

# Geo

SUBSURFACE EXPERTISE

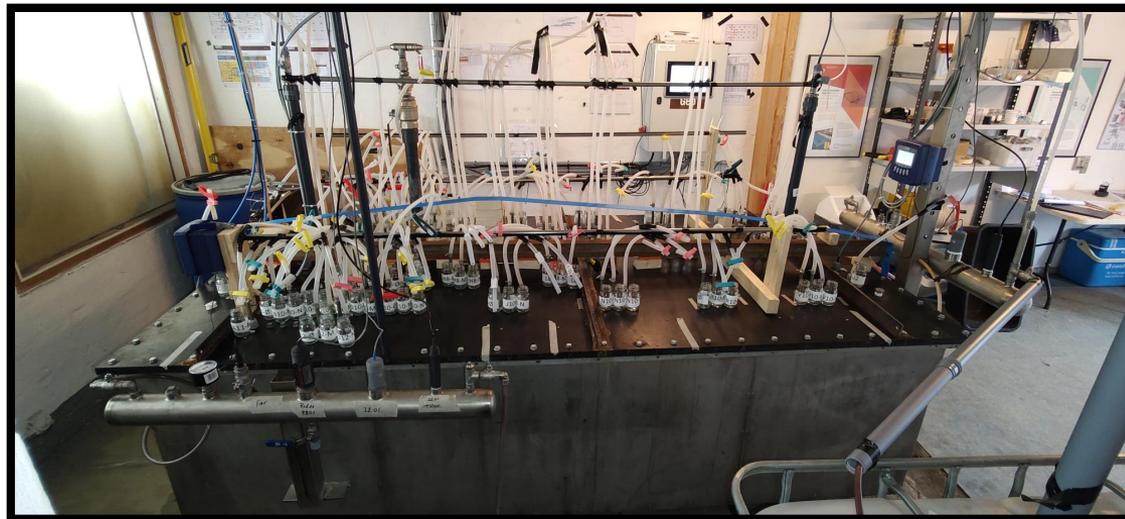
# Kan man skabe et kunstigt grundvandsmagasin?

- Erfaringer fra opbygning og udgravning af et kunstigt spændt grundvandsmagasin til in-situ oprensning af grundvandsforureninger

v/ geolog Anton Grønne Kühl, Geo

# Introduktion

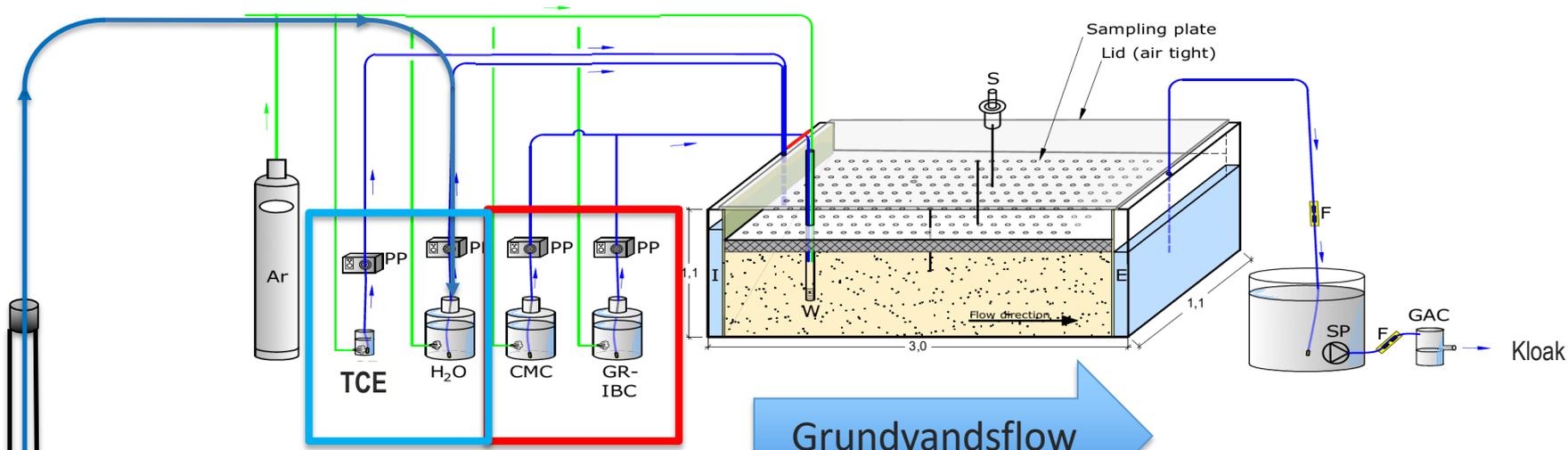
- Hvad var planen
- Opbygning af grundvandsmagasinet
- Injektion af reaktanter
- Resultater efter injektionen
- Udgravning af tanken
- Tolkning af resultaterne
- Perspektiv



# Planen

- Opbygning af et kunstigt spændt grundvandsmagasin
- Fyld magasinet med TCE forurenset Grundvand
- Grundvandsflow igennem tanken på 100m/år (opholdstid i tanken ca. 8 dage)
- Injicer reaktant (Grøn rust og pyrolyseret benmel) ned i tanken
- Krav til setup: iltfrie forhold i tanken og under injektion + inline filtrering af produkt ifm injektion
- Mål nedbrydningsprodukterne (for at bestemme 1% nedbrydning af TCE til Acetylen skulle TCE koncentrationen i grundvandet være  $700\mu\text{g}/\text{L}$ )
- Udgrav tanken og bestem udbredelsen af tilbageværende reaktanter.

# Opbygning af Grundvandstanken

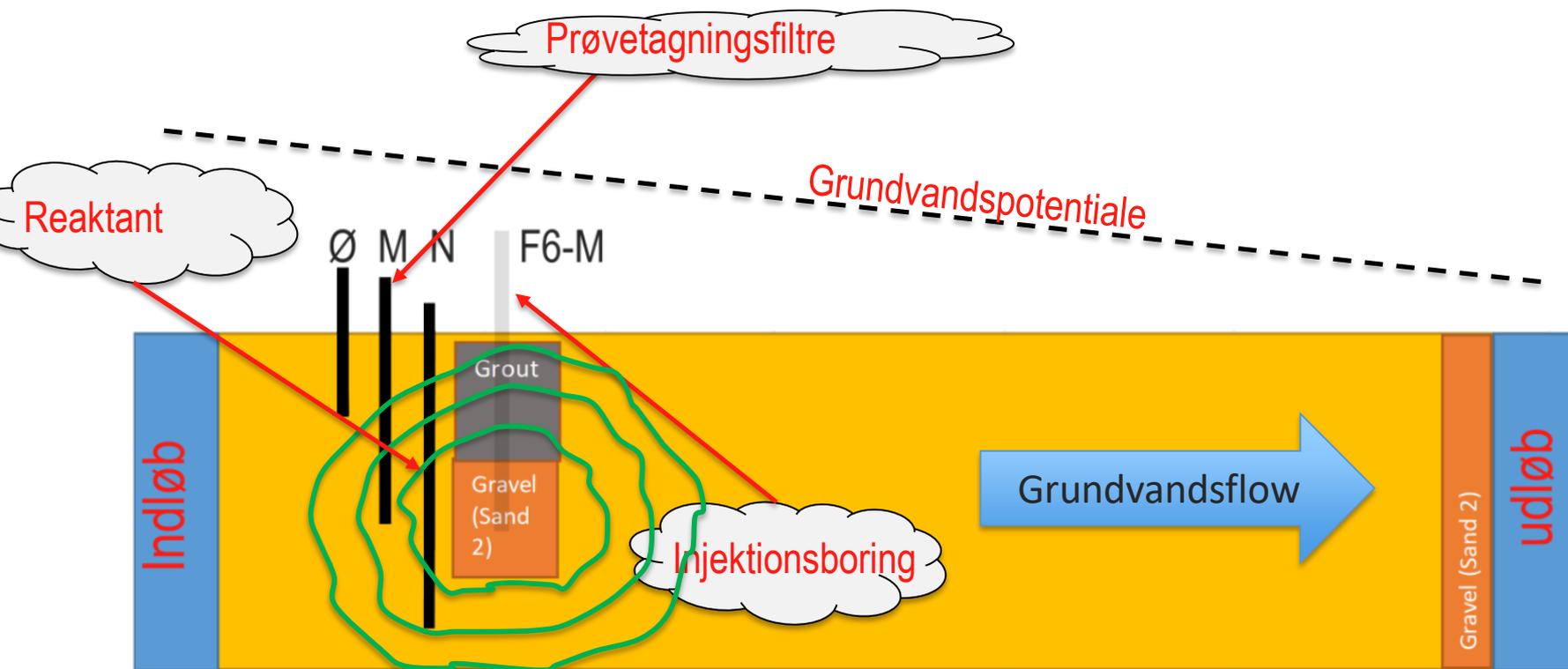


Grundvandsflow

- H<sub>2</sub>O: Water
- CMC: Carboxy methyl cellulose
- CE: Chlorinated ethens
- I: Influent chamber
- E: Effluent chamber
- GR-IBC: Green Rust - Bone Char solution
- F: Flow measurements
- P: Pressure measurement
- PP: Peristaltic pump
- D: Drilling (Filters in 3 levels)
- SP: Submersible Pump
- S: Syringe, sampling needle
- GAC: Carbon filter
- W: Injection well

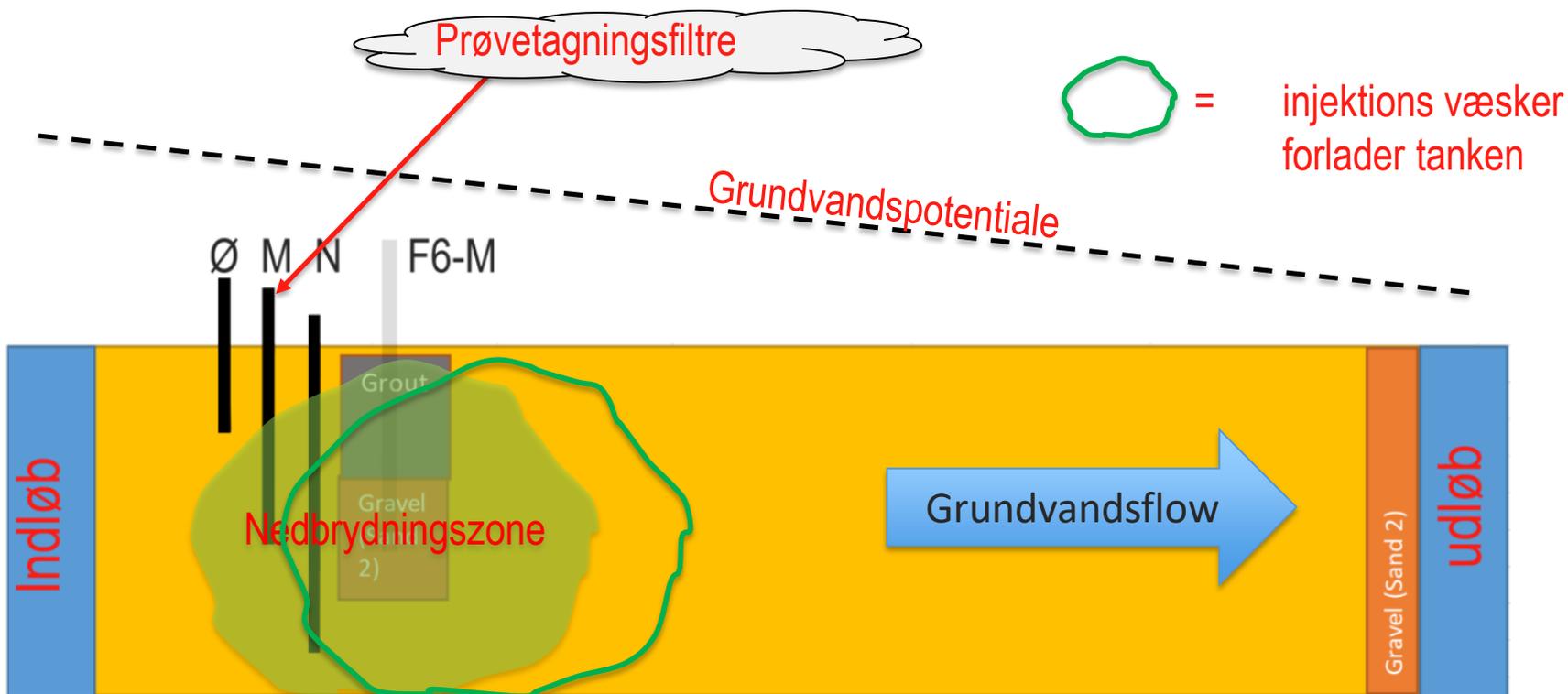
- Sand (Saturated zone)
- Bentonite
- Drainage mat
- Sparger

# Kunstigt spændt grundvandsmagasin – i tværsnit



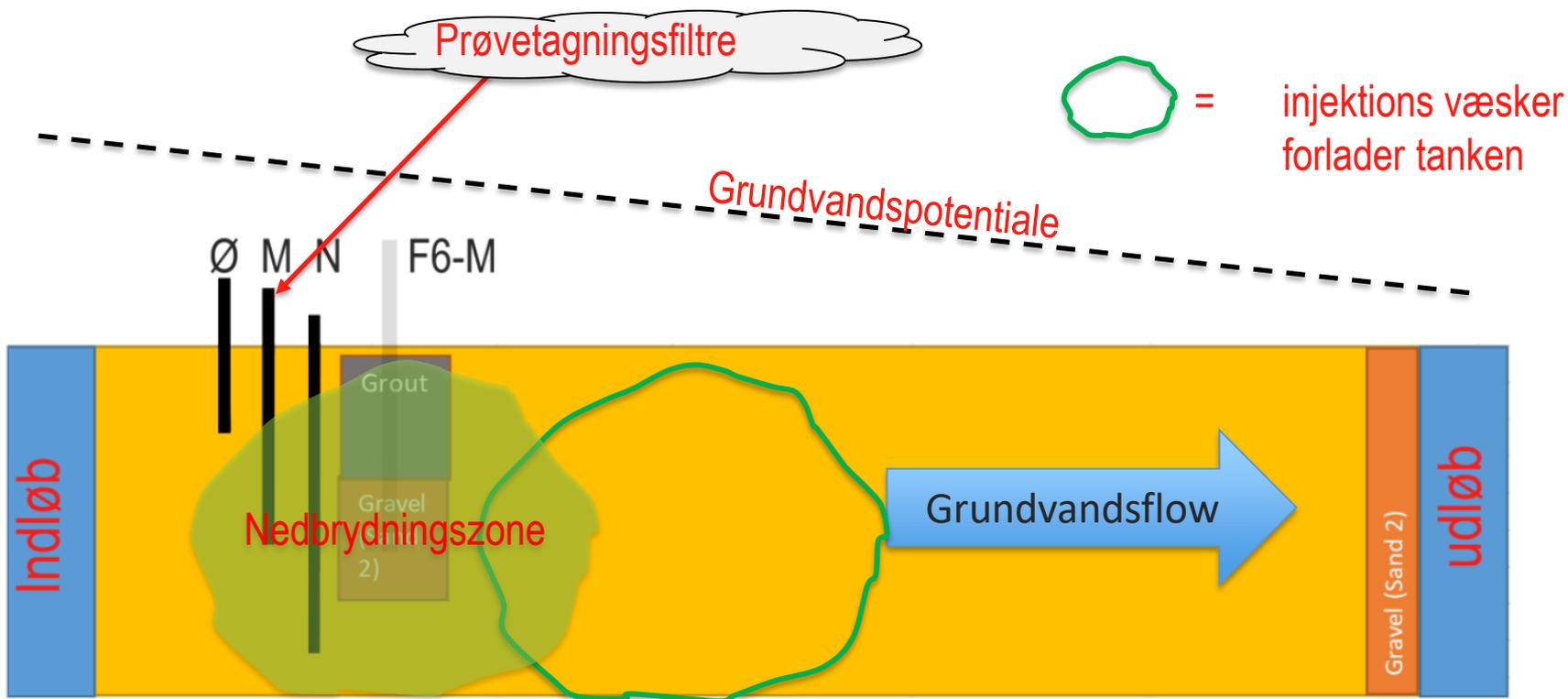
Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

# Kunstigt spændt grundvandsmagasin – i tværsnit



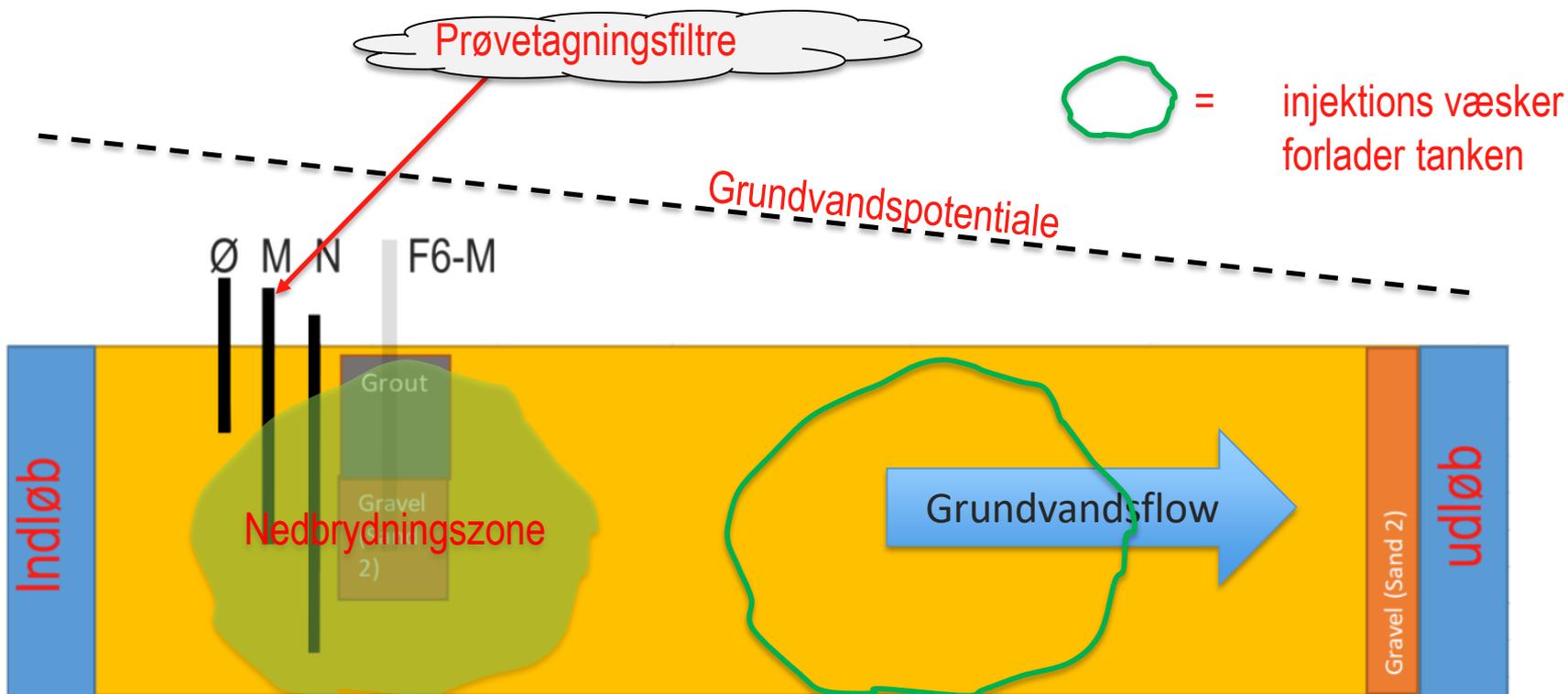
Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

# Kunstigt spændt grundvandsmagasin – i tværsnit



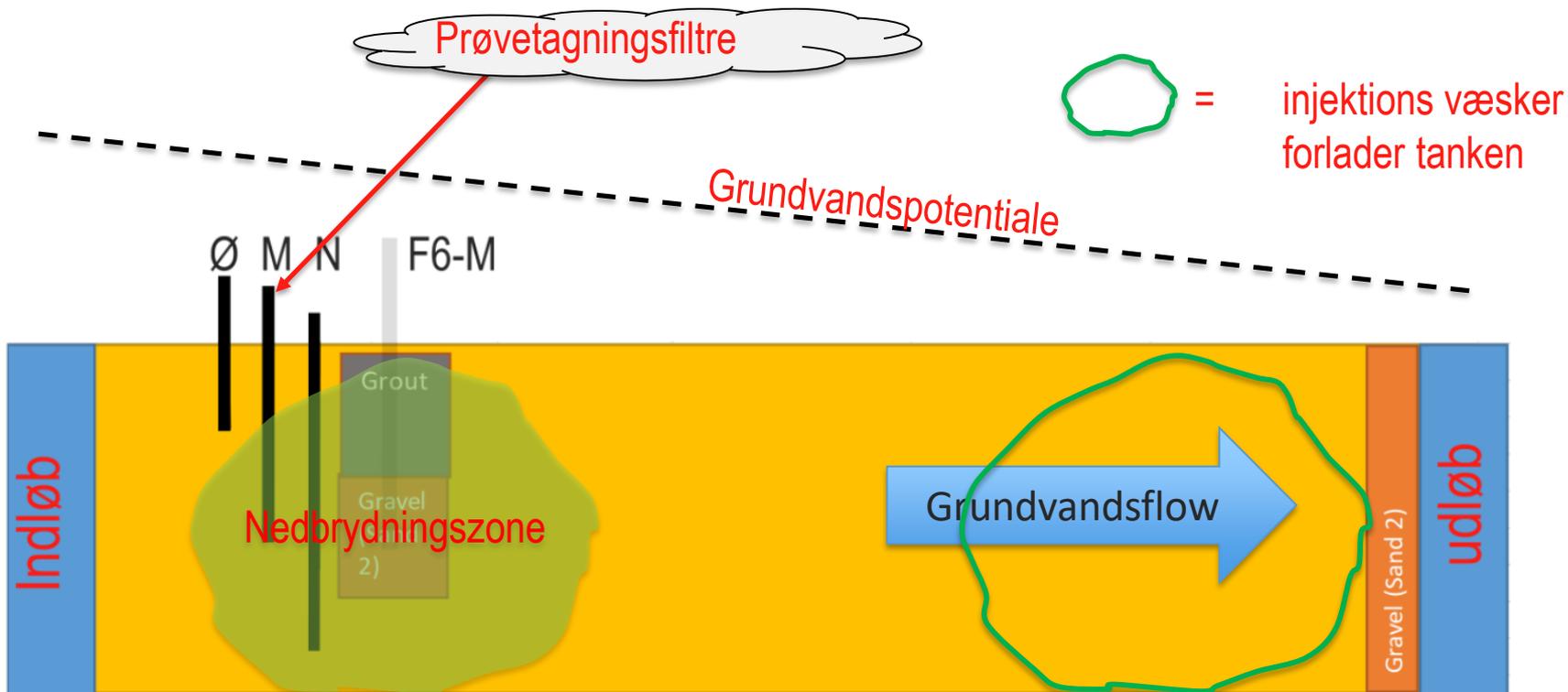
Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

# Kunstigt spændt grundvandsmagasin – i tværsnit



Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

# Kunstigt spændt grundvandsmagasin – i tværsnit



Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

# Opbygning af Grundvandsmagasin



Fotos from the room next to where the GreenCat tank are at the Innovation Garage. The polluted water comes into the facility through pipe A and the water to the greencat-project are taped from B, before the remediation-facility marked with a C,

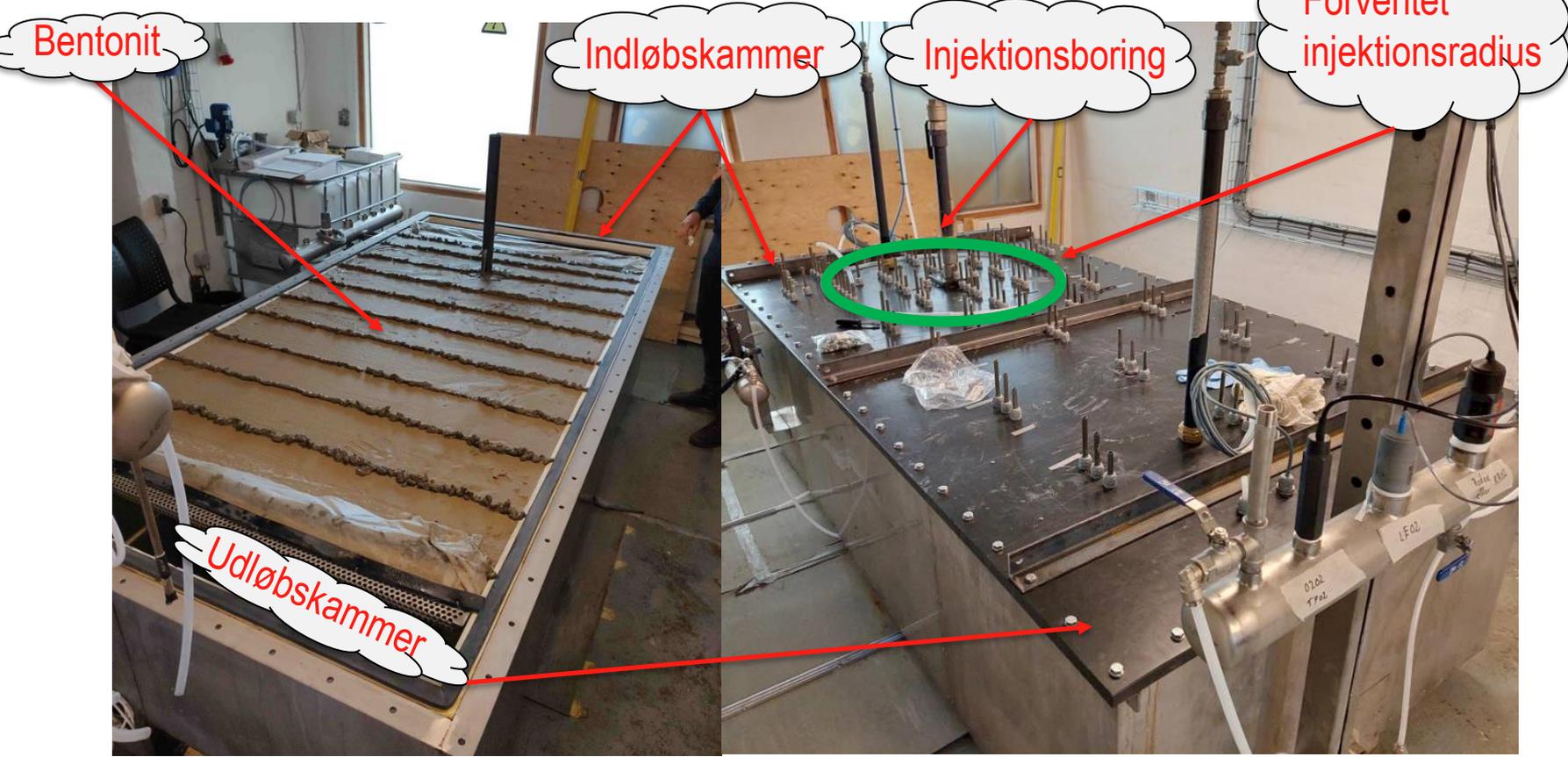
# Ankomst



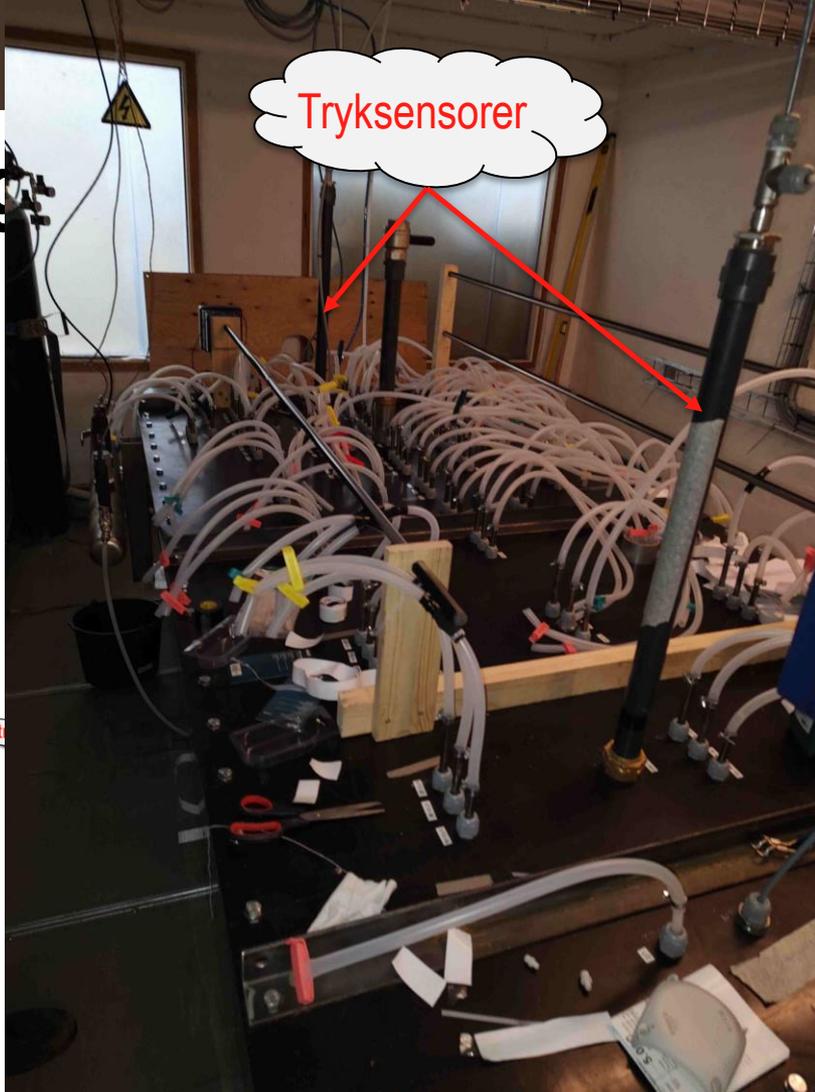
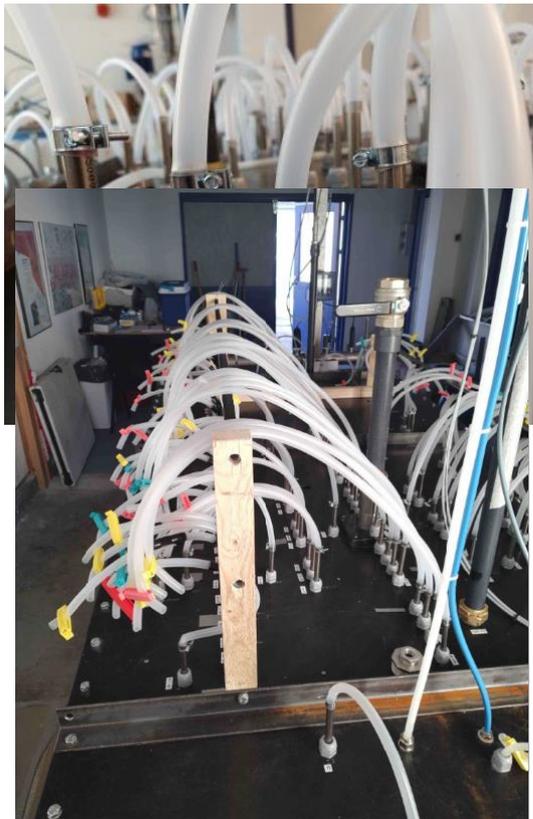
# Installation af injektionsbrønd



# Kunstigt spændt grundvandsmagasin - med og uden låg



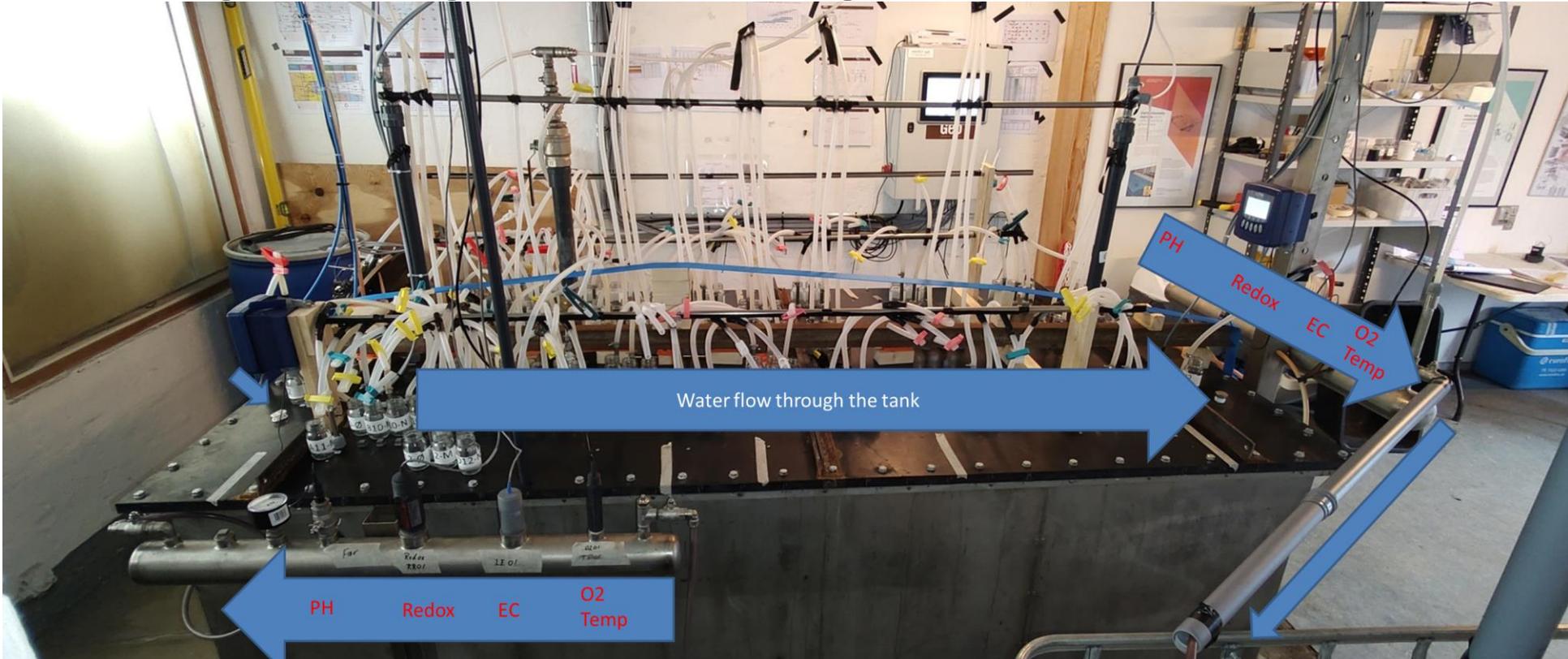
# Kunstigt spændt g



# d låg



# Flow igennem grundvandsmagasinet

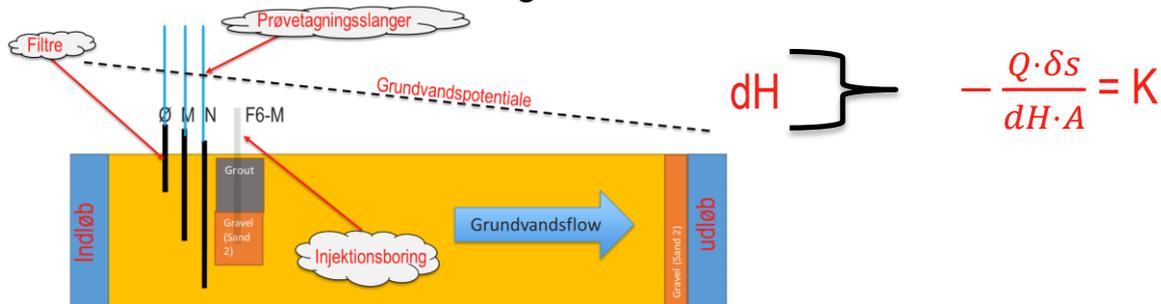




# Hydrauliske test af grundvandsflow igennem magasinet

- Målte grundvandsstanden på tværs af tanken og bestemte den hydrauliske ledningsevne
- Hydraulisk ledningsevne var alt for lav ift beregnet ud fra kornstørrelseskurven
- Salt tracer test i tanken →

Tilføjede salt til indløbet og startede pumpen – **Der kom IKKE saltvand ind i sandet...** Men da der kom saltvand i udløbstanken måtte der løbe vand under låget...



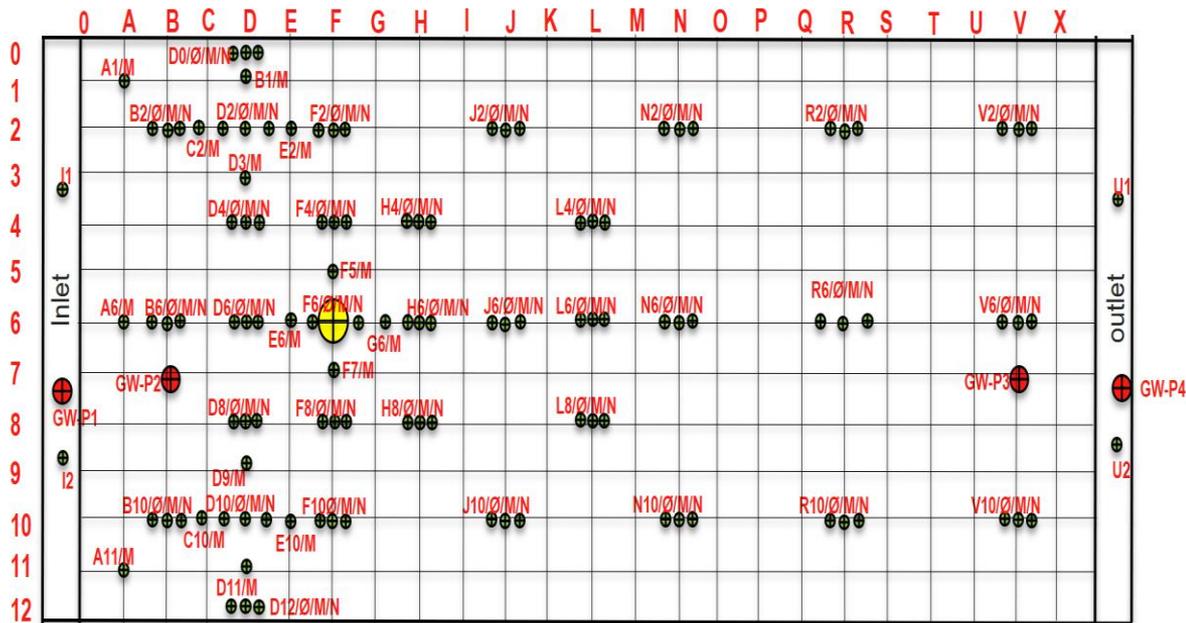
Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre

## Lifting the lid and adding bentonite below the lid



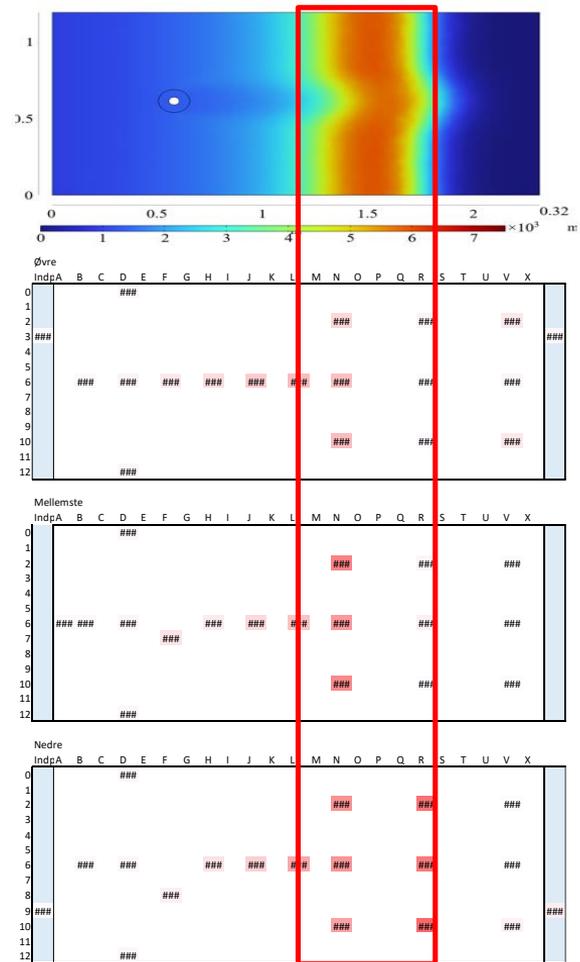
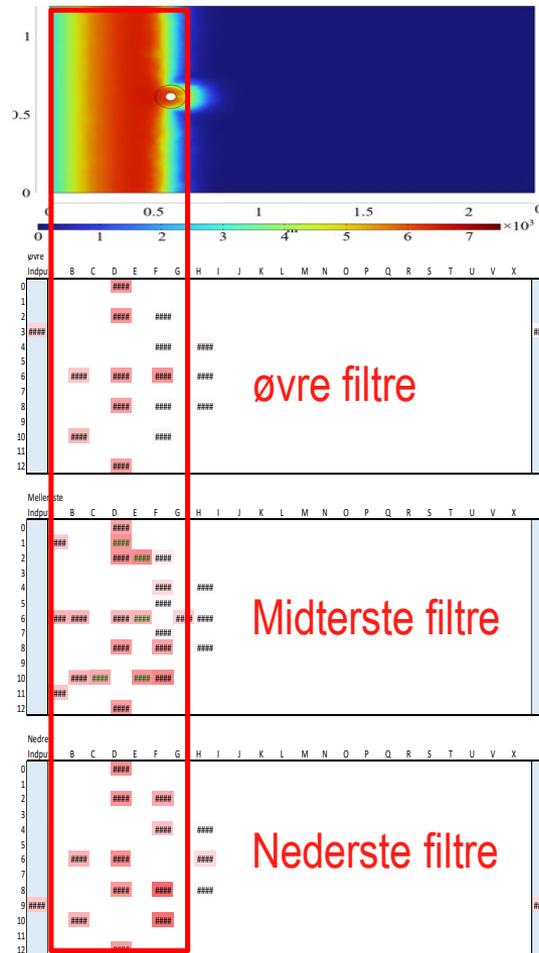
# Salt tracer og modellering af tanken

Tanken set fra oven



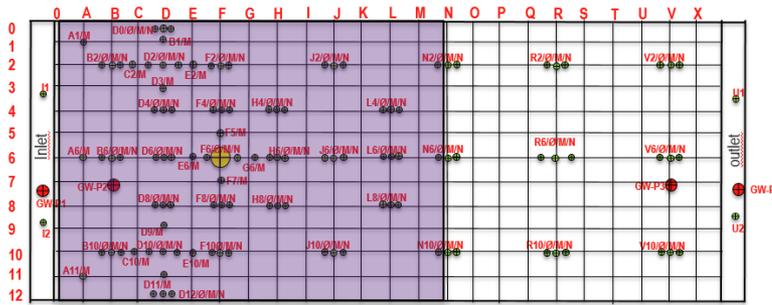
# 10 timers flowthrough

- Tracer test og model
  - Salt tracer pumpes igennem tanken
  - Saltvandet strømmer lidt hurtigere i bunden af tanken (bl.a. hvor gruskastningen er)



# Hydrauliske tests 2.0

- Hydrauliske ledningsevne i tanken = Hydraulisk ledningsevne bestemt ud fra kornstørrelsesanalysen
- Udførte salt tracer forsøg, for kalibrering af model for tanken.
  - Tilføjede NaCl til indløbstanken og tilførte grundvand til indløbet, så vandet blev skubbet igennem tanken.
  - Saltvandet strømmer en smule hurtigere i bunden og midten af tanken (igennem gruskastningen) hvilket passer godt med de modellerede resultater



# Jern(ii) i tanken

- Status is that the Iron concentrations are in redox equilibrium in the entire tank

Jern(ii) status efter  
38 porevolumner  
Grundvand igennem  
Tanken ( $27m^3$ )

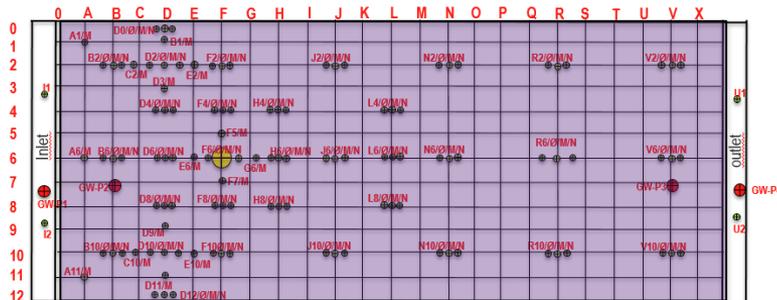
June after 20 porevolumens



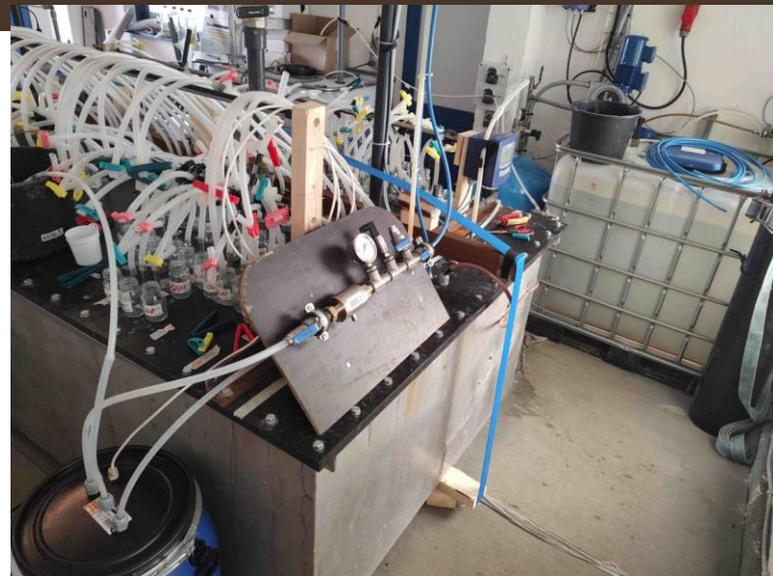
# Jern(ii) i tanken

- Nye problemer – Jern  $\rightarrow$  jernoxider  $\rightarrow$  tilstopning af udløb efter vakuum-brydere

Iron(ii) status after  
Flushing the tank  
with 65 porevolumes



# Test af injektion i tanken



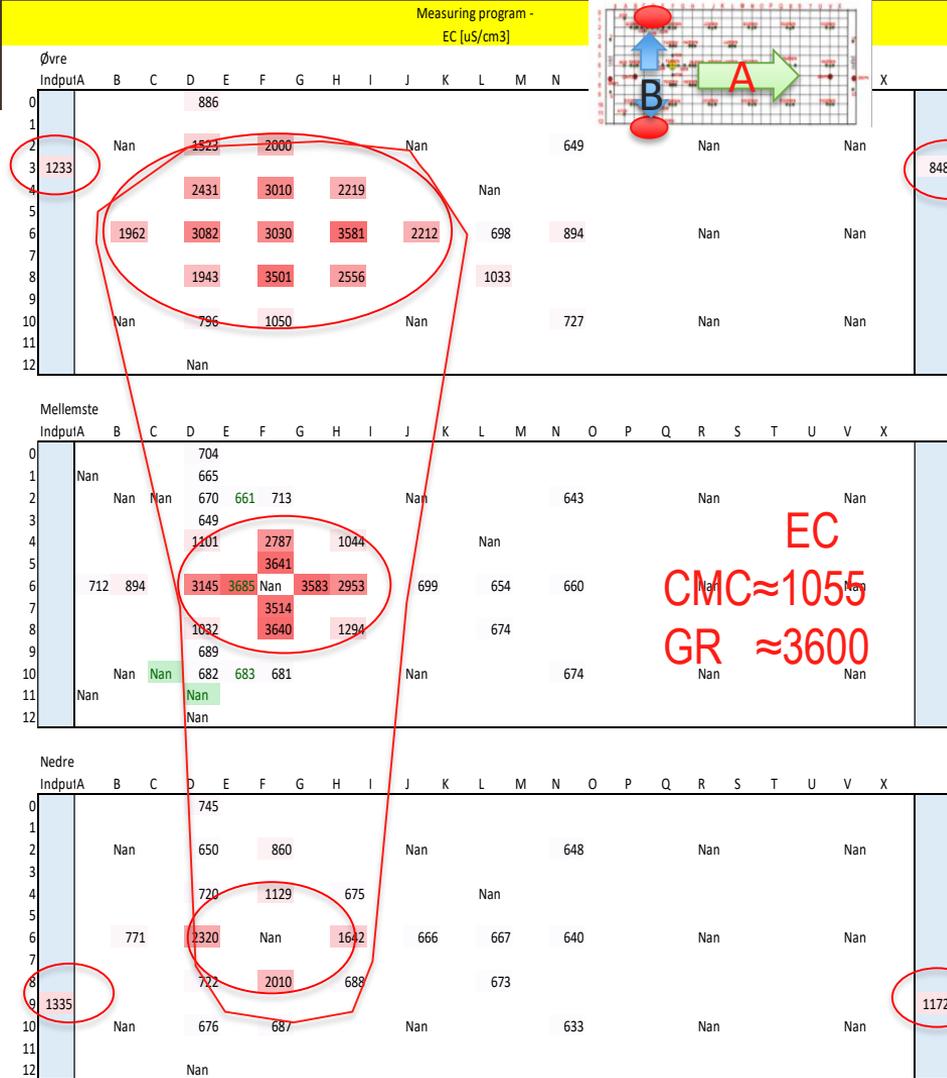


# Injektion af reaktanter

- Test injektion med NaCl

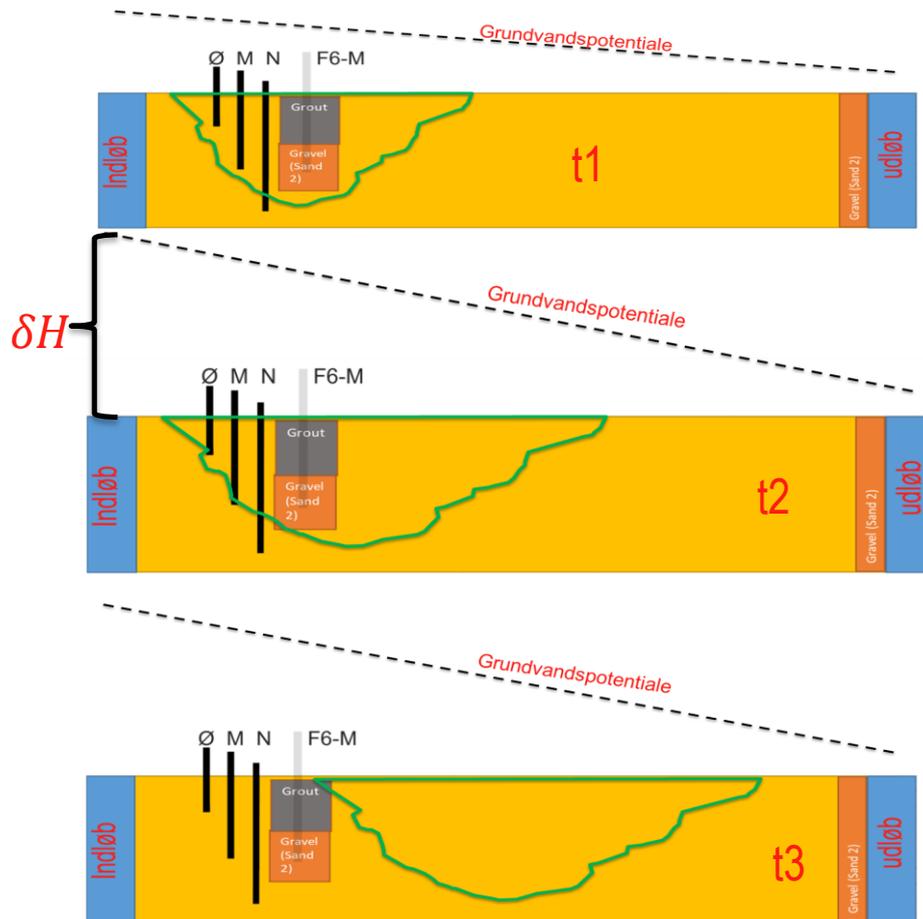


- Resultat af injektion af reaktanter



- Efter 700L igennem tanken var reaktanterne ikke ude af tanken endnu
- Ingen nedbrydning var observeret (Formodes at skyldes at grundvandet ikke kom i kontakt med reaktanten)
- Faldet i grundvandspotentialet på tværs af tanken var kraftigt steget efter injektionen, indtil de injicerede væsker var skyllet ud af tanken igen)

$$\delta H_{\text{efter injektion}} = 2,5 \cdot \delta H_{\text{før injektion}}$$





Top bentonite



Top sand (0 cm dybde)



7 cm dybde



22 cm dybde



30 cm dybde



33 cm dybde



**Top bentonite**



**Top sand (0 cm dybde)**



**7 cm dybde**



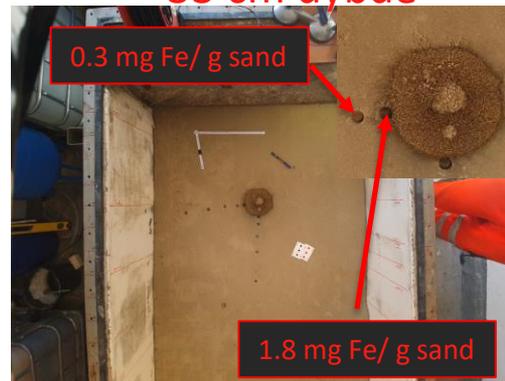
**22 cm dybde**



**30 cm dybde**



**33 cm dybde**



# Erfaringer

- Præferentielle strømninger og hydrauliske udfordringer efter injektion.
- Væsker trænger ud i konisk form: 36-51 cm øverst, 29-31 cm nederst.
- Heterogene hydrogeologiske forhold med reaktanter i tanken, homogene før og efter.
- Slapt PEH-låg bulede op og fangede luft/gas.
- GR+BC-blanding mistede reaktivitet, muligvis pga. CMC-coating.
- Begrænset fordeling af GR og præferentielt flow i øvre sandlag.
- Hydraulisk ledningsevne gendannet efter skylning, ingen permanent effekt.

# Næste gang tanken bruges

- Nyt låg eller mere forstærkning for at undgå buler.
- Undgå CMC for nemmere og billigere forsøg.
- Løbende data-visualisering under injektioner – på SRO.
- Direkte pumpe i brønden for at undgå stop eller brug vandhane vand hvis muligt.
- Prøvetagningspunkter lige under låg samt udlufter for afgangning af gas lige under låget.
- Klemmer til prøvetagningsslanger var unødvendige.
- NB det tager meget tid at tage mange præver 😊



# Hvad er det?

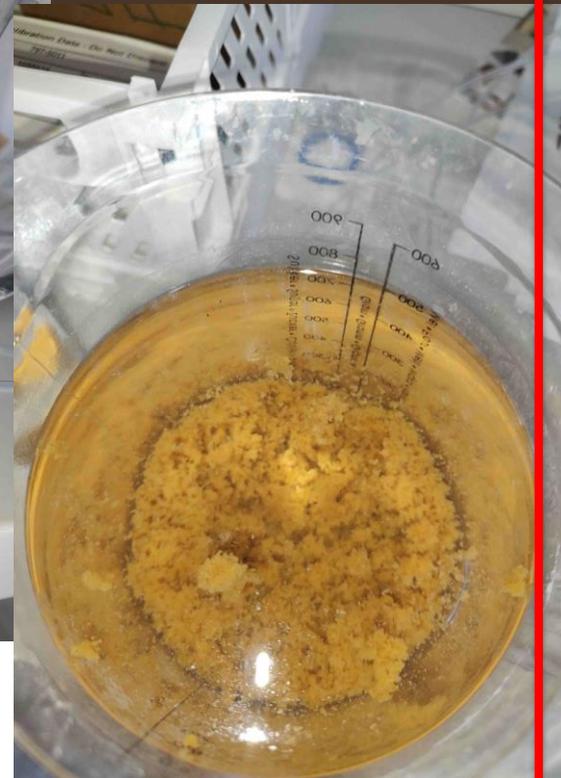
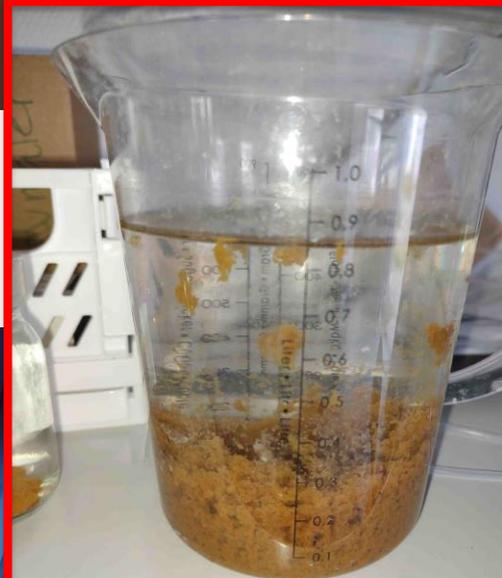
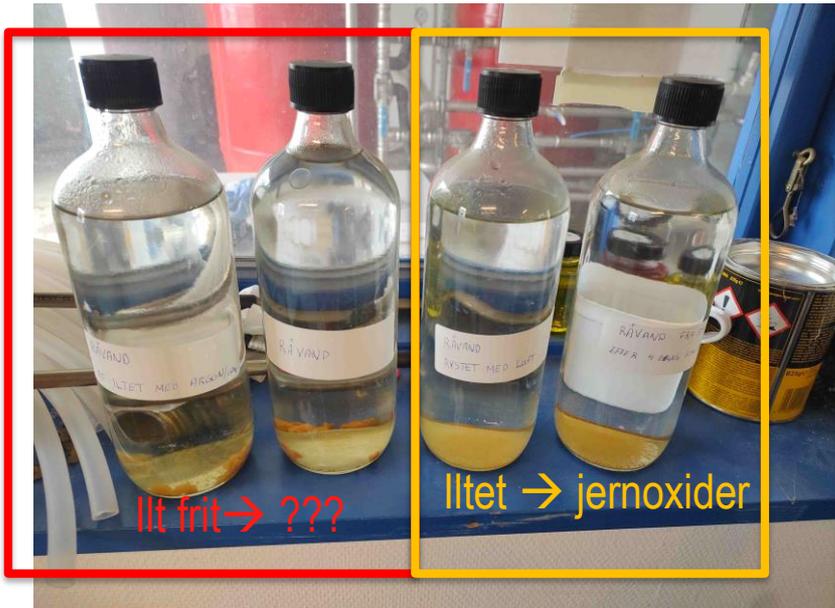




Figure 2. Syringe with extension tube to sample from within the tank

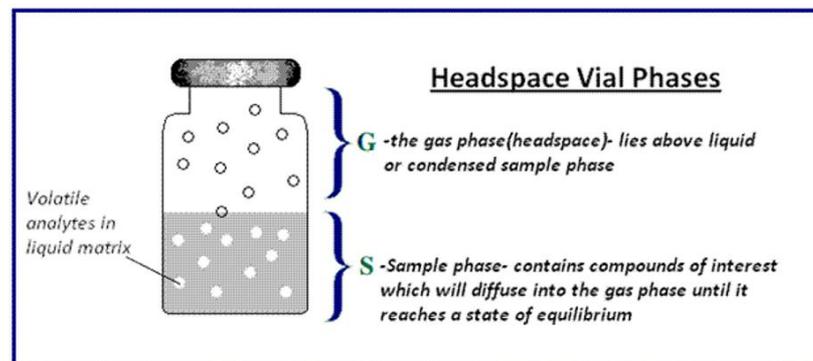


Figure 1. A typical Headspace Vial and explanation of the phases.



ANK@GEO.DK  
55,72813, 12,3995, 74,0m  
2024-06-21 13:29:14

# Reaktanter observeret i prøvetagningsglas

- Injection of Green Rust observed in groundwater samples from the tank



Inlet

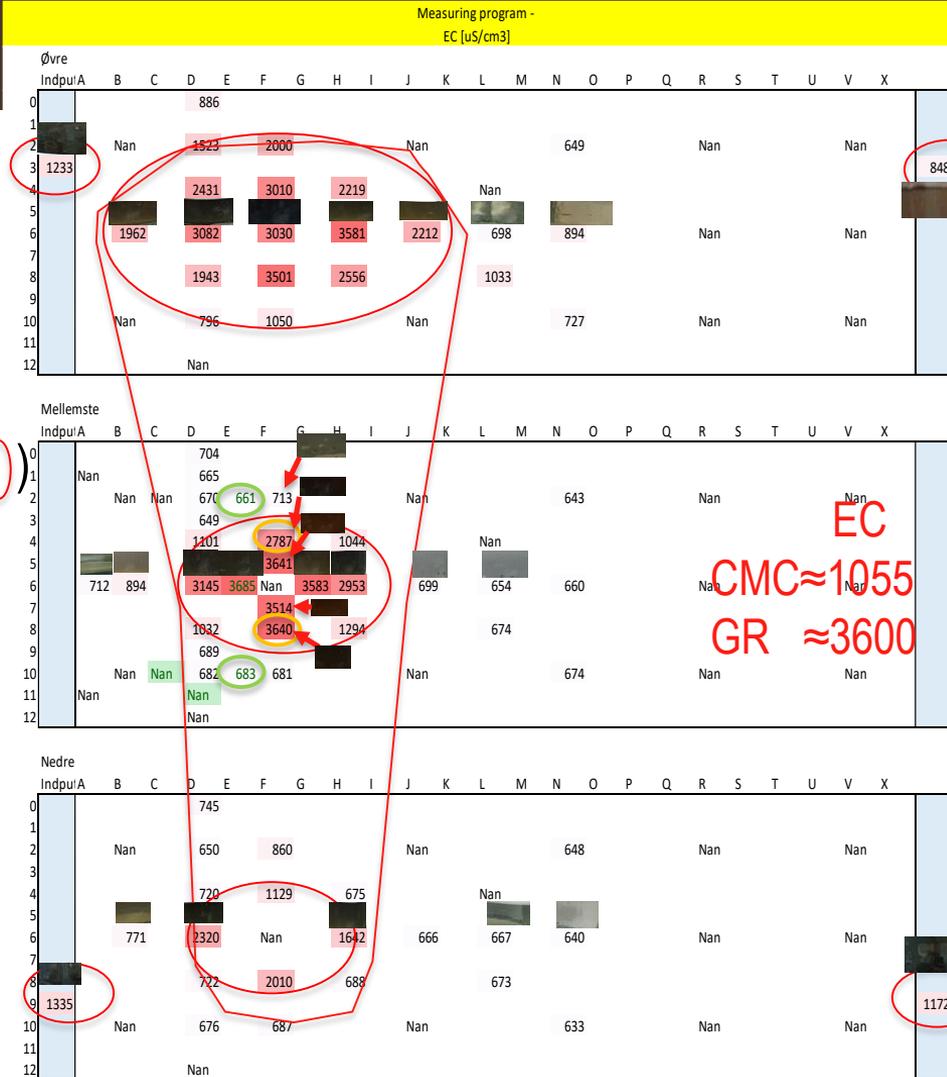
Outlet

# EC readings after injection

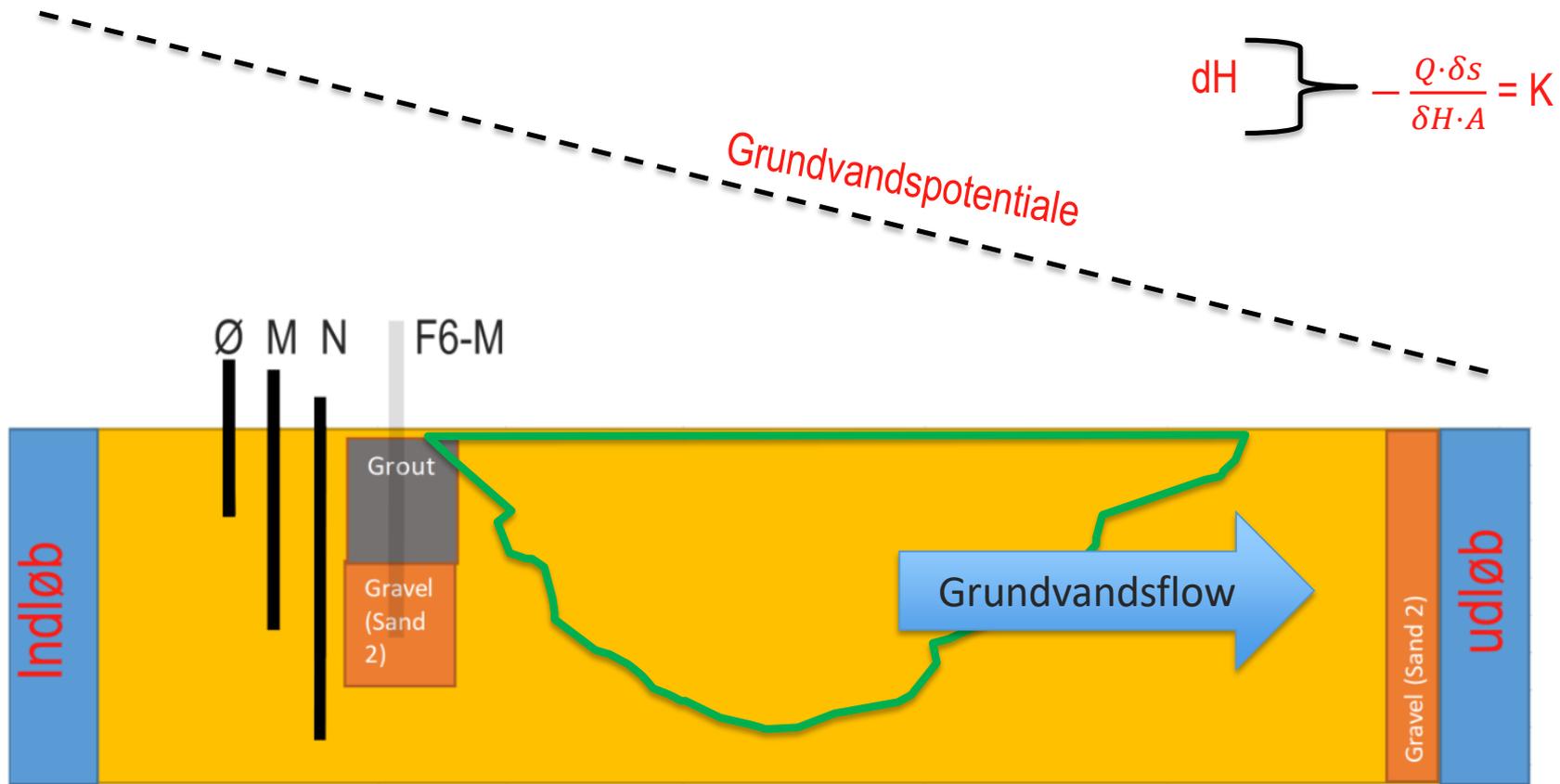
- Injection status:
- measured only EC (Elevated EC marked with  )
- Fotos of the samples plotted next to EC ->
- UV-vis measured 5% and 20% of the injected green rust in F4/F8 and E2/E10



Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre



EC  
CMC ≈ 1055  
GR ≈ 3600



Figur 1 Skematisk tegning af tanken set i tværsnit med en eksemplificeret visning af tre de installerede prøvetagningsfiltre