



Region  
Hovedstaden



The James  
Hutton  
Institute

Anton Bøllingtoft, PhD.-studerende, DTU Sustain (Anbob@dtu.dk)

Professor Poul L. Bjerg, DTU Sustain

Research Scientist Mads Troldborg, The James Hutton Institute

Nina Tuxen, Region Hovedstaden

Vinni Rønne, Region Hovedstaden/NIRAS A/S

Med bidrag fra Louise Rosenberg, Region Hovedstaden

# Forureningsflux og usikkerheder på lokaliteter med begrænset data

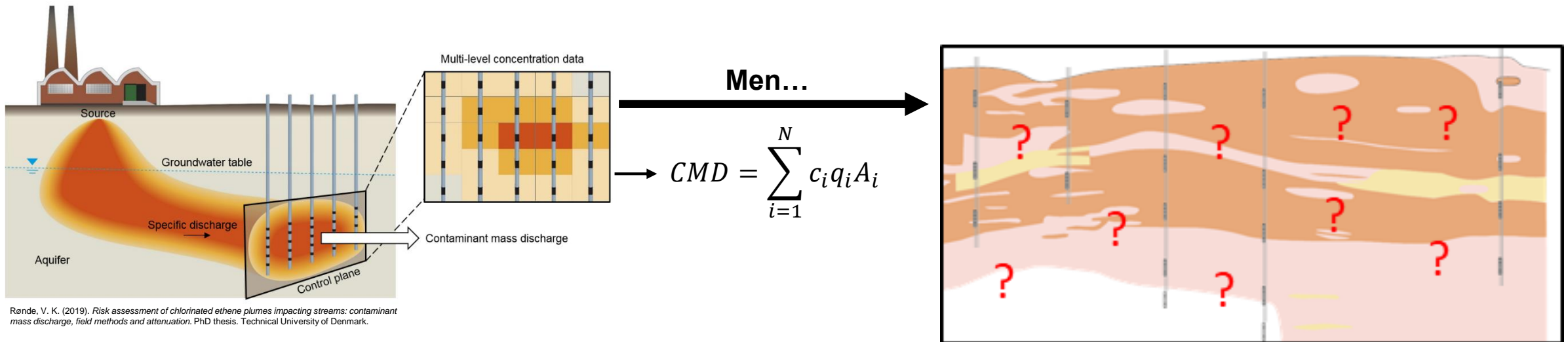
## - Metoder og udfordringer

ATV Vintermøde 2024

# Forureningsflux og usikkerheder

**Take home message**  
Flux er centralt, men usikkert

- Videregående jordforureningsundersøgelser i Region H:
  - **Grundvand:** *Forureningsfluxen er det bærende element i risikovurderingen*”.
- Mængde og kvalitet af data stiger → optimal udnyttelse af ressourcer
- Forureningsflux kan beregnes på flere måder
  - Vi vil her kigge på **transekter** og usikkerheden forbundet med **koncentrationer**



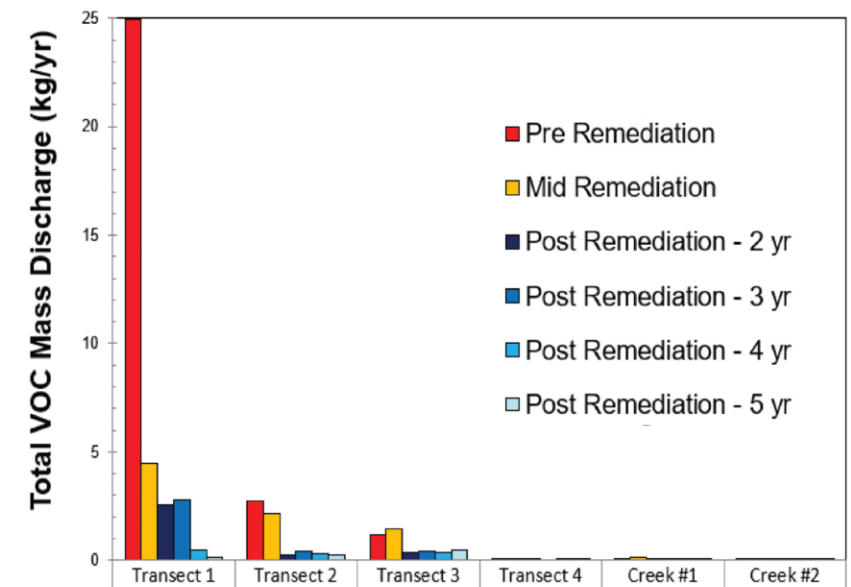
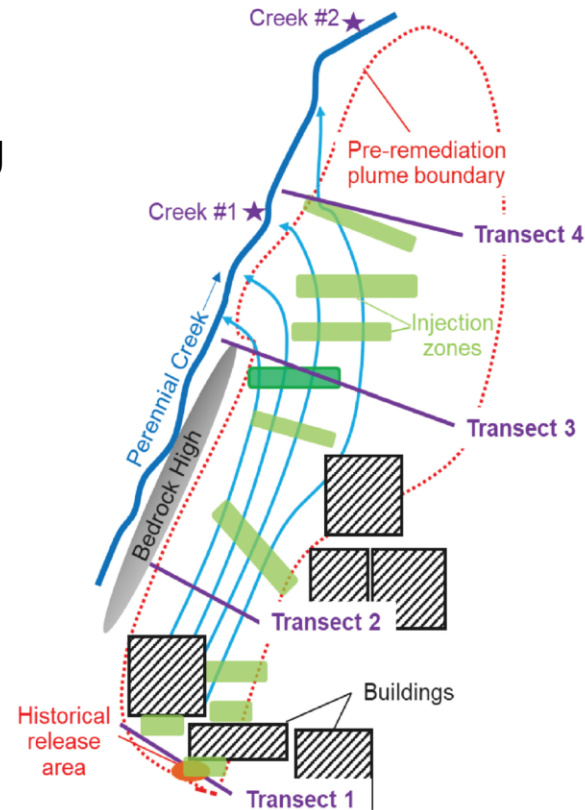
Kompleks geologi og hydrogeologi → **Større usikkerheder**

# Forureningsflux og usikkerheder

**Take home message**  
**Flux som værktøj**

- Forureningsflux kobler koncentration og hydrogeologi til risiko
  - Estimerer mobiliteten af forureningsmassen

- Kvantificere og monitere
  - Vurdering af nedbrydning
  - Effekt af oprensning
  - Tidslig udvikling



Horst, J., Schnobrich, M., Divine, C., Curry, P., Sager, S. and Horneman, A. (2021). Mass Flux Strategies 20 Years On – Getting the Sand Out of the Gears. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 41(4):13–21. DOI: 10.1111/gwmr.12491

## • Region H

- ”I den kvantitative vurdering, tages der udgangspunkt i **bedste bud på forureningsfluxen** ... korrigeres herefter ud fra en vurdering af sikkerheden for fluxbestemmelsen”

# Forureningsflux og interpolation

Take home message  
Flux er ofte subjektivt

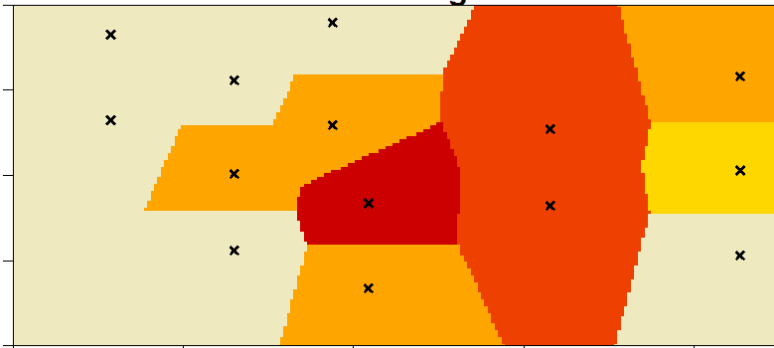
- 'Det bedste bud' er en subjektiv størrelse

Eksempel: Forureningsflux på 100 g/år = **Risiko overfor indvinding**

- Hvilket resultat (og metode) skal man så stole på?

## RÅDGIVER 1

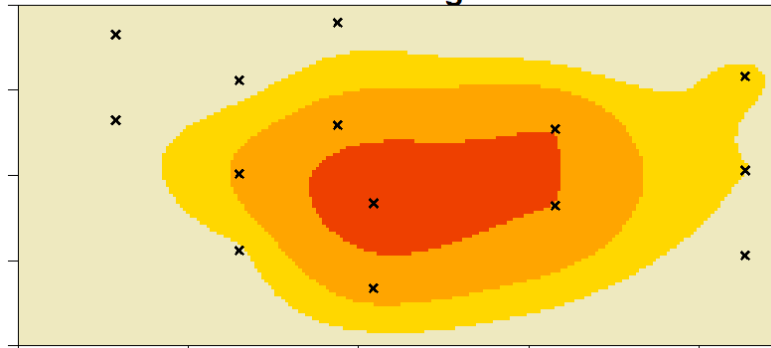
Flux = 147 g/år



'Nærmeste nabo' interpolation

## RÅDGIVER 2

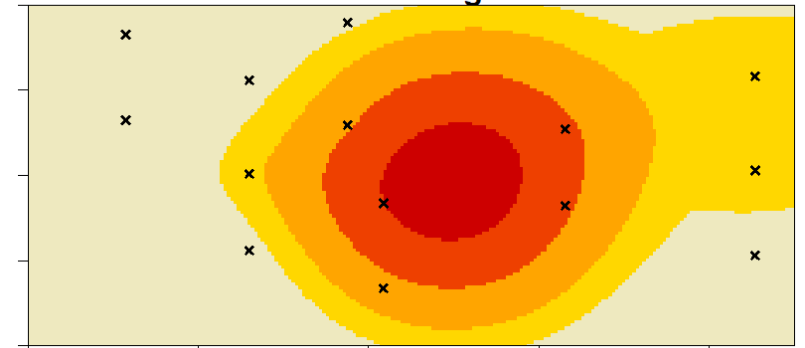
Flux = 85 g/år



Manuel interpolation

## RÅDGIVER 3

Flux = 184 g/år



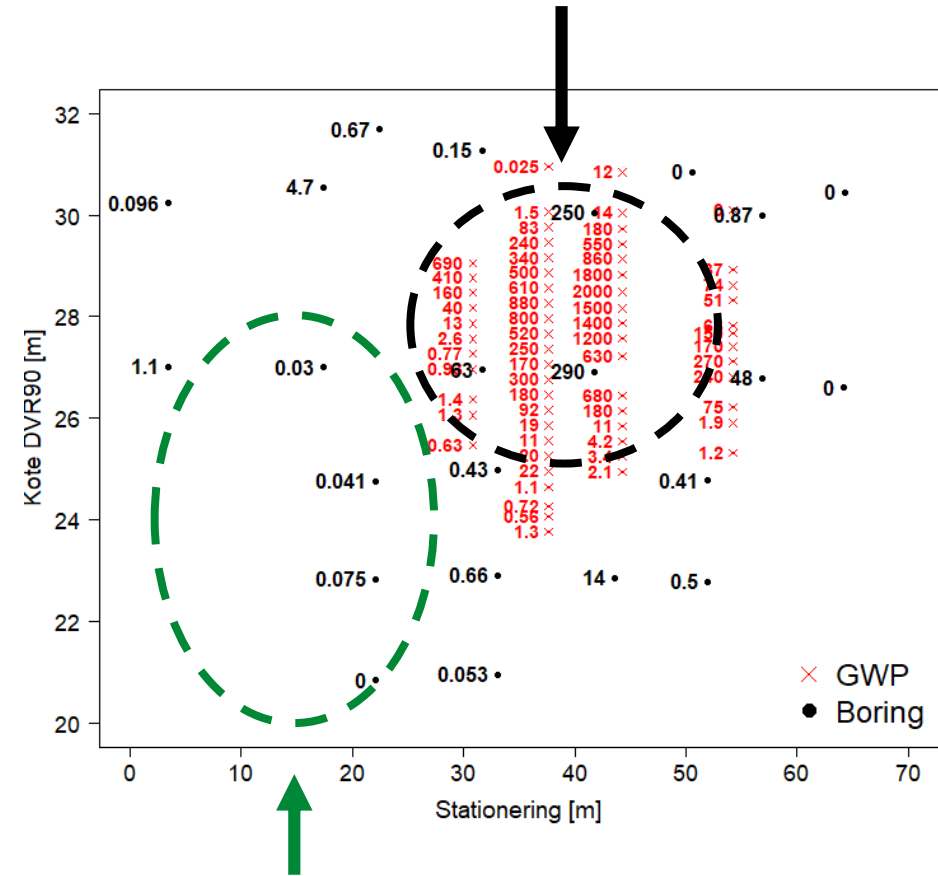
Kriging interpolation

# Hvad driver forureningsfluxen?

Take home message  
Fokus på centrum af fanen

- Høje koncentrationer styrer fluxen
  - Og dermed risikoen
- Stejle vertikale koncentrationsgradienter
- Fra litteraturen: 20% af arealet bidrager med 80% af forureningsfluxen

Høje koncentrationer → høj varians = Høj usikkerhed



Lav/ingen koncentration → lav varians = Lav usikkerhed

# Hvad driver forureningsfluxen?

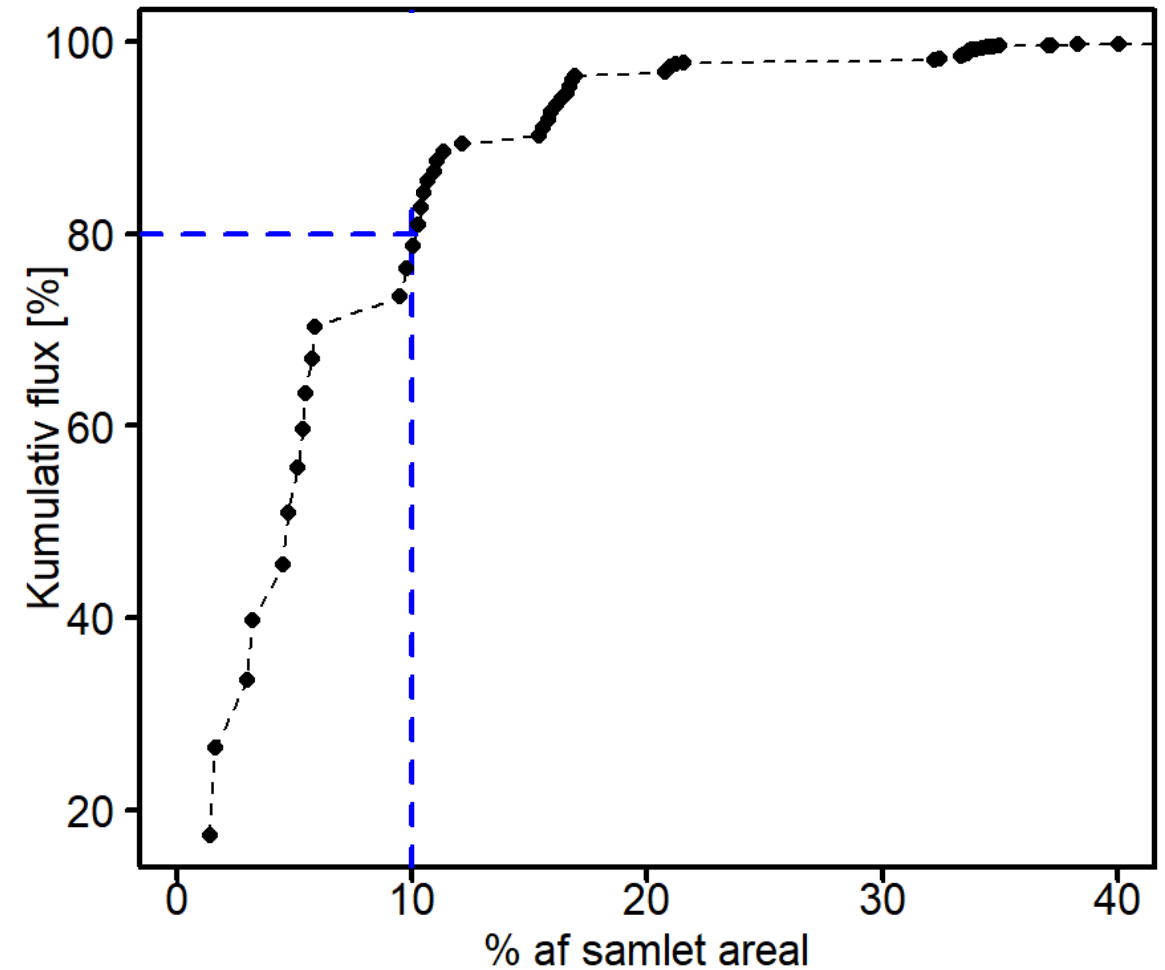
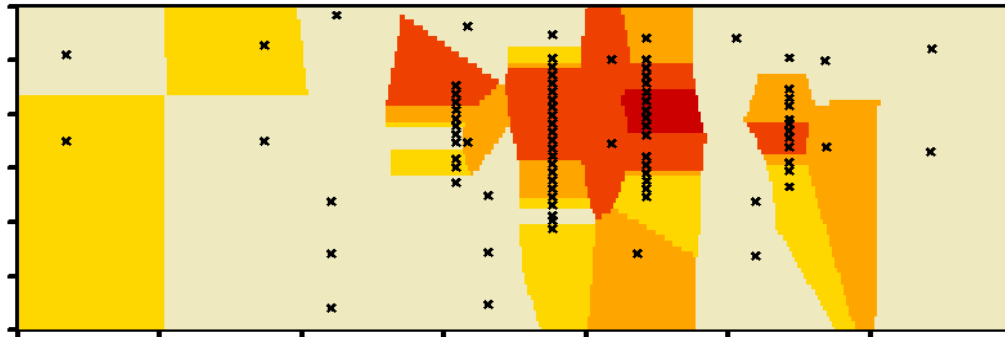
Take home message

80/20 reglen

- Fra litteraturen: 20% af arealet bidrager med 80% af forureningsfluxen

## Eksempel fra Industrivej

'Nærmeste nabo' interpolation

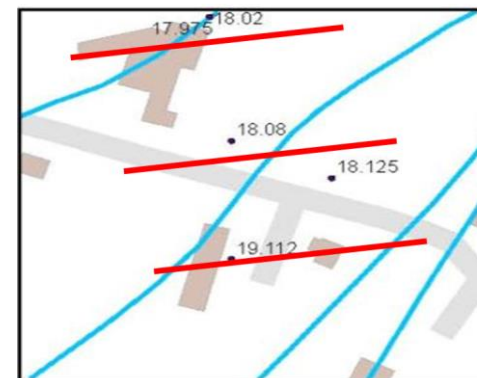
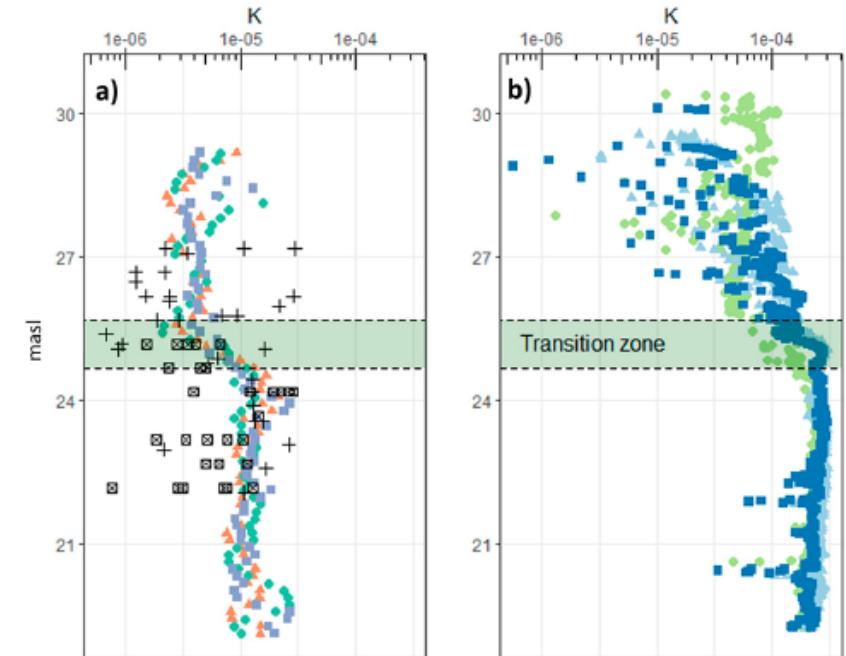


# Forureningsflux og usikkerheder: $K$ og $i$

**Take home message**

**$K$  og  $i$  er også usikre**

- Geologisk variation
  - En homogen akvifer findes ikke
- Heterogenitet, usikkerhed og skala
  - Stor rumlig variation i  $K$ !
  - Variation på to størrelsesordener almindeligt i mild heterogen geologi
- Pumpetest, slugtest, kornstørrelsesfordeling og geofysik
  - Troværdig middelværdi for  $K$ !
- Potentialekort
  - Hvilken gradient skal jeg bruge?
  - Filtre i samme magasin?
  - Koter og måleusikkerhed
  - Vær kritisk!



— Lokal potentialelinje (m)  
— Regional potentialelinje (m)

● K IP E1234    ▲ K IP E257    ● HPT 1  
■ K IP E6789    + K GSA    Profile ▲ HPT 2  
⊠ K slug test    ■ HPT 3

Thalund-Hansen, R., Trolborg, M., Levy, L., Christiansen, A. V., Bording, T. S., & Bjerg, P. L. (2023). Assessing contaminant mass discharge uncertainty with application of hydraulic conductivities derived from geoelectrical cross-borehole induced polarization and other methods. *Water Resources Research*, 59, e2022WR034360.

**Men den snak tager vi en anden gang!**

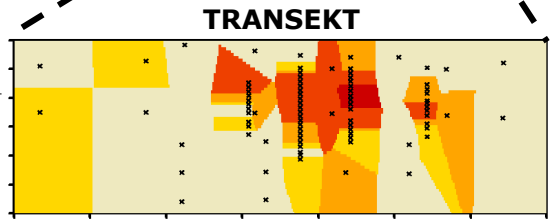
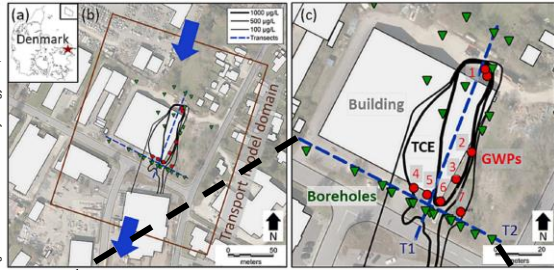
# Så hvorfor er vi her i dag?

- **Hvad:** Vi kigger i dag på forureningsflux og usikkerhed ifm. **koncentrationer**
  - **Ikke** hydraulisk konduktivitet/gradient
  - Ikke tiltænkt indledende undersøgelser på V2 niveau
- **Hvorfor:** Forureningsflux indgår i stigende grad ifm. forureningsundersøgelser og risikovurdering
- **Hvordan:** Forureningsflux er en usikker størrelse
  - Hvordan kvantificerer vi den?
- **Hvilke** faktorer driver usikkerheden?
- **Hvis** data er begrænset, hvad betyder det så i praksis?



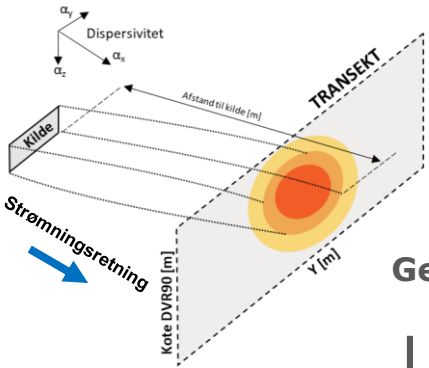
# Forureningsflux og usikkerheder: Metoden

## Konceptuel model og dataanalyse

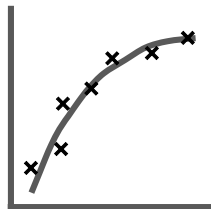


## Model-parametre

### Transportmodel



### Geostatistisk model



### Datatransformation

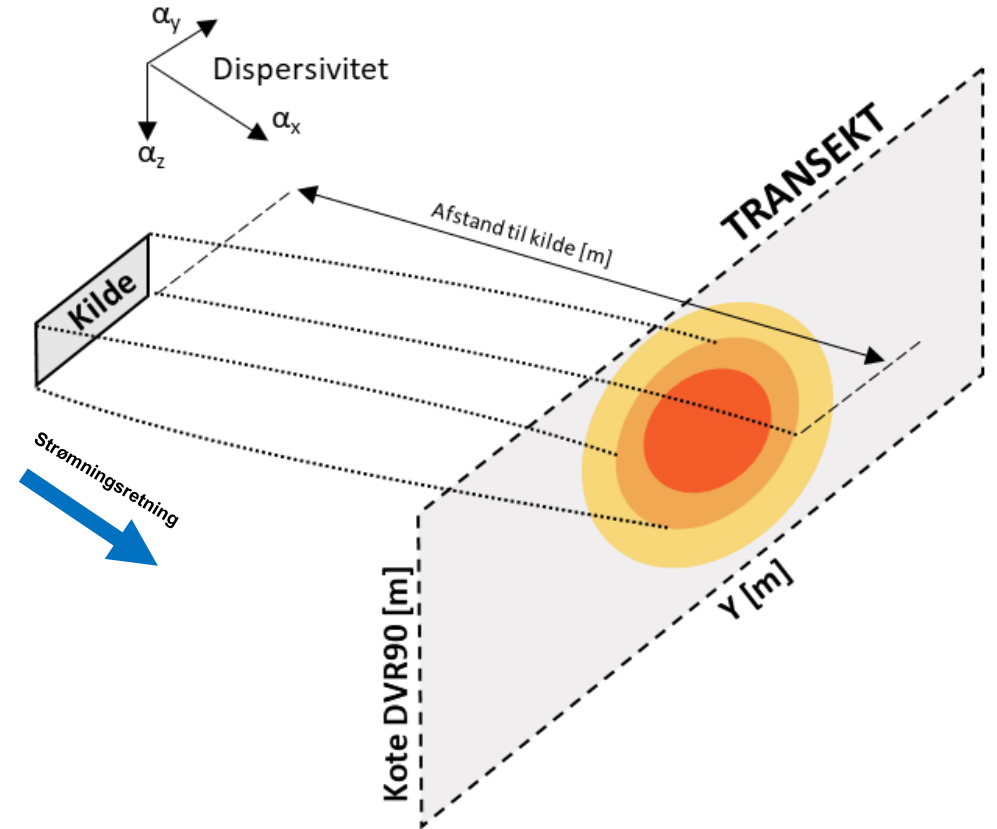


Den konceptuelle forståelse linkes til geostatistisk metode vha. en transportmodel

- **Et redskab** til at optimere den geostatistiske analyse
- Sikre normalfordelt data

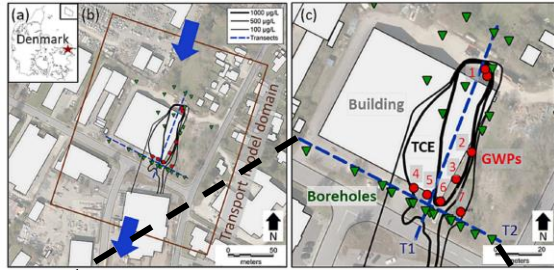
## Intervaller for:

- Kildekoncentration
- Spredning
- Kildens højde og bredde
- Geostatistiske parametre
- Transformation

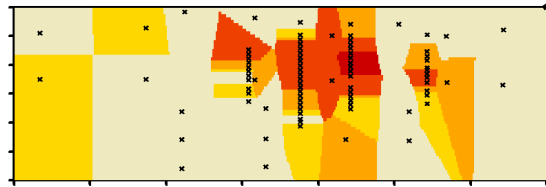


# Forureningsflux og usikkerheder: Metoden

## Konceptuel model og dataanalyse

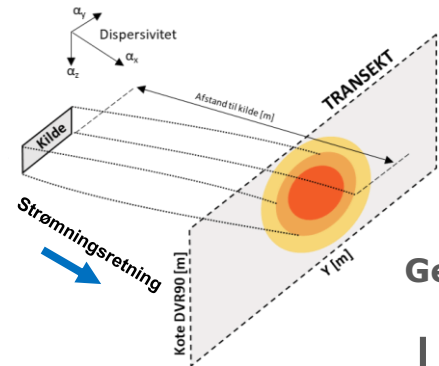


TRANSEKT



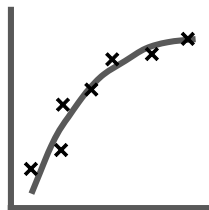
Model-parametre

Transportmodel

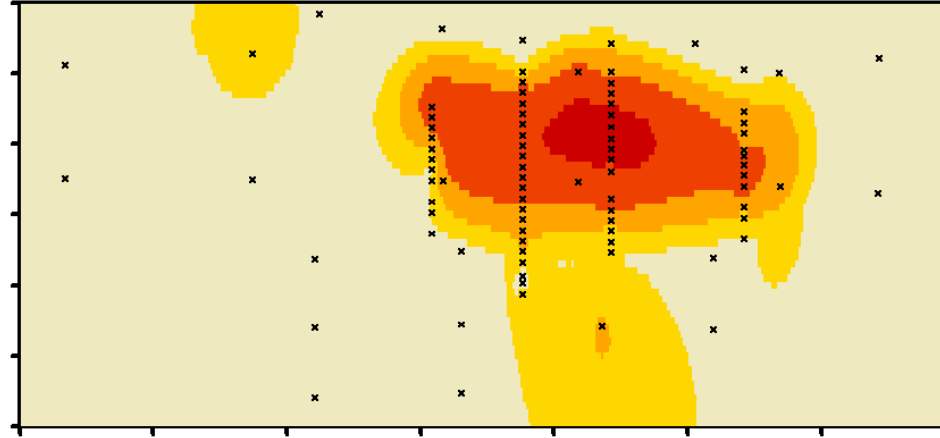


Geostatistisk model

Datatransformation



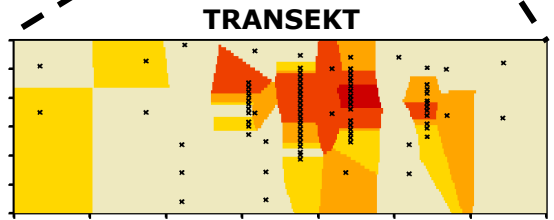
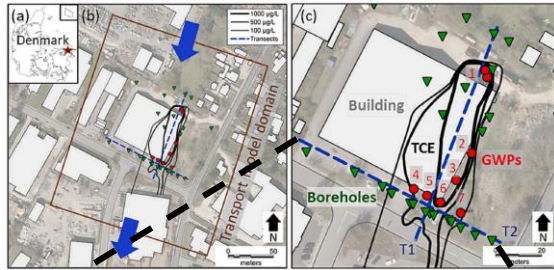
Kriging interpolation



BEDSTE BUD

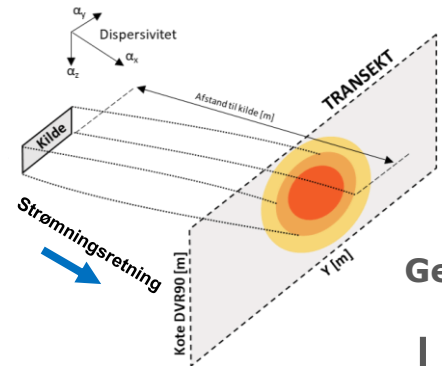
# Forureningsflux og usikkerheder: Metoden

## Konceptuel model og dataanalyse

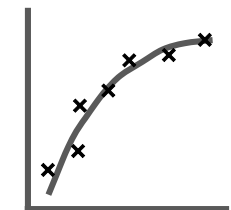


## Model-parametre

### Transportmodel



### Geostatistisk model

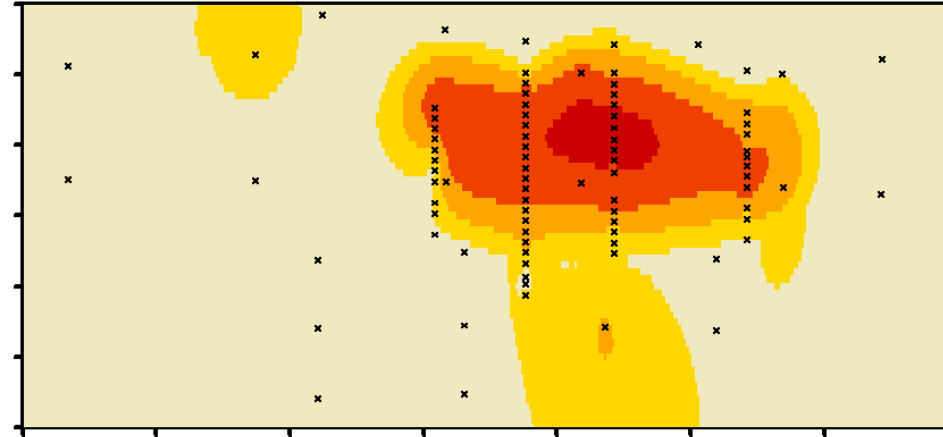


### Datatransformation



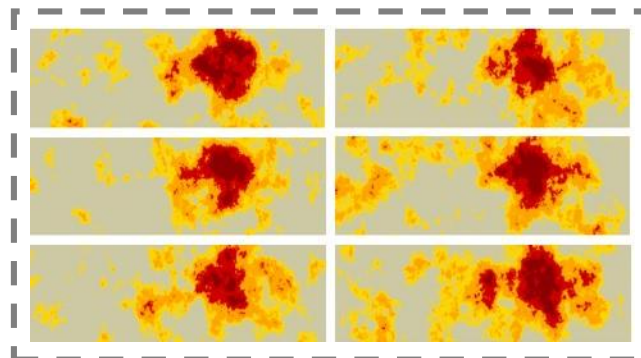
**BEDSTE BUD**

## Kriging interpolation

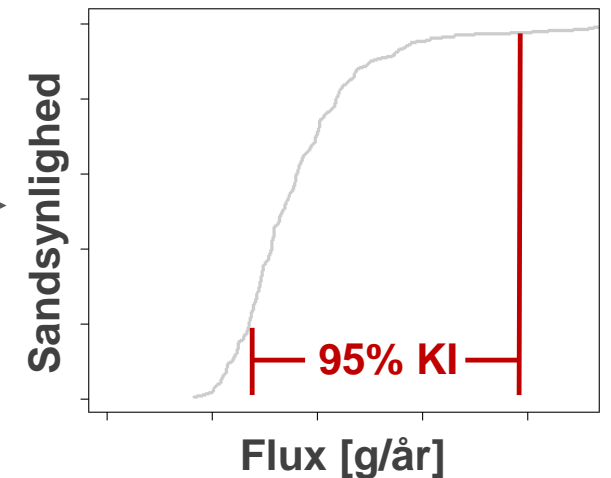


**USIKKERHED**

## Stokastisk simulering

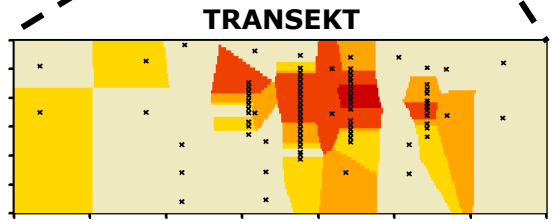
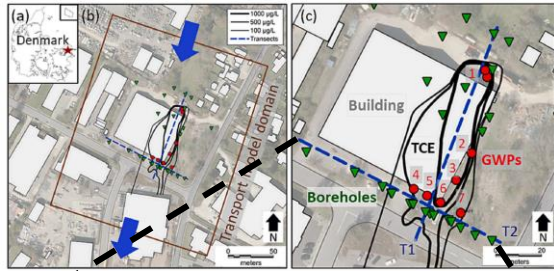


## Flux inkl. usikkerhed



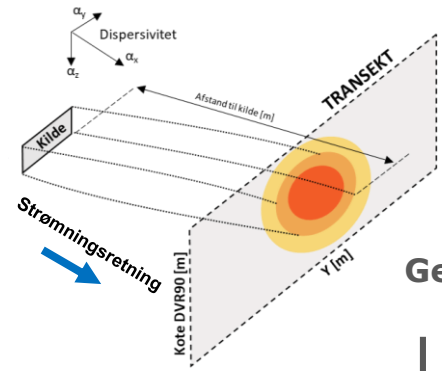
# Forureningsflux og usikkerheder: Metoden

## Konceptuel model og dataanalyse



## Model-parametre

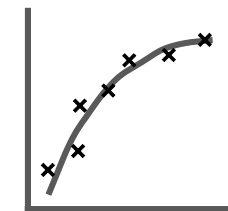
### Transportmodel



### Datatransformation

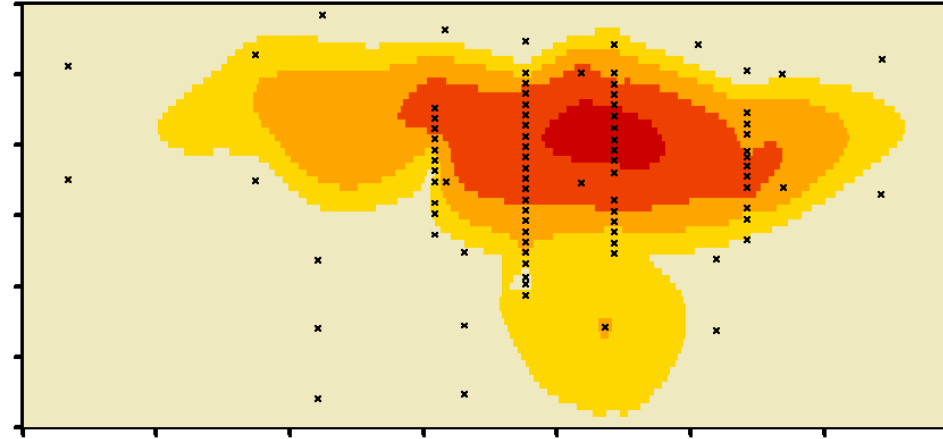


### Geostatistisk model



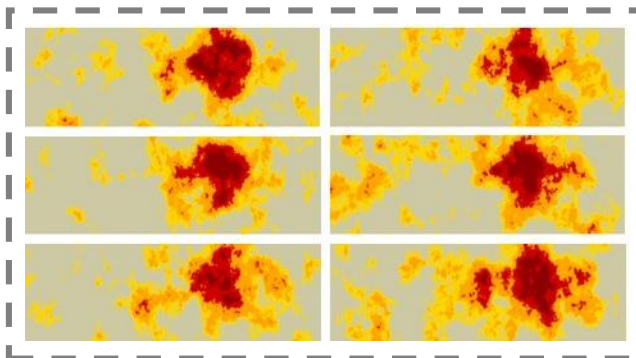
**BEDSTE BUD**

## Kriging interpolation

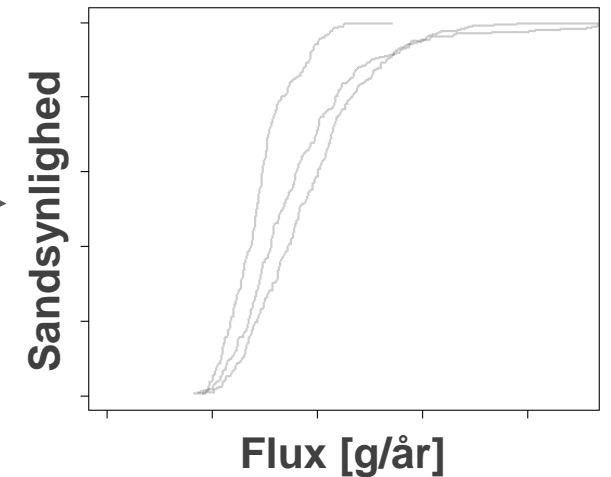


**USIKKERHED**

## Stokastisk simulering

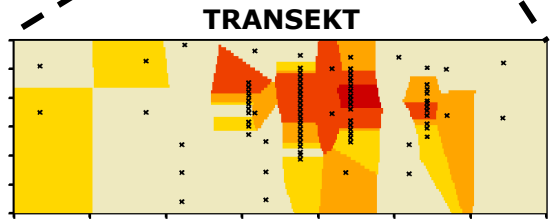
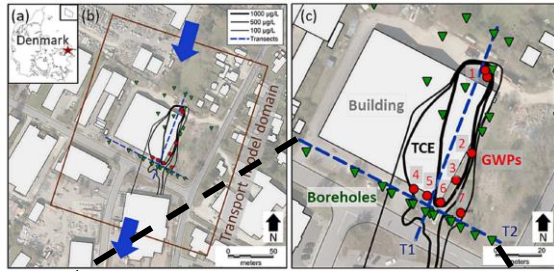


## Flux inkl. usikkerhed



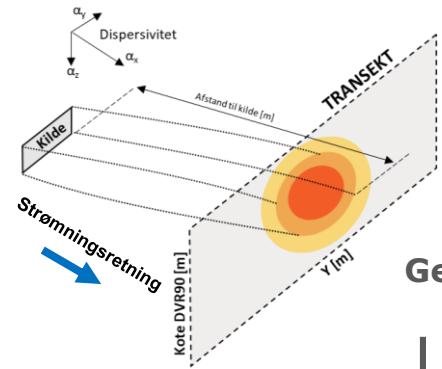
# Forureningsflux og usikkerheder: Metoden

## Konceptuel model og dataanalyse

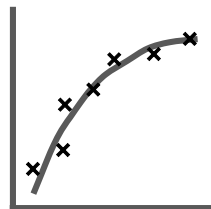


## Model-parametre

### Transportmodel



### Geostatistisk model

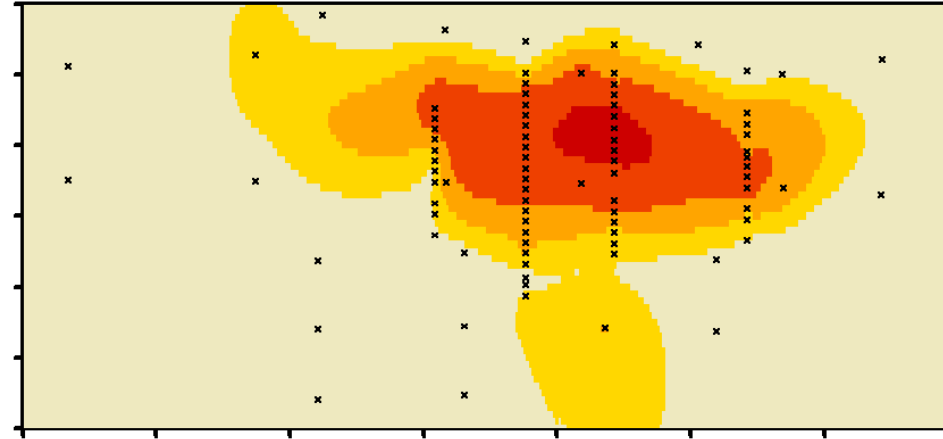


### Datatransformation



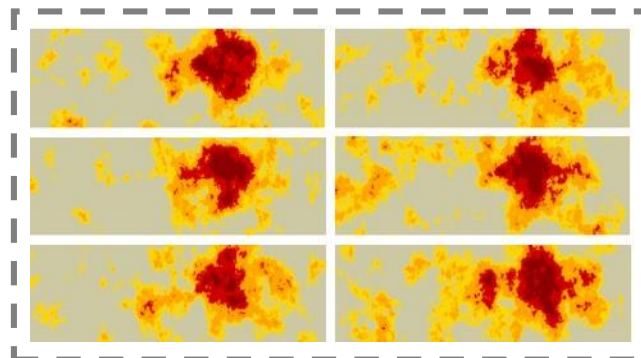
**BEDSTE BUD**

## Kriging interpolation



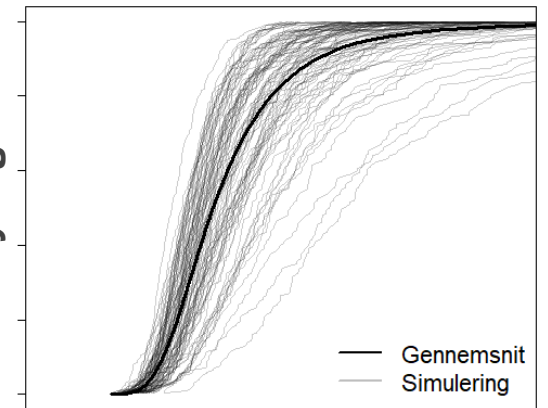
**USIKKERHED**

## Stokastisk simulering



## Flux inkl. usikkerhed

**Sandsynlighed**

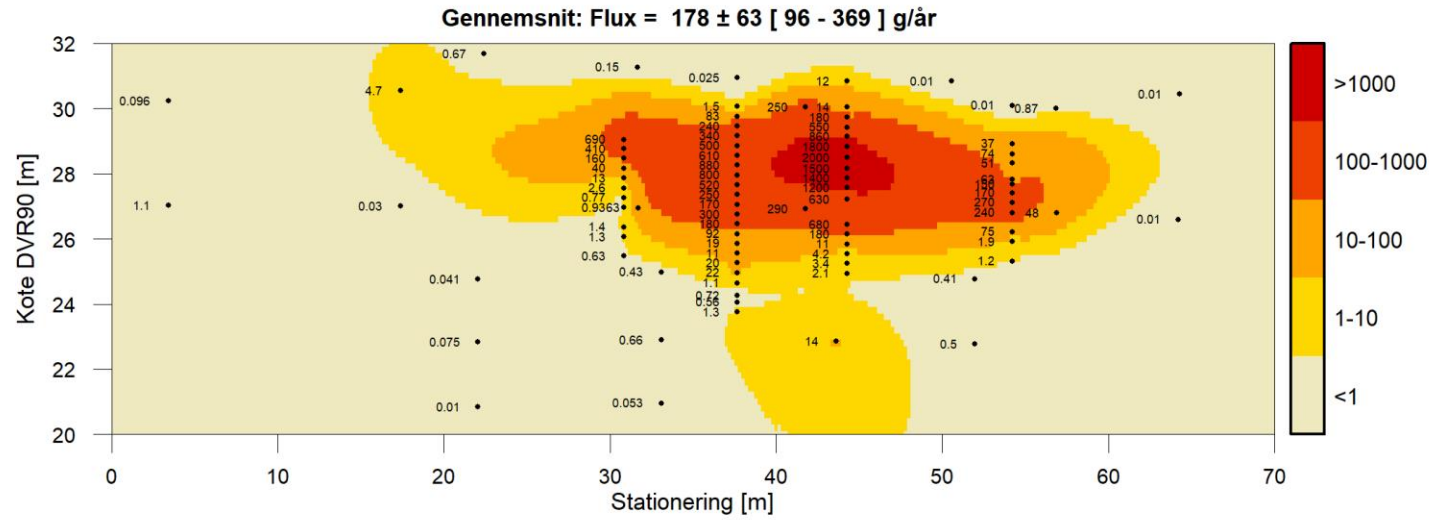


Flux [g/år]

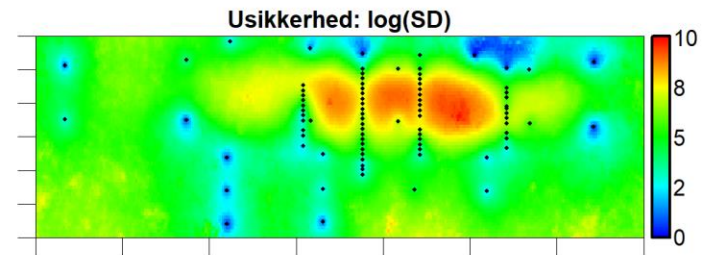
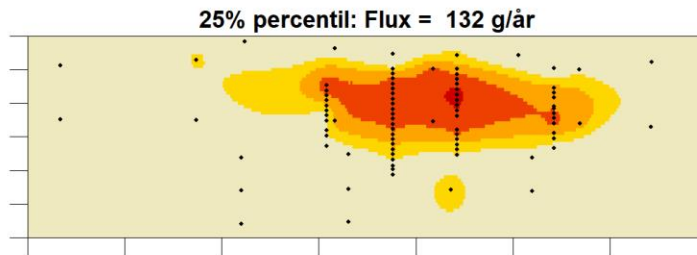
— Gennemsnit  
— Simulering



**Bedste gæt  
+ numerisk  
usikkerhed**

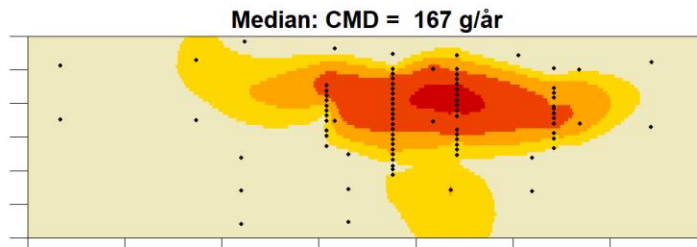


**25% kvantil**

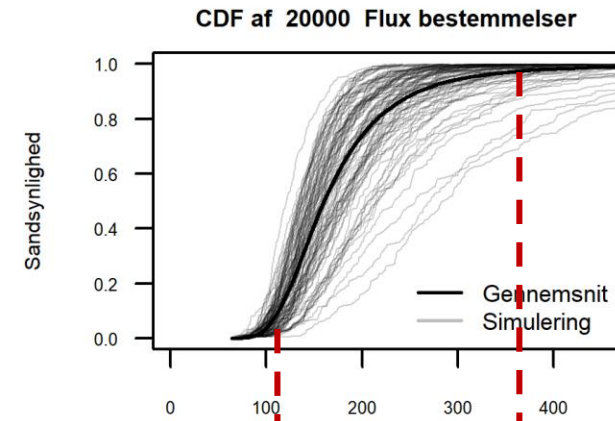
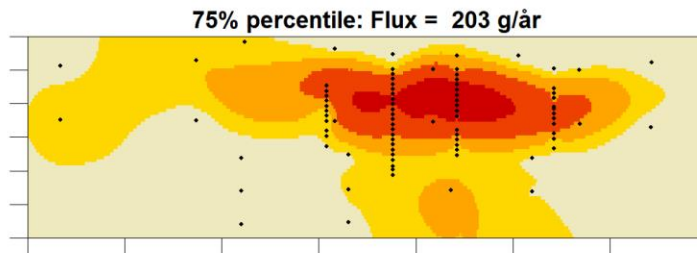


**Visuel  
usikkerhed**

**50% kvantil  
(median)**



**75% kvantil**



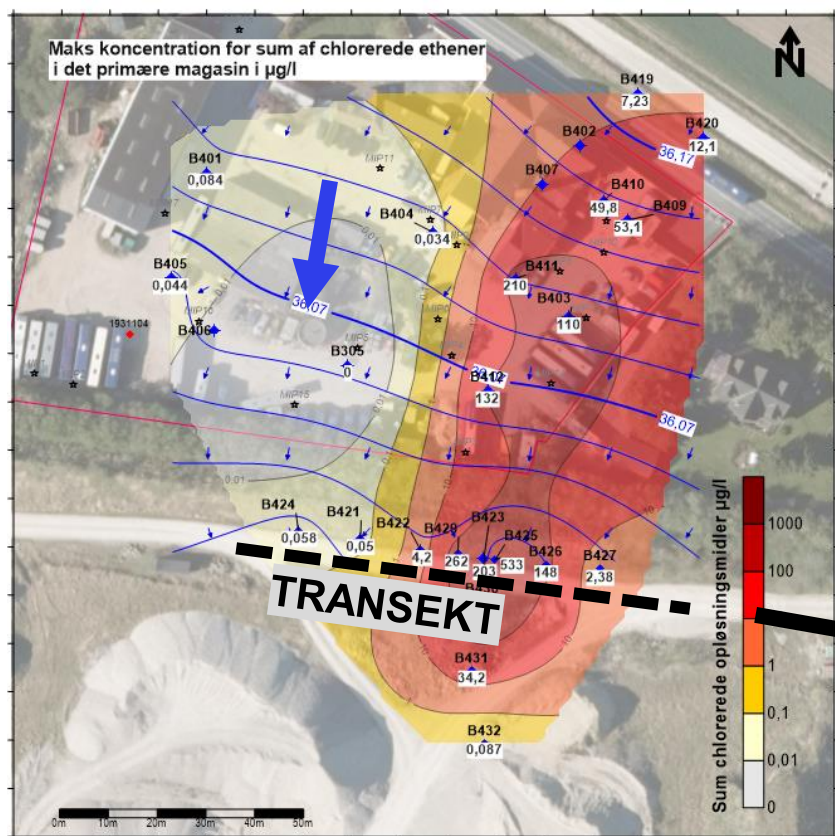
**Sandsynligheds  
fordeling for  
forureningsflux**

**95% KI: [96-369] g/år**

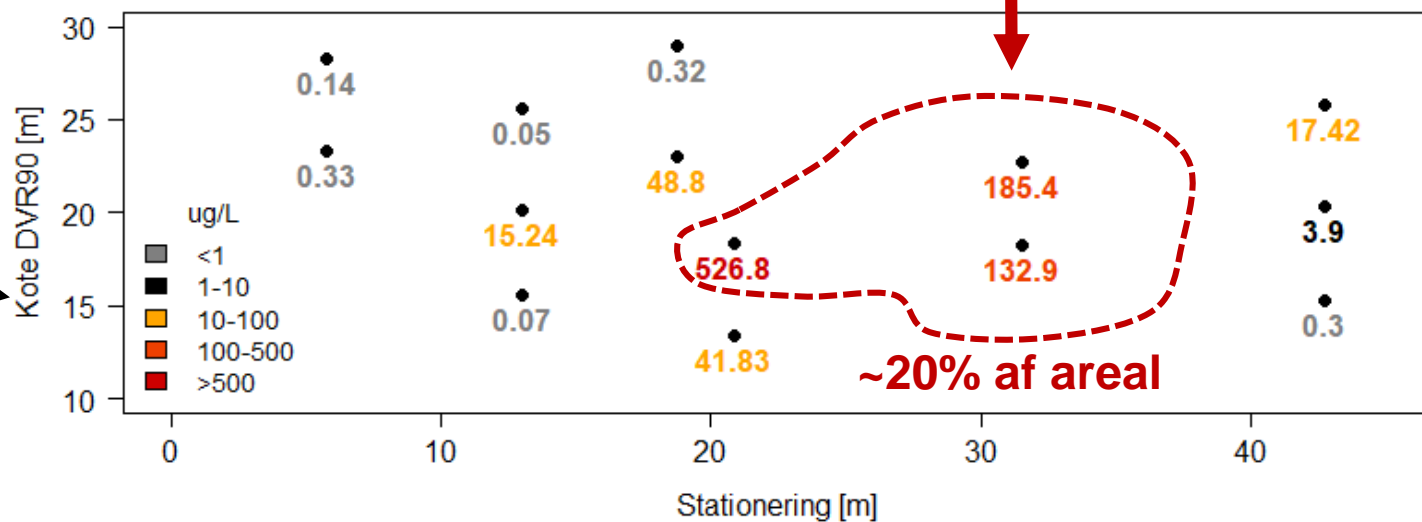
# Lokaliteter med begrænset data

”Mindre” forurening fra industriområde i Nordsjælland

- Hvor er fanens centrum?
- Lav datatæthed ved høje koncentrationer
  - Har vi fanget højeste koncentration?



Region Hovedstaden, 2022.

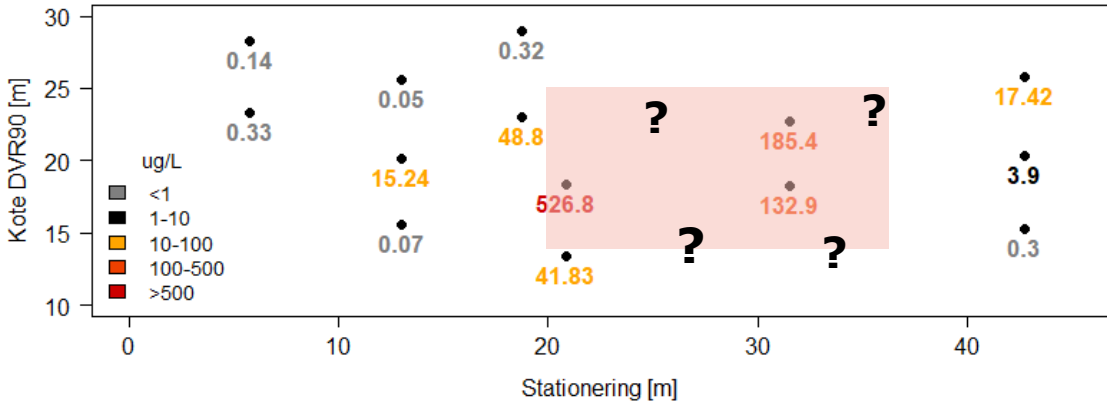


**Take home message**  
**Usikker fane, usikker flux**

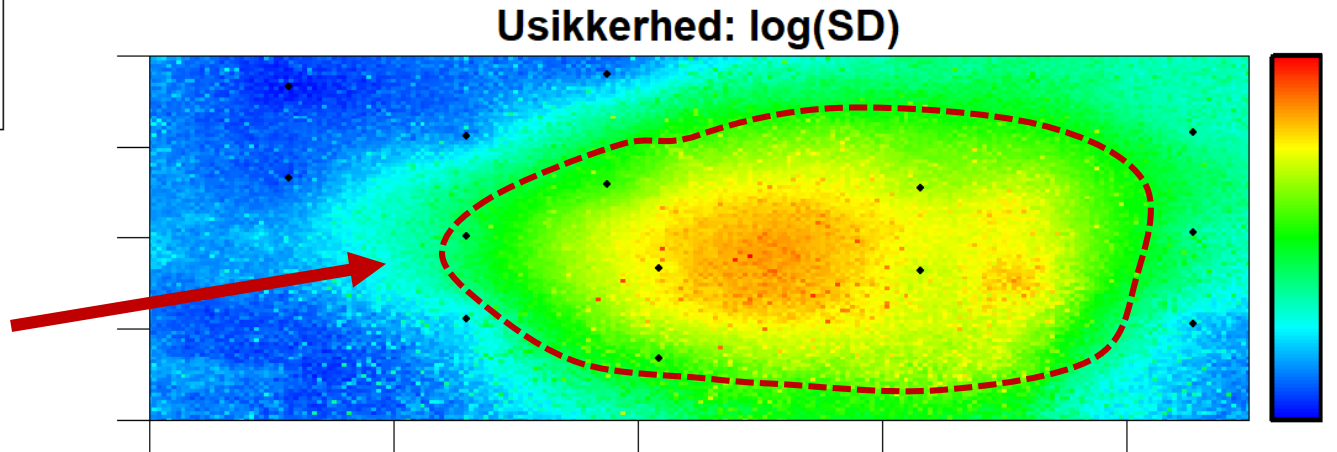
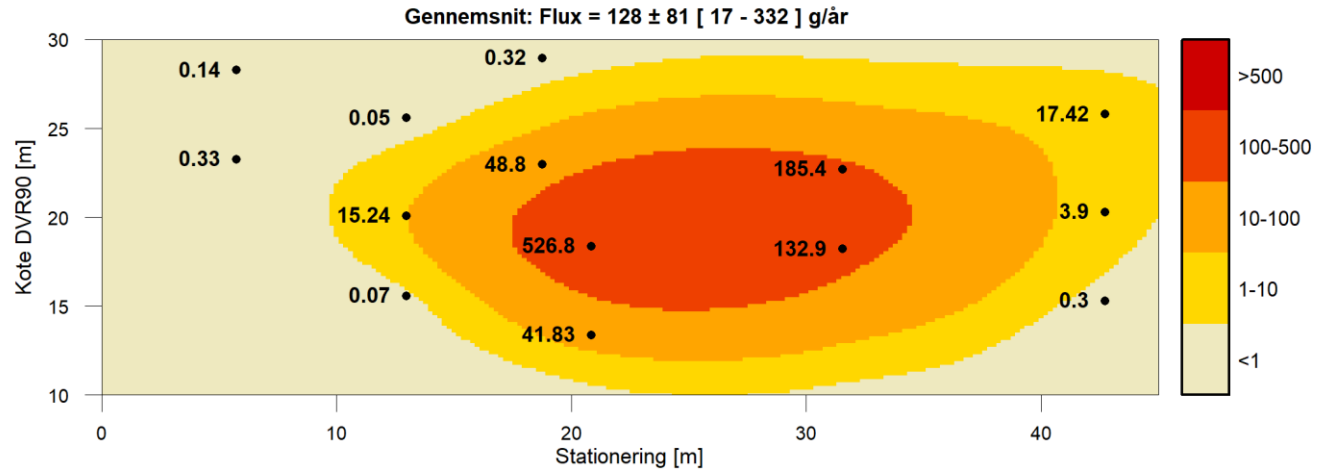
# Lokaliteter med begrænset data

Modellen bygger på data: Usikker fane = usikker model  
– Modellen tager højde for dette ved at undersøge flere ‘muligheder’

**Usikker fane = Stor numerisk usikkerhed**  
**- Relativ usikkerhed  $\approx 63\%$**



**Visuel usikkerhed ikke entydig**



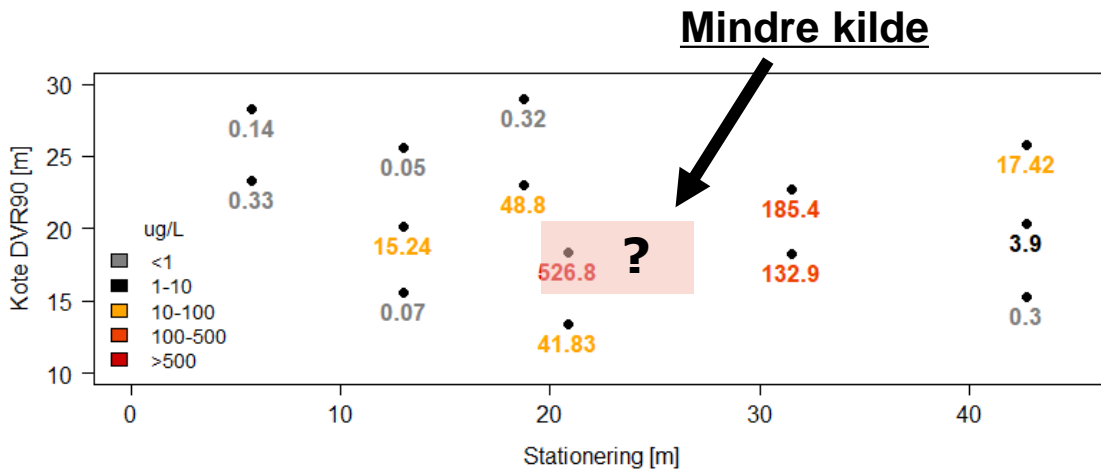


# Lokaliteter med begrænset data

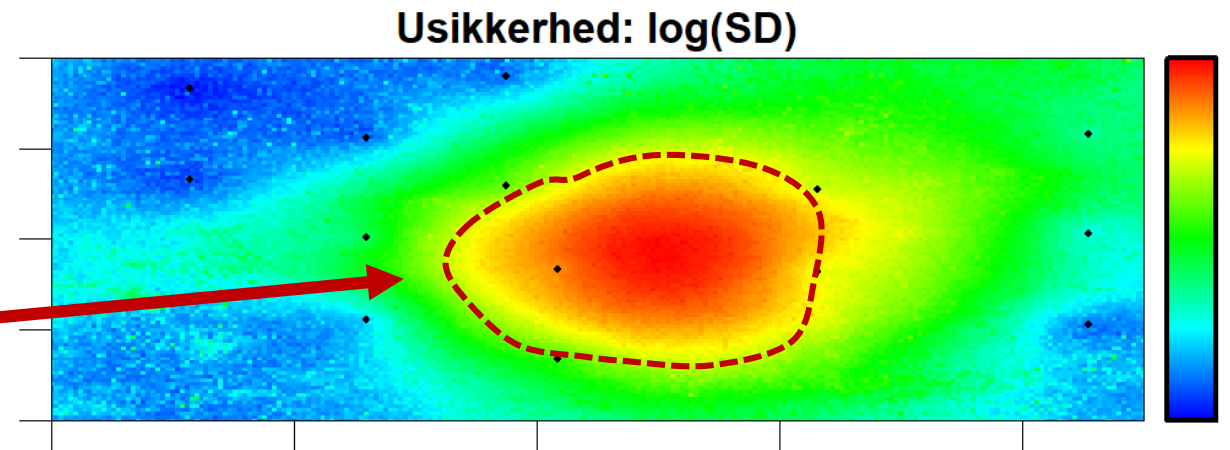
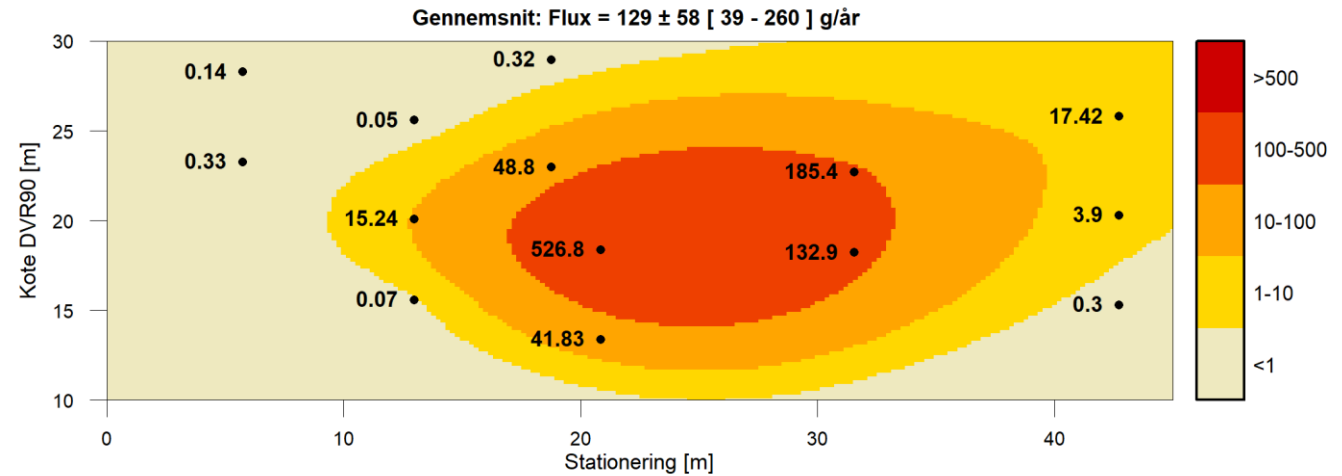
- Kildekoncentration
- Spredning
- Kildedimensioner

Bedre konceptuel forståelse → Kildedimensioner begrænses i transportmodel  
– Mindre usikkerhed i den geostatistiske model

Numeriske usikkerhed mindre  
- Relativ usikkerhed  $\approx 44\%$

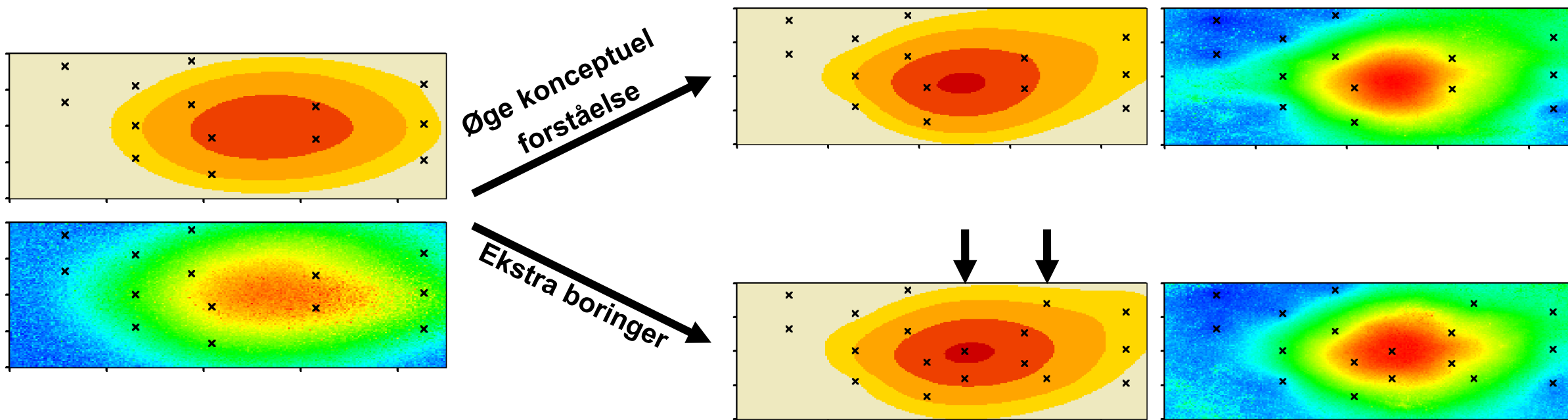


Visuel usikkerhed mere tydelig



# Anvendelse af metoden

- Større konceptuel forståelse → mindre usikkerhed (surprise)
  - Informationer om kilden kan integreres direkte i model/fluxestimat
- Flere boringer
  - Hvor giver potentielle nye boringer størst værdi?
- Metoden kan bruges på "dårlige" dataset men resulterer i større usikkerheder



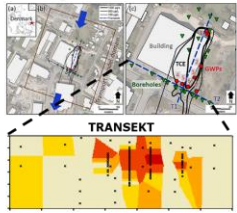


# Konklusion

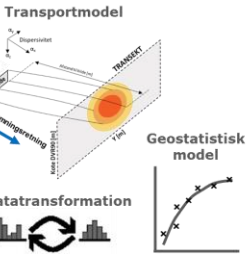
- **En metode** der kan kvantificere forureningsflux og usikkerhed ifm. **koncentrationer**
  - Testet på rigtige lokaliteter
  - Konceptuel og model (interpolation) usikkerhed
  - Visuel
  - Reproducerbar og nemt at opdatere med ekstra data (.csv fil og automatiseret)
- **Fordi:** Det er nødvendigt at kortlægge usikkerheden ifm. fluxbaseret risikovurdering
- **Kombinationen** af geostatistisk stokastisk modellering og transportmodel:
  - Kvantificerer usikkerheden af forureningsfluxen
  - Linker konceptuel model til forureningsflux
- **Høje koncentrationer** i centrum af fanen driver usikkerheden
  - Fokus væk fra afgrænsning af fanen (!)
- **Når data er begrænset** kan usikkerhed mindskes ved:
  - Boringer i centrum af fanen
  - Begrænse modellen vha. bedre konceptuel forståelse

# Fra PhD.-projekt til Praksis

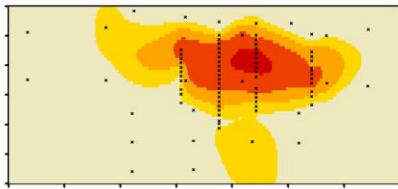
Konceptuel model og dataanalyse



Model-parametre



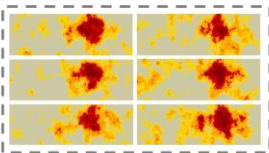
Kriging interpolation



BEDSTE BUD

USIKKERHED

Stokastisk simulering



Flux inkl. usikkerhed

