



*Anvendelse af vands stabile  
isotoper i hydrologiske-  
biologiske undersøgelser af  
grundvand og søer*

**Peter Engesgaard**

**Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning - KU**

**Bevillinger fra Villum Fonden (CLEAR og HOBE)**

# Stabile vand-isotoper

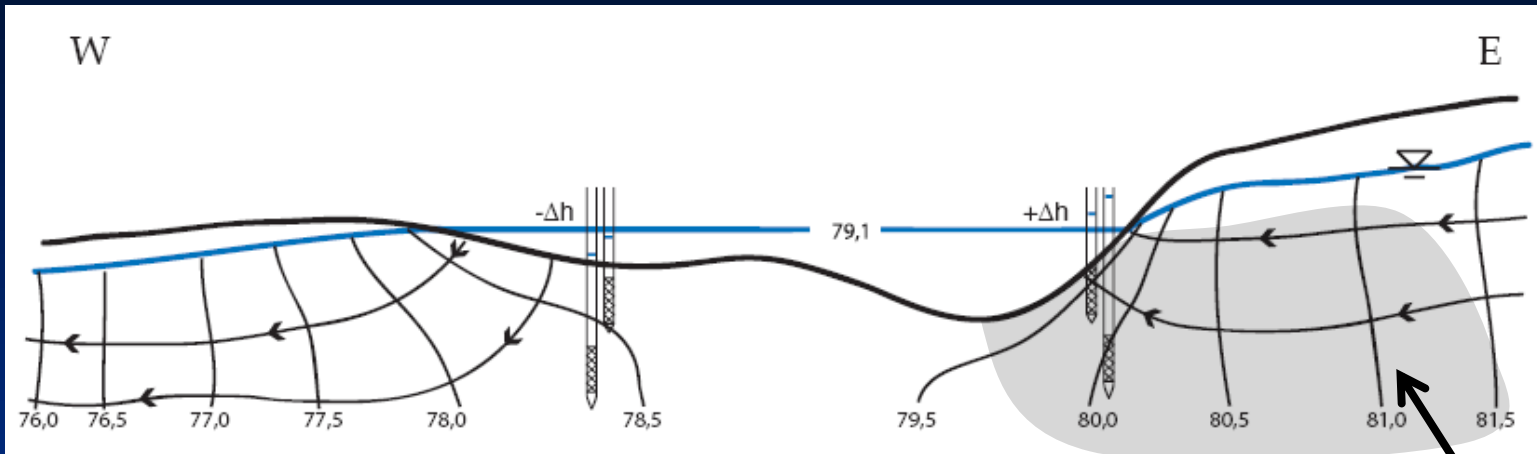
H<sub>2</sub><sup>16</sup>O: Mest af denne (**let**)

H<sub>2</sub><sup>17</sup>O: Næsten ingen ting af denne

H<sub>2</sub><sup>18</sup>O: Meget lidt af denne (**tung**)

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

# $\delta^{18}\text{O}$ som tracer (grundvands-dominerede søer)



- Darcy metode (Usikker;  $\Delta h$ ,  $K$ , dynamisk)
- Tracer metode (fx.  $\delta^{18}\text{O}$ ; ligevægt)

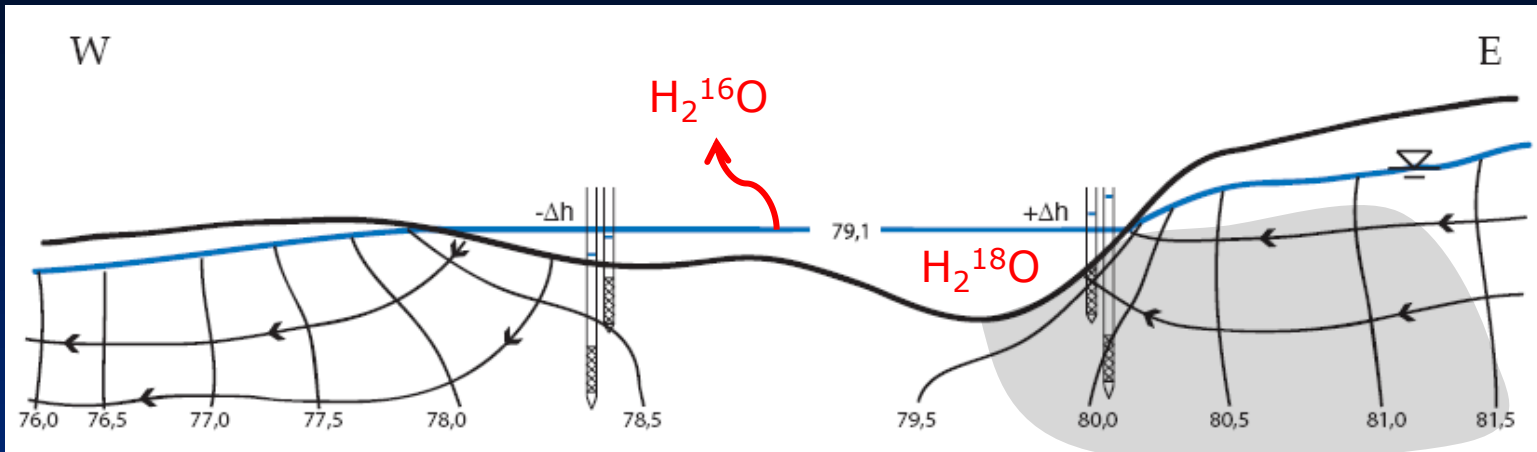
**Dybere grundvand i DK**  
 $\sim -8.0 \text{ ‰}$

= årsmiddel i nedbør



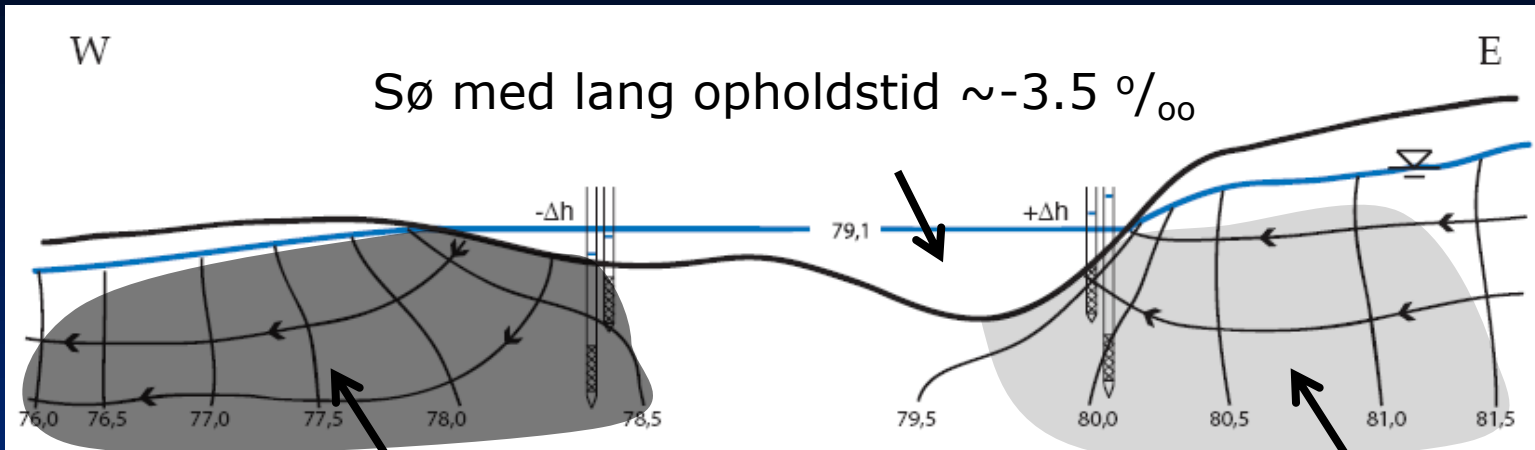
- Hvor fra?
- Hvor gammelt?
- Hvor meget?

# $\delta^{18}\text{O}$ som tracer



- Fordampning  $\rightarrow$  Fraktionering
- $^{16}\text{O}$  er lettere og forlader søen nemmest
- $^{18}\text{O}$  er tungere og bliver nemmest i søen
- $\rightarrow \delta^{18}\text{O}$  i søen bliver højere (mindre negativt)
- Søens opholdstid afgør  $\delta^{18}\text{O}$

# $\delta^{18}\text{O}$ som tracer



Sø → grundvand  
 $\sim -3.5 \text{ ‰} \rightarrow -8.0 \text{ ‰}$

Dybere  
grundvand i DK  
 $\sim -8.0 \text{ ‰}$

- Kontrast mellem sø- og grundvandssignal afgørende
- Jo større opholdstid ( $T = \text{Vol}/Q$ ), jo større kontrast

# Tvorup Hul i Thy: En grundvands-domineret og humusbelastet sø

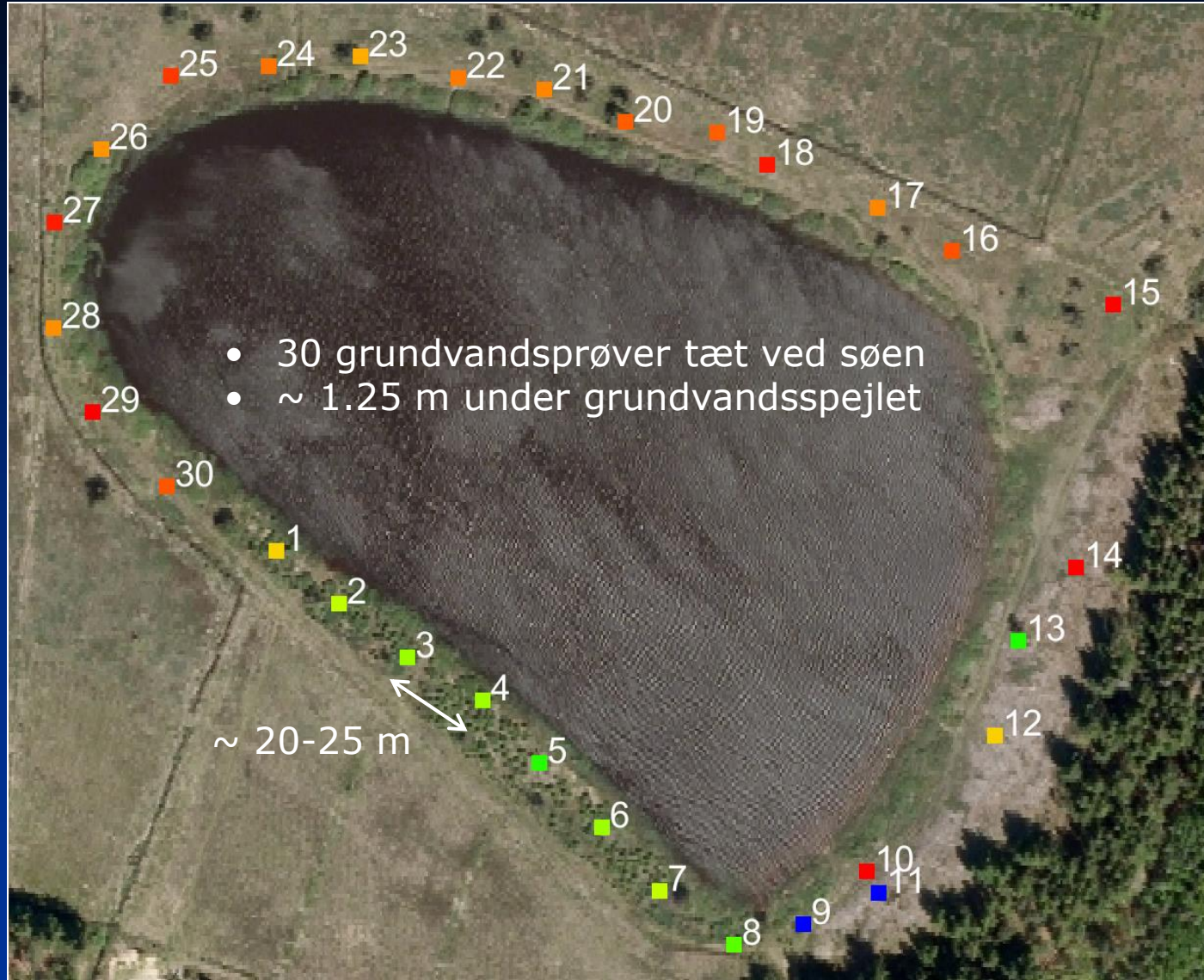


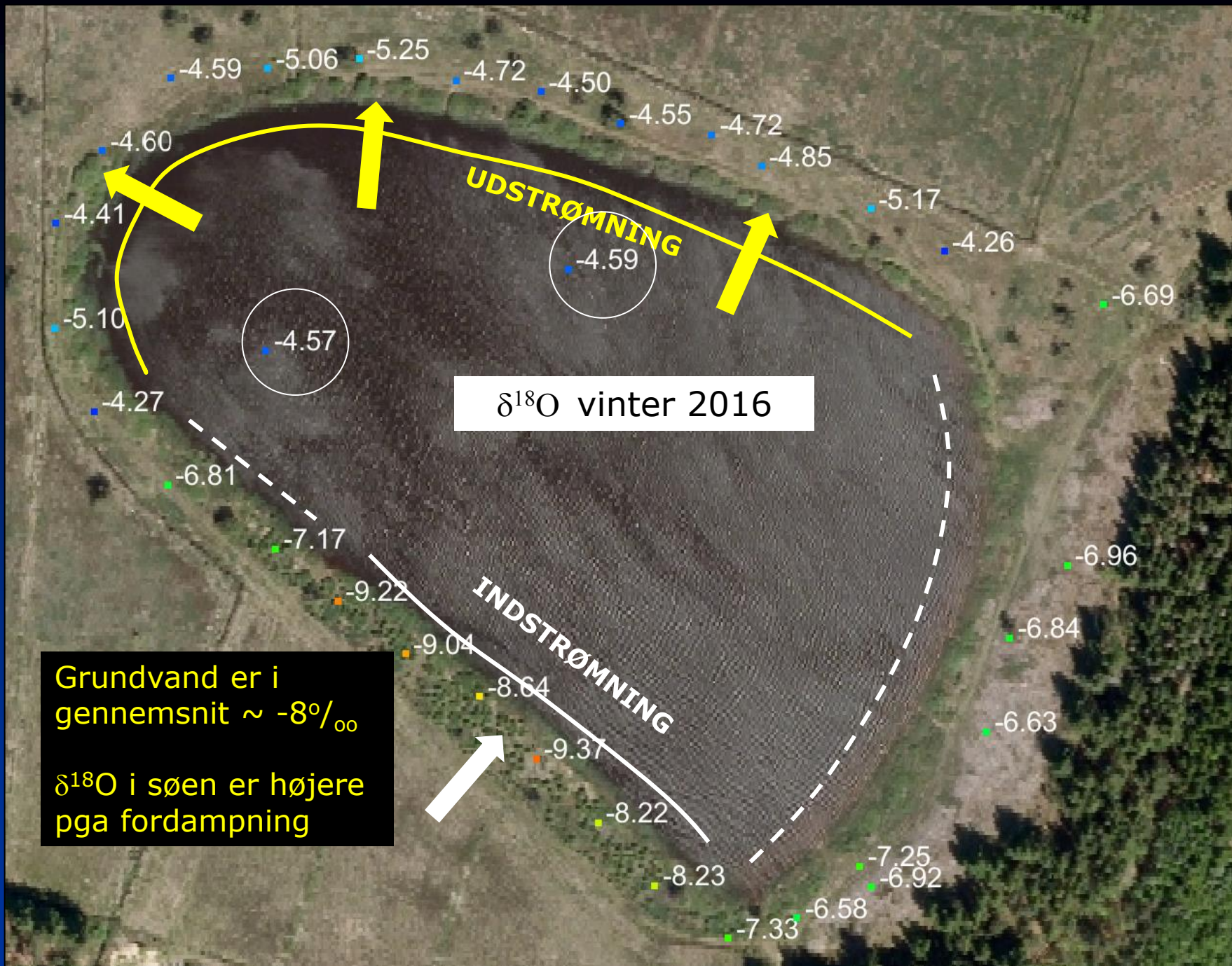
Hvordan dirigeres  
humus-belastet  
grundvand væk fra  
søen?

- 4 ha
- Flyvesand/kalk

Fotos: Theis Kragh/Ole Pedersen (BIO/KU)

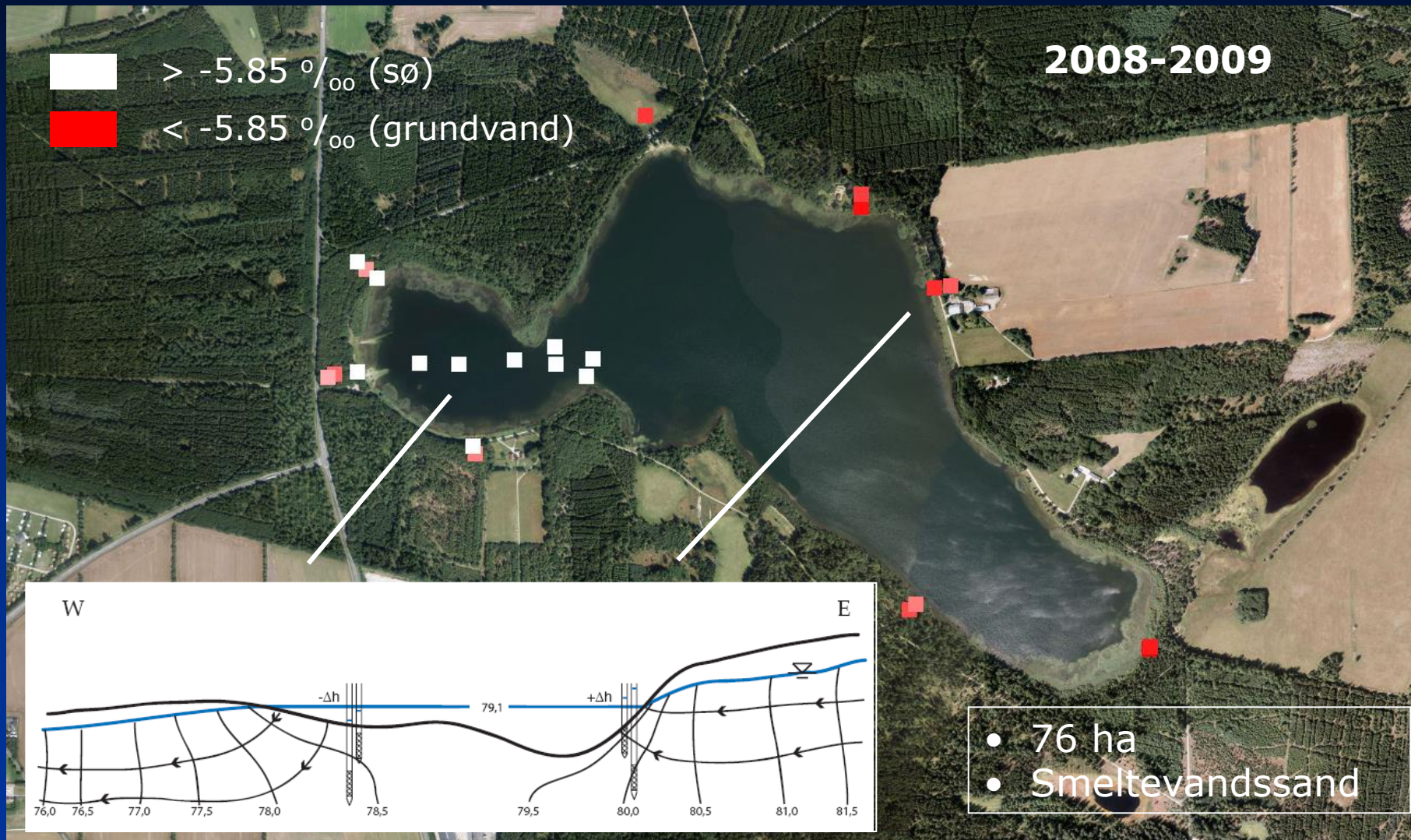
# Udveksling kortlagt med $\delta^{18}\text{O}$



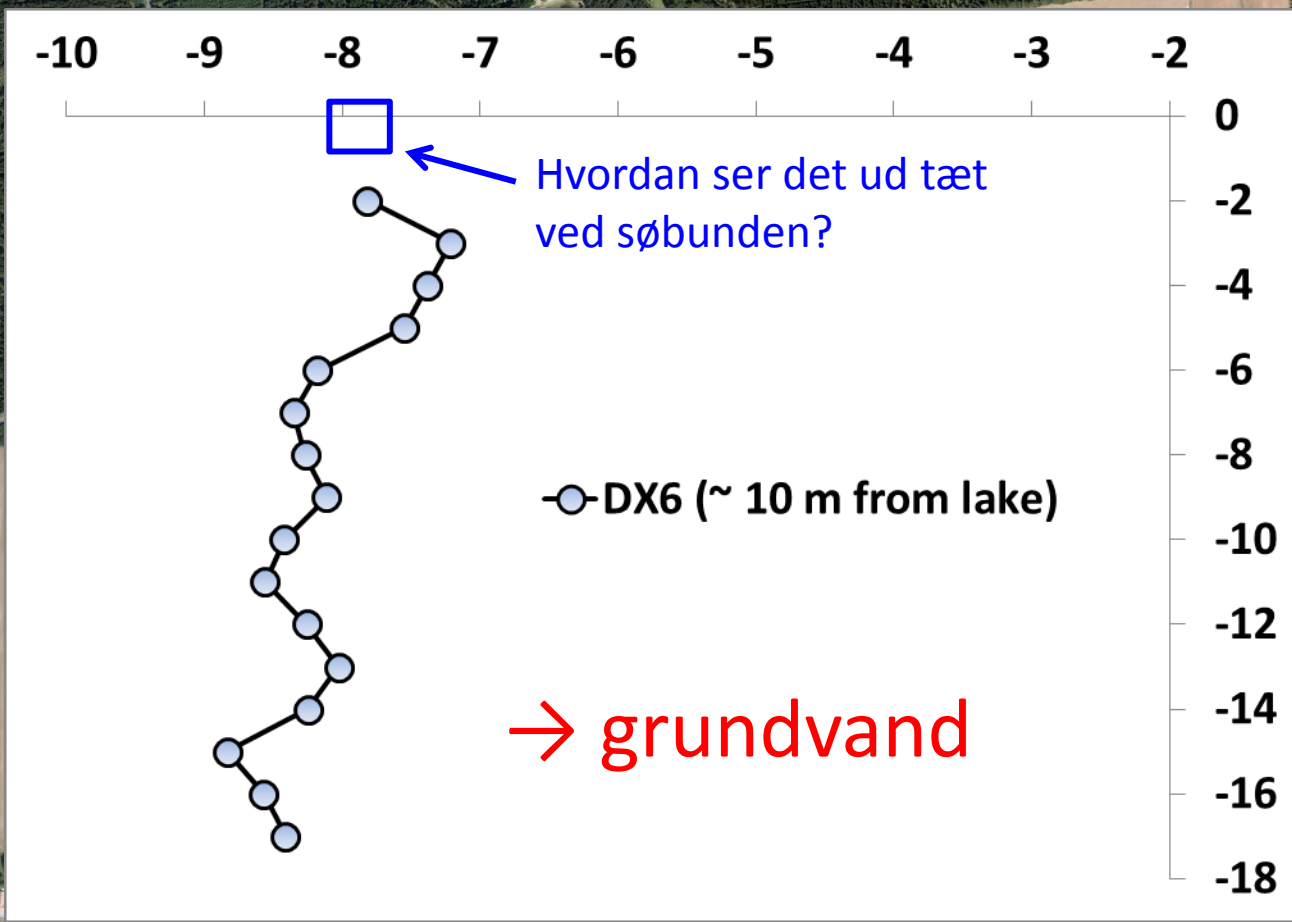




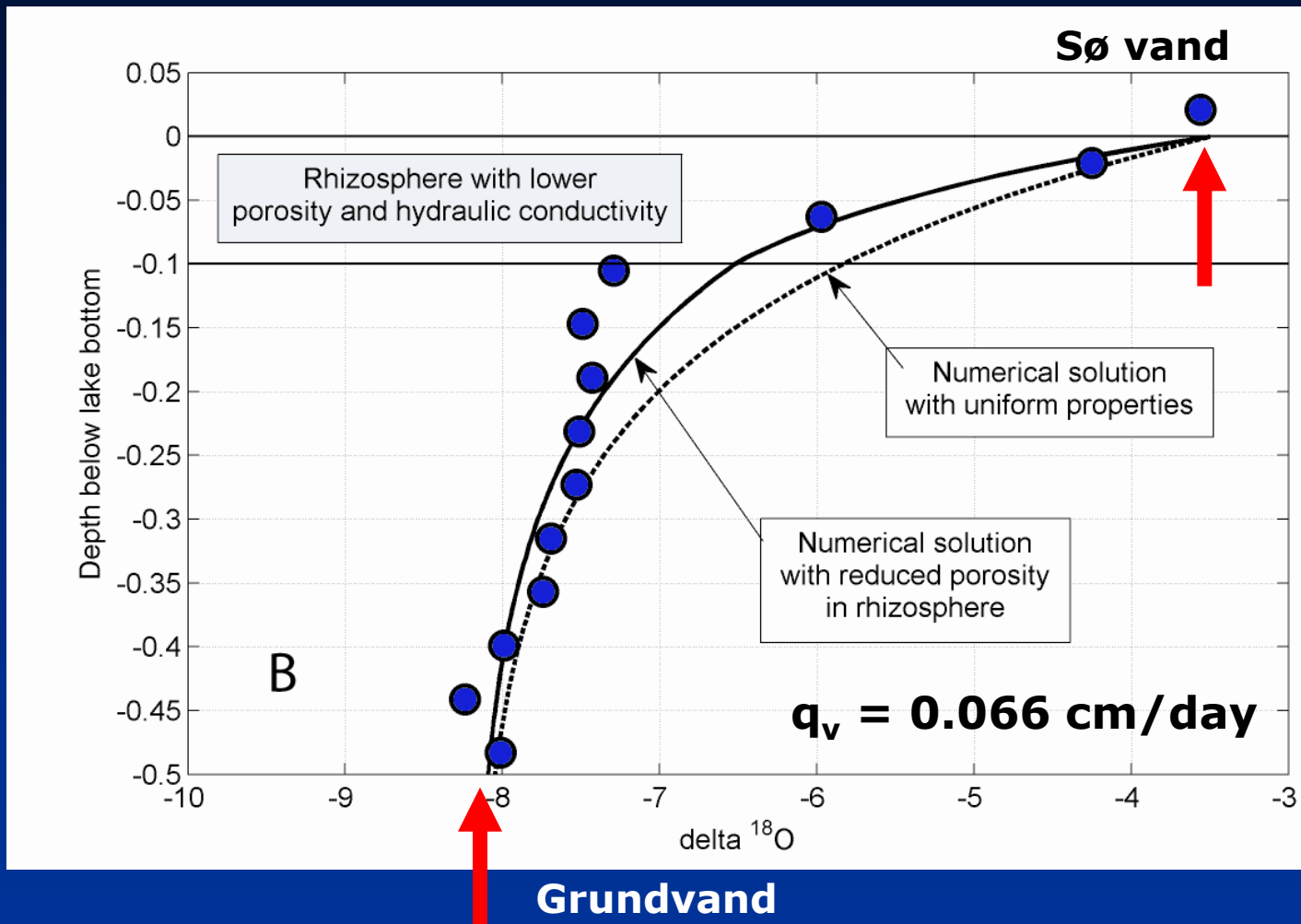
# Hampen Sø i midt-jylland: En grundvands-domineret og N-belastet sø



$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$



# 1D model af $\delta^{18}\text{O}$ profiler (diffusionssampler)



# Udsivning fra søen

500 m



NH

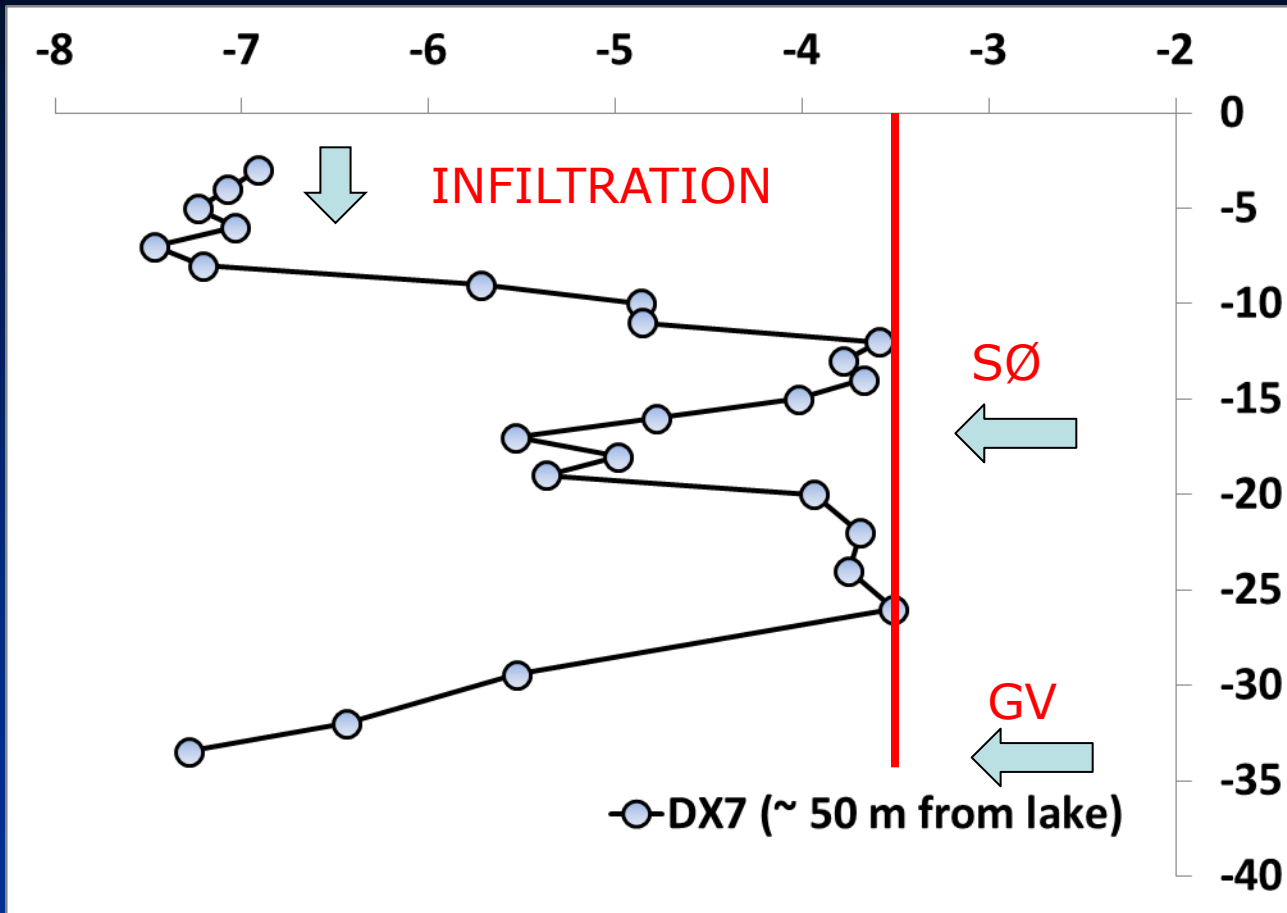


DX7



# DX7

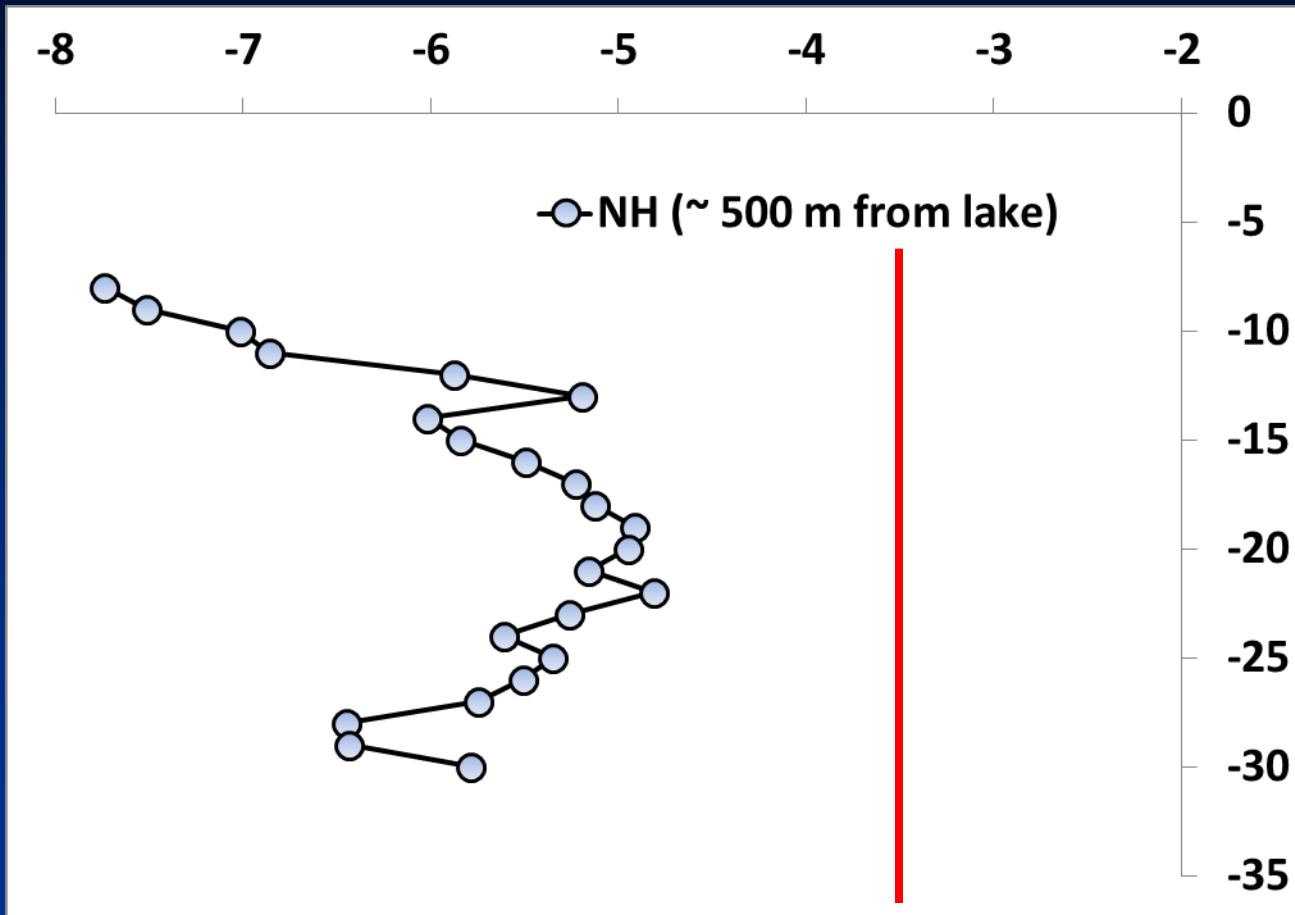
$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$



Meter under terræn

# NH

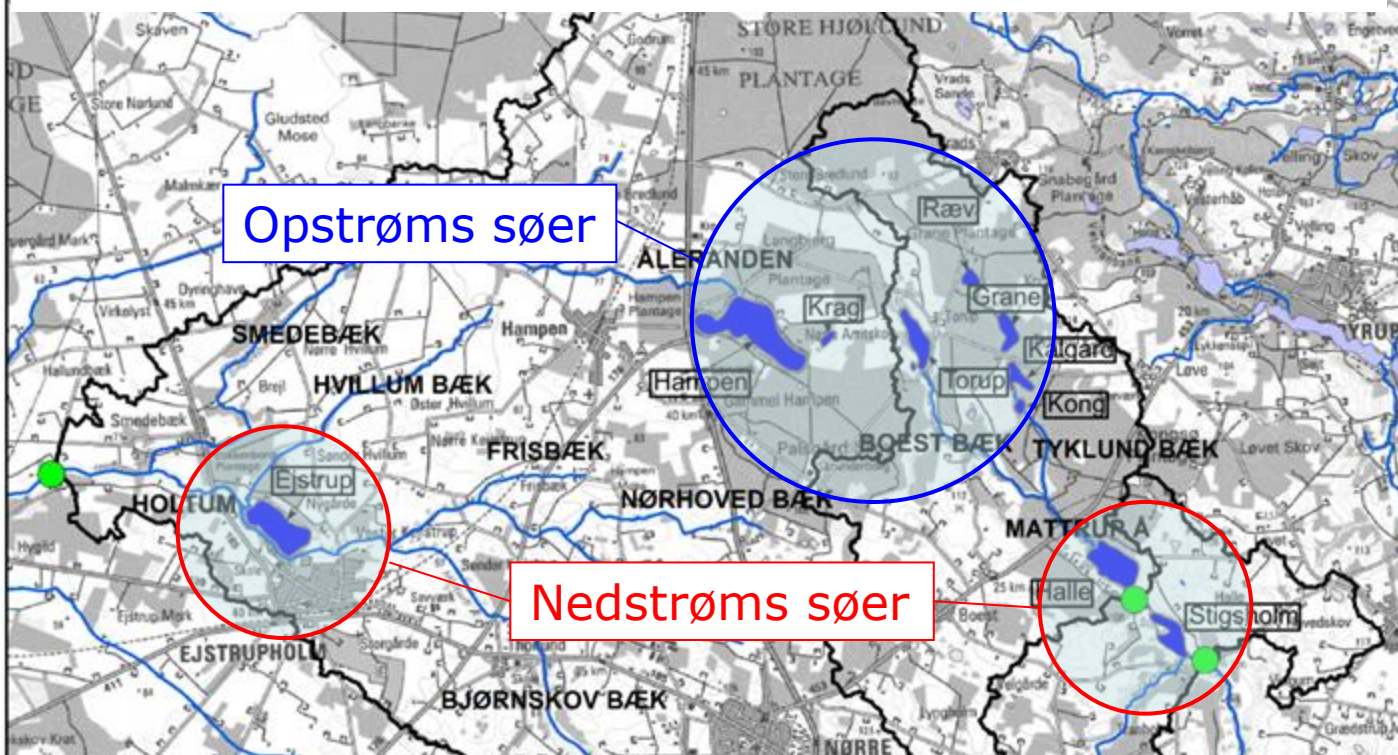
$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$



Meter under terræn

# Kan $\delta^{18}\text{O}$ måle søers opholdstid?

1. Alle søer målt hver måned i 1 år  $\rightarrow \delta^{18}\text{O} + \sigma$

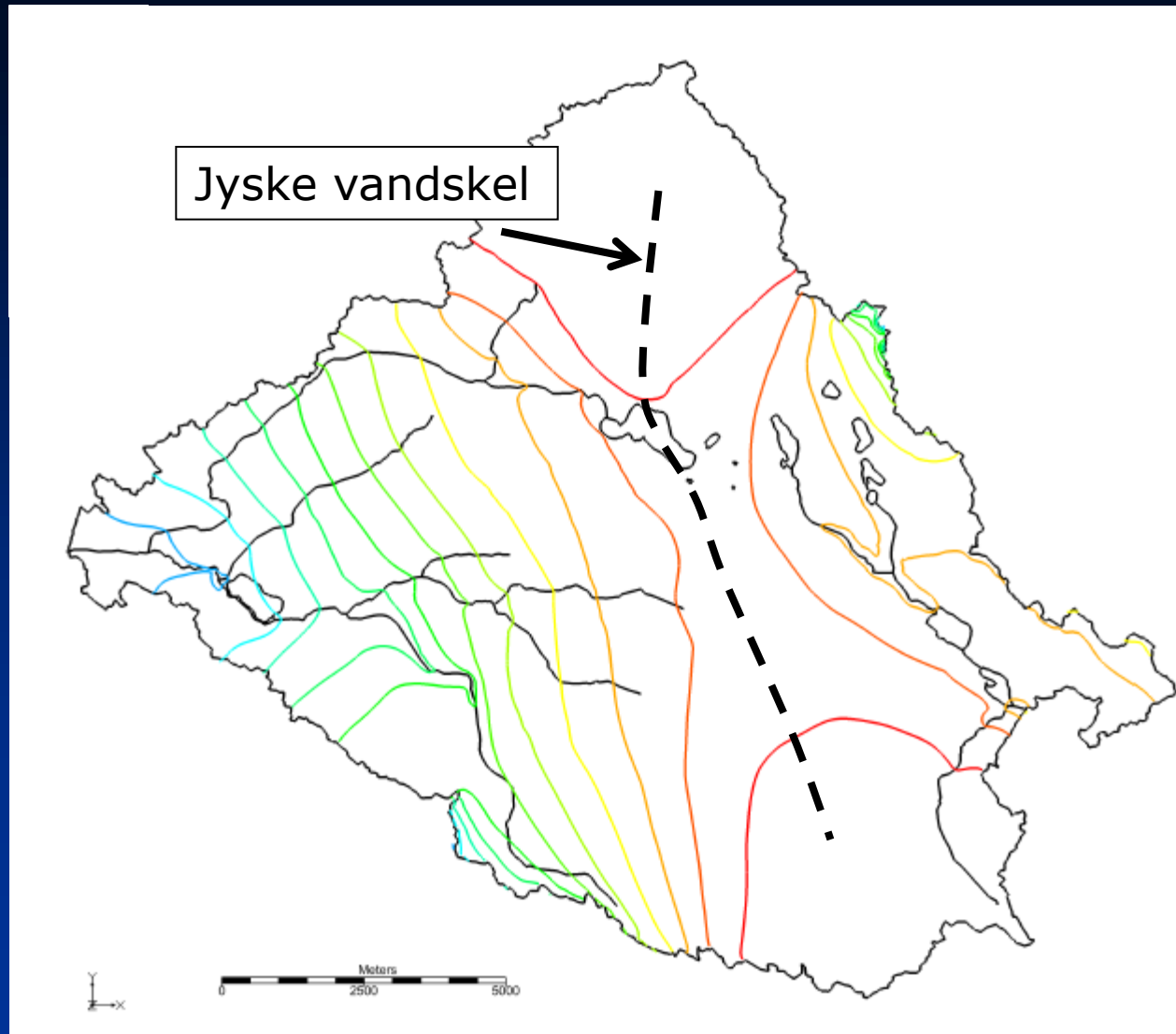
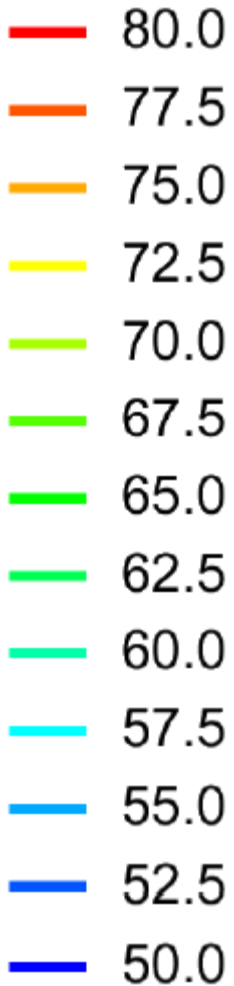


2. Grundvand +10 sø-model  $\rightarrow T$  (opholdstid)

- Modflow + 10 LAK3 søer
- 326 h-data, 2 Q-data, 10 sø-vandstande
- PEST

# Grundvandsspejl (simuleret)

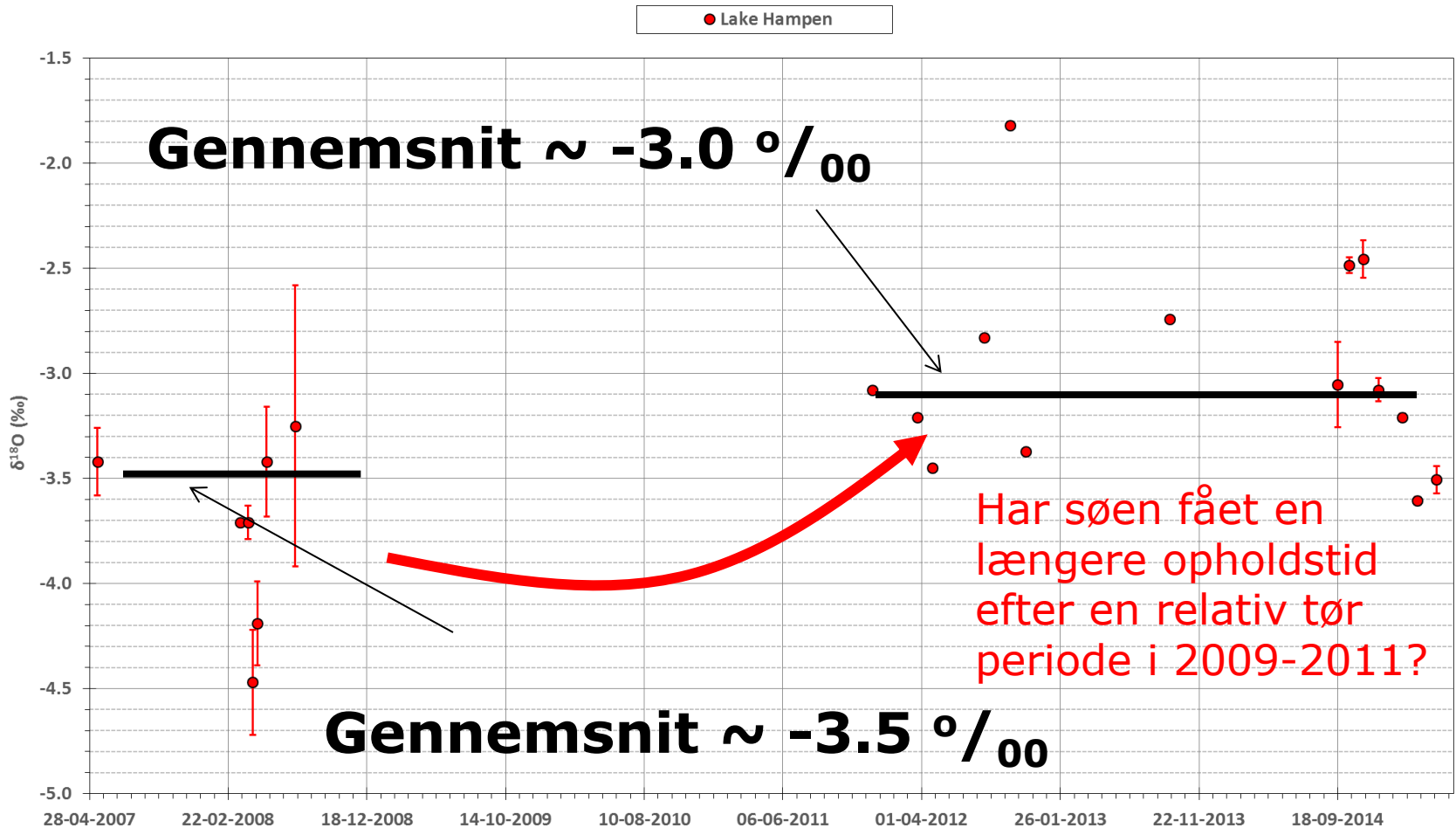
Head



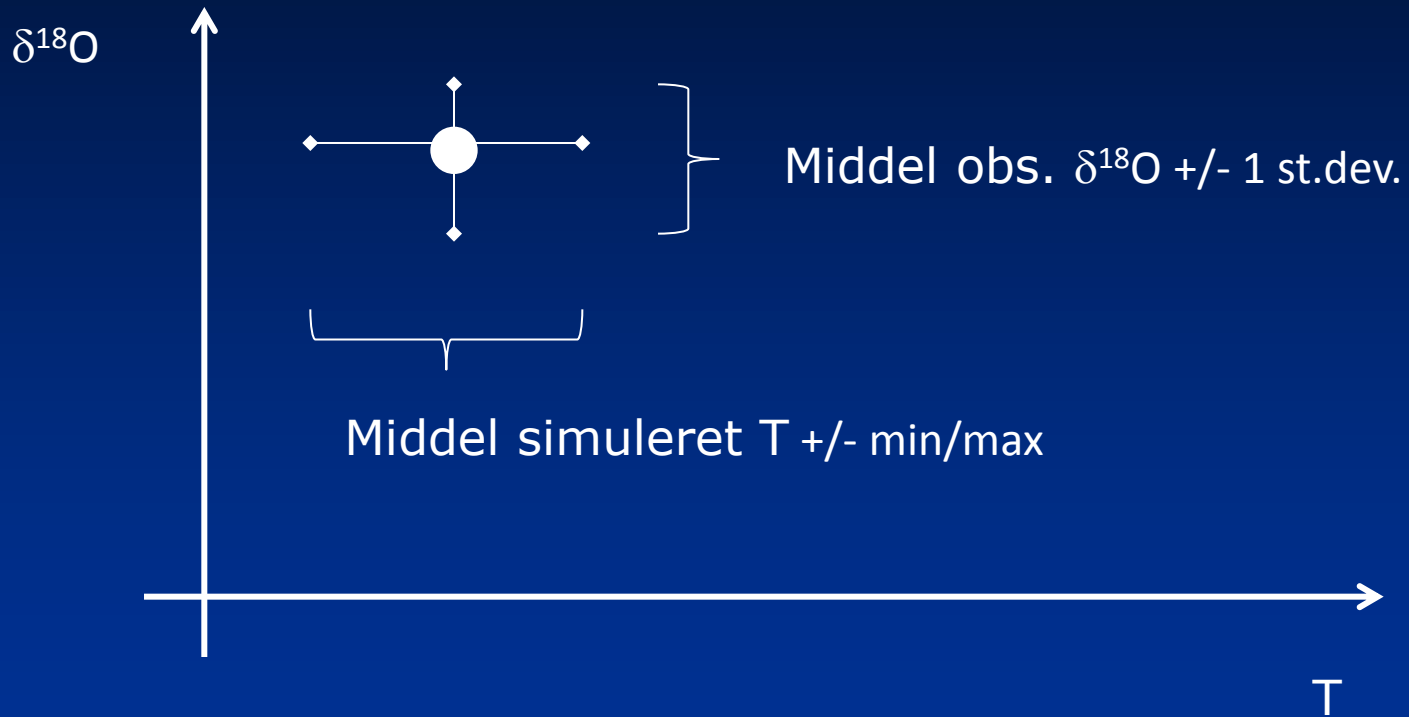


# $\delta^{18}\text{O}$ tidsserie for Hampen sø

Lake samples, monthly  $\delta^{18}\text{O}$  (discontinuous) [2007-2015]

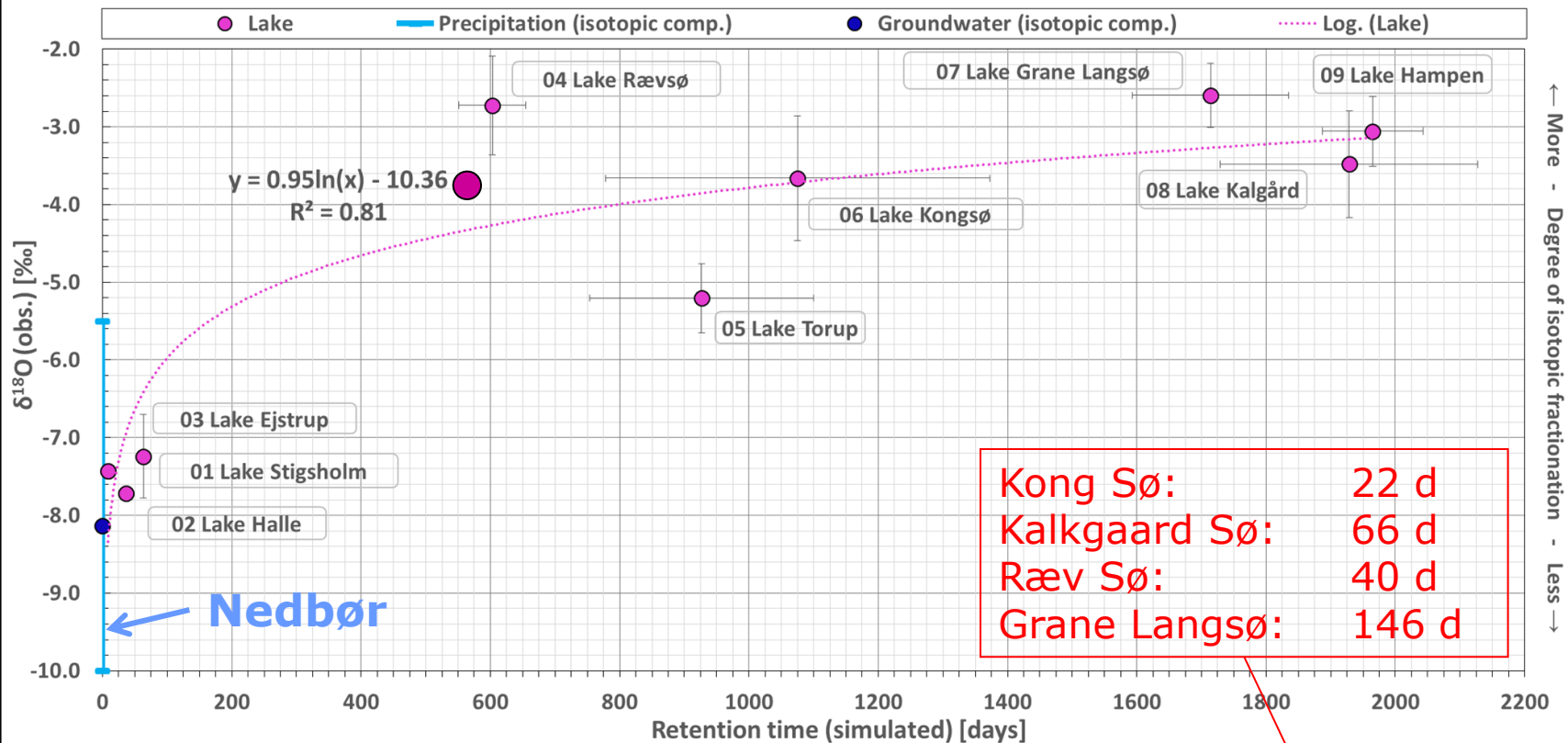


# $\delta^{18}\text{O}$ vs opholdstid (T) plot



# $\delta^{18}\text{O}$ vs. opholdstid

Retention time of lake water (sim.) vs.  $\delta^{18}\text{O}$  (average of obs. time series [2014-2015])



$\delta^{18}\text{O}$

Opholdstid, dage

Oprindelige estimater

# AFRUNDING

- $\delta^{18}\text{O}$  er en robust tracer
- Nem at prøvetage
- Kortlægning – estimering af flux
- Monitering (søger som '*Sentinels*')

# TAK

## Hampen Sø:

- Jakob Kidmose, Sachin Karan, Bertel Nilsson, GEUS

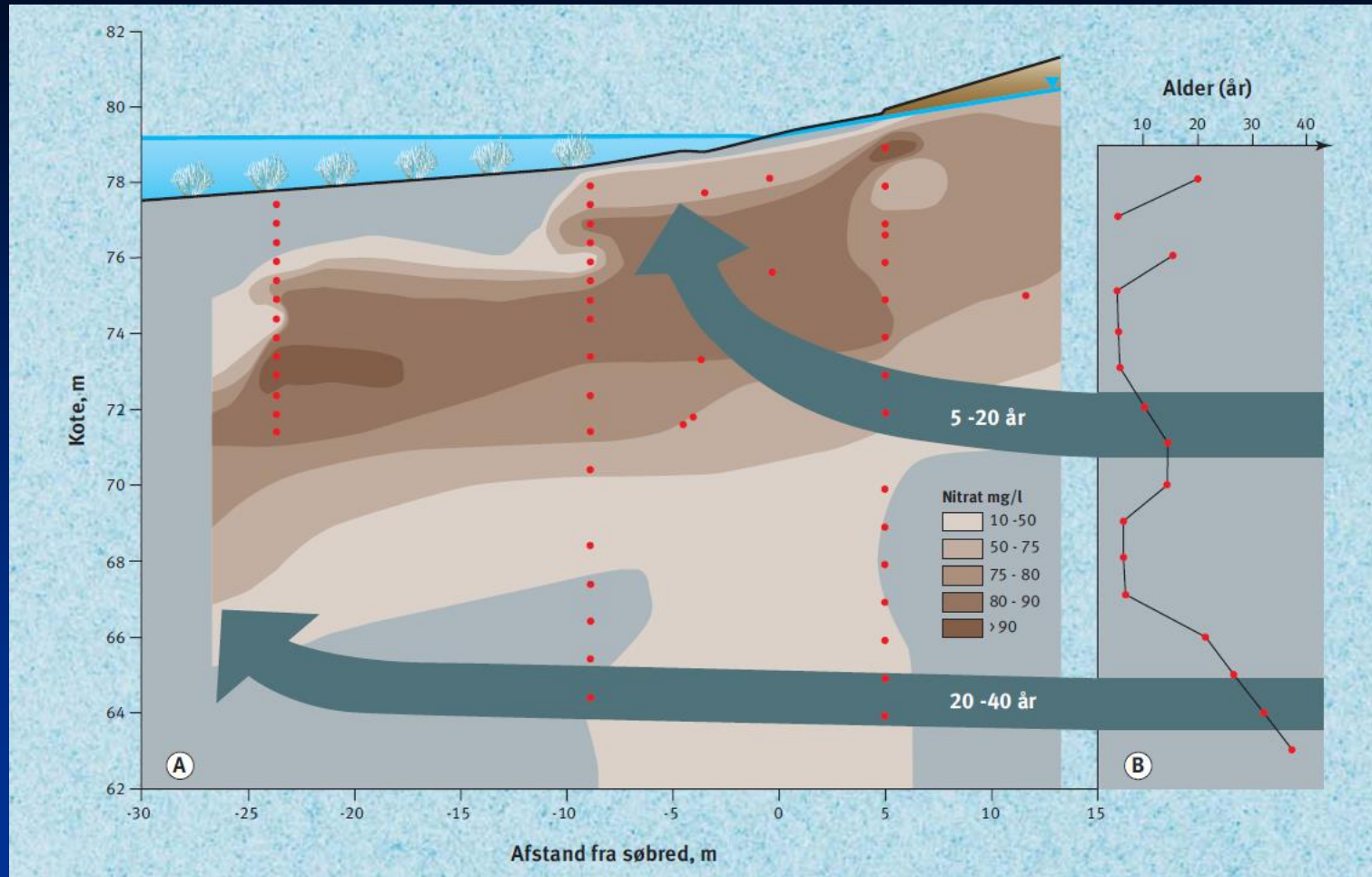
## Holtum og Tingdal søerne

- Tidligere specialestuderende Trine Enemark, Thomas Lübbers, IGN/KU

## Tvorup Hul/Thy

- Emil Kristensen, BIO/KU, Ingeborg Solvang og Mads Steiness, IGN/KU

# Nitratfane ind under søen



Aerobe forhold – ingen/lille nedbrydning