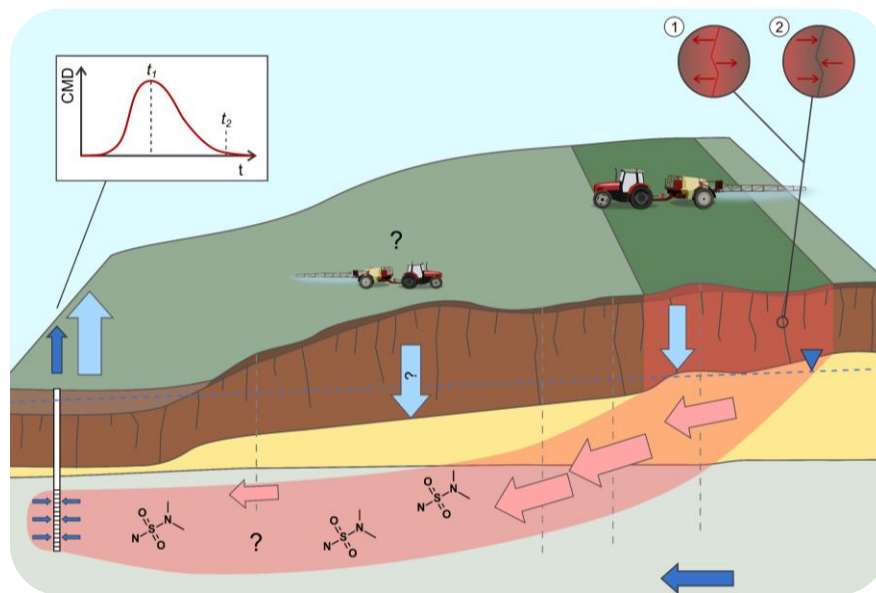


# Værktøjer til vurdering af varighed og effekt af DMS i grundvandssystemer



06-03-2024 ATV Vintermøde

Majken Frederiksen (Rambøll), Klaus Mosthaf (DTU Sustain), Anton B. Bøllingtoft (DTU Sustain), Christian N. Albers (GEUS), Mette Christophersen (Rambøll), Nina Tuxen (Region H), Peter L. Tüchsen (Novafos), Liselotte Clausen (HOFOR), Gry A.S. Janniche (ALS, tidl. NIRAS), Poul L. Bjerg (DTU Sustain)

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.



**REGION**  
The Capital Region  
of Denmark

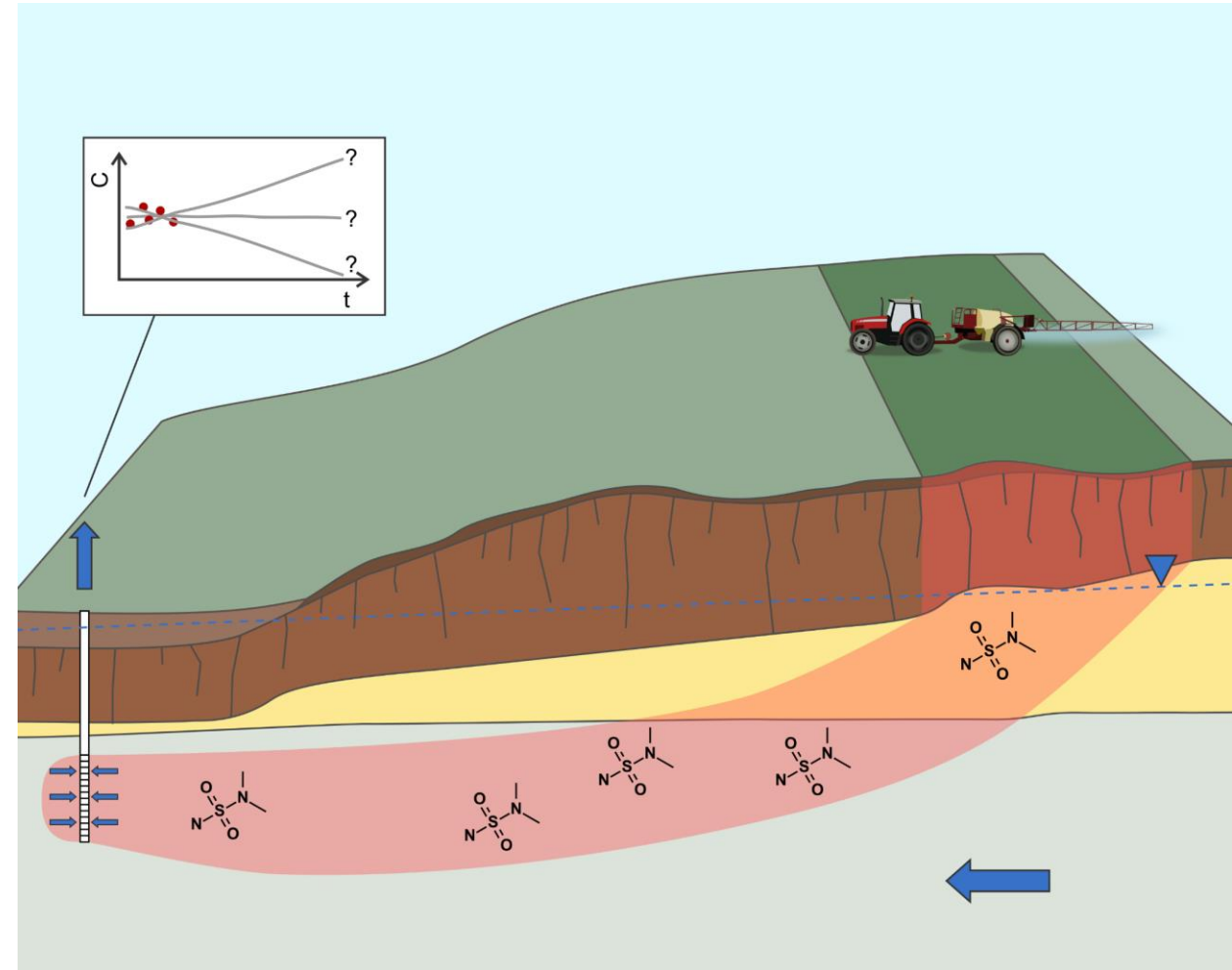
Novafos

**HOFOR**

nnovationsfonden

# Motivation og formål

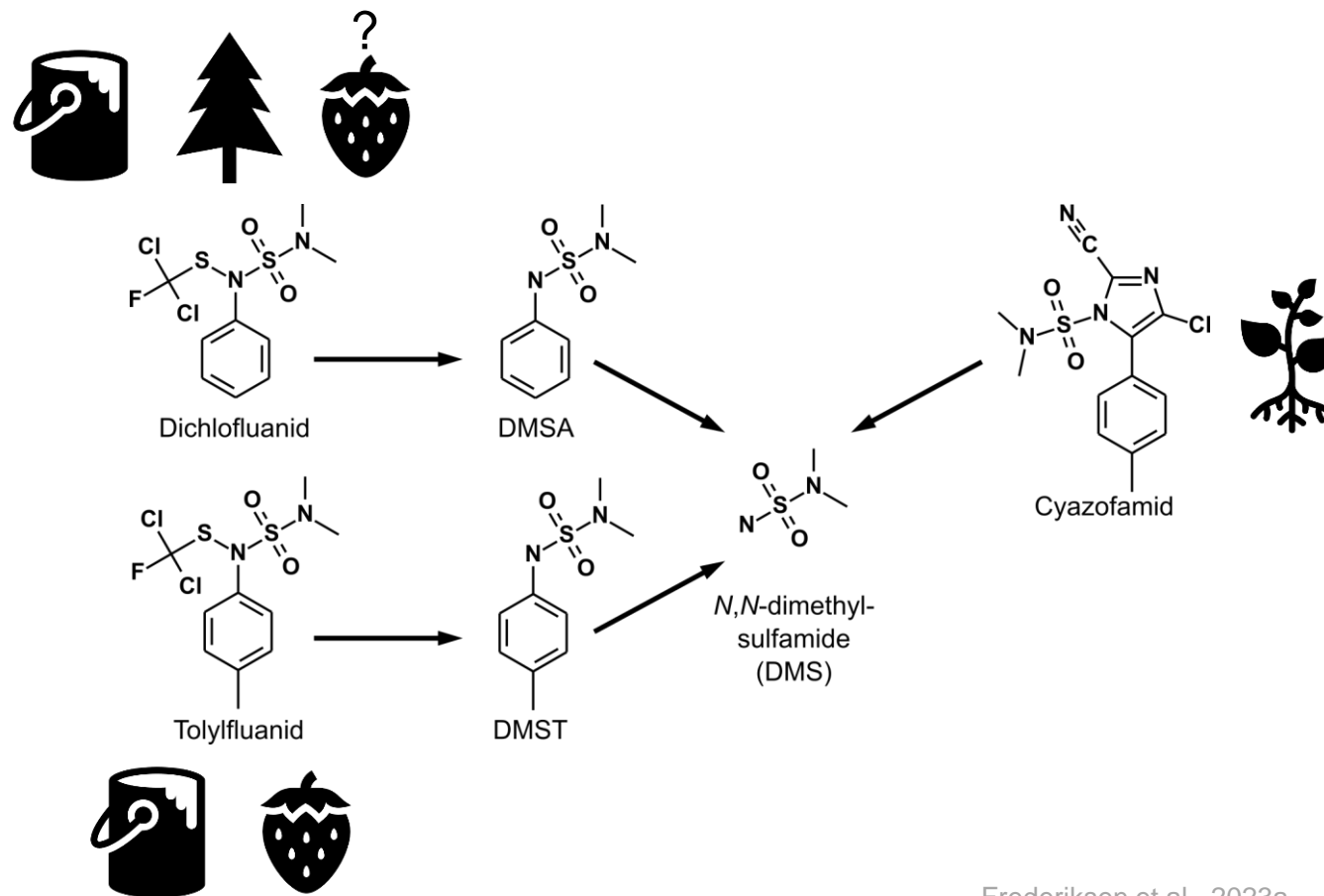
- Udbredte fund af pesticidmetabolitter
    - 2021: DMS påvist i 33,5% af drikkevandsboringer
    - Mange fund nær de større byer → forsyningsproblem
  - Korte dataserier for "nye" stoffer → svært at forudsige udviklingen
    - Planlægning?
    - Langsigtede investeringer?
- Vandforsyninger og regioner savner prognose for varigheden



# DMS: Kilder og moderstoffer

Anvendelse i Danmark:

- Dichlofluamid (DCF)
  - Udendørs træmaling
  - Træimprægnering
  - Frugt- og bæravl?
- Tolyfluamid (ToF)
  - Udendørs træmaling
  - Frugt- og bæravl
- Cyazofamid (CZF)
  - Kartoffelavl



Frederiksen et al., 2023a

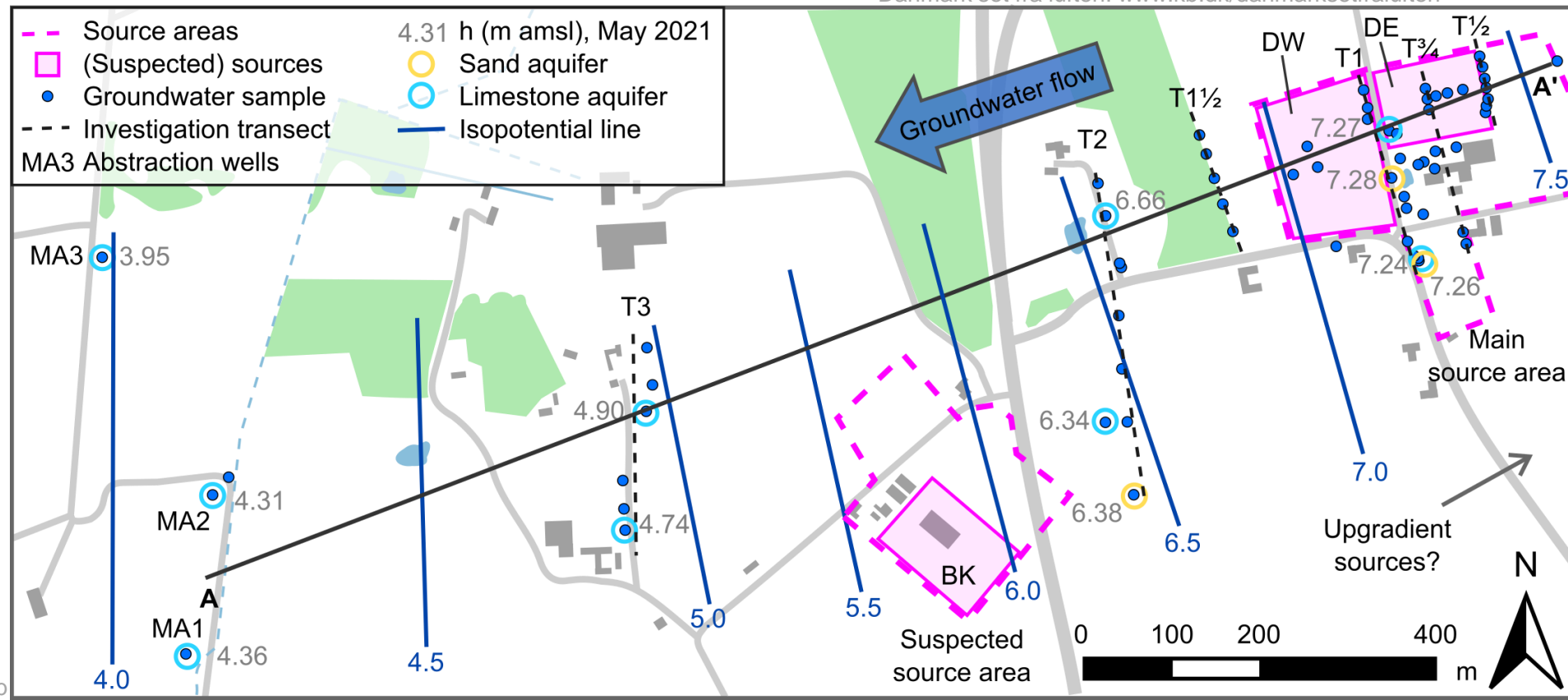
# Feltlokalitet

## Opland til Marbæk Vandværk

- Primært kildeområde ca. 1,4 km opstrøms
- Maskinstation  
~1980'erne-1990'erne
- Jordbærdyrkning  
~1967- midt-1990'erne
- Kildeområder DW+DE
- Mulig sekundær kilde?  
ca. 0,8 km opstrøms
- Tidl. jordbærdyrkning
- Kildeområde BK



Danmark set fra luften. www.kb.dk/danmarksetfraluften





# Feltlokalitet

## Lokalisering af tidligere jordbærmarker

- Lokaltetshistorik
- Historiske luftfotos
- Overfladejordprøver
- Porevandsprøver



→ Arealer og kildestyrker til modellen



1970  
28. maj

1995  
13. apr.



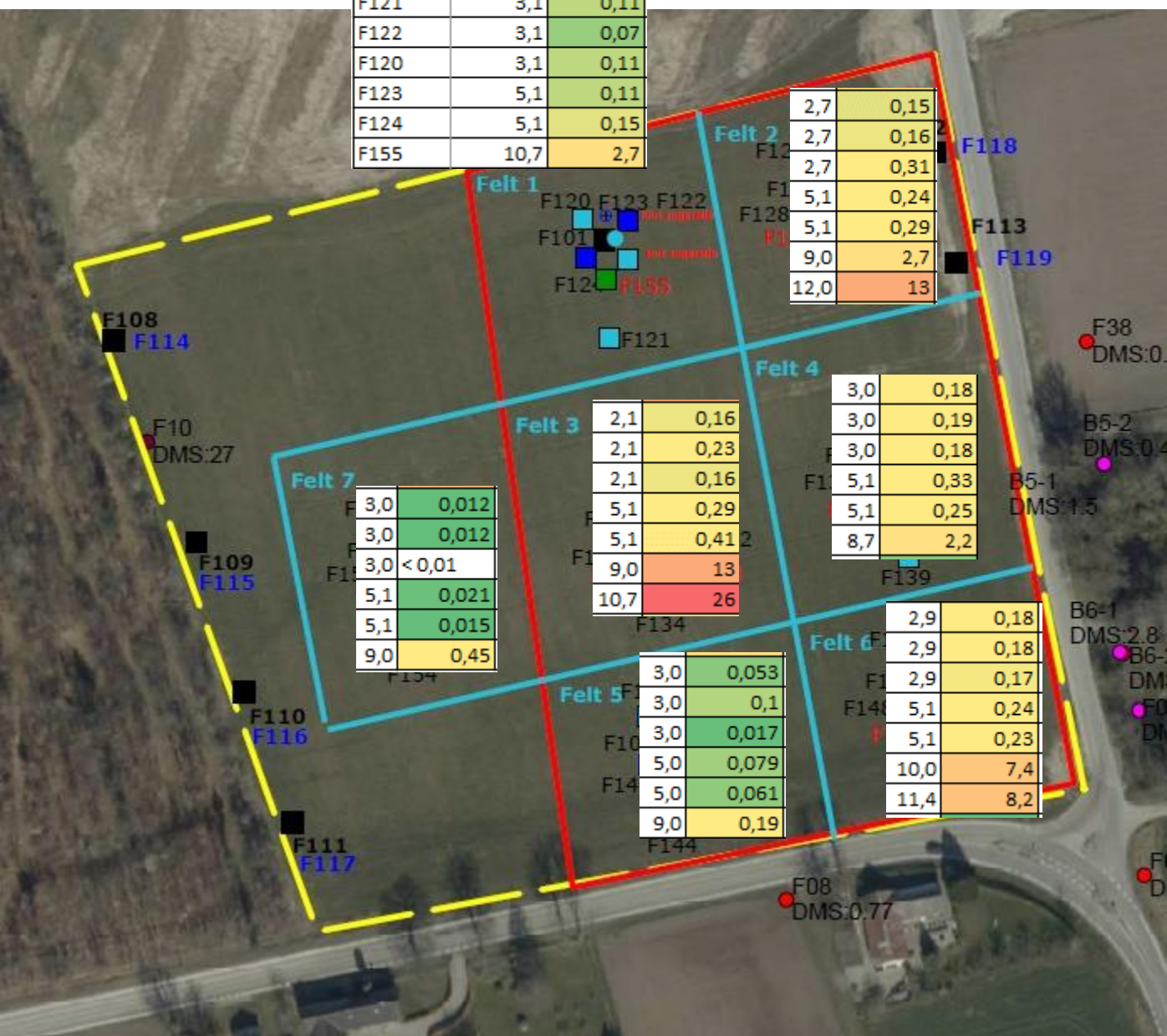
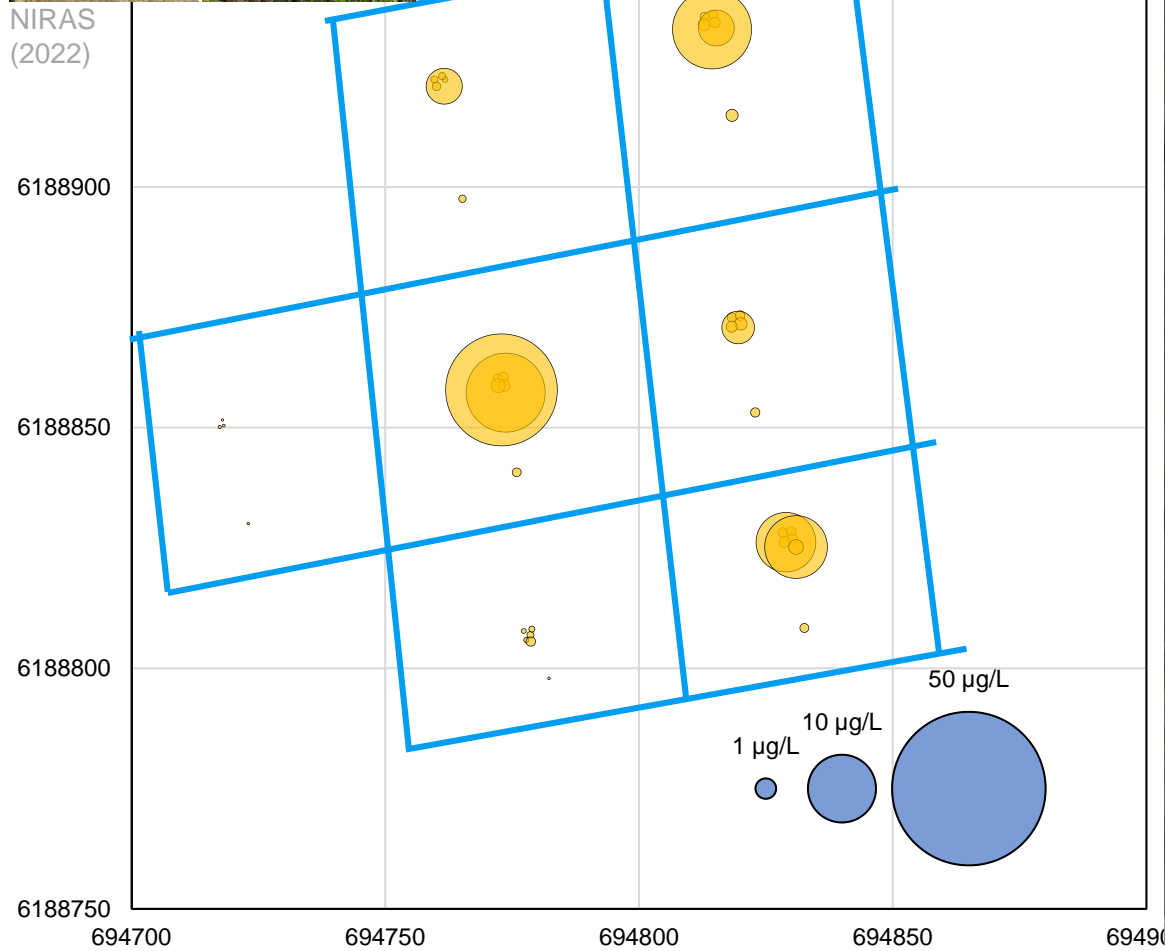
Privatfoto (2006)



1989

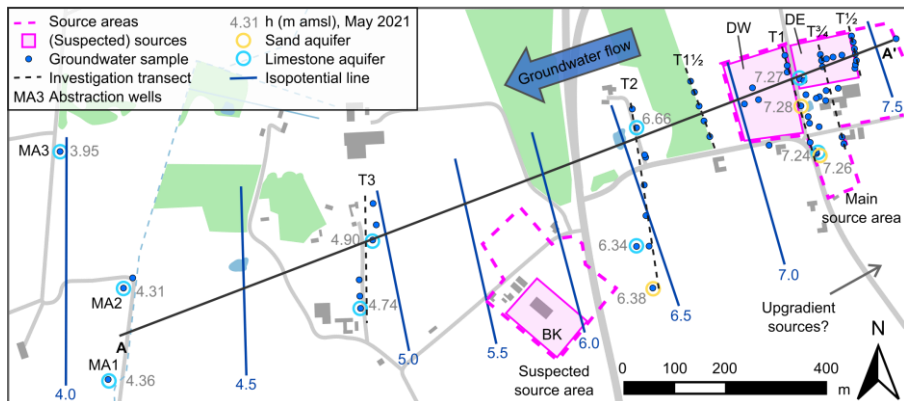
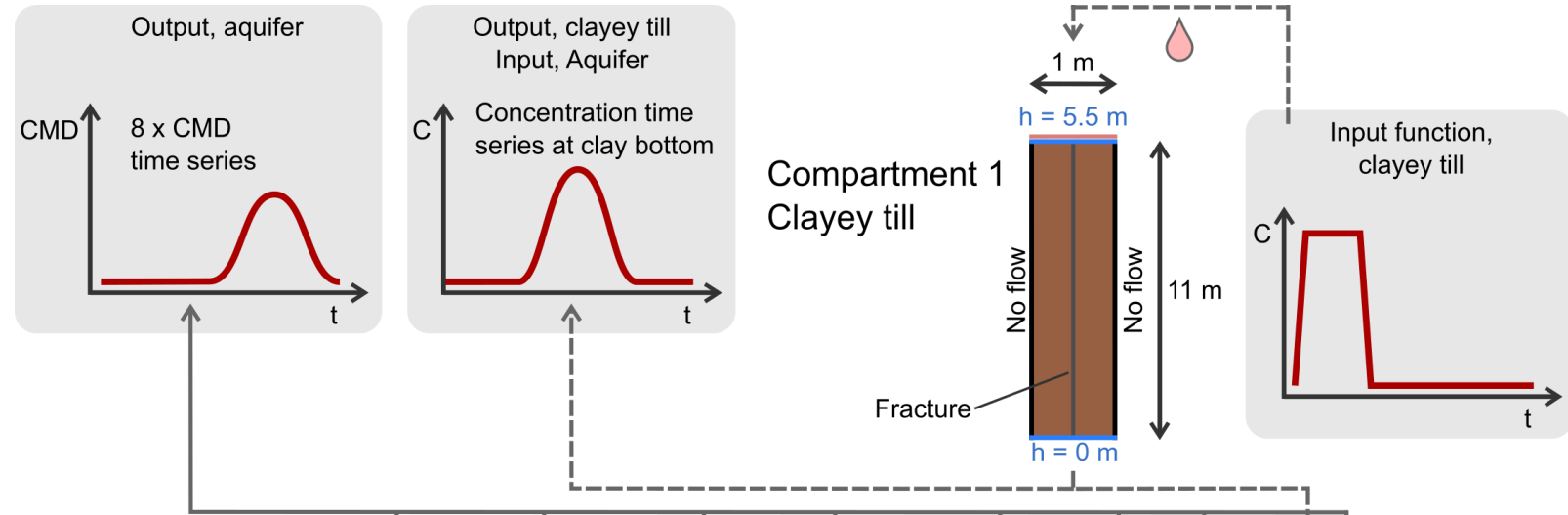


# Porevandskoncentrationer

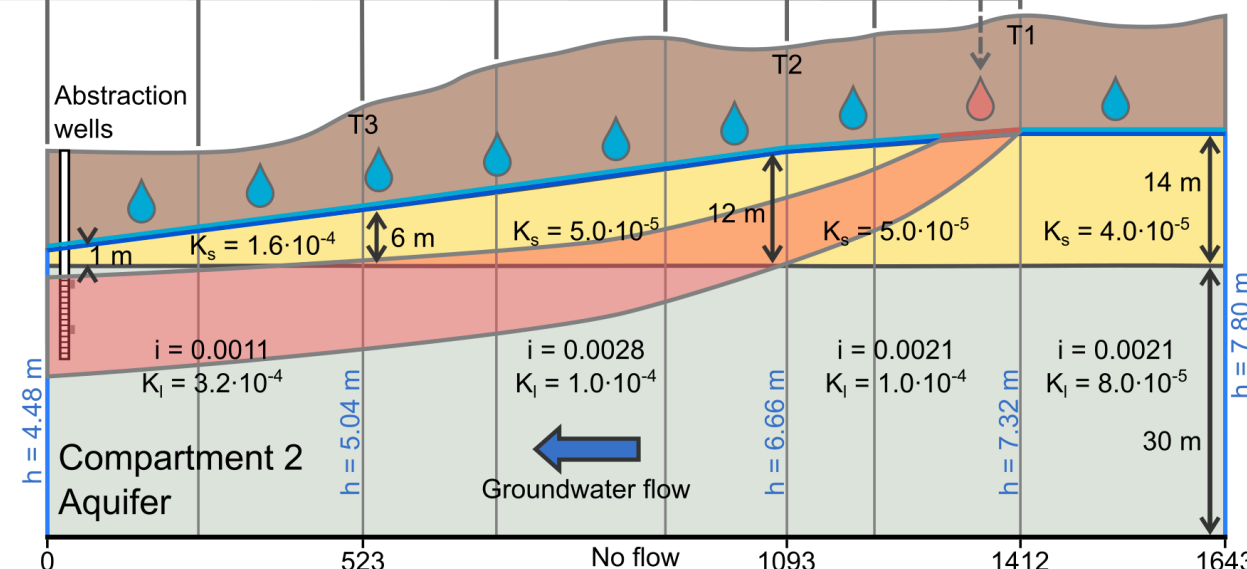


# Modellering af stoftransport

- 2D-transekt langs strømning
- 2 moduler
  - Modul 1: Moræneler
  - Modul 2: Magasin
- Stoftransport
- Output: Forureningsflux (CMD)

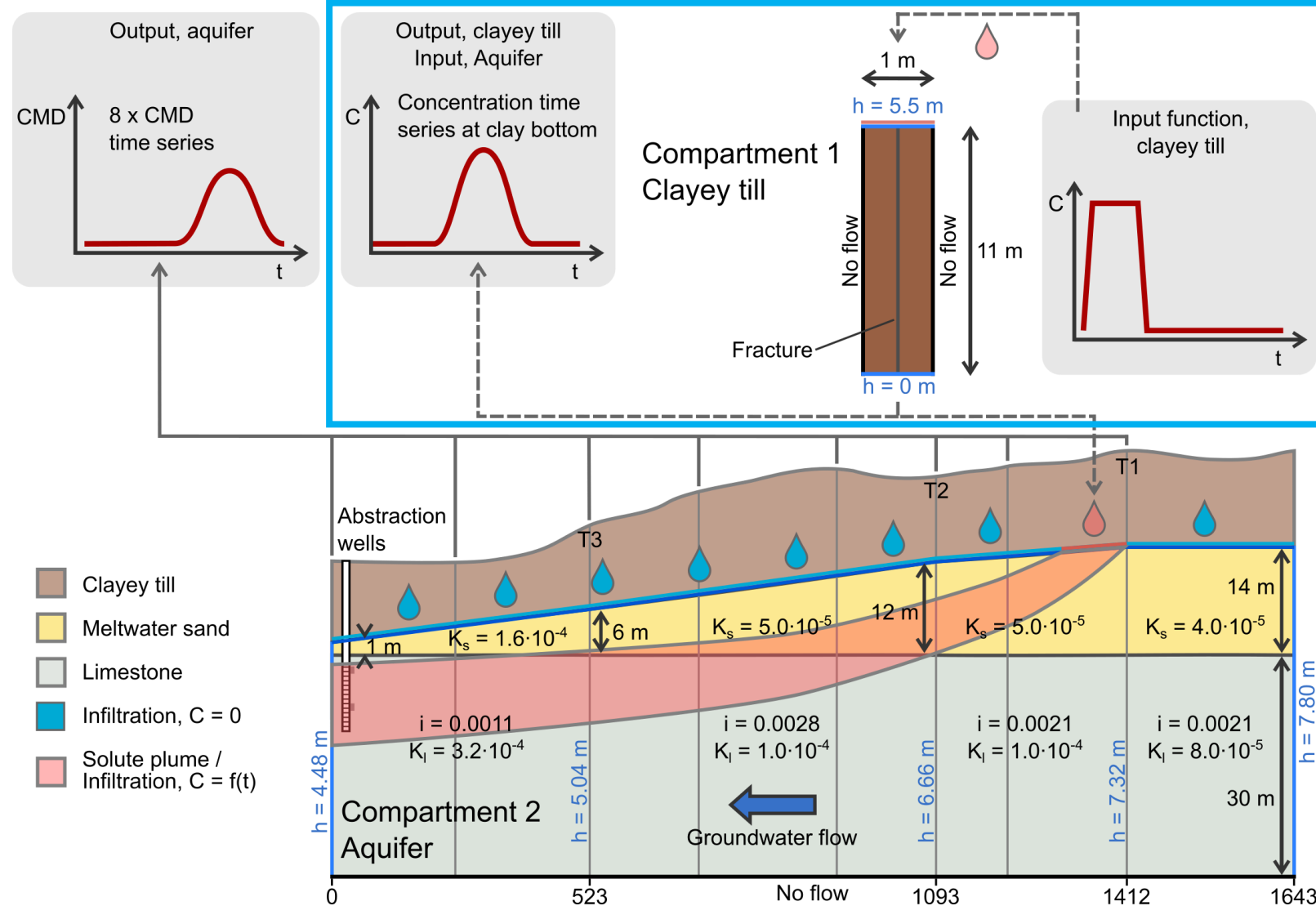


- Clayey till
- Meltwater sand
- Limestone
- Infiltration,  $C = 0$
- Solute plume / Infiltration,  $C = f(t)$



# Modelling af stoftransport

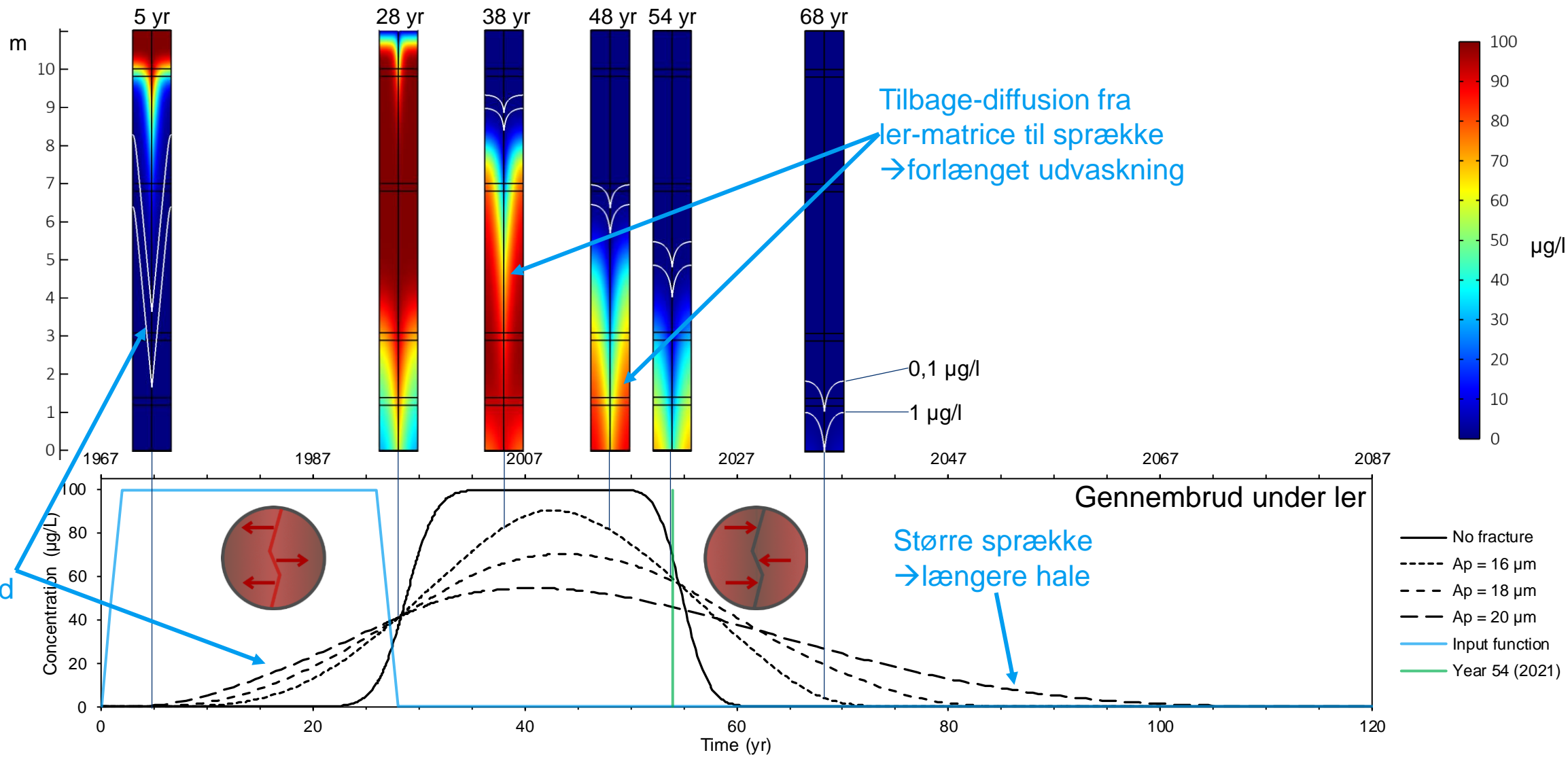
## 1. Moræneler





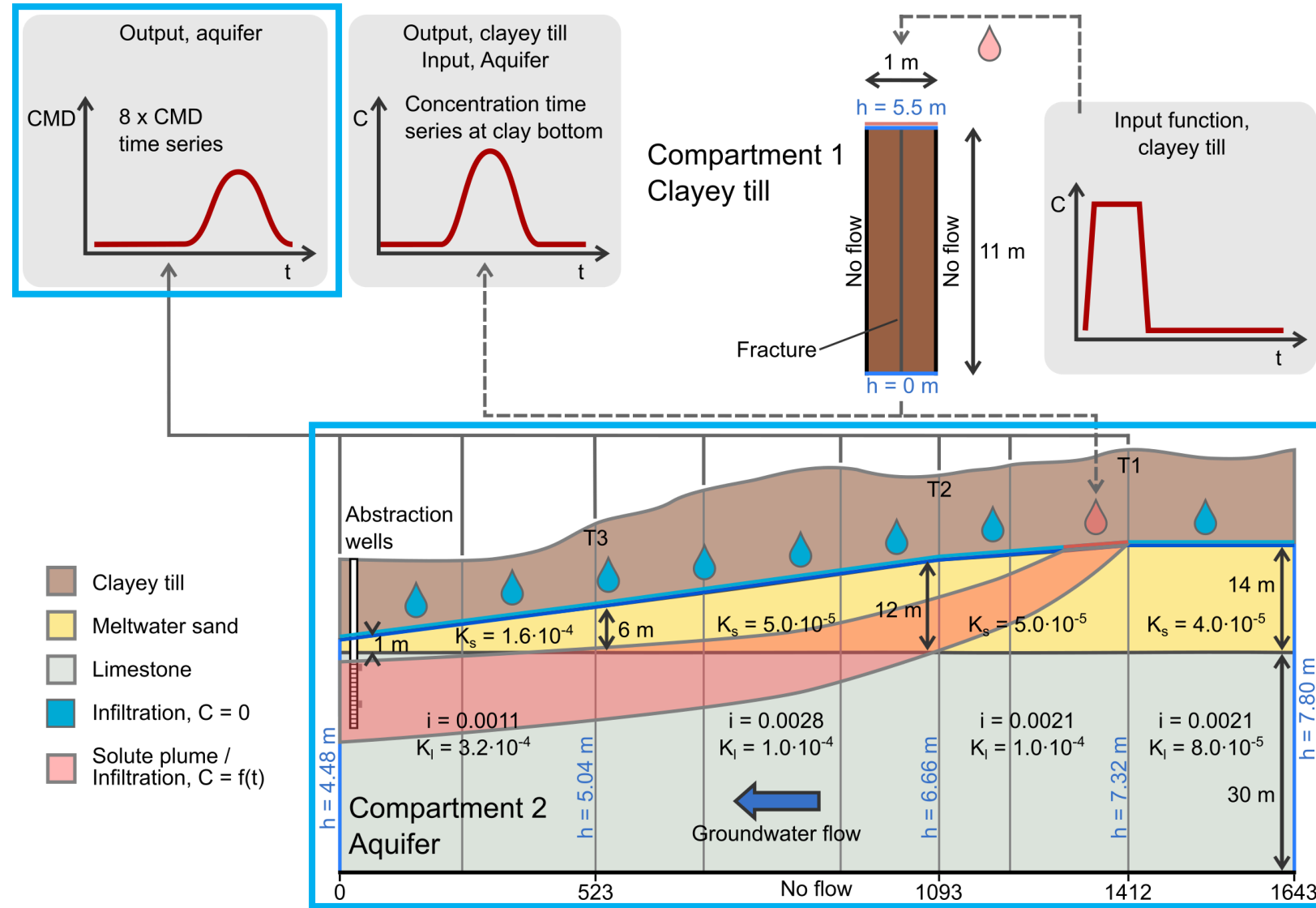
# Modellering af stoftransport

## 1. Moræneler



# Modelling af stoftransport

## 2. Magasin

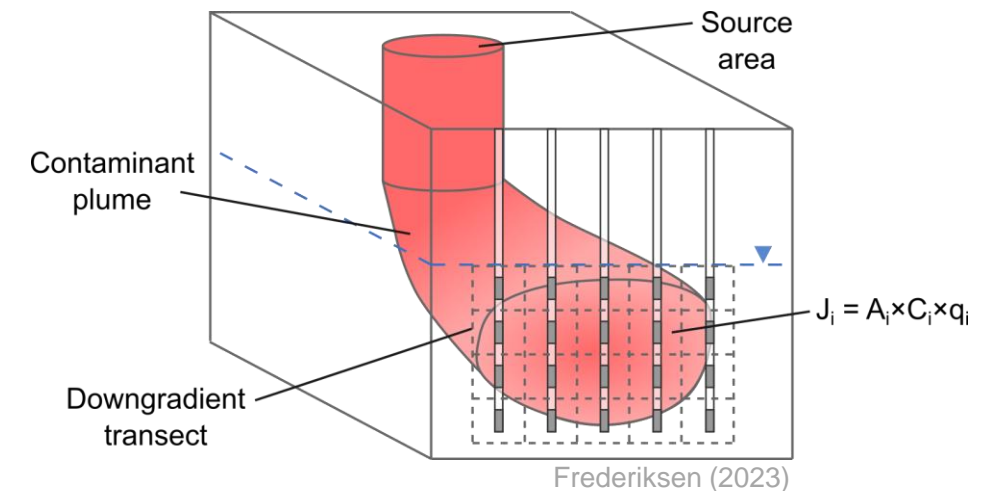
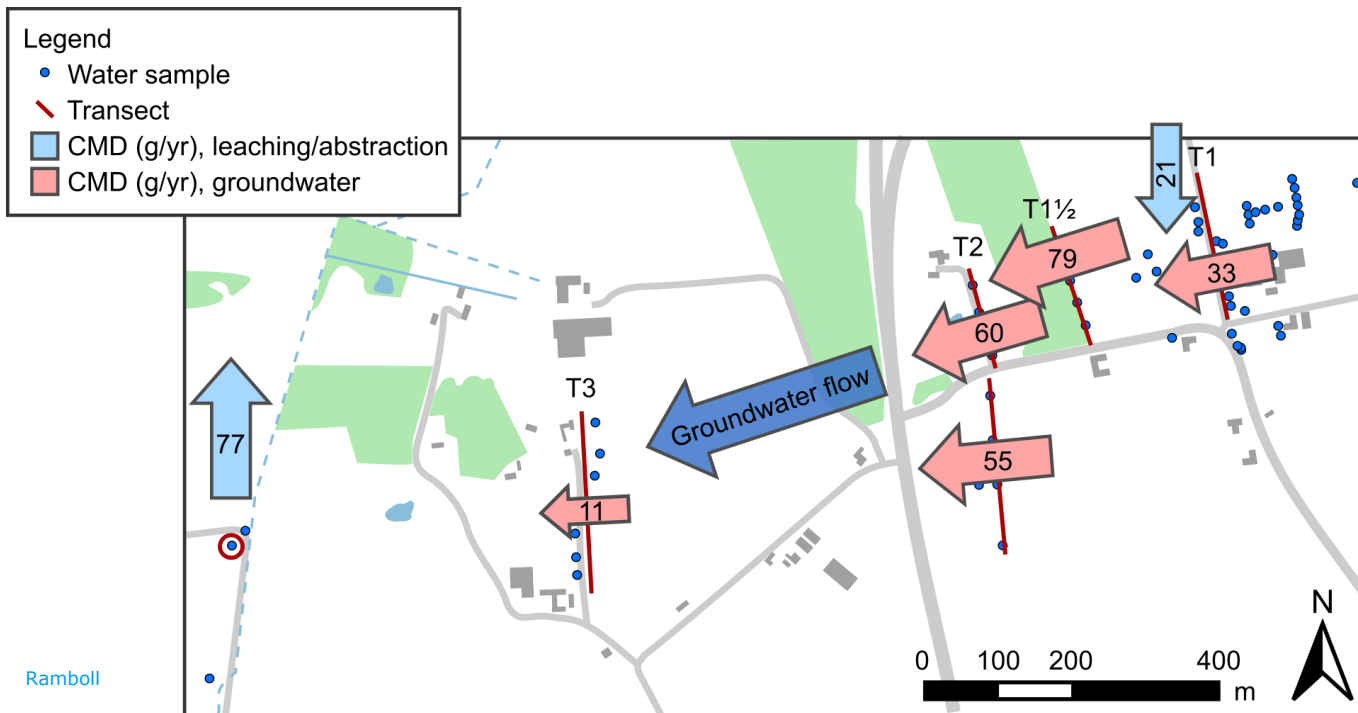
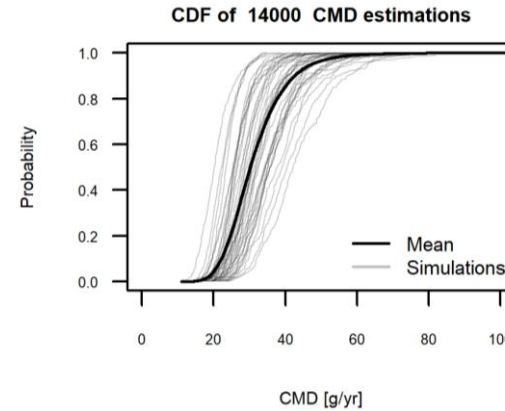
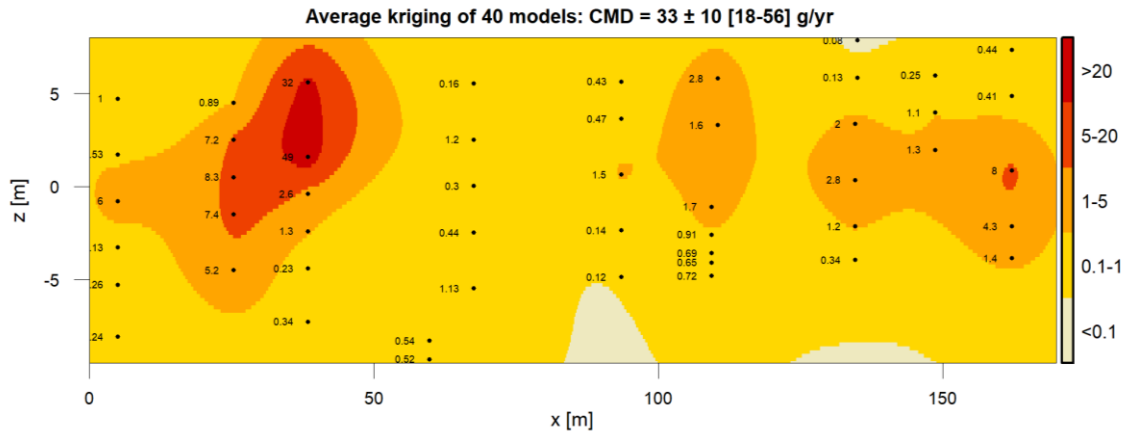


# Beregnet forureningsflux



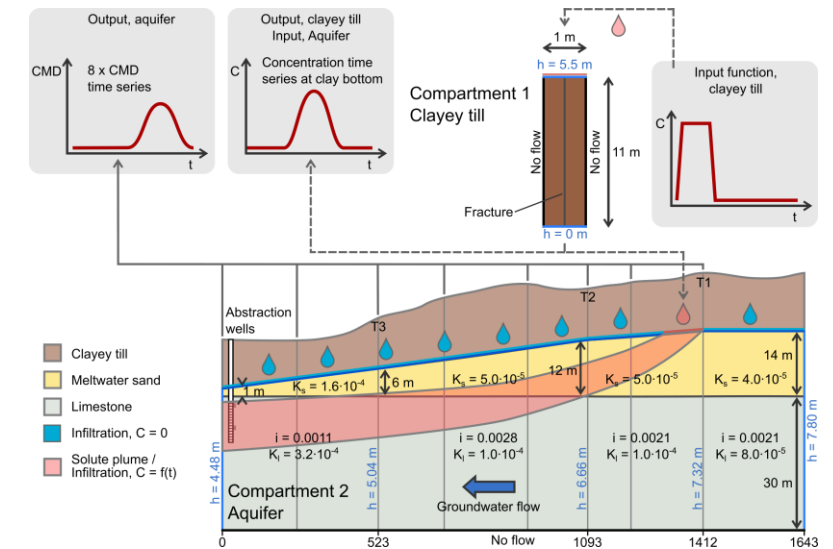
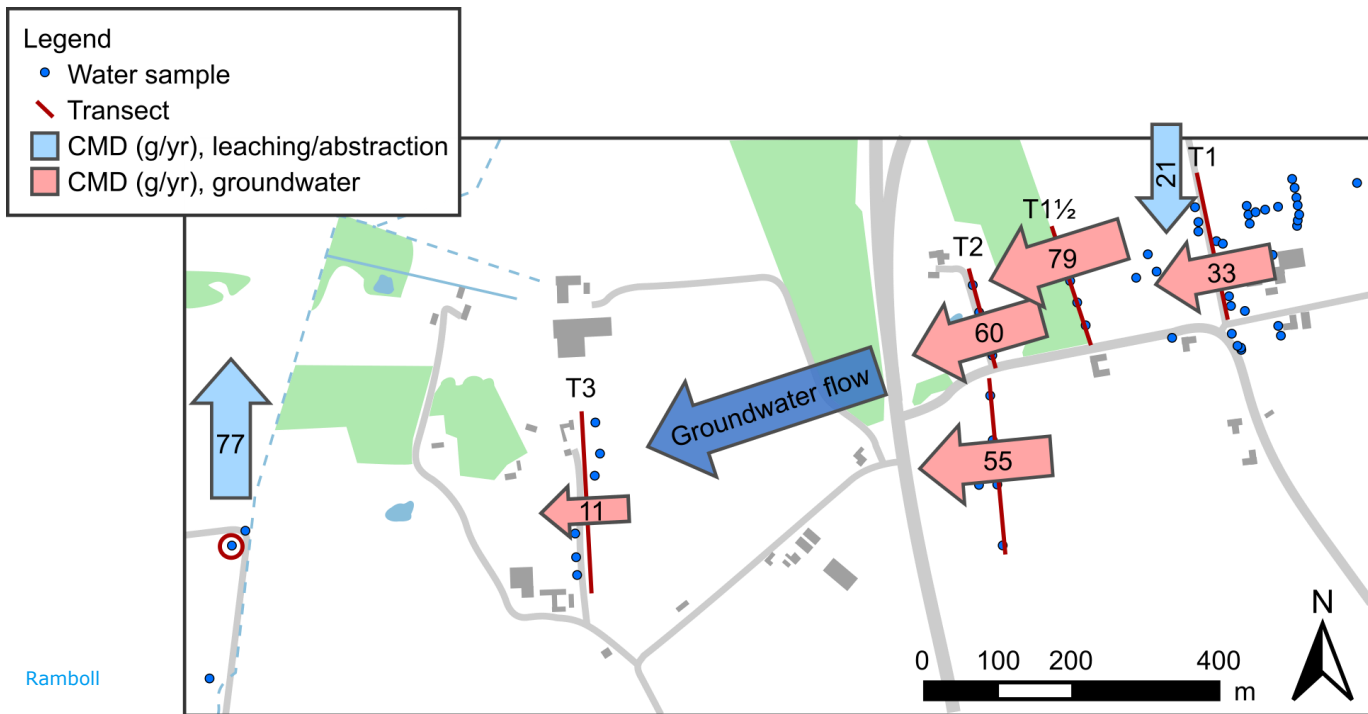
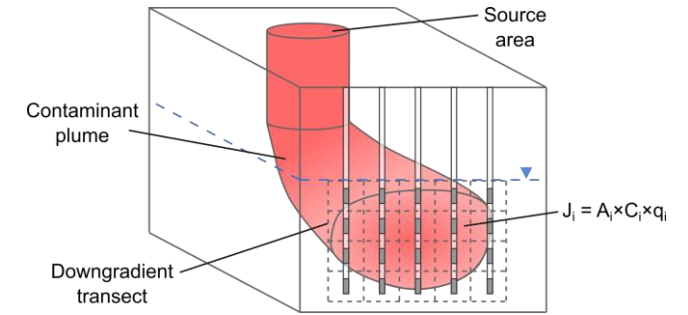
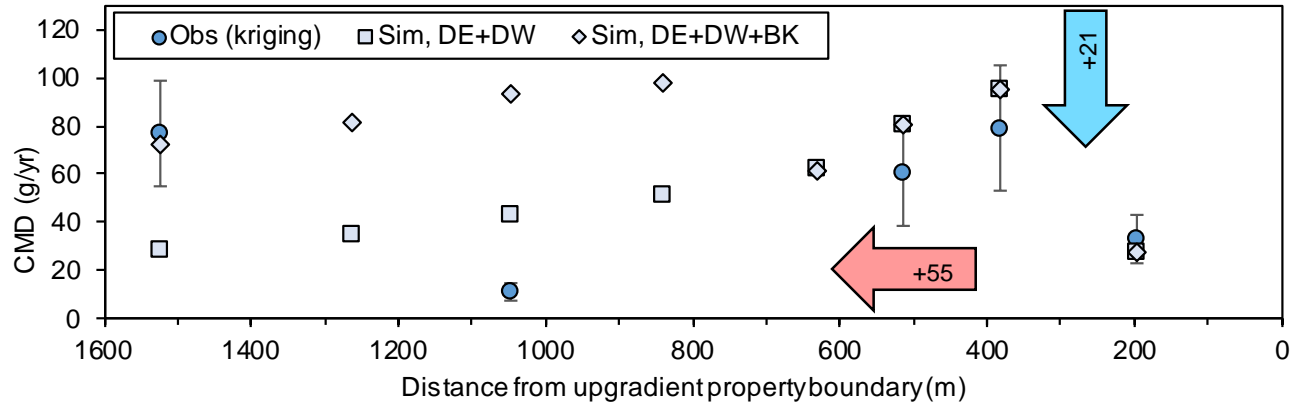
**Anton Bo Bollingtoft**  
 PhD student  
**DTU SUSTAIN**  
**Department of Environmental and Resource Engineering**  
 Danmarks Tekniske Universitet  
 Bygningstorvet  
 Building 115, Room 148  
 2800 Kgs. Lyngby

→ Spor 1, Modul 4

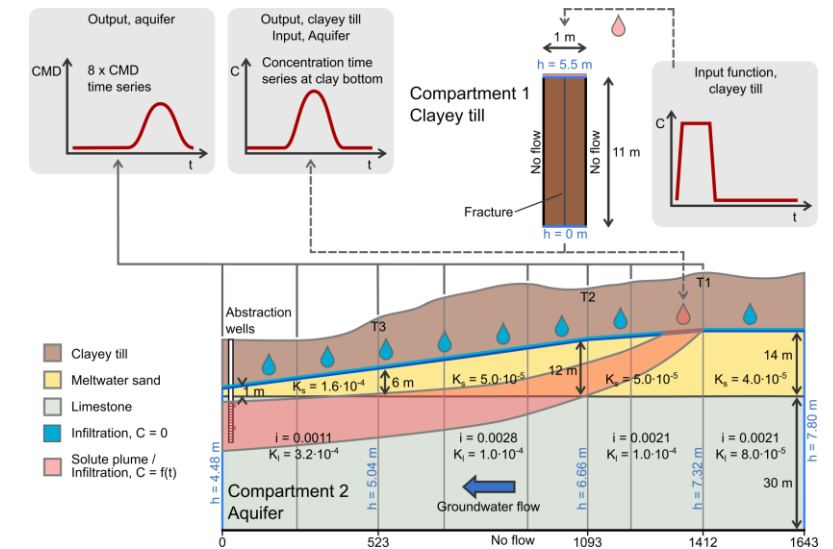
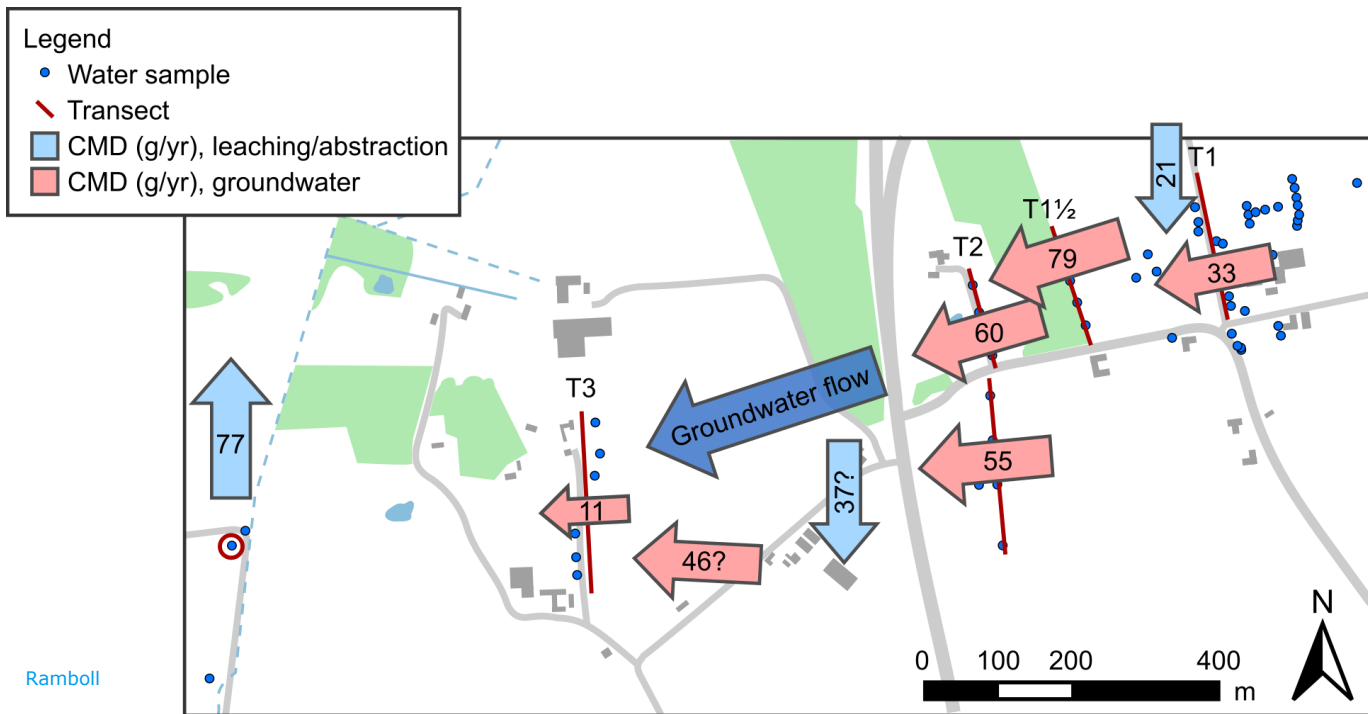
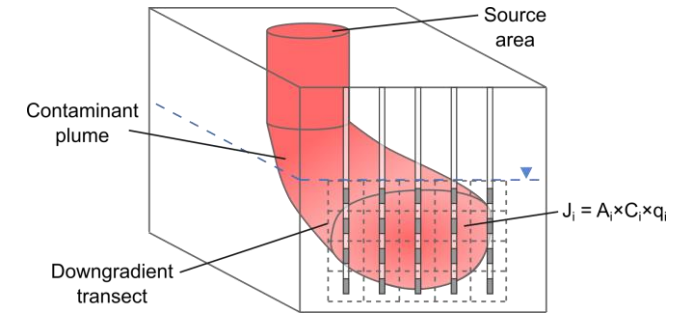
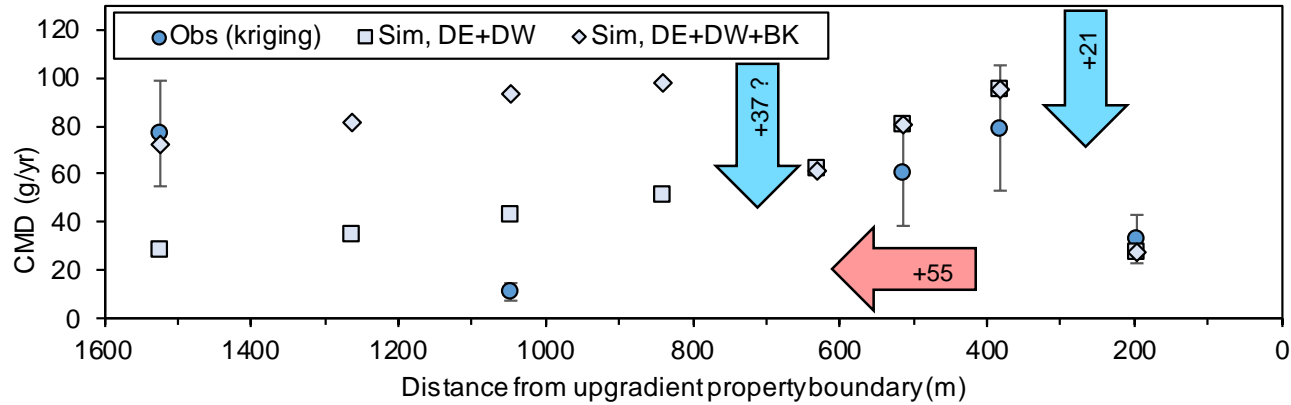




# Beregnet og modelleret forureningsflux i systemet



# Beregnet og modelleret forureningsflux i systemet

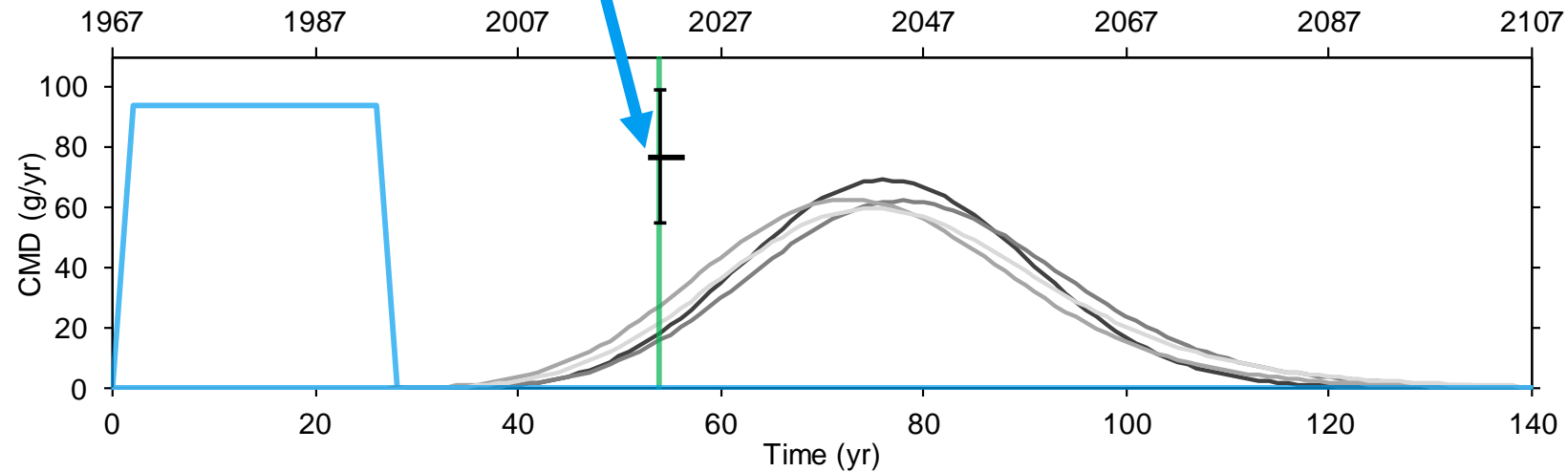
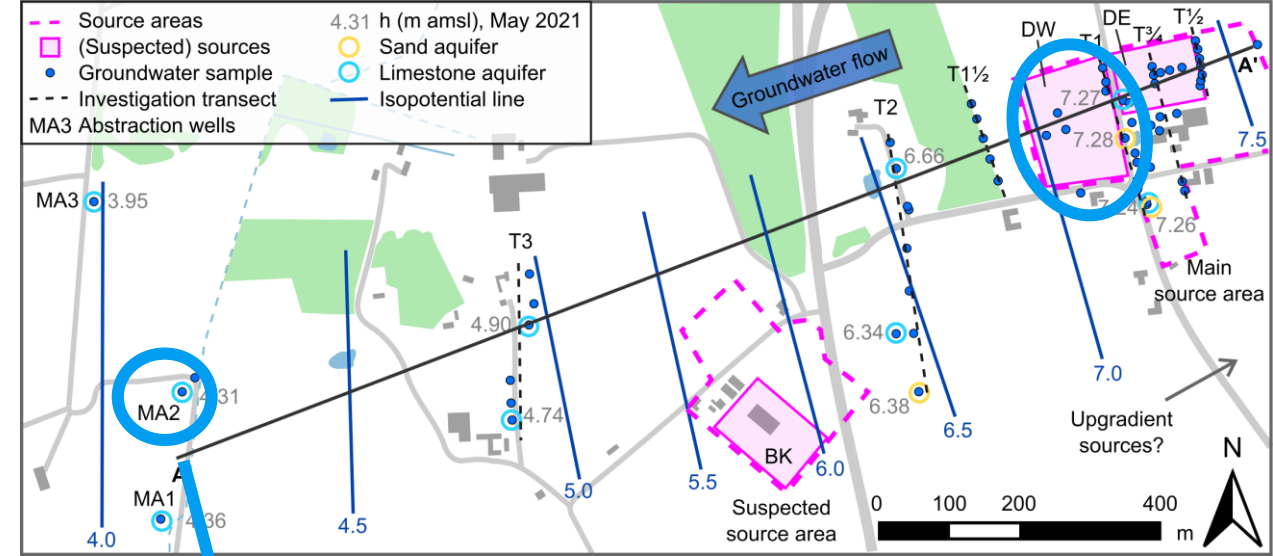


# Forureningsflux over tid

- Varighed ved kildepladsen
- Kendt kilde DW

## Resultater

- Koncentrationen stiger (væsentligt) indtil 2040'erne
- Maks. flux  $\sim 60-70$  g/år
- Kilde DW forklarer kun  $\sim 1/3$  af den nuværende flux
- Varighed indtil  $\sim 2090$





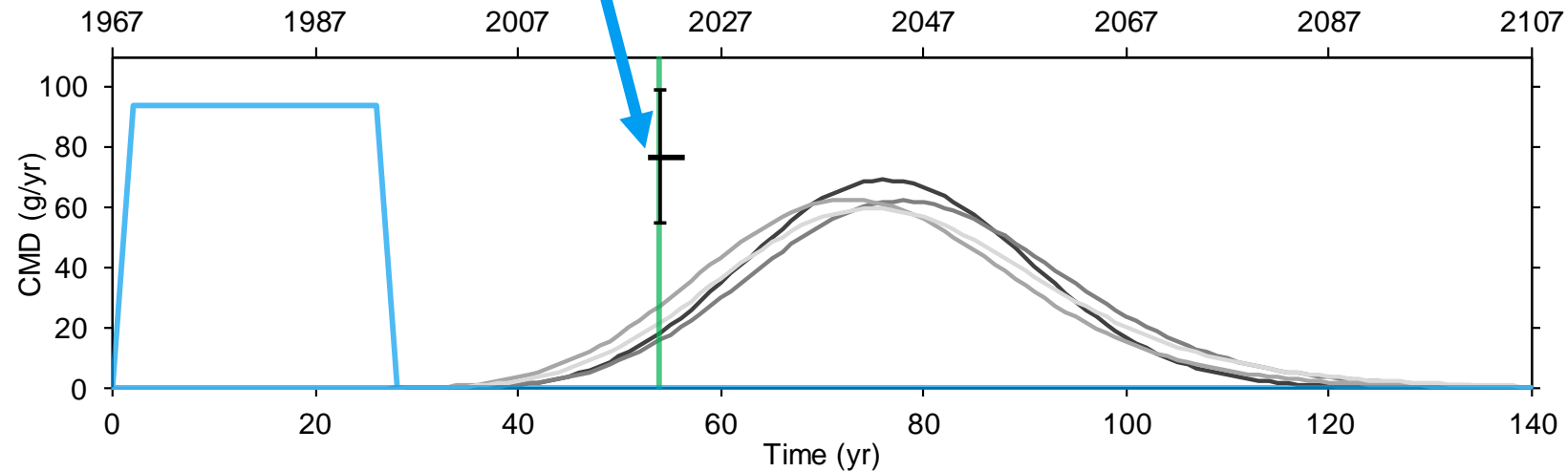
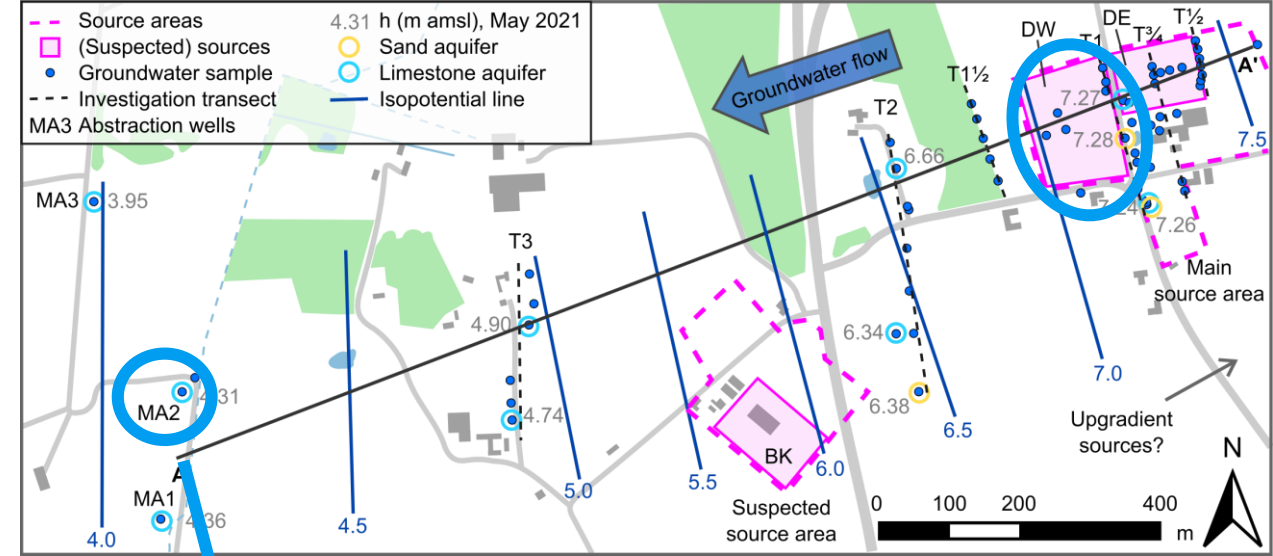
# Forureningsflux over tid

- Varighed ved kildepladsen
- Kendt kilde DW

## Resultater

- Koncentrationen stiger (væsentligt) indtil 2040'erne
- Maks. flux  $\sim 60-70$  g/år
- Kilde DW forklarer kun  $\sim 1/3$  af den nuværende flux
- Varighed indtil  $\sim 2090$

→Hvad hvis vi inkluderer de andre kilder?

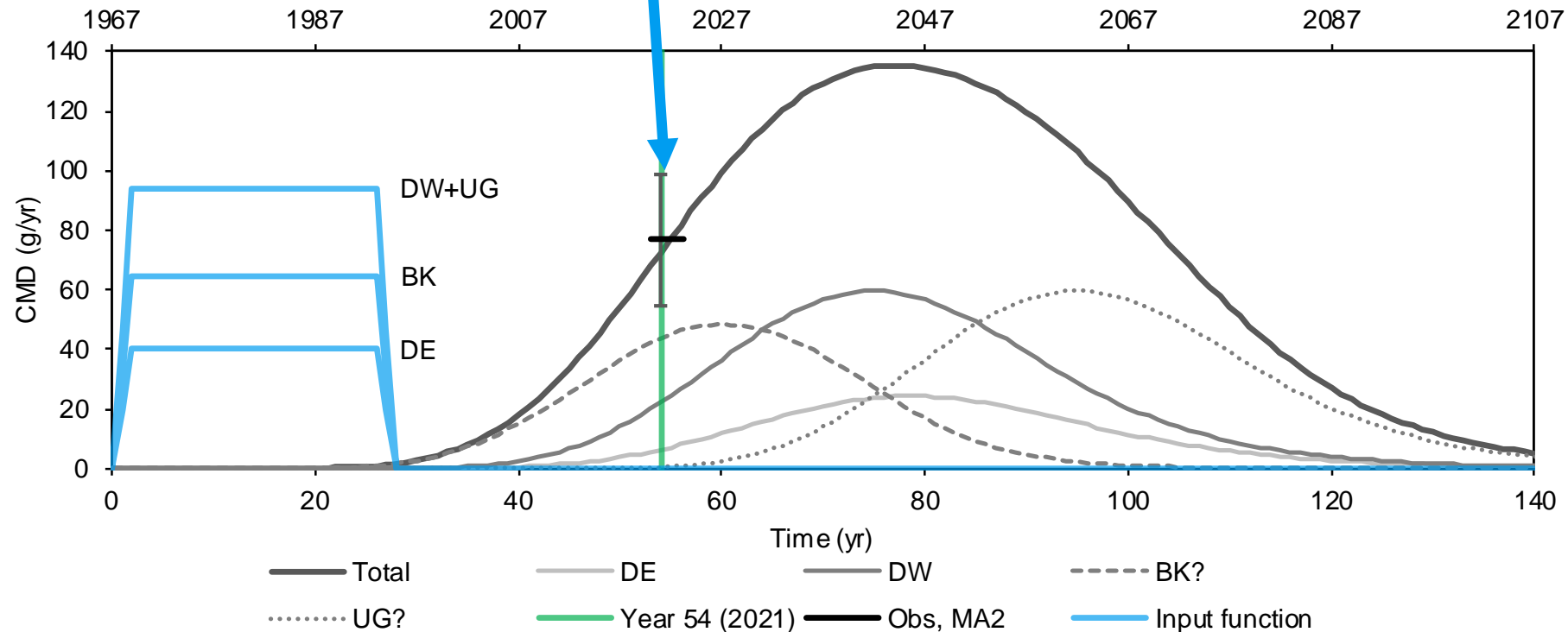
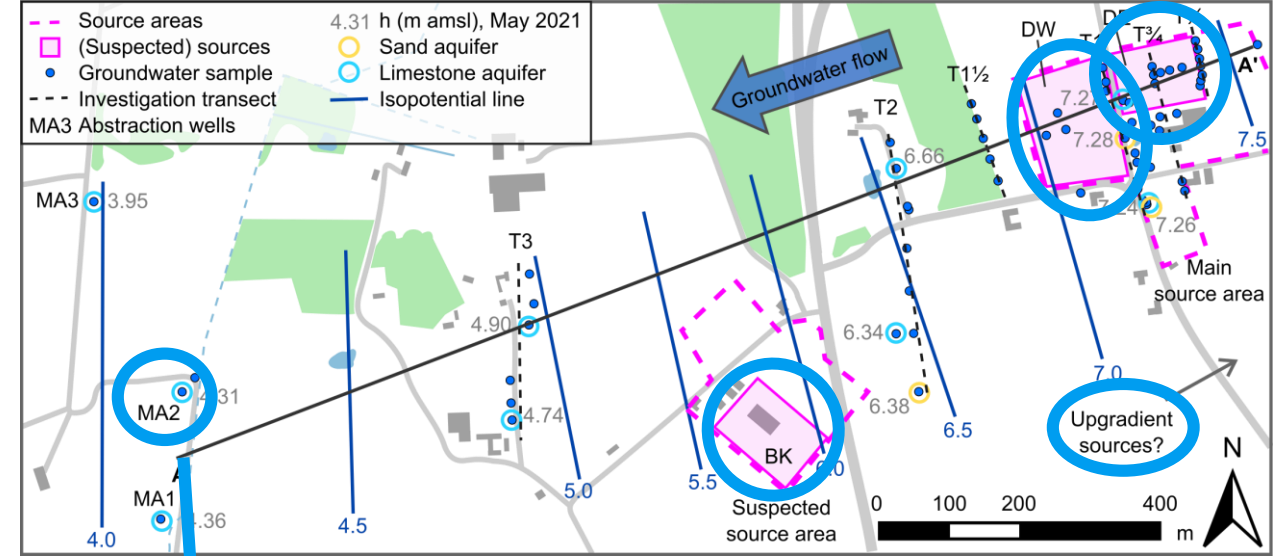


# Forureningsflux over tid

- Varighed ved kildepladsen
- Alle kilder
  - Primær kilder DW + DE
  - Mulig kilde BK
  - Mulig opstrøms kilde UG

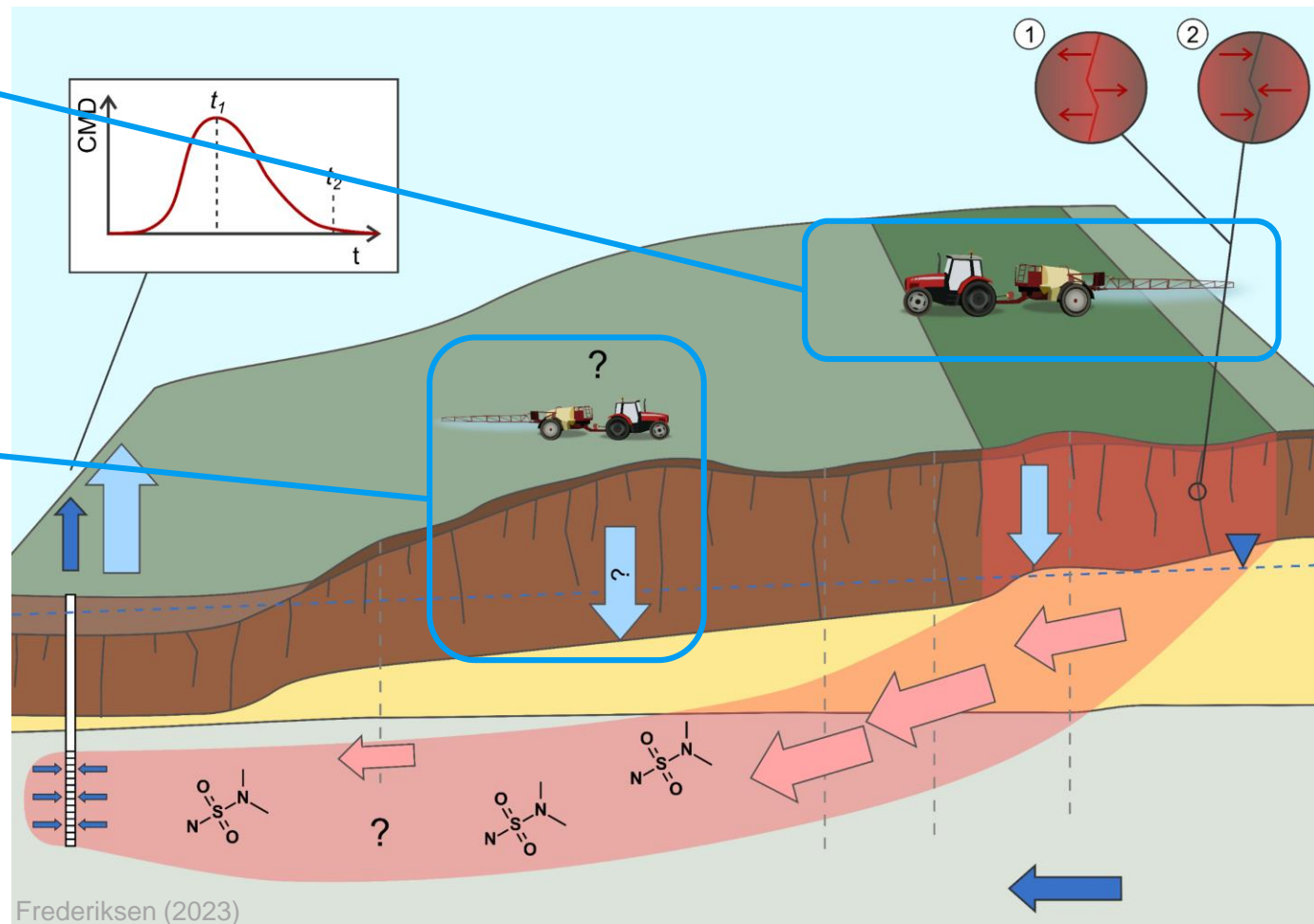
## Resultater

- Koncentrationen (væsentligt) stiger indtil 2040'erne
- Maks. flux  $\sim 130$  g/år
- Tilsammen forklarer kilderne hele den nuværende flux
- Varighed indtil 2100+



# Konklusioner

- Anvendelse af moderstoffer til DMS kortlagt
  - Lokaltetshistorik
  - Historiske luftfotos
  - Overfladeprøver
  - Porevandsprøver
- Ukendt kilde identificeret
  - Kombination af beregnet og modelleret forureningsflux
  - Forureningsflux er et mere "robust" værktøj end koncentration



Frederiksen (2023)

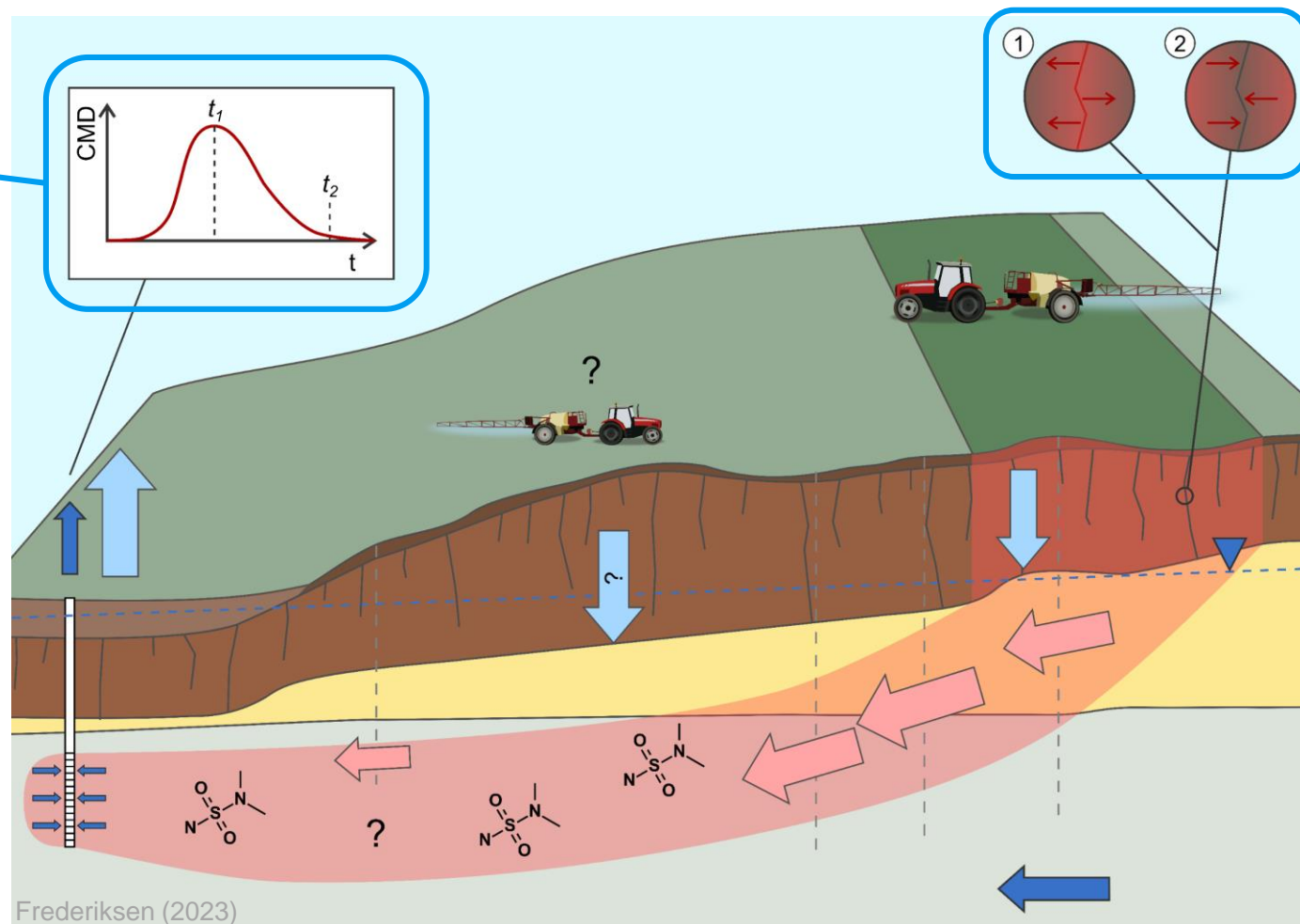


# Konklusioner

- Varighed af DMS ved kildeplads vurderet
  - Overraskende lang (mobilt stof)
  - Topper omkring 2040'erne
  - **Varighed til starten af det 22. århundrede?**
  - Sprække-matrix-interaktioner kan forlænge udvaskning fra moræneler

→ Støtte til forsyninger og regioner

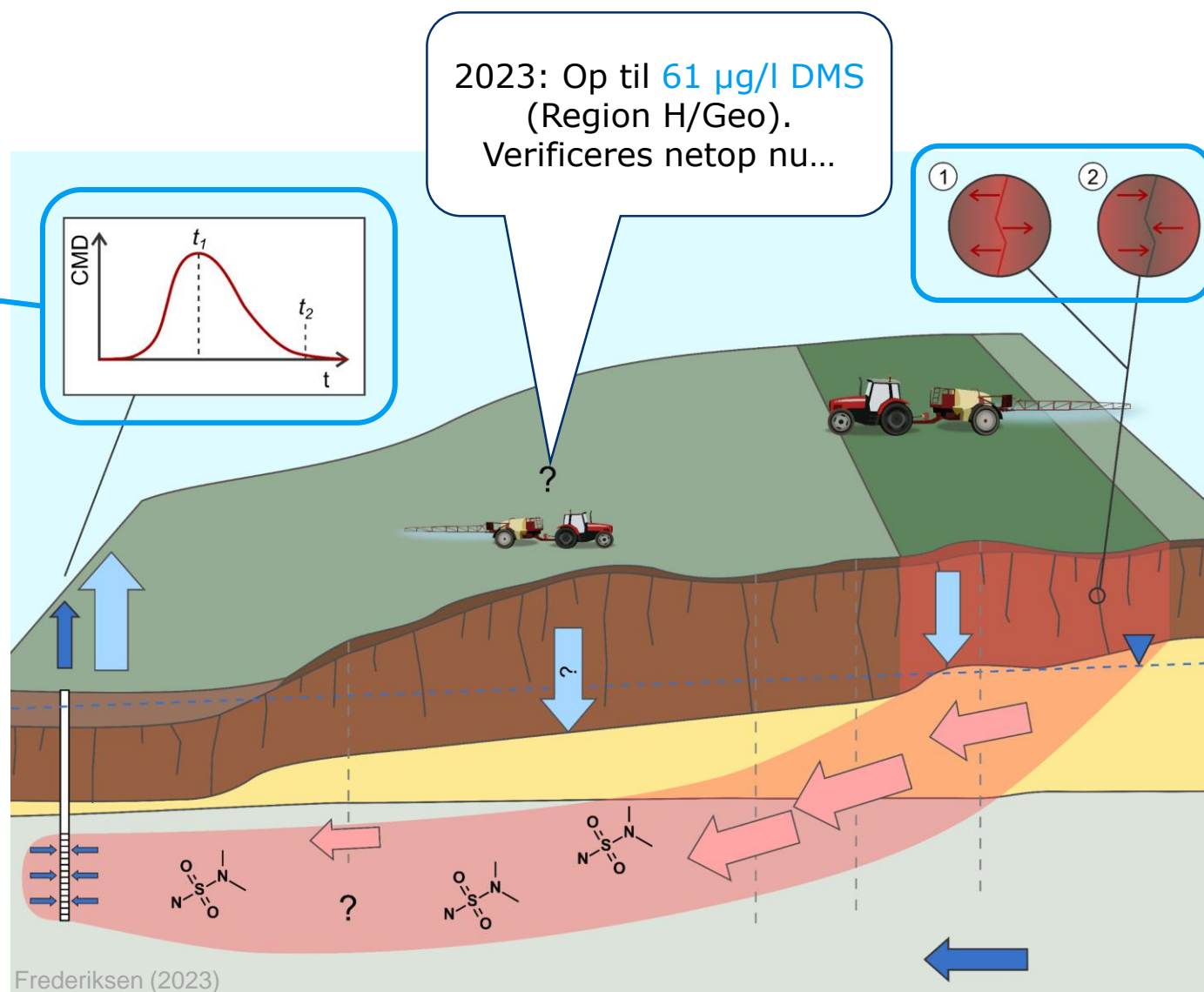
- Opsporing af kilder
- Vurdere varighed af DMS og andre mobile og persistente forureningsstoffer i indvindingsoplande



Frederiksen (2023)

# Konklusioner

- Varighed af DMS ved kildeplads vurderet
    - Overraskende lang (mobilt stof)
    - Topper omkring 2040'erne
    - **Varighed til starten af det 22. århundrede?**
    - Sprække-matrix-interaktioner kan forlænge udvaskning fra moræneler
- Støtte til forsyninger og regioner
- Opsporing af kilder
  - Vurdere varighed af DMS og andre mobile og persistente forureningsstoffer i indvindingsoplande



# Spørgsmål?

Majken Frederiksen  
Afdeling for Forurennet Jord & Grundvand  
mjf@ramboll.dk

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.



# Referencer

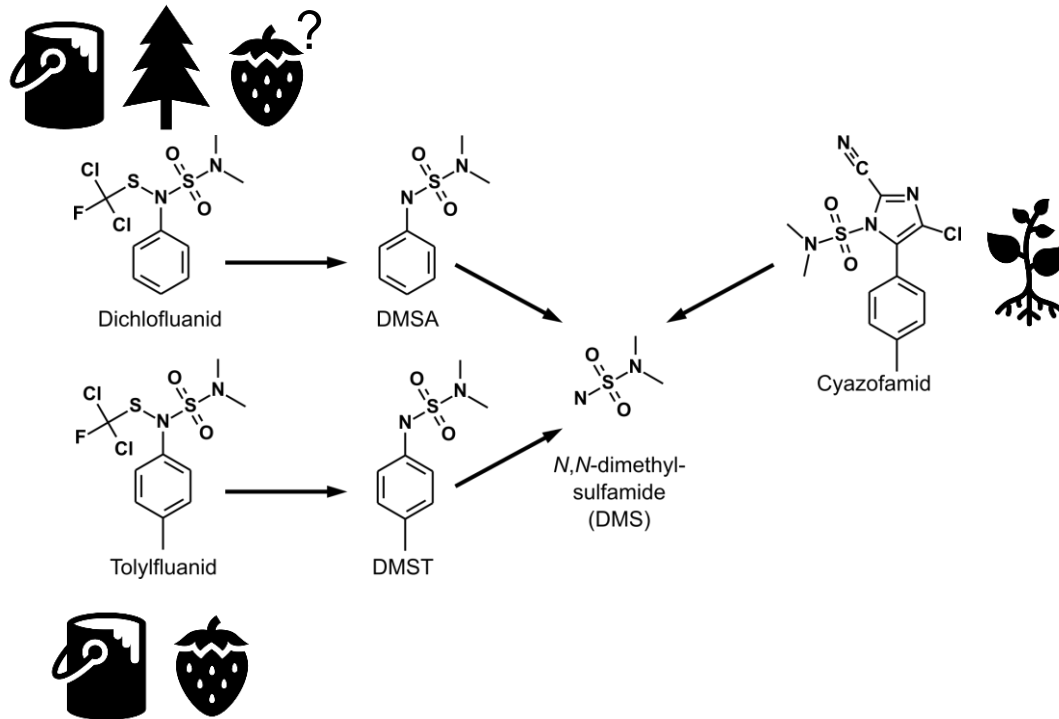
- Frederiksen, M. (2023). Tools for quantification of the duration and impact of pesticides in groundwater resources. PhD thesis. Institut for Miljø- og Ressourceteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, Danmark.
- Frederiksen, M., Albers, C.N., Mosthaf, K., Janniche, G.A.S., Tuxen, N., Kern-Jespersen, H., Bollmann, U.E., Christophersen, M., Bjerg, P.L. (2023a). Long-term leaching through clayey till of N,N-dimethylsulfamide, a Persistent and Mobile Organic Compound (PMOC). *Journal of Contaminant Hydrology*, 257, 104218.
- Frederiksen, M., Mosthaf, K., Bøllingtoft, A.B., Albers, C.N., Christensen, B.S.B., Christophersen, M., Tuxen, N., Tüchsen, P., Clausen, L., Janniche, G.A.S., Bjerg, P.L. (2023b). Predicting the impact and duration of persistent and mobile organic compounds in groundwater systems using a contaminant mass discharge approach. *Journal of Environmental Management*, 348, 119199.

# BONUS

# Feltlokalitet

## Lokalisering af tidligere jordbærmarker

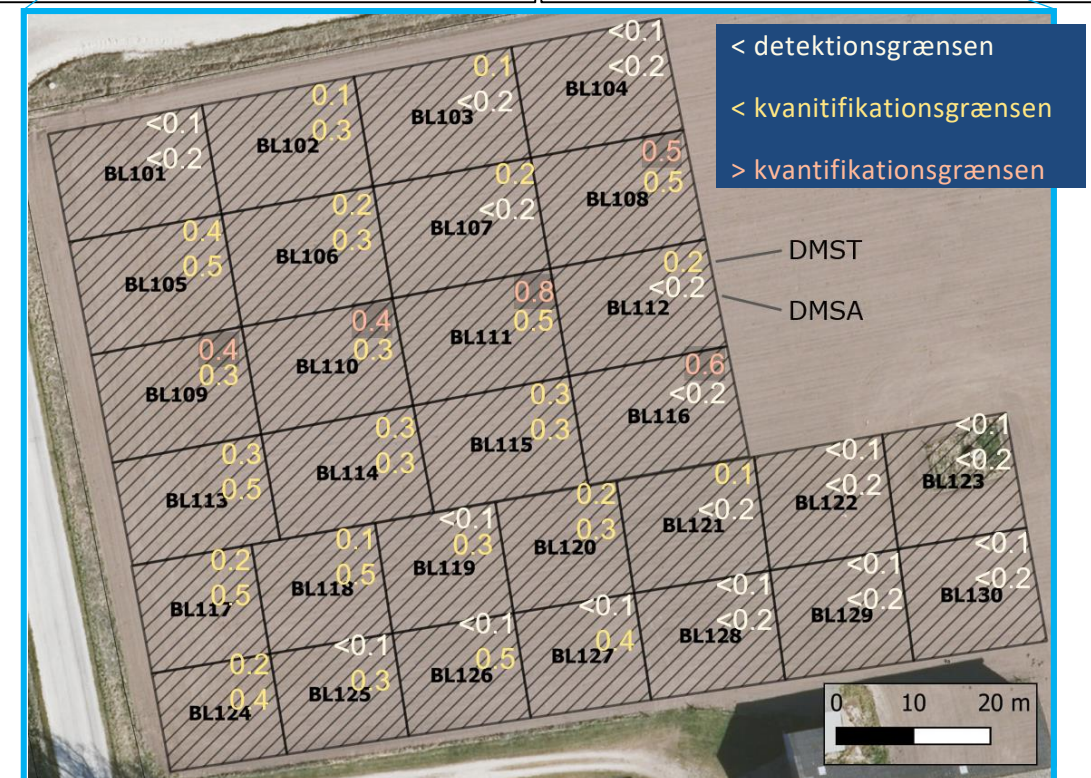
- DMS ikke påvist i jordprøverne
- Fund af intermediater (DMST + DMSA)
- Bekræftet brug af aktivstof(fer) på tidligere jordbærmarker



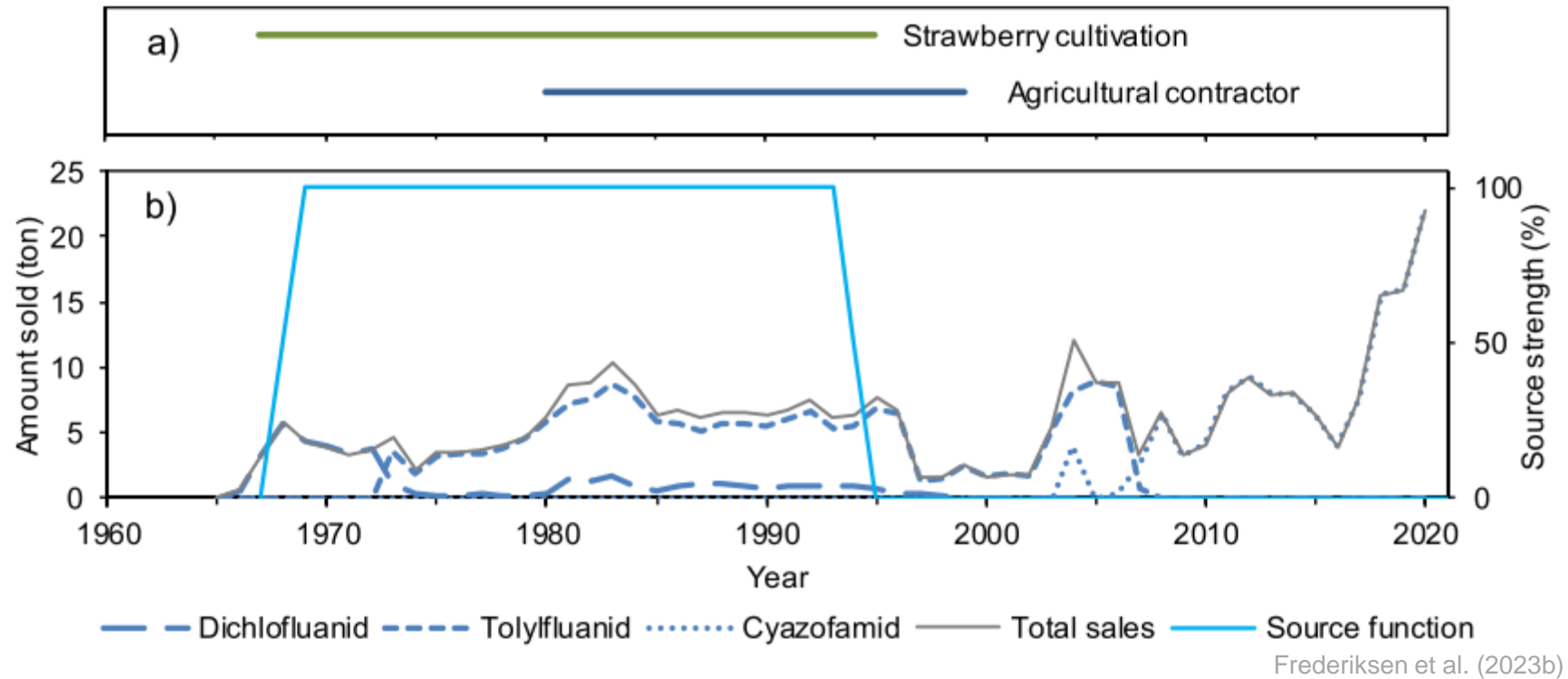
Frederiksen (2023)

<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.8	<0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1
<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1
<0.2	<0.2	<0.2	<0.2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1
<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1
<0.2	<0.2	<0.2	<0.2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1

DMST (left table), DMSA (right table)

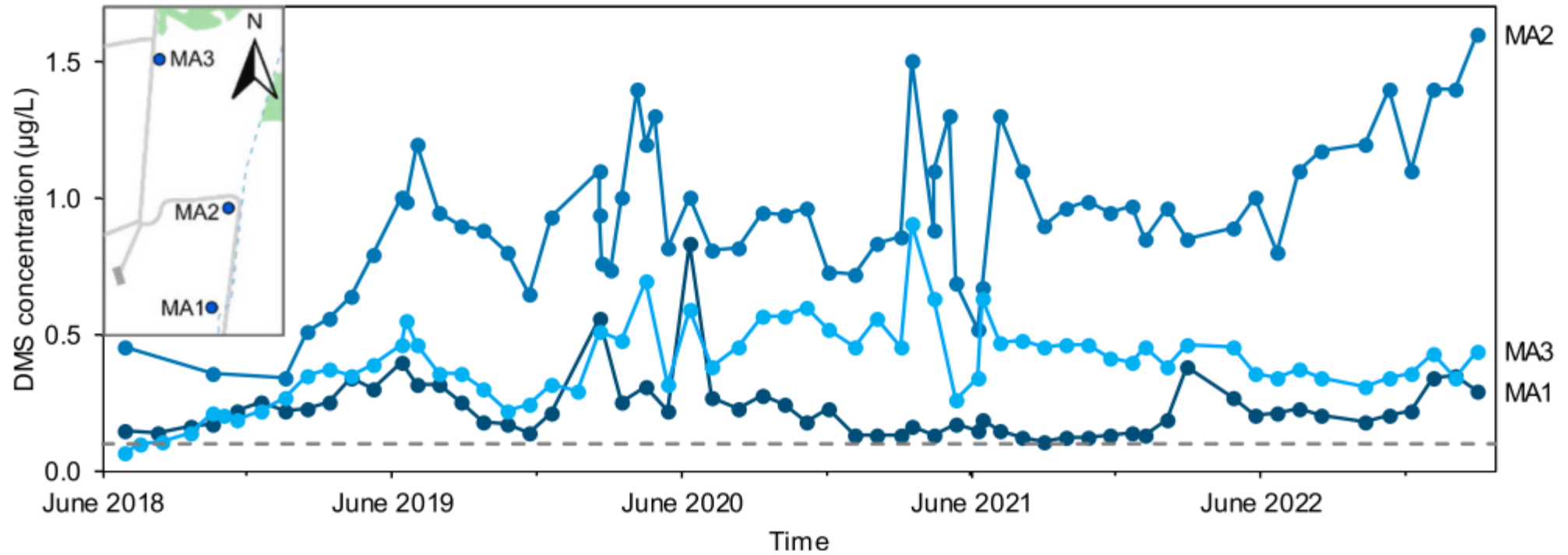


# Salg, anvendelse på lokaliteten og kildefunktion





# DMS på kildepladsen



Frederiksen et al. (2023b)  
Data fra Novafos