

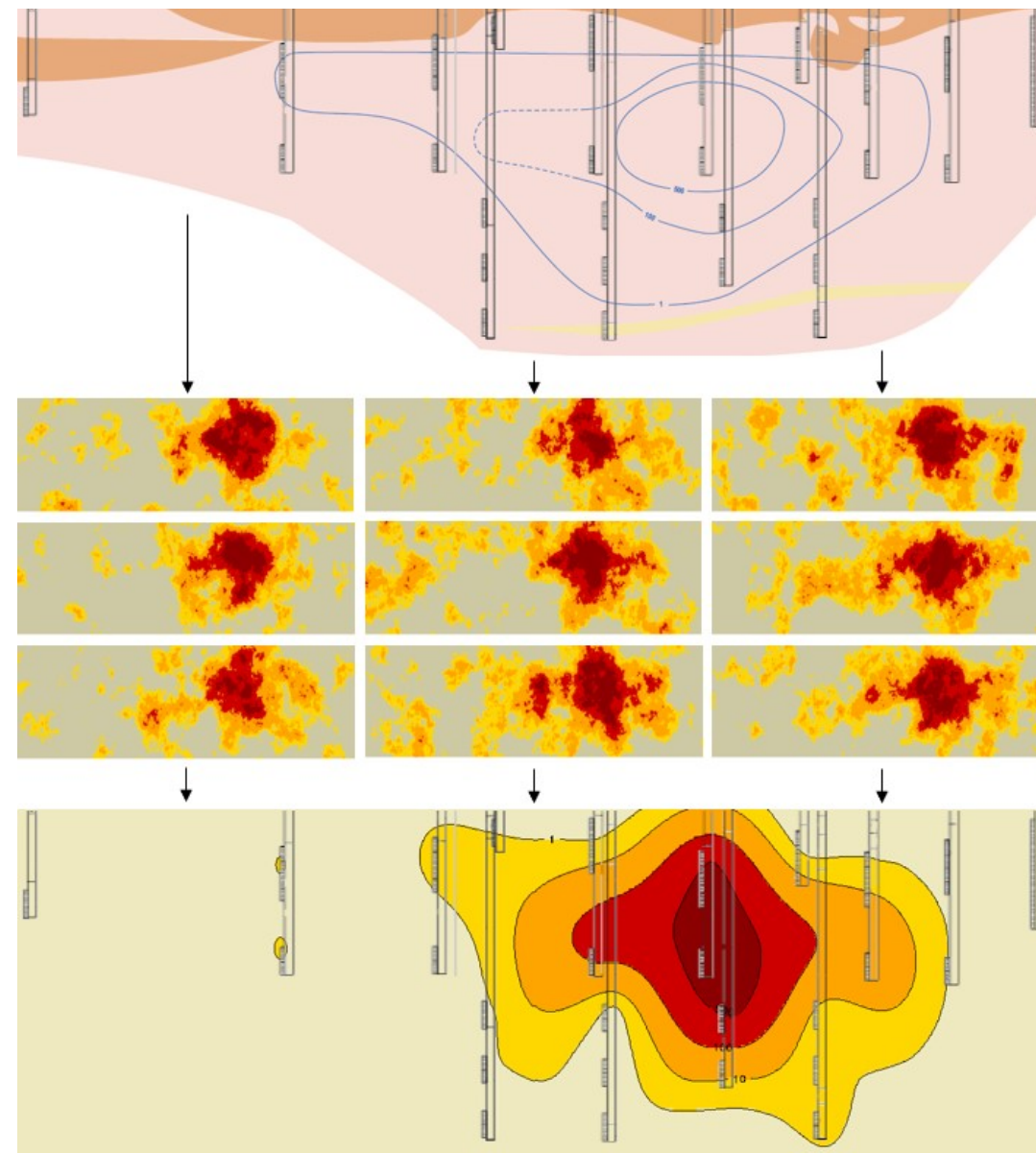
Forureningsflux og usikkerheder

En geostatistisk, stokastisk tilgang til kvantificering af forureningsflux i grundvand

ATV Vintermøde 2022

Anton Bøllingtoft, NIRAS/DTU Miljø

Professor Poul L. Bjerg og Ph.d.-studerende Rasmus Thalund-Hansen, DTU Miljø
Research Scientist Mads Troldborg, The James Hutton Institute
Med bidrag fra Region Hovedstaden



Problemstillingen

- 38.400 kortlagte forurenede grunde i Danmark og 2,8 millioner estimeret i Europa
- Hvordan sikrer vi 'mest miljø for pengene?'
- Det er umuligt at oprense samtlige grunde på én gang → **prioritering!**

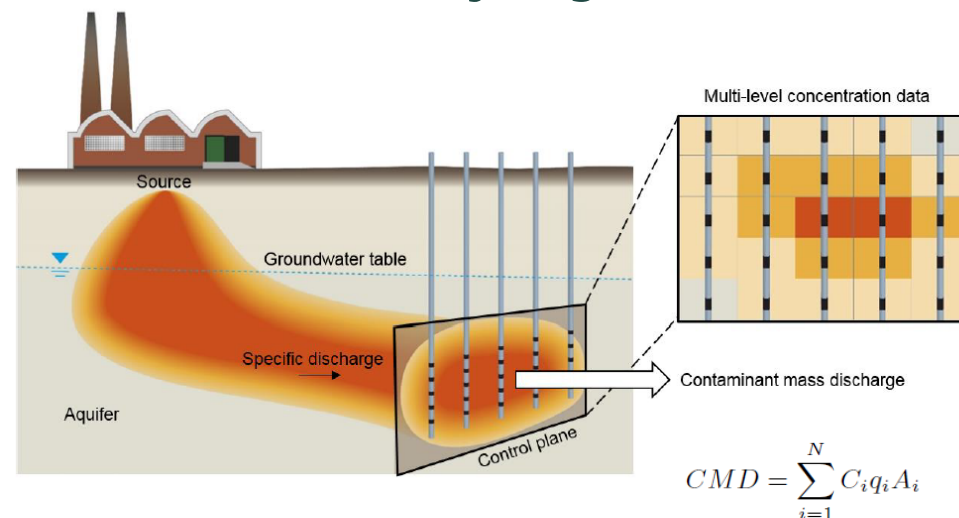


Miljøministeriet (2012). *Håndbog for risikobaseret prioritering af grundvandstruende punktkilder*. Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening, Miljøprojekt nr. 1439.

Forureningsflux

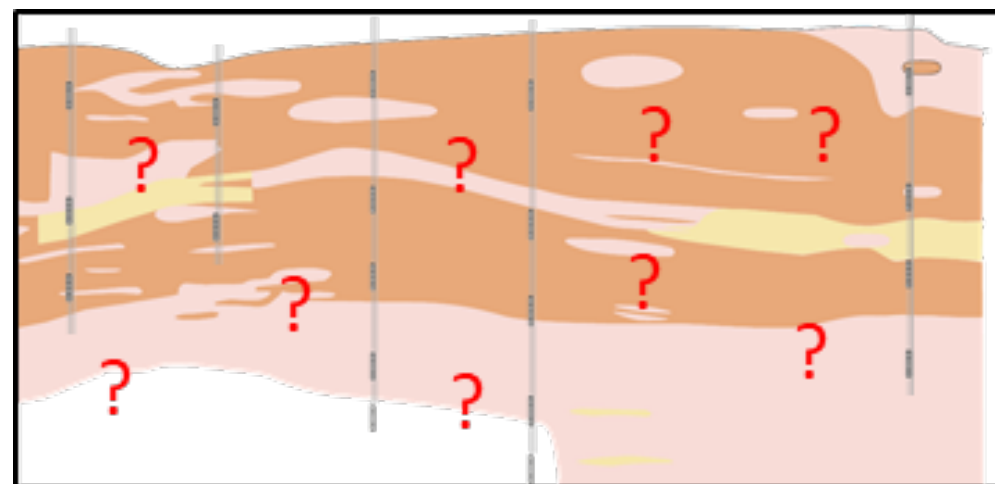
- Definition: *"Masse per tid strømmende igennem et defineret kontrol plan"*
- Kompleks geologi og hydrogeologi → stærkt varierende koncentrationer over korte afstande
- **Stor usikkerhed**
- **Geostatistik** er en måde at kvantificere disse usikkerheder!

Det er jo lige til!



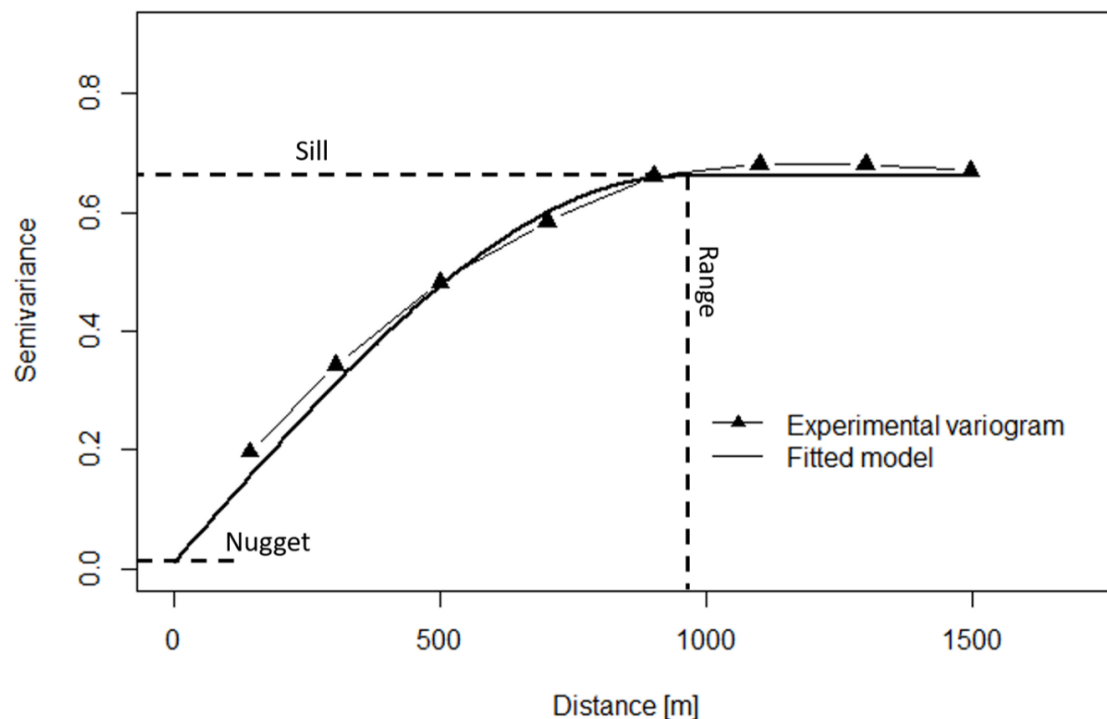
Rønde, V. K. (2019). *Risk assessment of chlorinated ethene plumes impacting streams: contaminant mass discharge, field methods and attenuation*. PhD thesis. Technical University of Denmark.

Men...



Geostatistik og stokastisk simulering

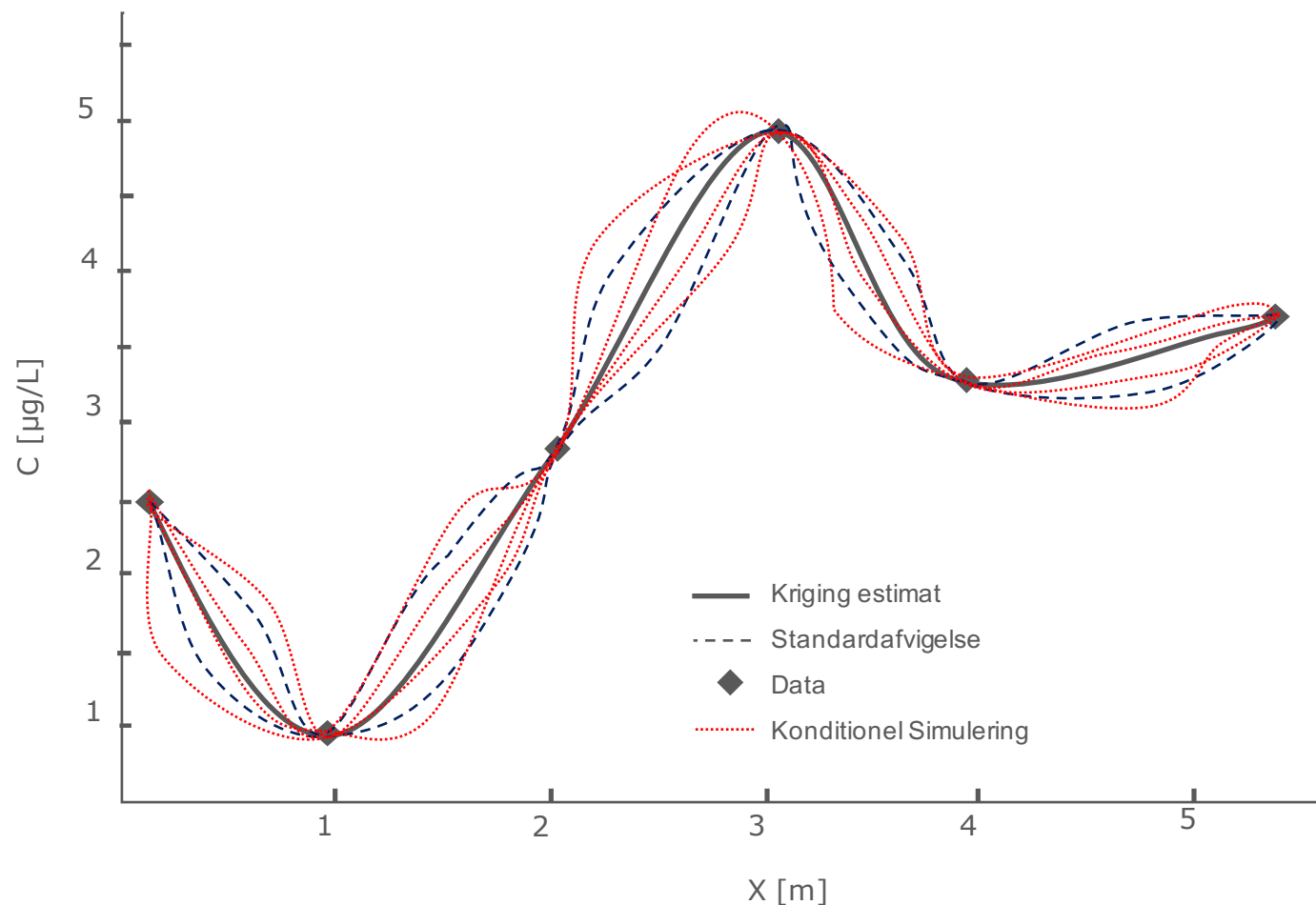
Hvad betyder det?



- **Geostatistik:** Bredt anvendelig interpoleringsmetode der udnytter at variable ofte er positivt auto-korrelerede
 - Kort *fortalt*: To koncentrationer, der er målt tæt på hinanden, har større *tendens* til at være mere lig hinanden end to koncentrationer, der er målt langt fra hinanden
- Den rumlige korrelation (inkl. anisotropi) af variablen beskrives vha. **variogrammer**

Geostatistik og stokastisk simulering

Nøglebegreber



- **Nøgleantagelse:** Variable er tilfældige, korrelerede og kan beskrives ud fra en normalfordeling
- **Kriging:** Middelværdi og standardafvigelse
- **Konditionel simulation:** Stokastisk simulering der benytter de statistiske parametre i data, til at lave et stort antal lige sandsynlige syntetiske dataset
- Giver et stort antal simuleringer: alle med samme statistiske nøgletal og betinget af de tilgængelige måledata!

Konceptuel model

Med udgangspunkt i C

1) Transektet optegnes

- Den konceptuelle forståelse

2) Rumlig korrelation

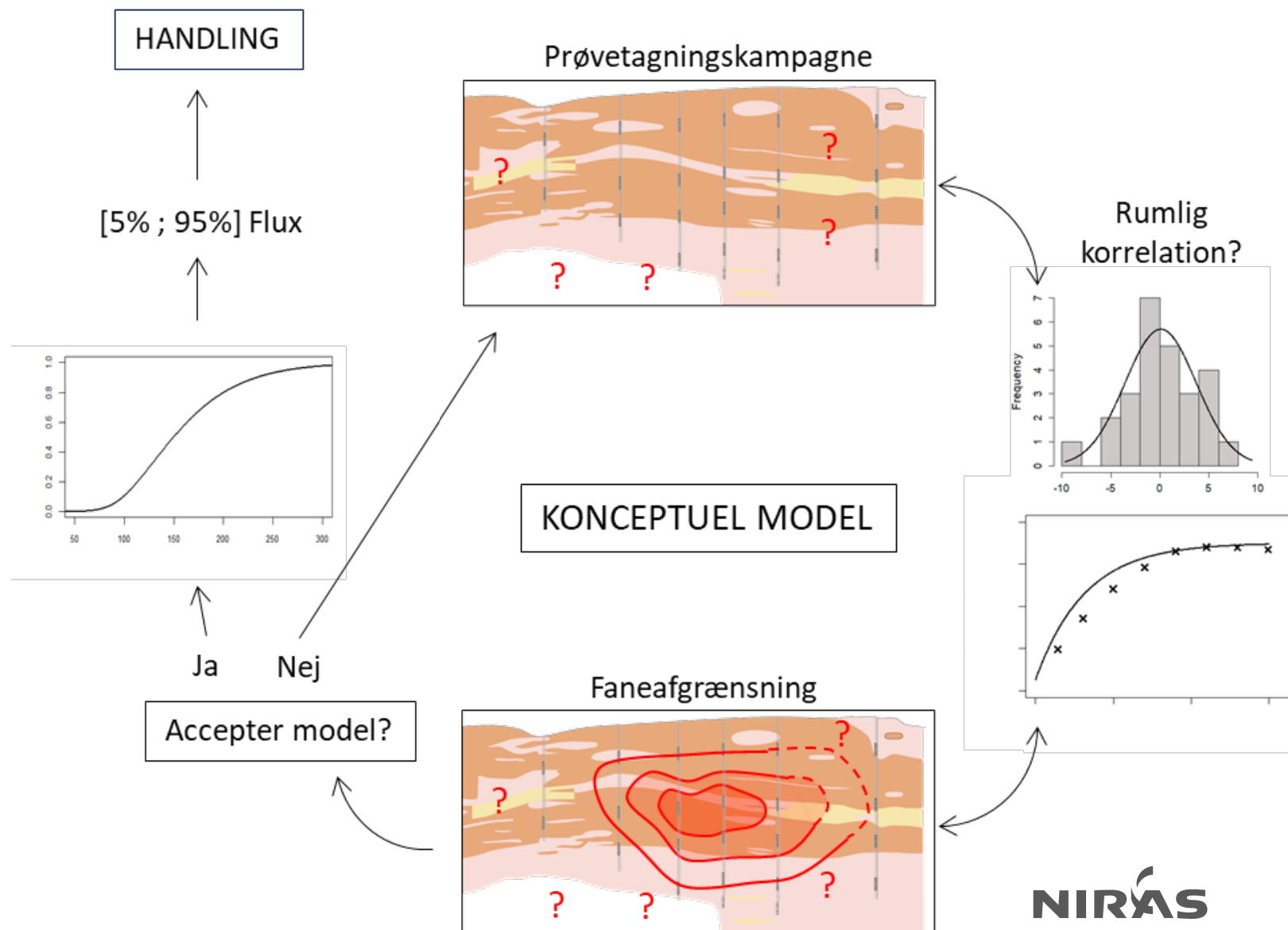
- Defineres
- Accepteres?

3) Interpolation

- Meningsfulde resultater?

4) Forureningsflux

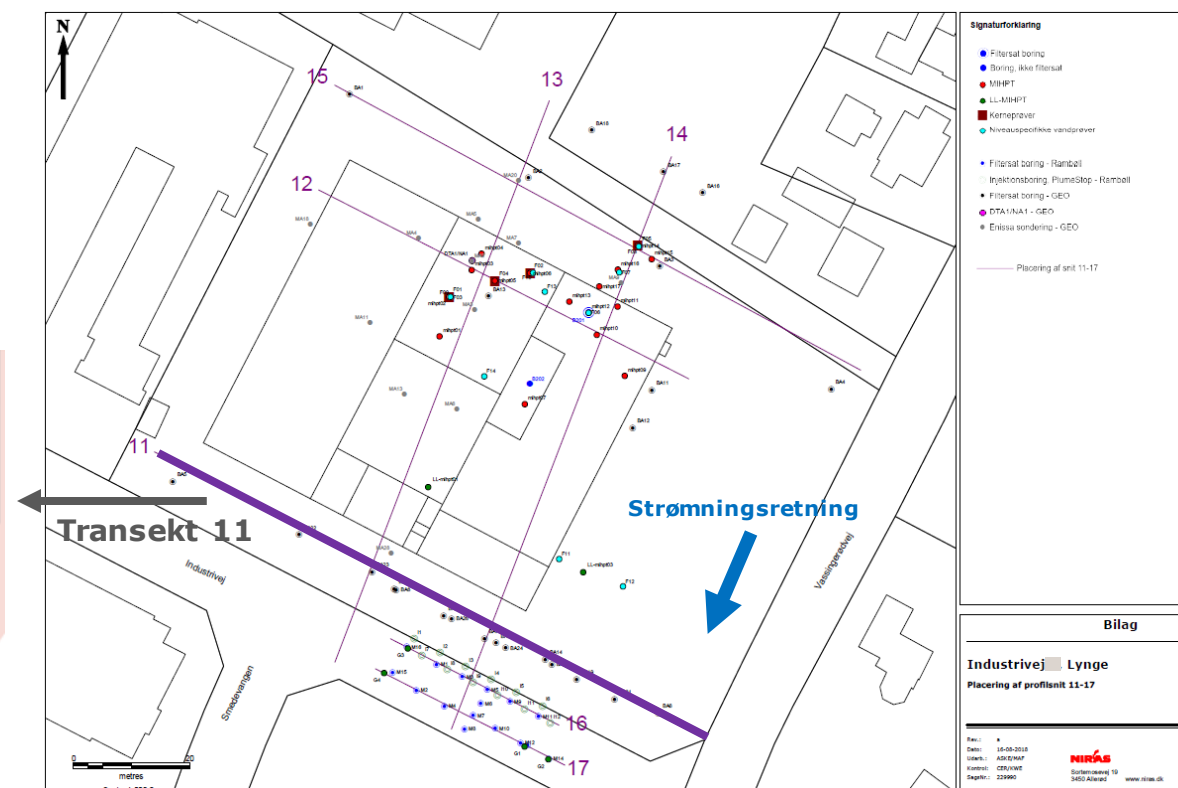
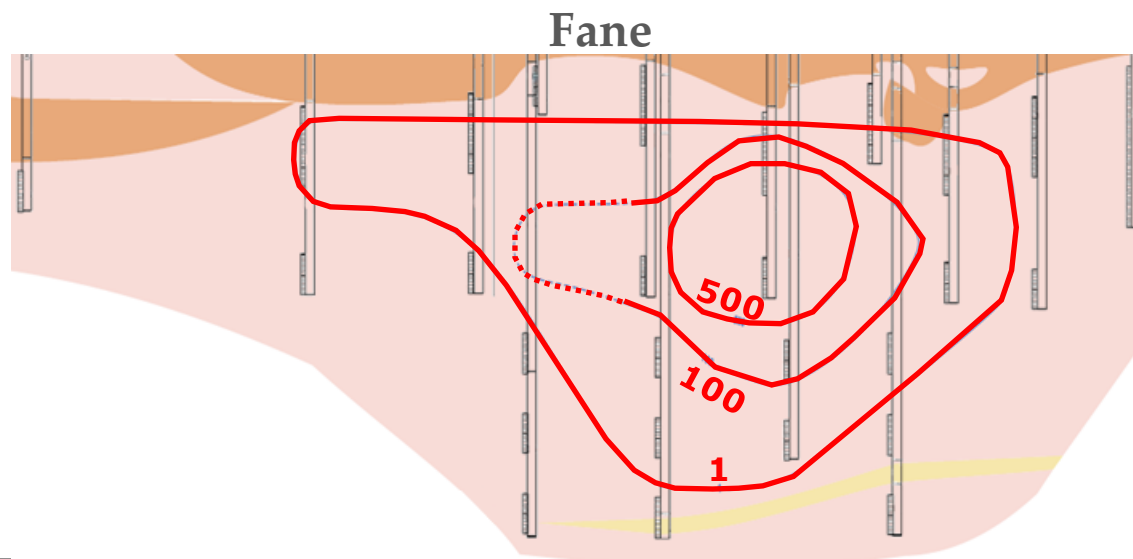
- Den fulde usikkerhed
- **Handling**



Industrivej eksempel

Datagrundlag for metodeudvikling

- Veldefineret transekt med 26 målinger af både C/K
- TCE-forurening i det sekundære magasin
- Forureningsflux ved traditionel beregning:
 - 143 g/år TCE gennem transekt 11
- $92 \text{ m} \times 12 \text{ m} \rightarrow 0,01 \text{ m}^2$ celler

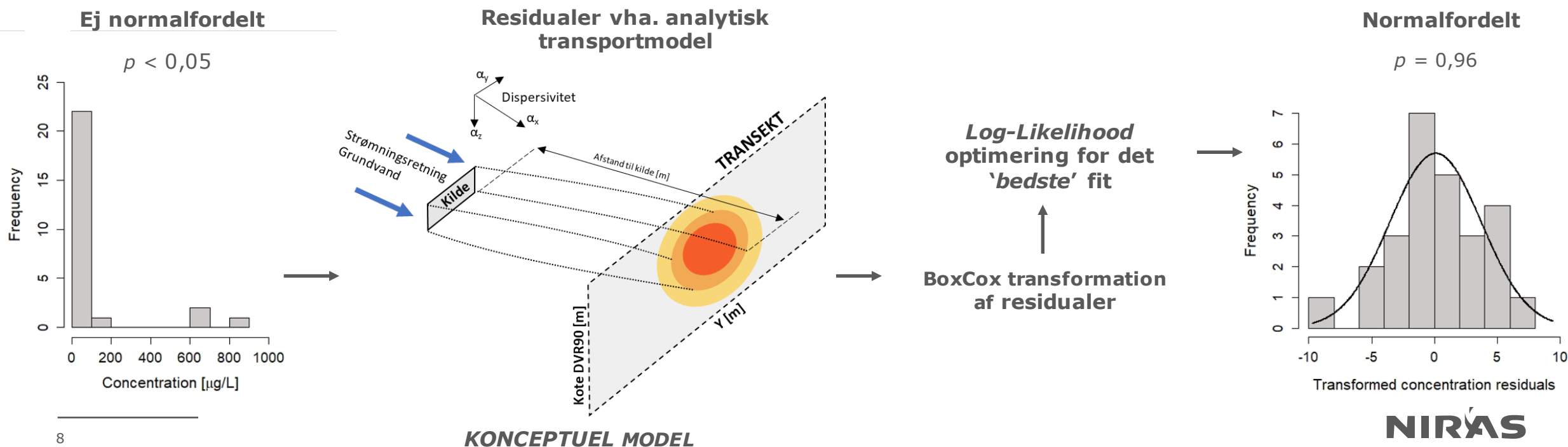


Front, M., Tyge, P., Riis, C., og Weber, K. (2019).
Afgrænsende Forureningsundersøgelse Industrivej, 3540
Lyng. NIRAS A/S. Udarbejdet for Region Hovedstaden

Den rumlige korrelation af C

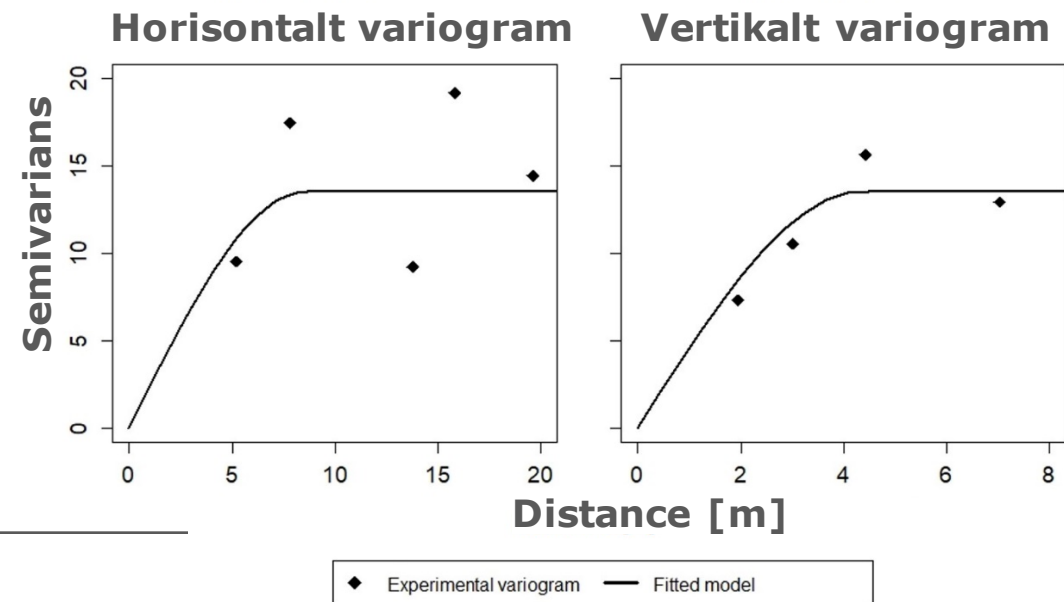
Kombination af datatransformering og analytisk transportmodel

- Data er sjældent normalfordelt
- Antagelserne for geostatistiske metoder holder ikke → transformation af data

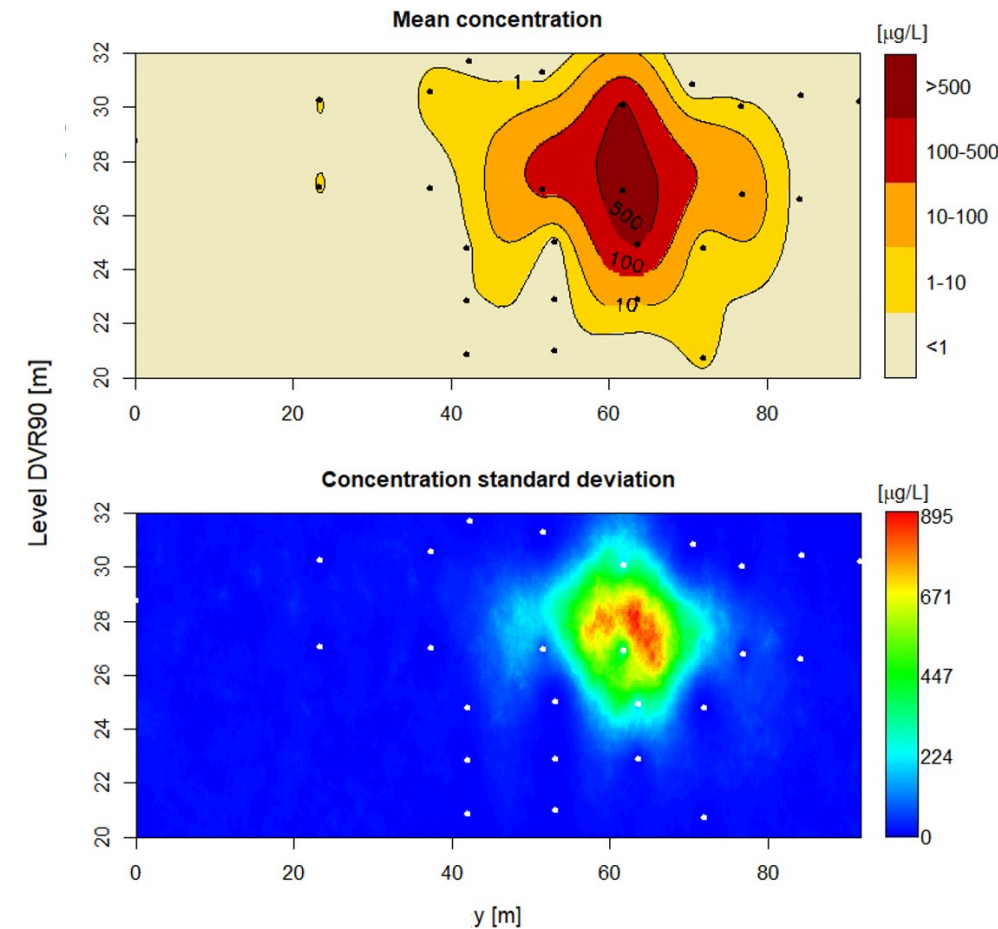
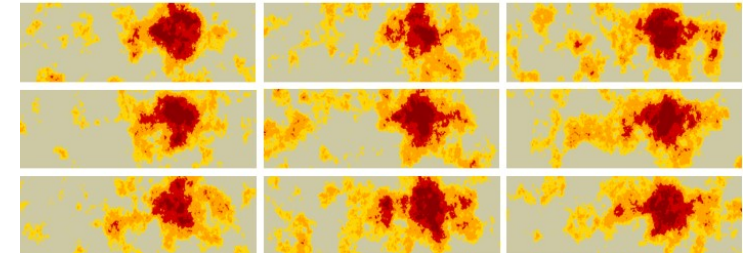


Fanen simuleres

- Variogrammer er ikke '*textbook*' flotte
- M realisationer af koncentrationsfordelingen over transektet
- **Bedste estimat** = gennemsnittet
- **Usikkerhed** = standardafvigelsen eller 95% konfidensinterval



M realisationer

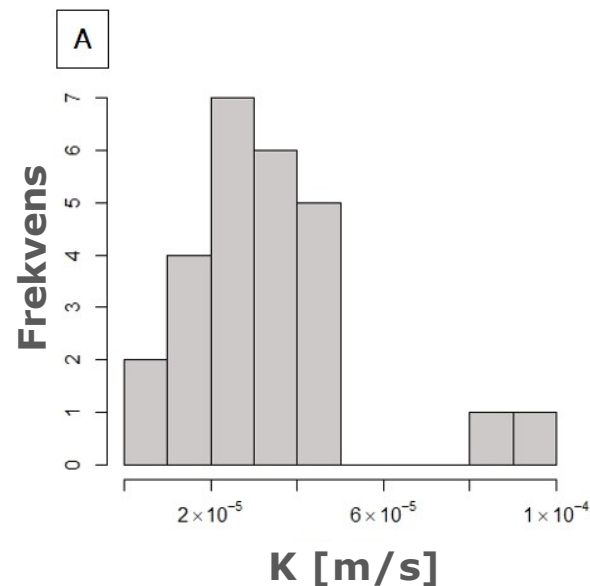


NIRXAS

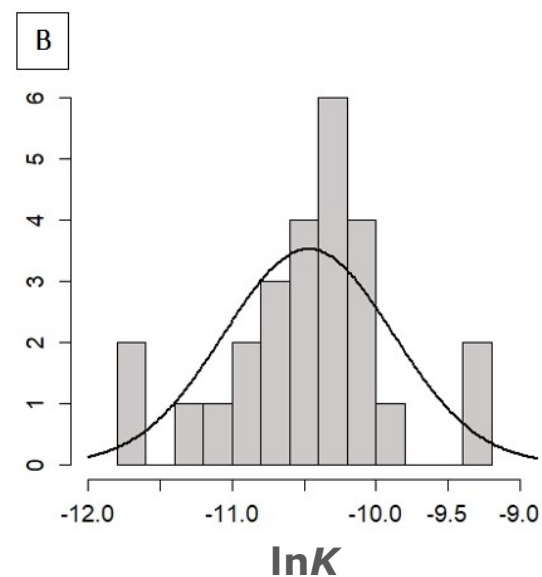
Hvad med hydraulisk ledningsevne?

Hydraulisk konduktivitet er målt ved slugtest i filtre

- Ingen trend i data = $\ln K$
- Lille variation i K (værdier indenfor én størrelsesorden)



$p < 0,05$



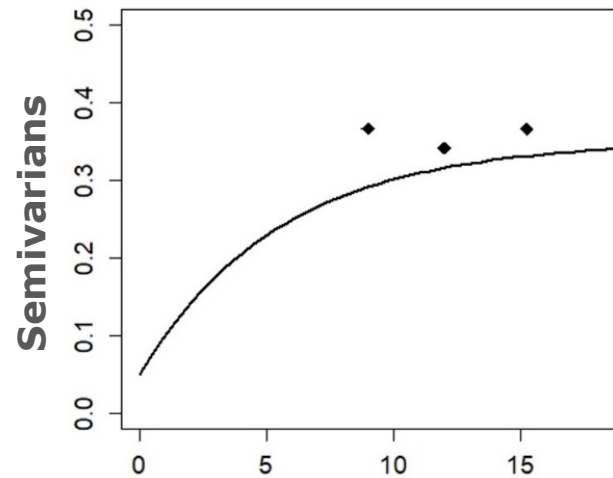
$p = 0,22$

Hvad med hydraulisk ledningsevne?

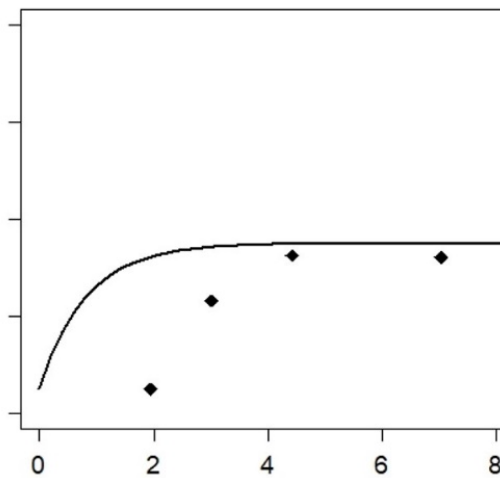
Hydraulisk konduktivitet er målt ved slugtest i filtre

- Ingen trend i data = $\ln K$
- N realiseringer af K over transektet
- Lille variation i K

Horisontalt variogram



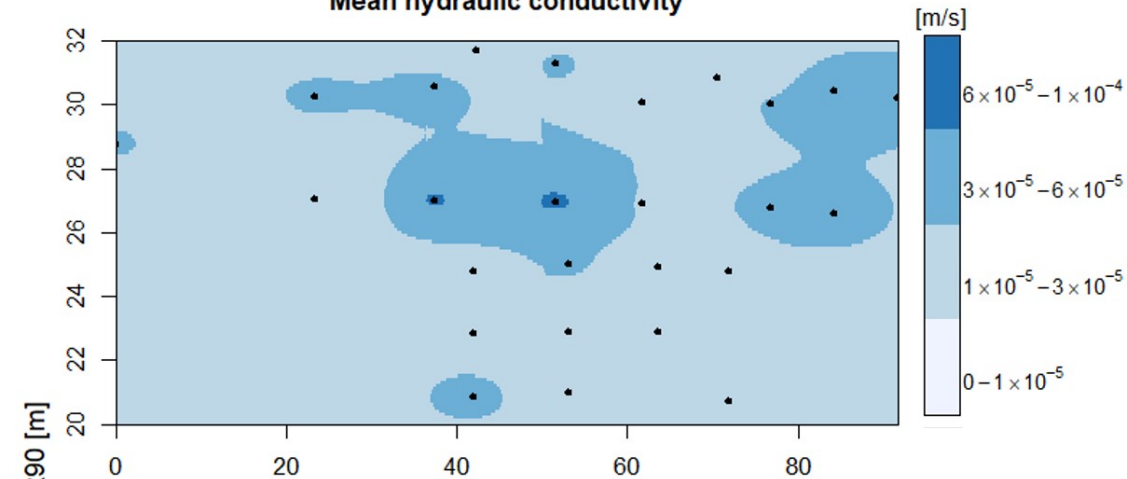
Vertikalt variogram



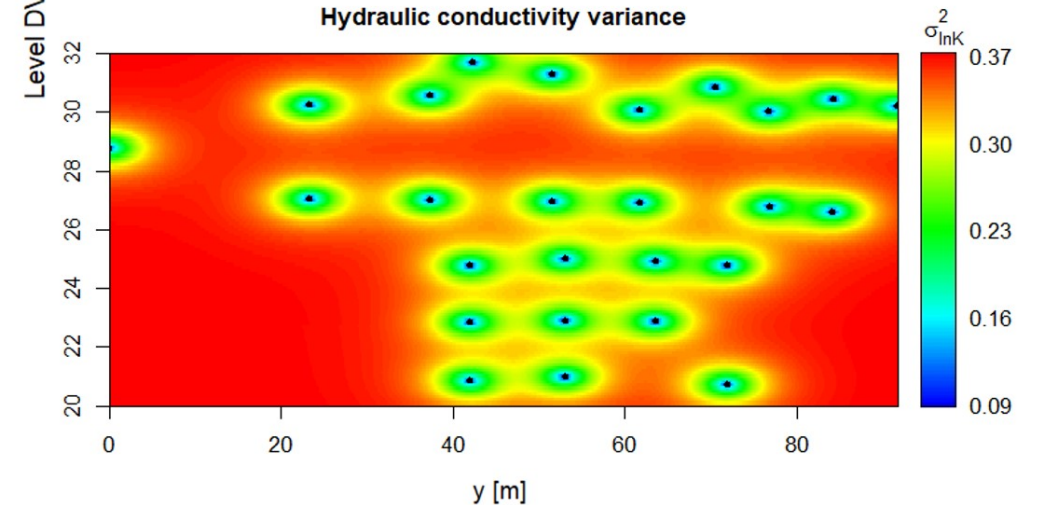
Distance [m]

◆ Experimental variogram — Fitted model

Mean hydraulic conductivity



Hydraulic conductivity variance

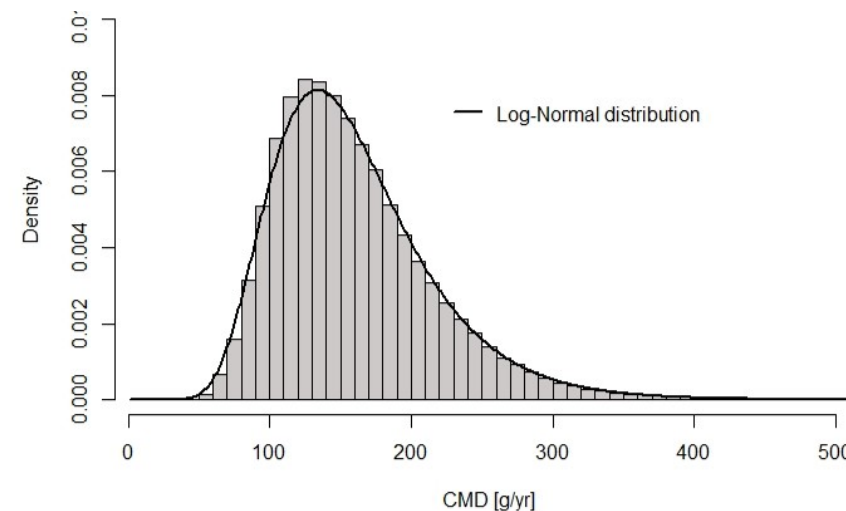
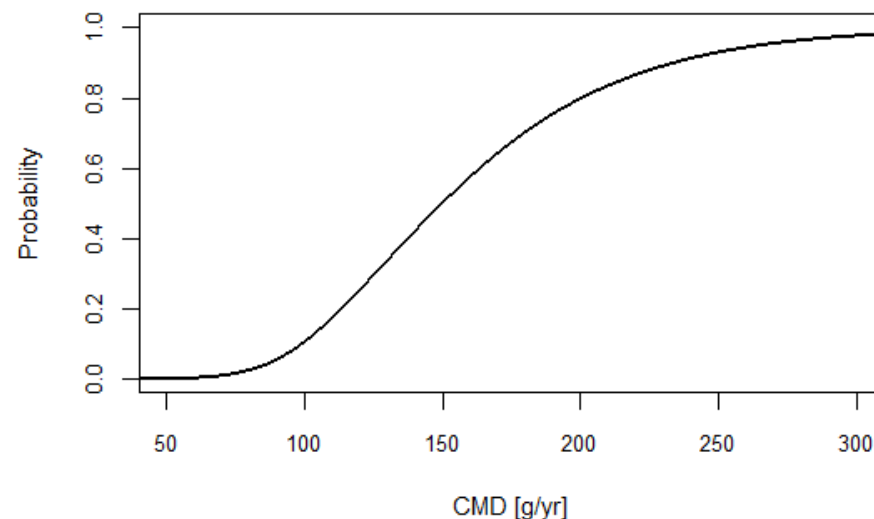


Estimering af forureningsflux

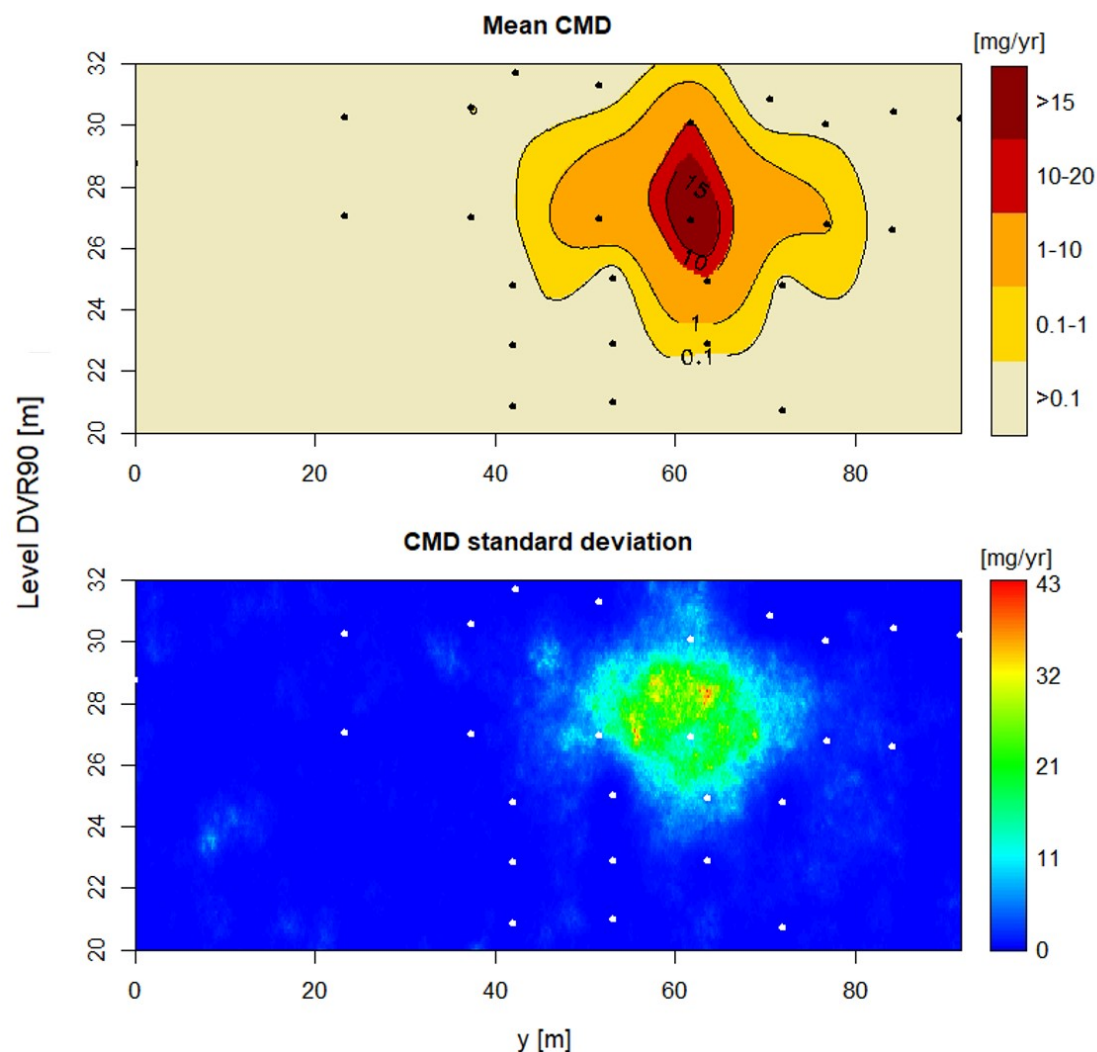
Den fulde sandsynlighedsfordeling

- $N \times M \rightarrow 500 \times 500 = 250.000$ **simuleringer** af forureningsfluxen kan nu beregnes for hver celle
- Den fulde sandsynlighedsfordeling bestemmes
- Stemmer godt overens med beregning (143 g/år)
- Vi får med denne metode **fluxberegning** med en usikkerhed!

Standard-		Relativ		
Gennemsnit	afvigelse	Median	95 KI	usikkerhed
[g/år]	[g/år]	[g/år]	[g/år]	[%]
160	57	148	[81-297]	36



Fordeling af forureningsflux

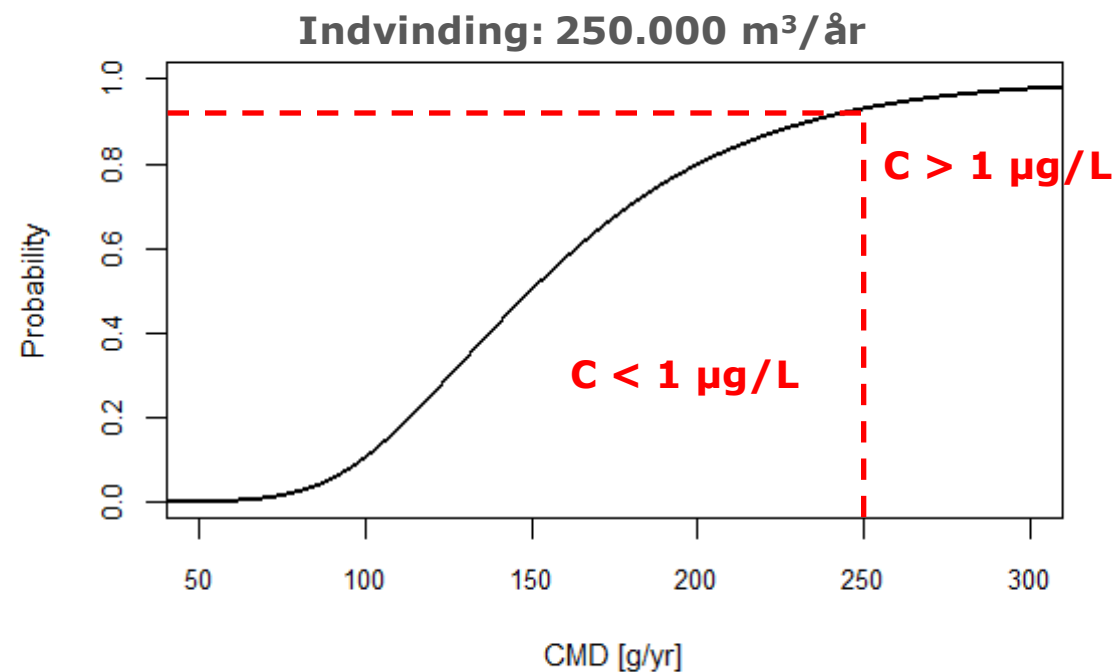
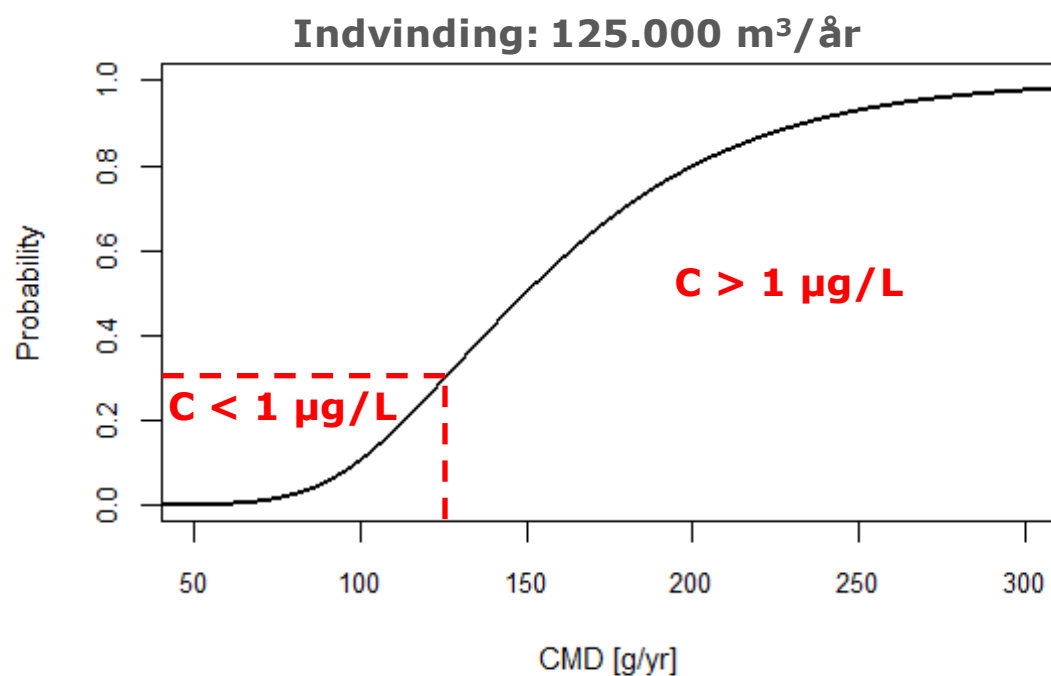


- Den rumlige fordeling af forureningsflux kan derefter bestemmes
- Indikation af, hvor forureningsmassen er højest
- Standardafvigelsen er størst i mellem boringer der ligger i fanen
- Hvor kan nye data mindske usikkerheden?

Forureningsflux og risikovurdering

Fra usikker flux til sikker risikovurdering

- Graden af sikkerhed har indflydelse på den endelige risikovurdering
- Forskellige konfidensintervaller alt efter behov - Her: 95% konfidensinterval [80-297] g/år
- Vil en fordobling af forureningsfluxen eksempelvis ændre risikovurderingen



Pesticider i Marbæk - C

Når pesticider i alle prøver gør databehandling nemmere

Ikke normalfordelt

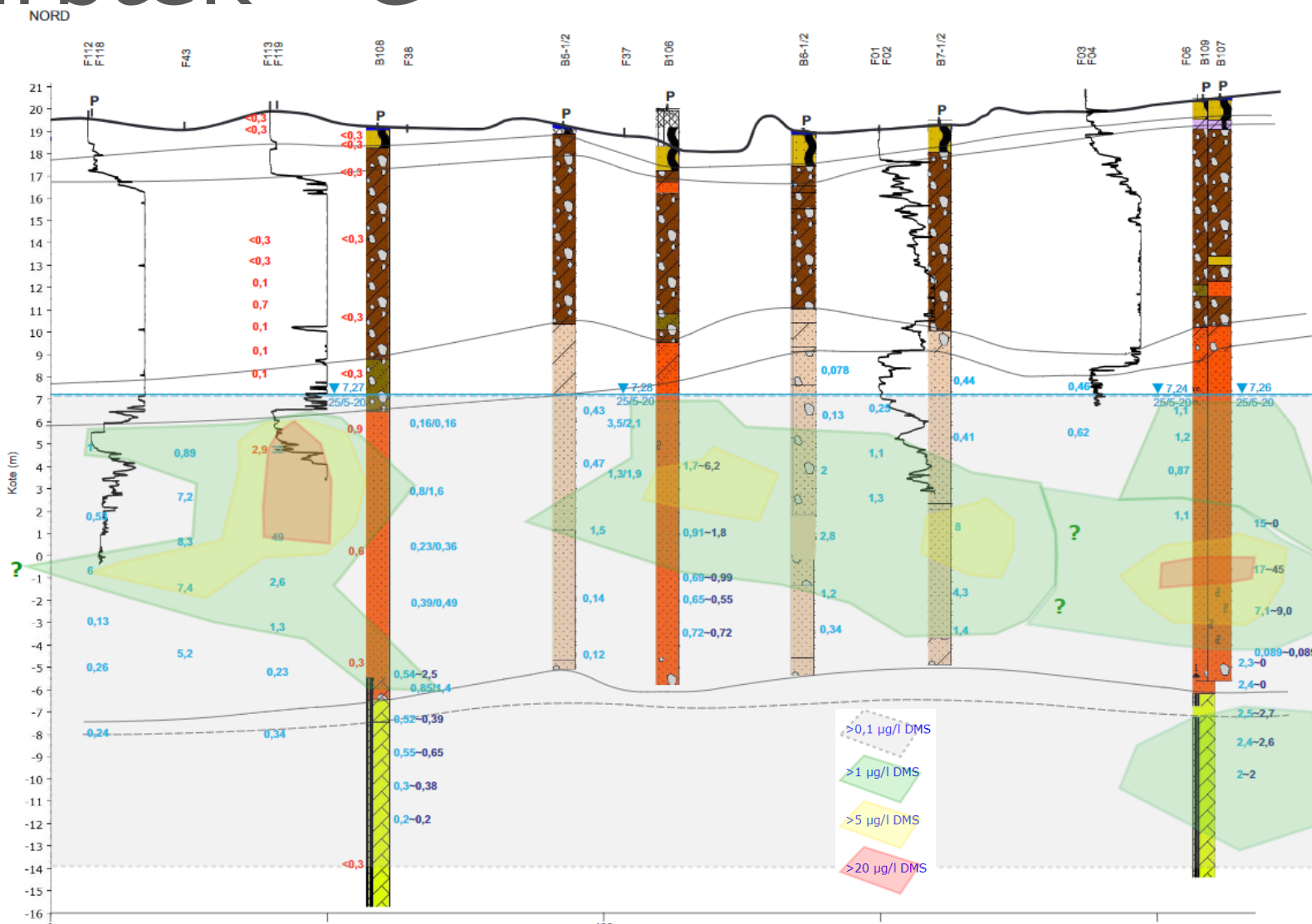
Normalfordelt

BoxCox-transformation

Horisontalt variogram

Semivarians

Distance [m]



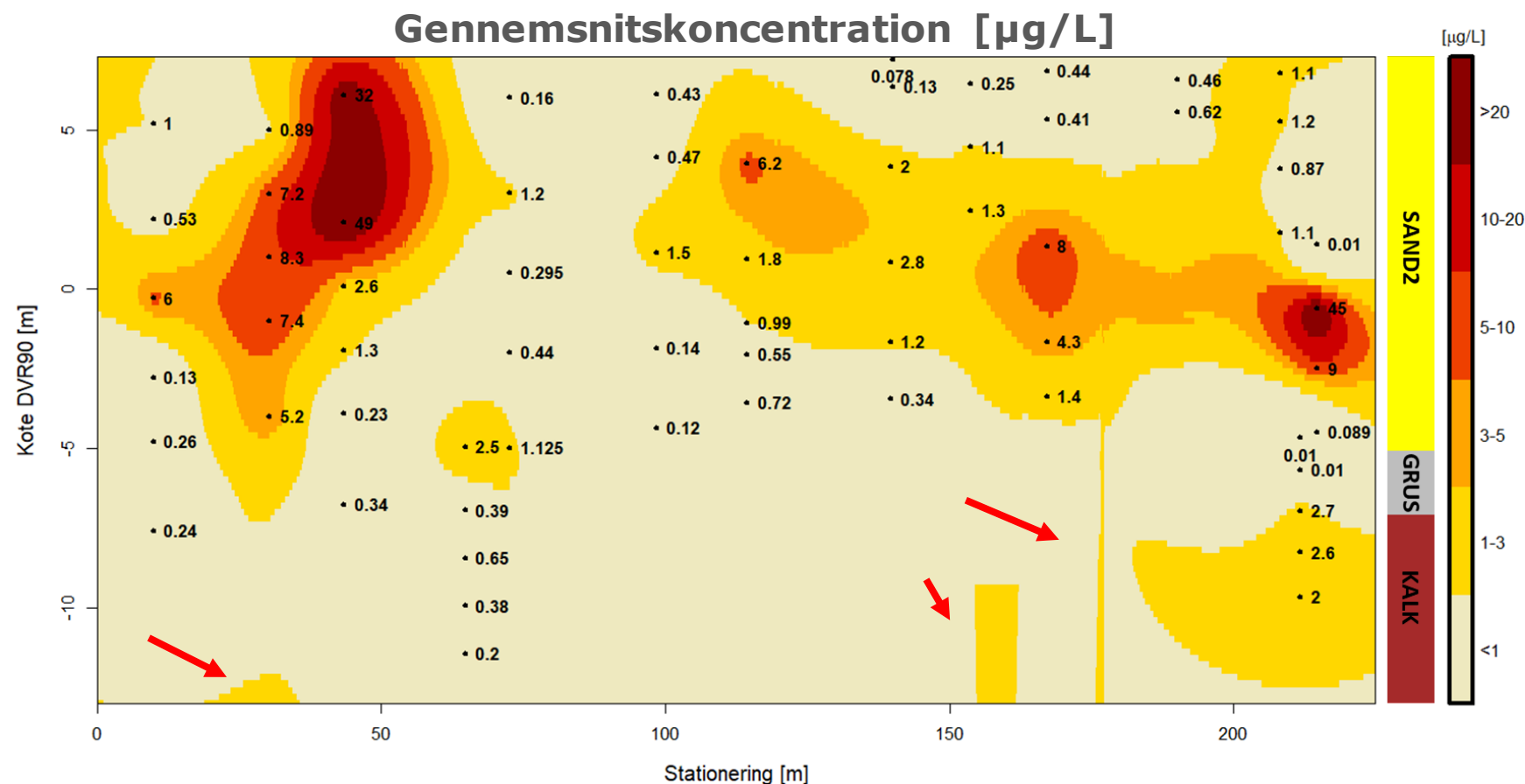
NIRAS A/S (2022). Forureningsundersøgelser i oplandet til Marbæk Vandværk, NIRAS A/S. Lavet for Region Hovedstaden, Rapport endnu ikke udgivet.

NIRAS

Pesticider i Marbæk - C

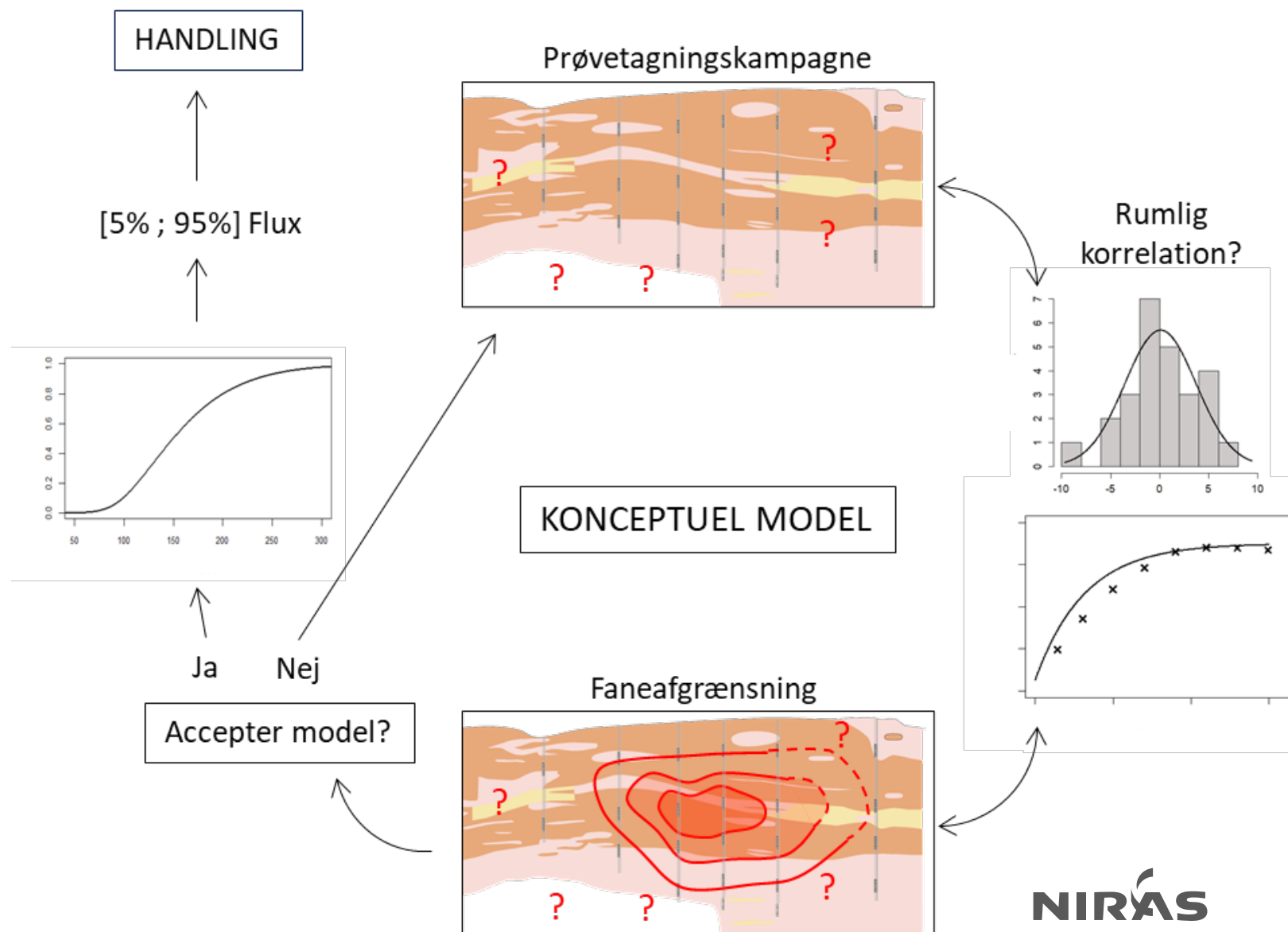
Når pesticider i alle prøver gør databehandling nemmere

- Konstant *K-værdi*: kombination af kornstørrelsesanalyser og tabelværdier
- Samme billede som manuel optegning
- Enkelte områder med 'afvigelse'
 - Ubetydelige for den samlede forureningsflux
- Gennemsnitlig flux: 99 g/år
Standardafvigelse: 30 g/år
95% konfidensinterval: [62-177] g/år



Konceptuel anvendelse

- Muligt løbende at opdatere med ny viden
 - Iterativ proces
- Nye boringer kan placeres hvor usikkerheden er størst
- Bruge erfaringer og viden fra lignende lokaliteter
 - Ingen K -målinger → standard K -værdi for magasintypen



Fordele og ulemper

Og potentielle udviklingsmuligheder

Fordele

- Open-source (R-studio)
- Lav beregningstid
- **Usikkerheden kvantificeres og visualiseres**
- Principielt benyttes på alle 'typer' forureninger
- Datainput i simpelt format

Ulemper

- Metode (stadigvæk) temmelig avanceret
- Vanskeligt at kortlægge kort-skala variation
- Kræver et vist antal målinger
- Subjektivitet og personlige erfaringer inkorporeres pt. kun i ringe grad – et modelværktøj!

Videre arbejde

- Forenkling og operationalisering af metoden
- Optimer prøvetagning på baggrund af geostatistik - nytteværdien af nye punkter?
- Inkorporere semi-kvantitativ data (MIHPT, DCIP, PID, Geofysik etc.)

Men! Der er altid lokalitetsspecifikke udfordringer – modellens troværdighed hænger uløseligt sammen med **kvaliteten af data**

Konklusion

- 1) Vanskeligt at inkorporere usikkerheder i risikovurderinger af forurenede grunde
 - Forureningsflux som risikovurderingsværktøj: **'gråzone' lokaliteter**
- 2) Geostatistisk metode tager eksplicit højde for **usikkerhederne** forbundet med interpolationen
- 3) Vigtigheden af fanekortlægning kommer til udtryk
 - Omkostningseffektiv allokering af ressourcer i forureningsundersøgelser
- 4) Udviklet og testet på **'rigtige' lokaliteter**
 - Stemmer overens med rådgivere → tilføjer et **usikkerhedsinterval**
 - Forskellig datatæthed, måledata og forhold → **robust**
- 5) Metoden giver indikation om hvor nye målinger kan give størst effekt
 - Kortlægger forureningsmassen → **oprensning og monitoring**

Risikovurderingsværktøj i overgangen fra
Koncentration → Usikkerhed



Spørgsmål?