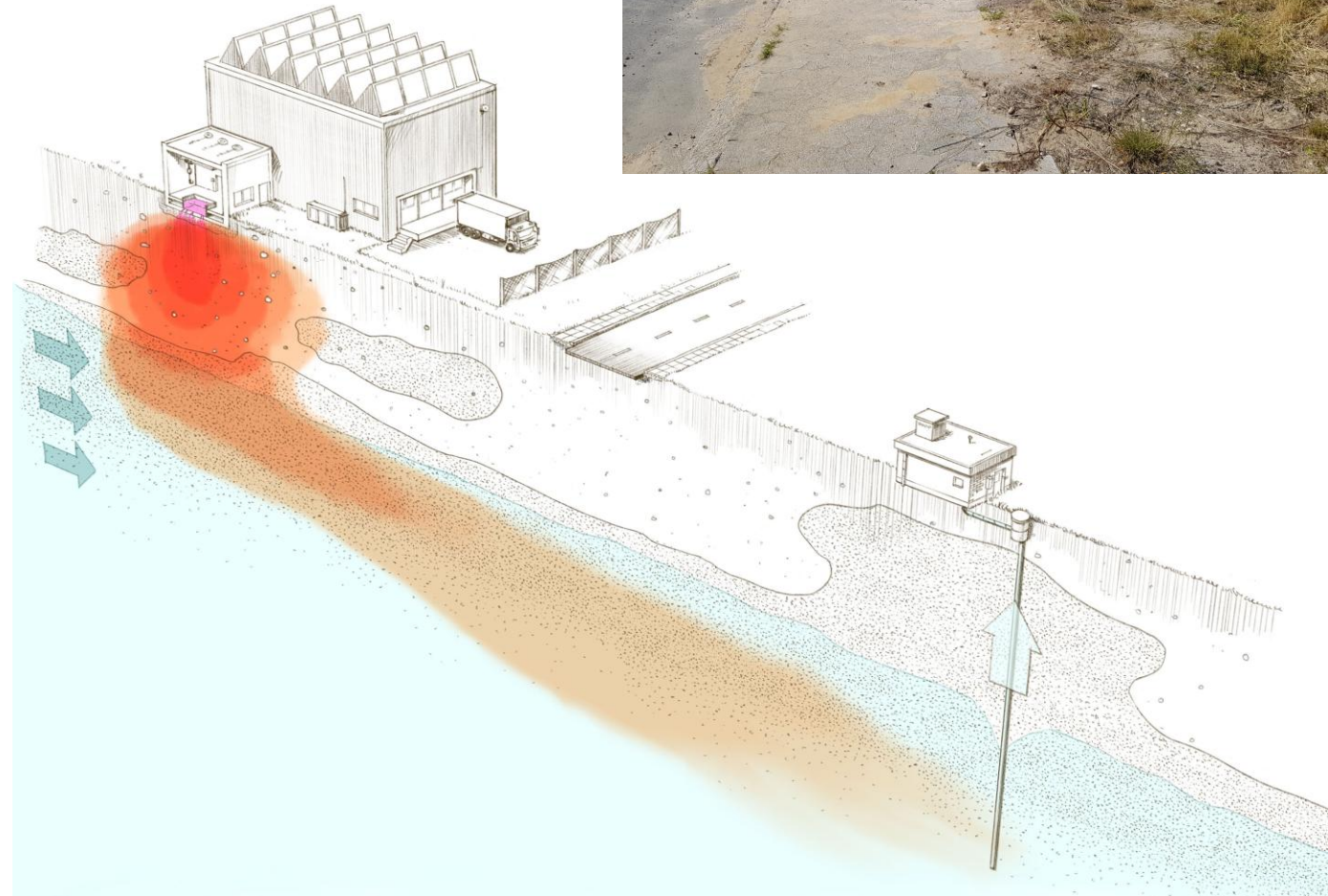
- Introduktion til lokalitet og afværgeteknologi
- Tidslinje
- Monitoringsprogram og aktionskriterier
- Resultater
 - Chlorerede ethener (CVOC)
 - Dechloreringsgrad (DoD)
 - Næringsstoffer (P)
 - (Donor (NVOC))
- Sammenligning med aktionskriterier
- Konklusioner



Lokaliteten

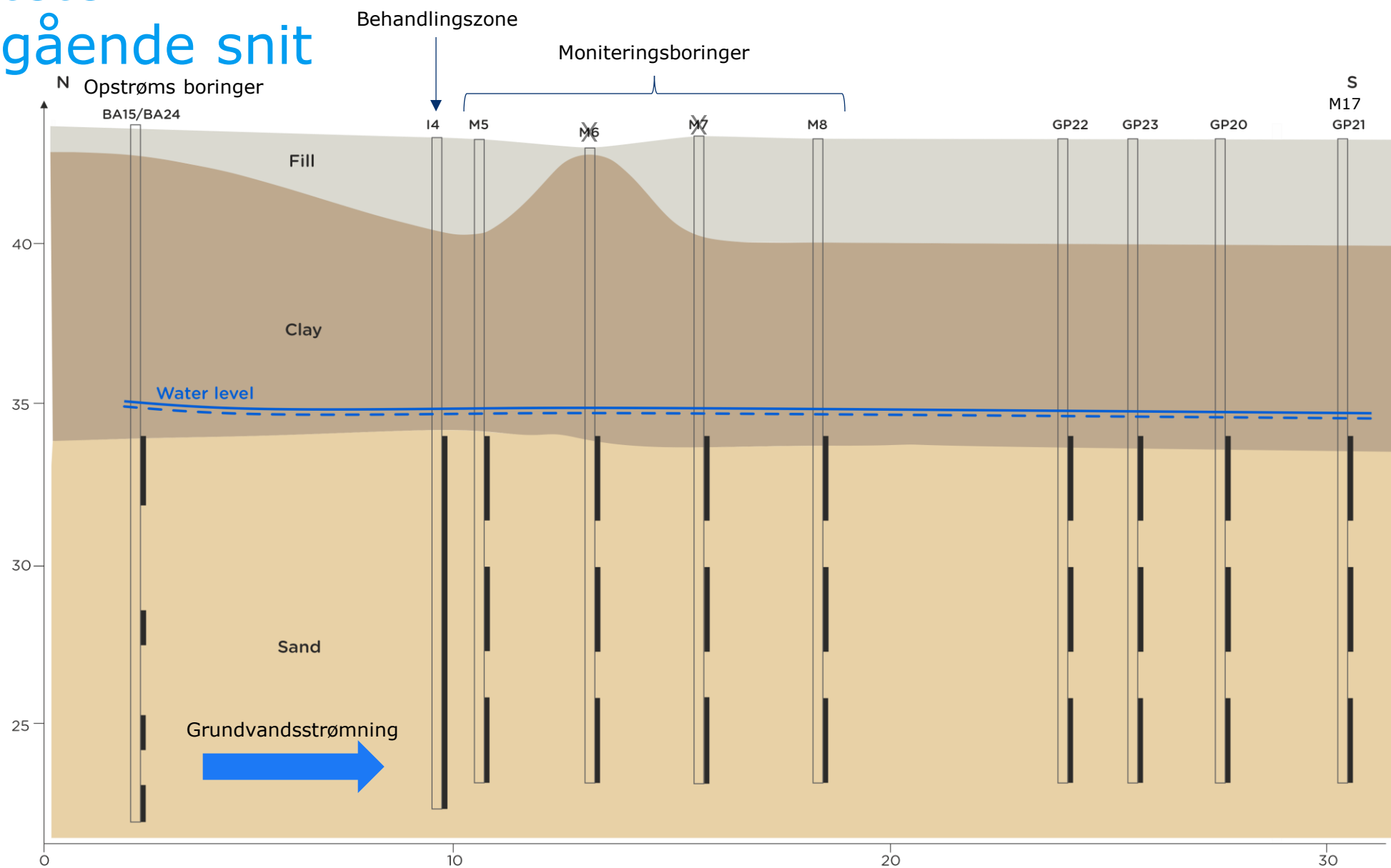
Mange års industri – TCE-forurening

- 1962 - nu Skumplastvirksomhed
- Forurening
 - TCE op til 1.200 $\mu\text{g/l}$
 - Fane mod SV
 - Ringe naturlig nedbrydning
- Kilde under bygning/dybt i moræneleren



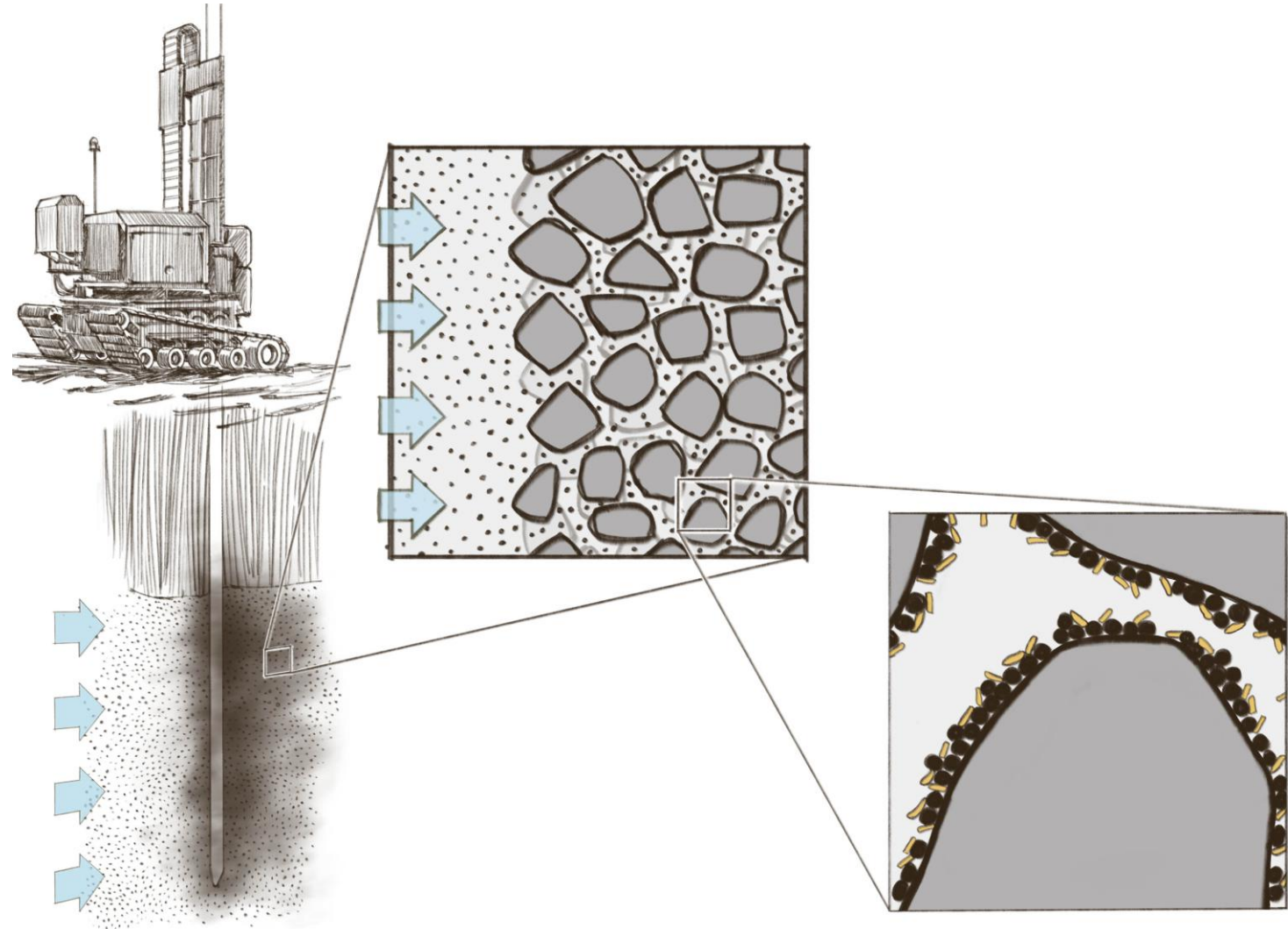
Lokaliteten

Langsgående snit



Hvad er PlumeStop?

- Reaktiv barriere
 - Kolloidt aktivt kul + SRD
 - Kultur af dehalogenerende bakterier
 - Elektrondonor (polylaktat ester)
 - Næringsstoffer
- Sorption + nedbrydning
- Teori: Aktivt kul sorberer CVOC
 - nedbrydning pga. donor og bakterier
 - frigivet sorptionsplads på aktivt kul
 - = løbende regenerering af aktivt kul



Region H

Tidslinje

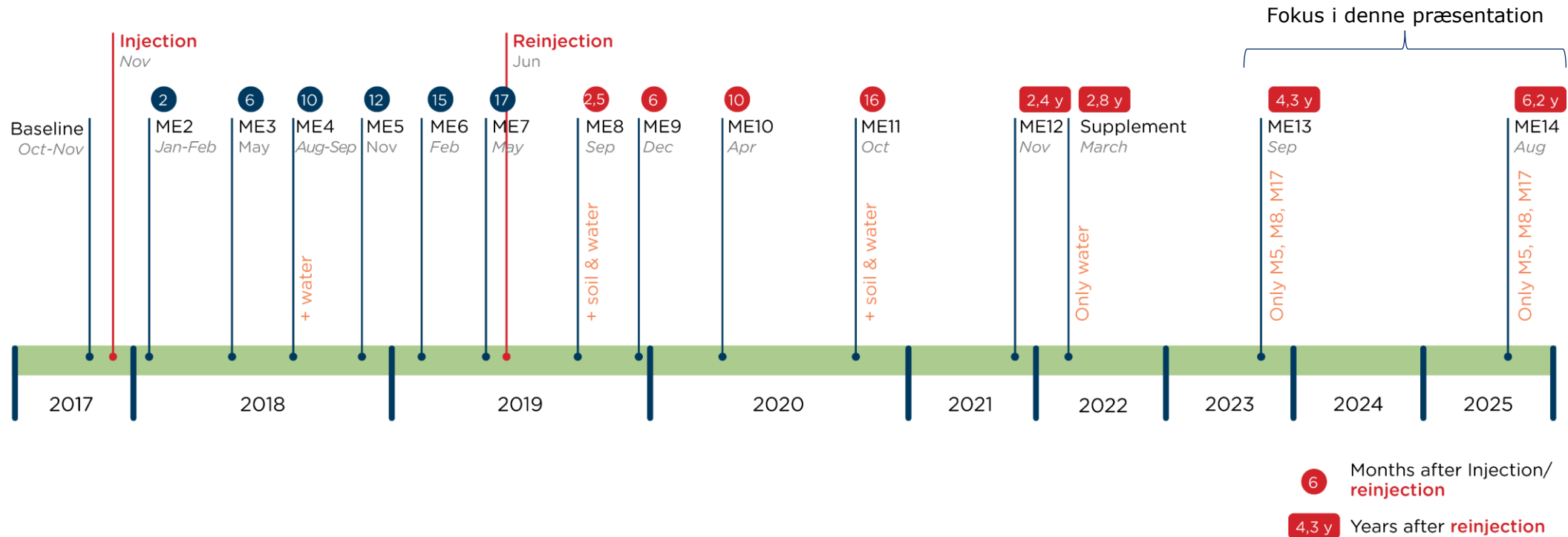
Afværge og monitoring

Fuldt analyseprogram:

- CVOC
- NVOC
- Total-P
- Redox
- Funktionelle gener
- Isotoper (DTU)

Reduceret analyseprogram:

- CVOC
- NVOC
- Total-P
- Redox

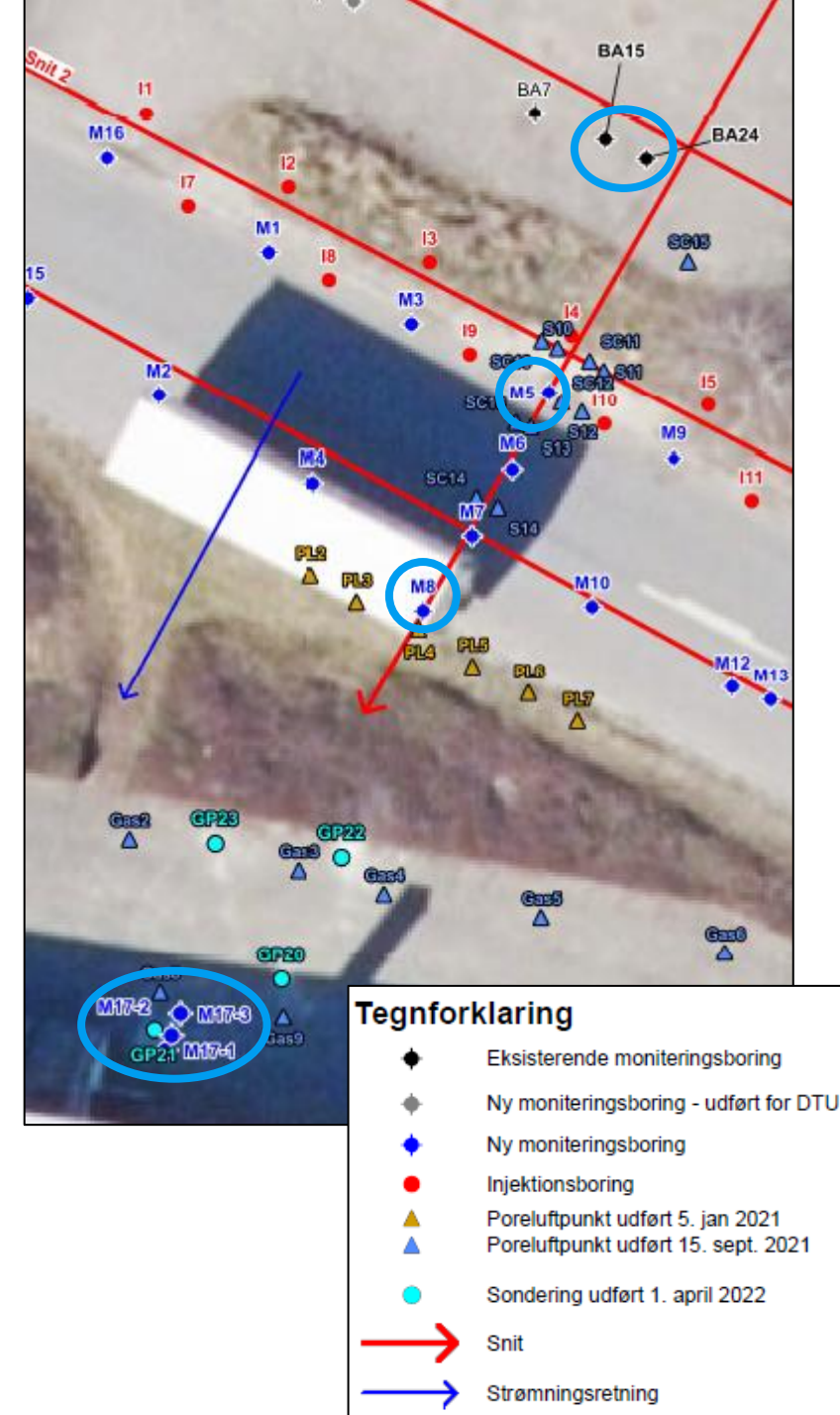


Analyseprogram efter projektets afslutning

- Meget reduceret program
 - 12 filtre centralt langs fanen
 - Frekvens max. 1,5 år (baseret på strømningshastighed)

Boring/filter	Analyseparametre					Hyppighed
	CVOC	Ethen/ethan	Redox	NVOC	N og P	
BA15-2 og BA15-1	X					Hvert 6. år
BA24-2	X					Hvert 6. år
M5-3	X	X				Hvert 3. år
M5-2	X	X	X	X	X	Hvert 1,5 år
M5-1	X	X				Hvert 3. år
M8-3	X	X				Hvert 3. år
M8-2	X	X	X	X	X	Hvert 1,5 år
M8-1	X	X				Hvert 3. år
M17-3	X	X	X	X	X	Hvert 1,5 år*
M17-2	X	X	X	X	X	Hvert 1,5 år
M17-1	X	X	X	X	x	Hvert 1,5 år*

*efter de første 3 år nedsættes hyppigheden til 1 gang hvert 3. år



Aktionskriterier

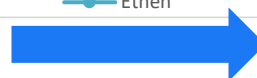
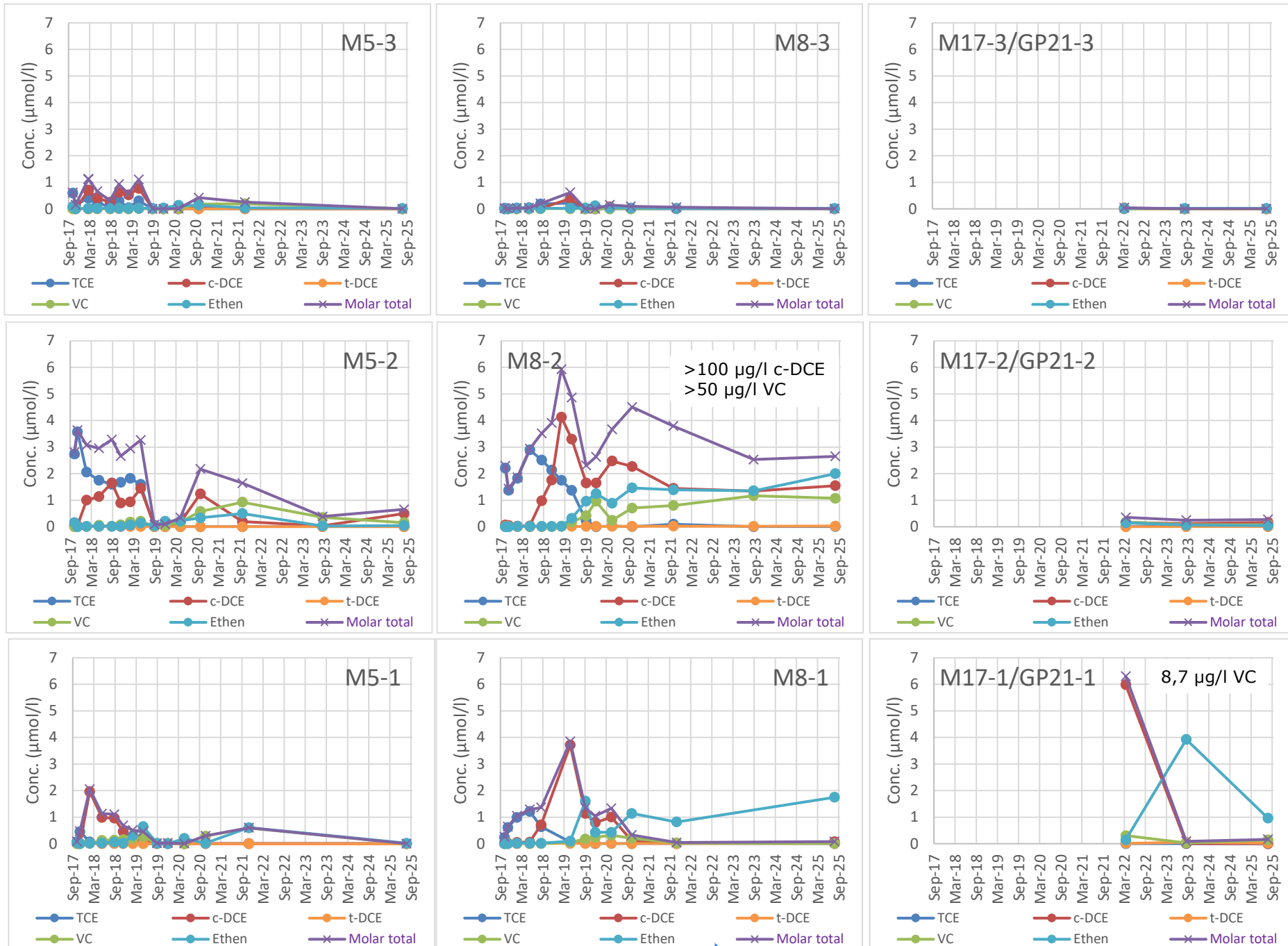
- Formål: Evaluere de afgørende processer
 - Sorption
 - Nedbrydning
- Kriterier for forskellige stofgrupper
 - TCE og VC
 - Ethen
 - Næringsstoffer (målt som total-P)
 - Donor (målt som NVOC)
- Forslag til aktioner ved tendens over flere runder

Proces	Boring/ filter	Aktionskriterier	Aktion
Sorption	M5-2, M8-2	TCE har en stigende tendens og indholdet overskrider 25 µg TCE/l i to på hinanden følgende monitoringsrunder i det midterste filter i begge borer.	Reinjektion af PlumeStop i en zone, der dækker området I3-I5.
	M17	TCE har en stigende tendens og indholdet overskrider 25 µg TCE/l i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene.	Det vurderes, hvad årsagen til gennembruddet af TCE er. Det overvejes om der skal reinjiceres PlumeStop.
Nedbrydning	M17	Stigende indhold af VC i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene, samtidig med at ethen er faldende og udgør under 25% af den molære sum af CVOC+ethen. NVOC er faldende til under 2-4 mg/l.	Vandprøver udtages til mikrobiologisk analyse (quant array) for at afklare, om indholdet af dhc er tilstrækkelig til at SRD kan fortsætte. Reinjektion af donor og/eller bakterier i transekt 2 eller 3 afhængig af analyseresultaterne.
	M5, M8, M17	Faldende indhold af næringsstoffer målt som total P til under 0,1-0,2 mg/l i 2 på hinanden følgende monitoringsrunder i to af borerne (et filterniveau). Skal være fulgt af et stigende indhold af VC i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene i M17, samtidig med at ethen er faldende og udgør under 25% af den molære sum af CVOC+ethen. NVOC er faldende til under 2-4 mg/l.	Data gennemgås for at afklare, om data er tilstrækkelige eller om hyppigheden af prøvetagningerne hvert 1,5 år skal øges til halvårslige prøvetagninger. Er der enslydende tegn på mangel på substrat, så reinjiceres næringsstoffer+vitaminer.

Resultater CVOC

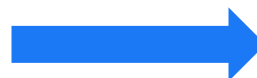
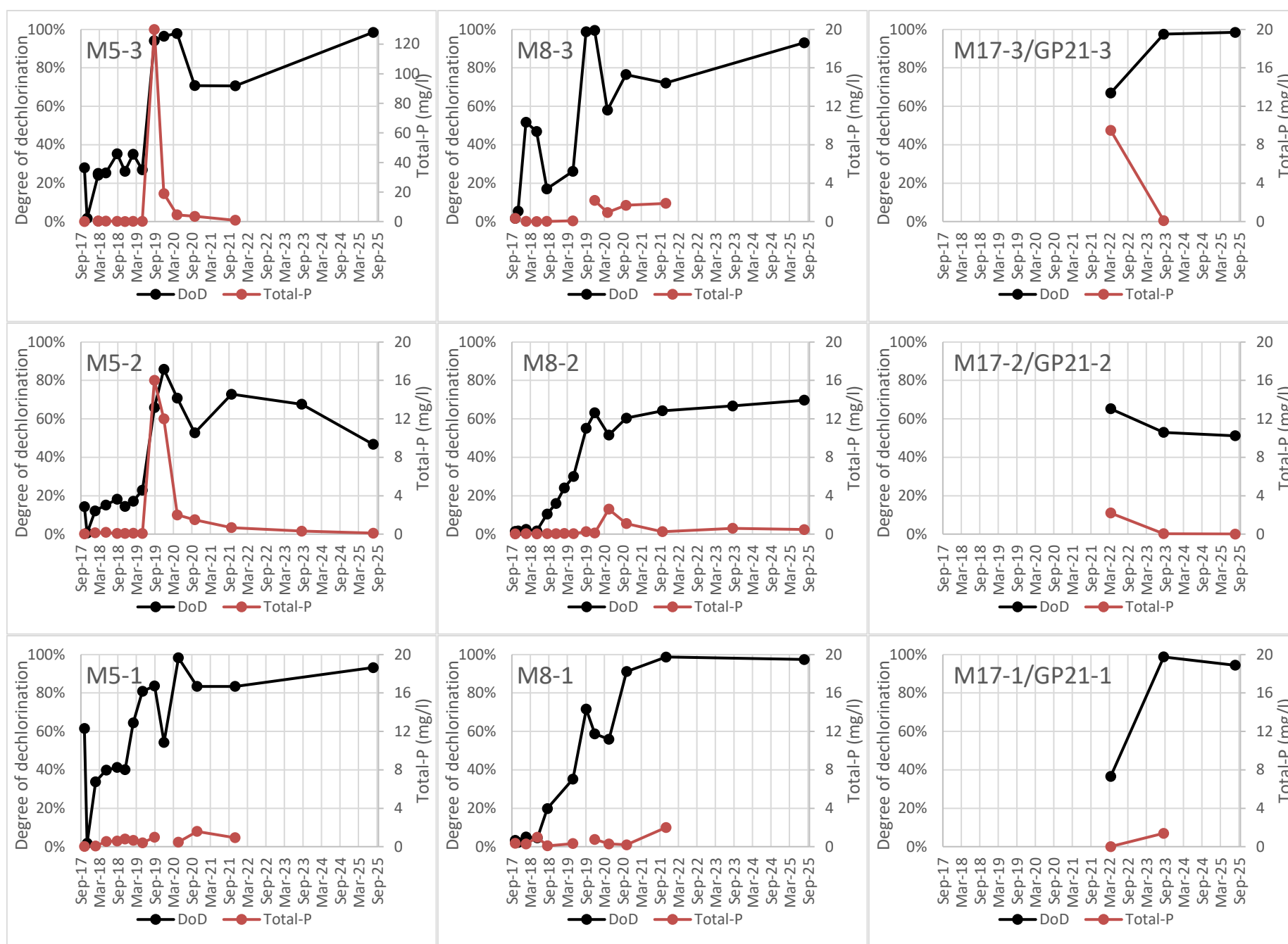
OBS: Ethen er ikke med i sum

Bemærk: Molkoncentration



Resultater DoD

- DoD =
Dechloreringsgrad
(Degree of
Dechlorination)
- Total-P
repræsenterer
næringsstoffer



Aktionskriterier og resultater

Sorption

- Kriterier overholdt
- TCE tidligere stabil (lidt høj) ved M17-2, men nu igen faldende

Tabel 3-1 Monitoringsresultater fra ME14 sammenlignet med aktionskriterier. **Rød skrift** = kriterium overskredet, **orange skrift** = mulig/delvis overskridelse af kriterium. Pile angiver stigning, fald eller stabilt niveau for de to seneste monitoringsrunder ($\uparrow$, $\downarrow$, $\Rightarrow$), med farverne: ■ = negativ udvikling, ■ = muligt problem, ■ = positiv udvikling.

Proces	Boring/ filter	Aktionskriterier	Aktion	Resultater (udvikling)
Sorptions	M5-2, M8-2	TCE har en stigende tendens og indholdet overskrider 25 µg TCE/l i to på hinanden følgende monitoringsrunder i det midterste filter i begge boringer	Reinjektion af PlumeStop i en zone, der dækker området I3-I5	<u>TCE</u> M5-2: 0,048 µg/l $\Rightarrow\Rightarrow$ M8-2: 0,63 µg/l $\Rightarrow\Rightarrow$
	M17	TCE har en stigende tendens og indholdet overskrider 25 µg TCE/l i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene	Det vurderes, hvad årsagen til gennembruddet af TCE er. Det overvejes om der skal reinjiceres PlumeStop	<u>TCE</u> M17-3: <0,02 µg/l $\Rightarrow\Rightarrow$ M17-2: 3,0 µg/l $\Rightarrow\downarrow$ M17-1: 0,087 µg/l $\Rightarrow\Rightarrow$

Aktionskriterier og resultater - Nedbrydning

- De fleste kriterier er overholdt
- Et par fokuspunkter:
 - Stigende VC ved M17-1
 - Faldende/lav ethen ved M17-2
 - Lav total-P ved M17-2

→ Faldende effektivitet af nedbrydning?

Proces	Boring/ filter	Aktionskriterier	Aktion	Resultater (udvikling)
Nedbrydning	M17	Stigende indhold af VC i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene, samtidig med at ethen er faldende og udgør under 25% af den molære sum af CVOC+ethen. NVOC er faldende til under 2-4 mg/l.	Vandprøver udtages til mikrobiologisk analyse (quant array) for at afklare, om indholdet af dhc er tilstrækkelig til at SRD kan fortsætte. Reinjektion af donor og/eller bakterier i transekt 2 eller 3 afhængig af analyseresultaterne	<u>VC</u> M17-3: <0,02 µg/l →→ M17-2: 5,1 µg/l →→ M17-1: 8,7 µg/l →↑ <u>Ethen</u> M17-3: <0,0005 mg/l, 50% →→ M17-2: 0,0012 mg/l, 13% ↓↓ M17-1: 0,027 mg/l, 84% ↑↓ <u>NVOC</u> M17-3: I.a. → M17-2: 2,6 mg/l →↑ M17-1: I.a. →
	M5, M8, M17	Faldende indhold af næringsstoffer målt som total P til under 0,1-0,2 mg/l i 2 på hinanden følgende monitoringsrunder i to af borerne (et filterniveau). Skal være fulgt af et stigende indhold af VC i to på hinanden følgende monitoringsrunder i et af filtrene i M17, samtidig med at ethen er faldende og udgør under 25% af den molære sum af CVOC+ethen. NVOC er faldende til under 2-4 mg/l.	Data gennemgås for at afklare, om data er tilstrækkelige eller om hyppigheden af prøvetagningerne hvert 1,5 år skal øges til halvårslige prøvetagninger. Er der enslydende tegn på mangel på substrat, så reinjiceres næringsstoffer+vitaminer.	<u>Total-P</u> M5-2: 0,11 mg/l →↓ M8-2: 0,48 mg/l →↓ M17-3: I.a. ↓ M17-2: <0,01 mg/l ↓↓ M17-1: I.a. ↑ <u>Ethen, M17-2:</u> 0,0012 mg/l, 13% →↓ <u>NVOC, M17-2:</u> 2,6 mg/l →↑

Evaluering: PlumeStop på mellemlang skala

- Sorption
 - Fungerer stadig fint – takket være regenerering eller overdimensionering?
- Nedbrydning
 - Har fungeret hidtil
 - Muligvis begyndende tegn på "træthed"
 - Fokuspunkt for kommende monitoringer – mangler der næringsstoffer/donor/bakteriekultur?
 - Boost kan blive relevant
- Gode erfaringer med behandlingen

Konklusioner

PlumeStop

Fordele ved afværgeteknologien PlumeStop

- Virksom over for TCE og nedbrydningsprodukter i høje koncentrationer
- Kan anvendes når kilden er utilgængelig/ikke lokaliseret
- Behandling har indtil nu vist sig effektiv i ~10 år
- "Regenerering" af sorptionskapacitet?

→ PlumeStop er en metode i værktøjsskassen ved fane-afværgeindsats og et alternativ til pump & treat

Udfordringer på mellemlang tidsskala

- (Kommende?) faldende effektivitet af nedbrydning
- Kan løses ved boost med næringsstoffer/bakterier/donor

Konklusioner

Aktionskriterier

- Godt at have faste holdepunkter for evaluering af effekt
- Kunsten at ramme det rigtige niveau for at starte en aktion
 - Tid til at starte rettidigt indgreb
 - Undgå unødvendigt indgreb
 - Undgå uhåndteret risiko
- Næste monitoringsrunde: September 2026
 - Der tages stilling til evt. boost af barrieren



Spørgsmål?



Tak for opmærksomheden

Majken Frederiksen

mjf@ramboll.dk

51 61 14 74



RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.