

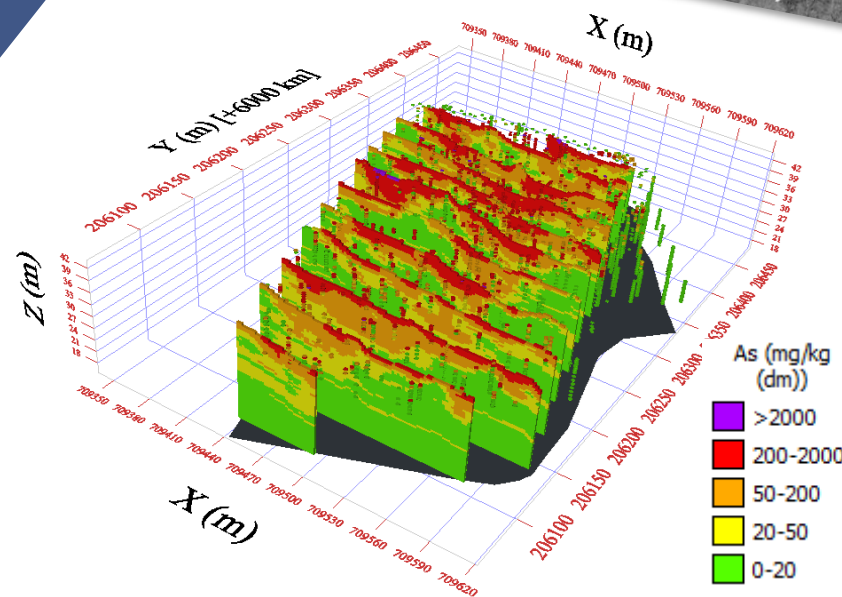
(Næsten) alle kan lære noget af Collstrop-sagen:

- Kvartær geologi der batter
- Fluxbetragtninger for kraftigt adsorberende stoffer
- Perspektiver til PFAS-forureninger
- ... og meget mere

Per Loll, Anders L. Vendelboe og
Bettina M. Olsen, DMR

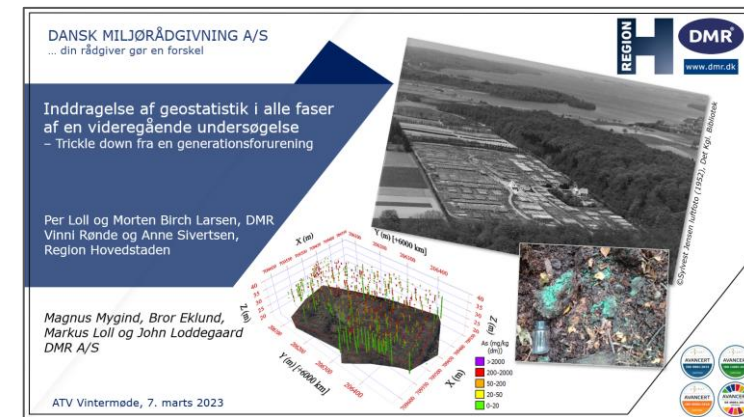
Vinni Rønde, NIRAS (tidl. RH)
Anne Sivertsen, John Flyvbjerg og
Nina Tuxen, Region Hovedstaden

ATV Vintermøde, 5. marts 2025



Mine refleksioner omkring dette indlæg

- I 2023 holdt jeg et indlæg om anvendelse af geostatistik på Collstrop ... midt i undersøgelsesforløbet (mellem fase 2 og 3).
- Nu er undersøgelserne på selve Collstropgrunden færdige og afrapporteret i en foreløbig version.
 - Vi mangler risikovurderinger ift. påvirkning af det omkringliggende miljø, strategier for fremadrettet overvågning og mulige afværgescenarier (ongoing).



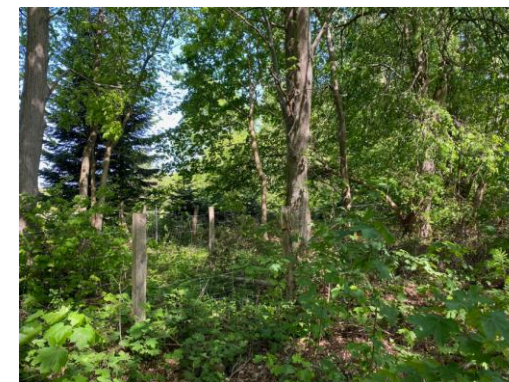
Store sager og "fugle på taget"

- ➡ Fuglene der landede i hånden på Collstrop
- Der er rigtig mange data (*så mange data får jeg aldrig*)
- ... og det vi alle kan lære



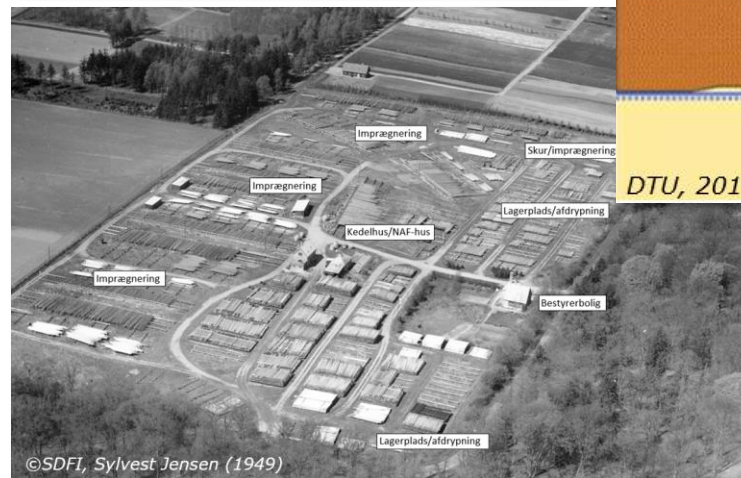
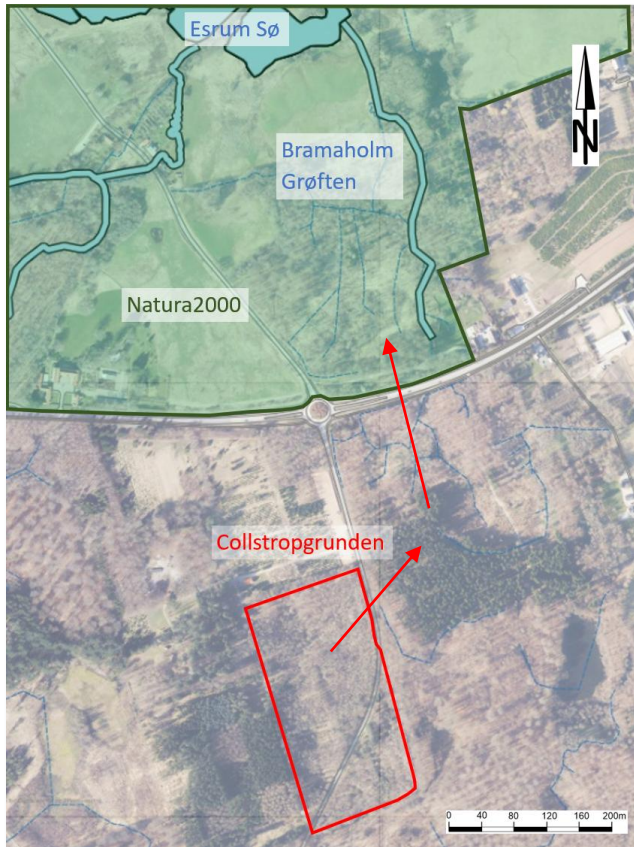
Opsummering af den generelle læring

- Tal med din geolog (tidligt) når du har en forureningssag i Nordsjælland – nok bare mere i det hele taget?
 - Lagkagen bør ikke være den geologiske default hypotese
- Overhøjde kan snyde i tværsnitsvisualiseringer
- Komplicerede sager kan kræve at vi "maler med den brede pensel" ... men vores vurderinger skal være robuste ift. mikrovariationer (på den store skala).
- Risikovurderinger for meget store tidsskalaer er udfordrende.
 - Er en uendelig kilde uendelig på en uendelig tidsskala?
 - Måske er der et perspektiv til langkædede PFAS (PFOS+)?



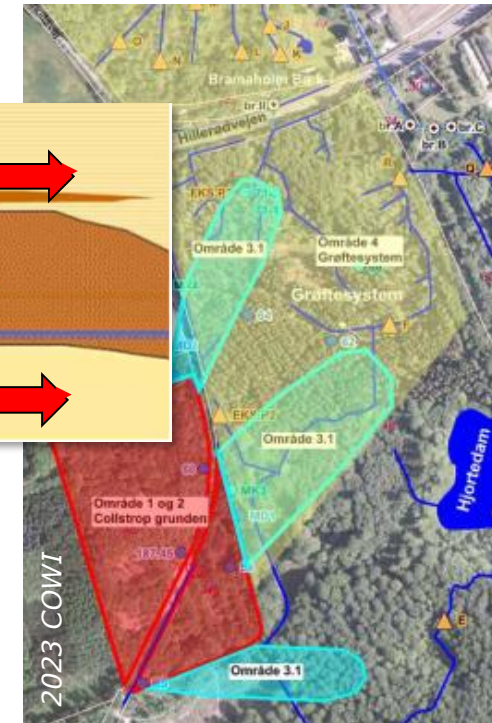
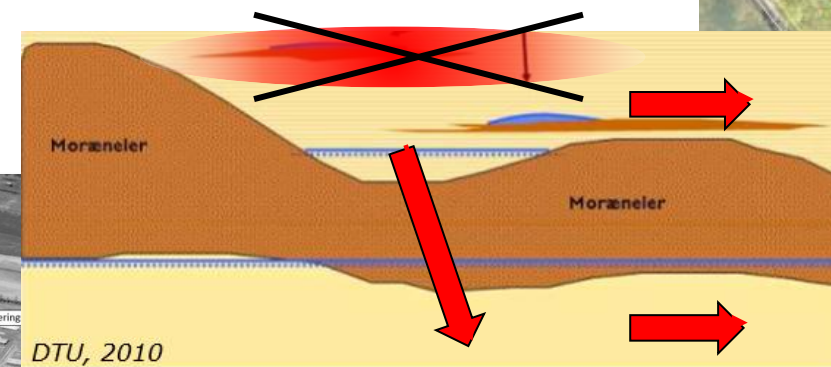
Collstrop – hvad er det for et bæst?

- Grunden (ca. 67.000 m²) ligger NØ for Hillerød
- Træimprægnering 1936-1976 (As, Cr, Cu, fluorid, phenol)
- Risiko: Vandløb, Natura 2000 område og Esrum Sø



Sideløbende undersøgelser ift.:

- Flux ud fra matriklen og afværgе heraf (COWI)
- Afværgе/immobilisering af kilden (GEUS)
- Spin injektion (Injectis)



Kort om undersøgelsen – voldsom datamængde

- Jeg tænker ikke at den nøjagtige datamængde er særlig interessant for jer ... men alligevel (~1 års intensive undersøgelser):

Tabel 5.2: Oversigt over analyseprogram for jordprøver.

Punkttype	Antal	Antal analyser, jord							
		XRF ²	Tungmetaller ³ / As	Cr(VI)	Fluorid	Kulbrinter, BTEX	PAH	TOC	Jern
HPT-sonderinger ¹	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Kerneboringer	51	2.408	467 / 487	5	5	51	53	3	-
Snegleboringer	202	5.088	2.187 / 2.190	33	229	250	257	53	20
Håndboringer	190	918	518 / 518	6	3	-	-	-	2
Overfladeprøver	57	158 ⁴	158 / 158	-	-	-	-	-	-
Vejbrønde/-riste	10	-	10 / 10	-	-	-	-	-	-
Samlet antal	519	8.572	3.340 / 3.363	44	237	301	310	56	22

¹: HPT-sonderinger benyttes til at vurdere formationens hydrauliske ledningsevne og er ikke udført med henblik på udtagning af jordprøver.

²: XRF-analyser er udført for As, Cr og Cu. ³: Tungmetaller omfatter (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni og Zn) ⁴: XRF-analyse er kun udført for As.

- 40 kornkurver -> HydrogeoSieveXL -> hydraulisk ledningsevne
- Logning af potentialeniveau i 16 filtre over 5 mdr.
- Overfladeundersøgelser langs Jespervej og lige udenfor grunden
- Undersøgelser af overfladevand og sediment i vejbrønde

352 boringer og sonderinger (max 22 m u.t.)
>3.300 jordprøver og >8.500 XRF-målinger

66 filtersatte boringer
47 i terrænnært grundvand
19 i sekundært magasin

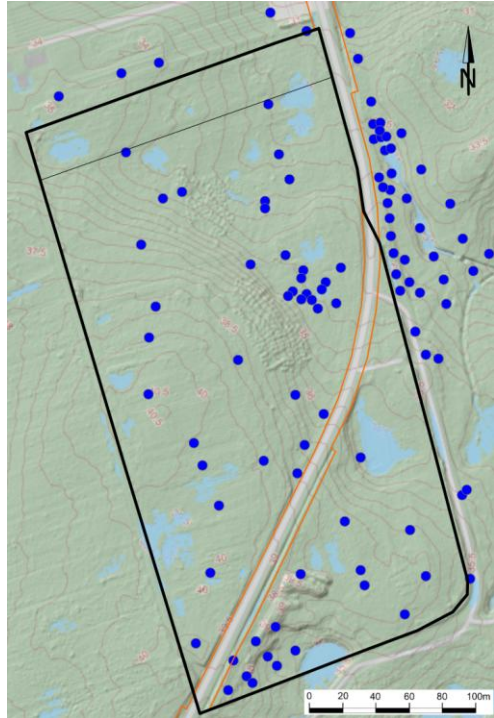
54 vandprøver

+ inddragelse af eksisterende data

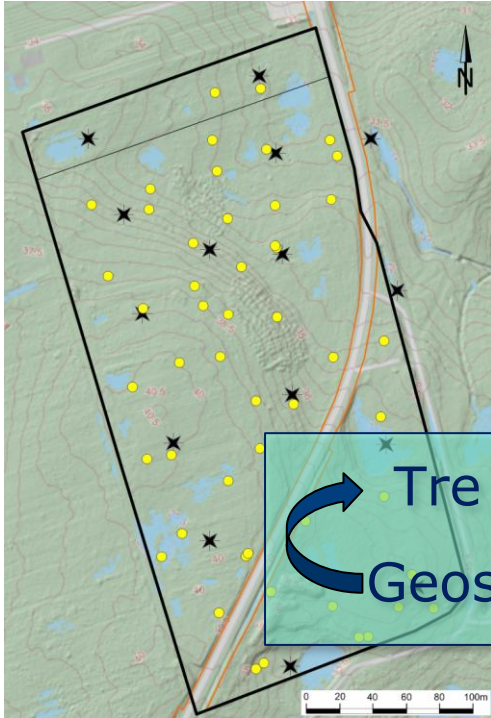


Undersøgelsespunkter of formål

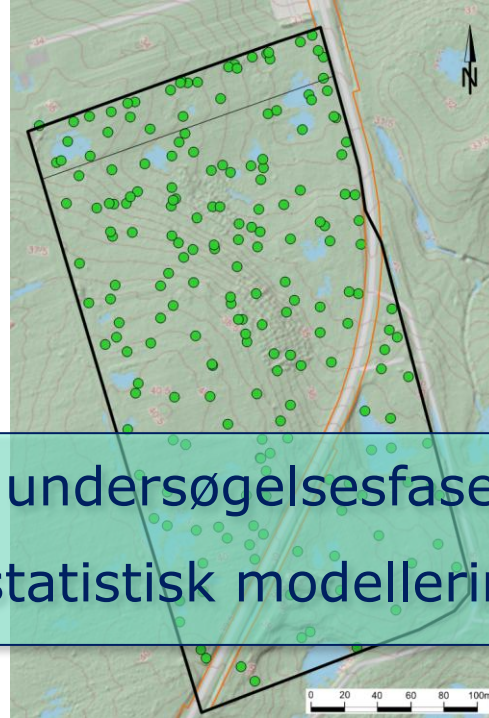
Tidl. boringer



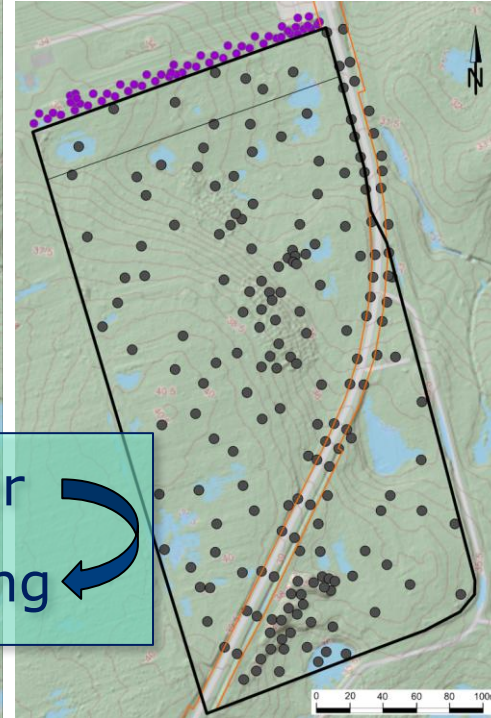
HPT & kerneboringer



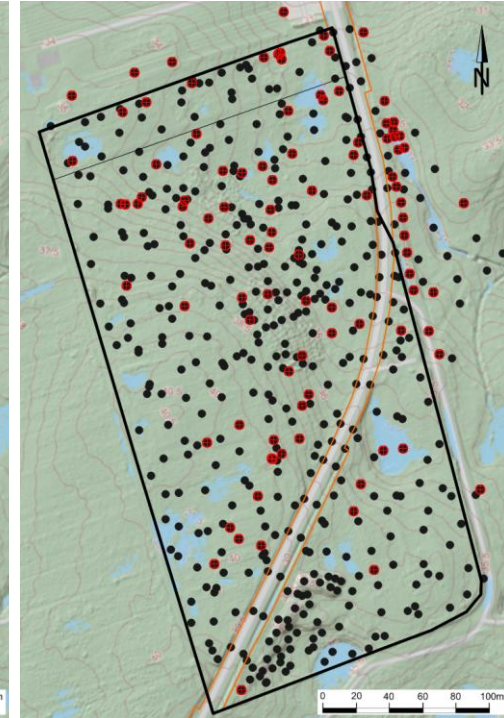
Snegleboringer



Håndboringer & OVFL



Alle boringer & filtre

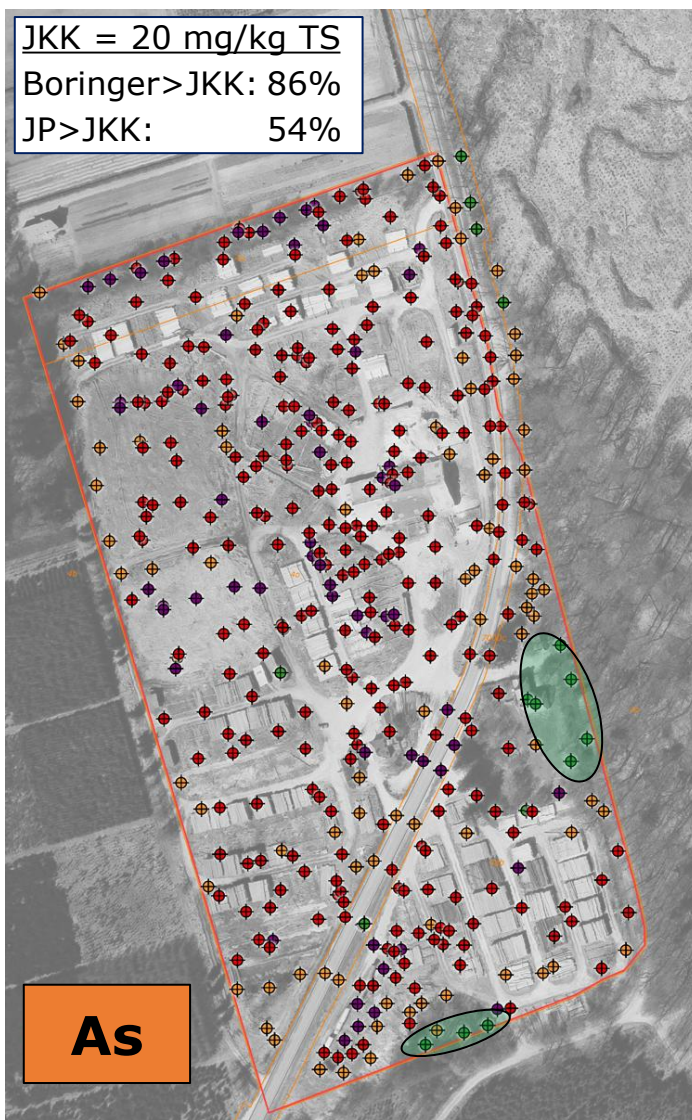


Tre undersøgelsesfaser
Geostatistisk modellering

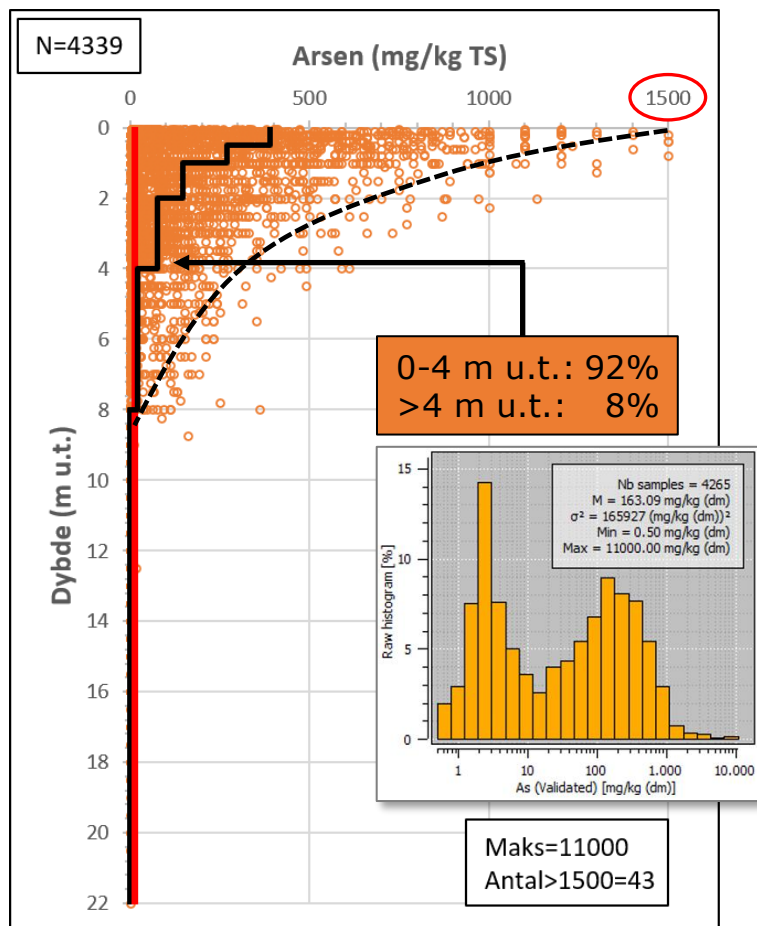
Formål

- Prim. Masse, volumen og beliggenhed jordforurening (As, Cr, Cu)
Spredning ud af ejendommen, inkl. vertikal spredning til det sekundære magasin
- Sek. Opdateret vurdering af forureningssituationen for andre pot. forureningsstoffer (fluorid, olie- og tjærestoffer, andre tungmetaller, PFAS og pesticider)
- Forny et grundlag for revurdering af kortlægning, risikovurdering ift. overfladevand og omkringliggende natur samt udpegning af relevante indsatsområder

Jordforurening (As, Cr og Cu) – fra oven

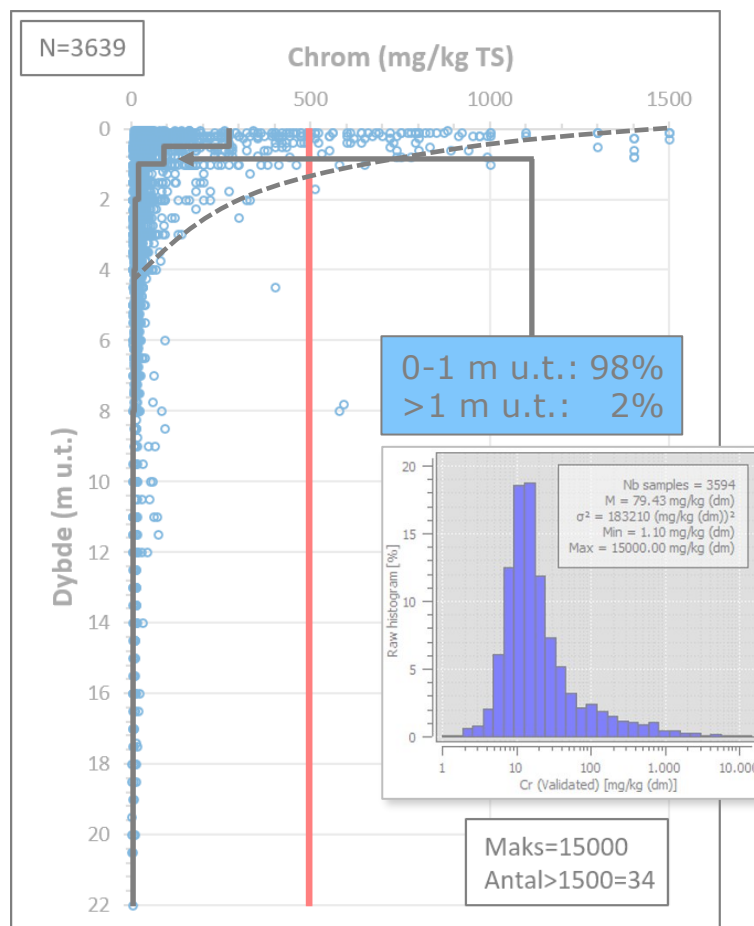


Jordforurening (As, Cr og Cu) – over dybden



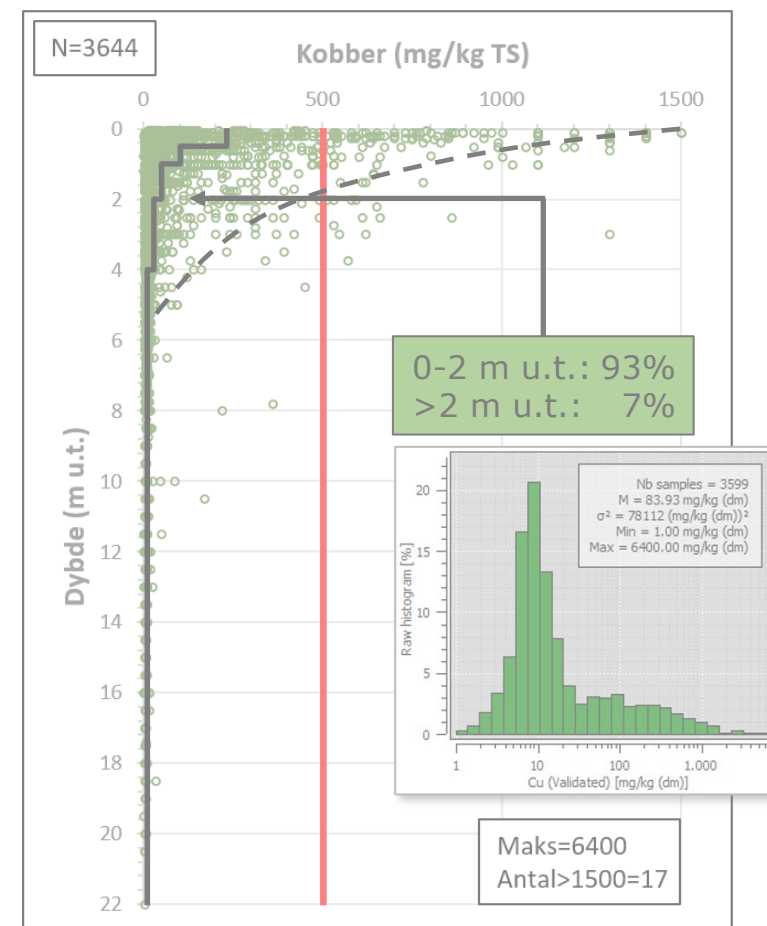
As > JKK:

Over næsten hele grunden
Primært 0-4 m u.t.



Cr > JKK:

Over 20-25% af boringerne
Primært 0-1 m u.t.

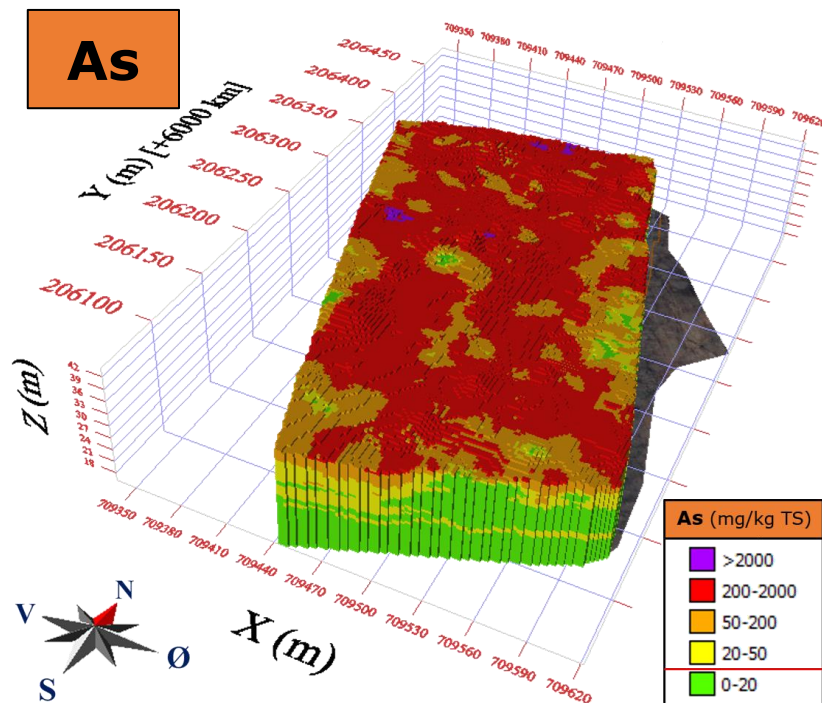


Cu > JKK:

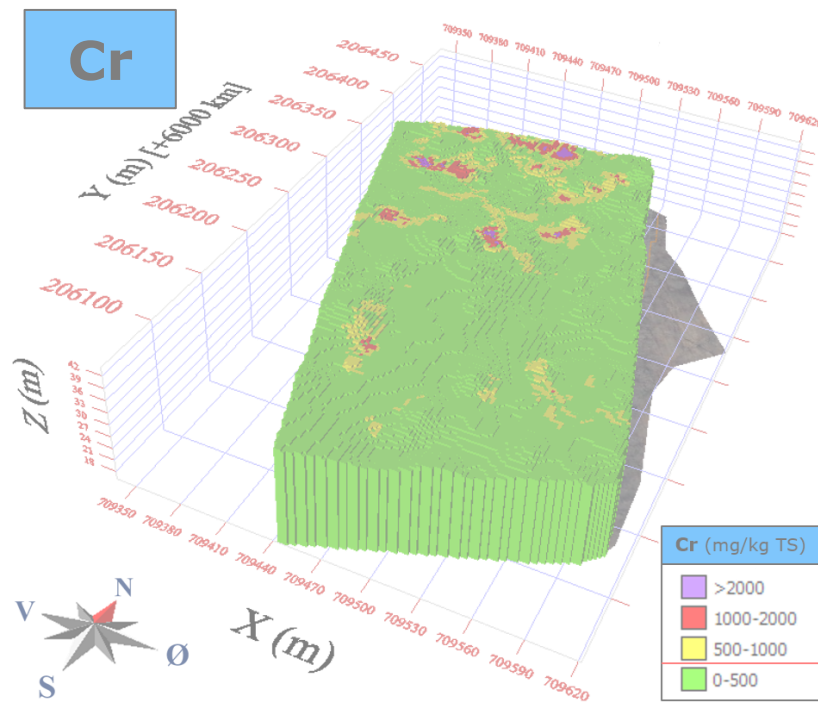
Over 20-25% af boringerne
Primært 0-2 m u.t.

Jordforurening – *hvor og hvor meget?*

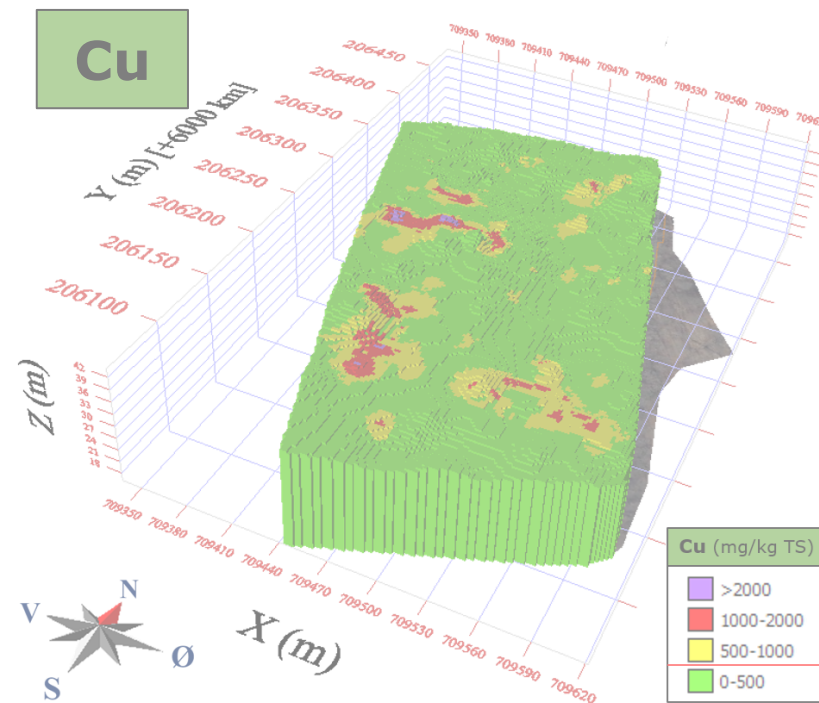
- Geostatistiske estimater på masse, volumen og beliggenhed:



103 tons (90%: 96-109 tons)
72 tons > JKK (195.000 m³)
92% ligger 0-4 m u.t.



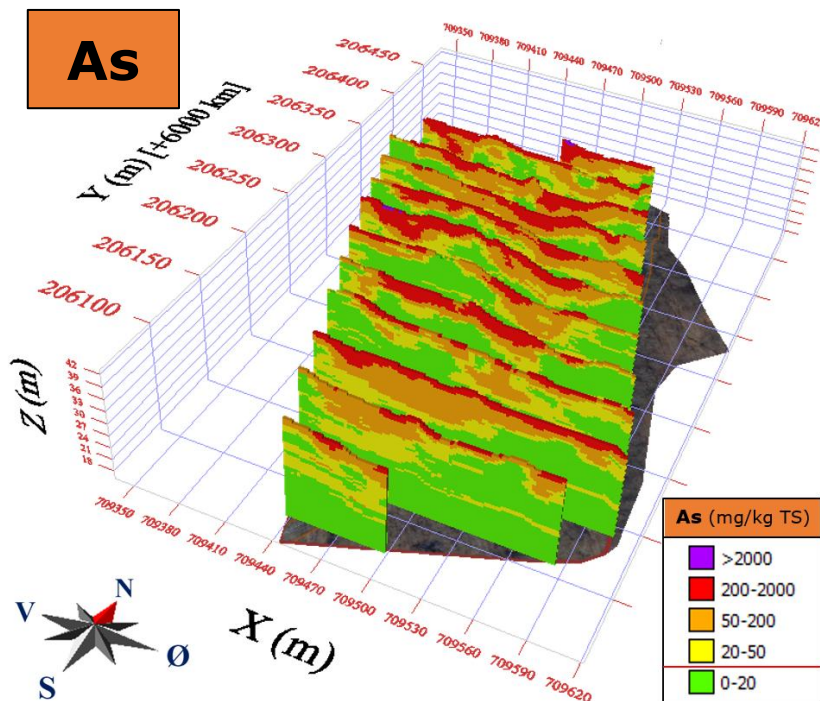
58 tons (90%: 53-66 tons)
300 kg > JKK (114 m³)
>99% ligger 0-1 m u.t.



73 tons (90%: 63-90 tons)
1.600 kg > JKK (862 m³)
>99% ligger 0-2 m u.t.

Jordforurening – *hvor og hvor meget?*

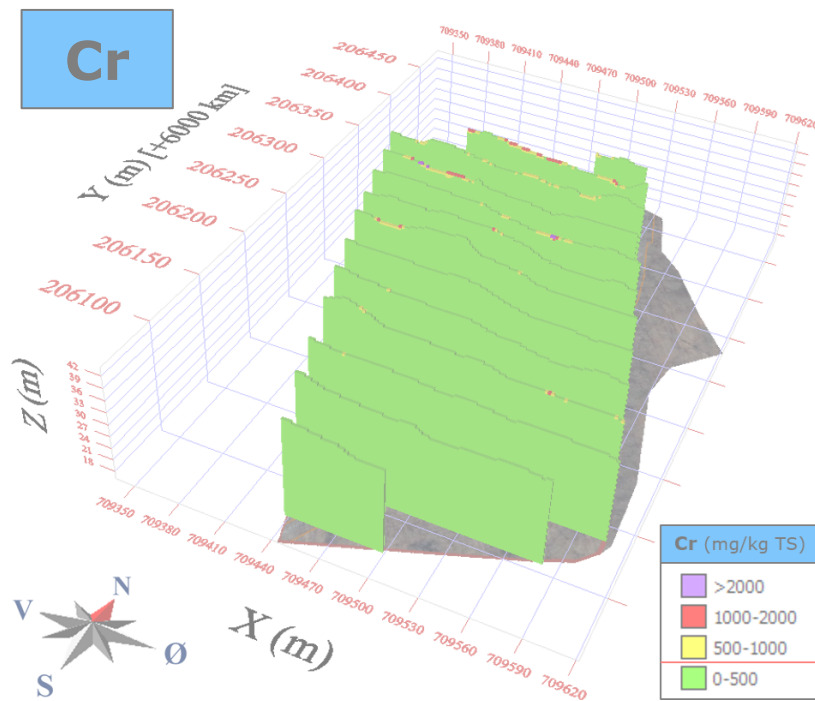
- Geostatistiske estimater på masse, volumen og beliggenhed:



103 tons (90%: 96-109 tons)

72 tons > JKK (195.000 m³)

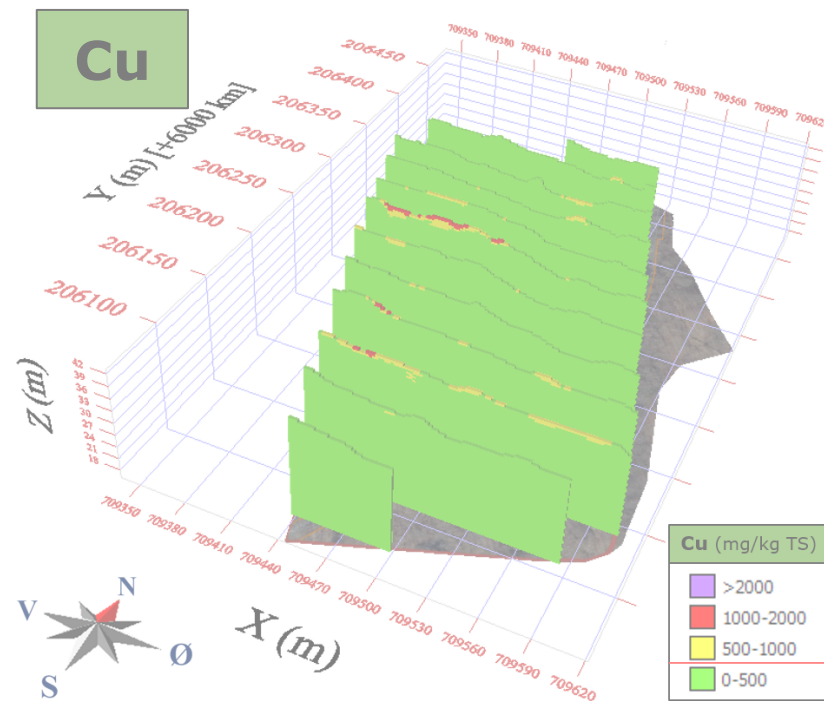
92% ligger 0-4 m u.t.



58 tons (90%: 53-66 tons)

300 kg > JKK (114 m³)

>99% ligger 0-1 m u.t.



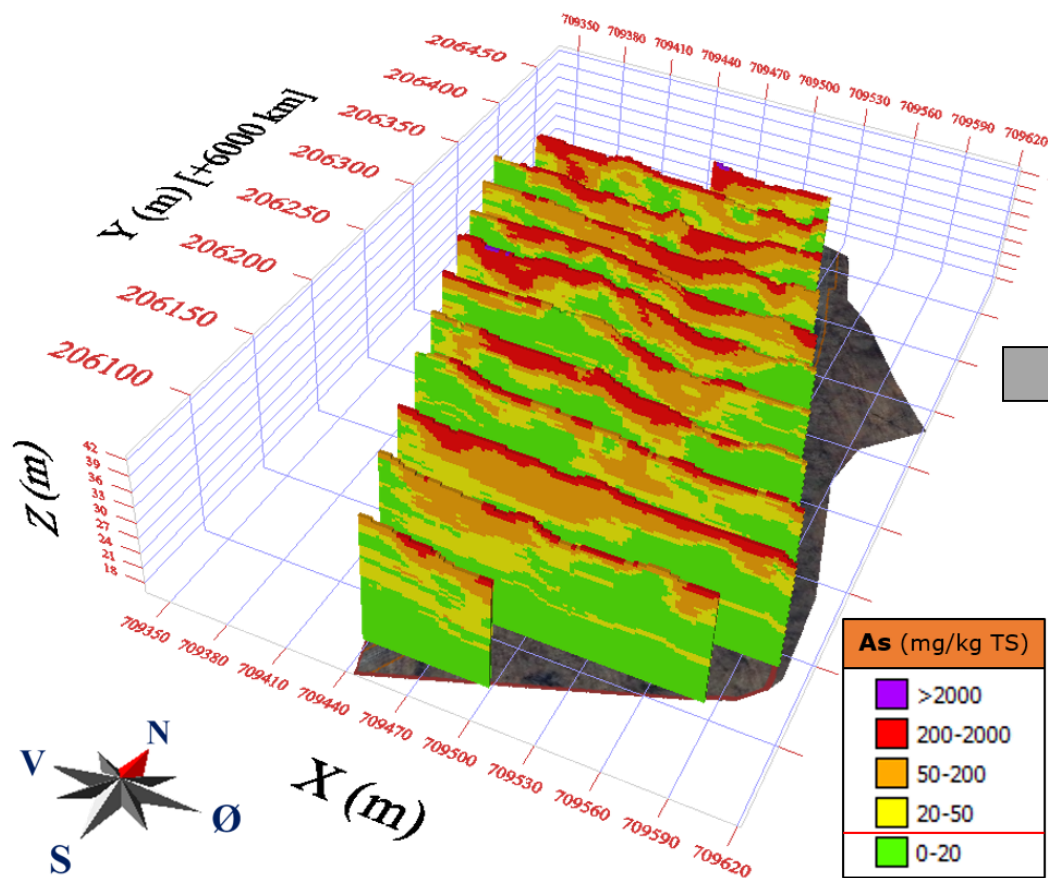
73 tons (90%: 63-90 tons)

1.600 kg > JKK (862 m³)

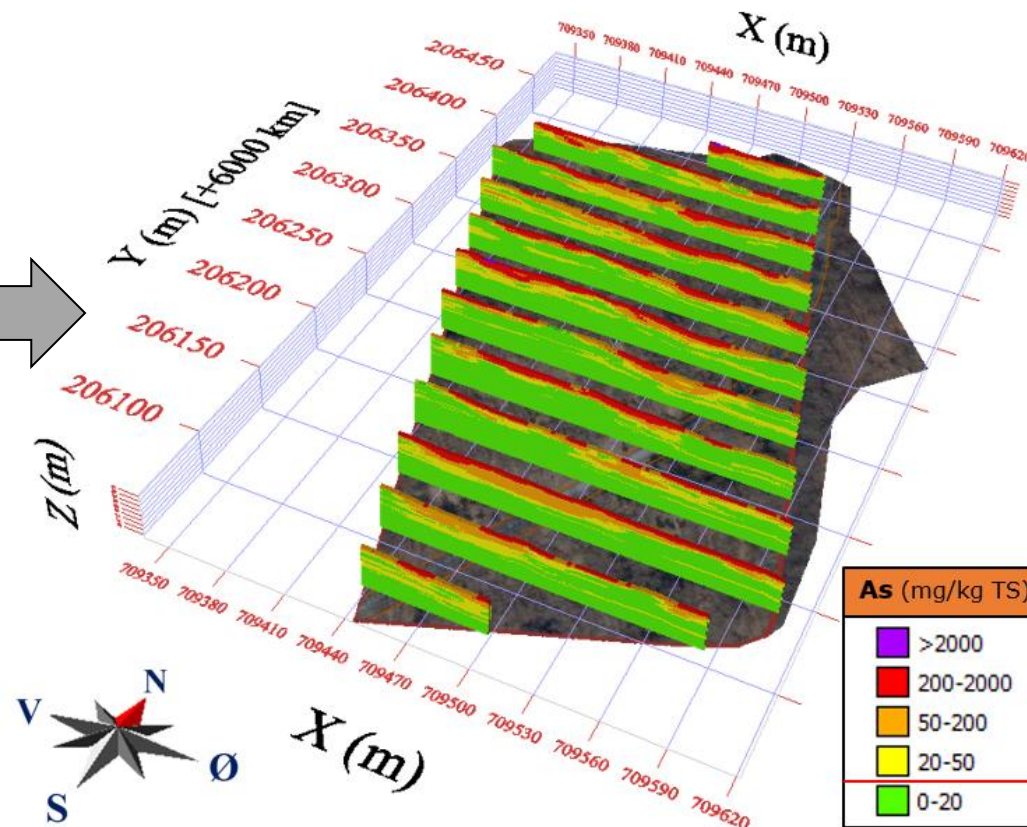
>99% ligger 0-2 m u.t.

Jordforurening – *hvor og hvor meget?*

- Ser måske ikke så terrænnært ud? Men er det!



Overhøjde **x3**



Overhøjde **x1**

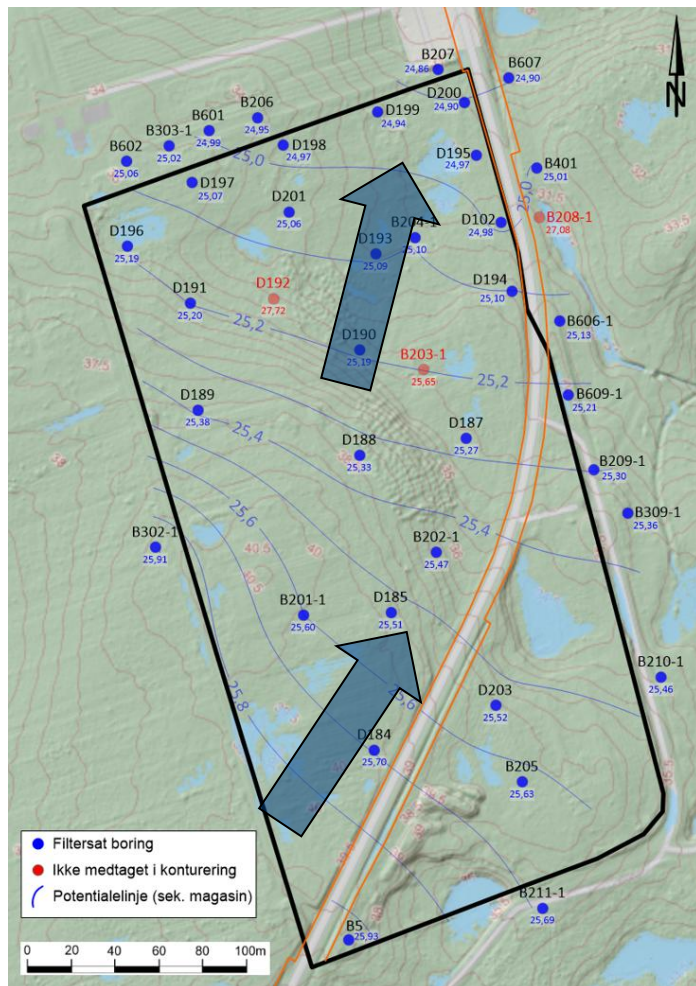
- ## Lokalisering af udstrømningszoner



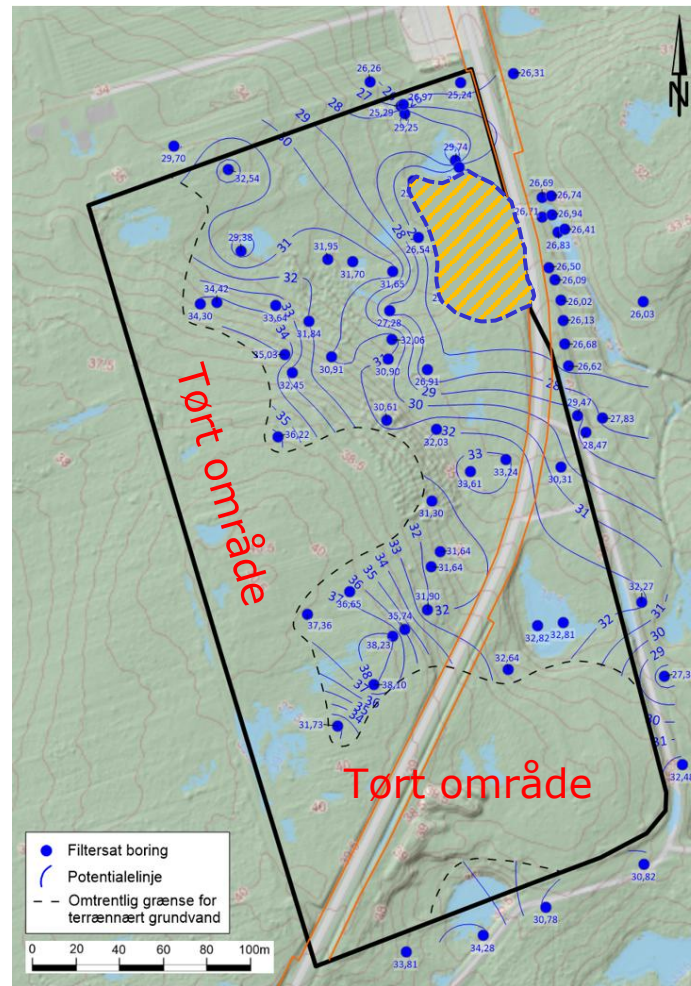
- Tørt område
- Bassin

Nye undersøgelser inde på Collstropgrunden

Sekundært grundvand (7-22 m u.t.)

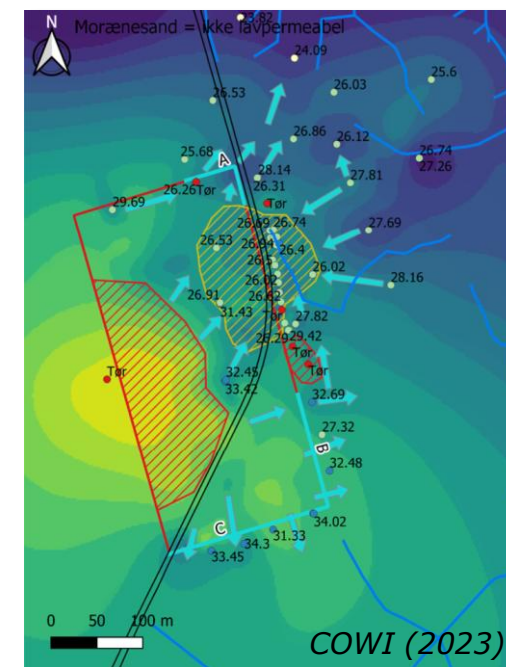


Terrænnært grundvand (0,5-10 m u.t.)



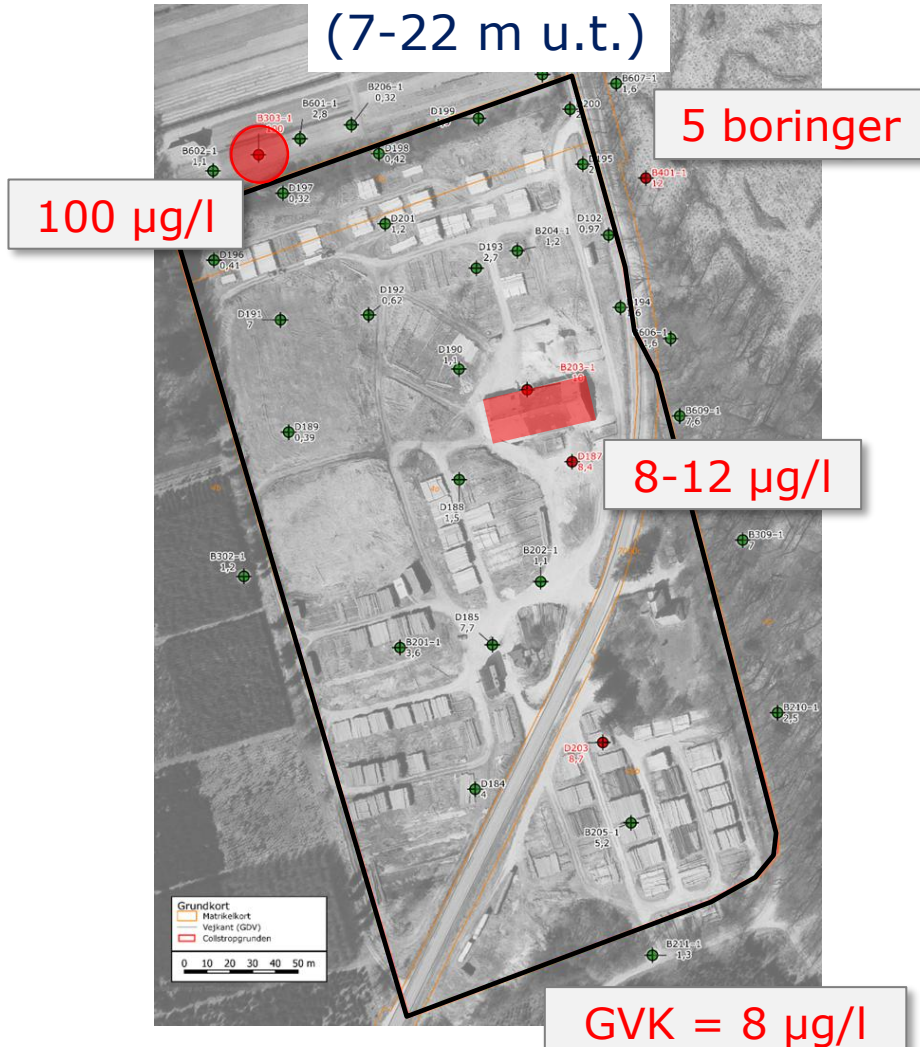
Bemærk

- Uroligt billede, terrænnært (hængende VSP?)
- Tørt område
- Bassin

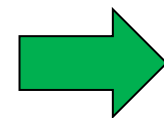
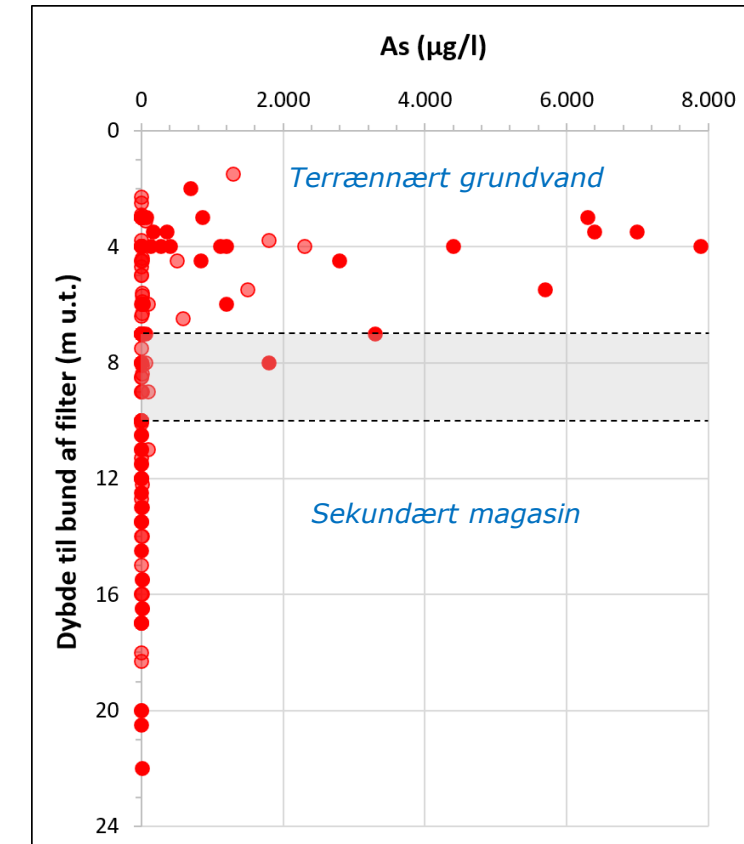


Grundvandsforureningen med As

Sekundært grundvand (7-22 m u.t.)



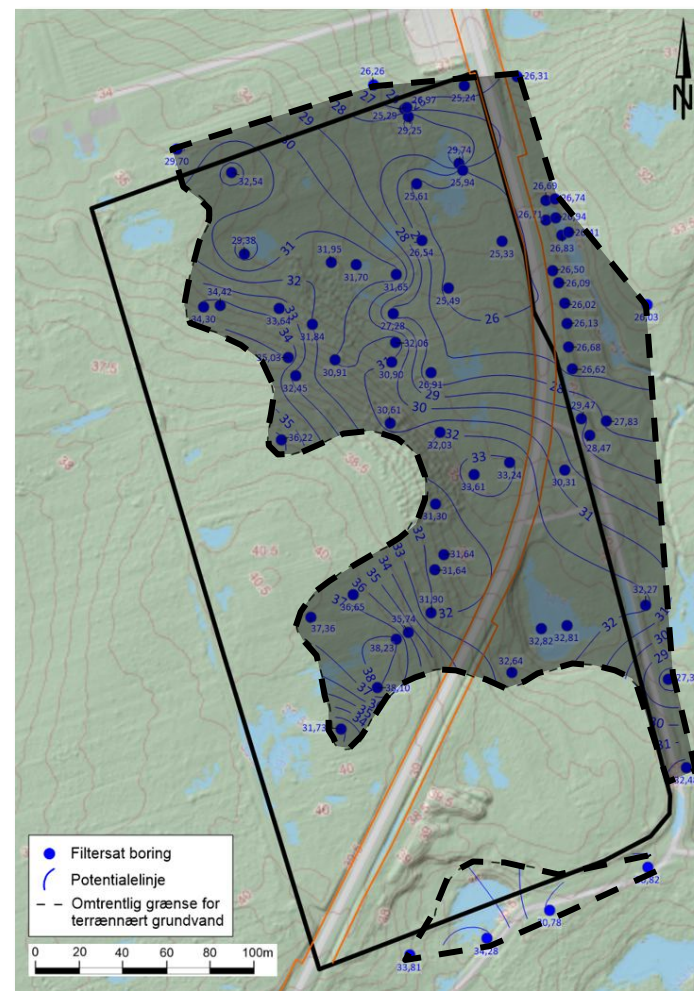
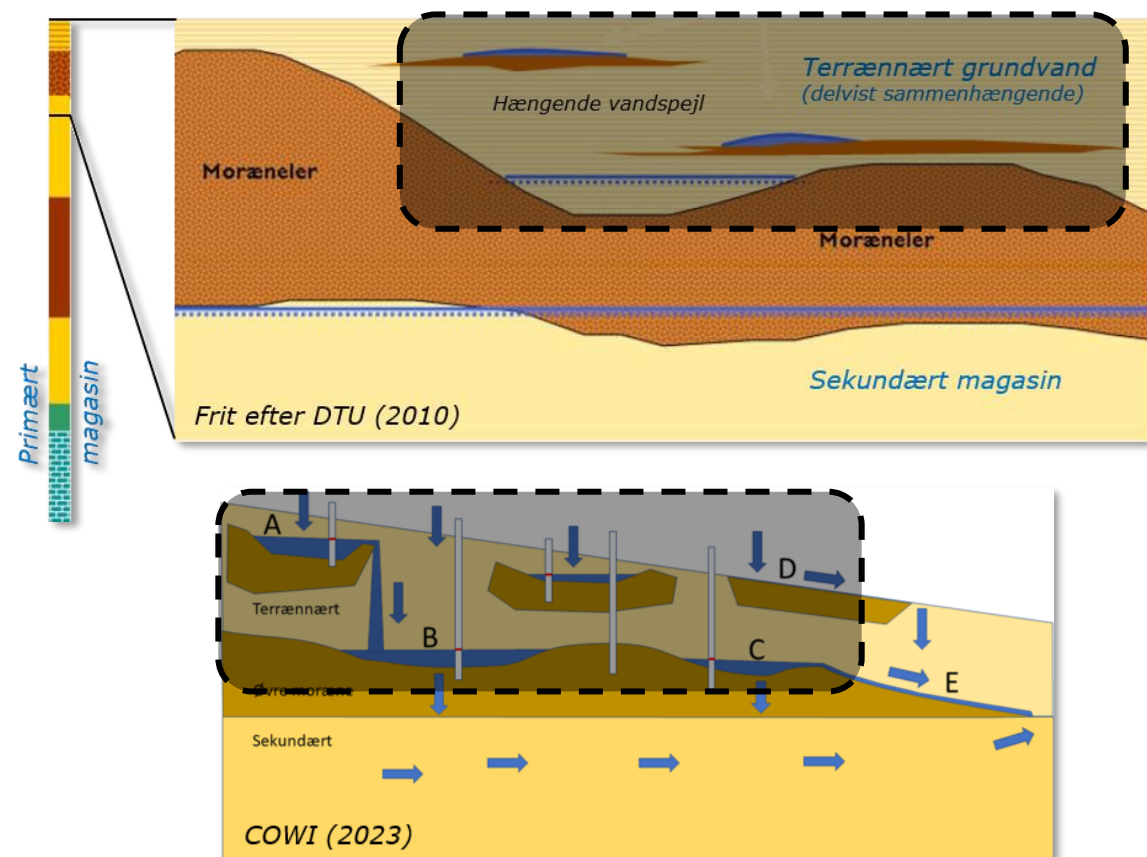
Terrænnært grundvand (0,5-10 m u.t.)



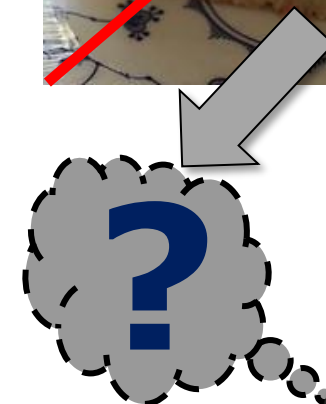
Tidlig observation: Tendens til højere GV-konc. på den nordlige del af grunden.

Og så lovede jeg jo en pointe omkring geologien

- Fra (mere eller mindre fancy) "black box" til konceptuel forståelse



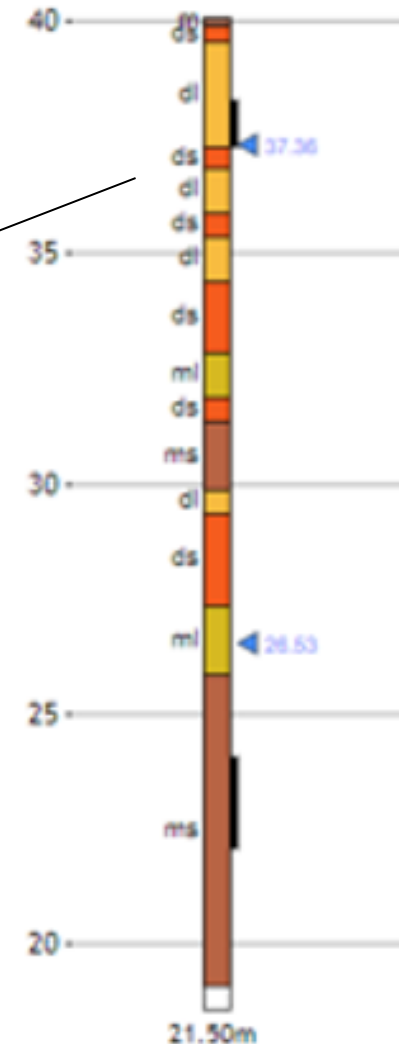
Dette billede efter Ukendt forfatter er licenseret under CC BY-ND



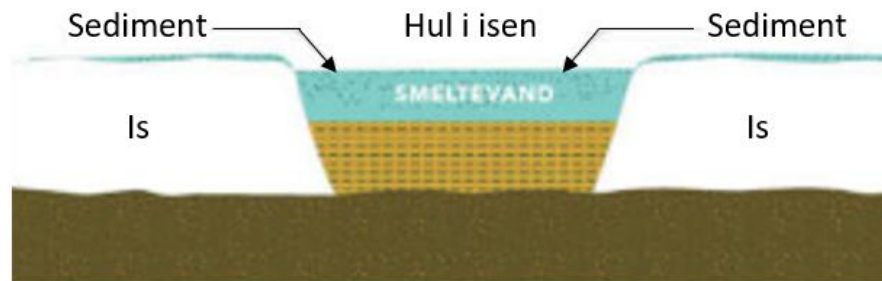
Hvad siger kvartærgeologen?

Dannelse af en fladbakke

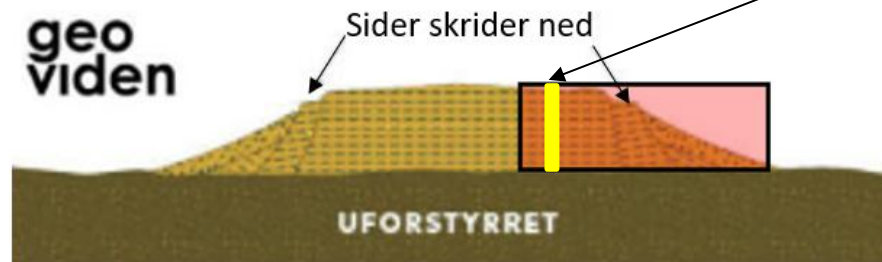
B201



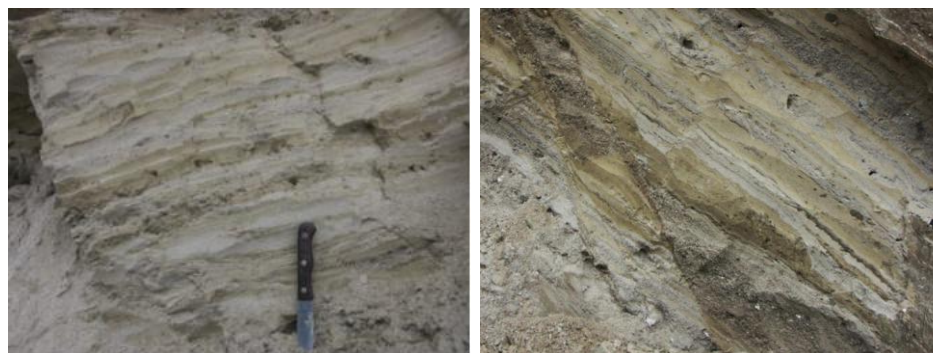
Princip for dannelse af fladbakke



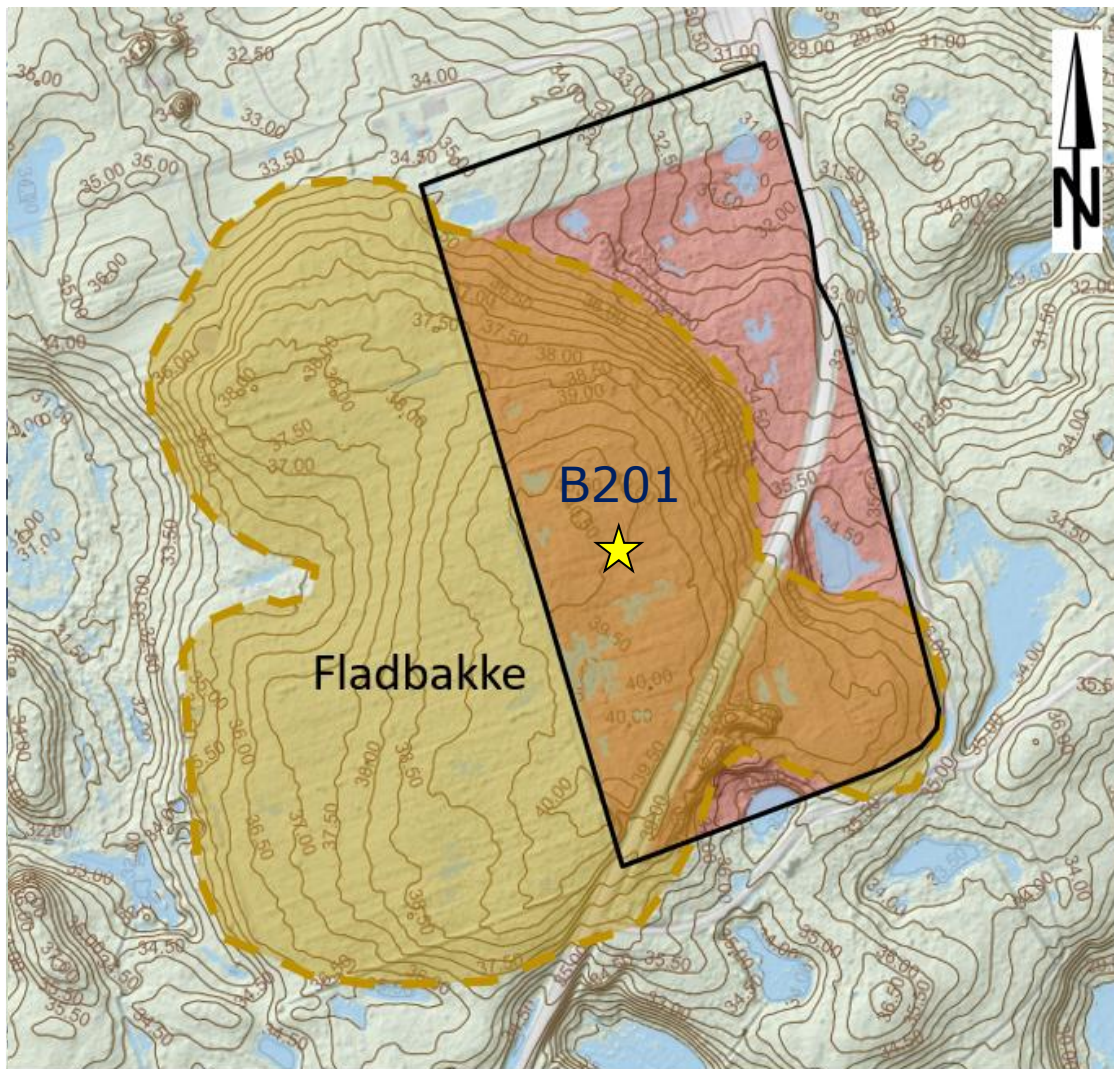
Aflejring i lag. I et hul i den smeltende is (dødis) flyder smeltevand. Fra den omkringliggende is ned og aflejrer de sedimenter af sand og grus, smeltevandet har ført med sig, i lag.



Udglatning. Når isen smelter, står bunken af sand og grus tilbage. Og begynder at flyde ud i siderne, så bakken får en blød, afrundet form – en fladbakke. Lagene indeni er uforstyrrede.



Geoviden (2020). Foto: Kurt Kjær

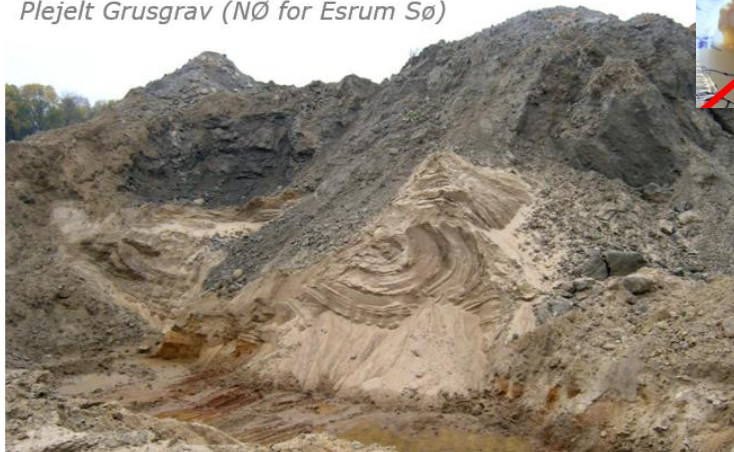


En miljøingeniør kan godt undre sig over...

- Hvorfor de forurenede grunde altid ligger i en kompliceret geologi?
- Men det behøver man ikke (i Nordsjælland):



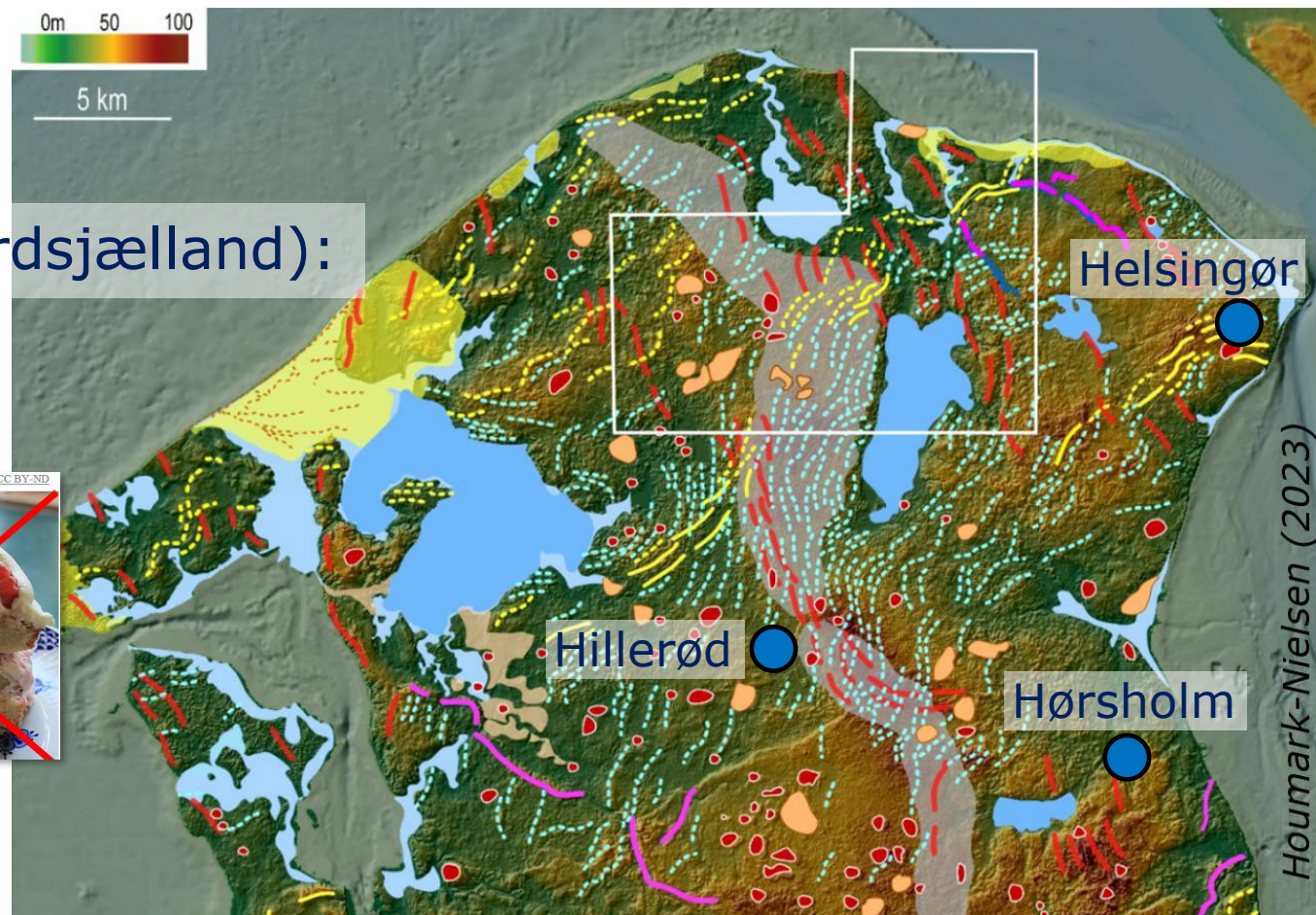
Plejelt Grusgrav (NØ for Esrum Sø)



Houmark-Nielsen (2023)



Dette billede efter Ukendt forfatter er licenseret under CC BY-ND

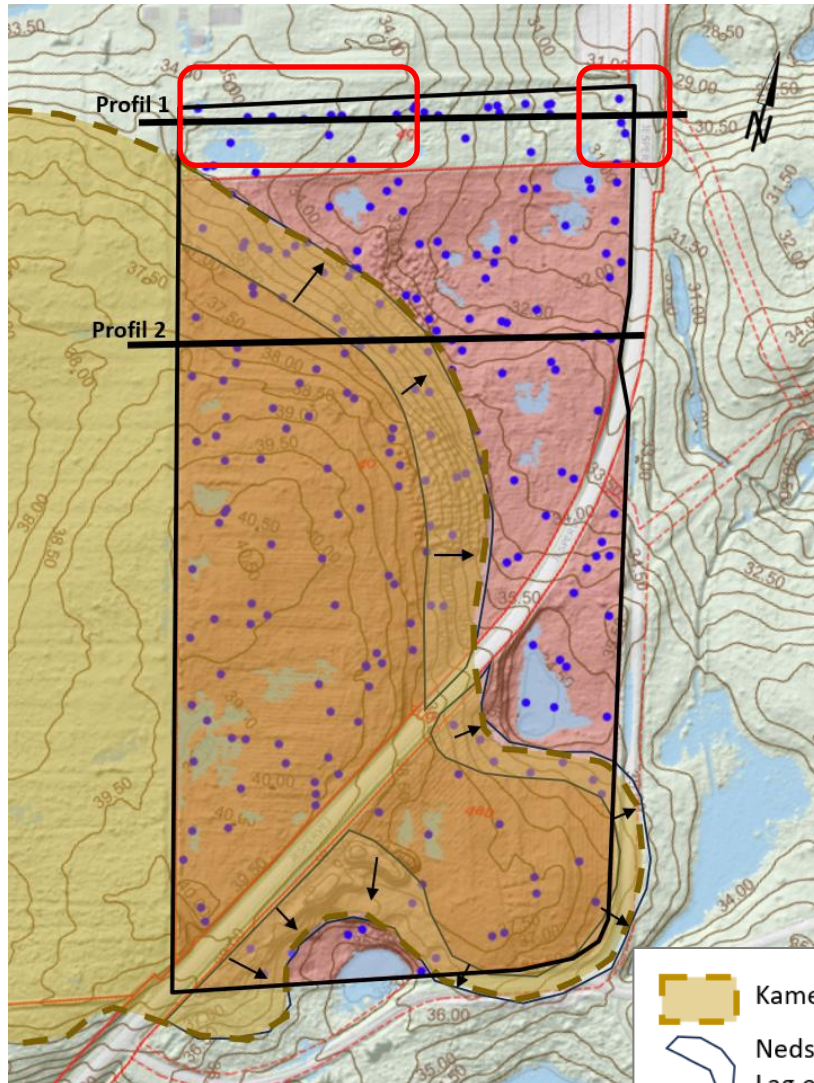


Houmark-Nielsen (2023)

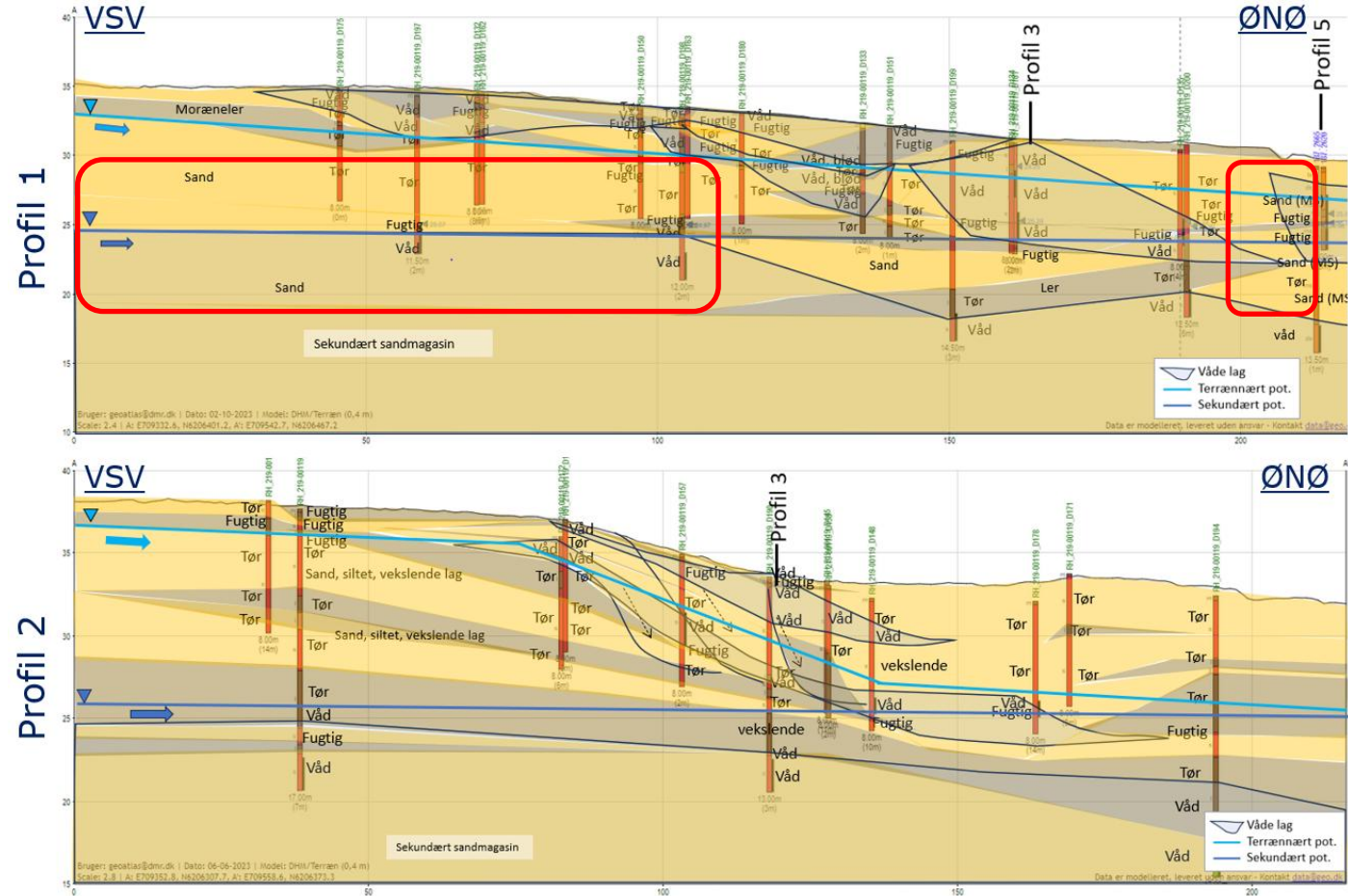


Ældre til nyere isfremstød

Tilbage til Collstropgrunden



-  Kamebakke / Issø-fladbakke
-  Nedskridningszone langs randen af fladbakken. Lag er skredet ned og ligger skråt.
-  Boring
-  Geologisk profilinje



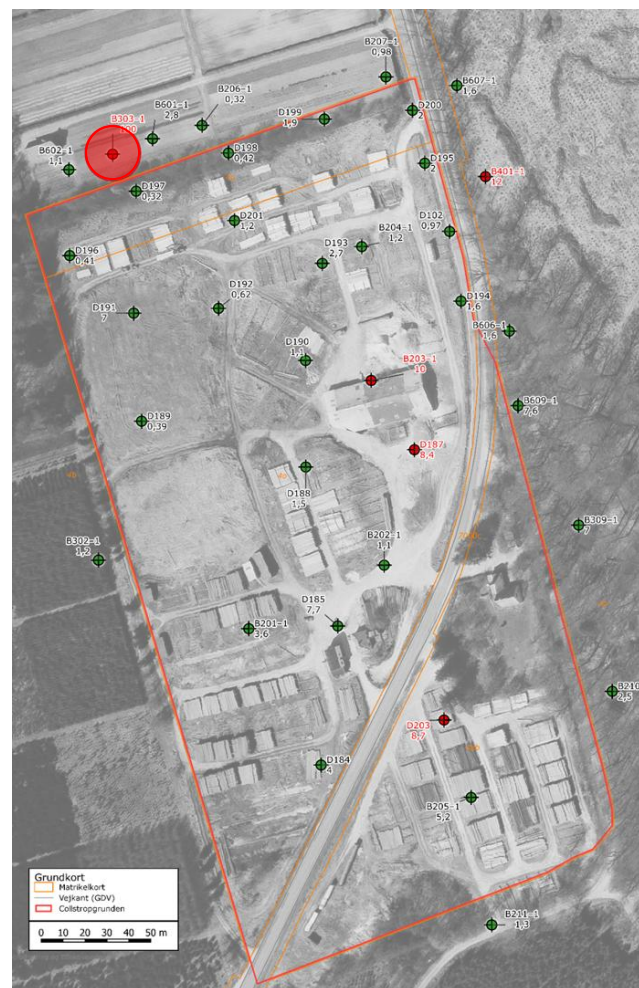
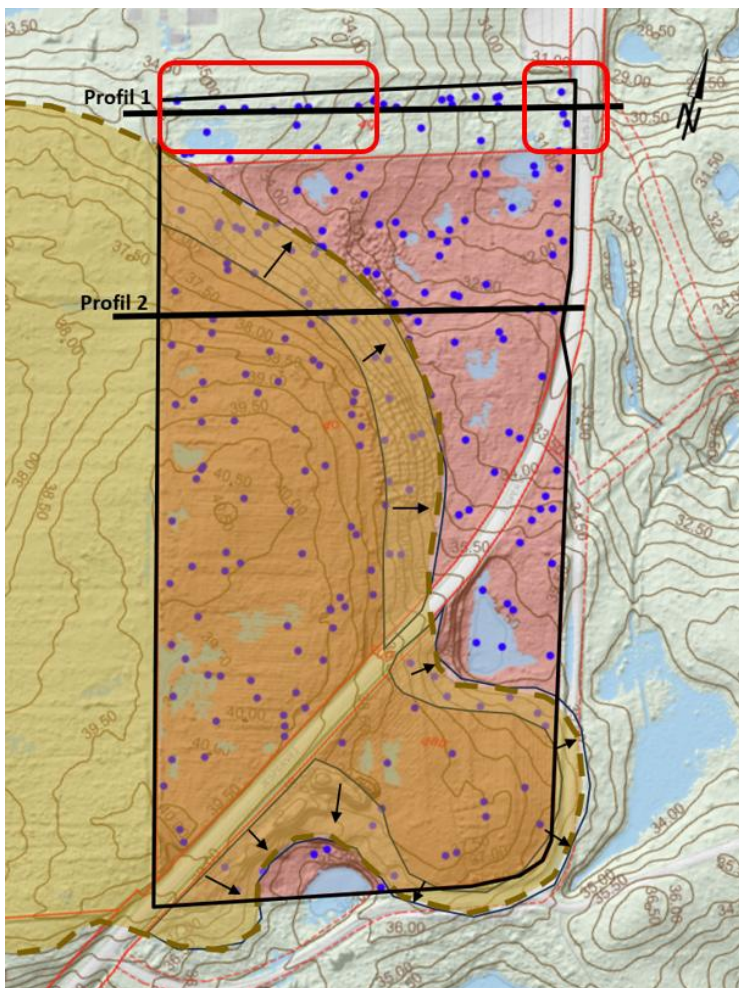
Geoviden (2020).
Foto: Kurt Kjær



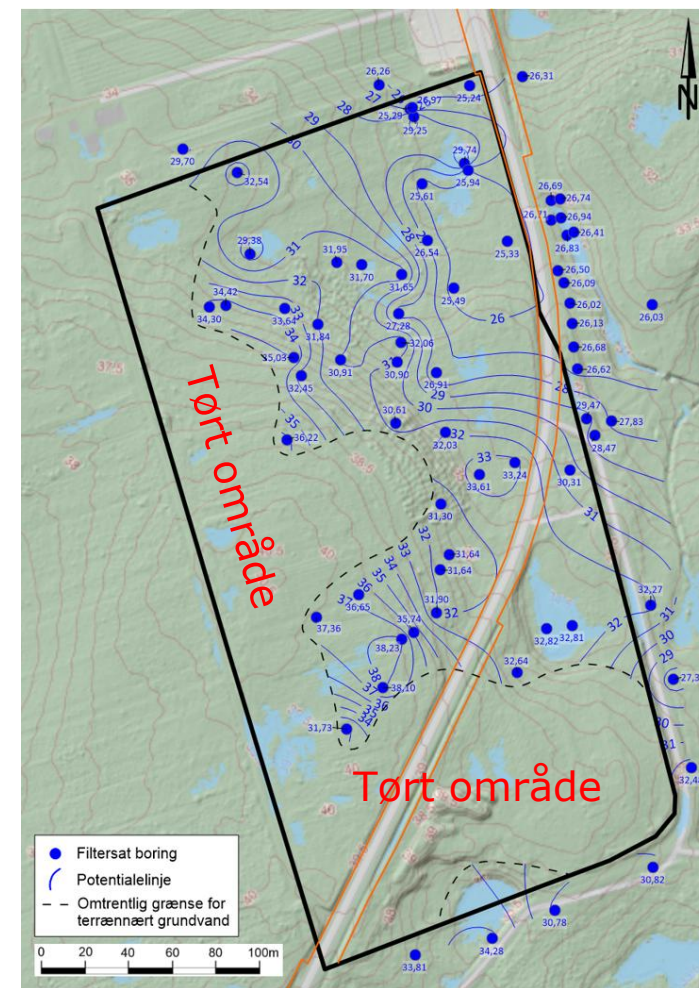
Geoviden (2020).
Foto: Kurt Kjær

Nogle af de ting, der undrede os tidligere

- ... giver pludselig meget bedre mening (geologisk forståelse):

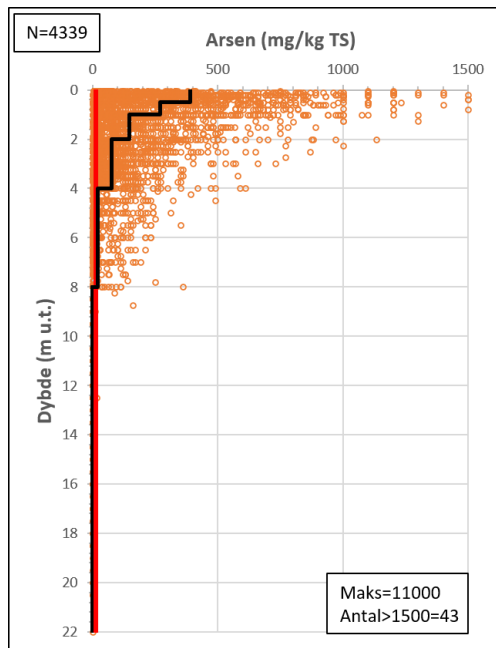


Sekundært grundvand

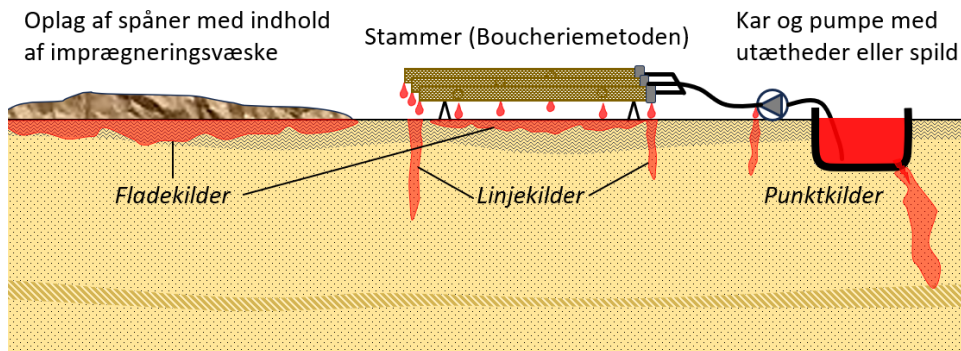


Terrænnært grundvand

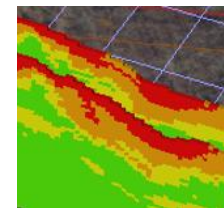
Lidt om forureningens "dannelsesmiljø"



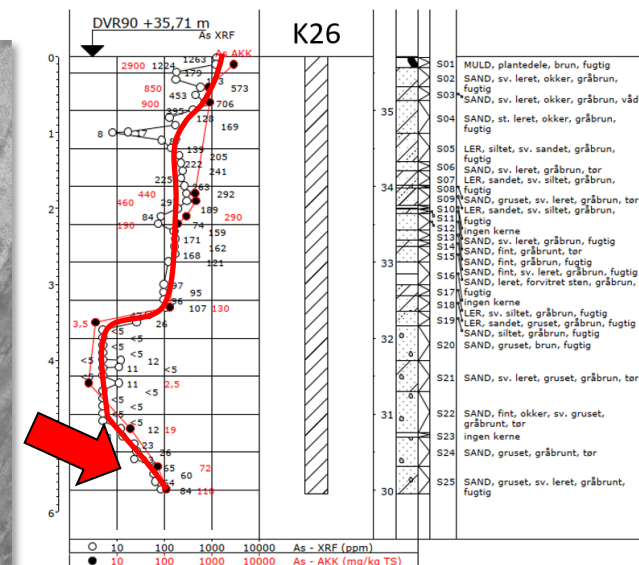
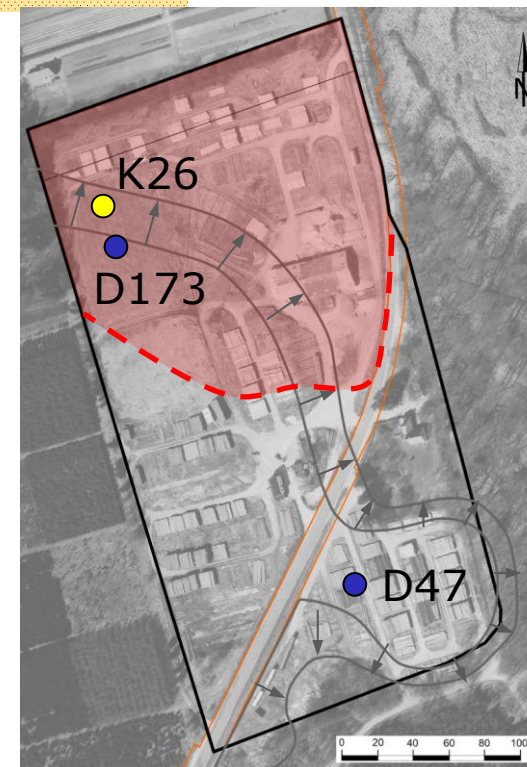
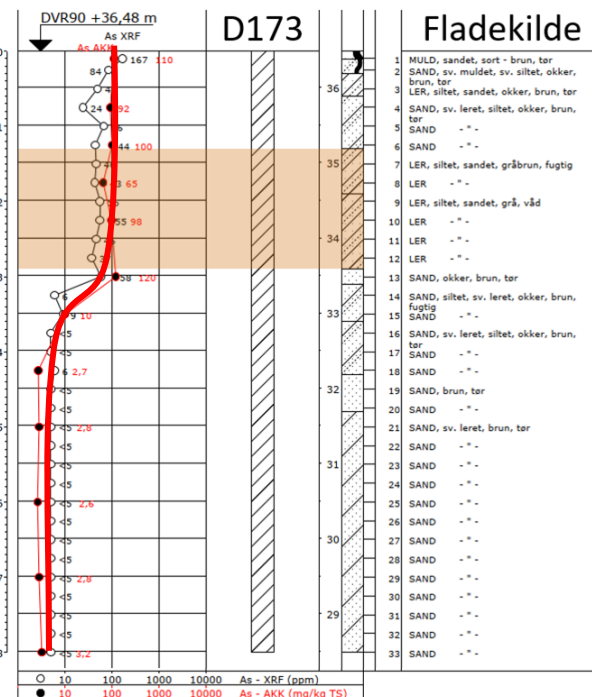
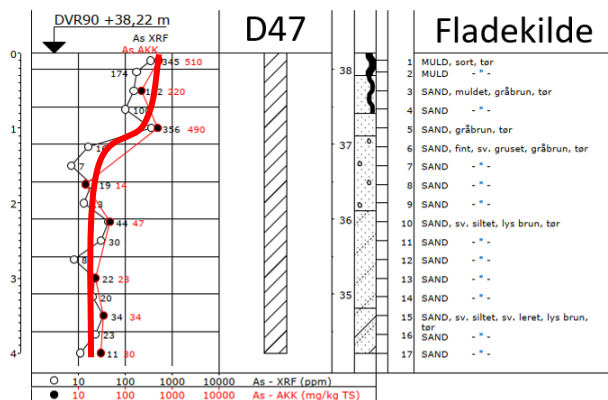
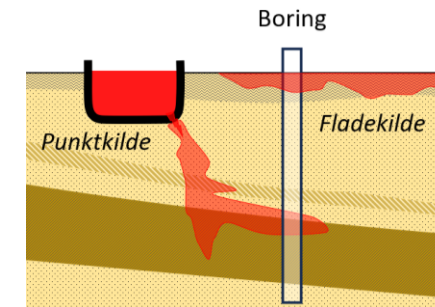
Forskellige kildetyper



~~1D~~
(Hvor ofte gælder det?)



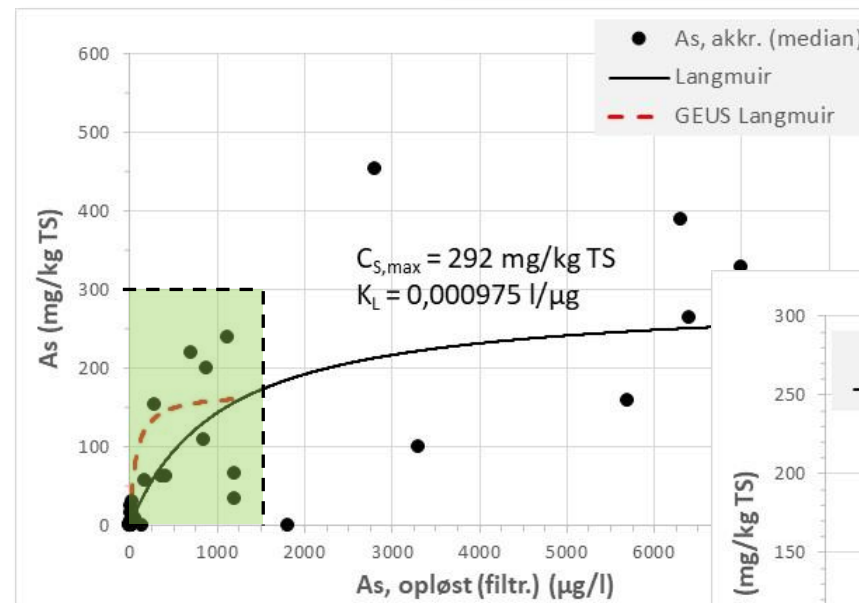
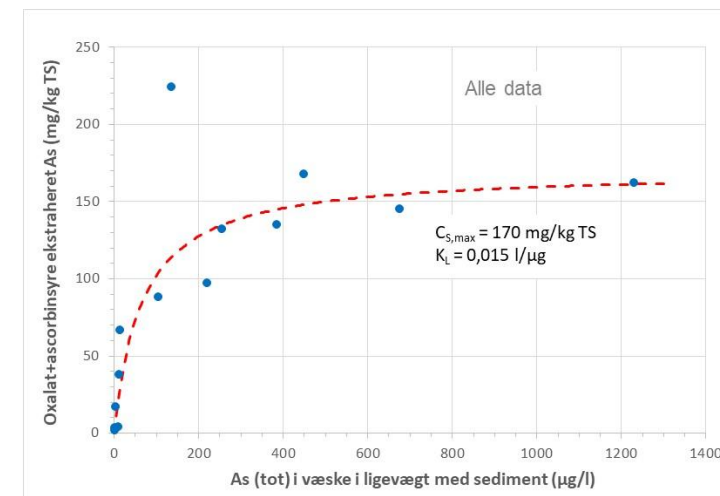
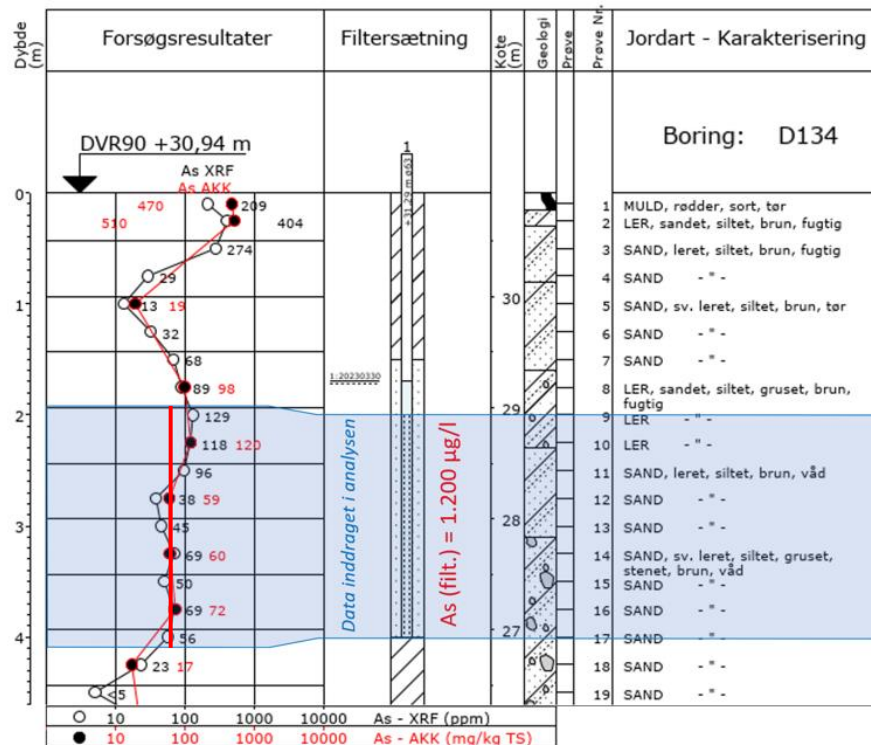
+skråtstillet geologi



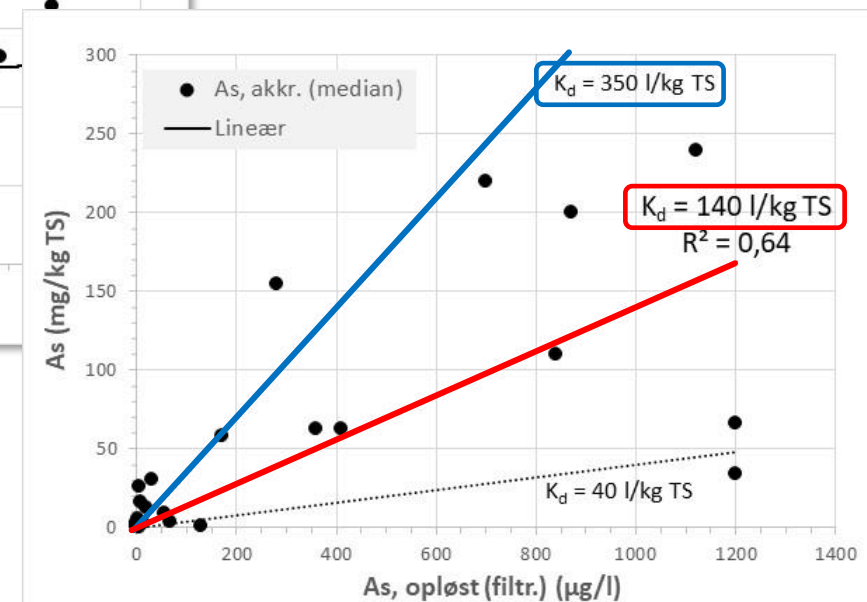
~1/3 af profilerne!
Flest på N halvdel af ejendommen

Adsorption og transport (As)

- Laboratoriestudium, GEUS (2023):
- Undersøgelsesdata fra 54 borer (jord- og vandprøver):

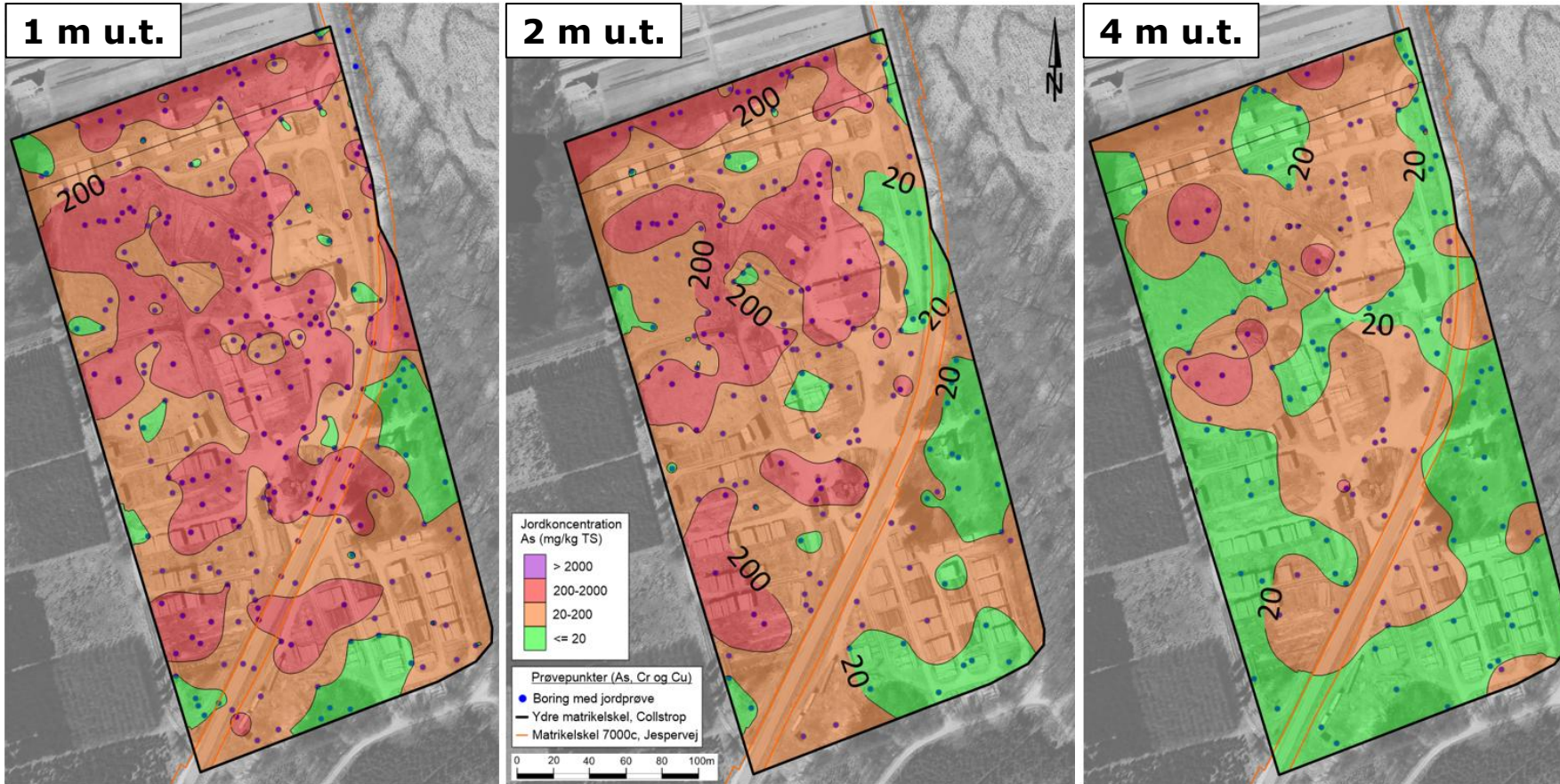


K_d
140-350 l/kg TS



Vertikal flux (As)

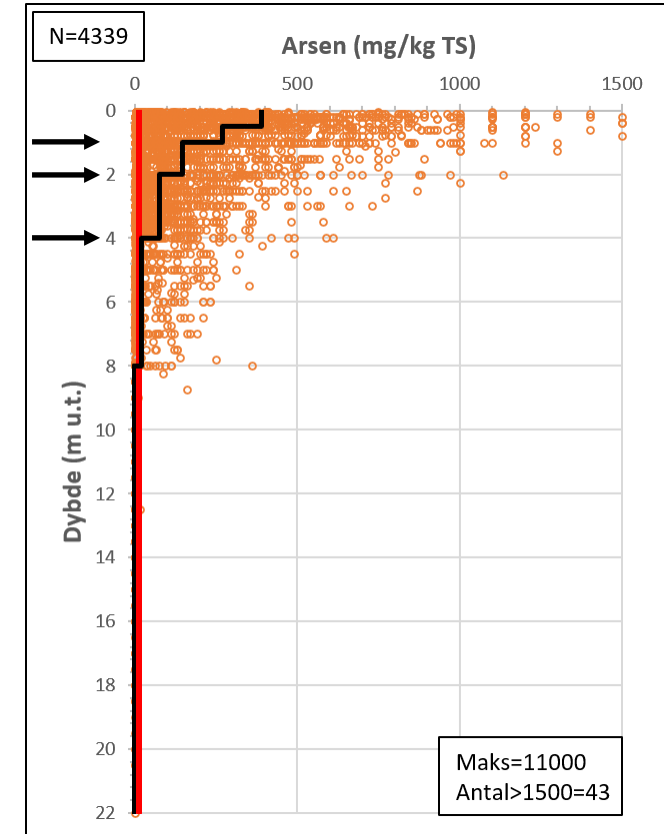
- Konturering af jordkoncentrationer -> porevandskonc. -> flux



Gns. = 201 mg/kg TS
Flux $\approx$ 8-19 kg/år

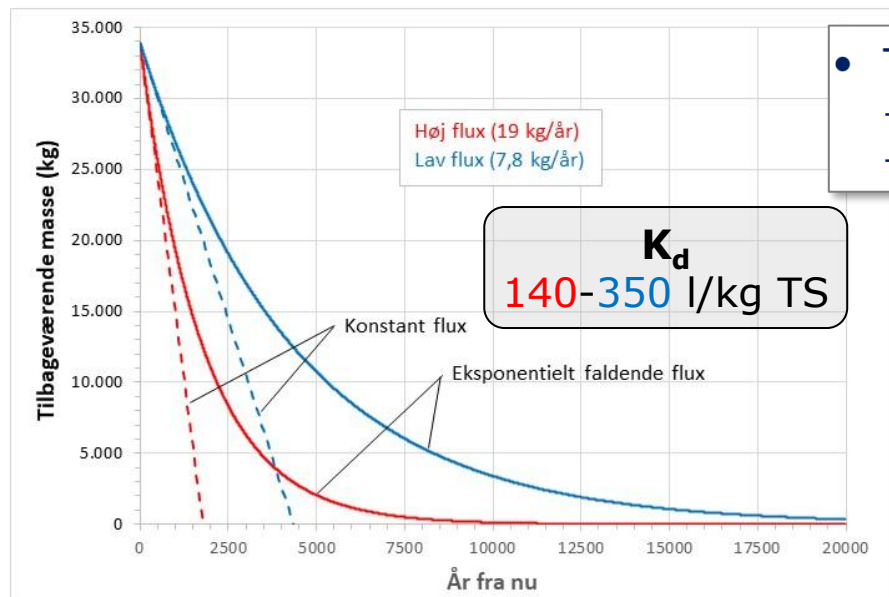
Gns. = 136 mg/kg TS
Flux $\approx$ 5-13 kg/år

Gns. = 47 mg/kg TS
Flux $\approx$ 2-5 kg/år



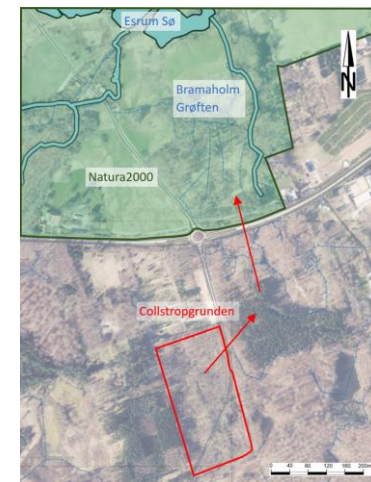
Kildens udsivning og levetid (As)

- Udvaskning af As fra den øverste meter (~34 tons)

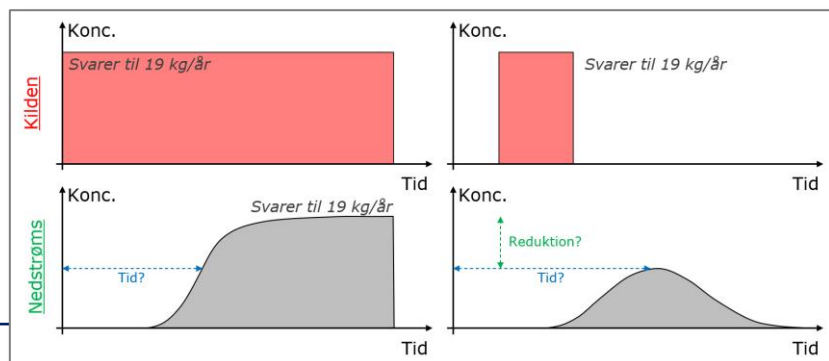


- Transporthastigheder (As):
 - Terrænnært grundvand (TN): 1,2-10 cm/år
 - Vertikalt imellem TN og SEK: 0,07-0,6 cm/år

- Udvaskningen tager RIGTIG lang tid: ~2-20.000 år fra den øverste meter. Op mod 42.000 år for de øverste 4 meter.

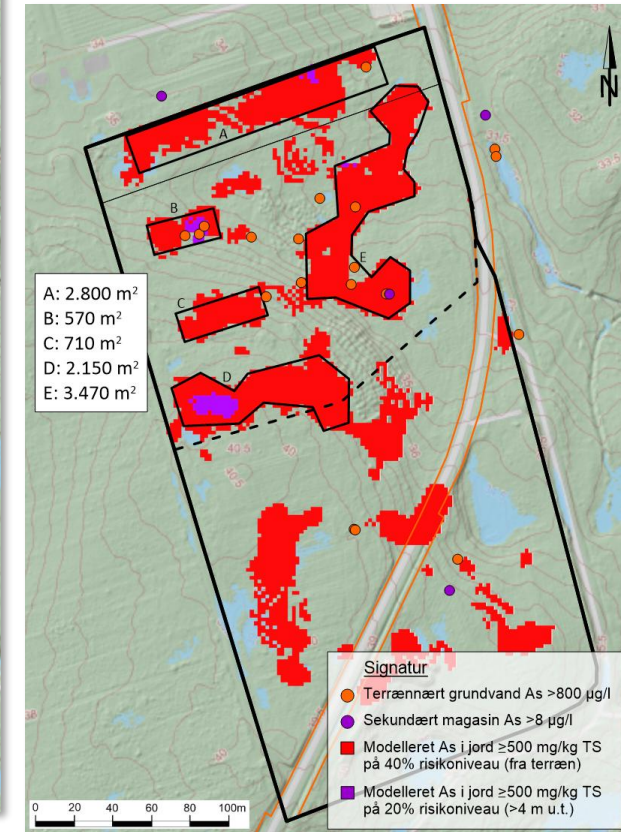
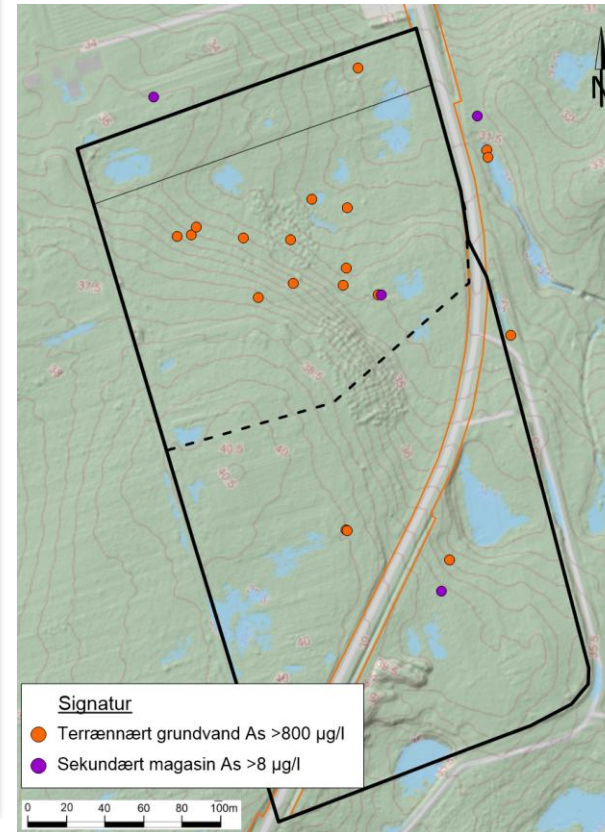
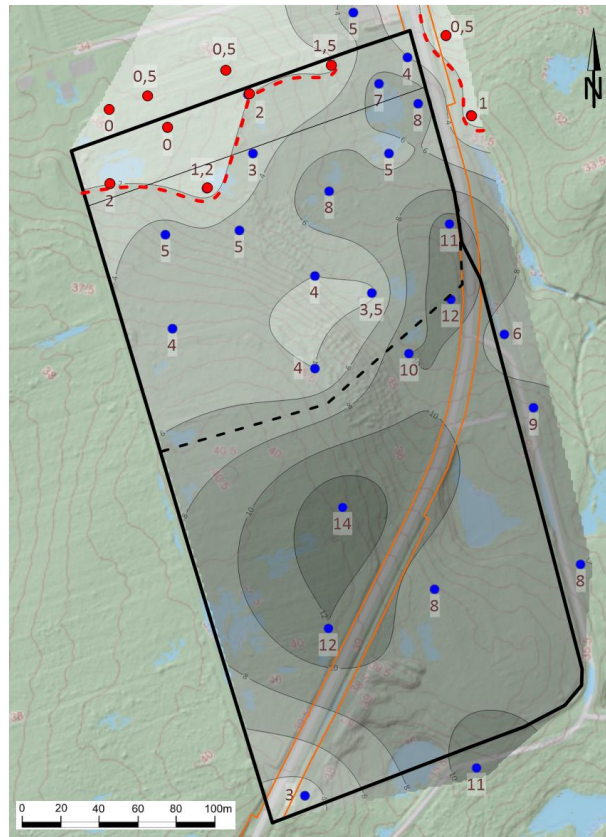
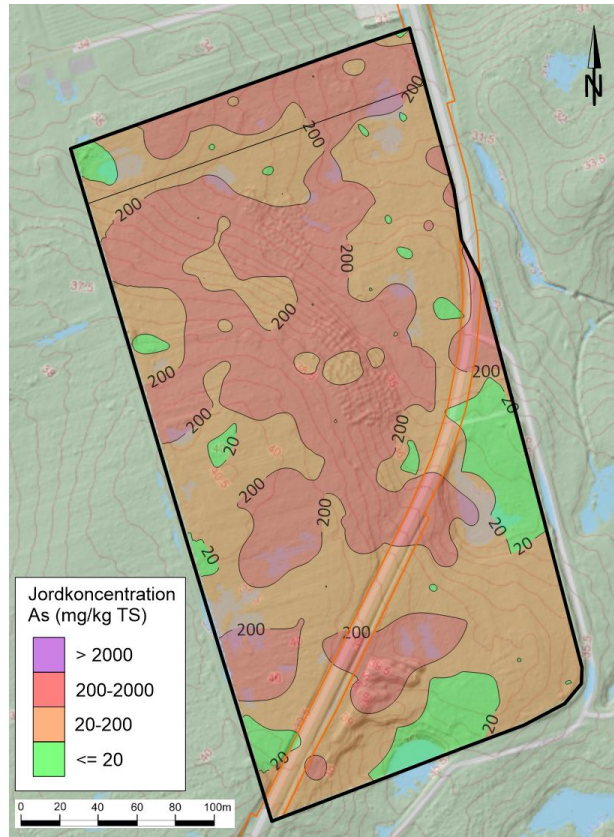


- Og gad vide hvordan verden ser ud om 2.000 år ... eller om 42.000 år?



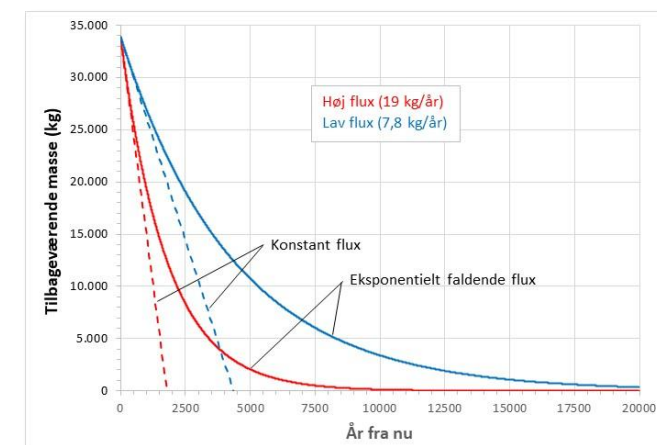
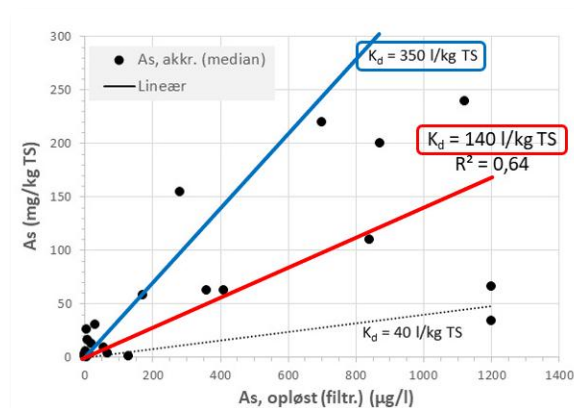
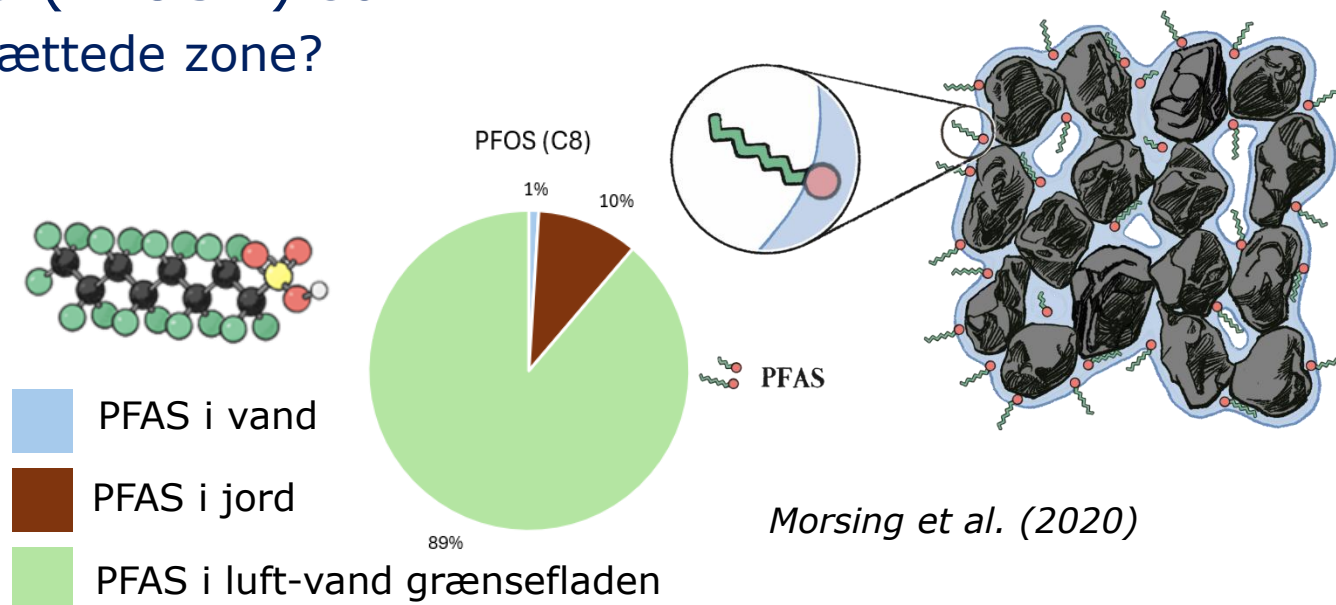
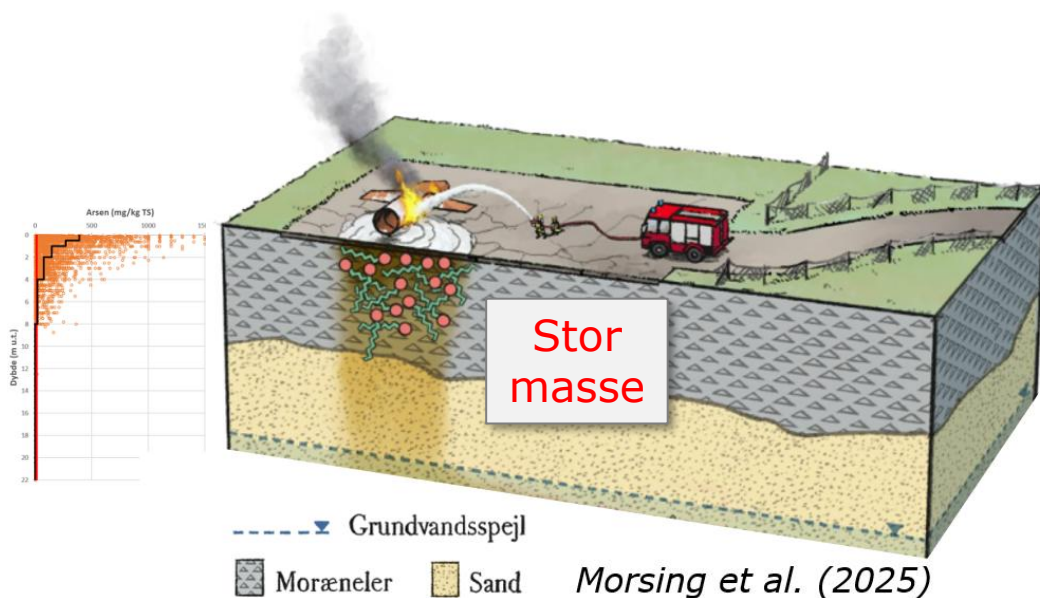
Potentielle indsatsområder mod langtidsrisiko (As)

- Overlap imellem:
 - Høje koncentrationer + dybtliggende koncentrationer i grundvand og jord
 - Sårbare områder i form af relativt tyndt lerdække



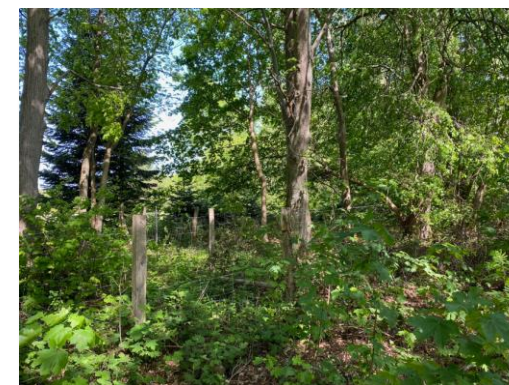
Perspektiv til PFAS?

- Men hvad med langkædede PFAS (PFOS+) som
 - pt. er indlejret i toppen af den umættede zone?
 - og har en kraftig AWi-adsorption?



Opsummering af den generelle læring

- Tal med din geolog (tidligt) når du har en forureningssag i Nordsjælland – nok bare mere i det hele taget?
 - Lagkagen bør ikke være den geologiske default hypotese
- Overhøjde kan snyde i tværsnitsvisualiseringer
- Komplicerede sager kan kræve at vi "maler med den brede pensel" ... men vores vurderinger skal være robuste ift. mikrovariationer (på den store skala).
- Risikovurderinger for meget store tidsskalaer er udfordrende.
 - Er en uendelig kilde uendelig på en uendelig tidsskala?
 - Måske er der et perspektiv til langkædede PFAS (PFOS+)?



- **COWI (2023)**. Collstrop grunden, Jespervej 276, 3400 Hillerød. Supplerende undersøgelser og risikovurdering. Udarbejdet af COWI for Region Hovedstaden. Februar 2023.
- **DTU (2010)**. Lokalitet nr. 219-3 Collstropgrunden. Udredning vedr. forureningssituationen på og omkring grunden 1977-2009. DTU Miljø Institut for Vand og Miljøteknologi for Region Hovedstaden, april 2010.
- **Geoviden (2020)**. Geologiske panderynker: Hvorfor har Langeland så mange hatte? Tema. Geopark Det Sydfynske Øhav. Geoviden nr. 3, s. 26-31, september 2020. <https://www.geoviden.dk/hvorfor-har-langeland-sa-mange-hatte/>
- **GEUS (2023)**. Results and knowledge about Kd tests, As mobility, transportation form, and leaching time. Præsentation af R. Jakobsen, GEUS, på vidensdelingsmøde afholdt på Regionsgården, Region Hovedstaden, 6. september 2023.
- **Houmark-Nielsen (2023)**. Michael Houmark-Nielsen. Geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland Zone C: Fra Gribskov til Nordkysten. University of Copenhagen. <https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/bibliotek/rapporter/>
- **Morsing et al. (2025)**. Morsing, L.; Tsitonaki, K.; Dyreborg, S.; Mosthaf, K.; Fjordbøge, A. S.; Hjorth, R.; Jensen, B.; Baun, A.; Bjerg, P. L. (2025): Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde, Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS- forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark.