

ATV Vintermøde 10. marts 2021

# Cross-borehole DCIP: Kan det bruges til at planlægge og monitere *in situ* oprensning?

Rasmus Thalund-Hansen & Poul L. Bjerg, *DTU Miljø*

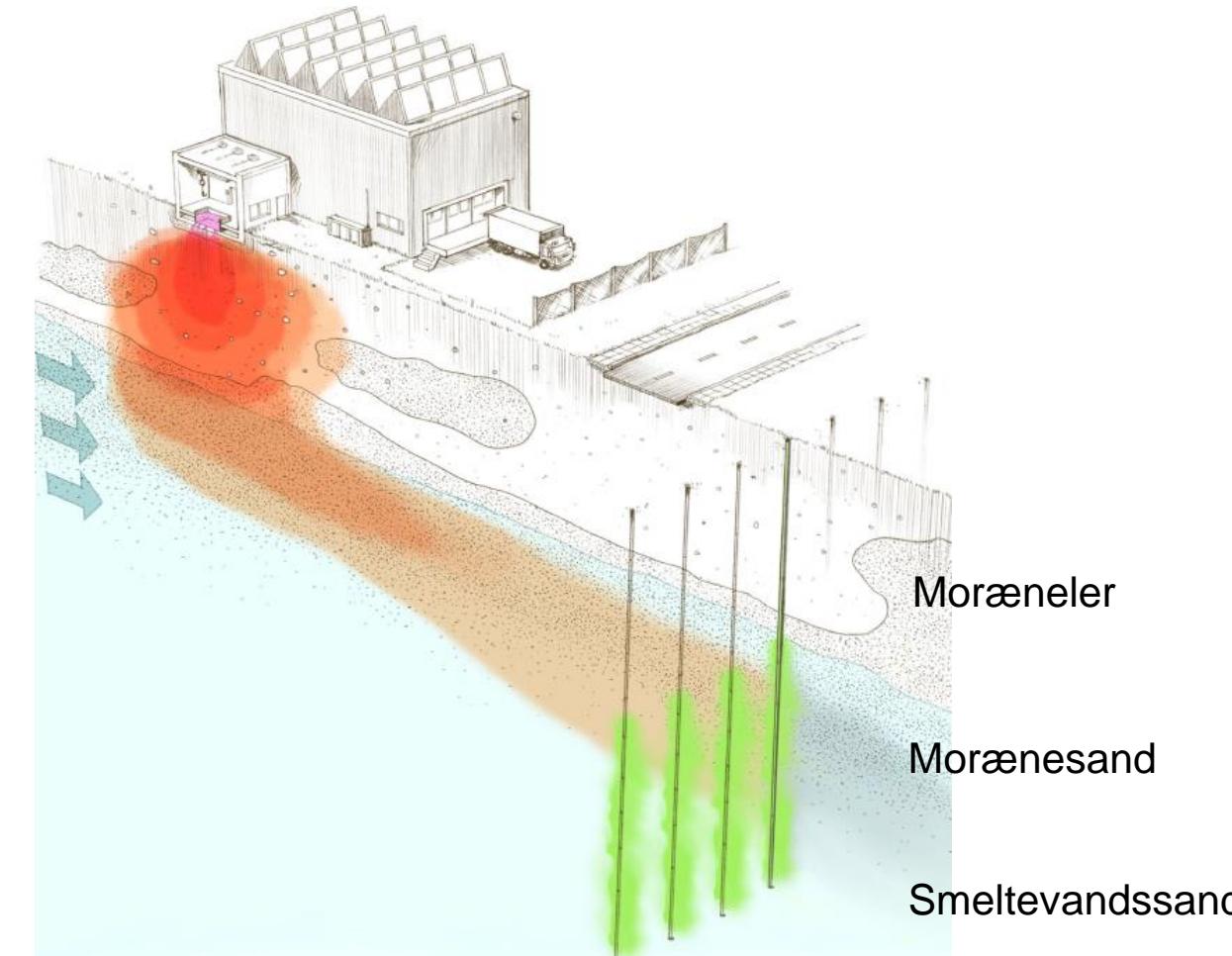
Léa Levy, Thue Bording & Anders Vest Christiansen, *HGG, Aarhus Universitet*

Kirsten Rügge, Morten Dreyer, Lærke Brabæk, *COWI*

Maria Hag, Nina Tuxen, *Region Hovedstaden*

# Motivation

- **Udvikling af mere bæredygtige faneoprensning metoder**
  - Lave vedligeholdelses- og driftsomkostninger
  - Høj effektivitet
- **In situ metoder**
  - Injektion af reaktive komponenter i fanen
  - Nedbrydning til harmløse slutprodukter
- **Udfordring:**
  - Injektionen er vanskelig
  - Rumlig og tidslig udbredelse er vanskelig at monitere



Hag et al. (2020)

# Mål

## Overordnet pilot-projektmål

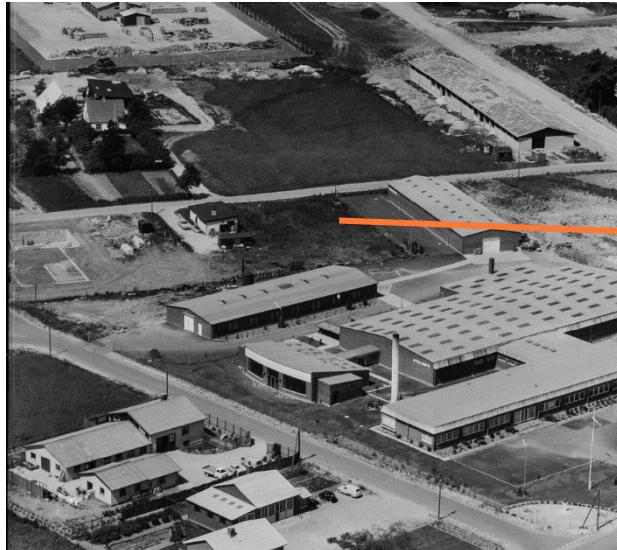
- Udvikling af bæredygtig oprensning metode til håndtering af forureningsfaner
- At skabe en reaktiv behandlingszone med kemisk og biologisk nedbrydning
- Videreudvikling af *in situ* oprensning
  - Forbedring af moniteringsmetoder

## Delmål

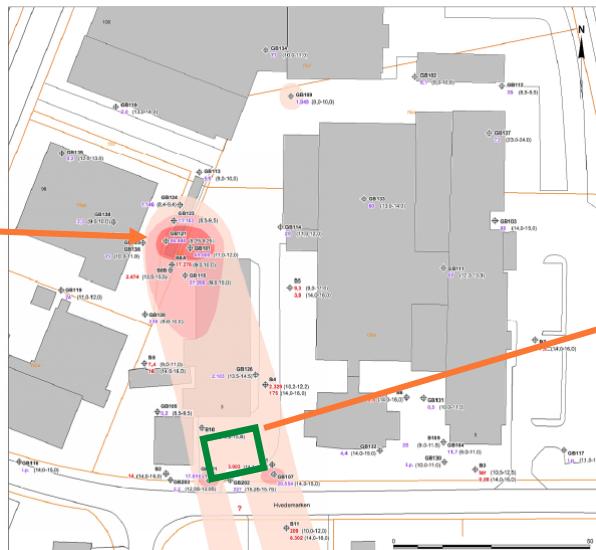
- Udvikling af ny metode til *in situ* monitering ved brug af geofysisk ‘cross-borehole’ DCIP:

**„Cross-borehole DCIP: Kan det bruges til at planlægge og monitere *in situ* oprensning?“**

# Felt-lokaliteten

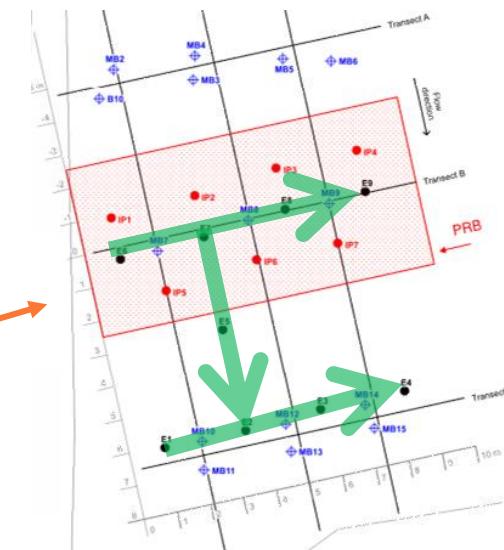


1959



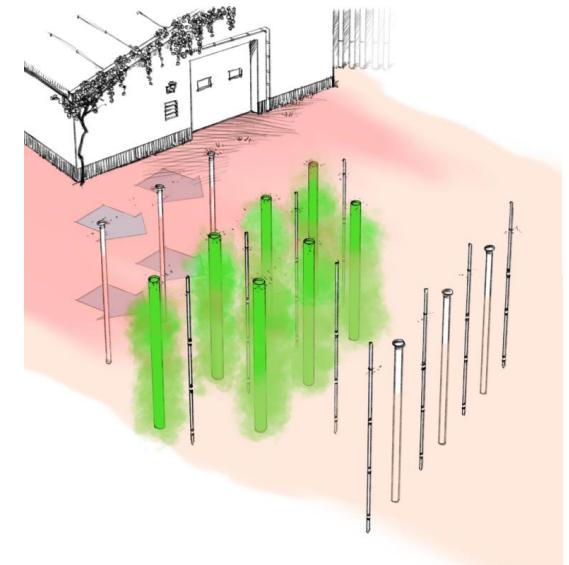
Niras (2017)

- Plastik- og indpakningsfabrik 1959-1989
- Privat tankstation



COWI (2020)

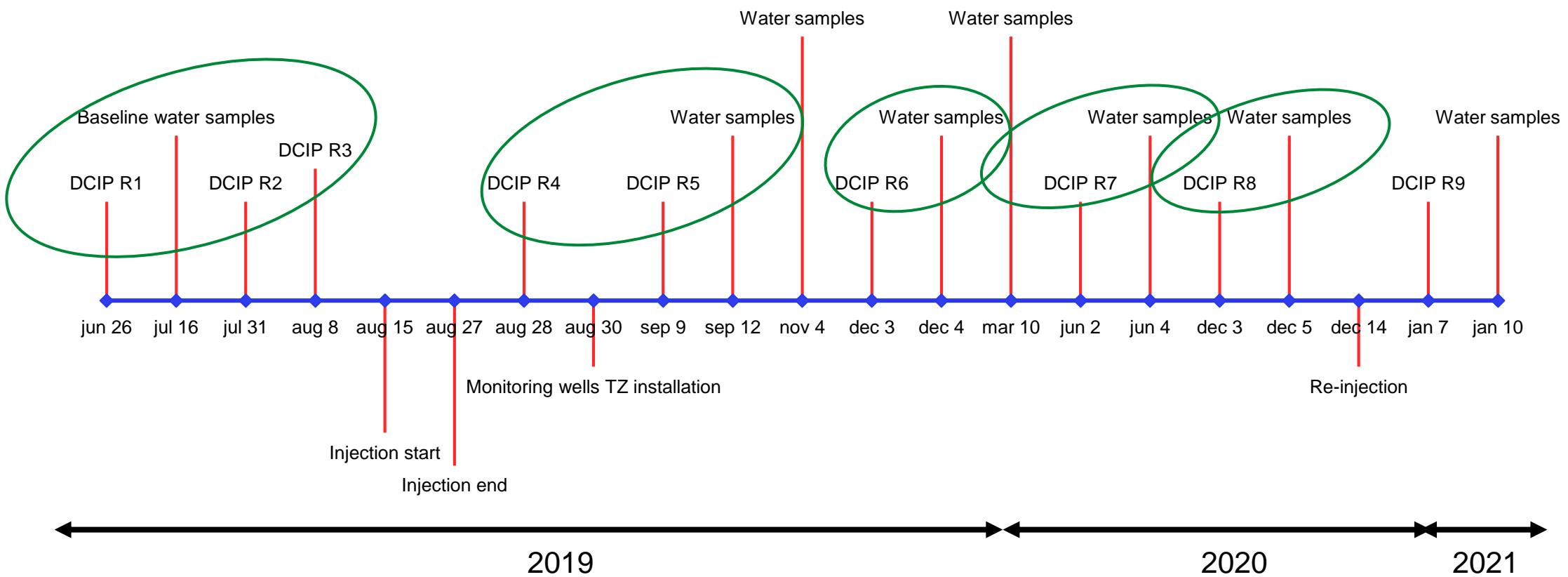
- Forurening med blandt andet TCE, cDCE, VC
- Geologi domineret af sand ved forurening
- Moniteringsboringer juli 2019 (august 2019)
- Elektrodeboringer til cross-borehole DCIP etableret juli 2019



Hag et al. 2020

- Provect-IR (mZVI) og KB1 injiceret august 2019

# Tidslinje



# Tidslinje

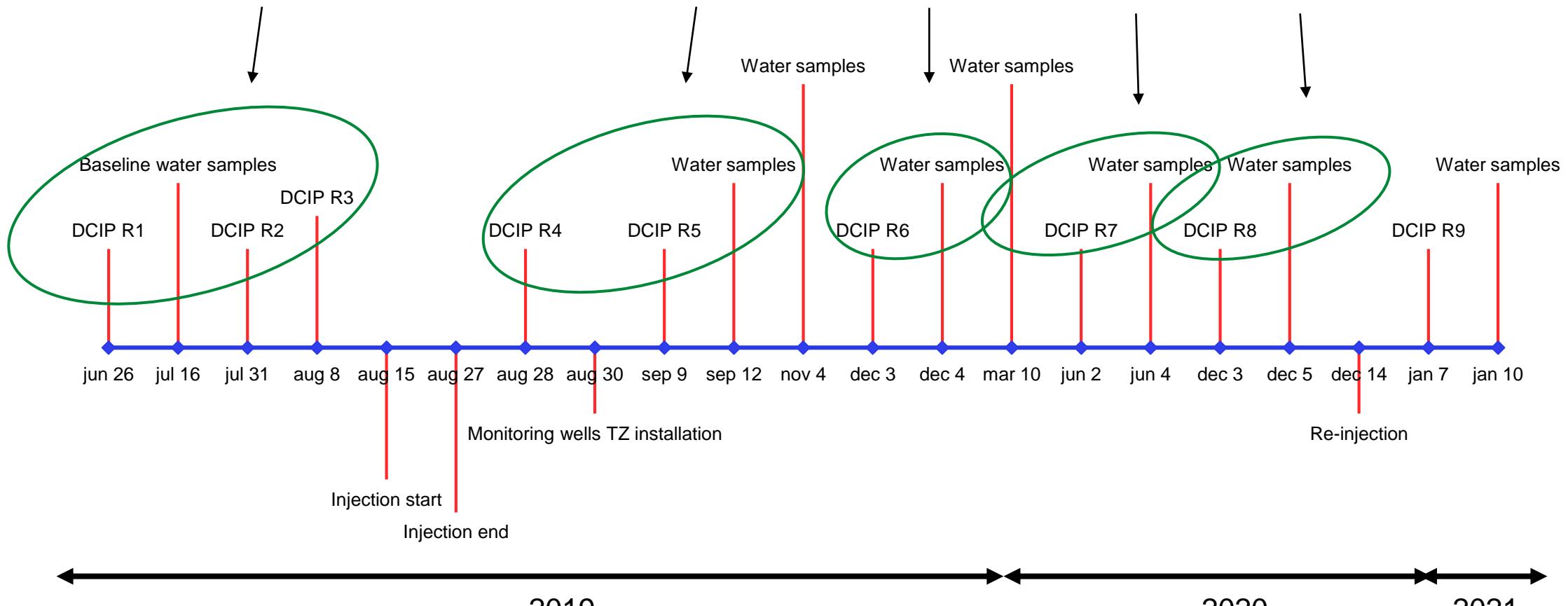
Dage efter injektion: + 0 dage

+ 14 dage

+ 90 dage

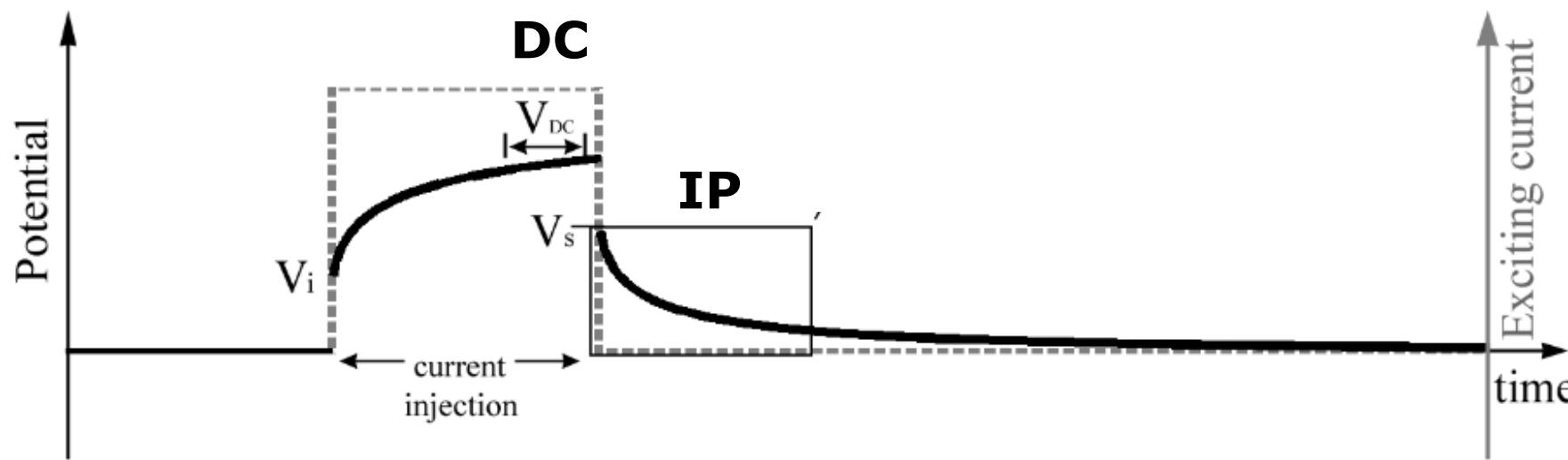
+ 270 dage

+ 450 dage



## DCIP – hvad er det?

- Direct Current, DC: Resistivitet
  - Sedimenttype
  - Ion-indhold af porevæske
  - Porøsitet
  - Samlet resistivitet,
    - skelner ikke mellem effekt fra porevæske og sediment-overflade

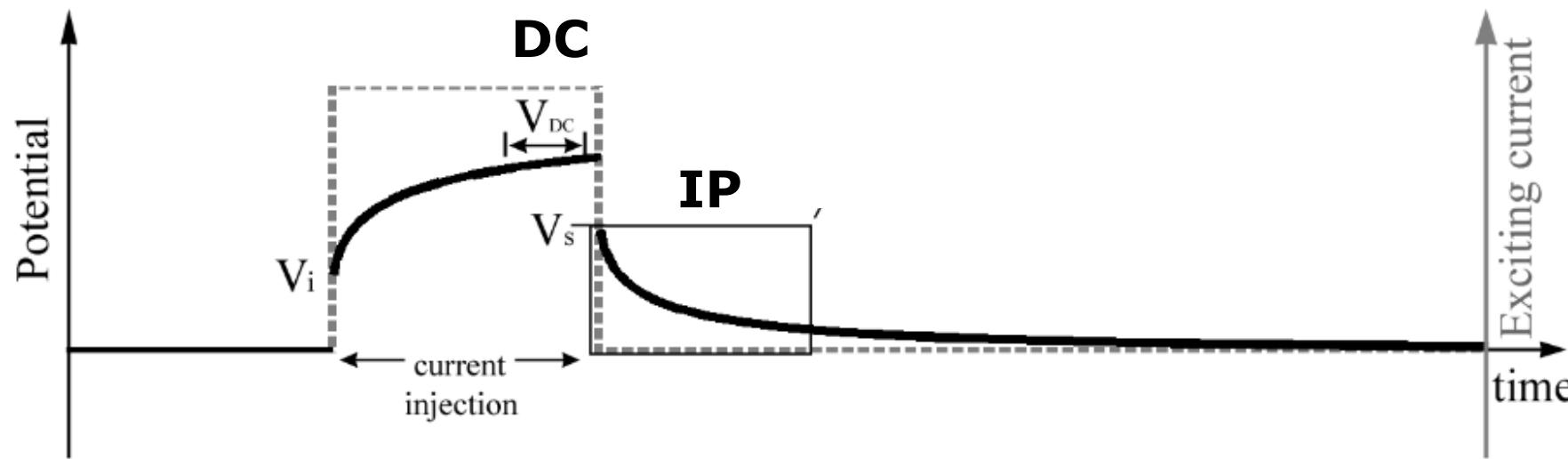
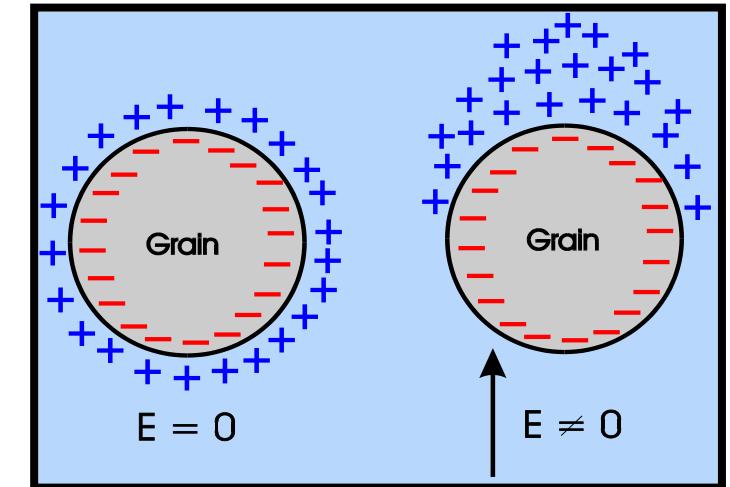


Modificeret fra Christiansen (2021)



## DCIP – hvad er det?

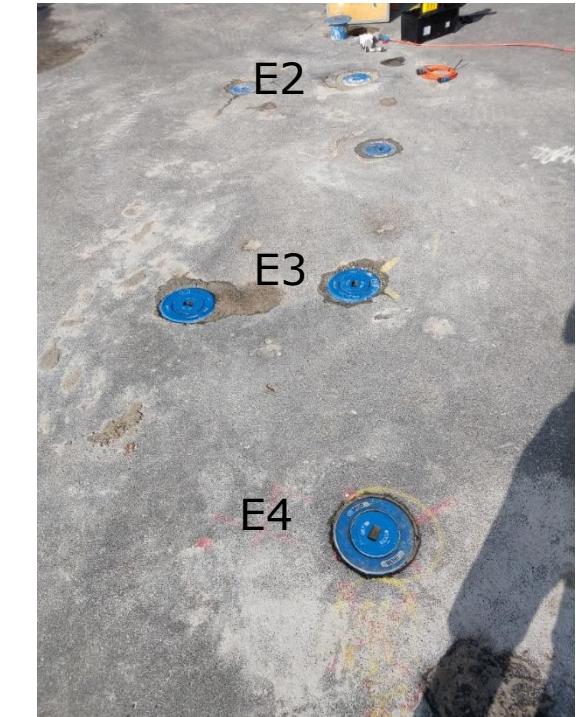
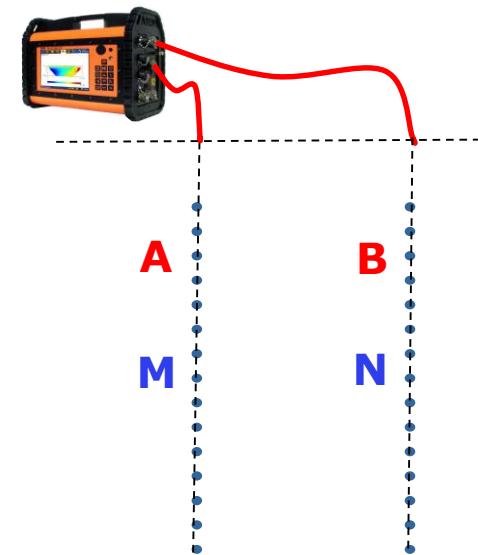
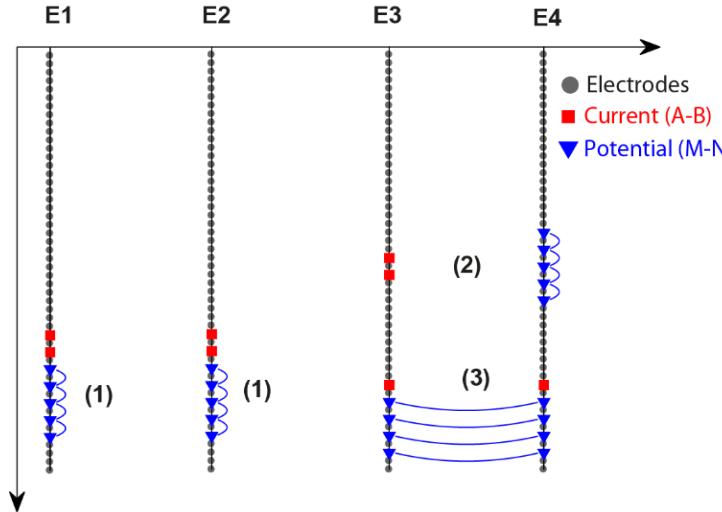
- Induceret Polarisation, **IP**: Jordlagenes opladningsevne
  - Potentiale-ændring over tid, når strømmen slukkes
  - ”Evne til at oplade og tilbageholde elektriske ladninger under påvirkning af et tidsligt varierende elektrisk felt”
  - Skelner mellem porevands- og overflade-effekter



Modifieret fra Christiansen (2021)

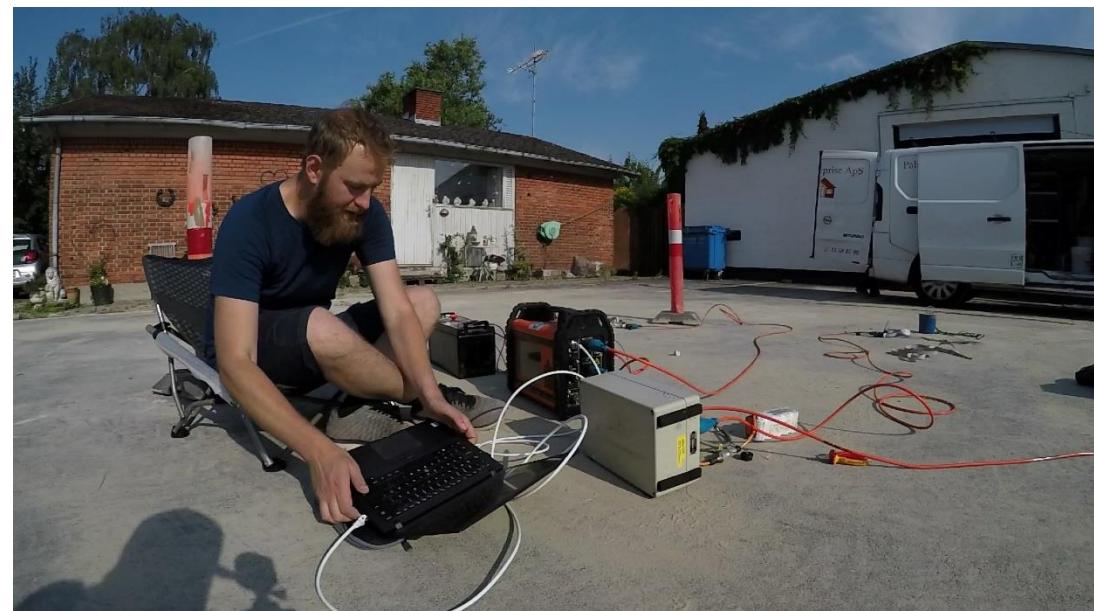


# Cross-borehole DCIP – hvad er det?

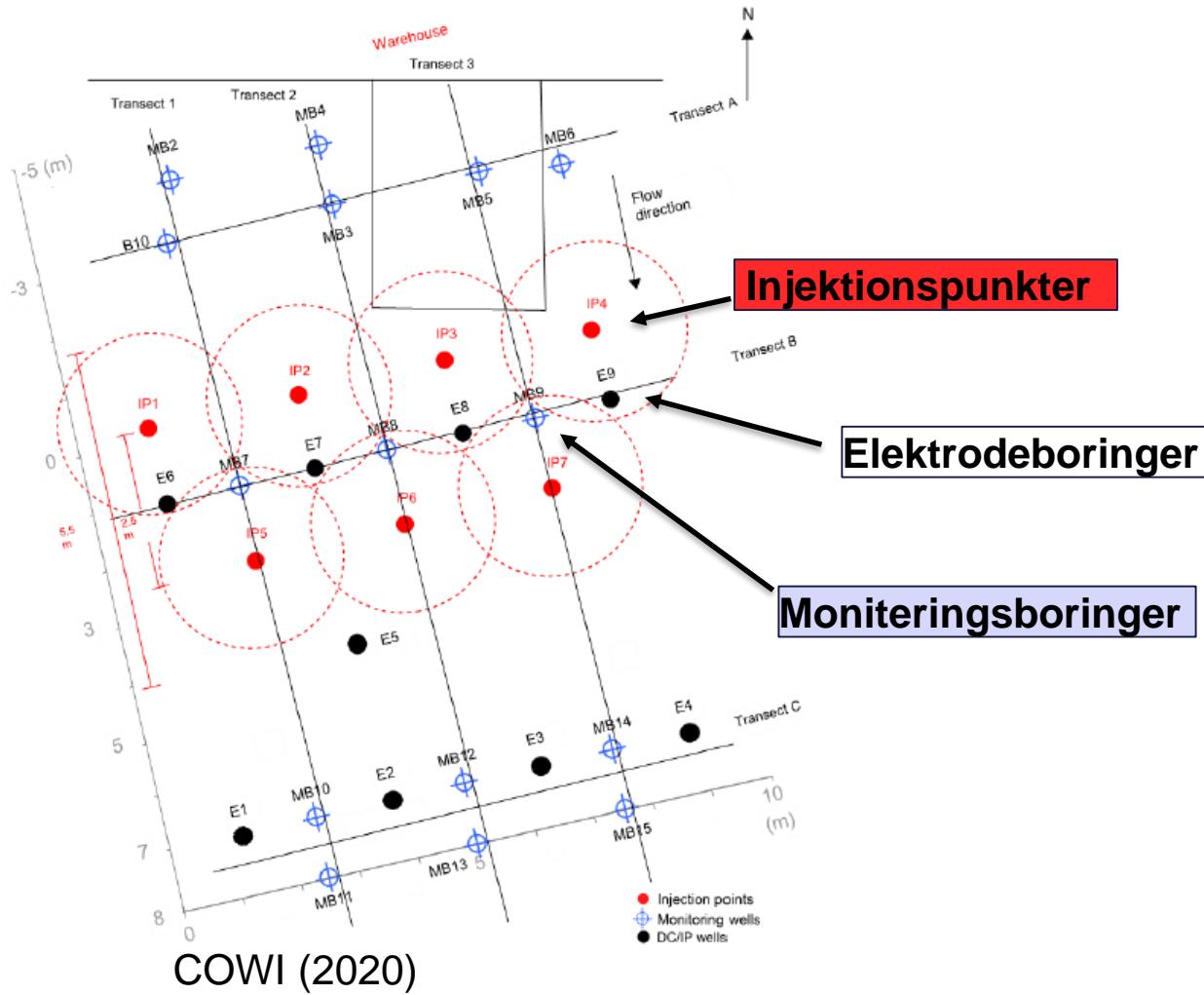


- Strøm sendes gennem AB-elektroder
- Potentialeforskæl måles mellem MN måles
- Forskellige elektrode-konfigurationer giver den rumlige fordeling af målingerne -> rumligt billede af jordlagenes elektriske egenskaber

# Installering af elektrodeboringerne og første målinger



# Installering/injicering af reaktiv zone



## Reaktiv zone

- 13-18 mut
- Injektion hver halve meter
- Bottom-up
- Provect IR (mZVI produkt)
- KB1 bakteriekultur
- Guar gum

## Elektrodeboringer

- 10-20 mut
- 30 cm mellem hver elektrode vertikalt
- 2,5-3 m hor. afstand mellem hver boring

## Moniteringsboringer

- 2 x 1m filtre i hver
- 13,5 – 17,5 mut

# Vandprøver afspejler det injicerede

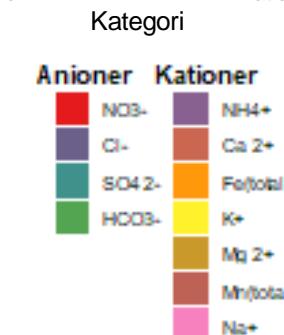
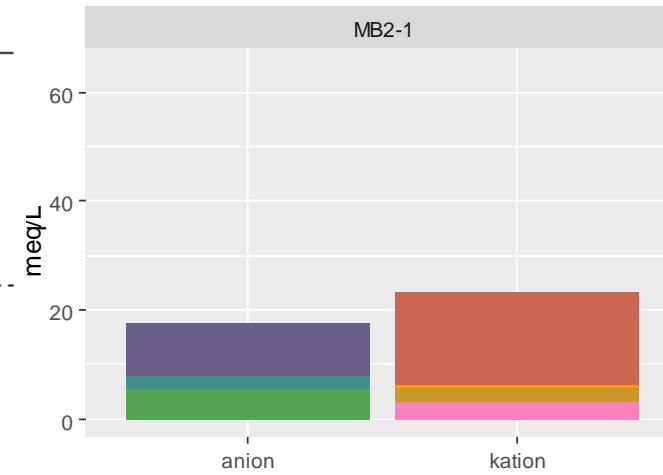
## Provect indhold

Compound	%	Source
m-ZVI	5-90	Manufacturer
Calcium dipropionate	2-12	Manufacturer
Yeast extracts	< 2.5	Manufacturer
Guar gum	< 2.5	Manufacturer
Sodium sulfite	< 2.5	Manufacturer

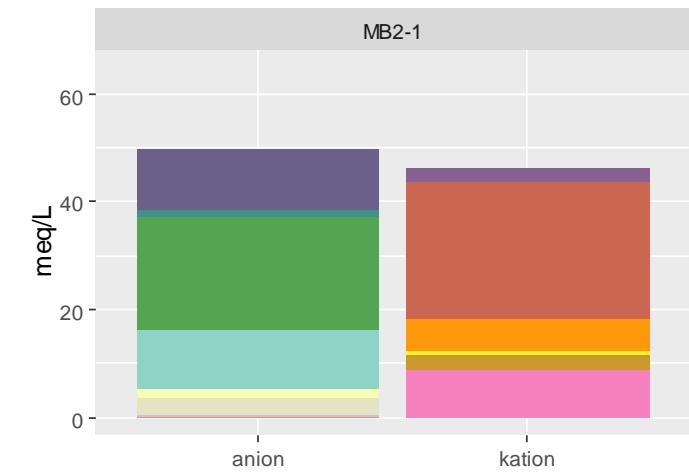
## Laboratorieanalyse af Provect

	%	metode
Fe	45	ICP-OES
Total (Ca+K+Mg+Na+S)	2.5	ICP-OES
Total carbon	19.5	ICP-OES
Unknown	34	ICP-OES

## Vandkemi + 0 dage (før injicering)



## Vandkemi + 90 dage



# Vandprøver afspejler det injicerede

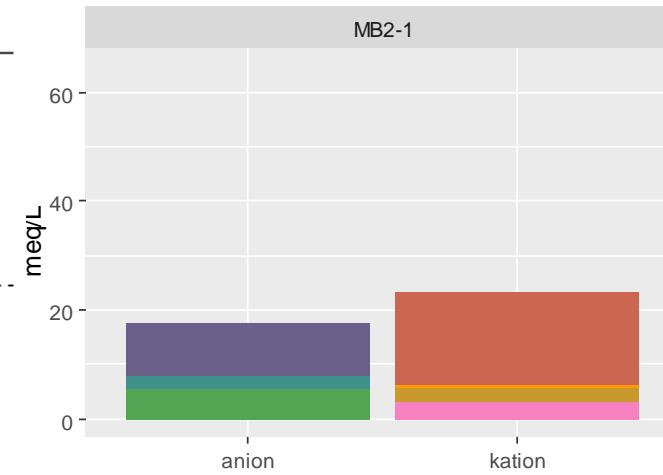
## Provect indhold

Compound	%	Source
m-ZVI	5-90	Manufacturer
Calcium dipropionate	2-12	Manufacturer
Yeast extracts	< 2.5	Manufacturer
Guar gum	< 2.5	Manufacturer
Sodium sulfite	< 2.5	Manufacturer

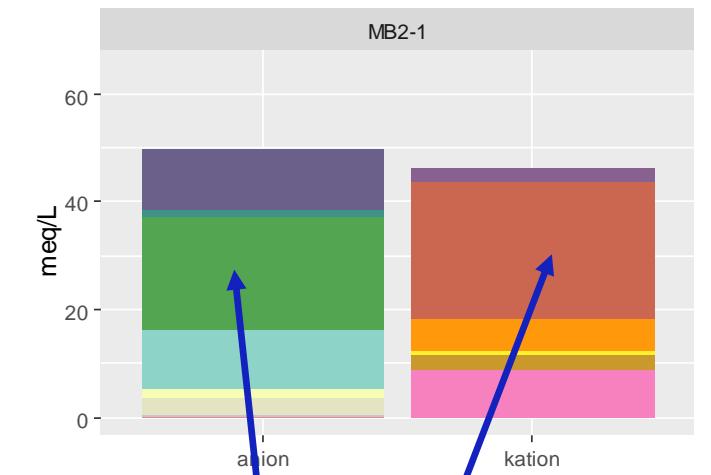
## Laboratorieanalyse af Provect

	%	metode
Fe	45	ICP-OES
Total (Ca+K+Mg+Na+S)	2.5	ICP-OES
Total carbon	19.5	ICP-OES
Unknown	34	ICP-OES

## Vandkemi + 0 dage (før injicering)

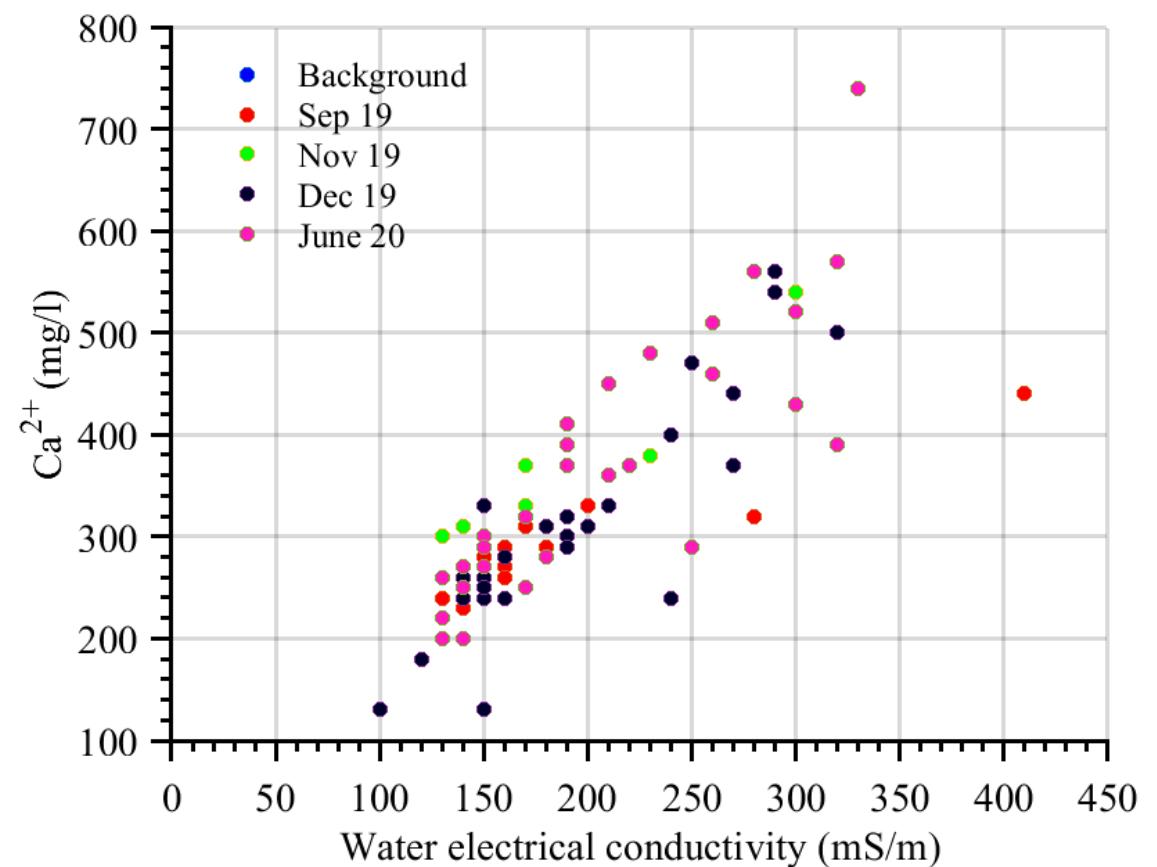
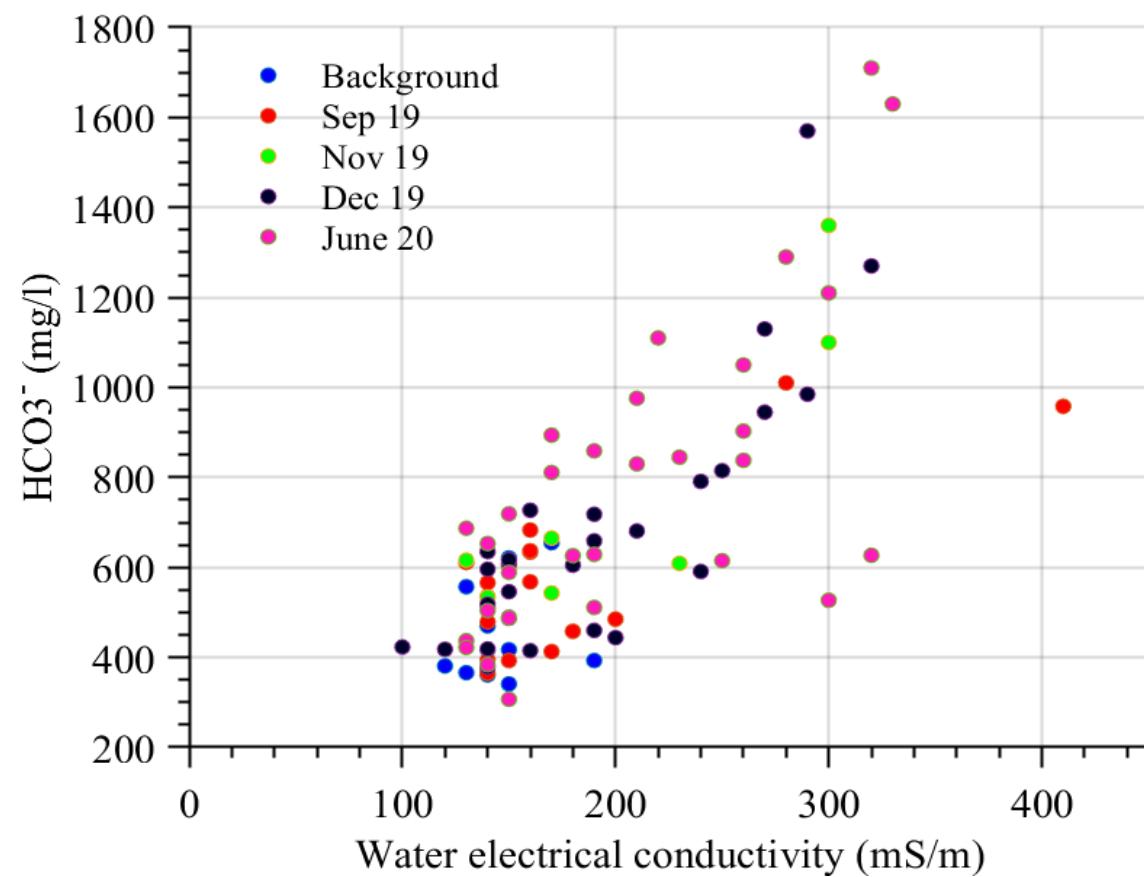


## Vandkemi + 90 dage

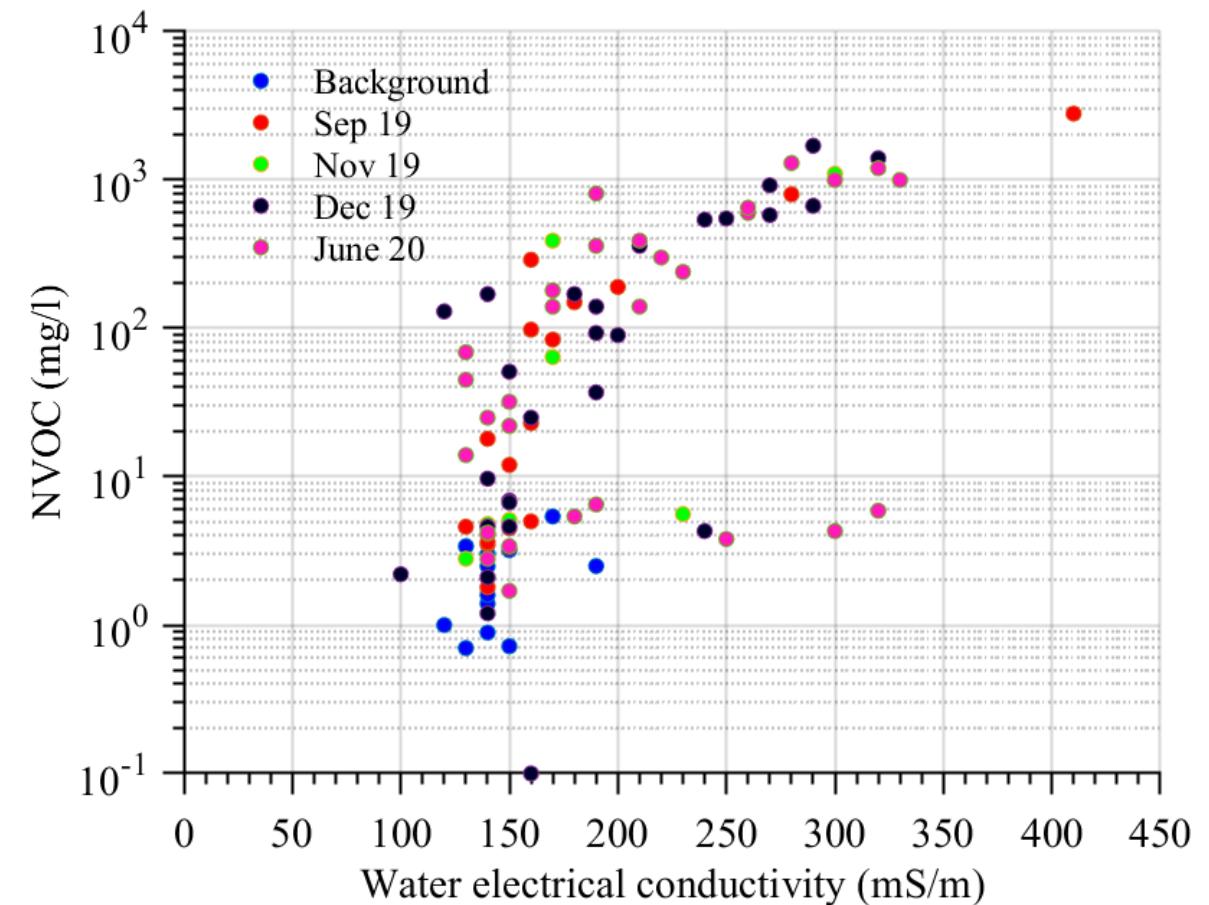
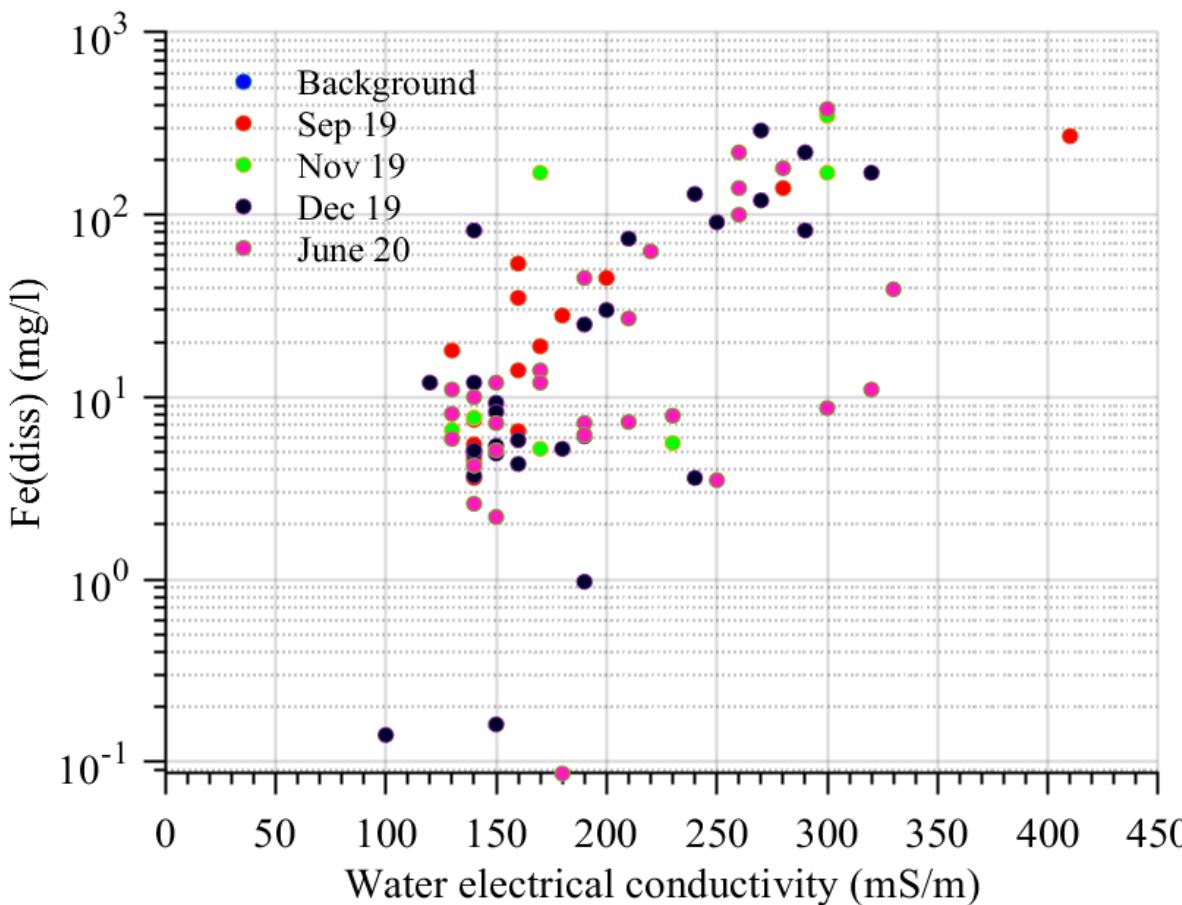


HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> og Ca<sup>2+</sup> er de dominerende ioner

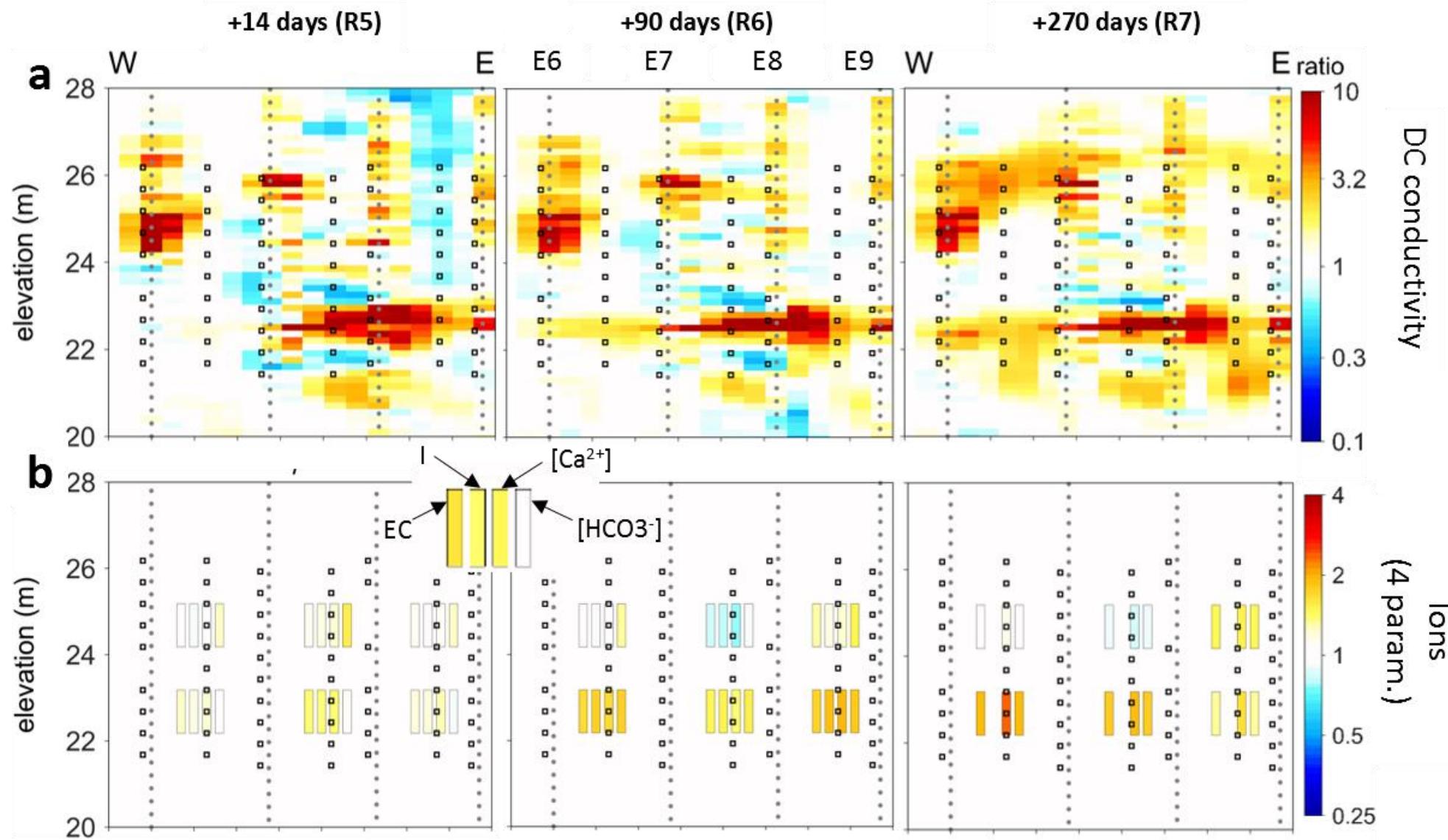
# Fordeling af det injicerede: Kobling mellem vandkemi og DCIP: $\text{HCO}_3^-$ og $\text{Ca}^{2+}$



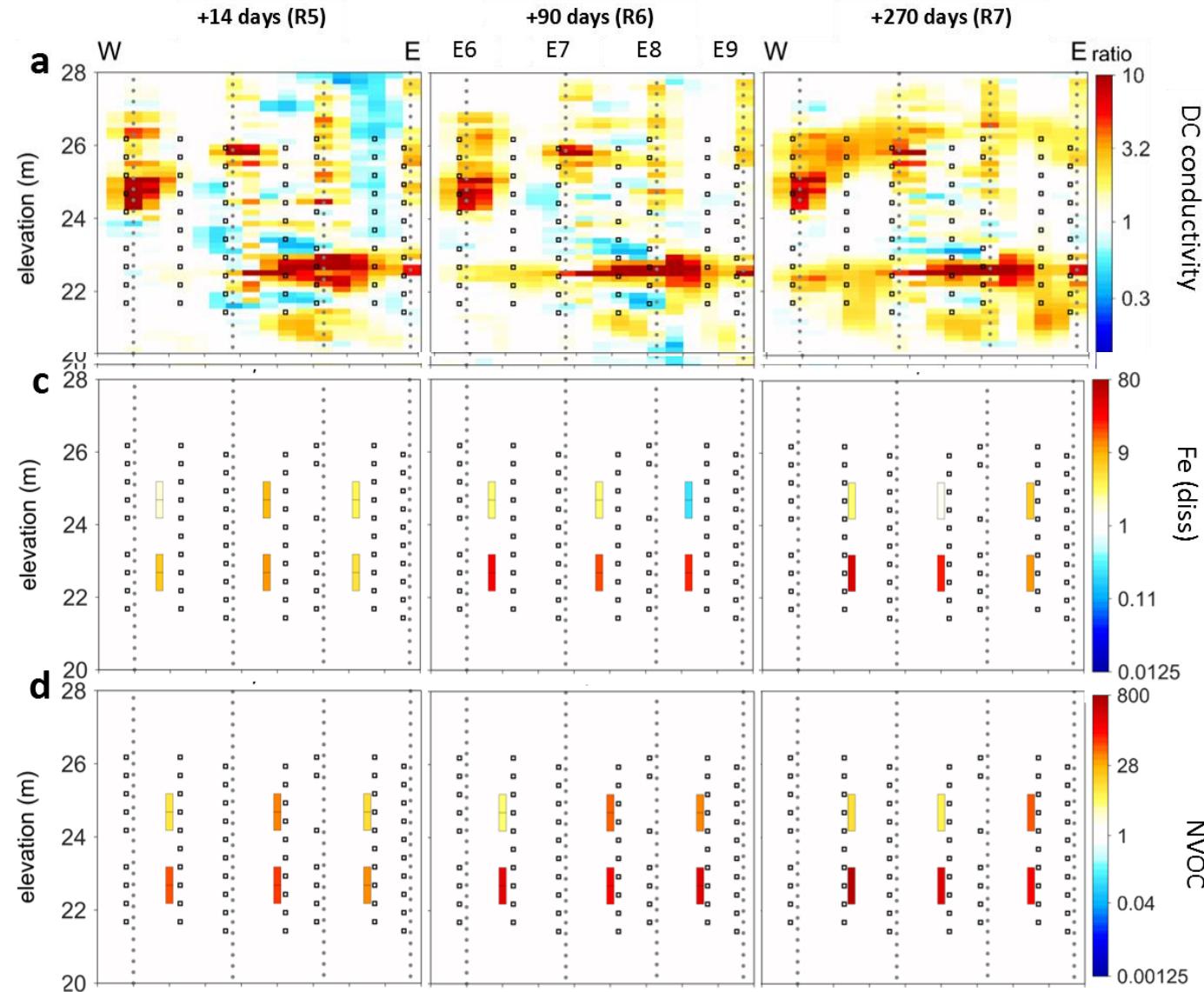
# Fordeling af det injicerede: Kobling mellem vandkemi og DCIP: Fe (diss) og NVOC



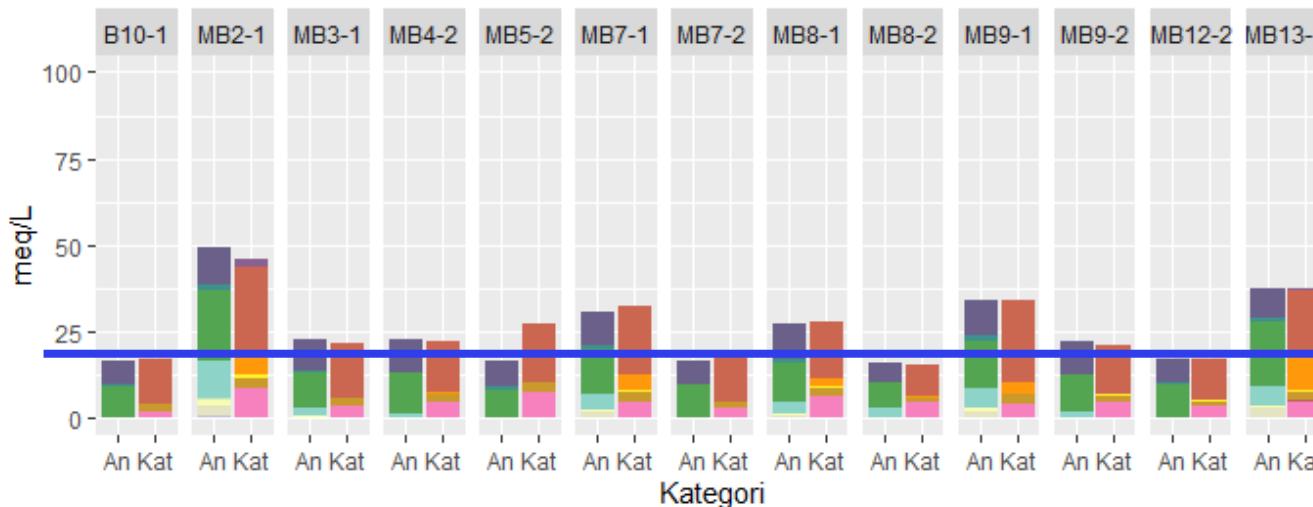
# Vandkemi og cross-borehole DCIP data: Hvordan stemmer det overens?



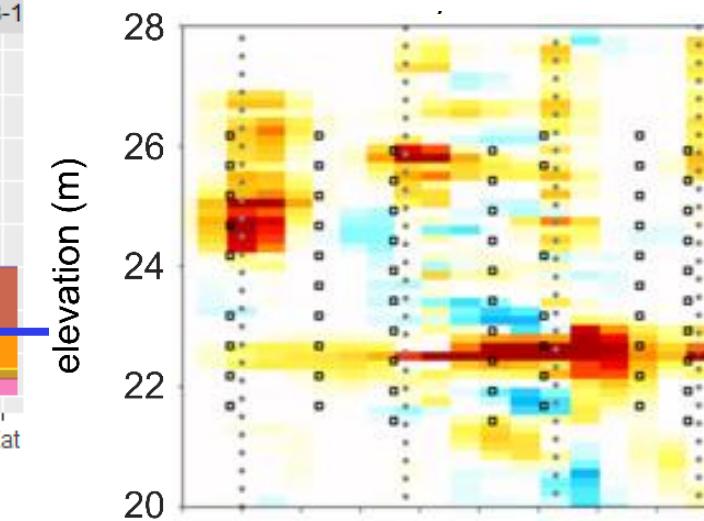
# Vandkemi og cross-borehole DCIP data: Rumlig udbredelse



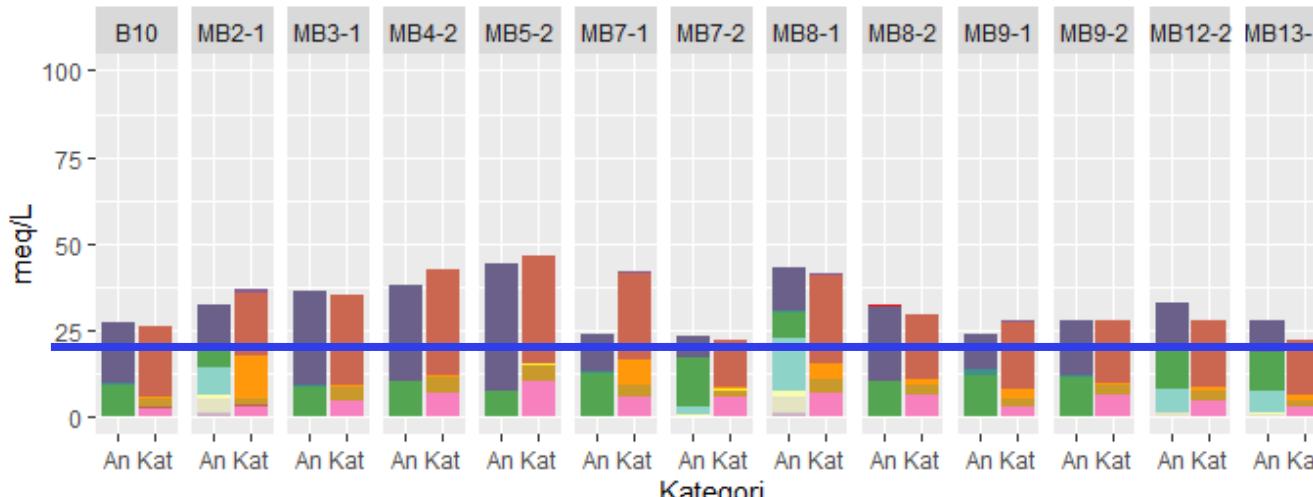
### Vandkemi + 90 dage (R6)



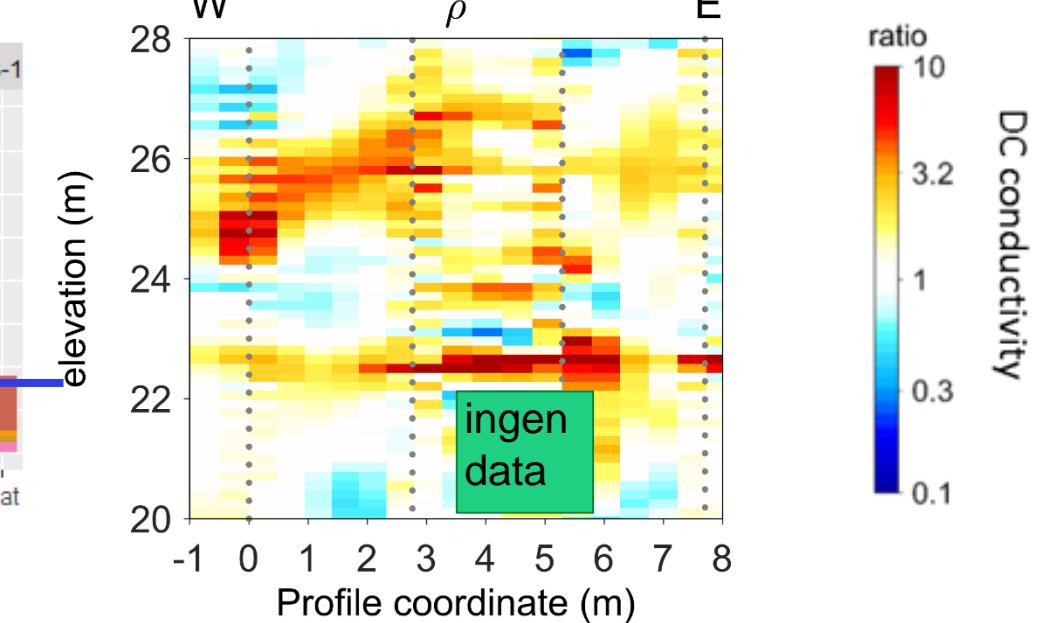
### DC konduktivitet ratio + 90 dage (R6)



### Vandkemi + 450 dage (R8)

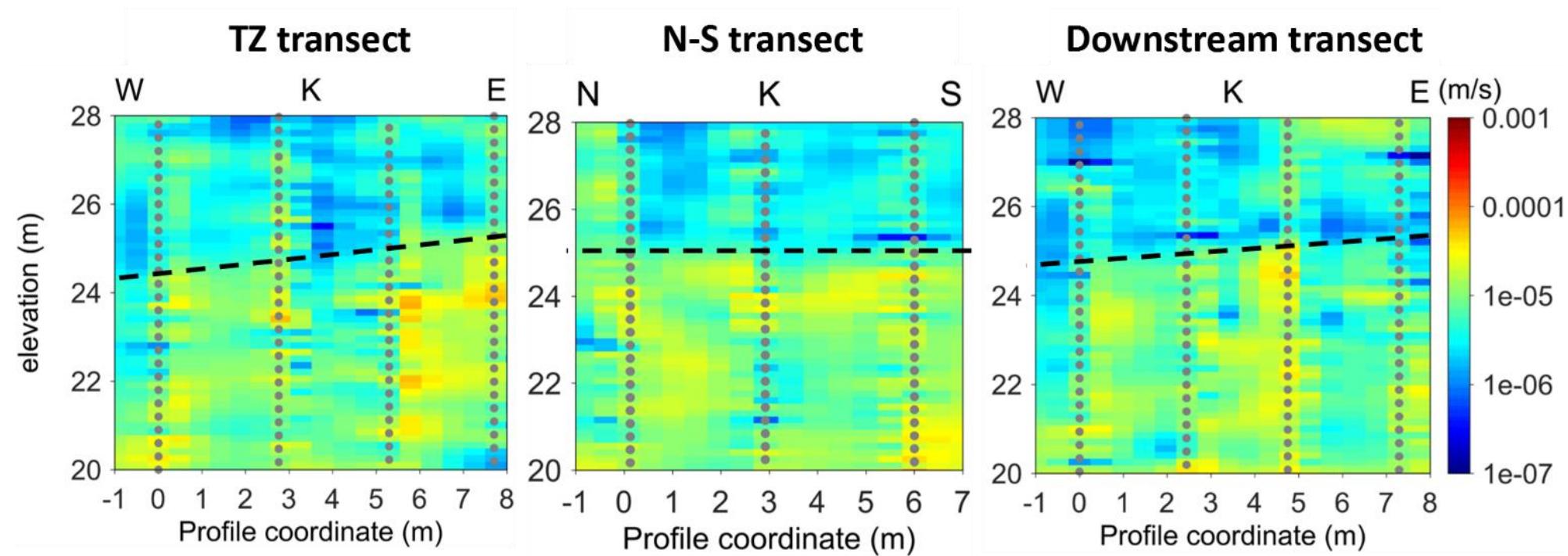


### DC konduktivitet ratio + 450 dage (R8)



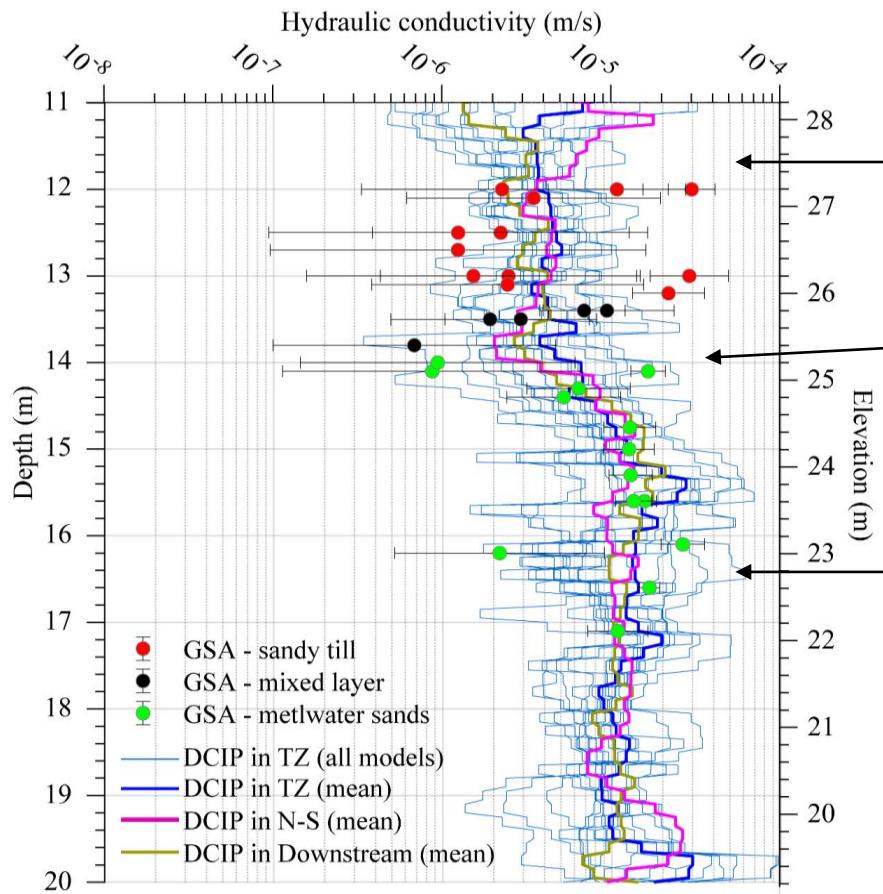
# Hydraulisk ledningsevne og DCIP målinger

Hydraulisk ledningsevne fra IP data

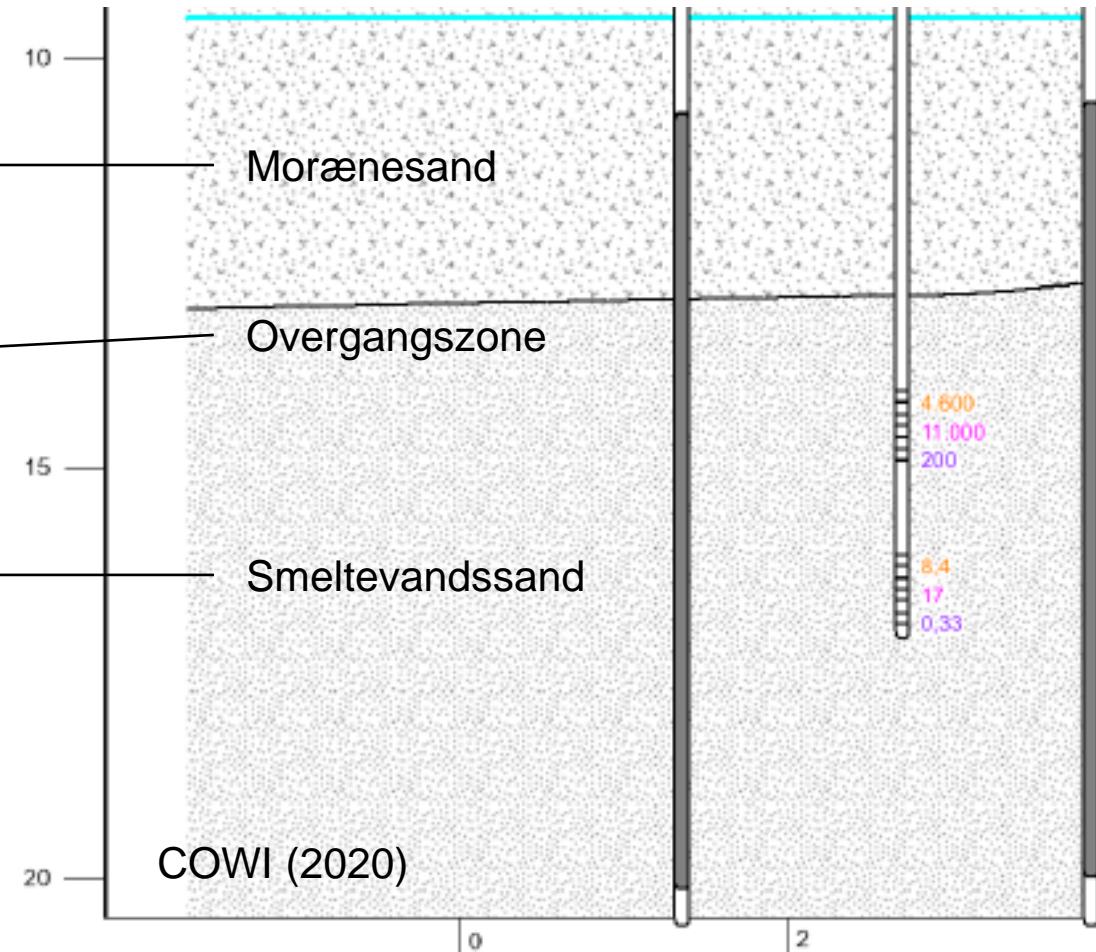


# Hydraulisk ledningsevne og cross-borehole DCIP: Hvordan stemmer det?

Horisontalt gennemsnit for K i  
behandlingszonen fra IP-data



Udsnit af geologi i behandlingszonen



# Konklusion

*„Cross-borehole DCIP: Kan det bruges til at planlægge og monitere in situ oprensning?“*

## Monitering

- *Ændringer i vandkemi kan relateres direkte til cross-borehole DCIP målinger*
- *Det er mulig at se meget detaljeret, hvordan det injicerede har spredt sig*
- *Udvikling over tid ses*

## Planlægning

- *Detaljeret rumlig fordeling af hydraulisk ledningsevne kan beregnes fra data*
  - *Brugbart i planlægnings- og fortolkningsfasen*
    - *kan også bruges til nøjagtig beregning af masseflux*
    - *Arbejde med K-værdier pågår*

# Projekt partnere

Pilotkala eksperiment med ZVI

- Kirsten Rügge, Torben Højbjerg Jørgensen, Morten Dreyer, Lærke Brabæk, COWI
- Neal Durant, and others, Geosyntec

Geofysisk monitering med cross-borehole

- Rasmus Thalund Hansen, Annika S. Fjordbøge, Poul L. Bjerg
- Léa Lévy, Thue Bording, Gianluca Fiandaca, Anders Vest Christiansen
- Bolette B. Jensen, Majken Looms, Copenhagen University

Projektleder

- Maria Hag, Nina Tuxen, Capital Region

Finansiering

- Capital Region
- Advokat Bent Thorbergs Fond

# Bonus

