

Restforurening med PFAS og mulighederne for udtagning af kortlægning ? Er der en vej frem mod det mål ved brug af bl.a. nye værktøjer ?

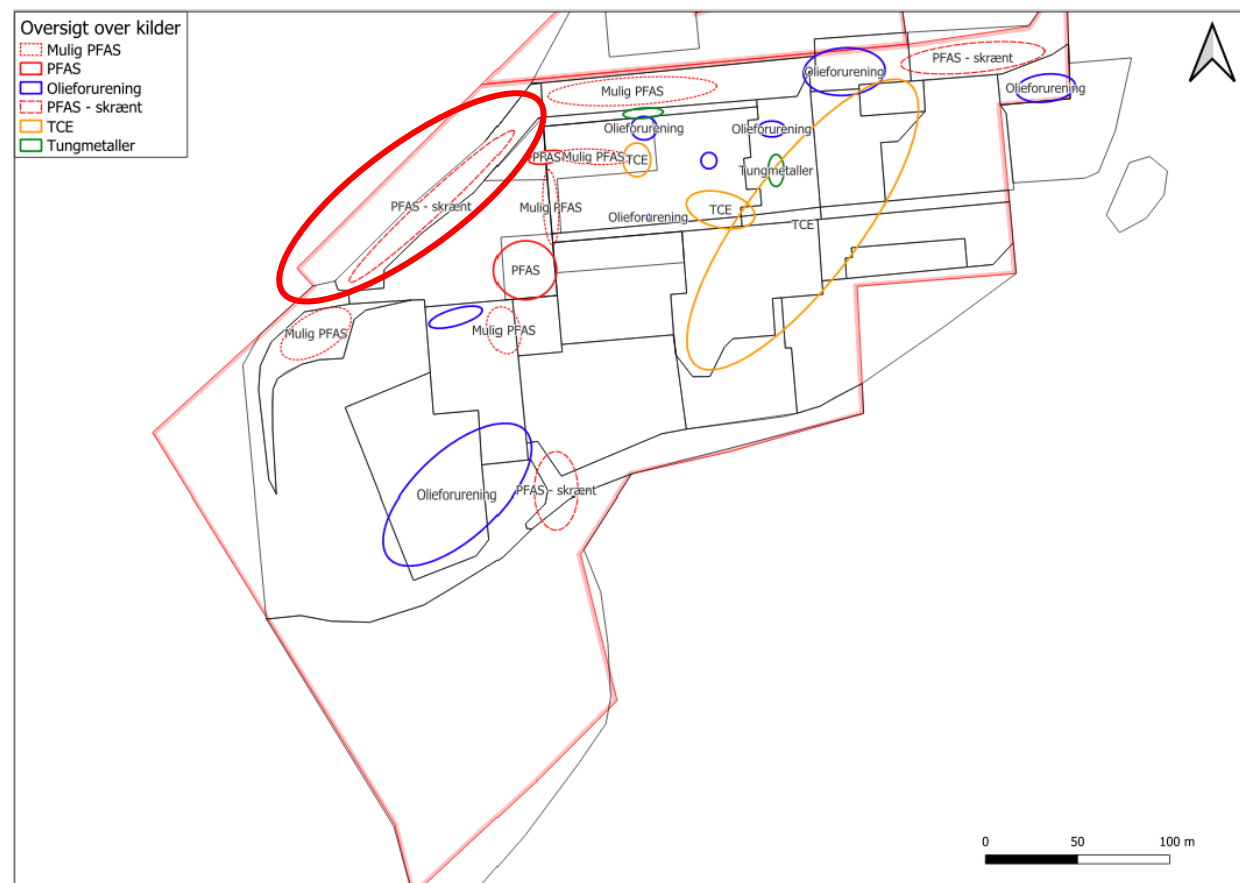
Anders G. Christensen, Helene Draborg, Søren Helt Jessen

# Agenda

- Baggrund
- Forudsætninger for udtagning af kortlægning
- Anvendt metodik
- Resultater
- Sammenfatning
- Konklusion og perspektivering

# Baggrund

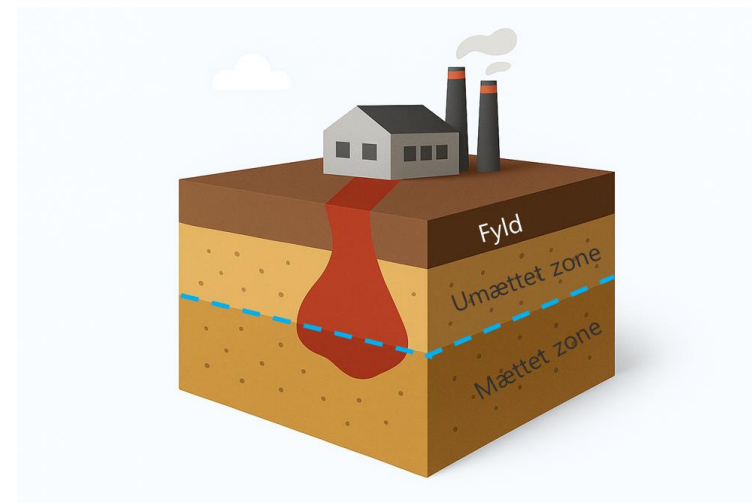
- Fabrikation på grunden opstartet i 40'erne og nedlagt ca. 2001.
- Hele fabriksområdet er V2 kortlagt som følge af forureninger med bl.a TCE, olie og PFAS.
- Langsigtet plan iværksat ca. 2018 for at fjerne alle bygninger og nedgravede installationer (kloakker, brønde, belægninger mv.)
- Ønske om som udgangspunkt at fjerne forureningen med olie og TCE.
- Processen med oprensning af TCE startet i 2020, og der er opstillet mål for koncentration af restforurening der kan accepteres ifht. risiko for grundvand og evt. indeklima/udeluft.
- Denne process har til formål på sigt, at få skabt grundlaget for en udtagning af delområder fra V2-kortlægningen.
- PFAS forureningen blev først konstateret i 2020, og der er siden udført omfattende undersøgsler af både jord og grundvand samt kloakker, dræn og pumpebrønde mv.
- Alle fabriktionsbygninger og installationer er idag stort set fjernet og en omfattende retablering af området er igang.
- Men hvad så med den PFAS forurening der er tilkommet ?
- Vi ser her specifikt på et enkelt delområde F placeret langs en skrænt nær det østlige skel



# Forudsætninger for udtagning af delareal af kortlægning

## Proces med at skabe grundlaget for Regionens sagsbehandling

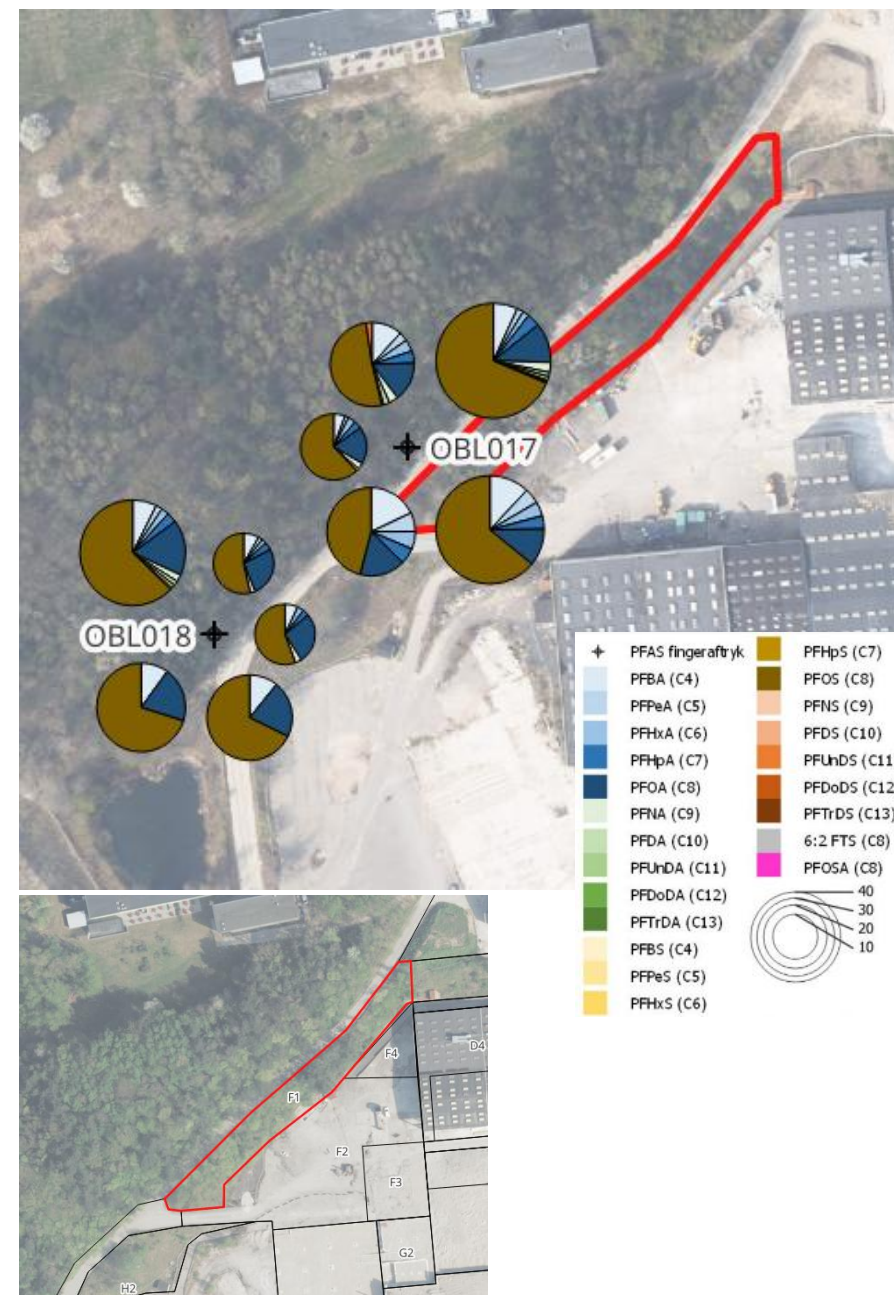
- Fyldestgørende historik:
  - Kemiske stoffer anvendt over tid
  - Håndtering af affald
  - Anvendelse af arealer over tid
  - Eksisterende og tidligere underjordiske rørføringer inkl. kloakker mv.
  - Uheld og ulykker, brand mv.
  - Afklaring af mulige punkt- og fladekilder (diffuse belastning)
- Tilstrækkelige fysiske undersøgelser:
  - Jord- og grundvandsforurening (masse, flux, baggrunds niveau)
  - Geologi & hydrogeologi
  - Evt. pumpesystemer og dræn til styring af grundvandsniveauer
- Robust konceptuel model for punktkilder og den diffuse belastning
- Risikovurdering overfor grundvandet som følge af restforurening efter fjernelse af alle punktkilder



# Metodik – Eksemplificeret ved delområde F

## Baggrundsniveau af PFAS i overjorden

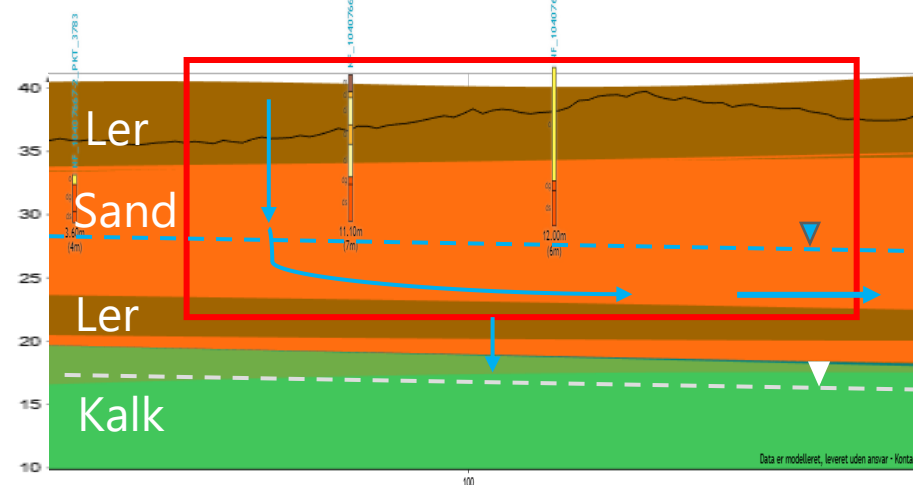
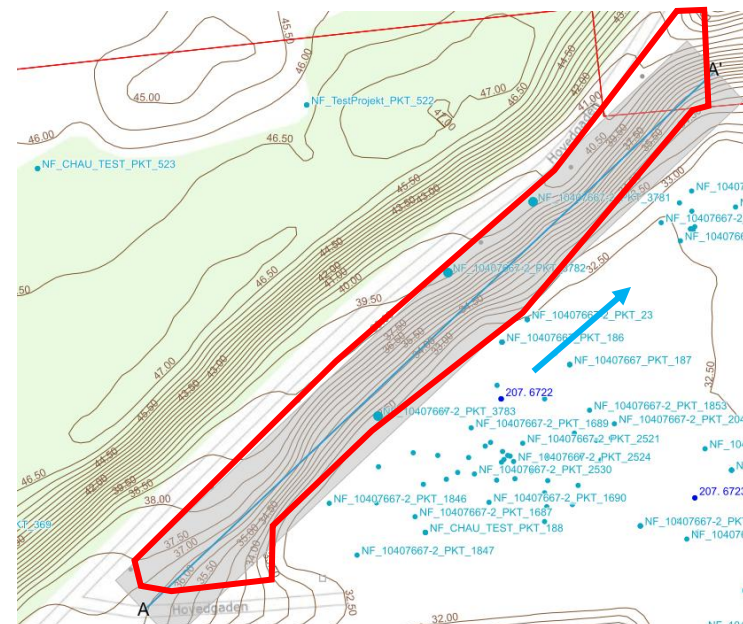
- På skrænten i skovområdet indikerer 10 jordprøver fra 0,1m hhv. 0,2 m et indhold af PFAS22 i alle prøver.
- PFAS4 (sum PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS) udgør hovedparten af PFAS22 med et gennemsnit på ca. 9 ug/kg.
- PFOS og i mindre grad PFOA, er de dominerende stoffer. PFOS udgør op mod 40 – 80 % af PFAS4, mens PFOA (en PFCA) udgør 10 – 30 % af PFAS4.
- Udover PFOS og PFOA ses mindre indhold af de kortkædede carboxylsyrer, hvor det især er PFCA'er som PFBA, PFPeA, PFHxA og PFHpA.
- Flere laboratorier (3 stk.) analyserede parallelt prøverne, og enkelte prøver overskred netop jordkvalitets kriteriet for PFAS4 på 10 ug/kg.
- Ingen prøver overskrider PFAS22 kriteriet på 100 ug/kg.
- Det ensartede niveau af PFAS4 indikerer et svagt forhøjet niveau i forhold til det generelle DK niveau på ca. 1-2 ug/kg PFAS
- Årsagen sandsynligvis luftbåret påvirkning fra bl.a. diverse luftafkast i forbindelse med produktionen i området



# Metodik – Eksemplificeret ved delområde F

## Grundvand og geologi

- Arealet beliggende på stejl skråning
- Den øverste 1 m består af sandmuld
- Herunder kvartær aflejring af smeltvandssilt og ler til ca. 7 m u.t.
- Herefter træffes den glaciæle Hedeland formation, der i de tre øverste meter er umættet og de nederste 3 meter er mættet og udgør et sammenhængende sekundært magasin som genfindes under hele fabriksgrunden
- Vandspejlet i det sekundære magasin er frit og der estimeret en darcy hastighed i det sekundære magasin på ca. 365 m/år.
- Strømningretningen er estimeret til NØ-lig og dermed stort set parallelt med områdets orientering i længderetningen
- Det sekundære magasin er adskilt fra det primære magasin af et lerlag med en forventet mægtighed på 2-5 m
- Trykniveauet i det primære magasin er beliggende i toppen af kalken eller i et tyndt sandlag, der er observeret over kalken i nogle borer i området.
- Den forventede netto infiltration til det sekundære magasin i området er skønnet til 140 mm/år.

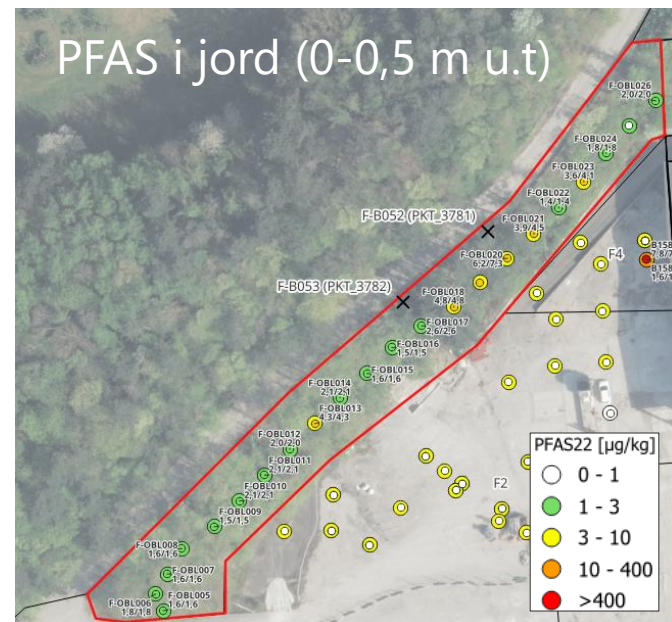




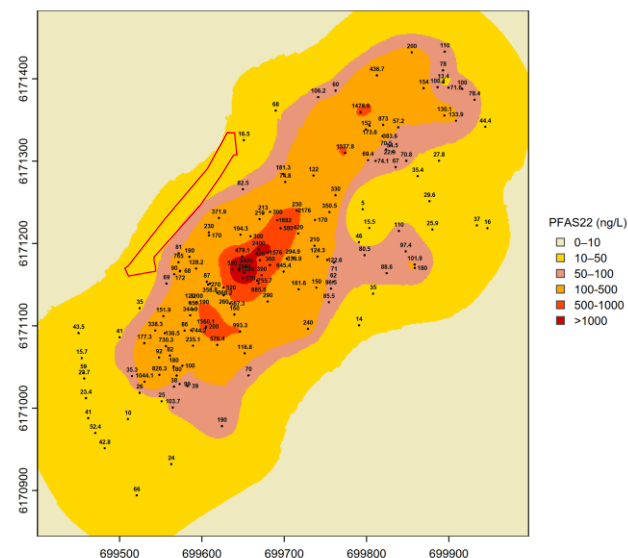
# Metodik – Eksemplificeret ved delområde F

## Fysiske undersøgelser – jord og grundvand

- Kortlægning af PFAS i overjorden (0-0,5 m) til eftervisning af at der ikke er punktkilder – datatæthed ca. 25 punkter på de ca. 5250 m<sup>2</sup>
- Udførelse af 2 boringer til ca. 11-12 m svarende til toppen af det sekundære grundvandsmagasin
- Analyse af jordprøver over dybden til generel beskrivelse af den vertikale PFAS fordeling over dybden i specielt de øverste 5 m
- Analyse af eluat fra udvaskningsforsøg på jordprøver fra udvalgte dybder til supplerende beskrivelse af nedtrængningsdybden af PFAS
- Analyse af kulstofindholdet (foc) i de forskellige jordtyper der påvises i profilerne
- Estimering af lokal specifikke K<sub>d</sub>-værdier baseret på parvis prøver af jord/eluat
- Beregning af vandmætningen af jorden i de to profiler og de enkelte geologiske lag
- Supplerende kortlægning af PFAS i det sekundære grundvand under området ved filtersatte boringer
- Estimerede jord parametre og PFAS koncentrationer jorden anvendes til modellering af PFAS spredningen til grundvandet



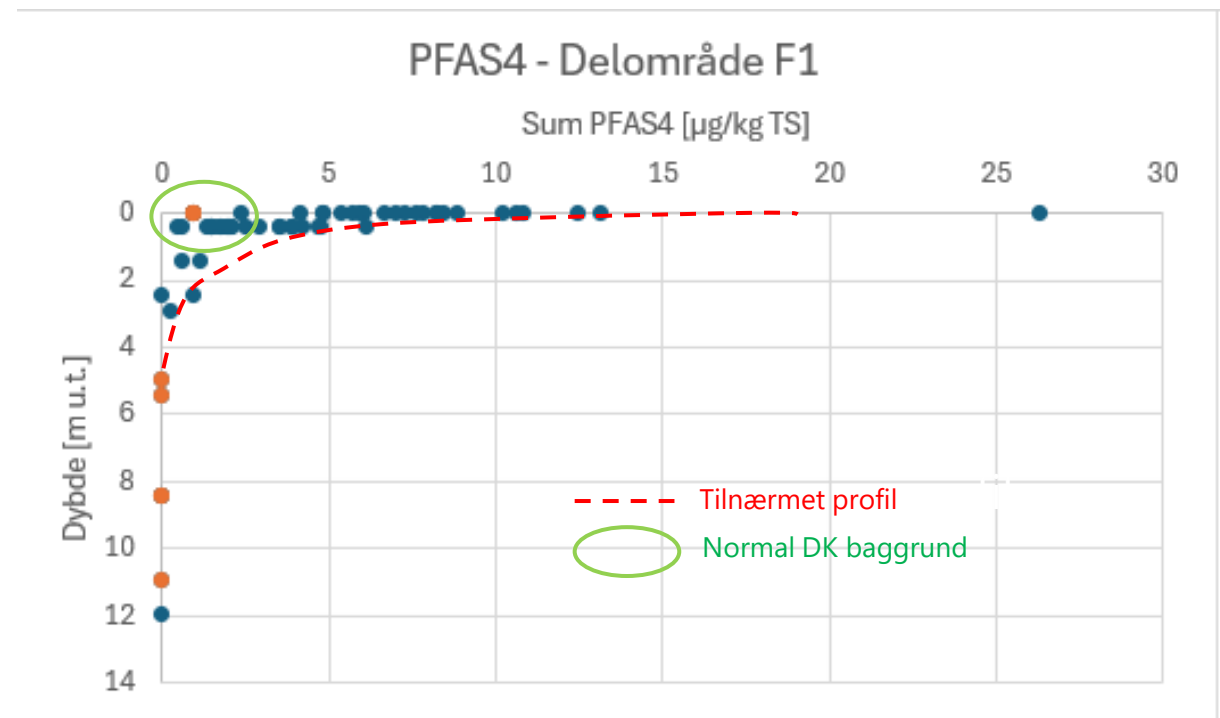
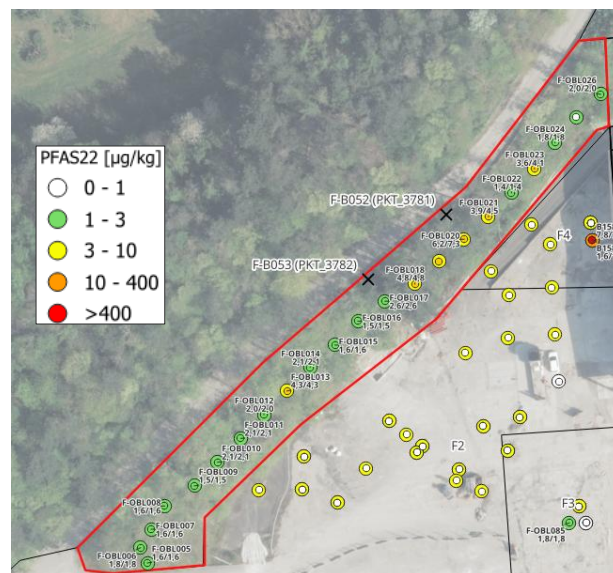
## PFAS I grundvand (ca. 10 m-12 m u.t.)



# PFAS niveau i overjorden og større dybde baseret på to nye boringer

## Metodik – Eksemplificeret ved delområde F1

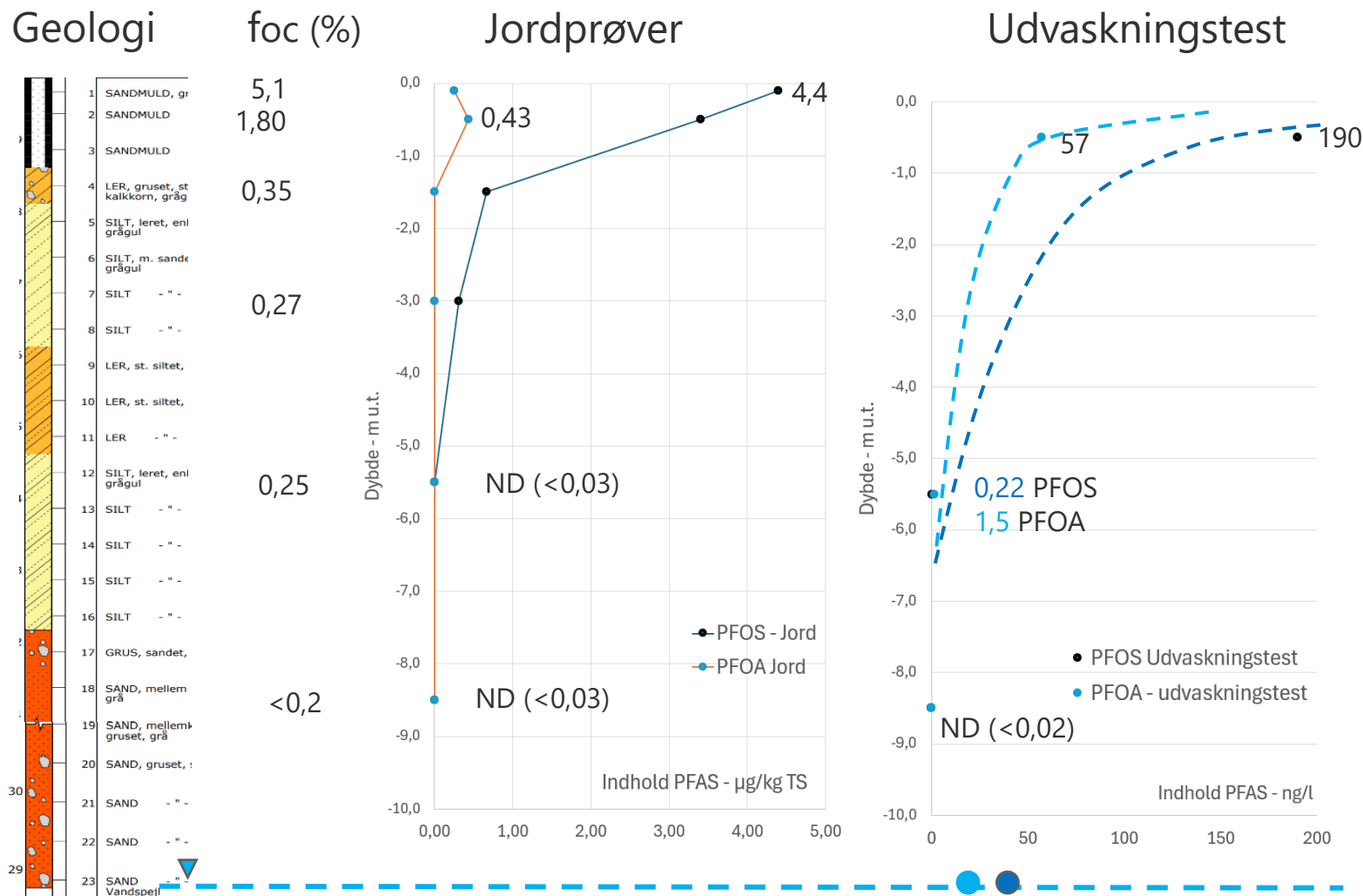
- Alle udtagne jordprøver fra 0,1 m hhv. 0,5 m viser et indhold af PFAS22.
- Ingen prøver overskred PFAS22 kriteriet på 100 ug/kg og enkelte overskred svagt PFAS 4 kriteriet på 10 ug/kg
- Niveau og sammensætning fra 0,1-0,5 m ligner baggrunds niveauet lige udenfor området
- Begge dybe boringer indikerer et detekterbart indhold i jordprøver ned til ca. 3-4 m u.t.





# Datasæt for boring F-B053

## Geologi og PFAS i jord og udvaskningstest



Udvaskningstest (L/S=2) og jordanalyser for PFAS22

Foc aftager over dybden – markant højt i mulden og meget lavt i smeltevandssandet i den dybe umættede zone

Ud fra TS% i silt/ler og antagelse af en porøsitet på  $n=0,4$  beregnes en mætningsgrad af porøsiteten på 59% dvs materialet er ikke fuldt vandmættet

I jordprøver detekteres ikke PFAS under ca. 3 m.

Udvaskningsforsøgene viser et niveau over kvalitetskravene for både PFAS4 (2 ng/l) og PFAS22 (100 ng/l) i overjorden og under kriterierne midt i silt/leret. I det umættede sand under påvises intet PFAS (<0,02 ng/l).

Der vises en række PFAS forbindelser bl.a. 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFBS, PFPeS, PFHxS og PFHpS ved udvaskningstest, Nogle stoffer bl.a PFHxA påvises ved analyse af jord.

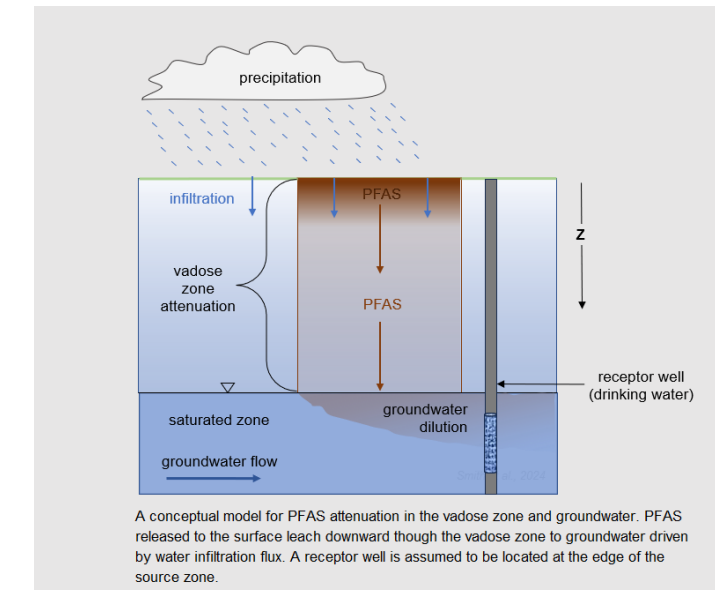
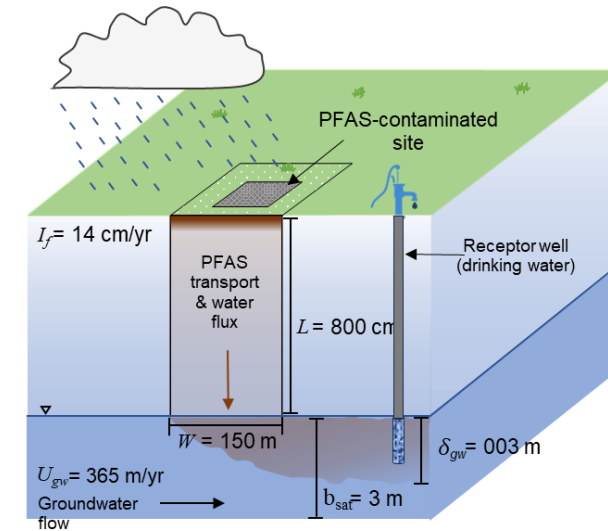
Grundvand (25-50 ng/l PFOS og 10-15 ng/l PFOA)

# Modelværktøj til beregning af udvaskning af PFAS til grundvandet

- PFAS Leach model (PFAS-LEACH Tiers 3 and 4 models\_Version 1.0-beta – excell fil)
- Udviklet af University of Arizona (Bo Guo, Marc Brusseau , Jacob Smith m.fl.)
- Modul 0 – Kvantificering af PFAS udvaskning fra jord i den umættede zone

Input parameter bl.a.

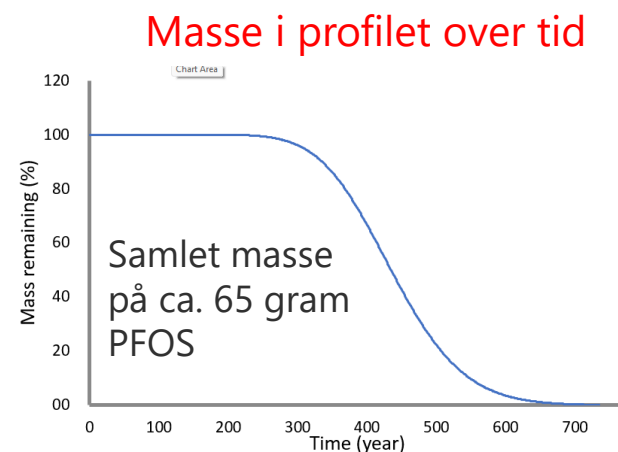
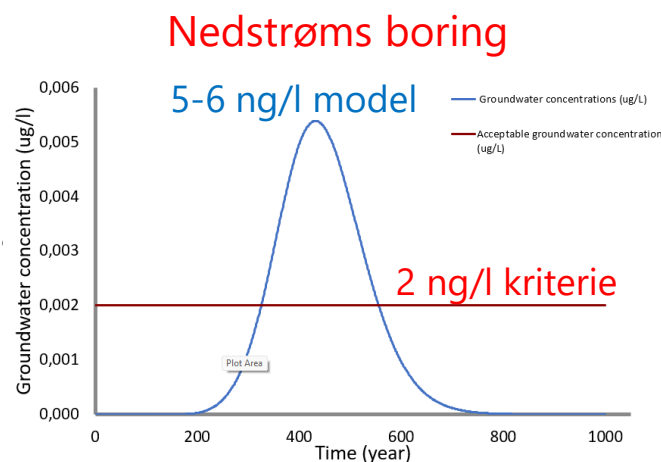
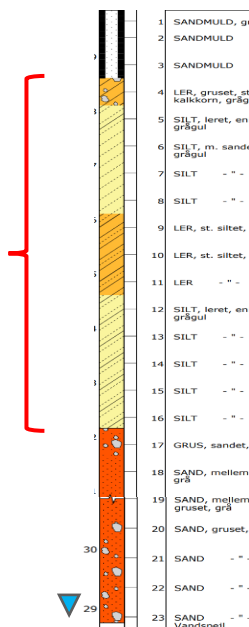
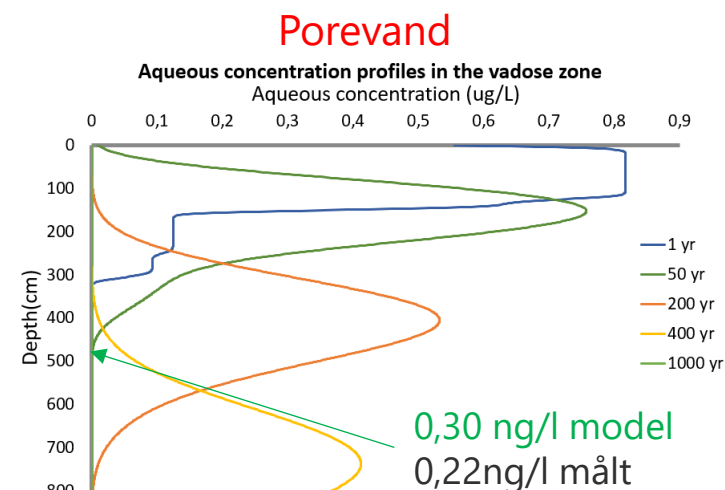
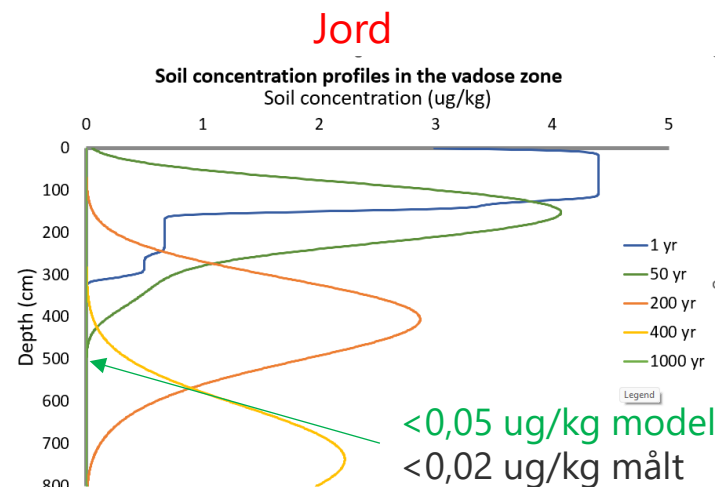
- 1D model med konstante parametre over dybden
- Medtager air/water interface sorption som funktion af vandindholdet
- Indhold af PFAS enkeltstoffer som funktion af dybden
- Længde og bredde af forurenat areal
- Standard værdier for PFAS stoffers kemisk/fysiske egenskaber indbygget (egne værdier kan vælges – fx,  $K_d$ )
- Jordegenskaber (default eller egne værdier fra fx PFASen m.fl.)
- Infiltration (her sat til 140 mm)
- Indhold af organisk kulstof (foc) fra målinger eller litteratur
- Mægtighed og darcy hastighed i et fiktivt underliggende grundvandsmagasin til beregning af koncentrationers udvikling i en fiktiv nedstrøms beliggende indvindingsboring



# Beregning af tidslig udvikling af PFOS udvaskning fra profil F-B053

## Transport igennem siltlaget alene

- Profilet tilnærmet med homogent siltlag på 8 m
- Efter ca. 50 år (ca. 2025) forventes ikke PFOS i jordprøver ca. 5 m u.t.
- Først efter 150-200 år forventes PFOS at nå bunden af siltlaget
- Udvaske-test på jord i ca. 5 m indikerer spor af PFOS i porevandet – og på niveau med modellen
- Forventet påvirkning lige nedstrøms området viser et niveau omkring kriteriet for PFOS
- Men påvirkningen nedstrøms vil først toppe om ca. 500 år
- PFOS udvaskes over 700 år

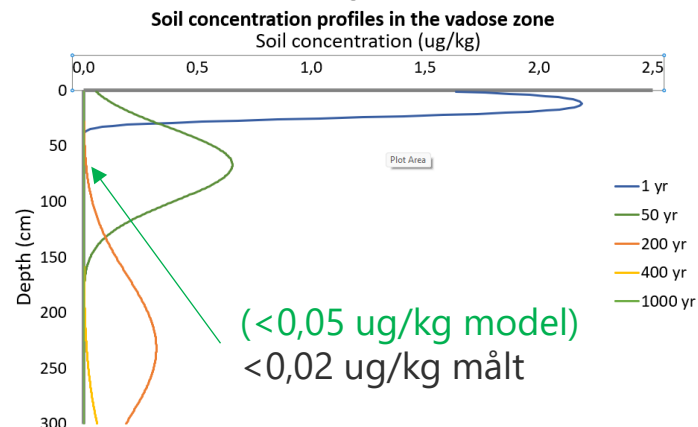


# Beregning af tidslig udvikling af PFOS udvaskning fra profil F-B053

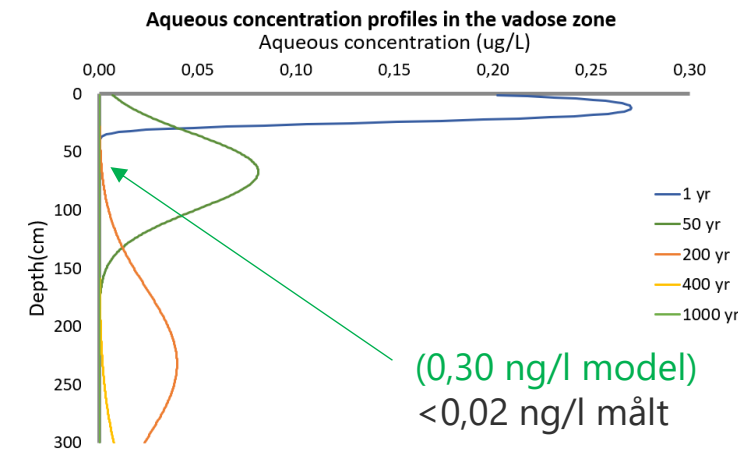
## Transport igennem det underliggende umættede sand

- Profilet med 3 m umættet sand under silten
- Input fra det overliggende siltlag med makskoncentrationen beregnet til 2 ug/kg efter ca 500 år
- Først efter yderligere 250 år forventes PFOS niveauet i grundvandet at nå max niveau på 0,5 ng/l
- Dvs. ingen forventning om overskridelse af kriterier i grundvandet
- Som forventet ud fra modellen viser hverken udvaskningstest eller jordanalyser på prøver fra det umættede sand indhold af PFOS (eller andre PFAS)

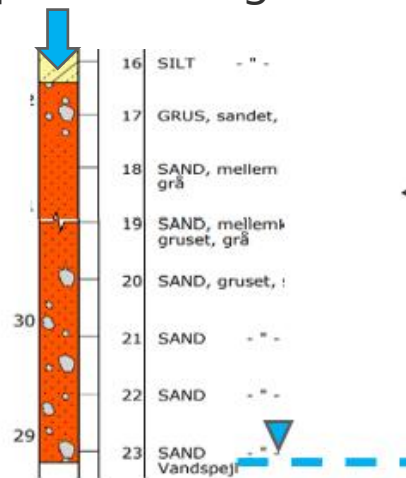
Jord



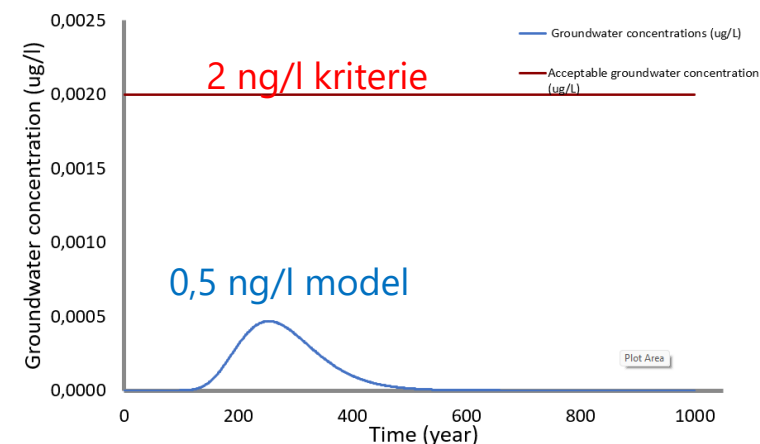
Porevand



Input fra siltlaget



Nedstrøms boring



# Sammenfatning

- Historikken for undersøgelses området indikerer ikke PFAS punktkilder
- Det lokale terrænnære PFAS baggrunds niveau i området omkring undersøgelsesområdet er kortlagt og er svagt forhøjet iht. DK niveauet generelt.
- I undersøgelsesområdet er der påvist et svagt forhøjet PFAS niveau ifht. det lokale baggrunds niveau og en spredning over dybden til maks. 4-5 m u.t.
- Påvirkningen af det underliggende grundvand med PFOS er undersøgt med en simpel 1D model baseret på input fra de udførte undersøgelser.
- Modelberegninger indikerer at den forventede udvaskning fra forureningen til det underliggende sandlag ikke vil give anledning til overskridelse af grundvandskriteriet for det dominerende stof PFOS i grundvandet nedstrøms
- Den forventede maksimum koncentration i grundvand forventes først efter mere end 500 år
- De målte porevandkoncentrationer og i større dybde (8-10 m) indikerer ingen påvirkning med PFAS endnu ca. 50 år efter brugen – hvilket er i overensstemmelse med modelresultaterne.
- De målte indhold af PFOS i det underliggende grundvand på 25-50 ng/l vurderes at komme fra opstrøms beliggende kildeområder – og således ikke påvirkning fra undersøgelsesområdet
- Det vurderes derfor at forureningen i undersøgelses området ikke udgør nogen fremtidig risiko for det underliggende grundvand



# Konklusion og perspektivering

Afkortlægning af PFAS forurenede områder er ikke noget der er nemt !

I den konkrete sag indikerer de samlede undersøgelser, at restforureningen der findes kan efterlades uden at grundvandet på sigt vil blive påvirket over kriterierne.

PFAS stiller nye krav til vores risikovurderinger af restforureninger som typisk indgår i processen

Nye PFAS modelværktøjer muliggør risikovurdering ved genanvendelse af jord, punktkilder og fladekilder m.fl. – men der mangler fortsat kendskab til en række parametre