

DTU



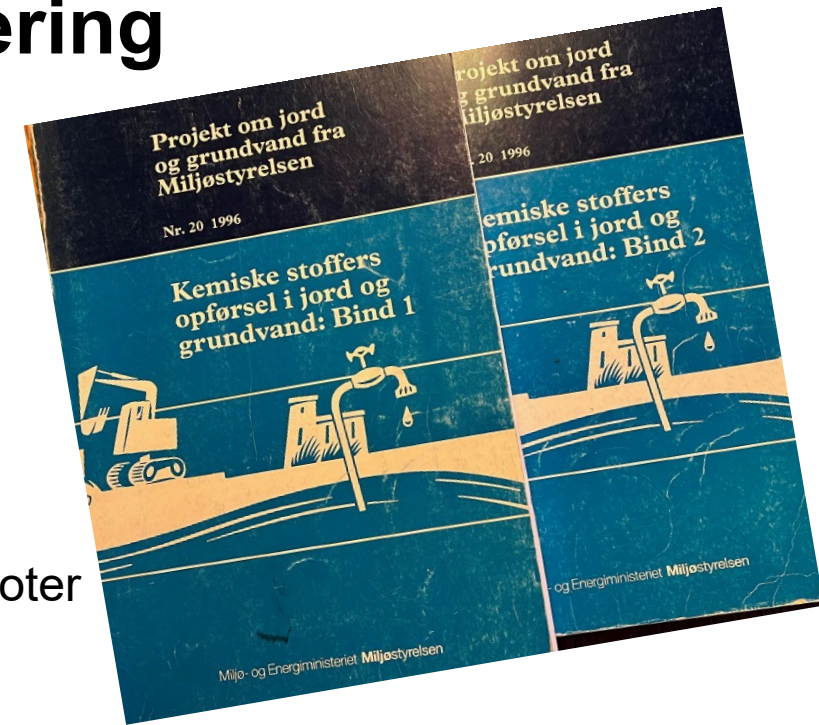
**Reductionism is useful in science but holism is necessary in politics and management, i.e. to consider trade offs**

POUL L. BJERG og mange, mange andre

# **Risikovurdering af forurenede grunde - alt er relativt**

# 1969-nu: Grundvand og risikovurdering

- 1969: Vandforureningsrådet nedsættes, NOAH stiftes,
- 1971: Forureningsministeriet ser dagens lys
- 1974: Miljøbeskyttelsesloven
- 1980: EU grænseværdi for pesticider på 0,1 µg/L
- 1983: Lov om kemikalieaffaldsdepoter
  
- 1985-1995: Pionertiden, lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter
- 1986-1989: Lossepladsprojektet
- 1990-1996: **Vi bliver klogere**



Antal  
forurenede  
grunde

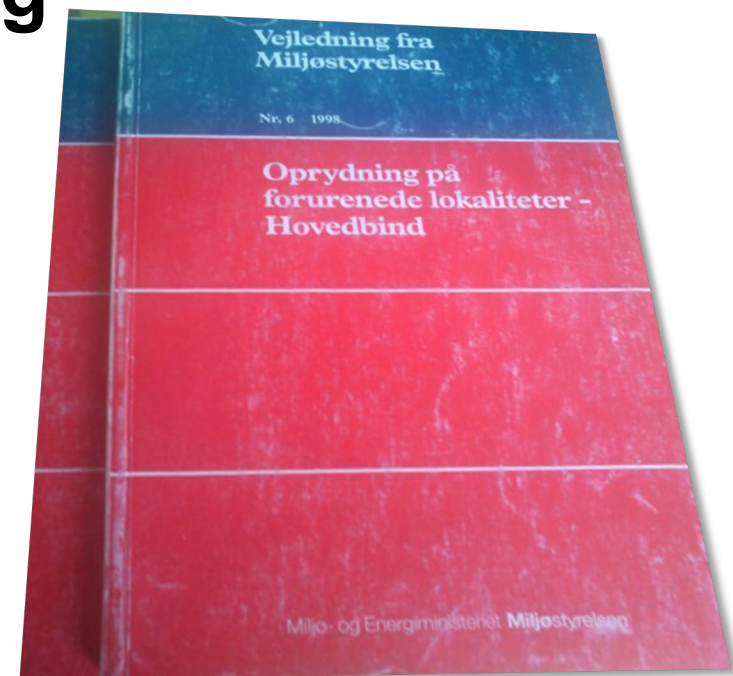
# 1969-nu: Grundvand og risikovurdering

- 1969: Vandforureningsrådet nedsættes, NOAH stiftes,
- 1971: Forureningsministeriet ser dagens lys
- 1974: Miljøbeskyttelsesloven
- 1980: EU grænseværdi for pesticider på 0,1 µg/L
- 1983: Lov om kemikalieaffaldsdepoter
  
- 1985-1995: Pionertiden, lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter
- 1986-1989: Lossepladsprojektet
- 1990-1996: Vi bliver klogere
- 1998-nu: **Vejledning fra Miljøstyrelsen**, Jordforureningsloven 1999
- 1999-2006: **JAGG**, fælles indsats i amterne

500

6.000

10.000



# 1969-nu: Grundvand og risikovurdering

- 1969: Vandforureningsrådet nedsættes, NOAH stiftes,
- 1971: Forureningsministeriet ser dagens lys
- 1974: Miljøbeskyttelsesloven
- 1980: EU grænseværdi for pesticider
- 1983: Lov om kemikalieaffaldsdeponering
- 1985-1995: Pionertiden, lossepladser
- 1986-1989: Lossepladsprojektet
- 1990-1996: Vi bliver klogere
- 1998-nu: Vejledning fra Miljøstyrelsen, Jordforureningsloven 1999
- 1999-2006: JAGG, fælles indsats i amterne
- 2007-2013: Regionerne kommer til verden. **Der skal prioriteres**

500

6.000

10.000

30.000



Antal  
forurenede  
grunde

# 1969-nu: Grundvand og risikovurdering

- 1969: Vandforureningsrådet nedsættes, NOAH stiftes,
- 1971: Forureningsministeriet ser dagens lys
- 1974: Miljøbeskyttelsesloven
- 1980: EU grænseværdi for pesticider på 0,1 µg/L
- 1983: Lov om kemikalieaffaldsdepoter
  
- 1985-1995: Pionertiden, lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter
- 1986-1989: Lossepladsprojektet
- 1990-1996: Vi bliver klogere
- 1998-nu: Vejledning fra Miljøstyrelsen, Jordforureningsloven 1999
- 1999-2006: JAGG, fælles indsats i amterne
- 2007-2013: Regionerne kommer til verden. Der skal prioriteres
- 2014-2023 Overfladevand og natur kommer ind i Jordforureningsloven, screening og målinger
- 2014-2016: **GRUNDRISK** udvikles

500

6.000

10.000

30.000

36.000



# 1969-nu: Grundvand og risikovurdering

- 1969: Vandforureningsrådet nedsættes, NOAH stiftes,
- 1971: Forureningsministeriet ser dagens lys
- 1974: Miljøbeskyttelsesloven
- 1980: EU grænseværdi for pesticider på 0,1 µg/L
- 1983: Lov om kemikalieaffaldsdepoter
- 1985-1995: Pionertiden, lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter
- 1986-1989: Lossepladsprojektet
- 1990-1996: Vi bliver klogere
- 1998-nu: Vejledning fra Miljøstyrelsen, Jordforureningsloven 1999
- 1999-2006: JAGG, fælles indsats i amterne
- 2007-2013: Regionerne kommer til verden. Der skal prioriteres.
- 2014-2023 Overfladevand og natur kommer ind i Jordforureningsloven, screening og målinger
- 2014-2016: GRUNDRISK udvikles
- 2017-2023: Nye udfordringer. GRUNDRISK implementeres
- 2024: **Der skal sluges kameler** – alt er relativt – bæredygtighed i fokus i samfundet



500

6.000

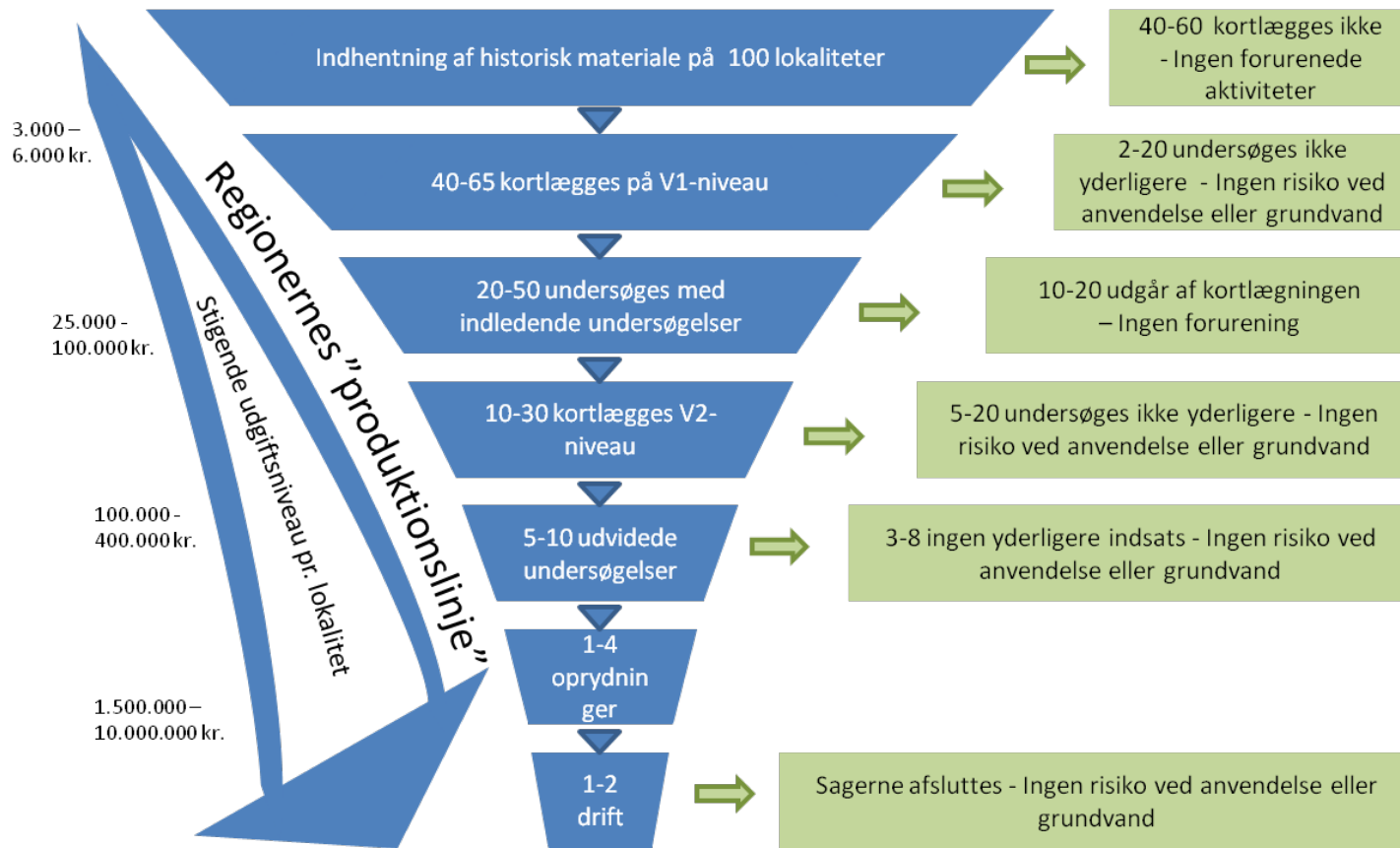
10.000

30.000

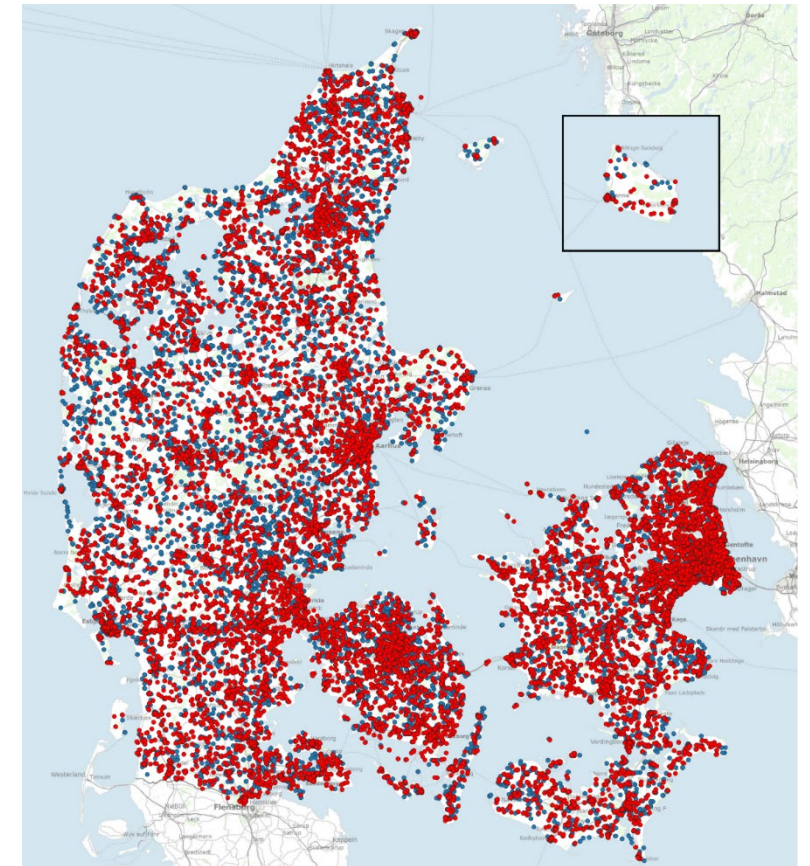
36.000

40.000

# Bæredygtig afværgelse har fået mere fokus 😊



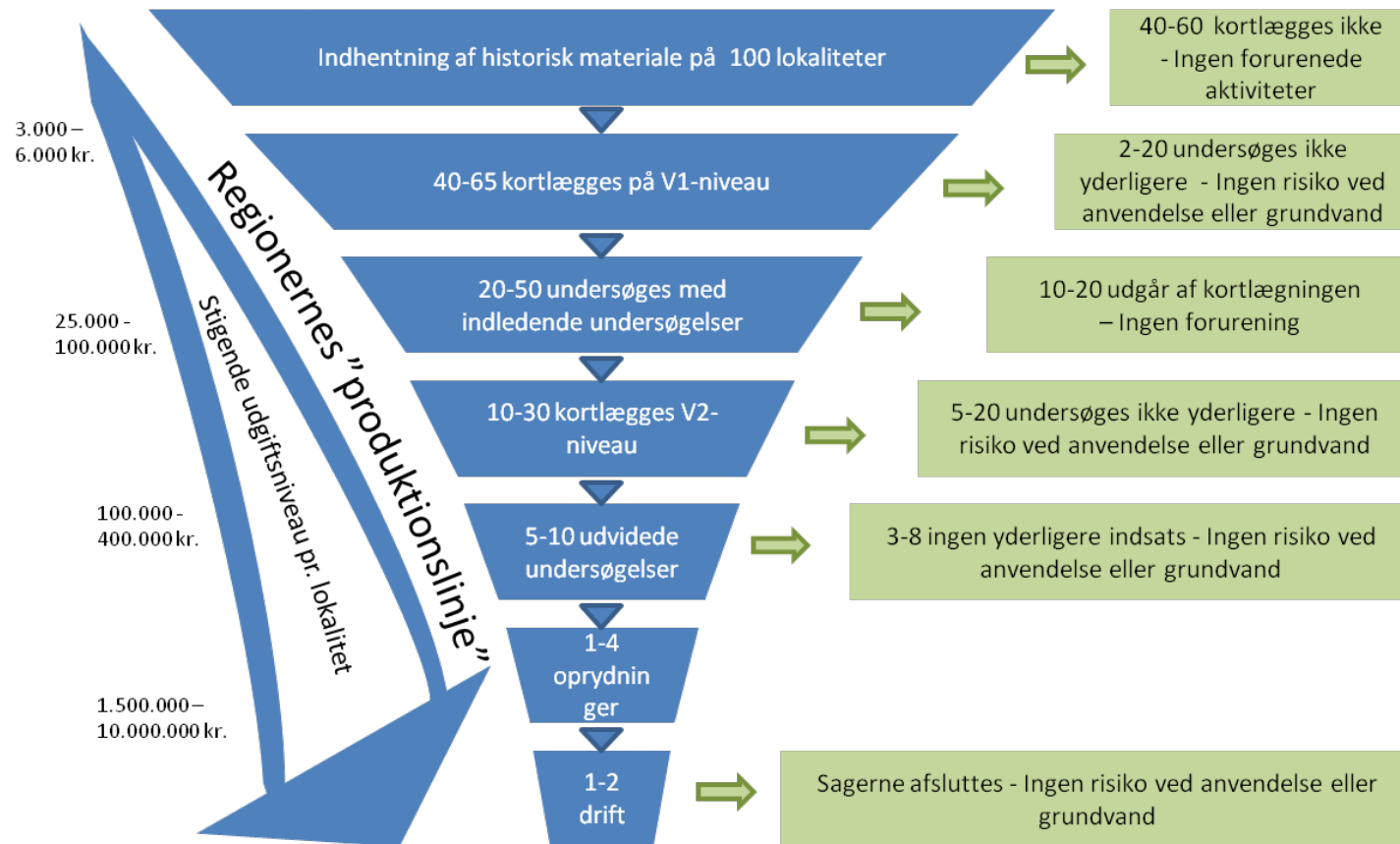
Miljøstyrelsen 2010



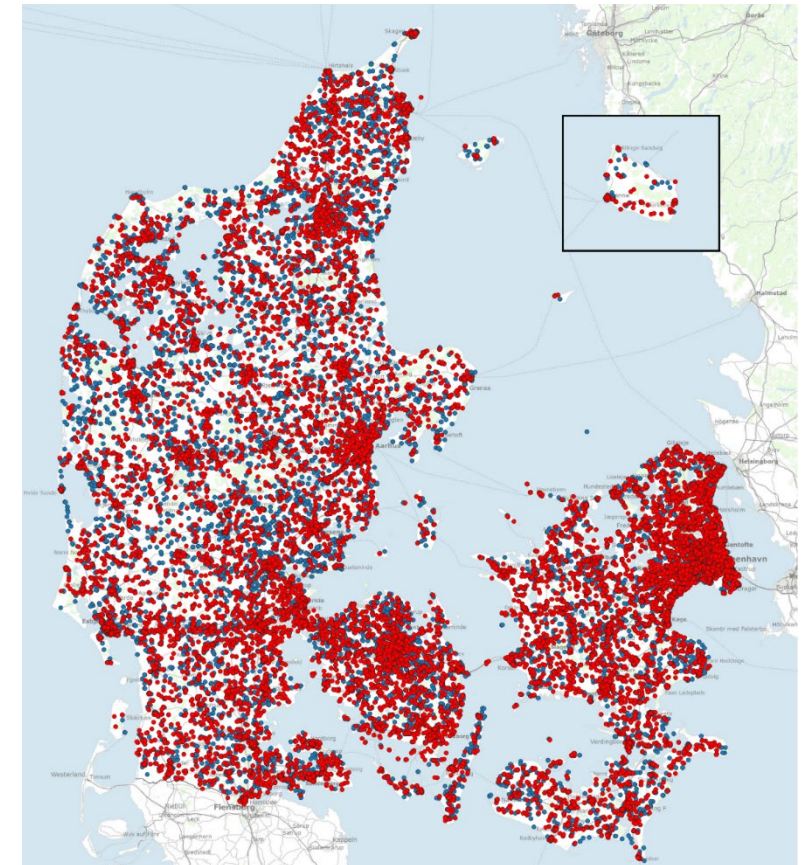
Udtræk fra DK Jord 2023



# Bæredygtig risikovurdering – mest miljø for pengene



Miljøstyrelsen 2010



Udtræk fra DK Jord 2023

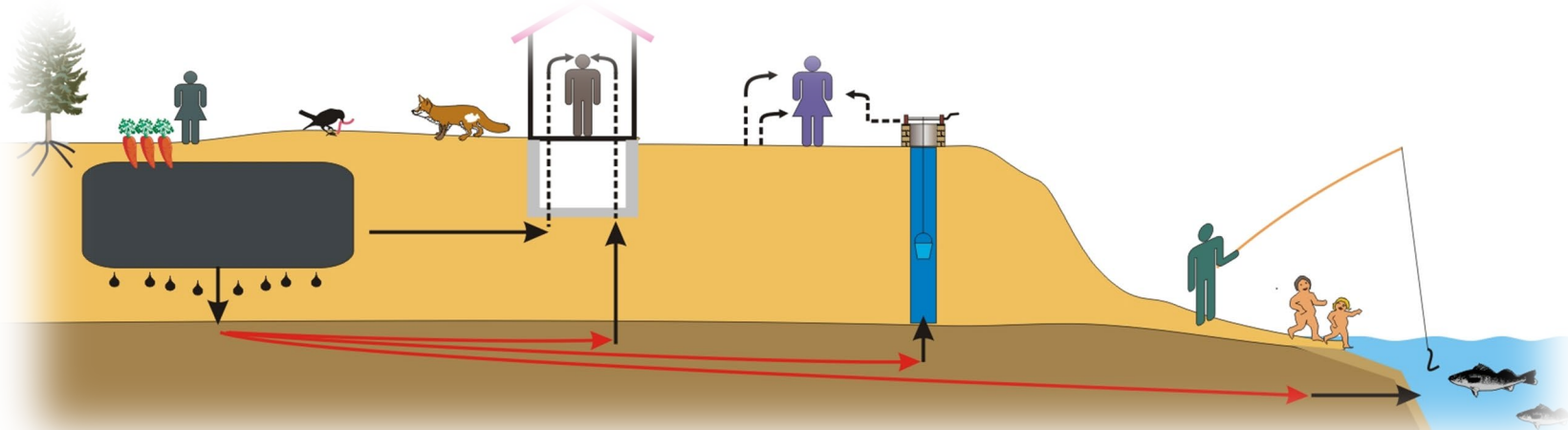
# Overordnede principper for risikovurdering

## GENERIC STANDARDS

- Beregning/måling af koncentrationen ved **kontrolpunkt/point of compliance**
- Sammenligning med generiske grænseværdier
- Principielt er disse også oprensningskriterier
- Denne tilgang er grundlaget for de fleste risikovurderingsværktøjer

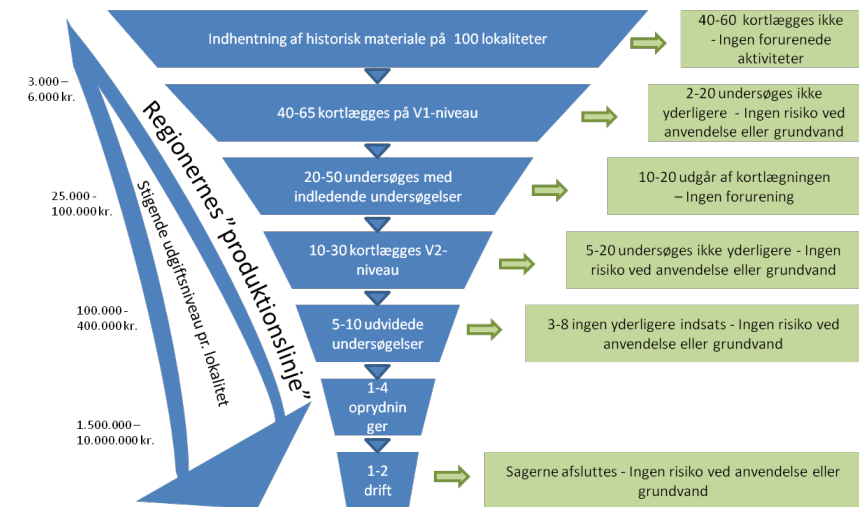
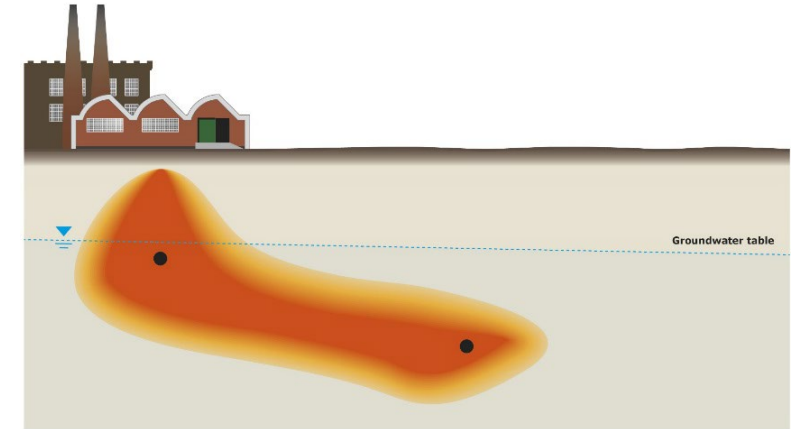
## FULL RISK ASSESSMENT

- Estimering/måling af koncentration ved eksponeringspunkt
- En fuldstændig risikovurdering som fører til vurdering af "risiko"
  - Effekt på sundhed og miljø
- Lokal vurdering af eksponering og effekt (source – pathway – exposure)
- Lokalitetsspecifikke vurderinger af risici og oprensningskriterier



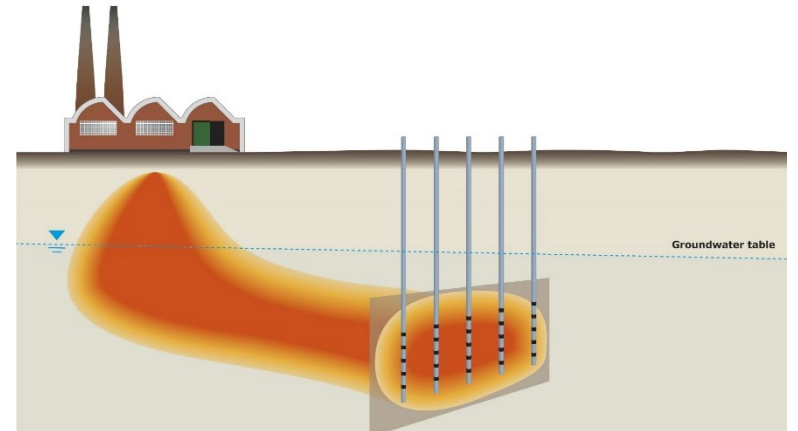
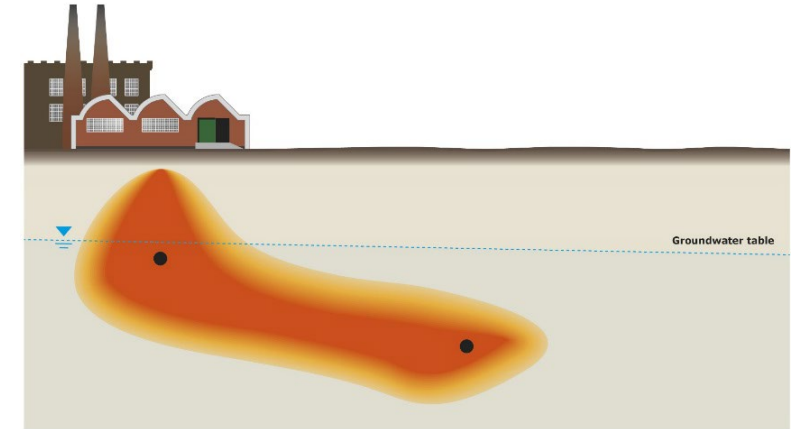
# Risikovurdering i praksis.

- Et grundvandskvalitetskrav (Miljøstyrelsen, 1998)
  - Entydigt, operationelt, velkendt, ophængt i vejledningen
- Koncentrationen af forurenende stoffer i kilden, C
  - Andre effekter, giver oprensning mening/diffuse kilder
- Den samlede mængde/masse, M af forurenende stoffer
  - Giver oprensning mening, er der noget komme efter
- Forureningsflux, J
  - Kobler koncentration med mobilitet
  - Et robust mål for risiko i forhold til grundvand
  - Let at kommunikere - masse pr tid – kg/år
  - Kan bruges i flere andre sammenhænge
    - Varighed af udsivningen,  $C(t) = M(t)/J(t)$
    - Prioritering mellem forureningskilder på oplandsskala



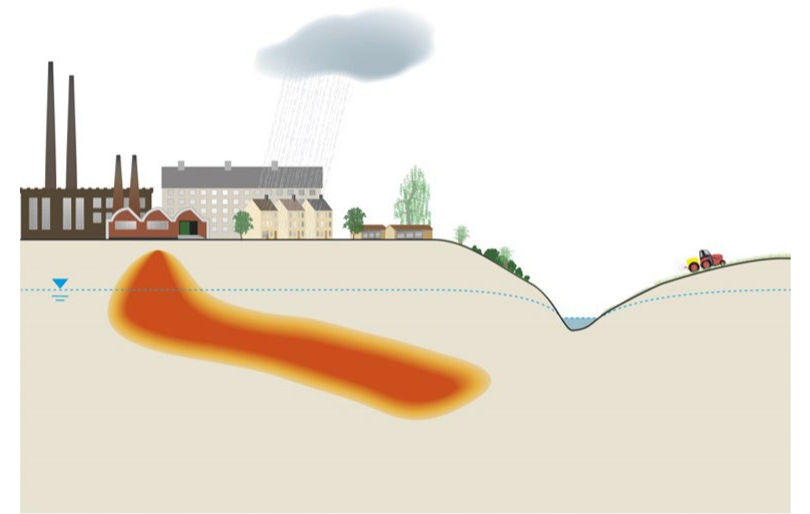
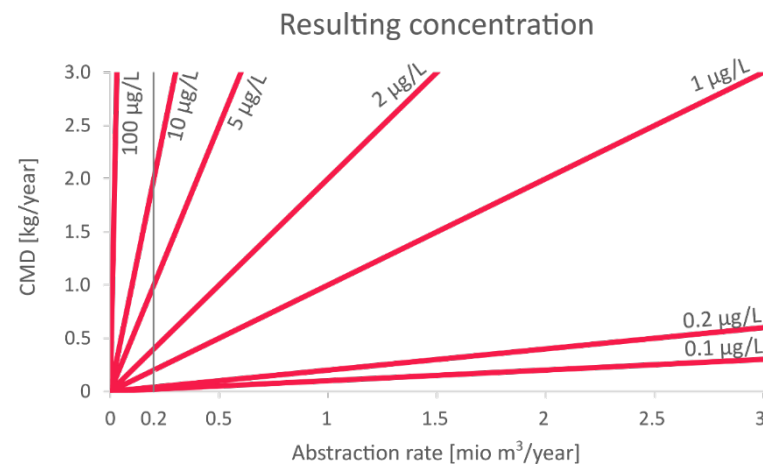
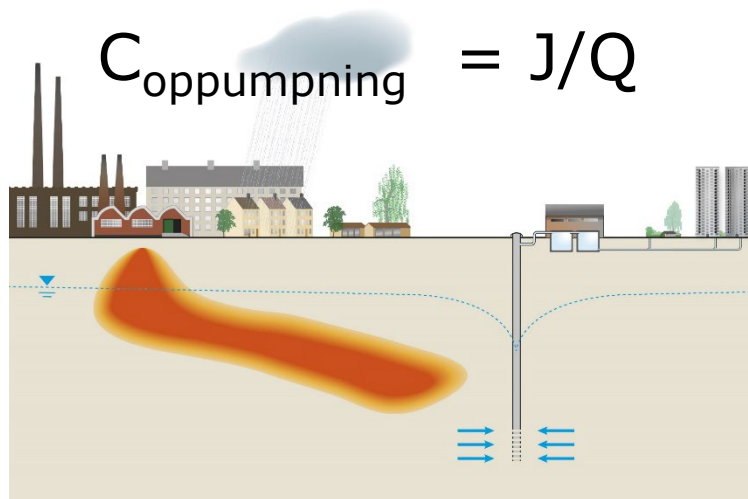
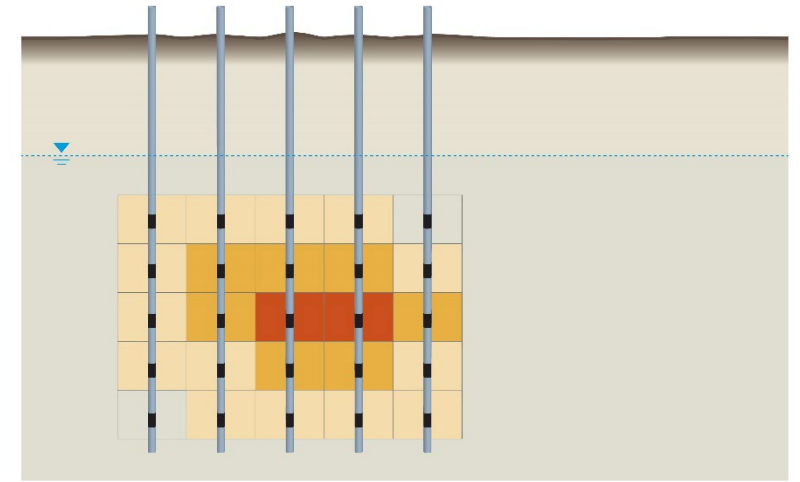
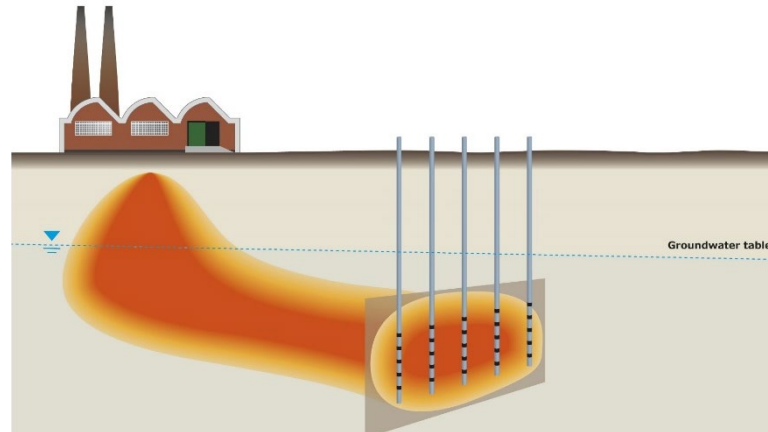
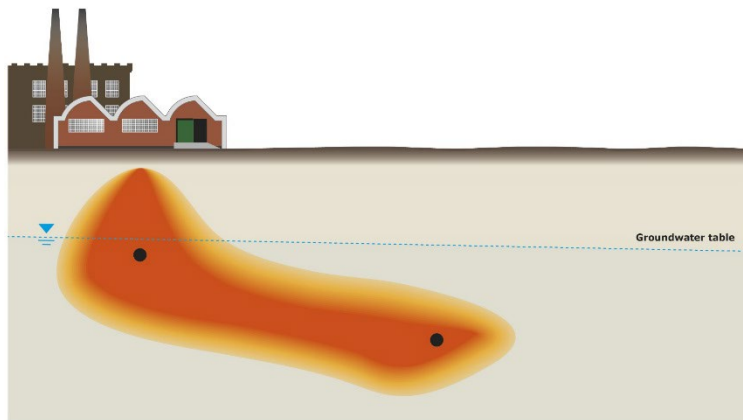
# Risikovurdering i praksis.

- Et grundvandskvalitetskrav (Miljøstyrelsen, 1998)
  - Entydigt, operationelt, velkendt, ophængt i vejledningen
- Koncentrationen af forurenende stoffer i kilden,  $C$ 
  - Andre effekter, giver oprensning mening/diffuse kilder
- Den samlede mængde/masse,  $M$  af forurenende stoffer
  - Giver oprensning mening, er der noget komme efter
- **Forureningsflux,  $J$** 
  - **Kobler koncentration med mobilitet**
  - **Et robust mål for risiko i forhold til grundvand**
  - **Let at kommunikere - masse pr tid – kg/år**
  - **Kan bruges i flere andre sammenhænge**
    - **Varighed af udsivningen,  $C(t) = M(t)/J(t)$**
    - **Prioritering mellem forureningskilder på oplandsskala**

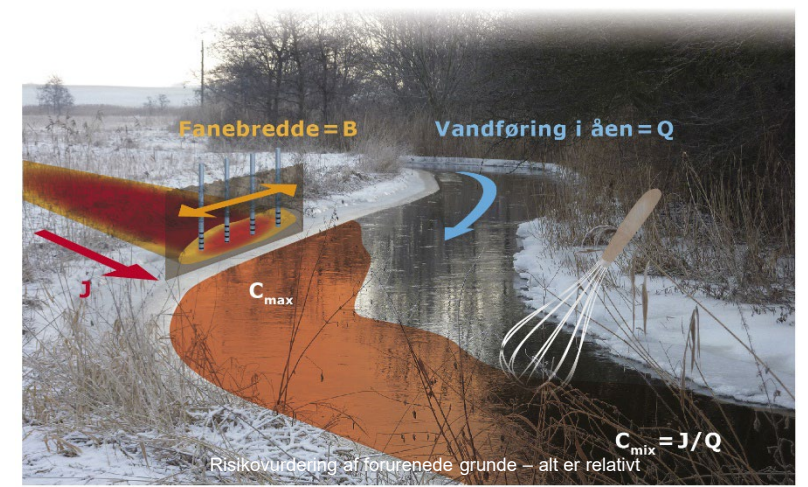
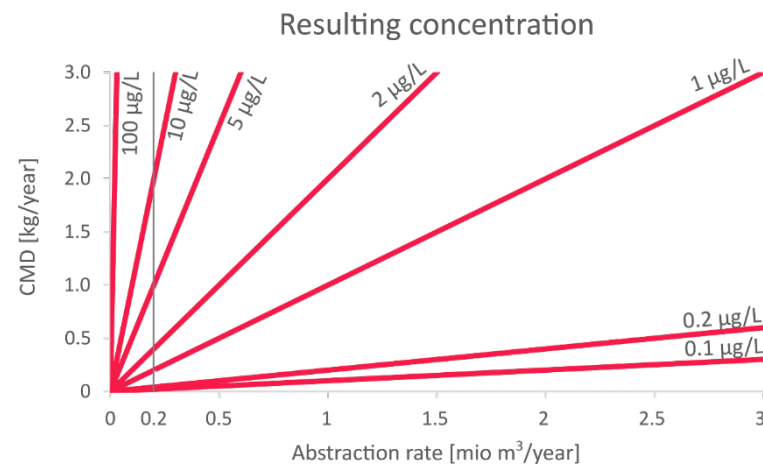
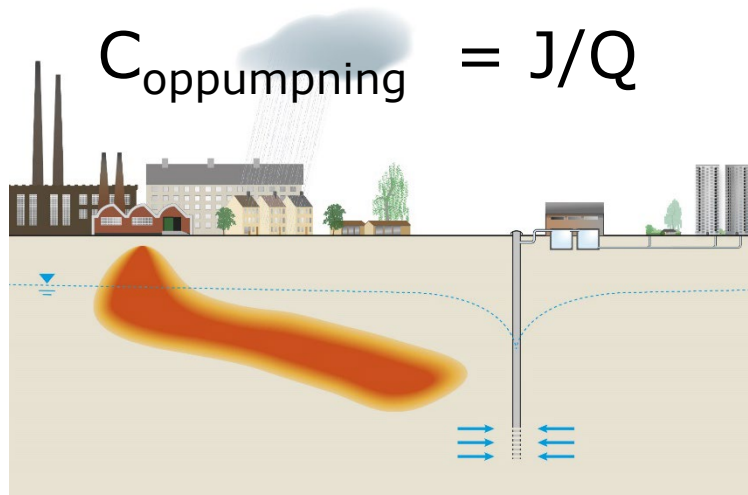
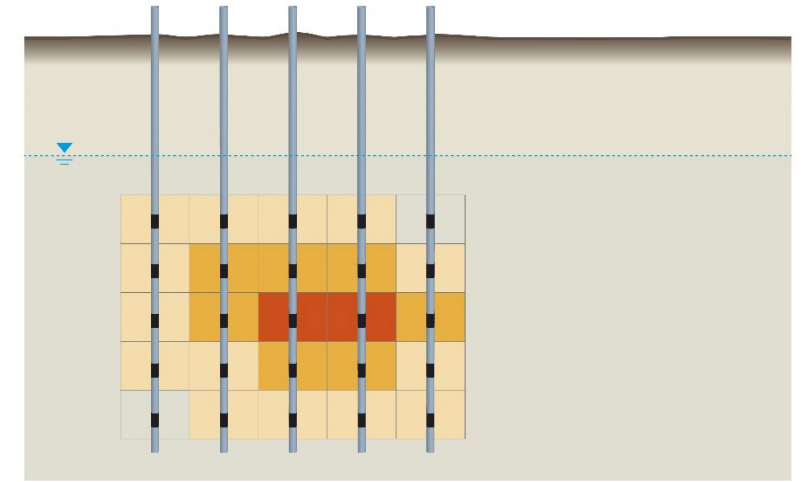
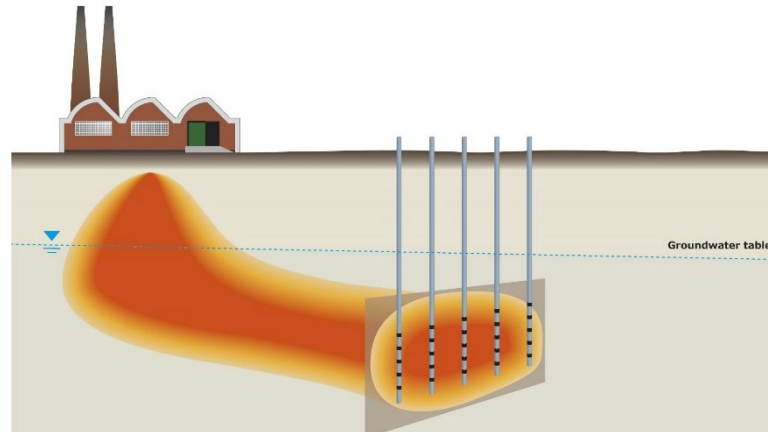
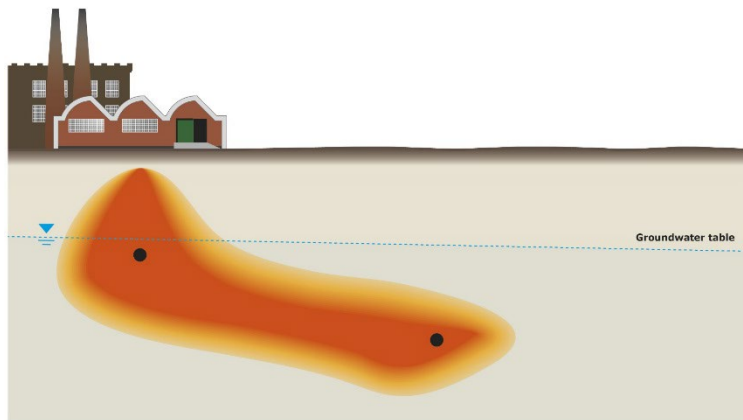


**Koncentrationer og forureningsflux er ikke modsætninger – men tæt forbundne**

# Fluxvurderinger er baseret på koncentrationer

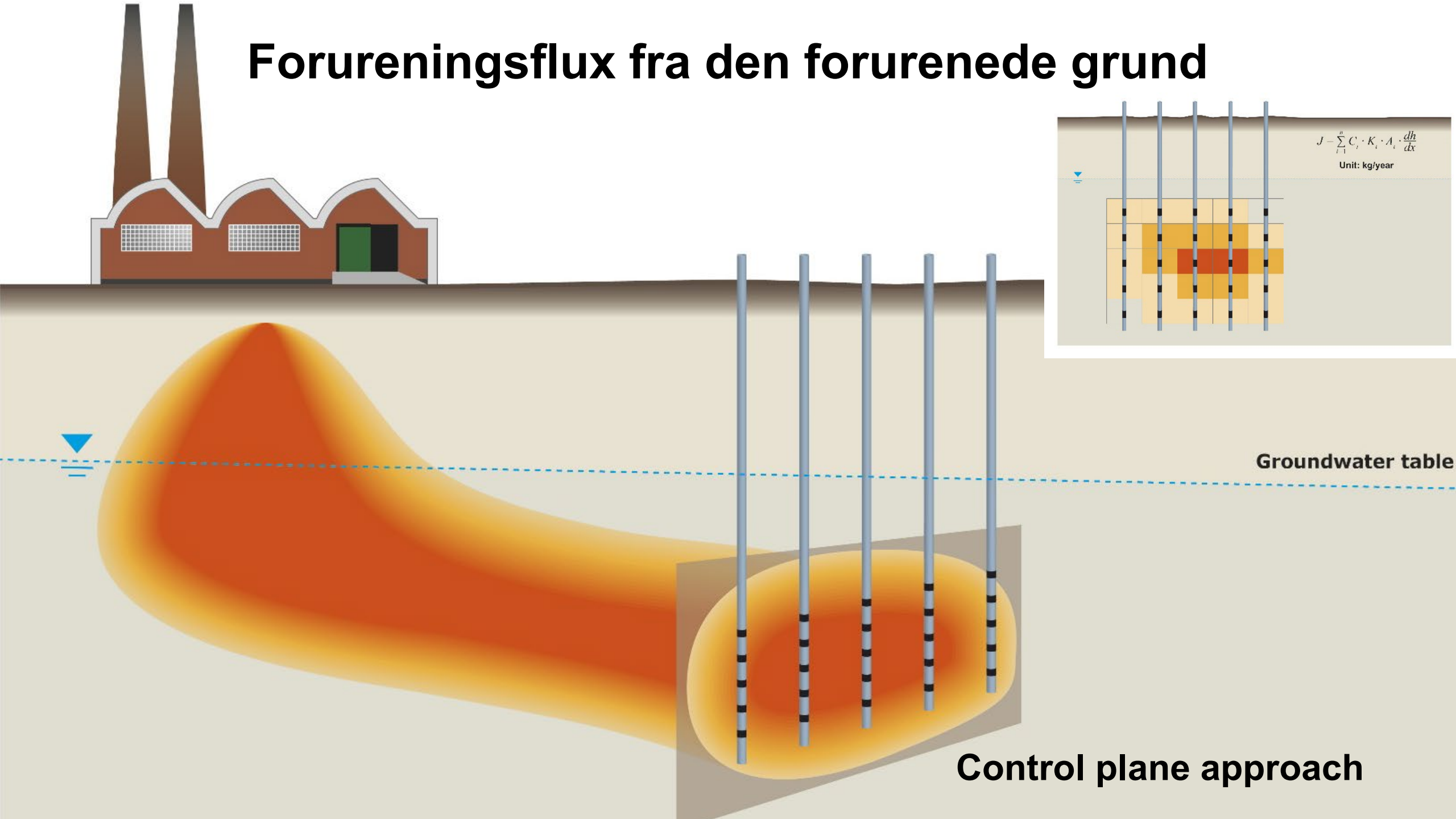


# Fluxvurderinger er baseret på koncentrationer



Risikovurdering af forurenede grunde – alt er relativt  $C_{mix} = J/Q$

# Forureningsflux fra den forurenede grund



# Forureningsflux (J) – Contaminant mass discharge Transekt metoden

$$J = \sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i \cdot q_i$$

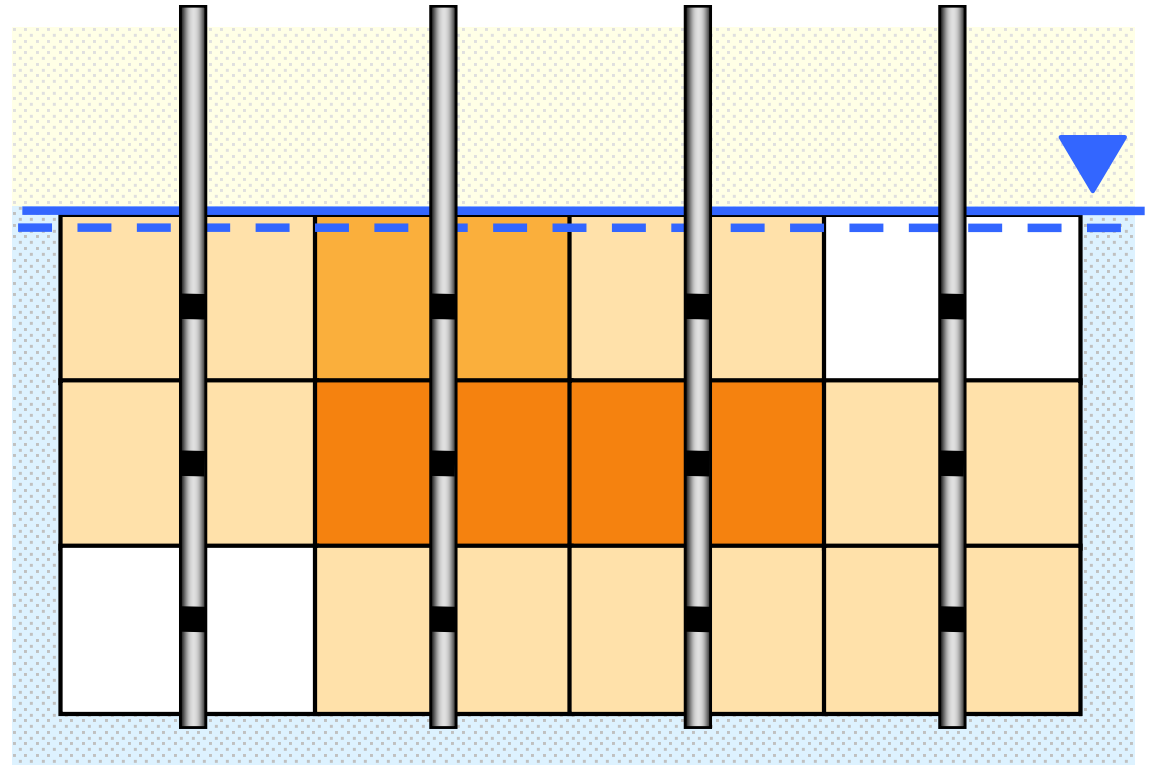
**Enhed: masse/tid**  
**fx kg/år eller g/år**

C: forureningskoncentration

A: areal

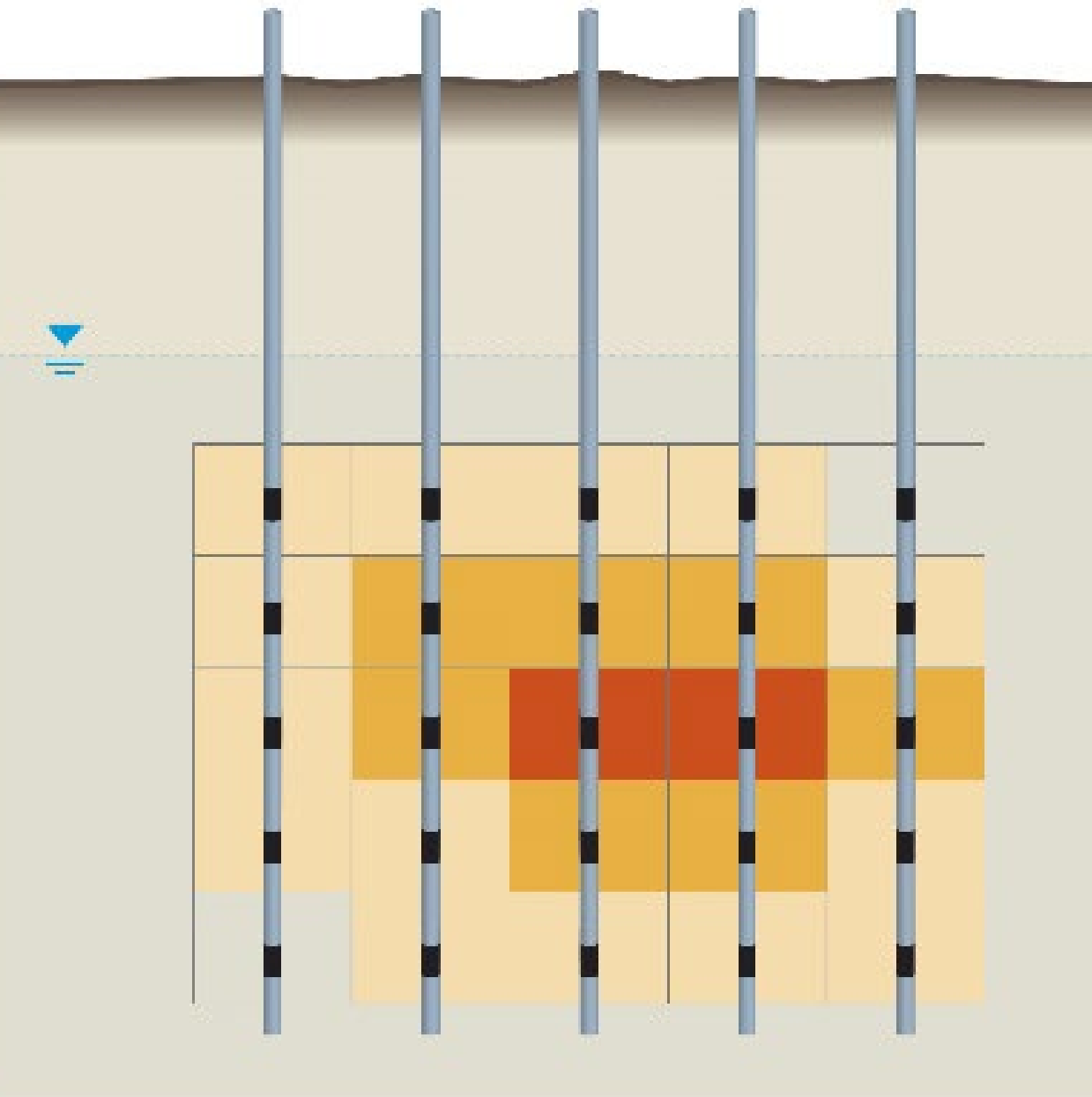
q: Darcy flux

i: index som beskriver the  $i^{\text{te}}$  delareal





# Udfordringer i bestemmelse af forureningsflux?



## Forureningsflux, J

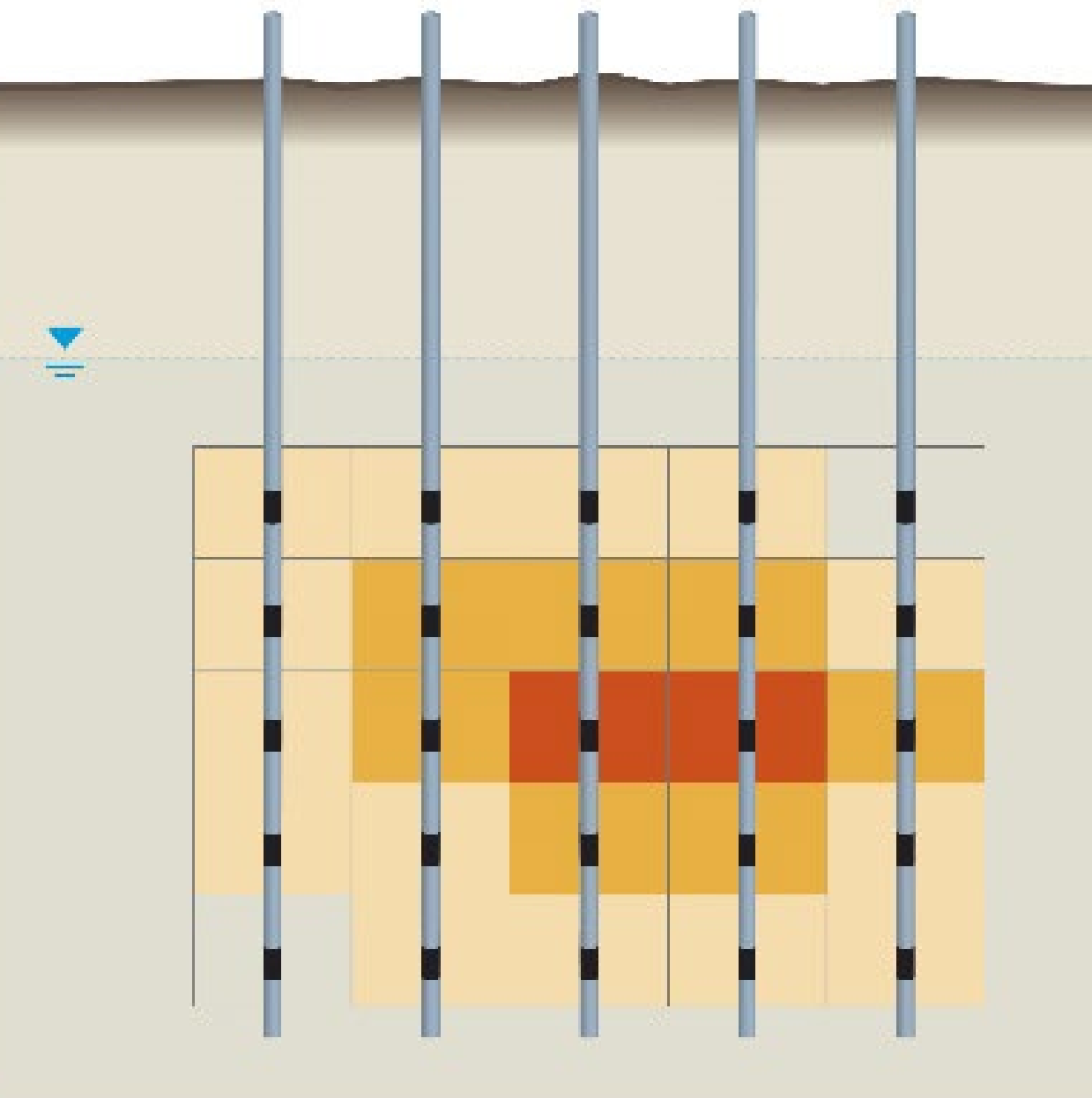
$$J = \text{Flow} * \text{Koncentration} * \text{Areal}$$

$$J = \mathbf{K} * \mathbf{I} * \mathbf{Koncentration} * \text{Areal}$$

K = Hydraulisk ledningsevne

I = Hydraulisk gradient

# Udfordringer i bestemmelse af forureningsflux?



Contaminant mass discharge

## Forureningsflux, J

$$J = \text{Flow} * \text{Koncentration} * \text{Areal}$$

$$J = \mathbf{K} * \mathbf{I} * \mathbf{Koncentration} * \text{Areal}$$

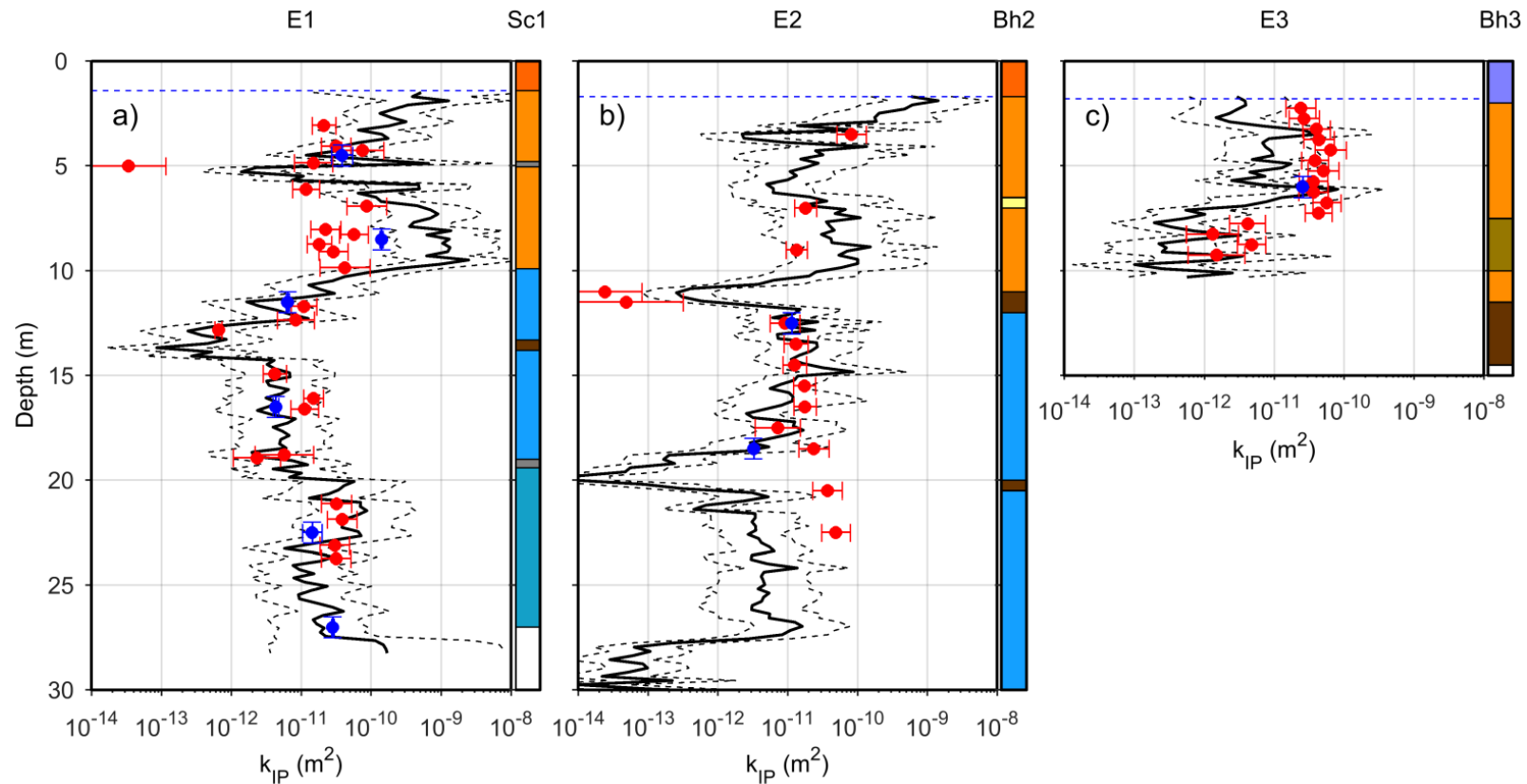
K = Hydraulisk ledningsevne

I = Hydraulisk gradient

Contaminant mass flux

Flow \* Concentration (g/year/area)

# Rumlig variation i hydraulisk ledningsevne, K er et faktum



- Heterogenitet, usikkerhed og skala er nøglespørgsmål
- Variationer i hydraulisk ledningsevne på to størrelsesordener er almindeligt i en mildt heterogen akvifer
- Hvordan bestemmer vi hydraulisk ledningsevne, K?
- Hvordan håndteres variationer i K

# Hydraulisk ledningsevne

- Traditionelle metoder
  - Pumpetest
  - Slug test
  - Kornstørrelsesfordeling
  - Litteraturværdier
- ”Nye” – indirekte metoder
  - Geofysik – resistivitet/induced polarization, DCIP
    - Aarhus Universitet/Lund Universitet
      - Instrumentering
      - Metoder og målinger
      - Invertering og fortolkning
  - Geoprobe – flow og tryk
    - NIRAS, FUGRO

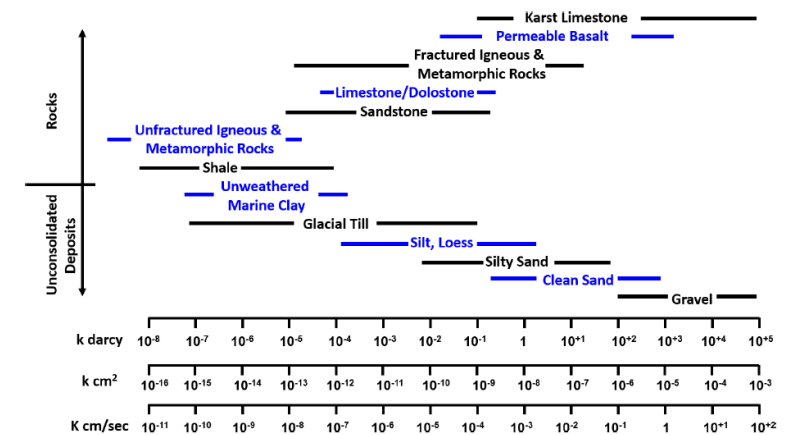
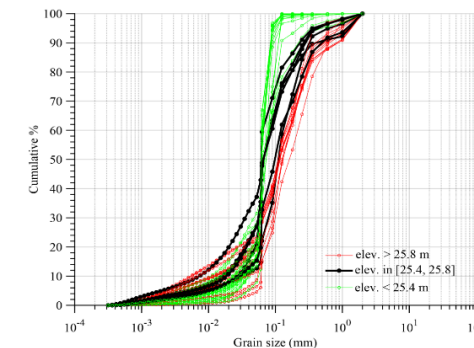
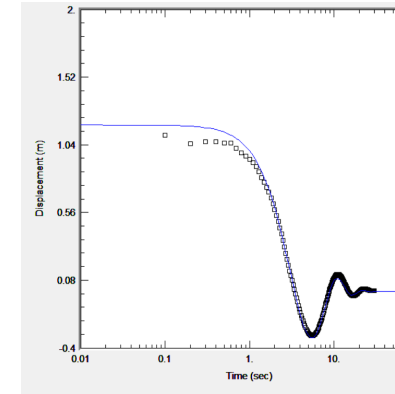
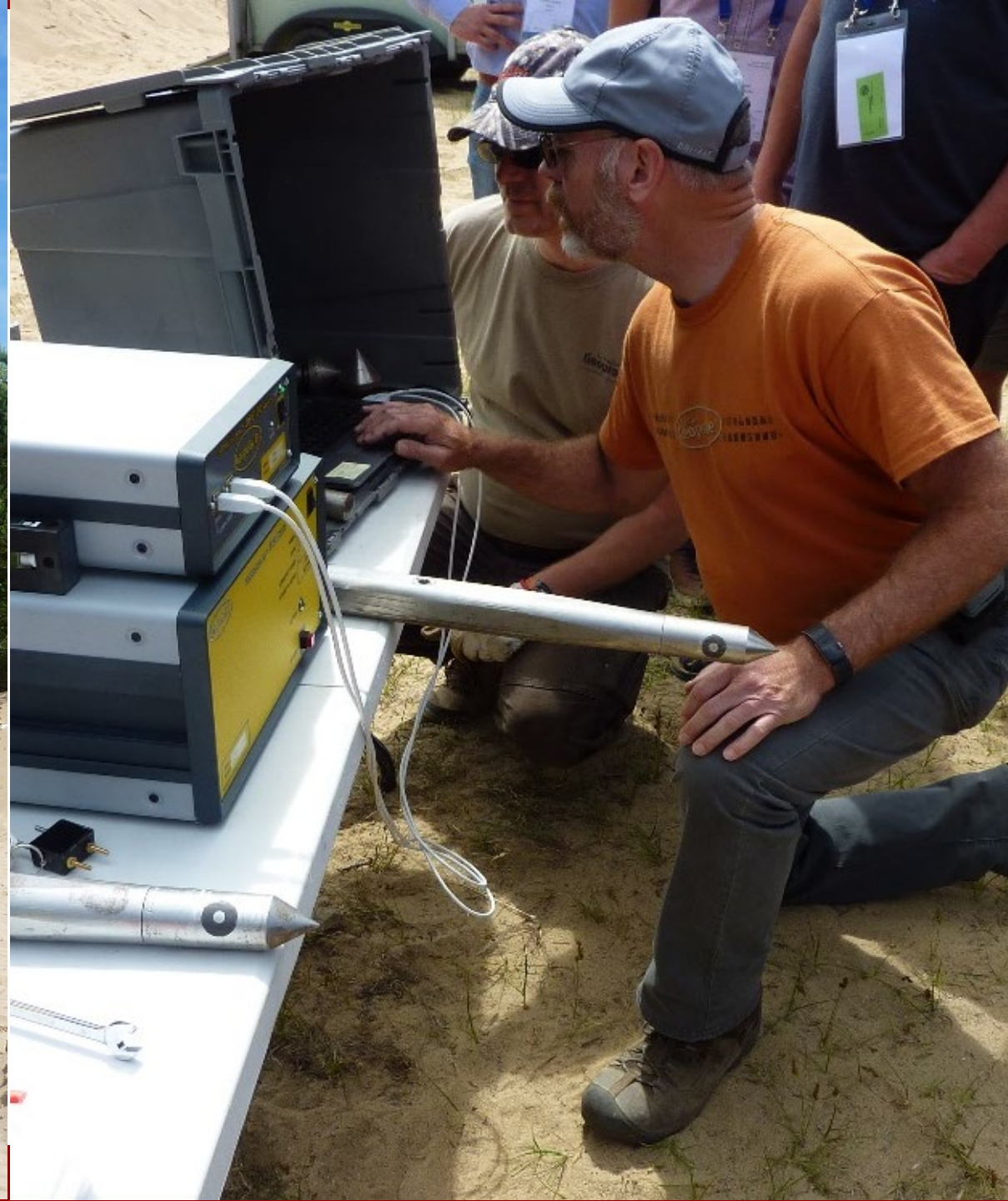


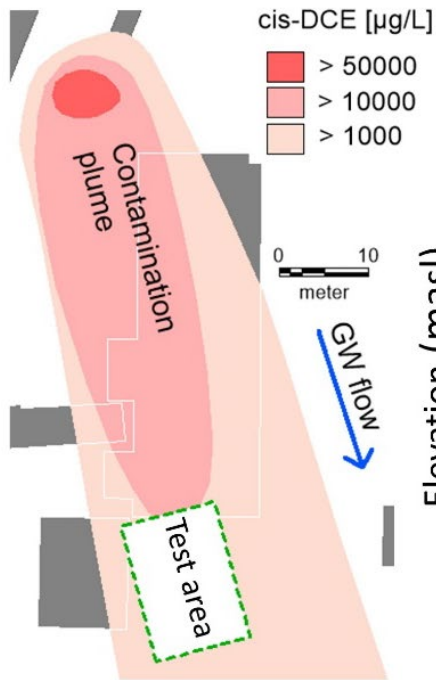
Figure 32 - Ranges of intrinsic permeability,  $k$ , and hydraulic conductivity,  $K$ , values. The alternating colors are used to make the chart easier to read. For conversion purposes,  $1 \text{ cm/s} = 1.02 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$  and  $1.04 \times 10^3 \text{ darcy}$  (after Freeze and Cherry, 1979).



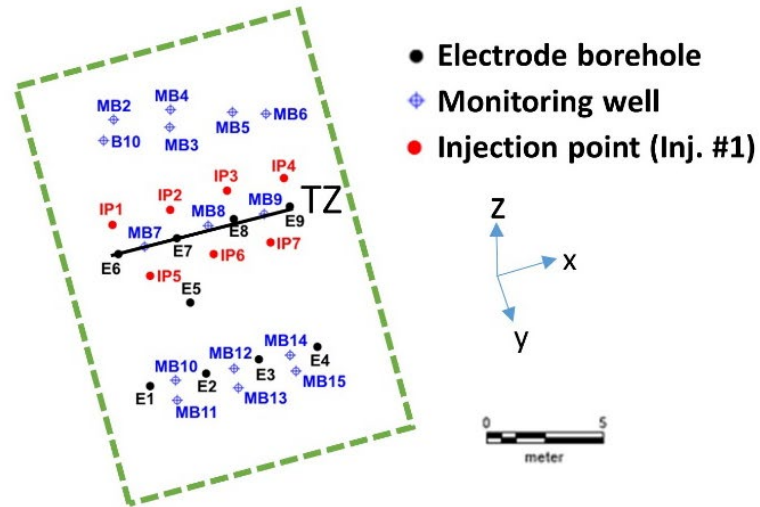
a) Location of site



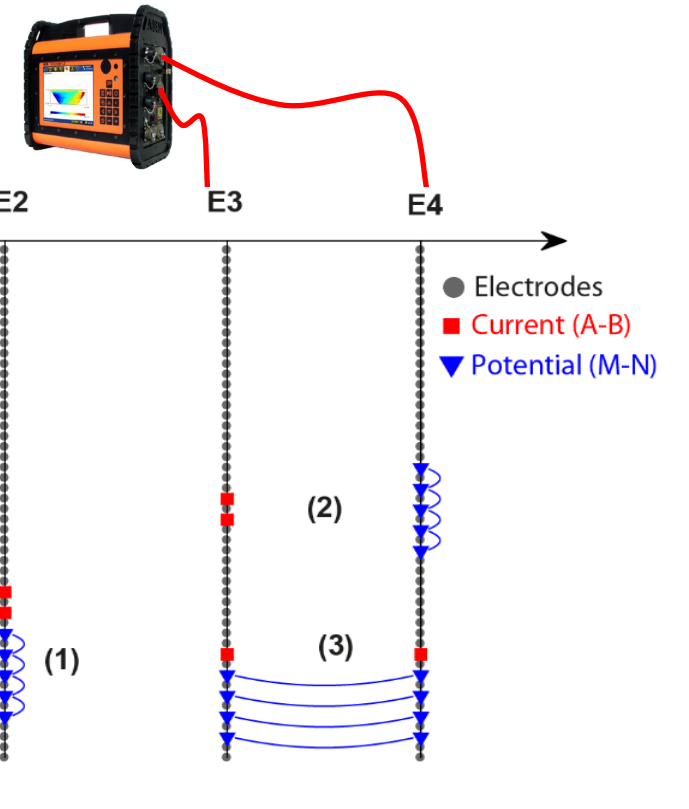
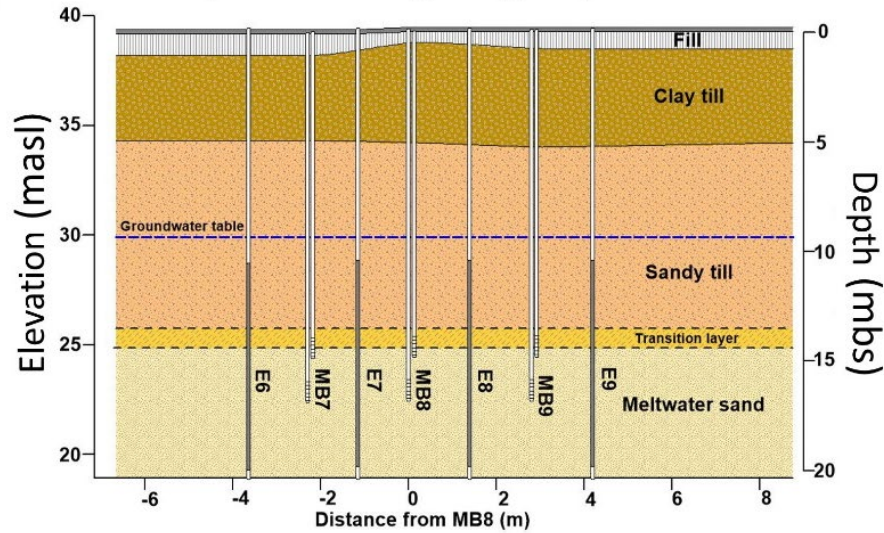
b) Site overview



c) Test area



d) TZ transect geological profile



# Sammenligning af K-værdier

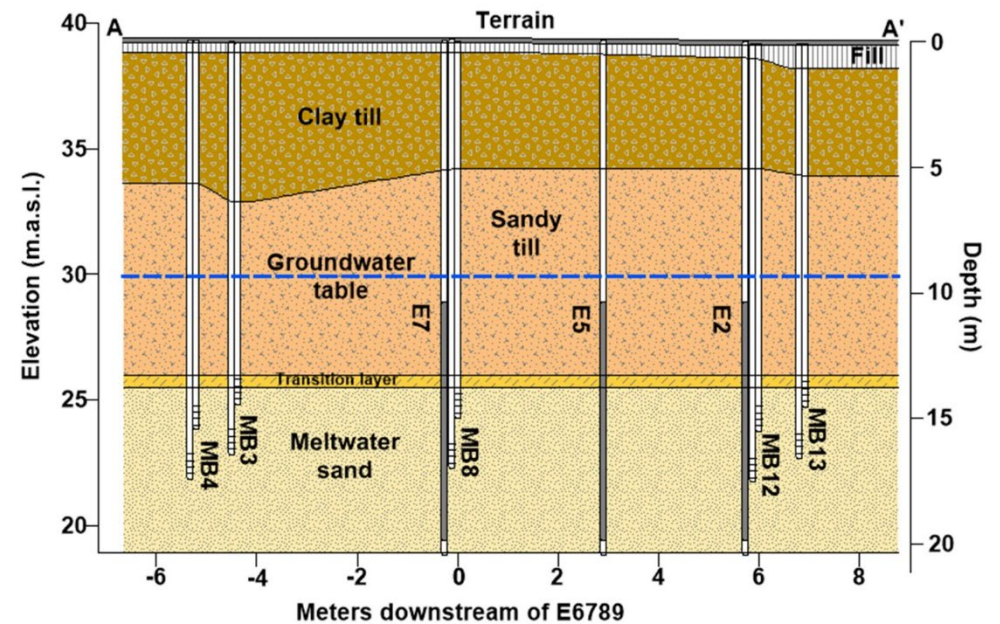
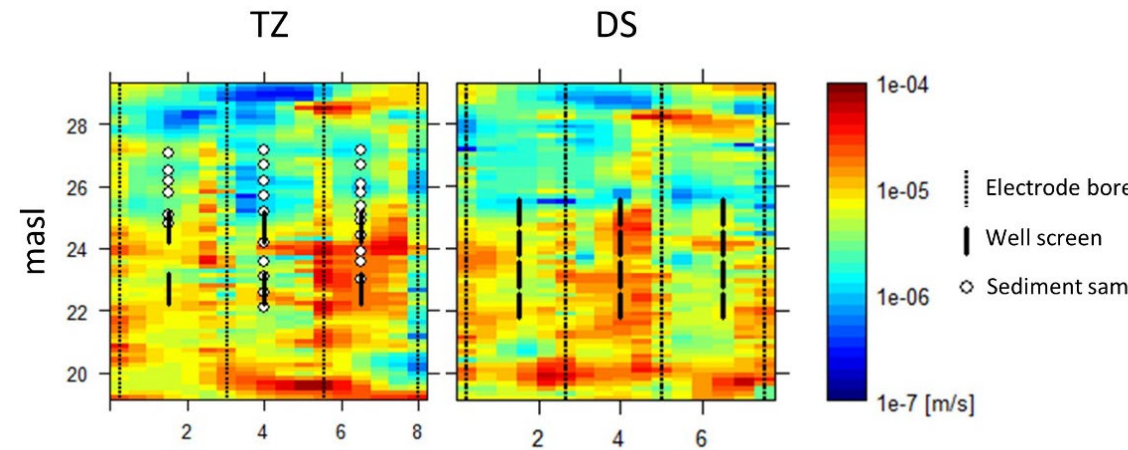
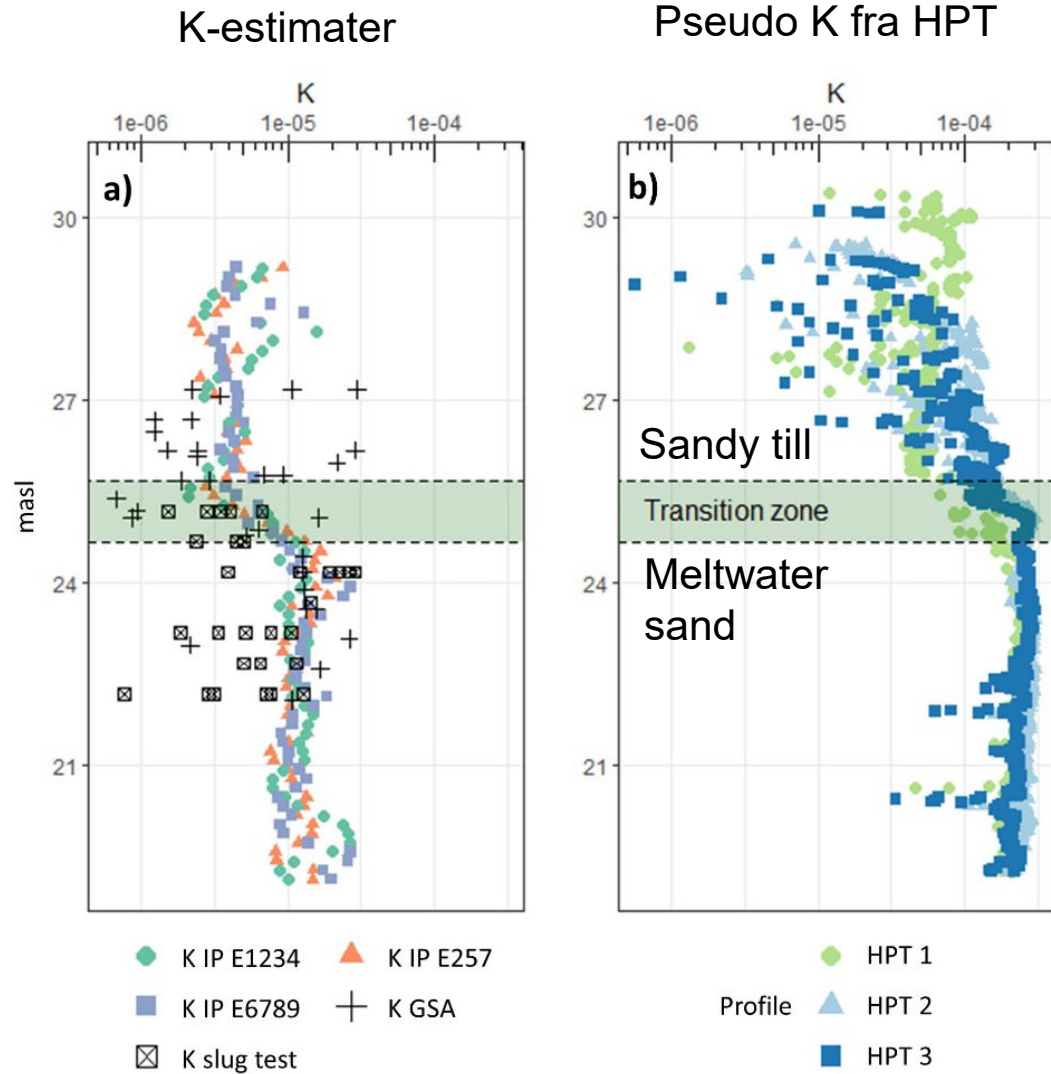
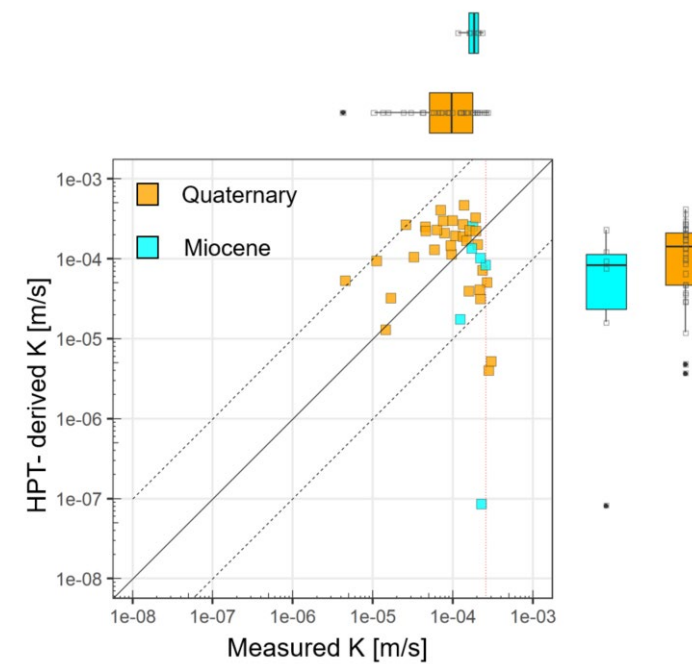
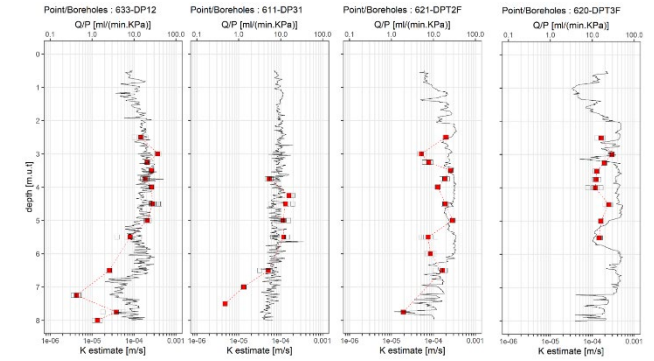
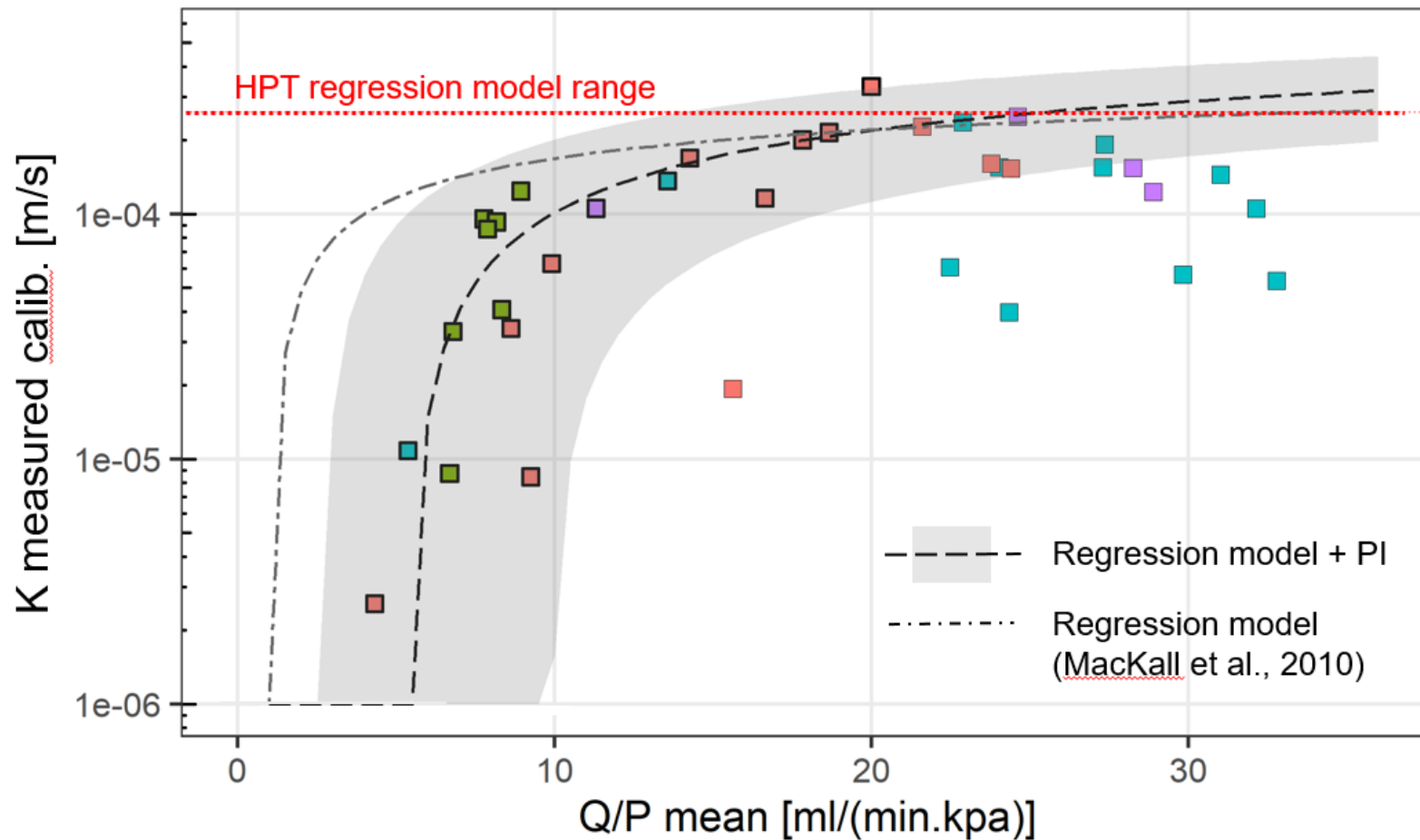




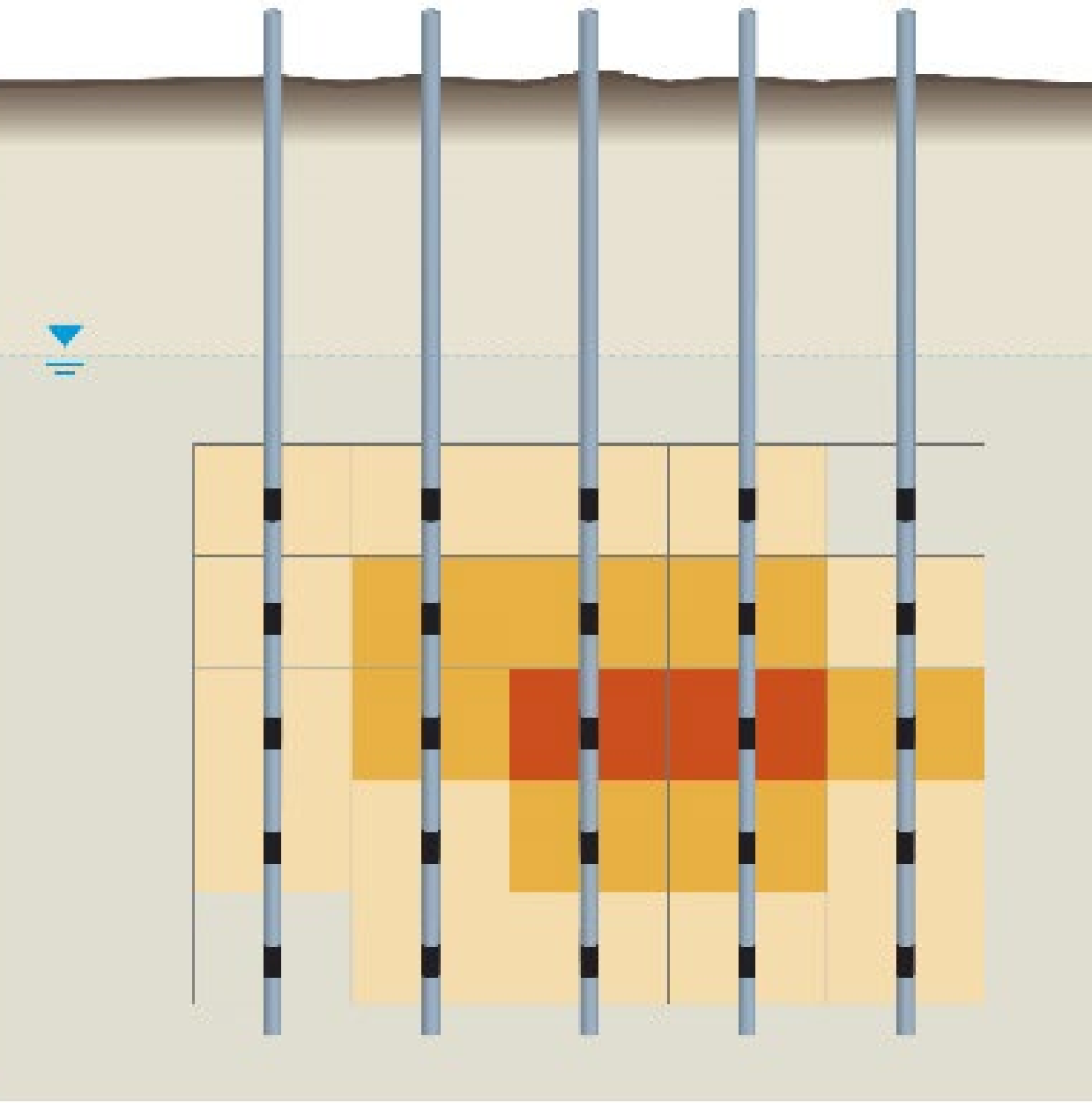
Foto: Tak til Rambøll



# Estimering af K-værdier fra Geoprobe sonderinger



# Udfordringer i bestemmelse af forureningsflux?



## Forureningsflux, J

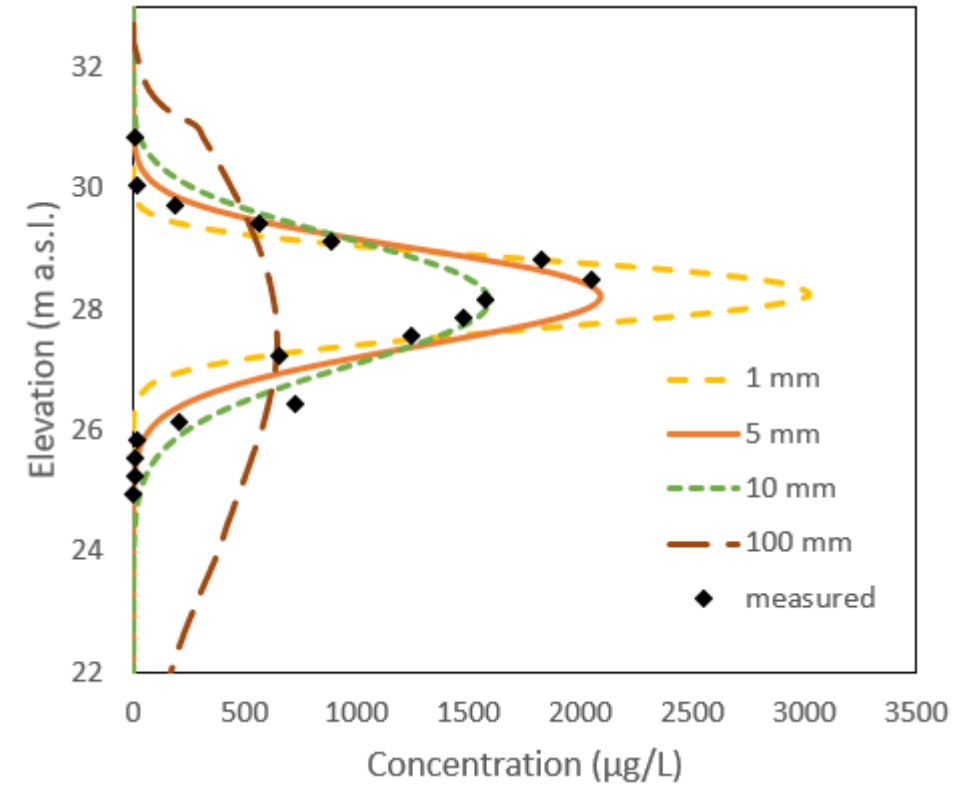
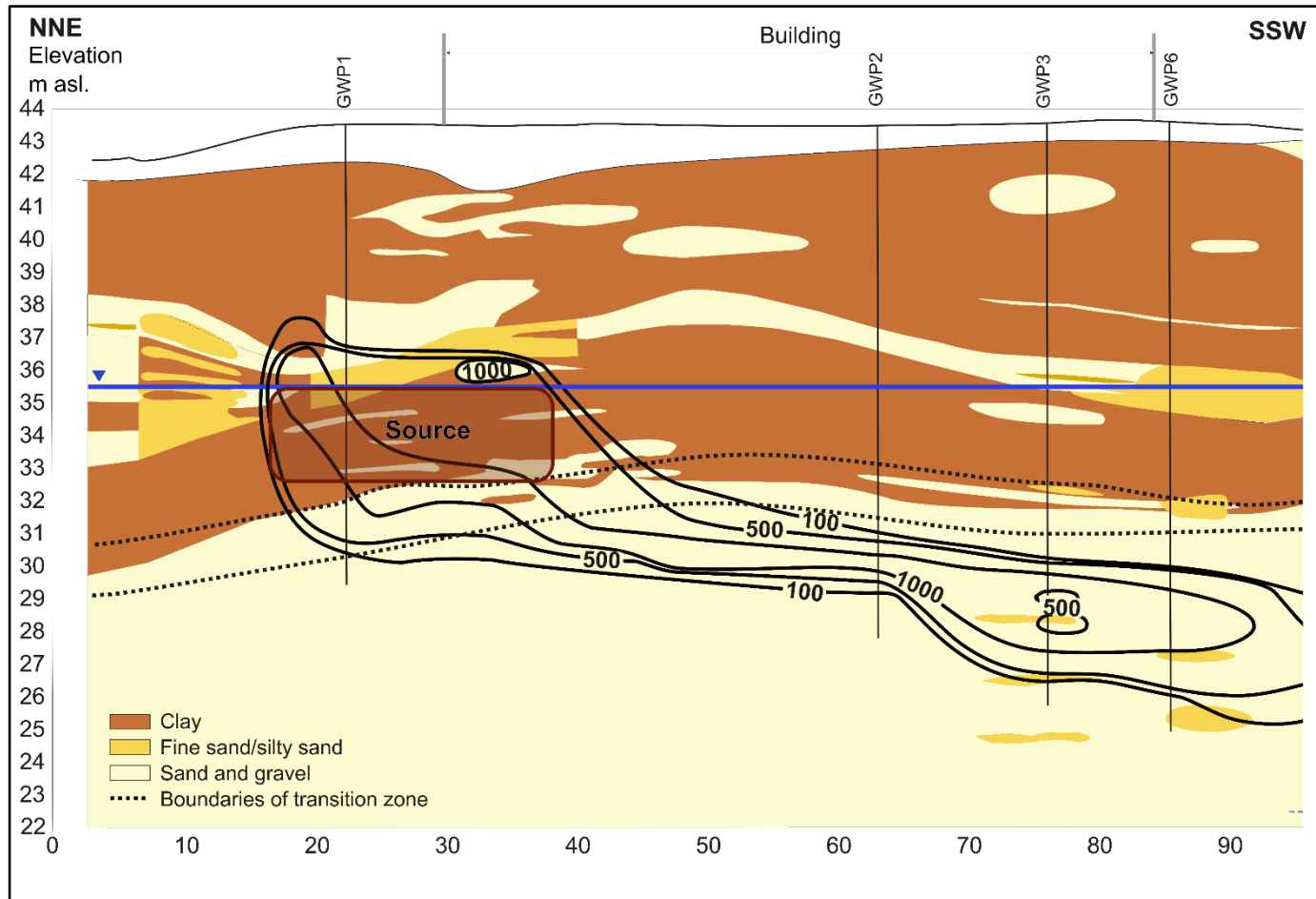
$$J = \text{Flow} * \text{Koncentration} * \text{Areal}$$

$$J = \mathbf{K} * \mathbf{I} * \mathbf{Koncentration} * \text{Areal}$$

K = Hydraulisk ledningsevne

I = Hydraulisk gradient

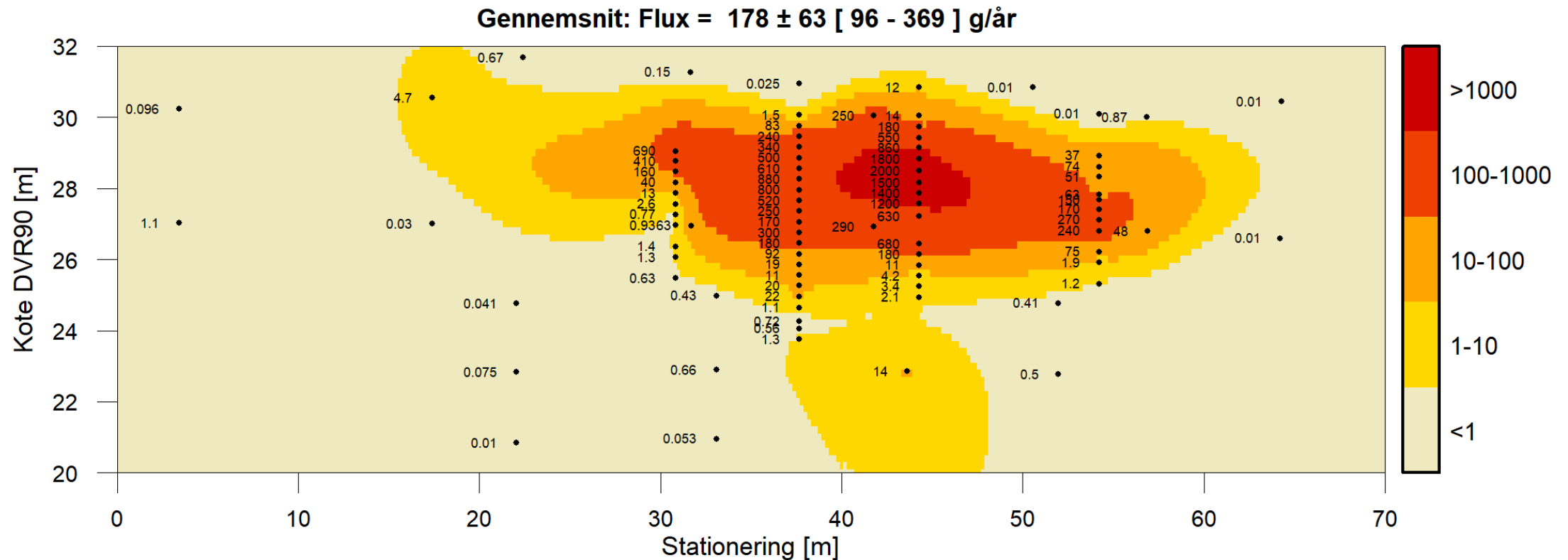
# Forureningsspredning i grundvand Langs en strømlinje – vertikal spredning



- Spredningen er lille vertikalt
- Hvor skal et 2 m langt filter placeres?
- Hvilken koncentration repræsenterer det?

# Forureningsspredning i grundvand

## Flux transekt – vinkelret på strømningens retning

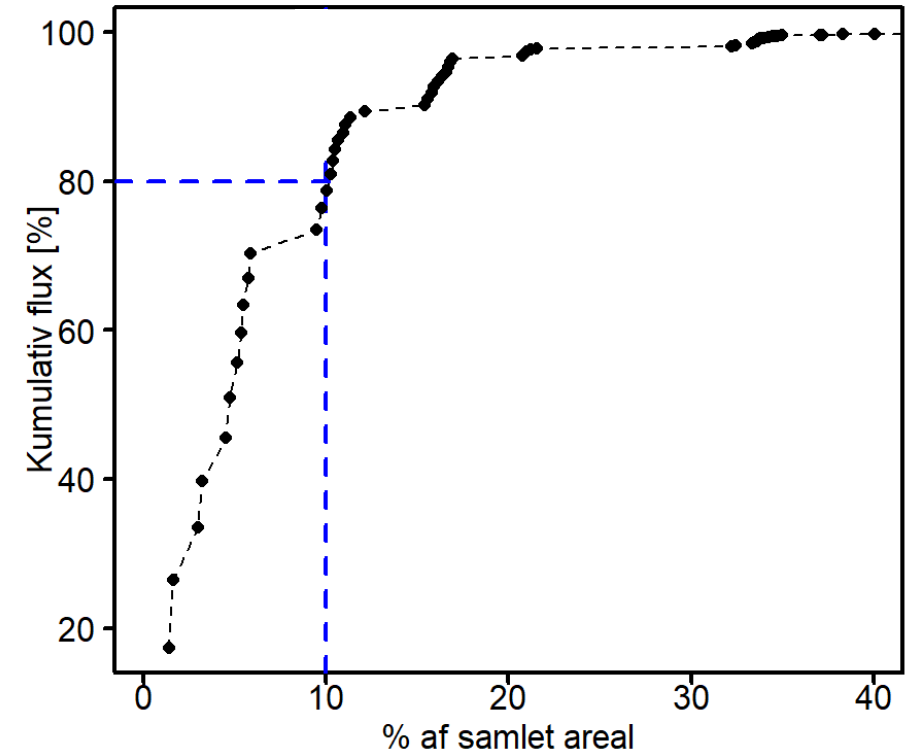
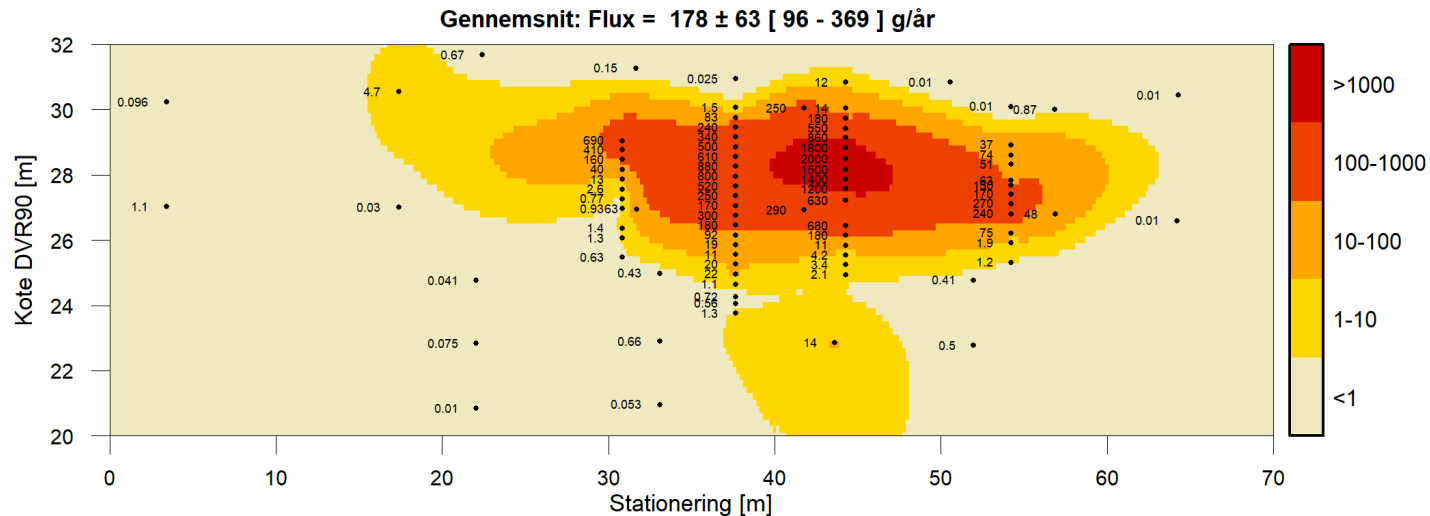


Anton Bøllingtoft, Vingsted 2024

- Stejle koncentrationsgradienter, vertikalt og horisontalt
- Hvordan skal filtre placeres for at bestemme forureningsfluxen bedst muligt?

# Bestemmelse af forureningsflux

## Fokus på centrum af fanen!



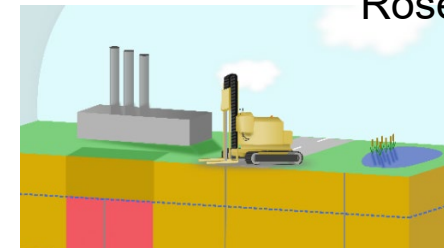
- Det er sikkert, at der er usikkerheder!
- Usikkerheden på forureningsflux
- Vi arbejder på det – altså Anton Bøllingtoft arbejder!

Anton Bøllingtoft, Vingsted 2024

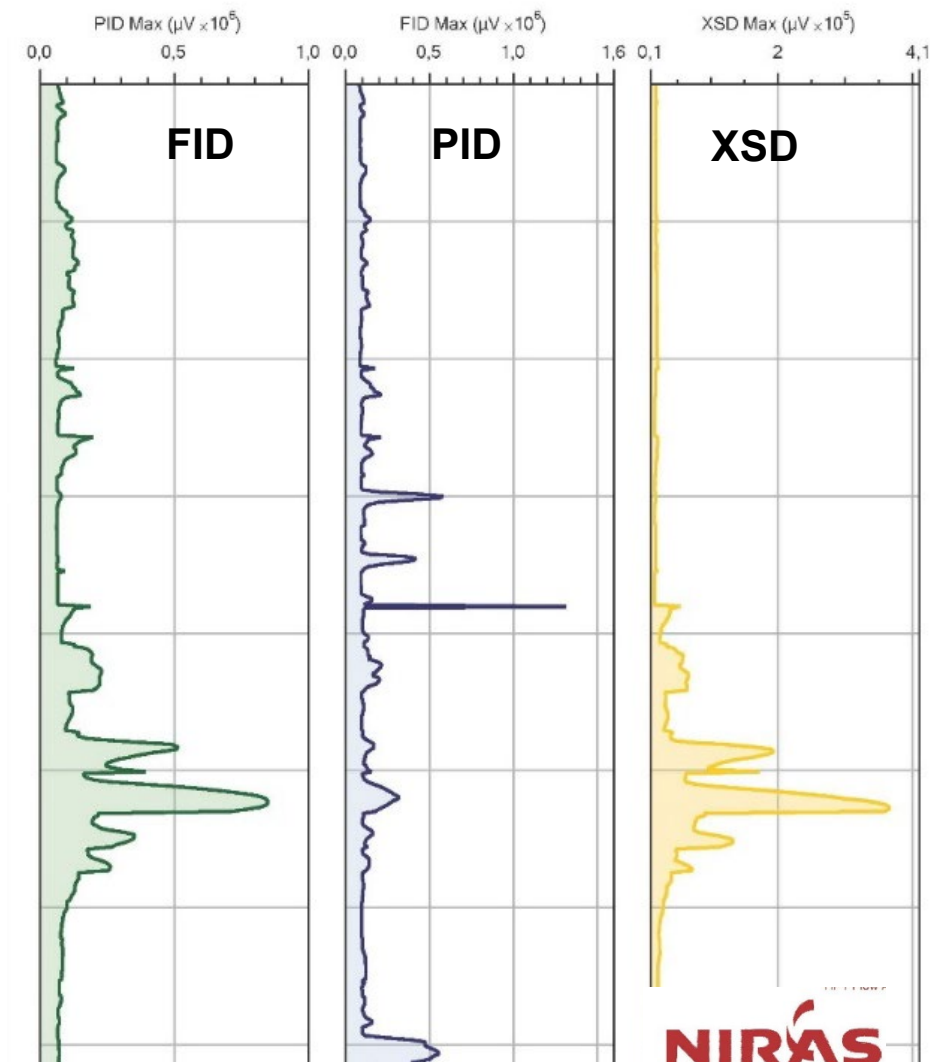
- Koncentrationer er underlagt usikkerheder
- Konzeptuel usikkerhed
- Valg af målepunkt, prøvetagning og analyser

# Forureningsspredning i grundvand

## Kan andre metoder hjælpe os?

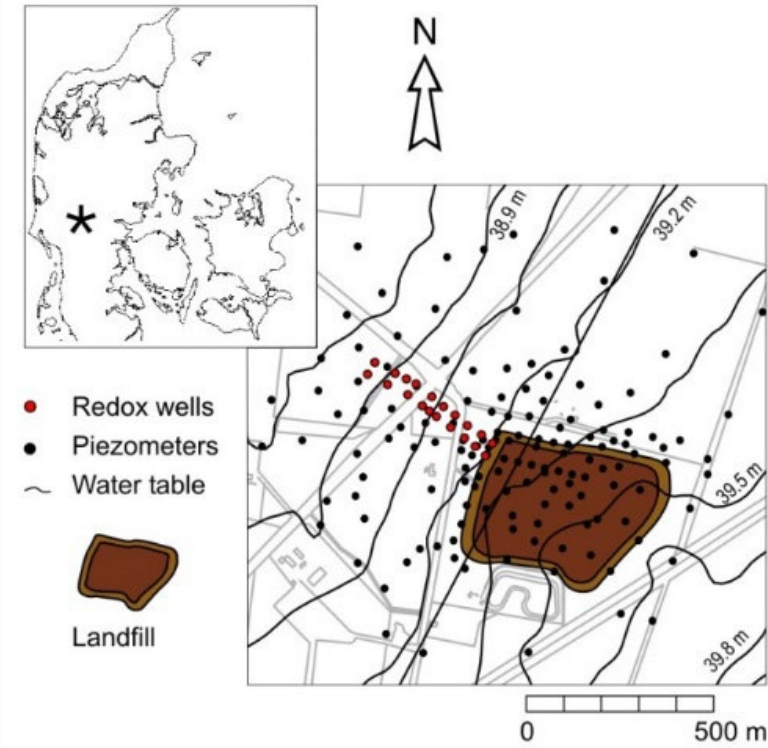


- In situ prober af forskellig slags
  - EC
  - PID/FID
  - XSD, MiHPT
- On site screening
  - Fluorescens (Broholm et al., Vingsted 2022)
- Geofysiske metoder
  - Geofysik – resistivitet/induced polarization, DCIP
  - Aarhus Universitet/Lund Universitet
    - Instrumenter
    - Metoder og målinger
    - Invertering og fortolkning





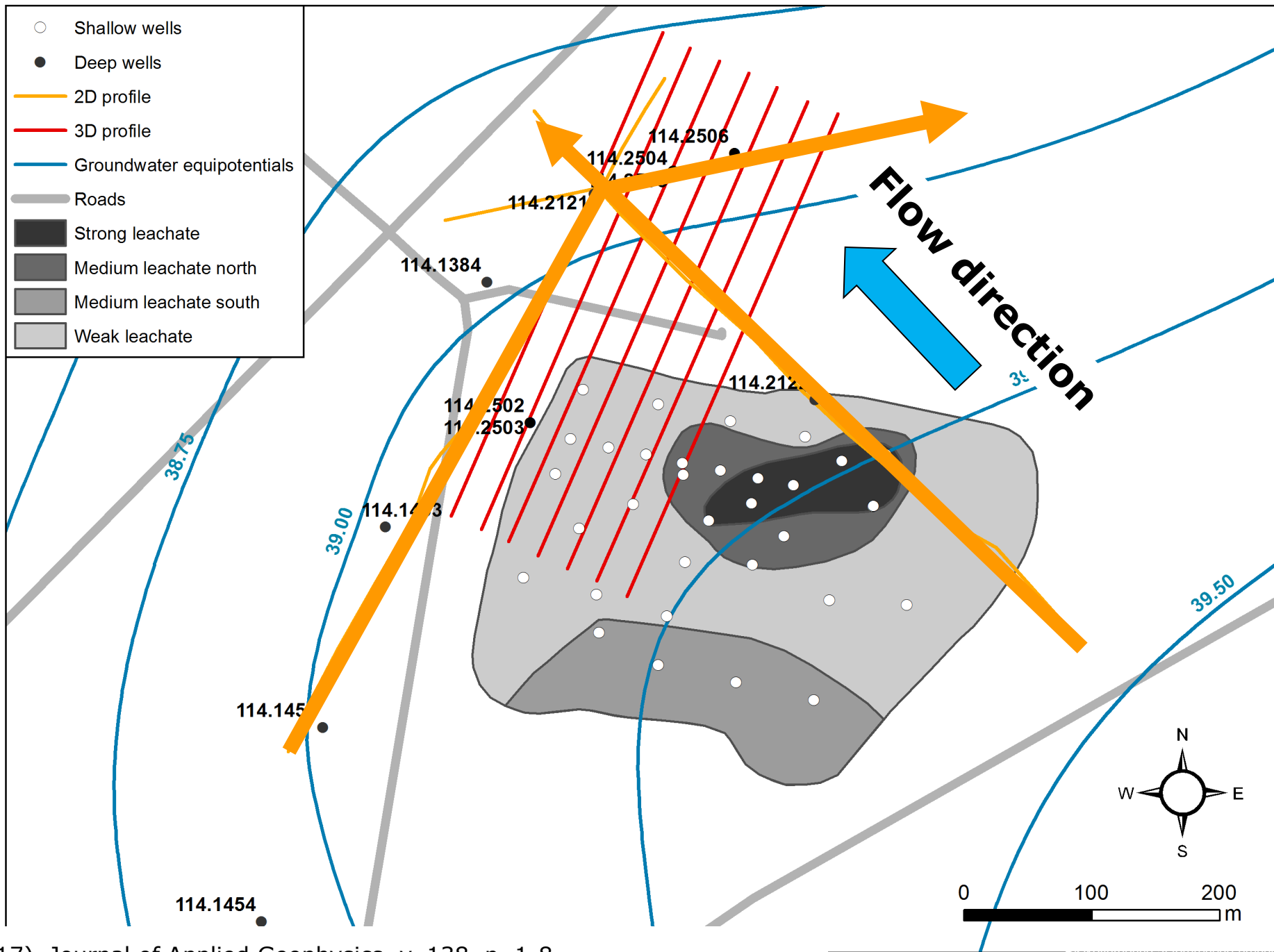
# Grindsted Losseplads



**Uorganiske stoffer**  
**Opløst organisk stof**  
**Barbiturater og sulfonamider**

Bjerg 1992





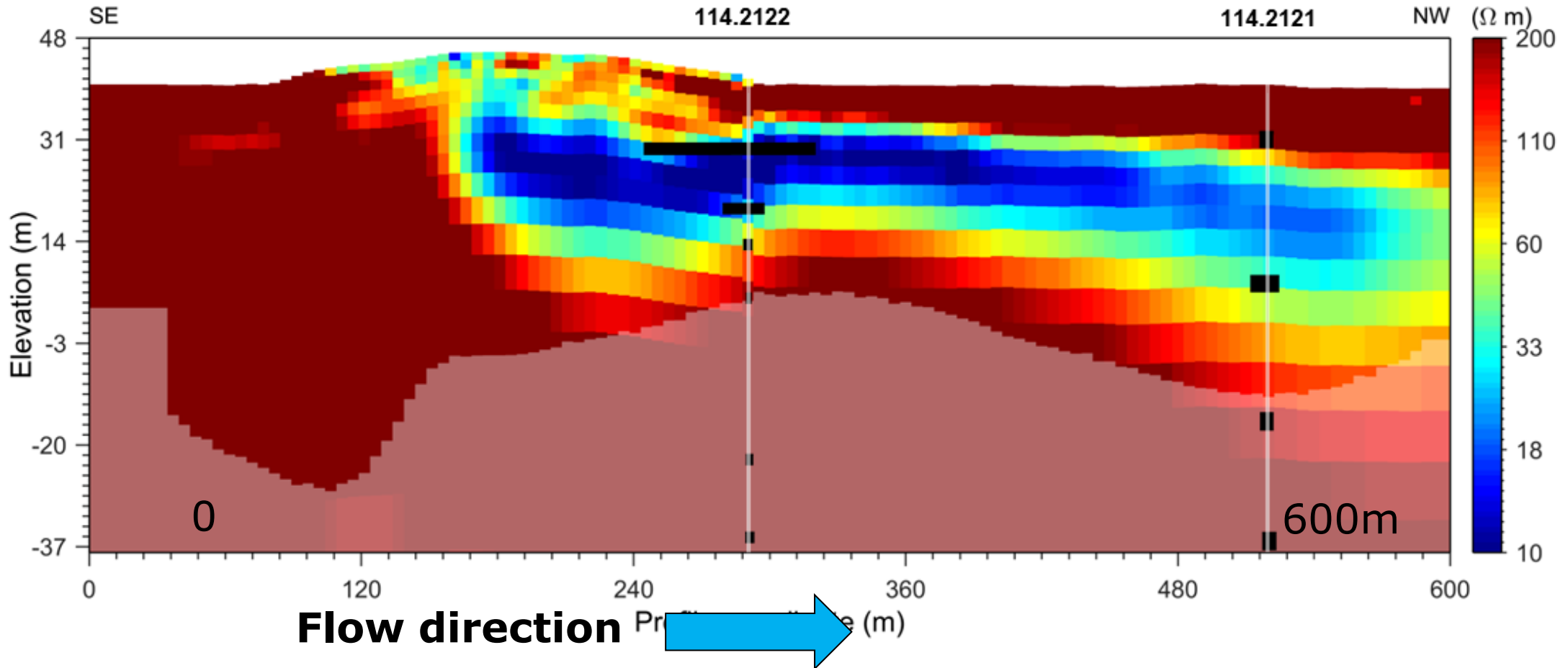
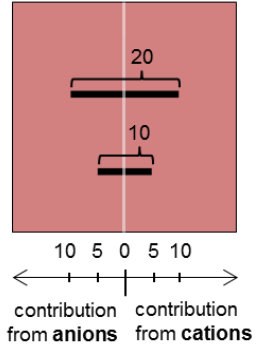


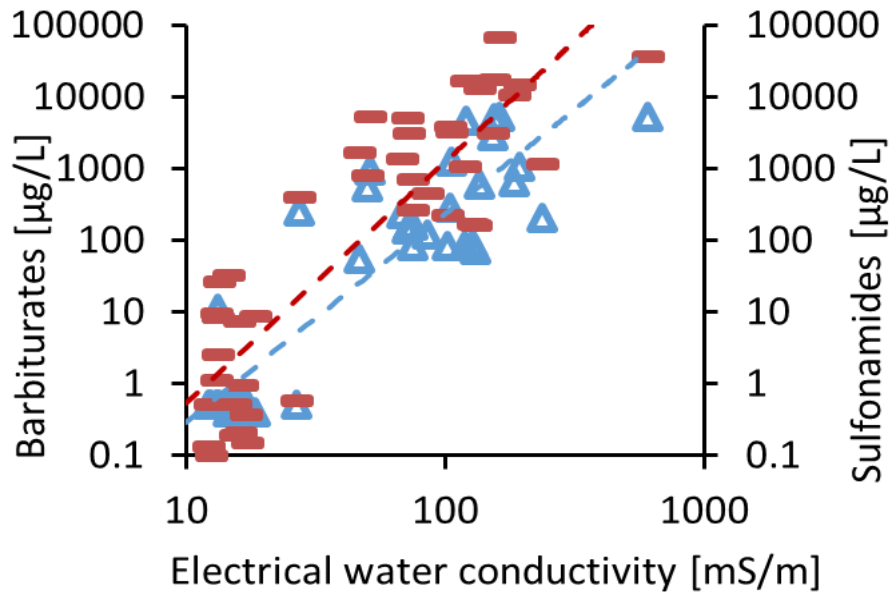
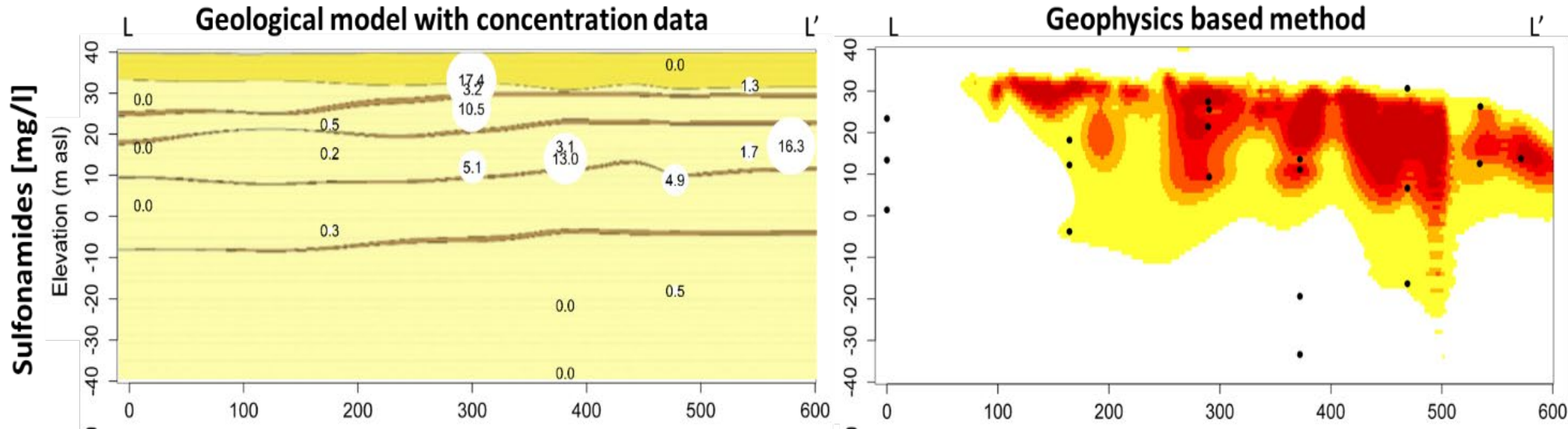
Direct current  
Induced  
polarization,  
**DCIP**

# Lossepladsfanen Langs strømlinjen

## Resistivitet - ionstyrke

Ionic strength (meq/L)



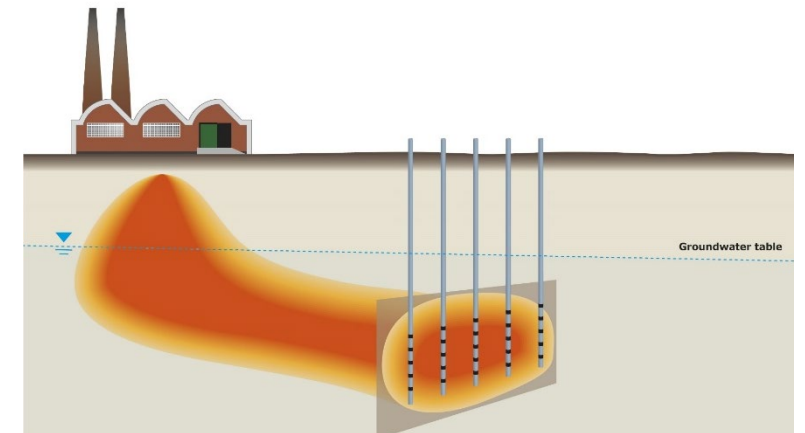
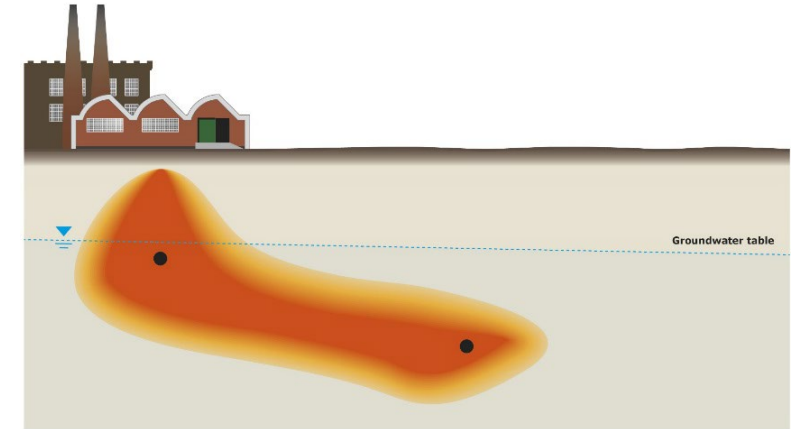


**Sulfonamides:  $R^2 = 0.82$  Barbiturates:  $R^2 = 0.77$**

Contaminant mass discharge kg/year	Contaminant concentration based method	Geophysics based method
Sulfonamides	750	1,848
Barbiturates	88	112

# Risikovurdering i praksis.

- Et grundvandskvalitetskrav (Miljøstyrelsen, 1998)
  - Entydigt, operationelt, velkendt, ophængt i vejledningen
- Koncentrationen af forurenende stoffer i kilden, C
  - Andre effekter, giver oprensning mening/diffuse kilder
- Den samlede mængde/masse, M af forurenende stoffer
  - Giver oprensning mening, er der noget komme efter
  
- Forureningsflux, J
  - Kobler koncentration med mobilitet
  - Et robust mål for risiko i forhold til grundvand
  - Let at kommunikere - masse pr tid – kg/år
  - Kan bruges i flere andre sammenhænge
    - Varighed af udsivningen,  $C(t) = M(t)/J(t)$
    - Prioritering mellem forureningskilder på oplandsskala

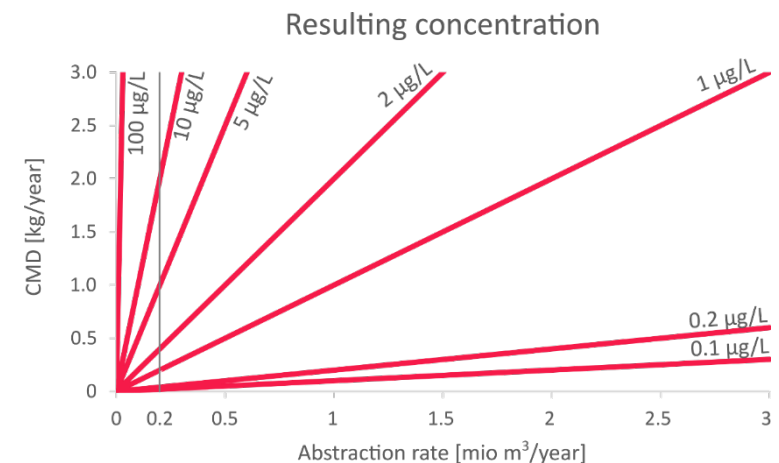


**Koncentrationer og forureningsflux er ikke modsætninger – men tæt forbundne**

# Grænseværdier - nye eller forskellige spilleregler

- Pesticider – grænseværdi 0,1 µg/L - detektionsgrænsen i 1980
  - Nye og bedre analysemetoder – bedre detektionsgrænser - non target analyser
- Grænseværdier i grundvand og drikkevand – toxicitet er styrende
  - Arsen *Grænseværdi er sænket*
  - PFAS/PFOA *Grænseværdi er sænket*

- Toxicitetsstyrede grænseværdier eller?
- Hvad med diffuse bidrag?
- Kan grænseværdier være for lave?



# Hazard/Fare



Risiko er sandsynligheden for, at en fare forårsager en skade  
Risiko = Fare \* Sandsynlighed



# Hvad er den opfattede risiko?

## Perceived risk

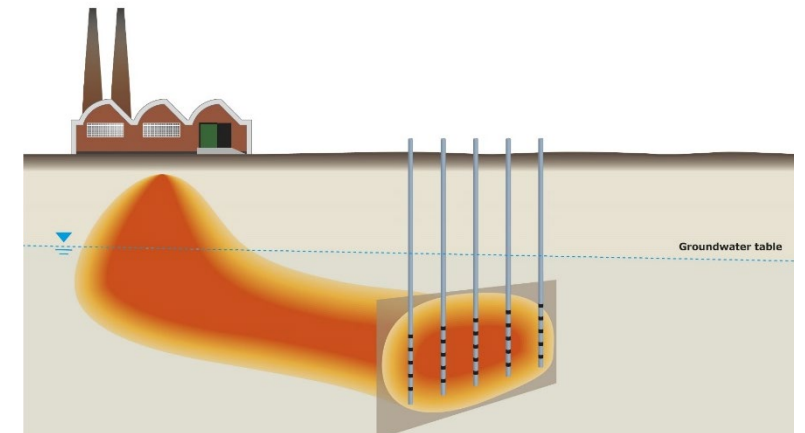
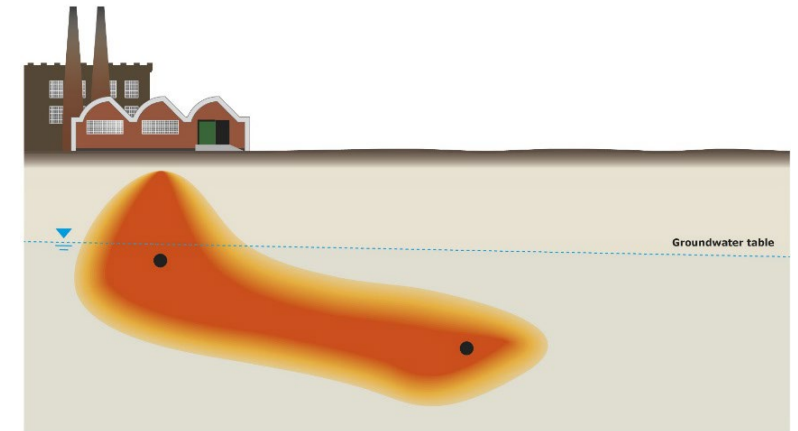
- Ikke det samme som den "videnskabelige" risiko
- "Vores" risikobillede er måske ikke det samme for "som folk er flest"
  - Folk overvurderer faren?
  - Folk er vrede?
- Risiko = Fare \* Vrede
- Vi accepterer i højere grad en fare:
  - som vi kender
  - som er naturlig fremfor menneskeskabt
  - vi selv kontrollerer

Frit efter ATV Vingsted 2019  
Iain Stewart, professor of  
Geoscience Communication  
University of Plymouth



# Risikovurdering i praksis.

- **Et grundvandskvalitetskrav (Miljøstyrelsen, 1998)**
  - Entydigt, operationelt, velkendt, ophængt i vejledningen
- **Koncentrationen af forurenende stoffer i kilden, C**
  - Andre effekter, giver oprensning mening/diffuse kilder
- **Den samlede mængde/masse, M af forurenende stoffer**
  - Giver oprensning mening, er der noget komme efter
- **Forureningsflux, J**
  - Kobler koncentration med mobilitet
  - Et robust mål for risiko i forhold til grundvand
  - Let at kommunikere - masse pr tid – kg/år
  - Kan bruges i flere andre sammenhænge
    - Varighed af udsivningen,  $C(t) = M(t)/J(t)$
    - Prioritering mellem forureningskilder på oplandsskala



**Koncentrationer og forureningsflux er ikke modsætninger – men tæt forbundne**



# Tak til alle bidragydere - også alle ikke nævnt 😊

- Anton Bøllingtoft
- Gregory Lemaire
- Rasmus Thalund Hansen
- Louise Rosenberg
- Majken Frederiksen
- Cecilie Ottosen
- Klaus Mosthaf
- Annika Fjordbøge
- Mette M. Broholm
- Josefine Hansen
- Helene Draborg
- Laila Vinther
- Vinni Rønde
- Nicola Balbarini
- Anne T. Sonne
- Ursula S. McKnight
- Mads Troldborg
- Gitte Lemming Søndergaard
- Nina Tuxen
- Henriette Kernn-Jespersen
- Anders G. Christensen
- Charlotte Riis
- Gro Lillbæk
- Britt Boye Thrane
- Dorte Harrekilde
- Kirsten Rügge
- Morten Dreyer
- Lea Levy
- Anders Vest Christiansen
- Rick Devlin
- Mike Annable
- Philip J. Binning