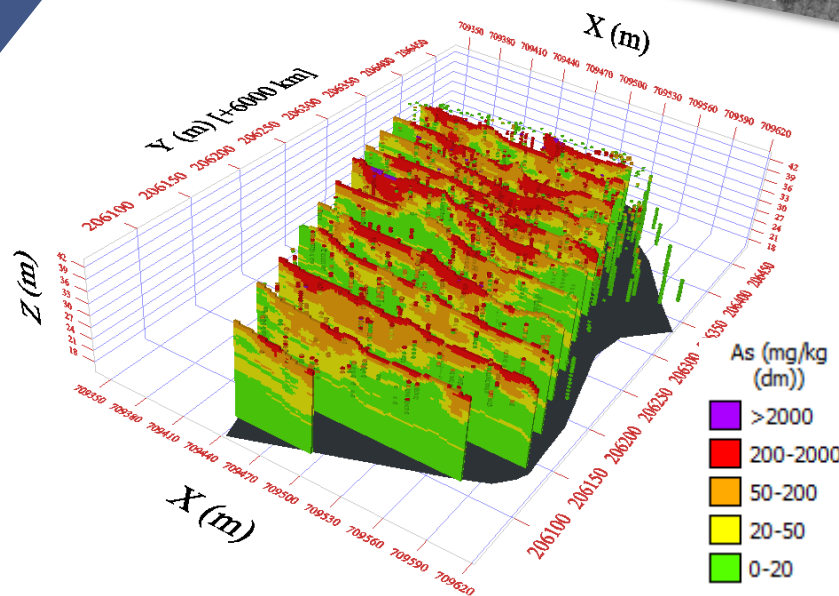


Håndtering af risikovurdering på en meget lang tidsskala, med en forurening, der bliver ved med at give (Case Collstrop)

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

Vinni Rønde, NIRAS
Anne Sivertsen, John Flyvbjerg og
Nina Tuxen, Region Hovedstaden

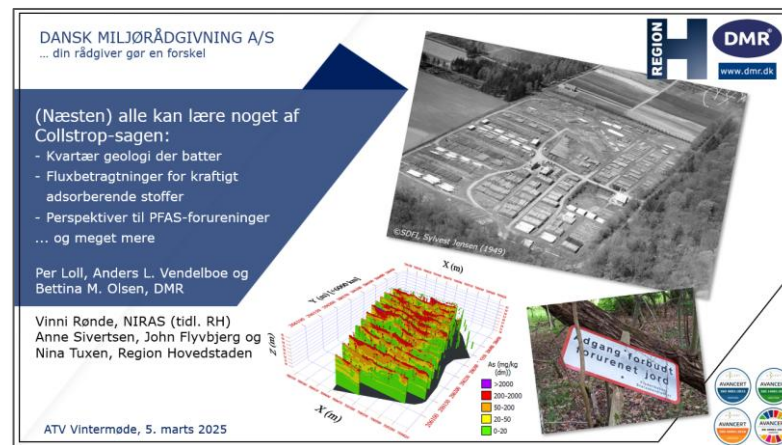
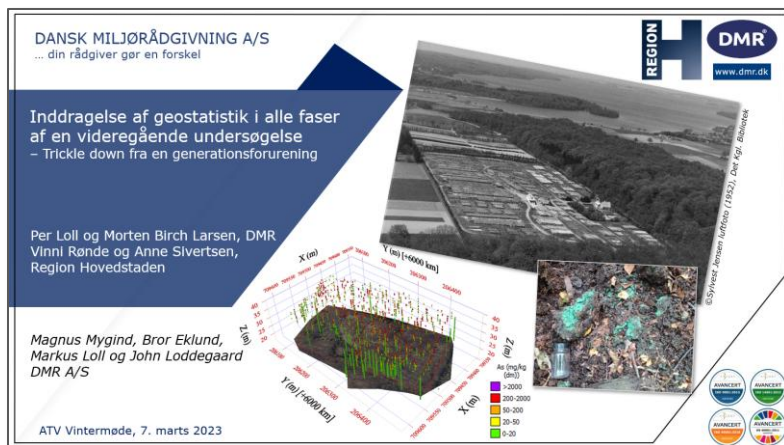
ATV - MEGA sites, 5. nov. 2025



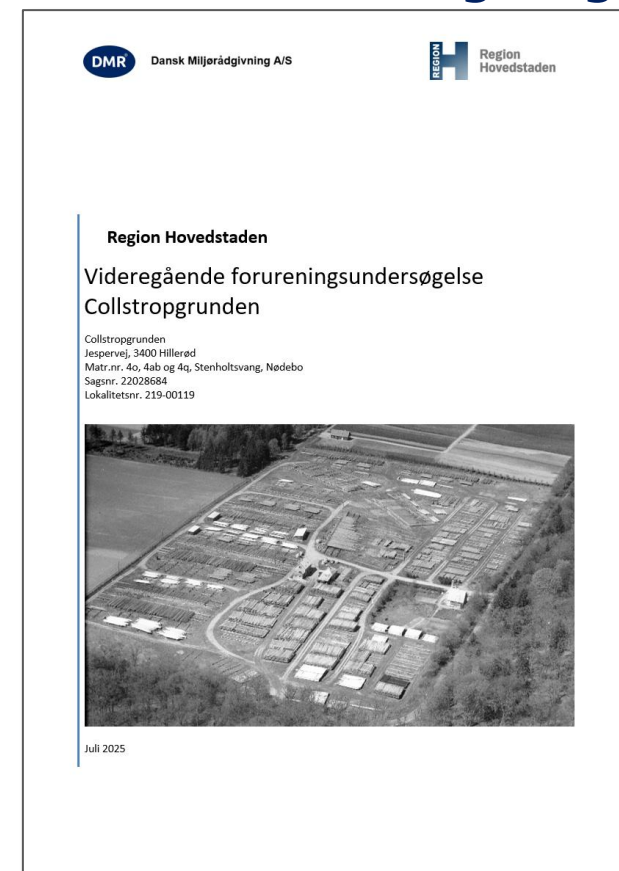
Mine refleksioner omkring dette indlæg

- Jeg har tidligere holdt to indlæg om Collstrop: ➔
 - 2023 om anvendelse af geostatistik på Collstrop
 - 2025 om geologi og generelle læringspunkter

I dag vil jeg vende perspektivet og berøre nogle udfordringer, der er med at håndtere Collstrop som en almindelig sag.

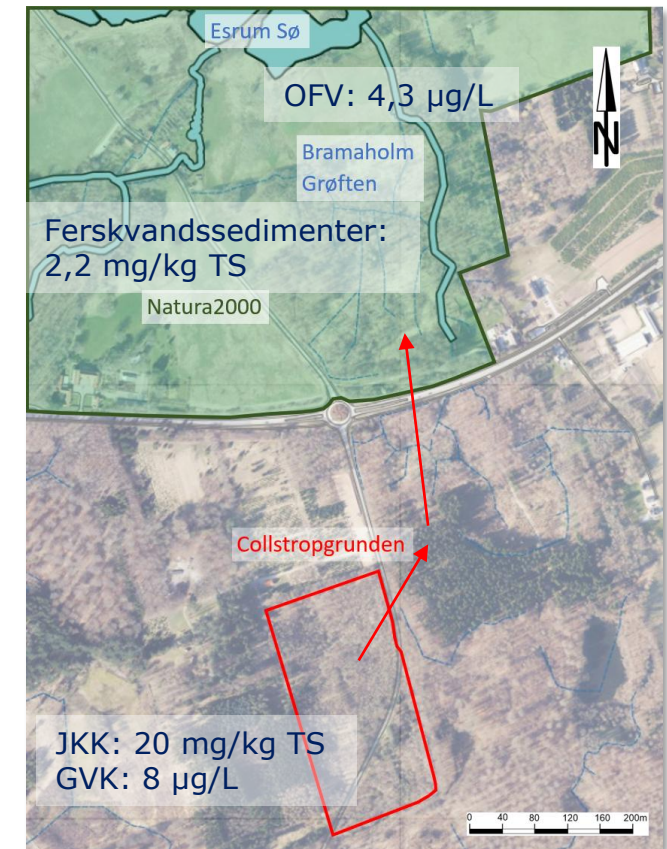
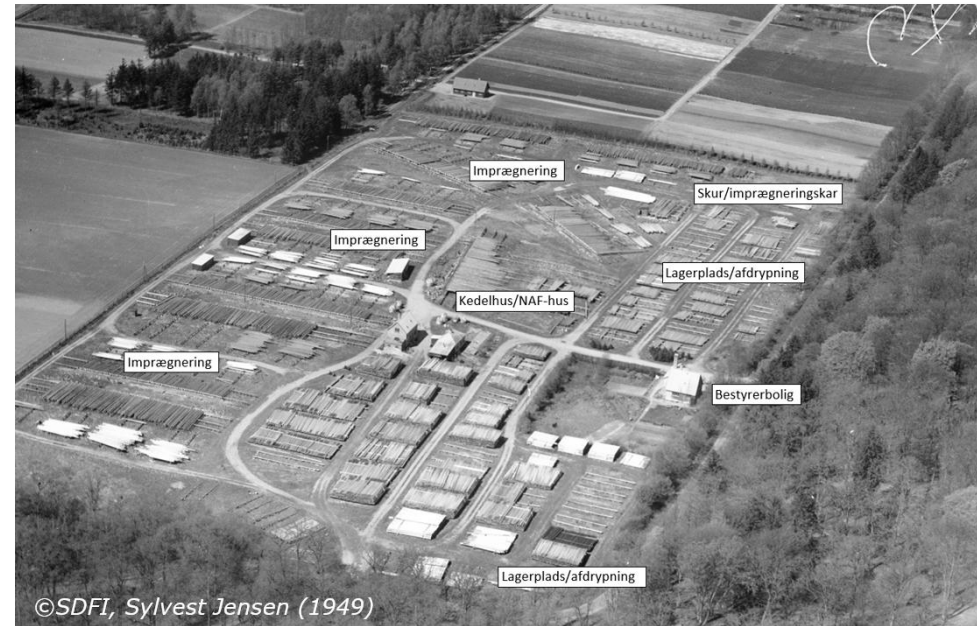


- Disse indlæg har handlet om hvordan Collstrop har kunnet behandles som en almindelig sag - på trods af størrelse og omfang.



Collstrop – det hurtige oprids

- 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



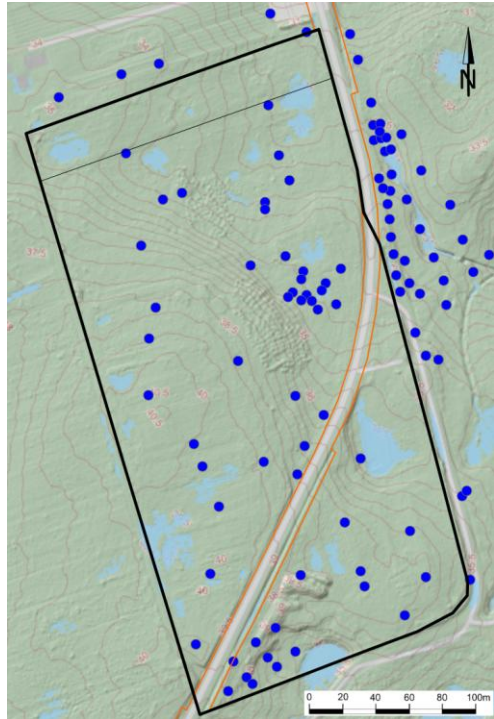
©Wisconsin DHS (2025)



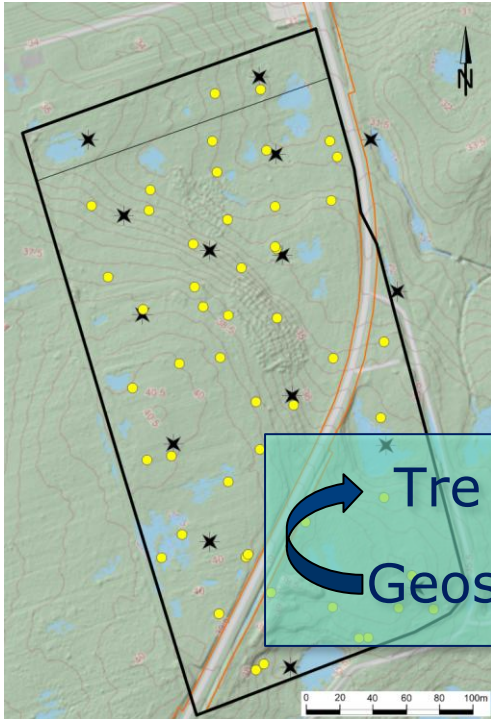
- Arsen er et grundstof, og det giver nogle af de udfordringer, der gør at Collstrop ikke er en almindelig sag.

Undersøgelsen ganske kort

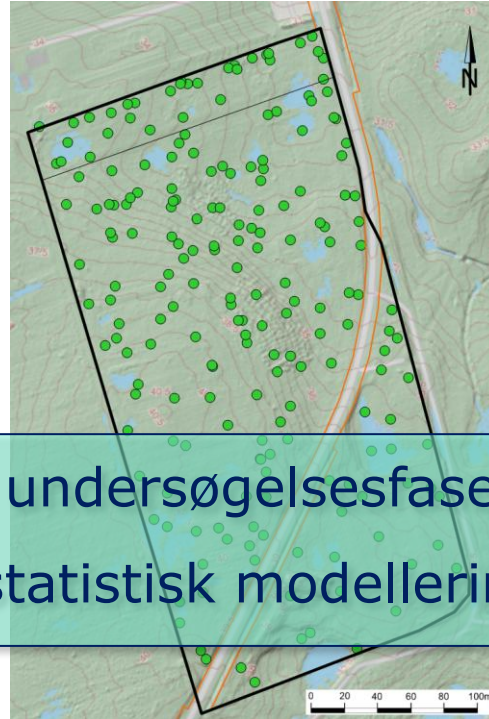
Tidl. boringer



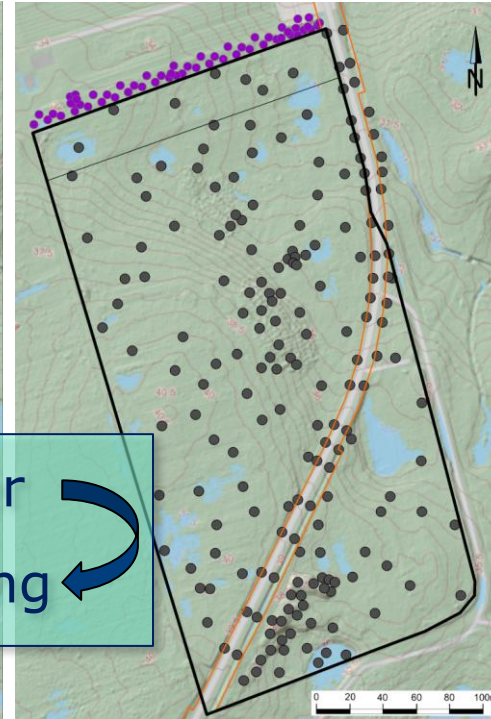
HPT & kerneboringer



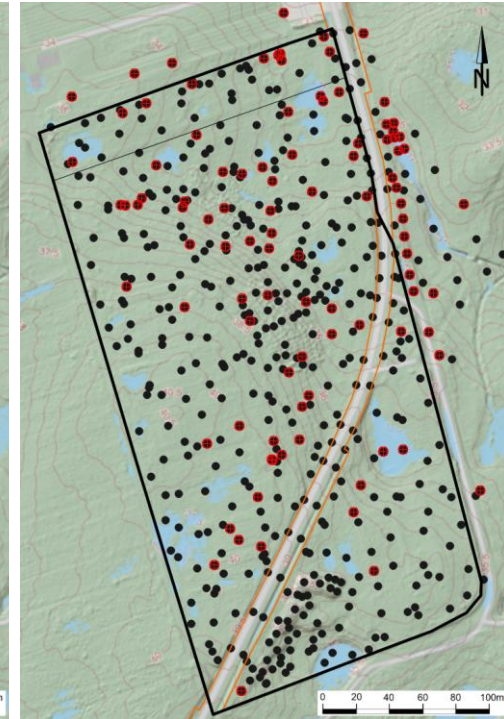
Snegleboringer



Håndboringer & OVF



Alle boringer & filtre



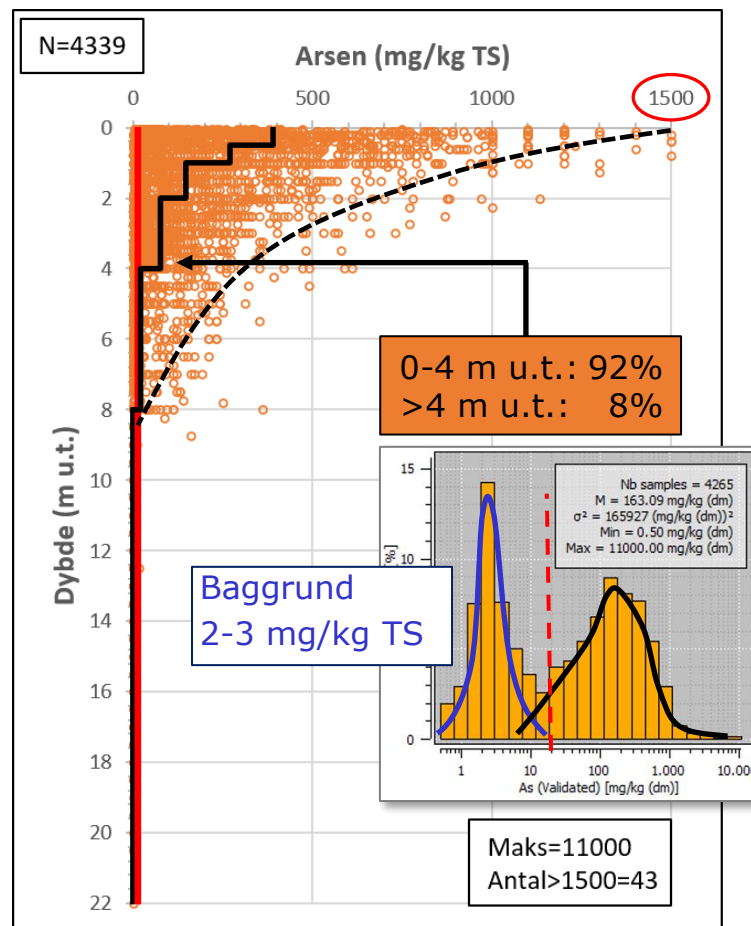
Tre undersøgelsesfaser
Geostatistisk modellering

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

40 kornkurver -> HydrogeoSieveXL -> K_s
Undersøgelser af overfladevand og sediment i vejbrønde

66 filtersatte boringer
47 i terrænnært grundvand
19 i sekundært magasin
Logning af potentialeniveau i 16 filtre over 5 mdr.

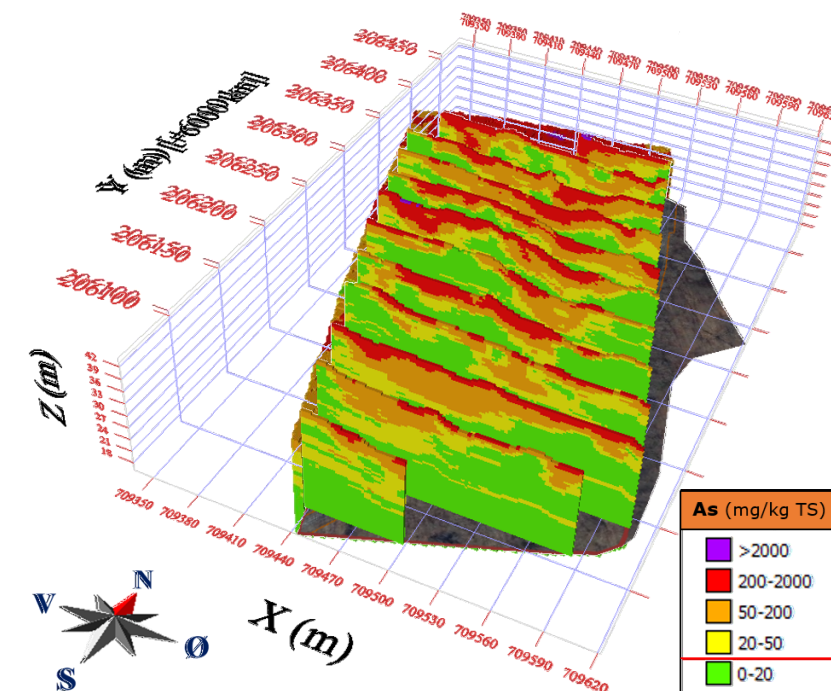
Jordforurening med arsen



As > JKK:

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

Geostatistisk modellering:



103 tons (90%: 96-109 tons)

72 tons > JKK (195.000 m³)

34 tons 0-1 m u.t.

92% af massen <4 m u.t.

Udvalgte "særlige udfordringer"

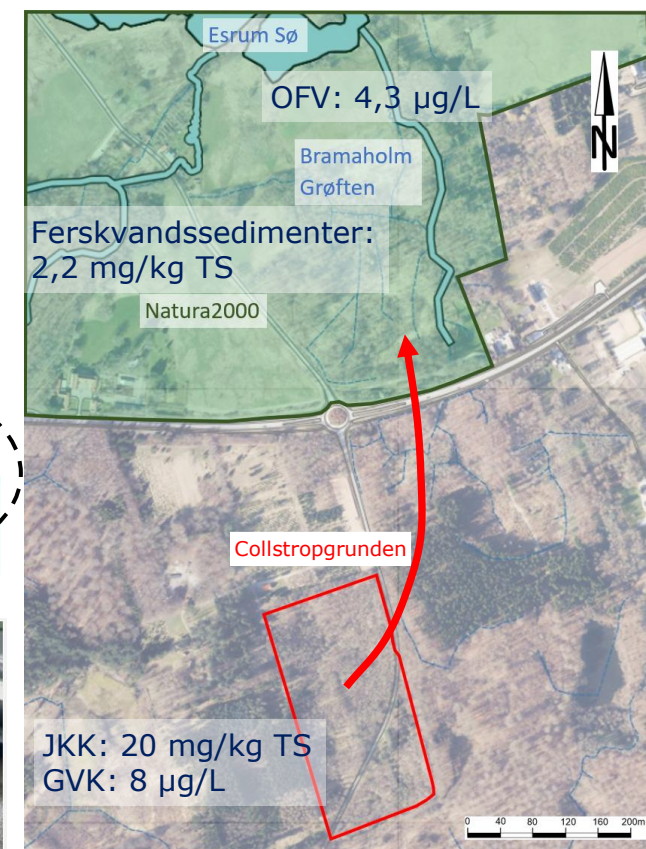
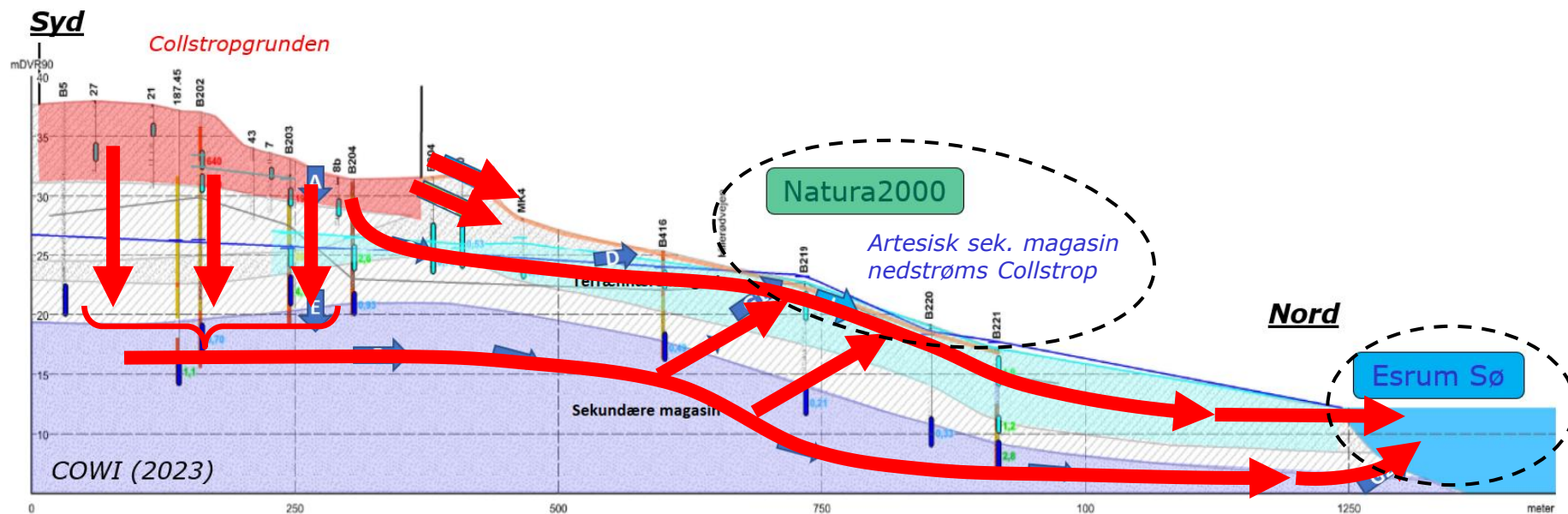
- Risikoreceptorer
 - Ingen indvindinger og grundvandet er ikke en brugbar ressource
 - Grundvandet er ikke en risikoreceptor – "bare" en spredningsvej
 - Natura2000/Bramaholm Bæk og Esrum Sø er de primære risikoreceptorer
- Kilden og udvaskning
 - Arsen omsættes ikke (evighedsstof), men kan opløses/fastholdes
 - Arsen retarderes kraftigt
 - Kilden er "uendelig" stor
 - Udvasningen tager meget lang tid (geologisk tidsskala)
 - Adsorptionen er ikke lineær, men følger en Langmuir-isoterm
- Afværgebetragtninger
 - Der findes ikke nogle særligt "gode" oprensningsmetoder ...
 - Og bare det at definere oprensningsvoluminerne er ikke "bare lige"



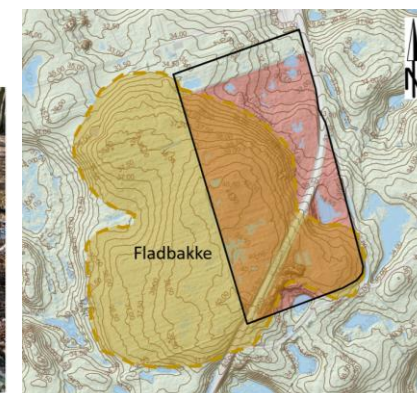
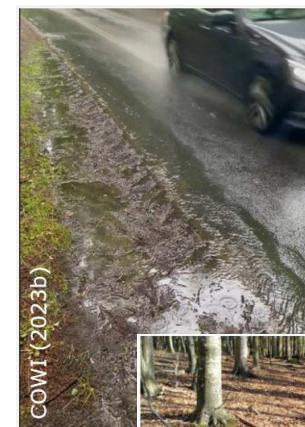
©Wisconsin DHS (2025)



Hvordan transporteres arsen væk fra grunden?



1. Overfladeafstrømning (regn og mudder)
2. Afstrømning i terrænnært grundvand
3. Nedsivning til sekundært grundvand
4. Strømning med sekundært grundvand
 - a) Opstrømning til Natura 2000
 - b) Indstrømning til Esrum Sø



Hvad er acceptabelt ift. risikoreceptorerne?

- Risikofluxen for Bramaholm Bæk og Esrum Sø
 - Risikofluxen er den flux, som giver anledning til en koncentration i risikoreceptoren, der er lig Miljøstyrelsens kvalitetskriterier.
- Beregnes pba. fortyndingsmodeller i *MST (2014)* og *MST (2015)*:

Bramaholm: $C_{krit} = \frac{J_{risiko}}{Q_{vandløb}}$

Esrum Sø: $C_{krit} = \frac{J_{risiko}}{0,1 \text{ L/s} \cdot S_0} + \frac{J_{risiko}}{Q_{sø}}$

hvor J_{risiko} er risikofluxen

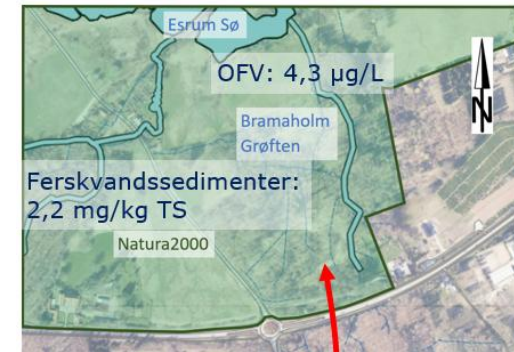
C_{krit} er overfladevandskriteriet [4,3 µg/L]

$Q_{vandløb}$ er medianminimumsvandføringen [14,3 L/s]

S_0 er søens fortyndingsfaktor [275 for Esrum Sø, *DMP (2025)*]

$Q_{sø}$ er afstrømningen fra søen [525 L/s, *DMP (2025)*]

MST (2014, 2015): Jordforureningers påvirkning af overfladevand (del 5 og 6).



- J_{risiko} beregnes til:

Bramaholm: **1,9 kg/år**

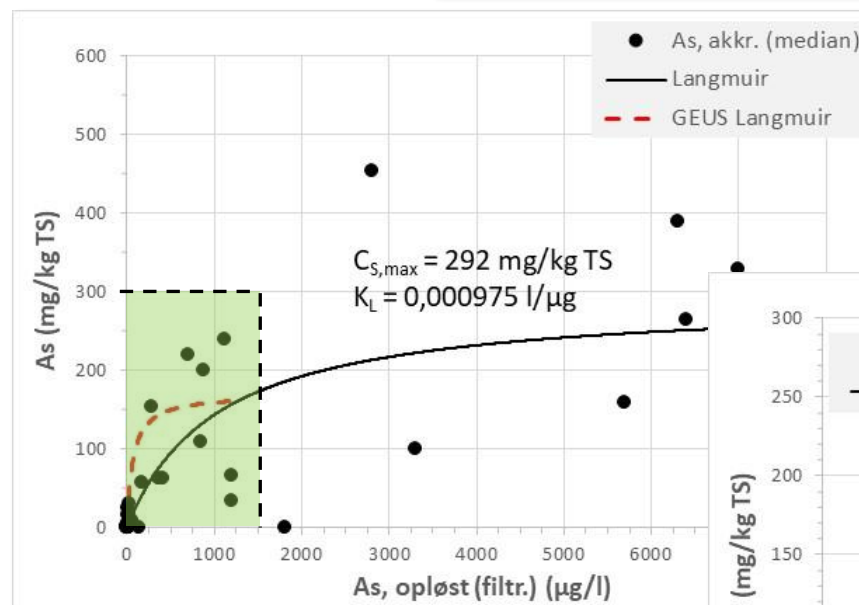
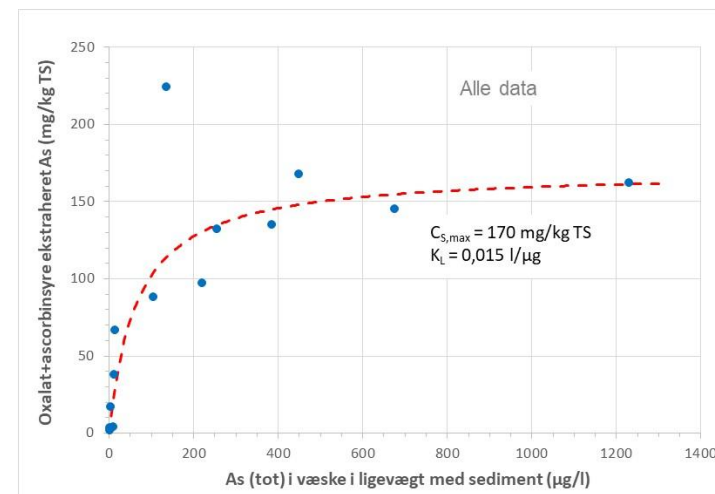
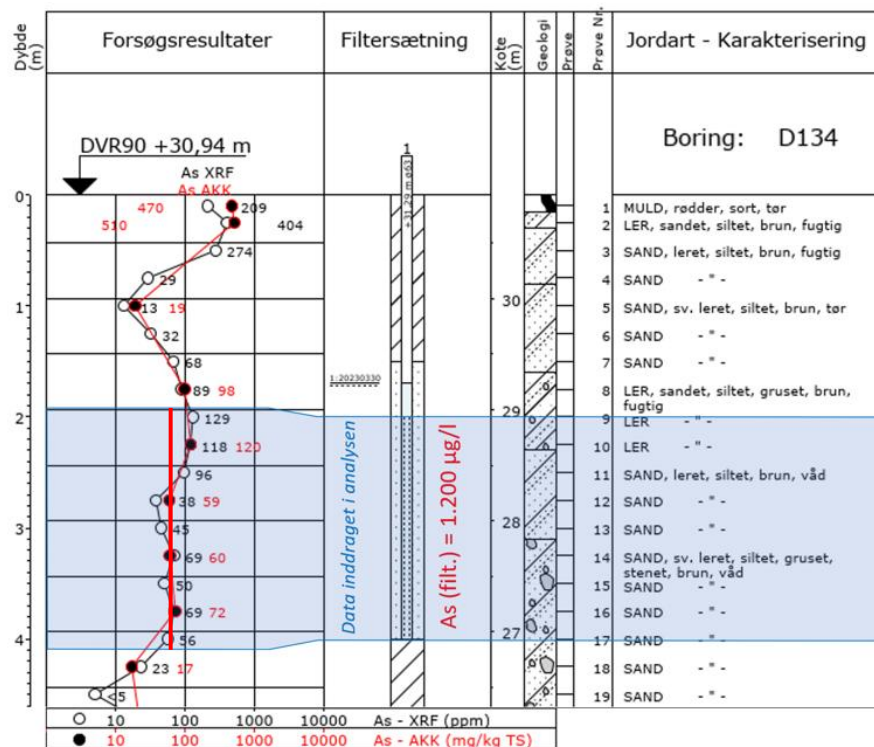
Esrum Sø: **3,5 kg/år**

- Kravværdien i ferskvandssedimenter (2,2 mg/kg TS) *kan* blive risikodrivende ved K_d -værdier $> 512 \text{ L/kg TS}$.

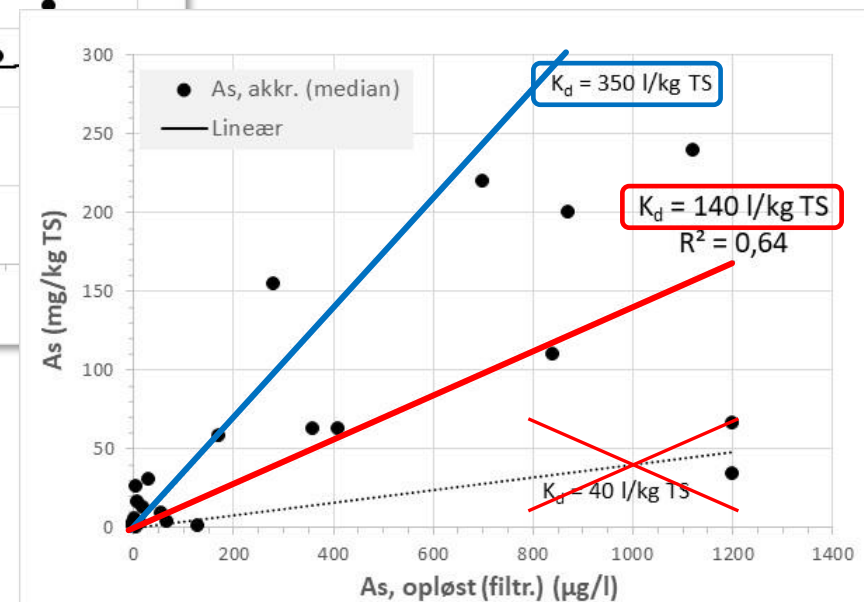


Adsorption og transport (As)

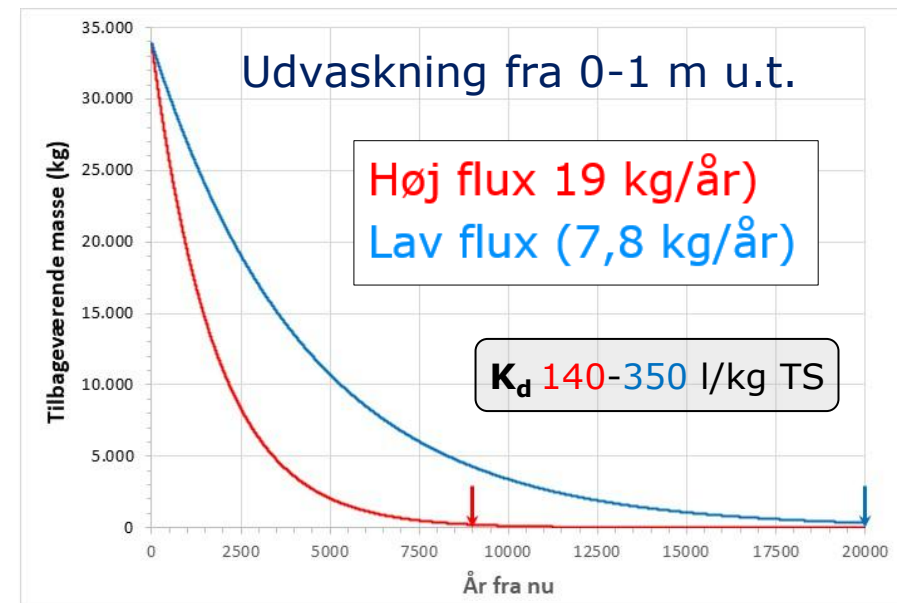
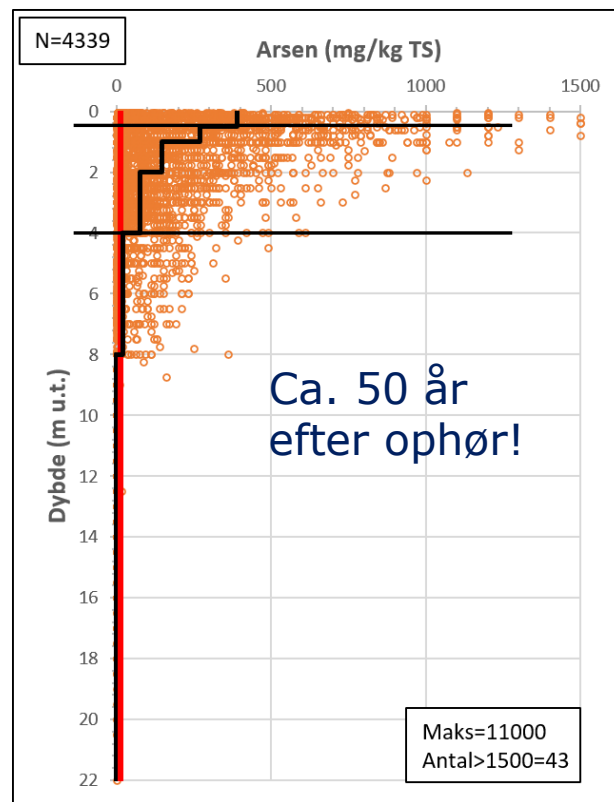
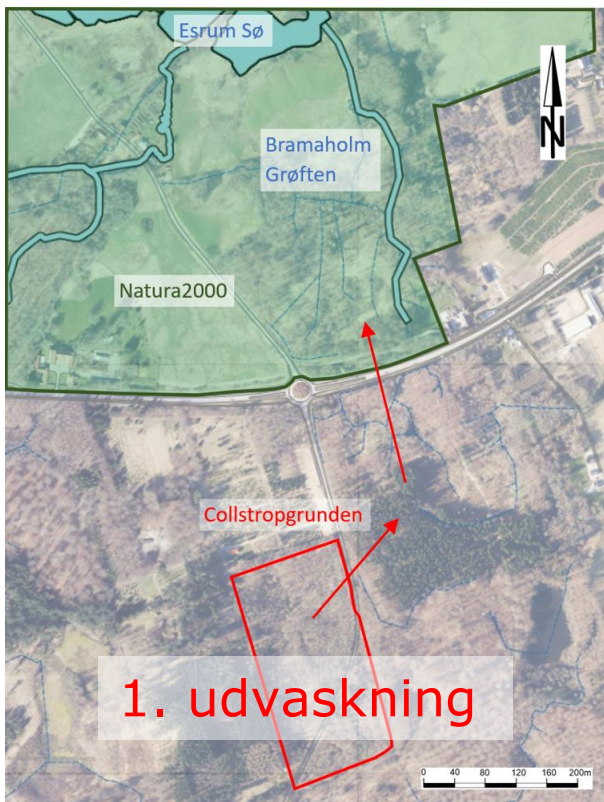
- Laboratoriestudium, GEUS (2023):
- Undersøgelsesdata fra 54 borer (jord- og vandprøver):



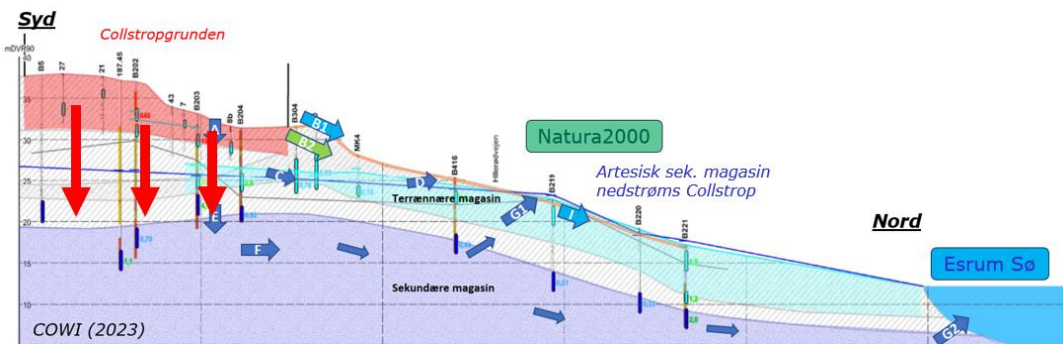
K_d 140-350 l/kg TS



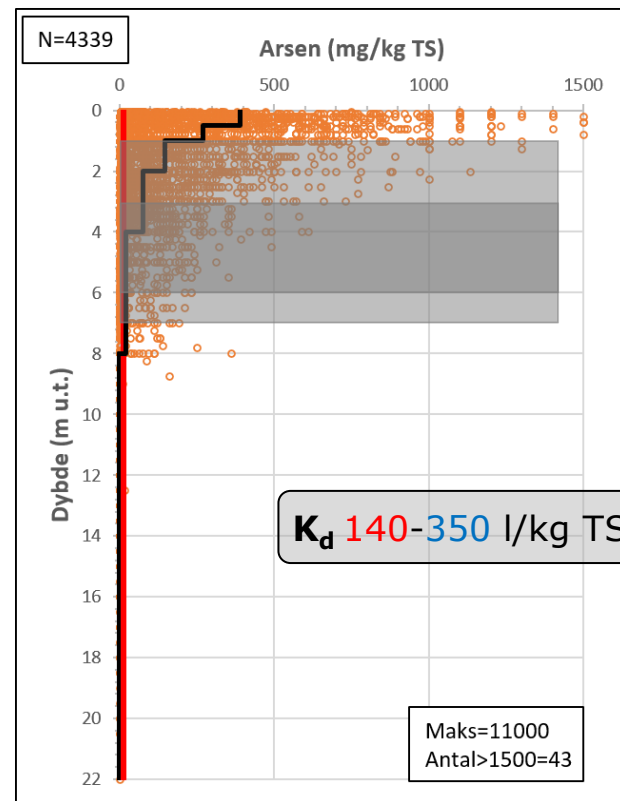
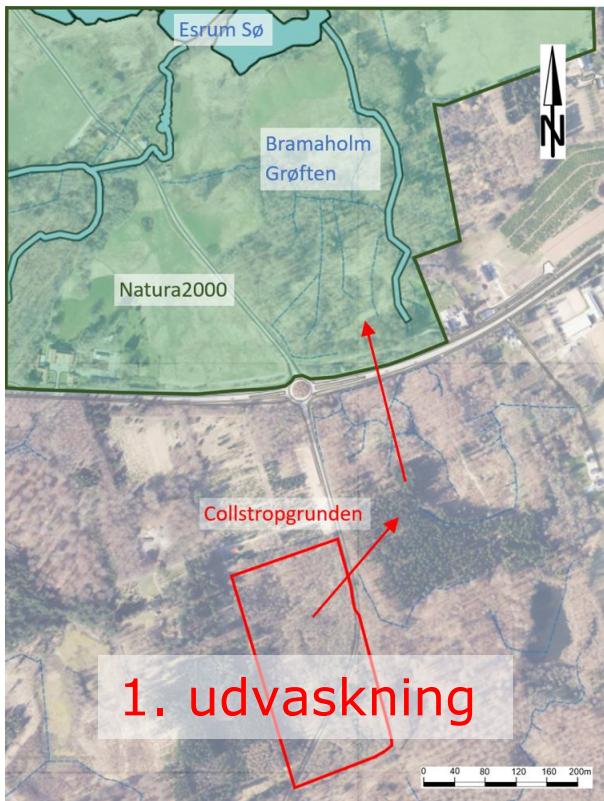
Udvaskning fra kilden (del 1)



- Udvaskningen tager LANG tid: 9.000-20.000 år fra 0-1 m u.t. op til 42.000 år fra 0-4 m u.t.



Udvaskning fra kilden og dens levetid (del 2)



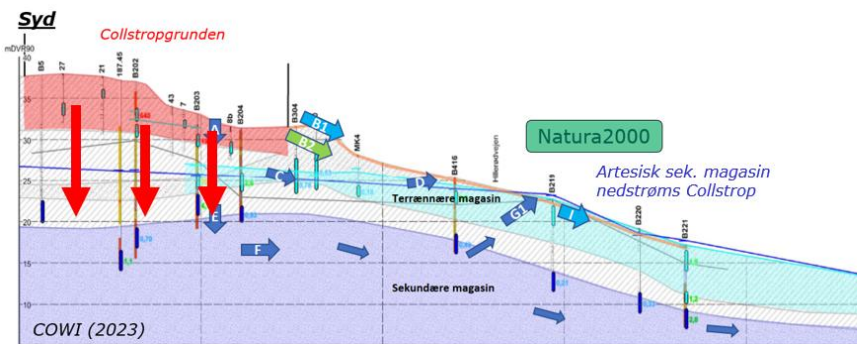
- Men det er bagkanten af forureningen
- Hvad med center og forkant?
- Vertikale transporthastigheder på 0,07-0,6 cm/år (inkl. retardation).

Vertikal transport (JAGG 2.1)

- 3 meters vertikal transport
- 375–3.400 år til 8 µg/L
- 630–5.500 år til 50% gennembrud

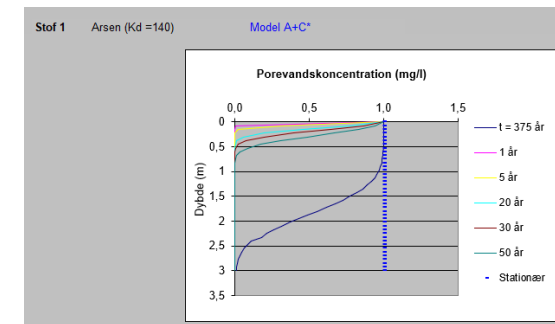
Vertikal transport (JAGG 2.1)

- 6 meters vertikal transport
- 875–7.800 år til 8 µg/L
- 1.250–11.000 år til 50% gennembrud



Kun for model A+C og model B DTU V1D model 1b

2(z), Porevandskoncentration lige over grundvandet (input til trin 1a)	1
Grundvandskriterium	0,008
Overskridelse af kriteriet	125
Anvendt nedbrydningskonstant	0
Retardationskoefficient R	166,9
Total flux J	13500
Anvendt brugerdata	Ja, se bemærkning
Beregning: Transient koncentration efter vertikal	
Tid (t)	375,0
Arten (Kd =140)	0,007579491

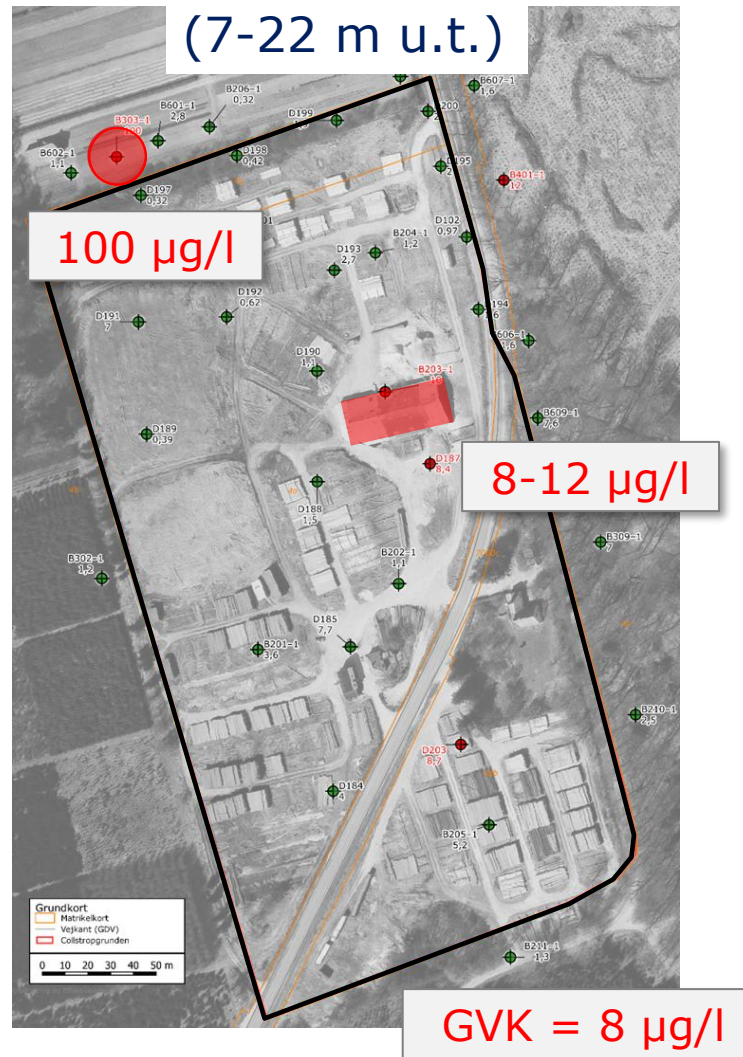


500-5.000 år til spidsen!

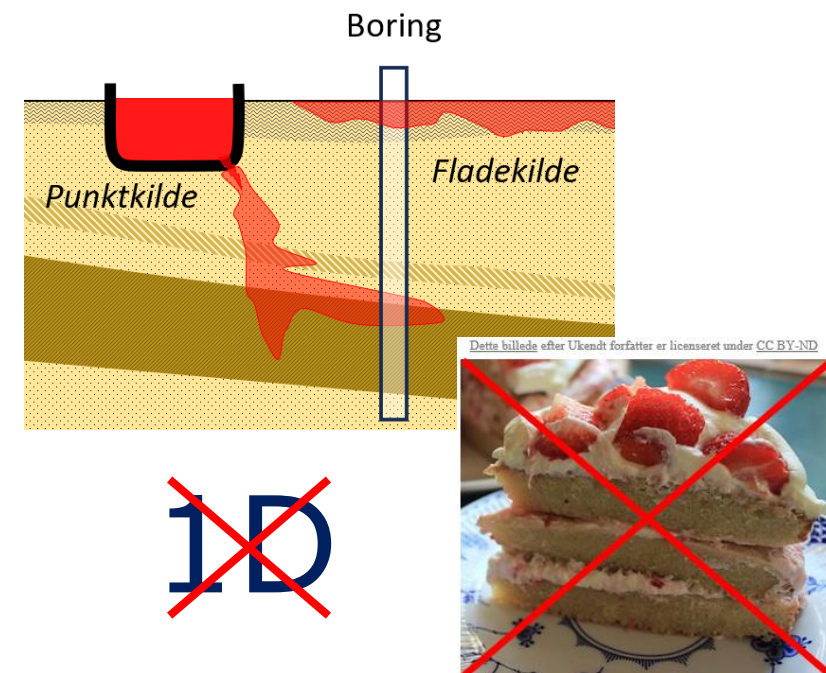
Faktisk grundvandsforurening

Terrænnært grundvand (0,5-10 m u.t.)

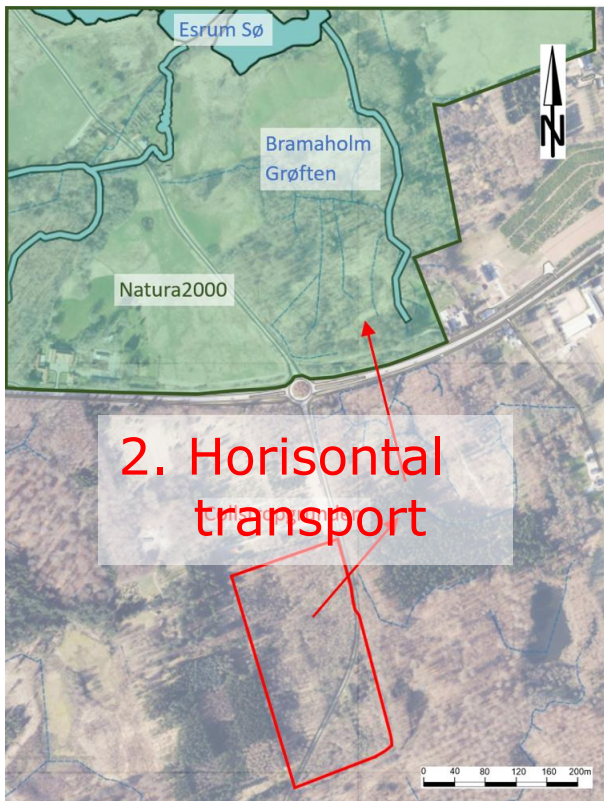
Sekundært grundvand (7-22 m u.t.)



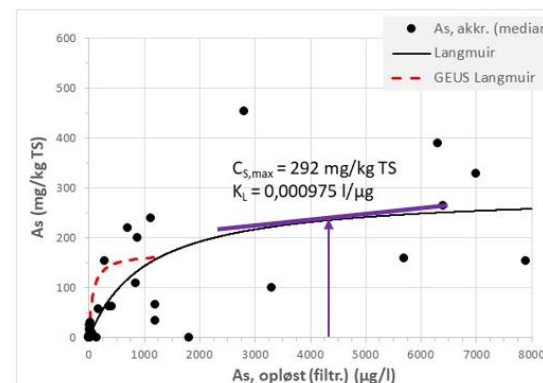
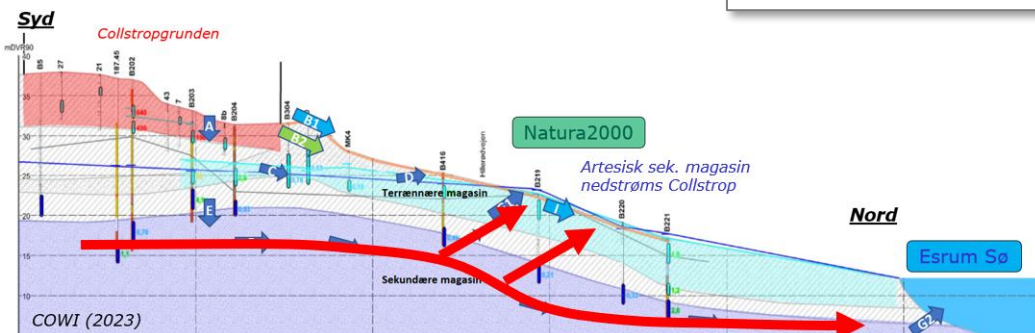
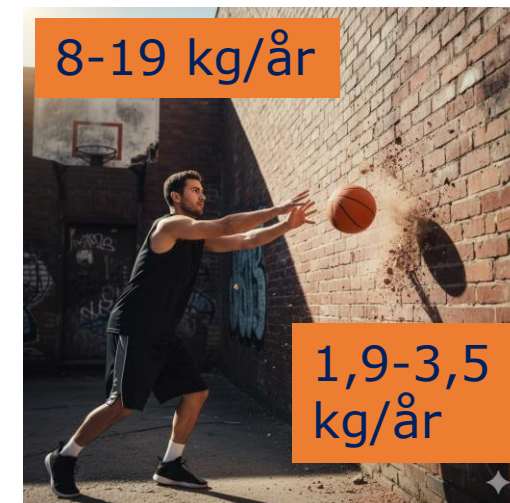
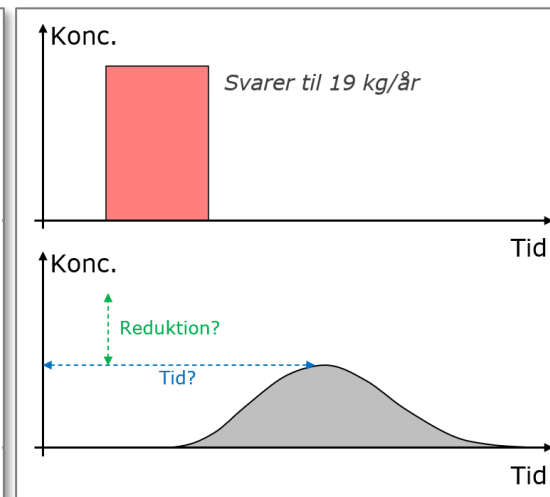
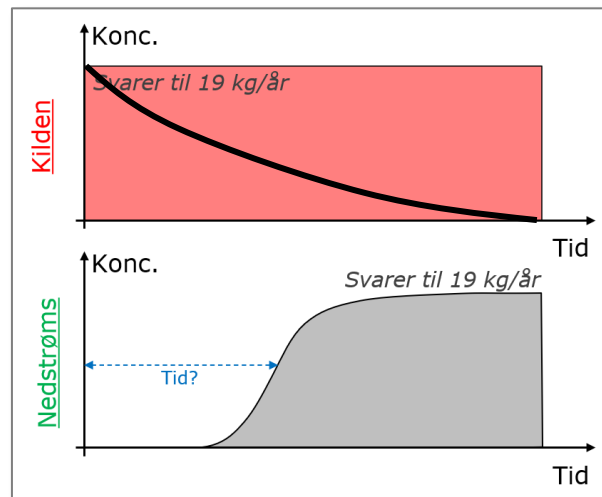
- Stemmer overordnet set med det faktiske forureningsbillede
- Komplicerede kildeforhold + skråtstillet geologi kan forklare resten



Transport i det sekundære magasin



- Horisontale transporthastigheder på 1,2-10 cm/år (inkl. retardation).
 - 400 m til Bramaholm -> 4.000-33.000 år
 - 800 m til Esrum Sø -> 8.000-66.000 år



Langmuir giver lavere K_d ved høje koncentrationer

Opsummering og hvad så nu?

- Vi står med:



- Risikoreceptorer, der har Risikoflux på 1,9-3,5 kg/år
- Maksimale fluxe ud af systemet på 8-19 kg/år
- En arsenmasse på 100 tons
- Udvaskningstider på 9.000-40.000 år
- Vertikale transporttider på 500-5.000 år
- Horisontale transporttider på 4.000-66.000 år
- Koblede og komplicerede systemer på ekstreme tidsskalaer

- Sagens videre forløb/håndtering:

- Modellering af ovenstående (DTU Sustain, foråret 2026)
 - Tror vi at kildereduktion bliver nødvendigt?
- Der er udpeget særligt sårbare områder
 - hvor afværge er særligt relevant + overvågningsprogram
- Skitsere afværgescenarier ved "tidligt gennembrud" (reelt oppumpning)
- RH arbejder videre med afværgemetoder ift. kildeindsats



Bare lidt filosoferentil sidst

- Man bliver fartblind af at snakke om tidsskalaer på 500-50.000 år
 - Hvordan verden ser ud om 500 år?
 - Der var istid for 12.000 år siden
- Tungmetaller forsvinder ikke - Hvor ender de efter Esrum Sø?

Tak



Spørgsmål?

- **COWI (2023)**. Collstrop grunden, Jespervej 276, 3400 Hillerød. Supplerende undersøgelser og risikovurdering. Udarbejdet af COWI for Region Hovedstaden. Februar 2023.
- **COWI (2023b)**. Collstrop knowledge sharing. Key results about As transportation routes from the Collstrop site and mass flux. Presentation by T.H. Jørgensen. 6. september 2023.
- **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.
- **MST (2014)**. Jordforureningers påvirkning af overfladevand, delprojekt 6. Systematisering af data og udvælgelse af overfladevandstruende jordforureninger. Miljøprojekt nr. 1573.
- **Miljøstyrelsen (2015)**. Jordforureningers påvirkning af overfladevand. Fortyndinger i fjorde og søer, delprojekt 5. Miljøprojekt nr. 1725.
- **DMP (2025)**. Danmarks Miljø Portal. Screening for overfladevand. Web: [Screening for Overfladevand - Danmarks Miljøportal](#).