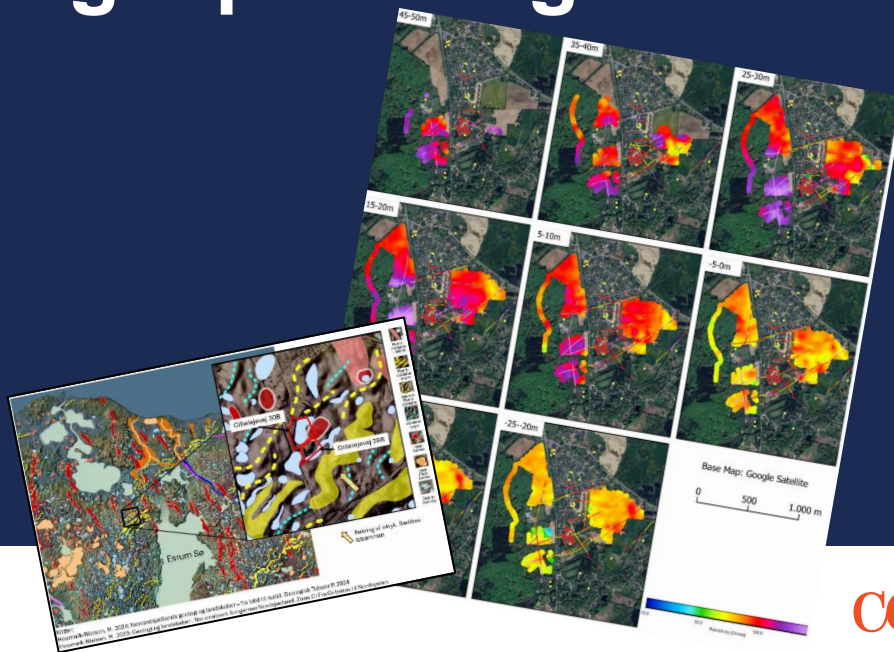
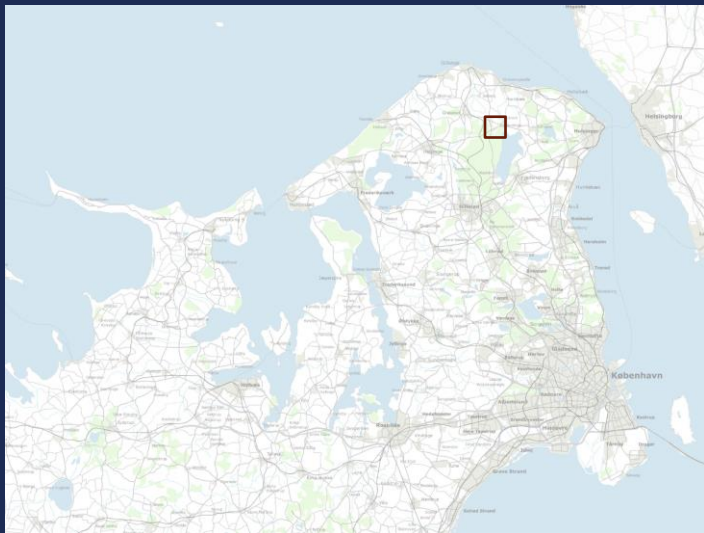


Brug af geofysik til tolkning af kompliceret geologi og forureningsspredning

Bo Tegner Bay, COWI
Kirsten Rügge, COWI
Bettina M. Olsen, DMR
Lotte Kjær Nielsen, Region Hovedstaden
Ane Weitling Korsholm, Region Hovedstaden

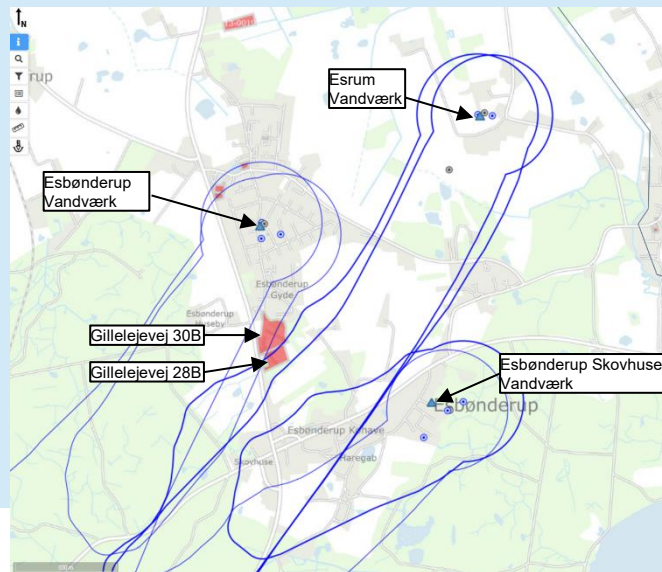


Baggrund

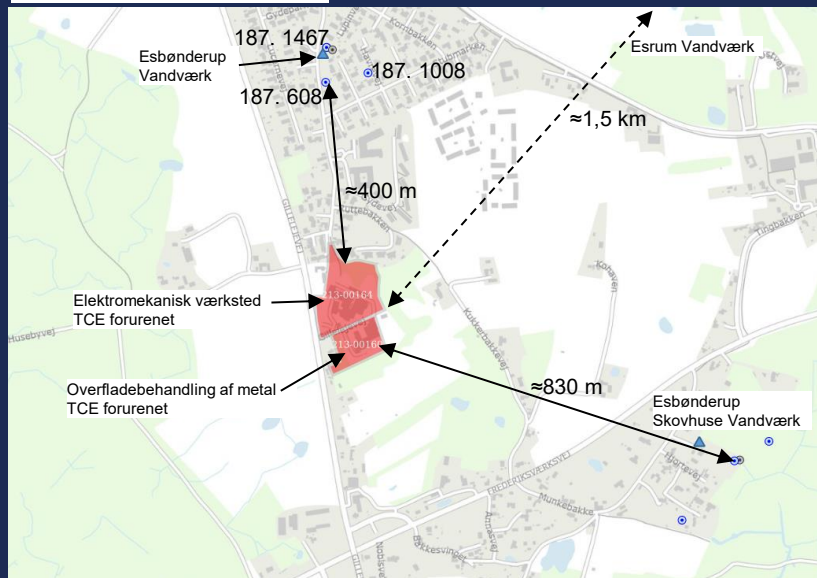


Placering

- 2 videregående undersøgelser for Region Hovedstaden
- Lokalteter placeret syd for Esbønderup Vandværk
- Placeret på grænsen mellem indvindingsoplandet til Esbønderup Vandværk og Esrum Vandværk

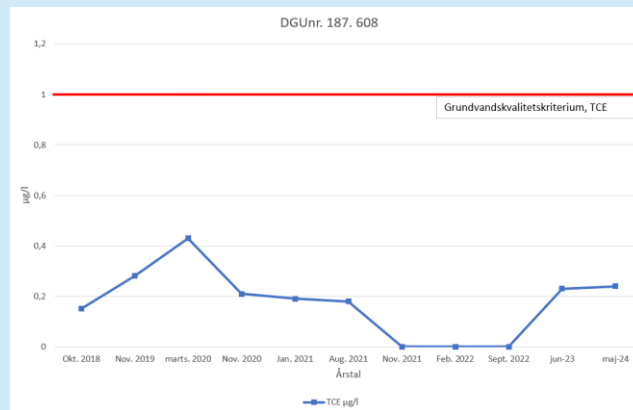


Baggrund



Formål med undersøgelse

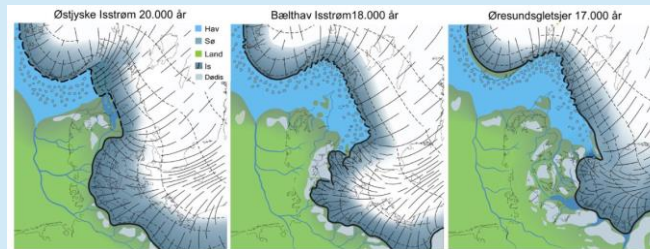
- Siden 2018 er der påvist TCE i indvindingsboring DGUnr. 187. 608 (Esbønderup Vandværk).
- Opgave: Er Gillelejevej 28B/30B kilden til det påviste TCE i DGUnr. 187. 608?
- Hvis ikke TCE forureningen på Esbønderup Vandværk stammer fra Gillelejevej 28B/30B, hvor løber forureningen fra Gillelejevej 28B/30B så hen? Truer den de andre nærliggende vandværker?



4

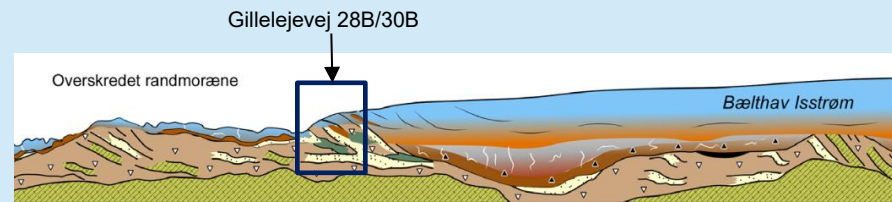
Bo Tegner Bay, COWI
ATV Vingsted 4. marts 2026

- Lokaliteterne er placeret i et morænelandskab, der er præget af formationer og aflejringer dannet under forskellige isfremstøb
- Gillelejevej 28B/30B vurderes placeret i et område, hvor en randmoræne fra Bælthav isstrømmen har aflejret materiale og trykket løs på de underliggende lag.
- De geologiske aflejringer i en randmoræne er komplekse med heterogene ler- og sandlag med opskudte og skråtstillede sedimentpakker, hvor simple geologiske modeller ikke kan anvendes.
- De komplekse (rødede) aflejringer kan skabe divergerende data om grundvandsstrømning og forureningsspredningsveje
- Skråtstillede lerlag kan fungerer som barrierer og kan adskille grundvandsmagasiner, der i første omgang syntes at være samme magasin

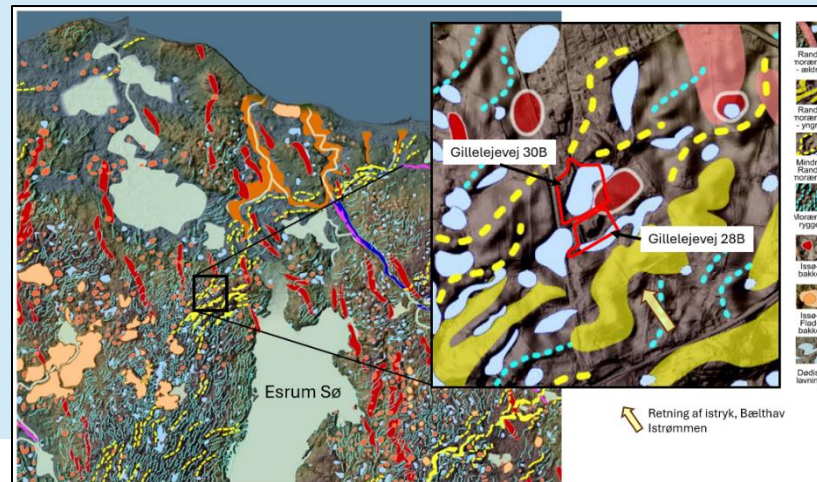


Sen Weichsel
(20.000-16.000 år siden)

Efter Houmark-Nielsen (2021).



Houmark-Nielsen, M. 2024: Nordøstsjælland's geologi og landskaber – fra istid til nutid. *Geologisk Tidsskrift* 2024

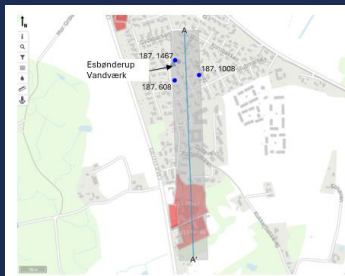


Kilder:

Houmark-Nielsen, M. 2024: Nordøstsjælland's geologi og landskaber – fra istid til nutid. Geologisk Tidsskrift 2024

Houmark-Nielsen, M. 2023: Geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland. Zone C: Fra Gribskov til Nordkysten

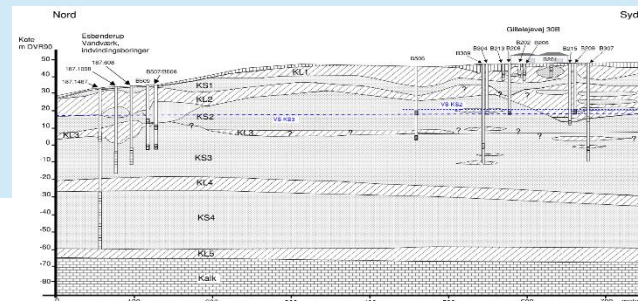
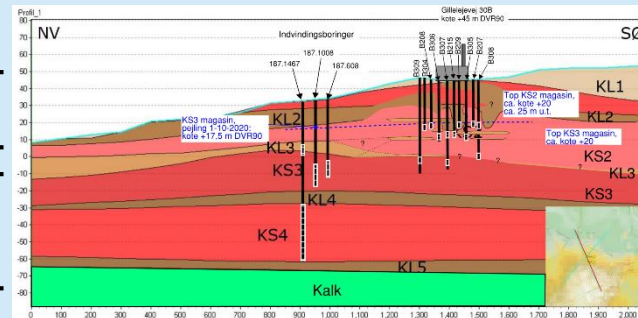
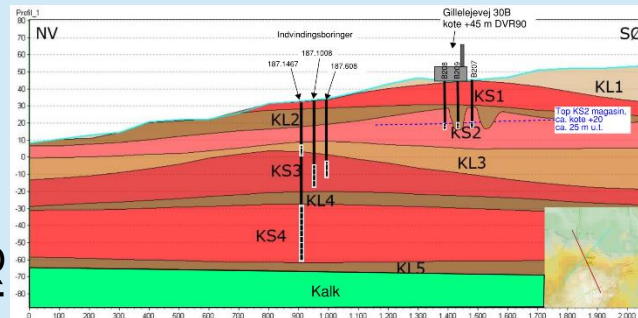
Geologisk forståelse



Esbønderup Vandværk har 3 borer:
 DGUnr. 187. 608 (KS3)
 DGUnr. 187. 1008 (KS3)
 DGUnr. 187. 1467 (KS4)



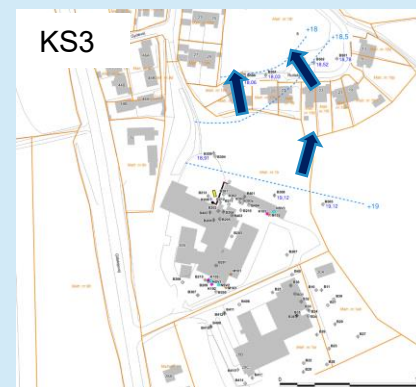
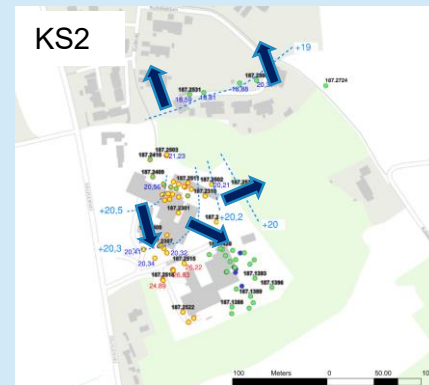
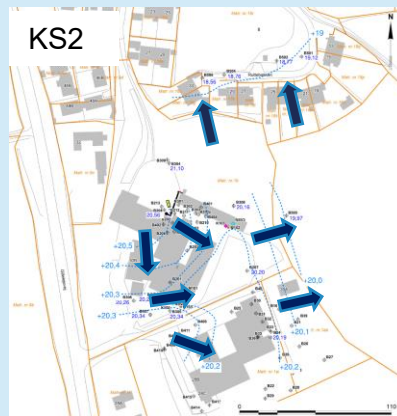
Mange konceptuelle modeller



Stigende vidensniveau
 ↓
 Stigende kompleksitet

6

Grundvandsstrømning/potentialekort



Omfattende undersøgelser

Undersøglesforløb:

- Poreluftundersøgelser (indledende kildeopsporing → 3 kilder)
- Korte borer (indendørs og udendørs) til KS1
- Geoprobe sonderinger
- Dybe borer til KS2 (ca. 20-30 m u.t.) og KS3 (ca. 40-50 m u.t.)
- Transekt af borer (transekt A og transekt B)
- Pumpeforsøg
- Pejlerunder..... Mange! → Muligt vandskel i KS2 sandmagasinet

Udfordringer: Flere kilder og muligt vandskel.
Hvilken vej vil forureningerne strømme?



Geofysiske undersøgelser



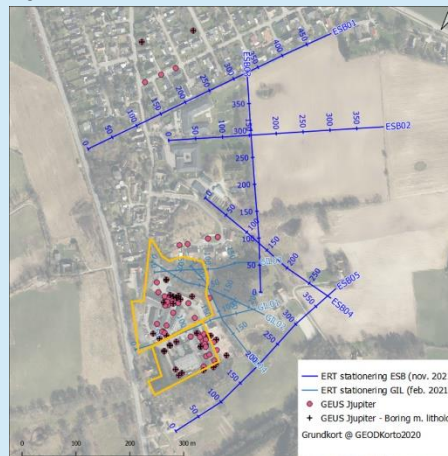
DCIP metode. Foto: Bargheer Geophysics



tTEM metode. Foto: Bargheer Geophysics

Geofysik (ERT/DCIP og tTEM)

2021



Udførte ERT målelinjer i området omkring lokaliteterne

2024/2025



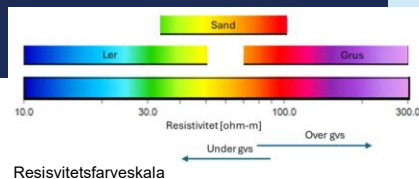
Overblik over undersøgelsesområdet. Rød viser tTEM målelinjer, gulviser tTEM data brugt i inversion, grøn viser DCIP målelinjer.

Metode	Måler	Styrke	Svaghed	Dybde
ERT	Resistivitet	Høj opløsning (meter-skala) nær overfladen	Tidskrævende; Følsom over for ledende overfladeobjekter (kabler, el-hegn)	20–60 m
DCIP	Resistivitet + polarisation	Høj opløsning (meter-skala) nær overfladen; skelner materialer bedre	Tidskrævende og mere følsom overfor elektrisk støj	20–60 m
tTEM	Transient elektromagnetik	Meget hurtig datadækning; god dybdepenetration; robust mod overfladeforstyrrelser	Lav opløsning nær overfladen	40–120 m

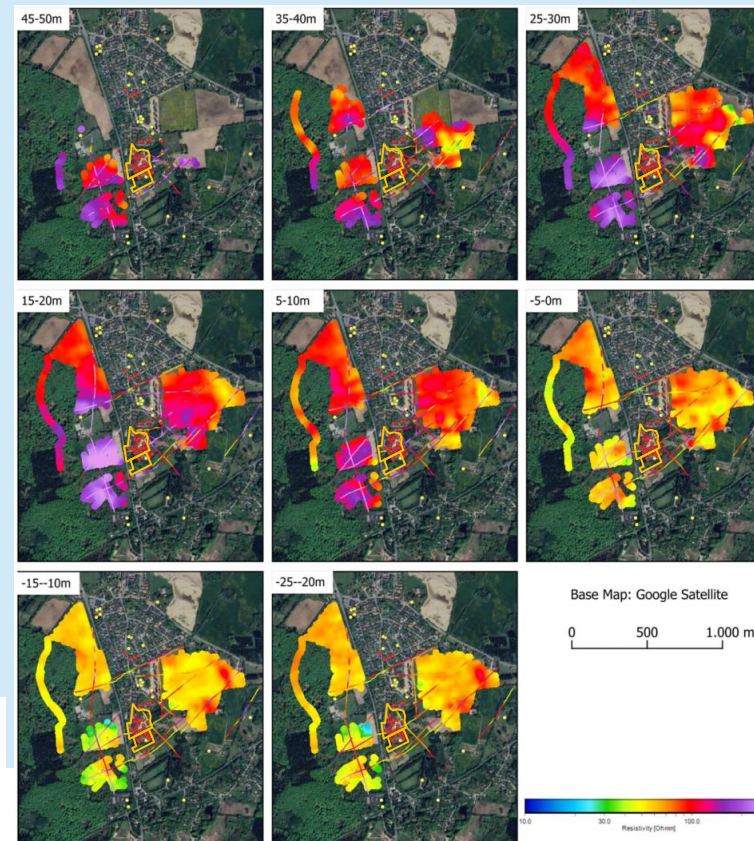
Geofysiske undersøgelser

Middelmodstandskort fra kote +50 m DVR90 til kote -25 m DVR90

- Kote +30 til +5: Stort modstand i et stort område mod vest fra $\approx$ sandmagasin (KS2)
- Kote -10 til -25: Lille modstand i bunden $\approx$ lerlag (lerlag mellem KS2 og KS3), men også indikationer på manglende lerlag

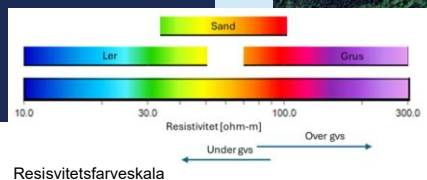


Resultater

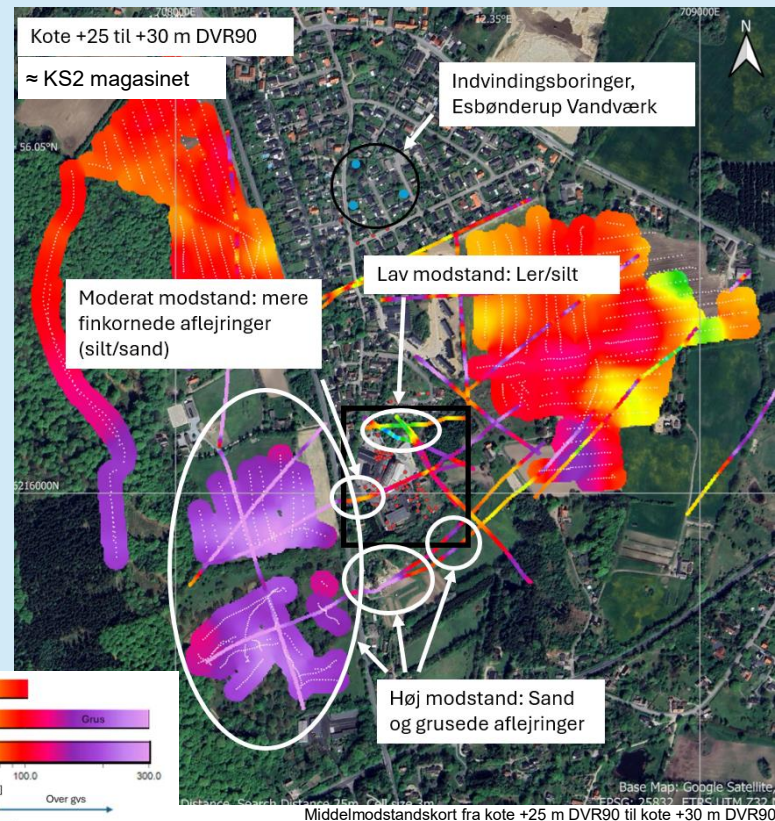


Geofysiske undersøgelser

- Lige nord for Gillelejevej 30B ses der aflejringer med lav modstand = ler/silt. Kan forklare hvorfor der ikke ses en forureningsspredning i denne retning
- Mod syd og et stort område mod vest ses der aflejringer med høj modstand = sand og grusede aflejringer. Mulig forureningsspredningsvej.
- De to grundvandsmagasiner KS2 og KS3 vurderes sammenhængende under Gillelejevej 28B og i flere områder rundt om lokaliteterne.

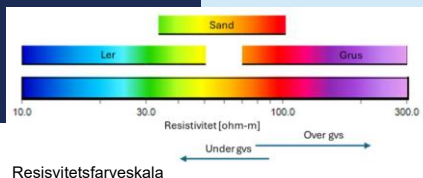
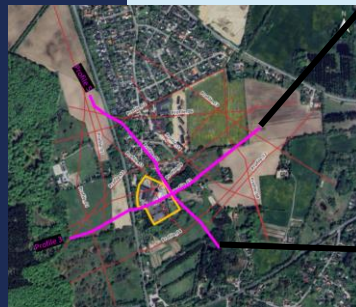


Resultater

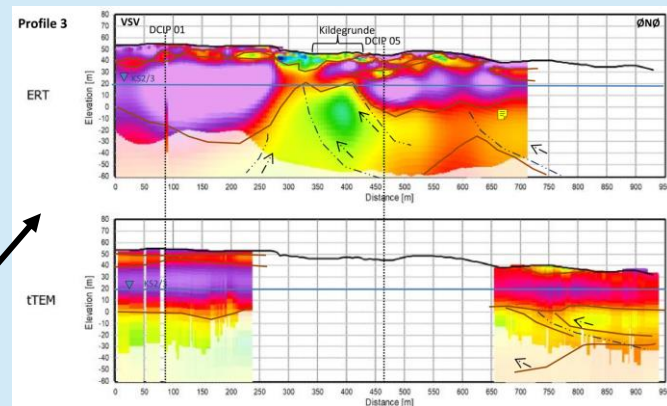


Geofysiske undersøgelser

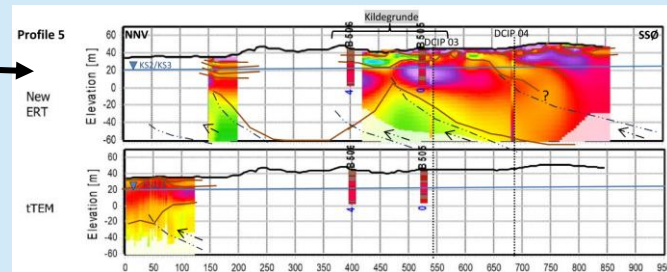
- tTEM og DCIP metoder giver højopløselige data, der kan afsløre dybe strukturer og kan hjælpe med at forstå forureningsspredning.
- Kan anvendes til at vurdere hvor der er behov for nye borerer til at undersøge for spredningsveje eller til at bekræfte geologi fra geofysik.
- Svaghed ved opløsning – kan ikke se mindre forskelle i geologi, f.eks. små sandlag i et lerlag.
- Profil 3 og 5: Opskudte lerflager i sandmagasinet



Resultater - profilsnit



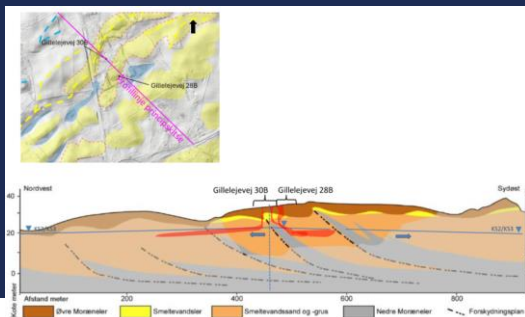
Figur: Bettina Olsen, DMR



Figur: Bettina Olsen, DMR

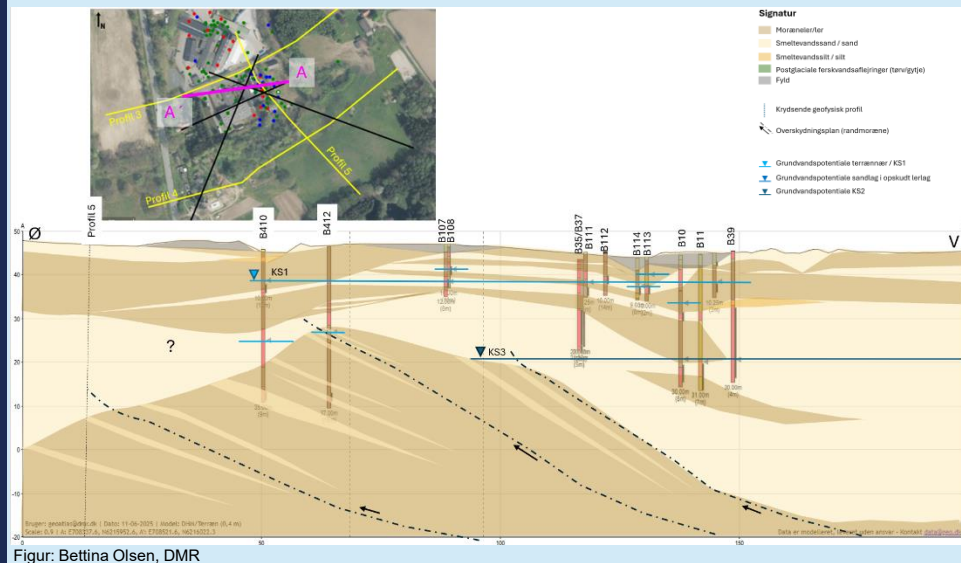
Tolkninger

- Opskudte lerflage fra randmorænen etablerer en barriere mellem de to lokaliteter og skaber usikkerhed om grundvandsstrømningens retning og karakter
- Kan forklare divergerende vandspejl i sandmagasinet KS2 og forklare vandskel mellem de to lokaliteter
- Kan være årsag til en forureningsspredning i flere retninger



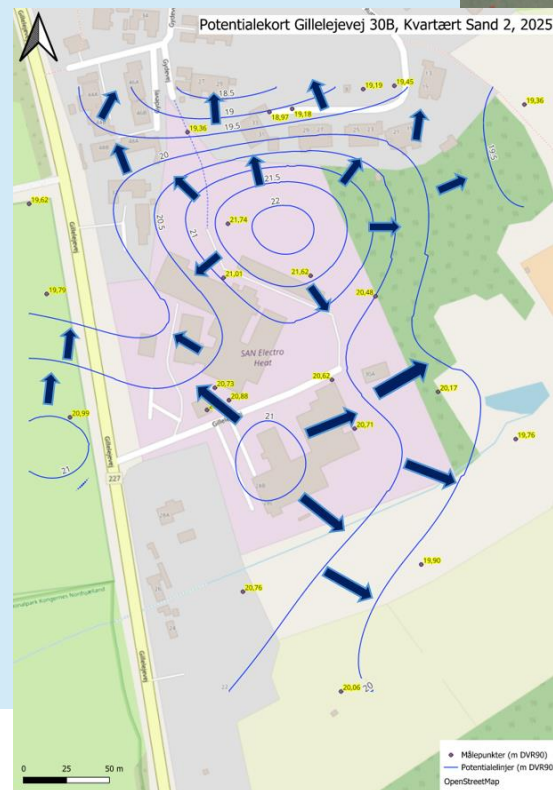
Principskitse

Tolkningsprofil



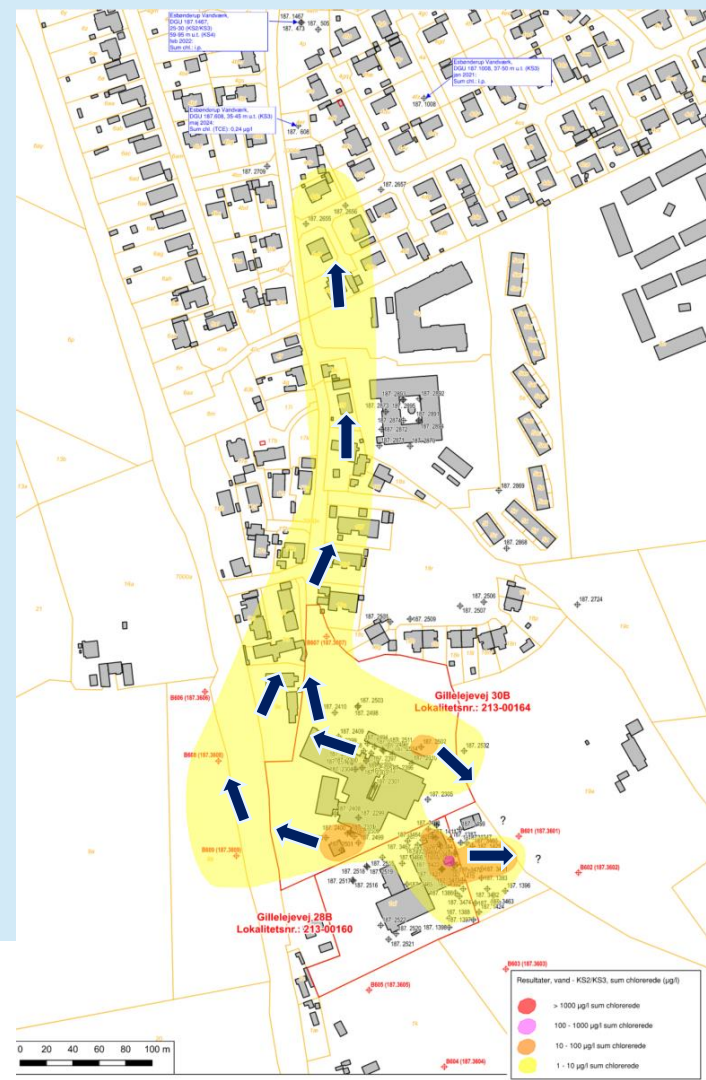
Nyeste resultater

- De geofysiske undersøgelser har hjulpet os til at placere 9 stk. dybe borer (B601-B609) i okt.-nov. 2025 optimalt rundt om begge lokaliteter
- Udarbejdet lokale potentialekort for KS2/KS3
 - Bekræftet vandskel mellem nr. 28B og 30B
 - Bekræftet geologi fra geofysik
 - Men..... Endnu vigtigere.....



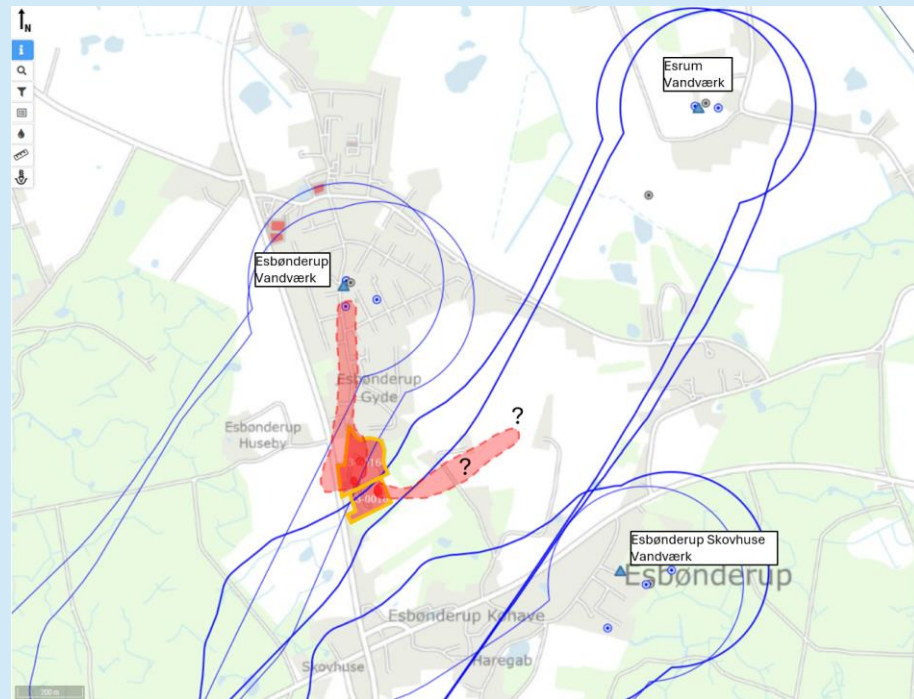
Nyeste resultater

- De geofysiske undersøgelser har hjulpet os til at placere 9 stk. dybe borer (B601-B609) i okt.-nov. 2025 rundt om begge lokaliteter
- Udarbejdet lokale potentialekort for KS2/KS3
 - Bekræftet vandskel mellem nr. 28B og 30B
 - Bekræftet geologi fra geofysik
 - Men..... Endnu vigtigere.....
- **Påvist at TCE indholdet i DGUnr. 187. 608 stammer fra Gillelejevej 30B, der først strømmer mod vest og herefter drejer mod nord**



Nyeste resultater

- De geofysiske undersøgelser har hjulpet os til at placere 9 stk. dybe borer (B601-B609) i okt.-nov. 2025 rundt om begge lokaliteter
- Udarbejdet lokale potentialekort for KS2/KS3
 - Bekræftet vandskel mellem nr. 28B og 30B
 - Bekræftet geologi fra geofysik
 - Men..... Endnu vigtigere.....
- Påvist at TCE indholdet i DGUnr. 187. 608 stammer fra Gillelejevej 30B, der først strømmer mod vest og herefter drejer mod nord
- **Indikationer på en spredning fra Gillelejevej 28B mod øst og muligvis true Esrum Vandværk.**



Tak for opmærksomheden

Spørgsmål?

