

# Reservoirernes temperatur

Niels Balling

Med bidrag fra

Sven Fuchs  
Søren Erbs Poulsen  
Thue Bording  
Søren Bom Nielsen  
GEUS

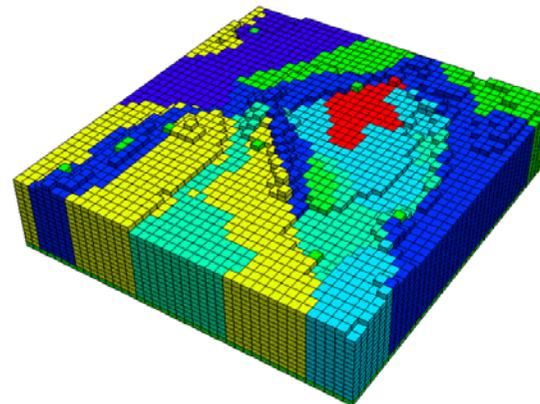


# Information om undergrundens temperatur

- Målinger i borehuller



- Indirekte fra
- computer-modeller



# Temperatur-logging i Sønderborg



Eget udstyr i  
Institutbil

Præcision  
0.01 °C



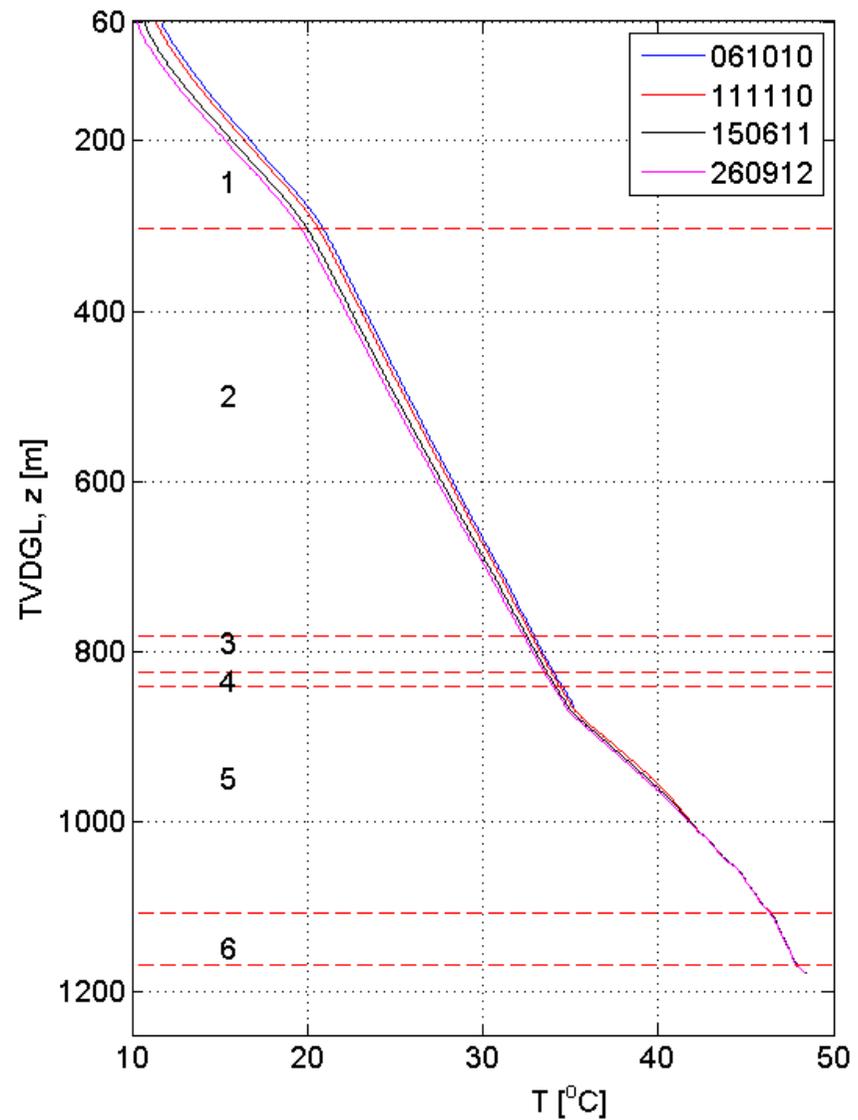
# Sønderborg

Sønderborg 1/1A  
Oktober 2010- september 2012

Gassum reservoir: 46,2 - 47,7 °C  
(1103 - 1159 m)

Gns. gradient: 34 °C/km  
til Gassum

28 °C/km  
til 2402 m; 76 °C



# Målte temperaturer

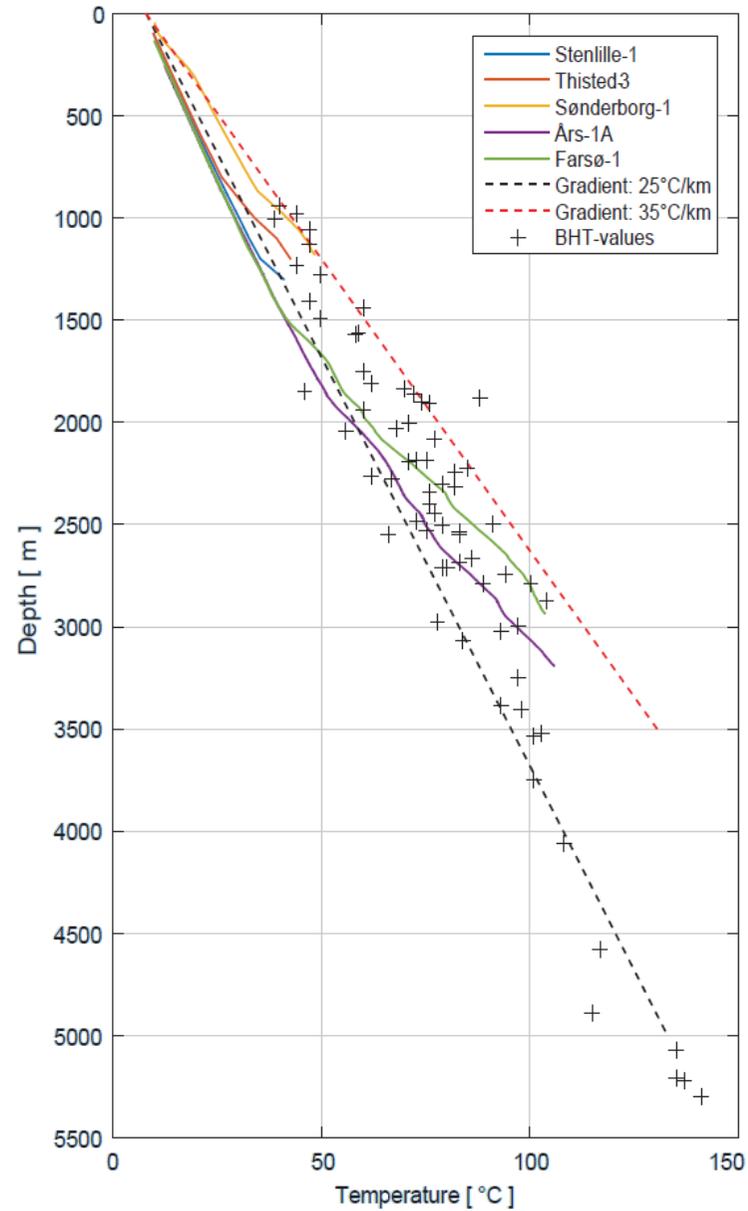
Alle data

- Nøjagtige temperatur logs
- Korrigeret BHT

Gns. temperatur-gradienter

Dybde > 1000 m

20 - 35 °C/km



# Temperaturmodellering

Flere regionale modeller  
siden de første  
tilbage fra omkring 1980

Ny 3D model  
fra DSF-støttet projekt



# Termisk modellering

## Varmeligningen

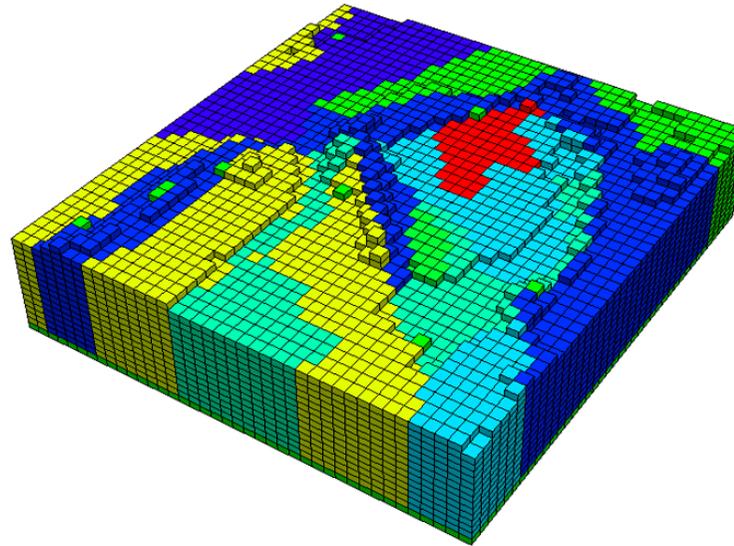
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = -A$$

Temperaturen findes som numerisk løsning af varmeligningen i 3D

Der kræves kendskab til

- varmemestrøm,
- varmeledningsevne og
- varmeproduktion

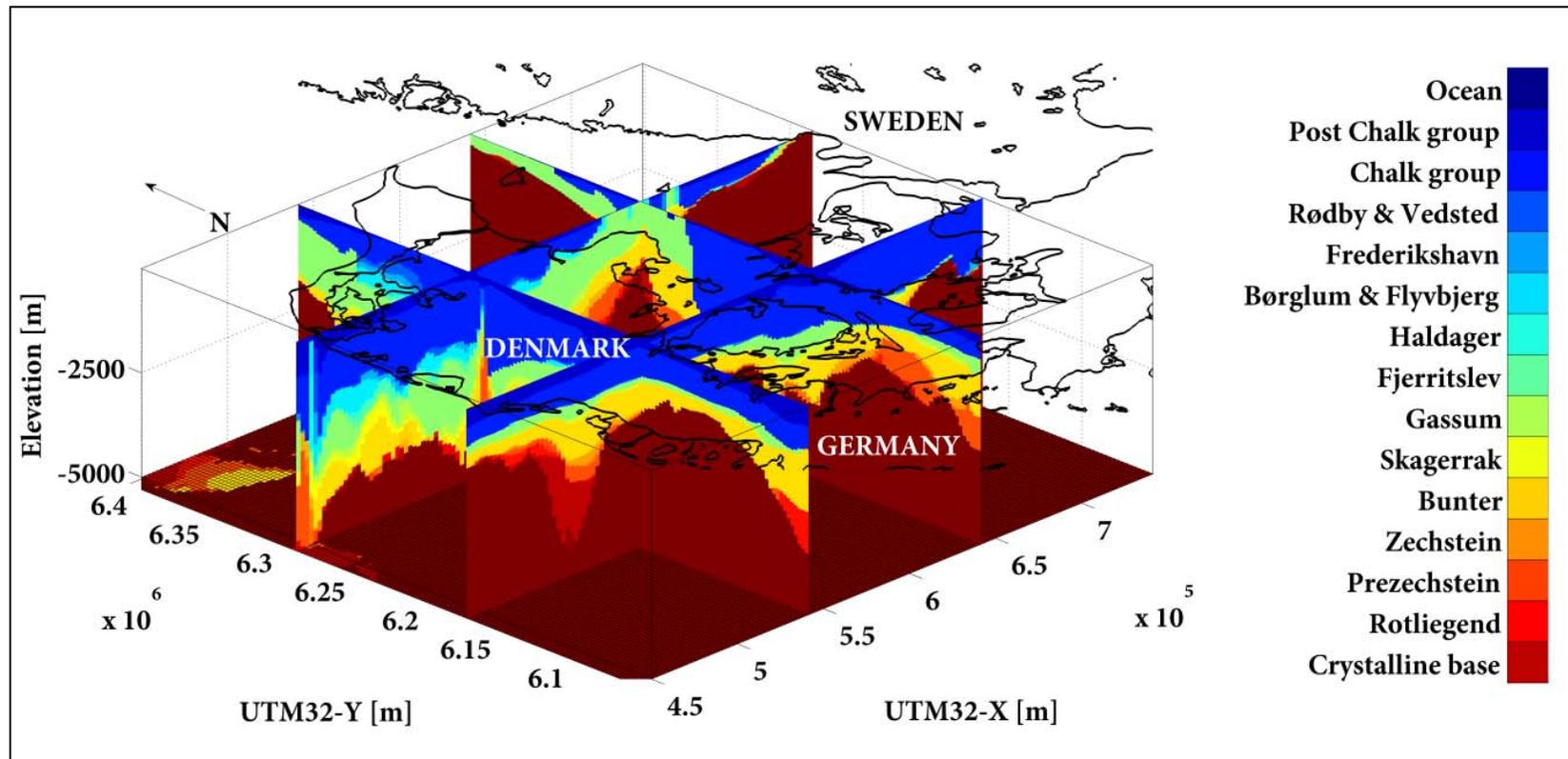
$$T(x, y, z = 0) = T_s(x, y, t)$$



$$k \frac{\partial T}{\partial z} (x, y, z = L) = Q_b(x, y)$$

# Geologiske data fra GEUS

## Boringer og seismik



# Eksempler

Konstant dybde

2000 m

3000 m

Geotermisk reservoir

Gassum

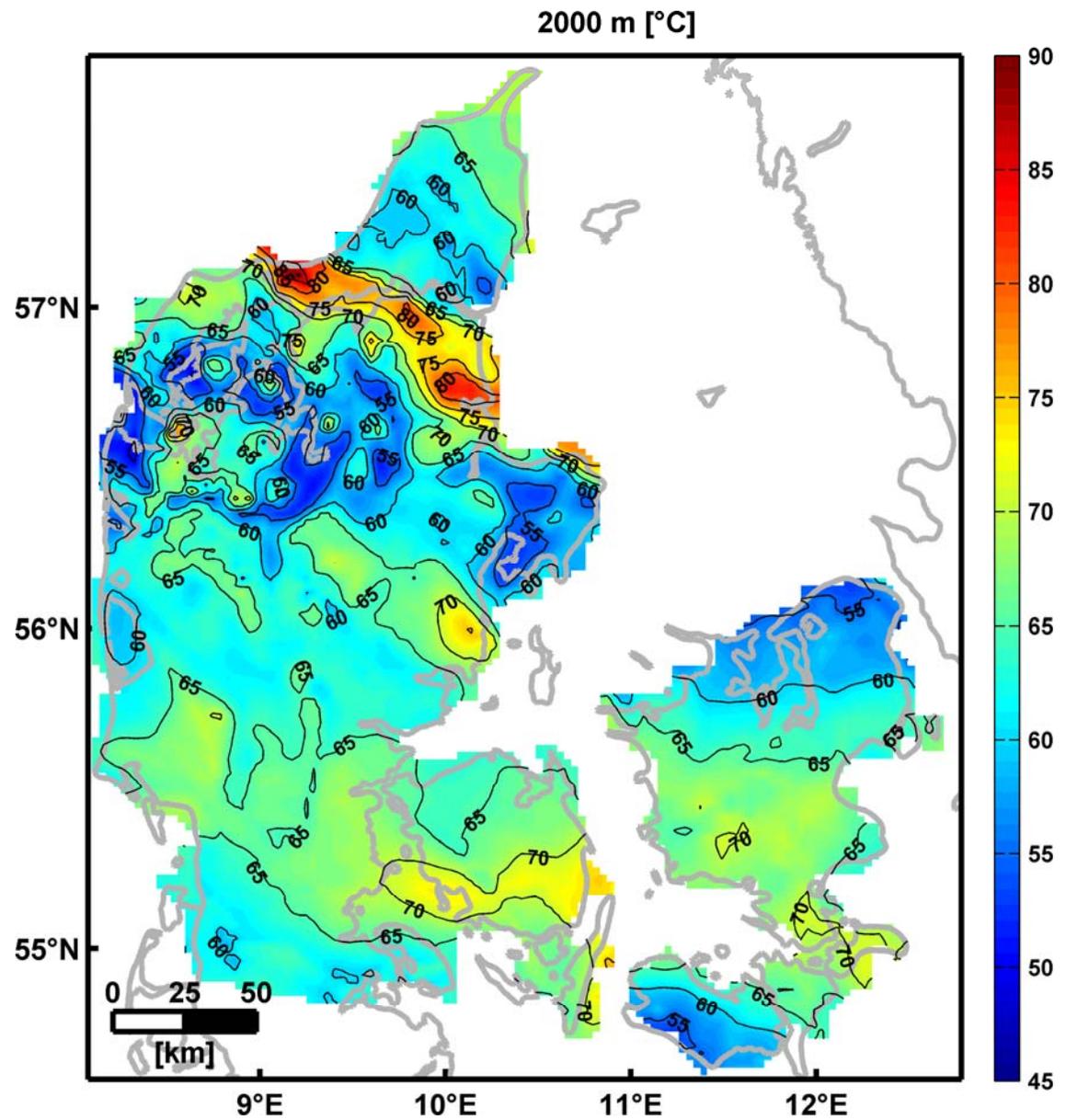
Temperatur-dybde profiler



Dybde 2000 m

Typisk: 60 - 65 °C

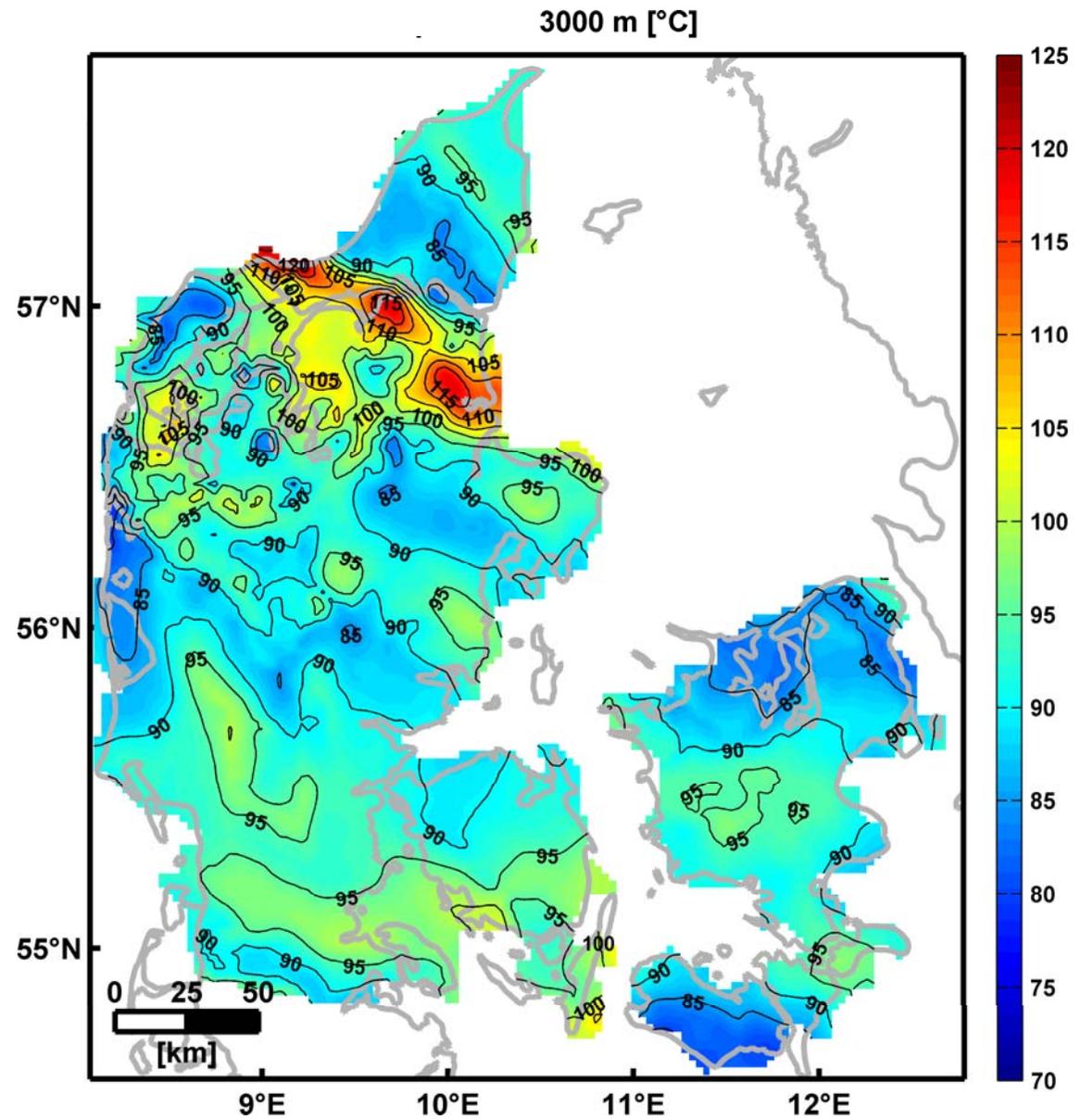
Interval: 55 - 85 °C



Dybde 3000 m

Typisk: 90-95 °C

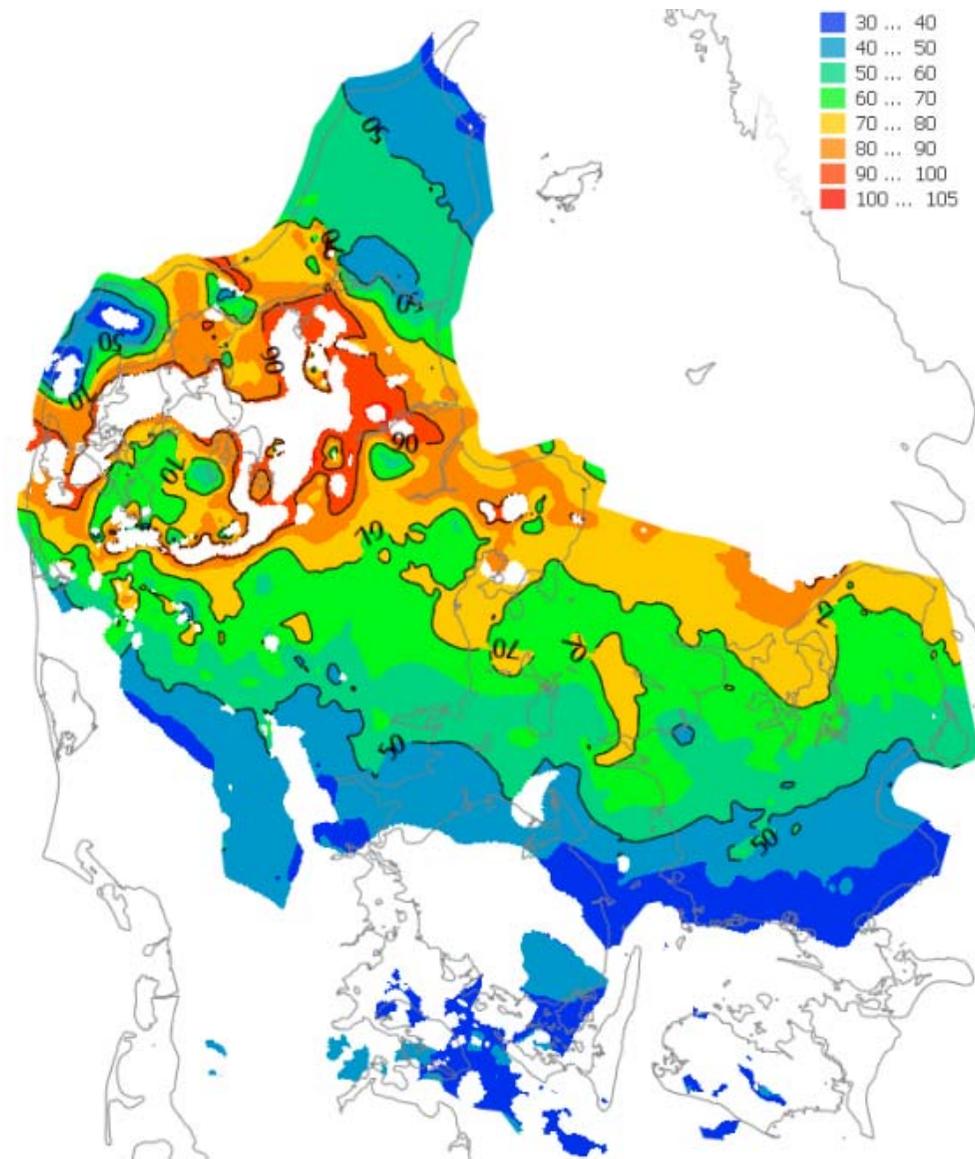
Interval: 85 – 120 °C



# Gassum reservoir

Dybde 800- 3000 m  
Min. tykkelse 30 m

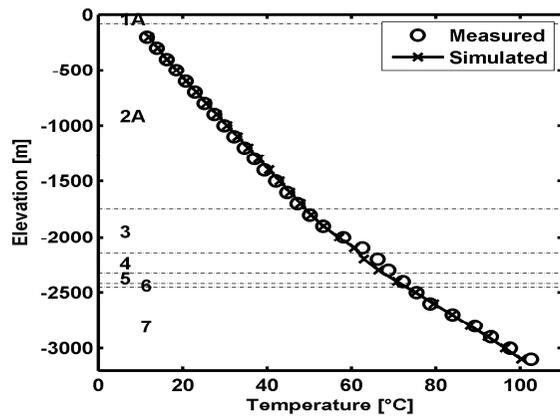
Interval: 30 -100 °C  
Store områder med  
50 – 80 °C



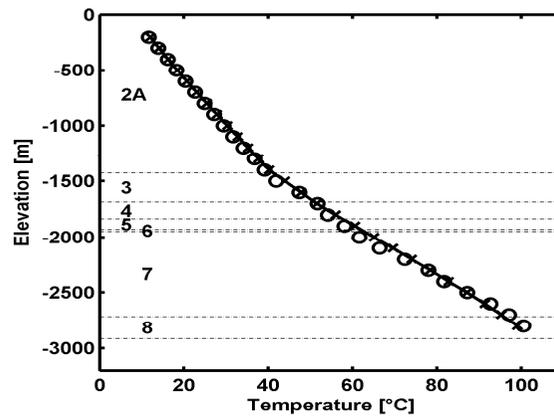
# Målt og modelleret temperatur

## Dybe borer

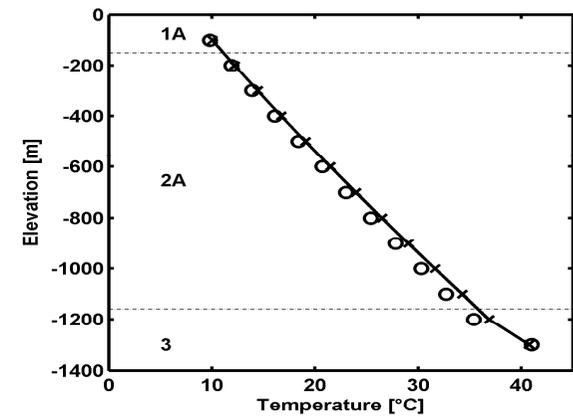
Års-1



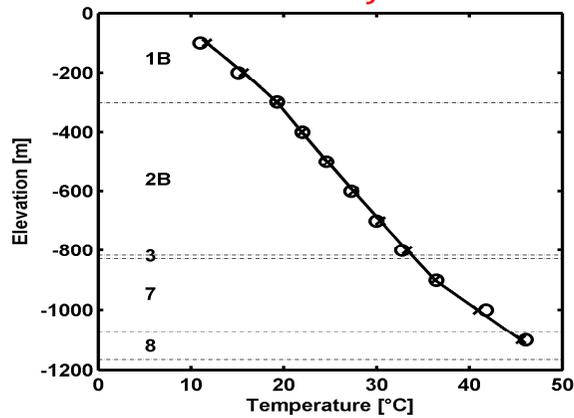
Farsø-1



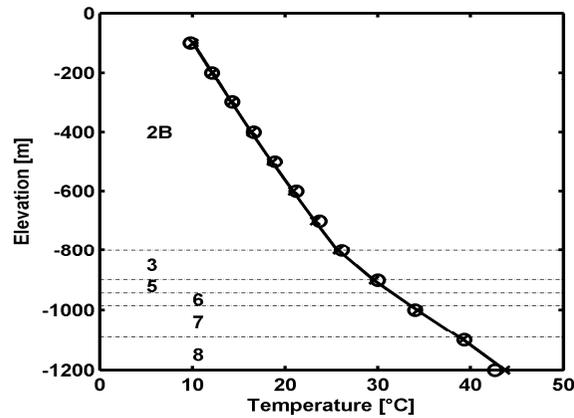
Stenlille-1



Sønderborg-1



Thisted-3



Forskelle: 1 – 3 °C

# Modellering af temperaturudvikling ved udnyttelse



# Fald i temperatur i produktionsboring

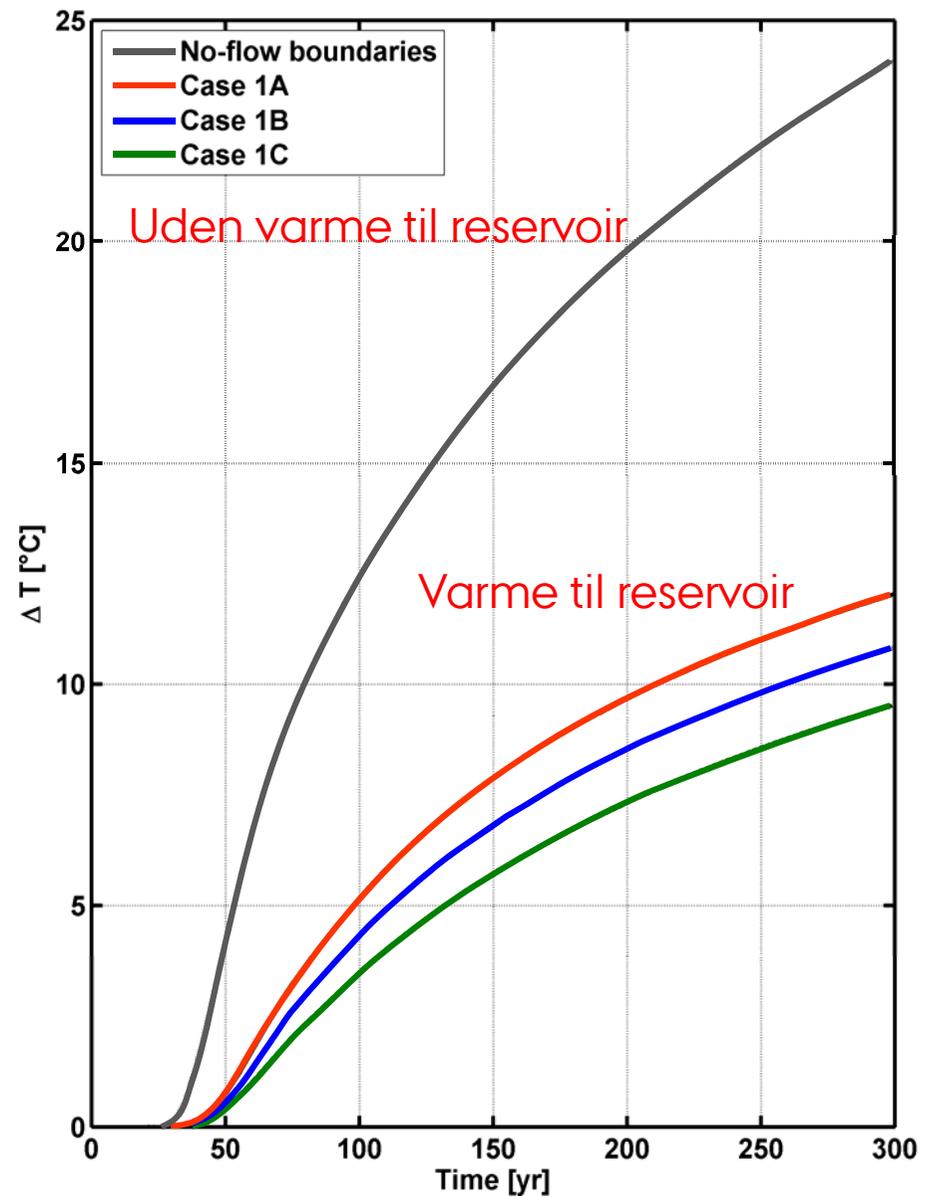
## Model

To boringer – afstand: 1200 m

Produktionsrate: 150 m<sup>3</sup>/t

Temperatur i reservoir: 75 °C

Temperatur-fald, kun 5 -10 °C efter 100-200 år

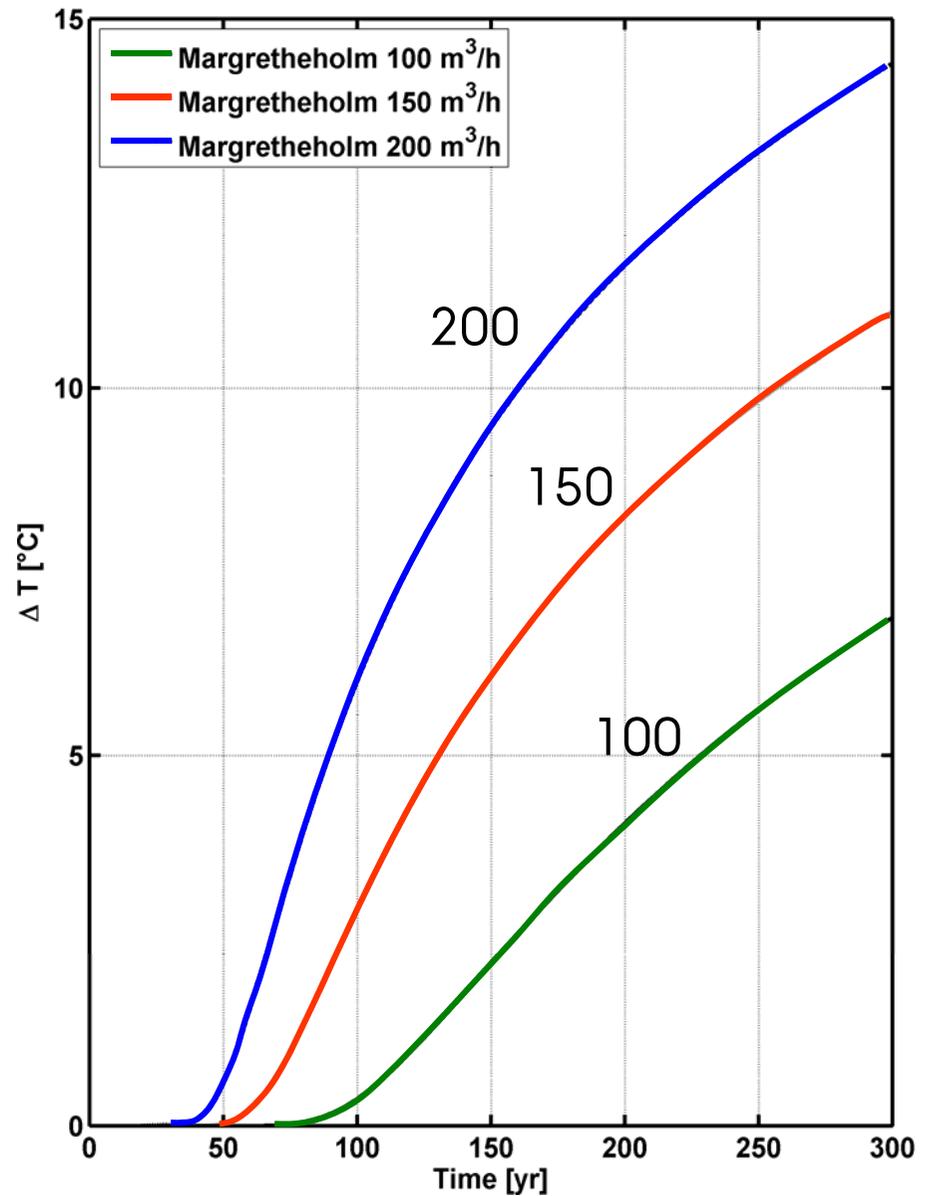


# Margretheholm

Aktuel geologi og termisk struktur

Forskellige produktionsrater

Temperatur-fald på 5 -10 °C efter 100-150 år



# Kort sammenfatning

- Meget god, detaljeret 3D termisk model for den danske undergrund
- Gode estimater for temperatur i geotermiske reservoirer (+/- 5 -10 %)
- Modelling viser, at reservoir-systemer har meget lang termisk levetid



# Litteratur

Balling, N., Bording, T.S., 2013. Temperatur, temperaturgradienter og varmeledningsevne i den geotermiske boring Sønderborg-1/1A. Forskningsrapport, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.

Poulsen, S.E., Balling, N., Nielsen, S.B., 2015. A parametric study of the thermal recharge of low enthalpy geothermal reservoirs. *Geothermics*, 53, 464-478. (S)

Poulsen, S.E., Balling, N., Bording, T.S., Mathiesen, A., Nielsen, S.B., 2016. Regional-scale subsurface temperature modelling with inverse calibration methodology: application to Danish sedimentary basins. *Geothermics*, submitted.