GEUS

GEOENERGI
Lukkede jordvarmeboringer
-viden, værktøjer og best practice

Temperaturforhold ved overfladen og i jorden

Ingelise Møller (GEUS)

Niels Balling og Thue S. Bording (AU), Giulio Vignoli og Per Rasmussen (GEUS)

Energianlæg baseret på jordvarmeboringer - udvikling af markedsfremmende værktøjer og best practice

Afsluttende workshop 13-11-2014, GEUS, Århus

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Klima- og Energiministeriet

GEOLOGISK INSTITUT
DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET
AARHUS UNIVERSITET

GEUS

EUDP
Energiteknologisk udvikling og demonstration

VIA UNIVERSITY COLLEGE

Den jydske Haandværkerskole

DME
Dansk Miljø- & Energistyring A/S

DONG energy

Brædstrup Fjernvarme

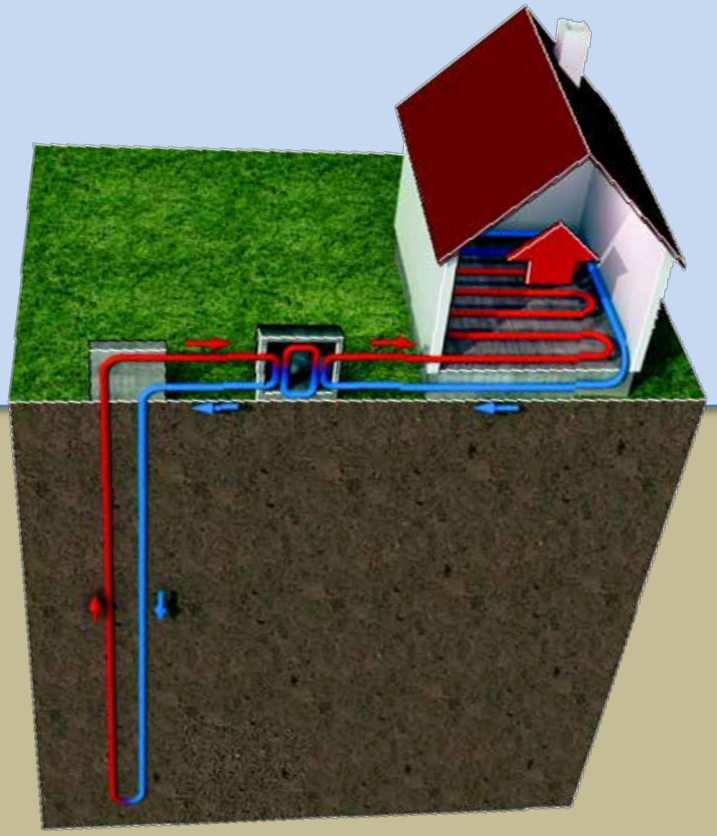
IVT
POWERED BY NATURE

GeoDrilling.dk

Baggrund

Temperaturforholdene i luften

- styrer varmemængder der skal bruges til opvarmning af bygninger

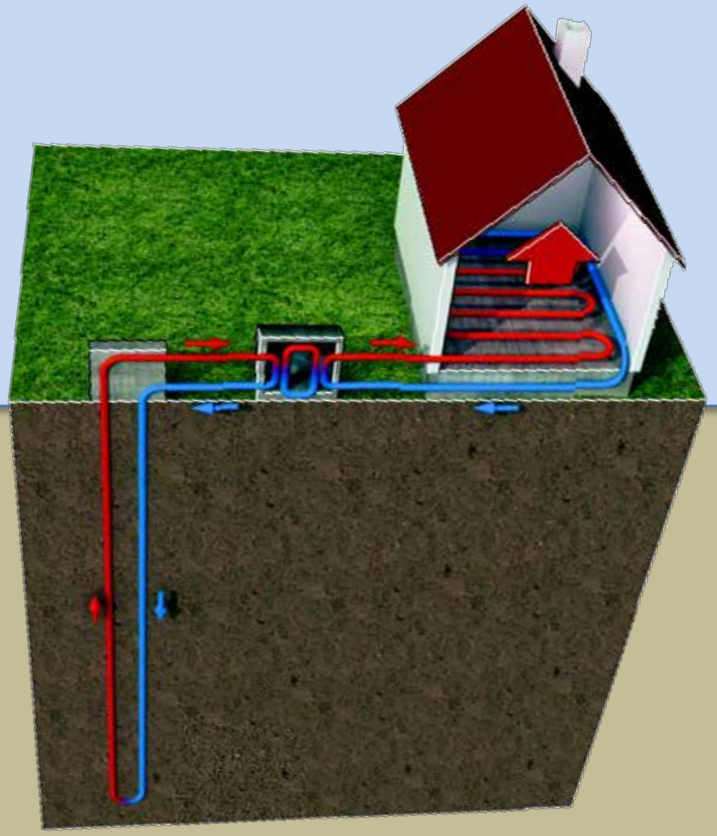


Temperaturforholdene under jordoverfladen og de termiske egenskaber i undergrunden

- styrer hvor meget energi der kan indvindes fra jordvarmeboringer

Formål

Regionale variationer i luft-temperatur belyses ved at analysere DMI's temperaturdata



Temperaturforholdene i de øvre jordlag (<250 m) sammenstilles på baggrund af eksisterende og nye temperaturdata

=> Første landdækkende sammenstilling af temperaturforhold i de øvre jordlag.

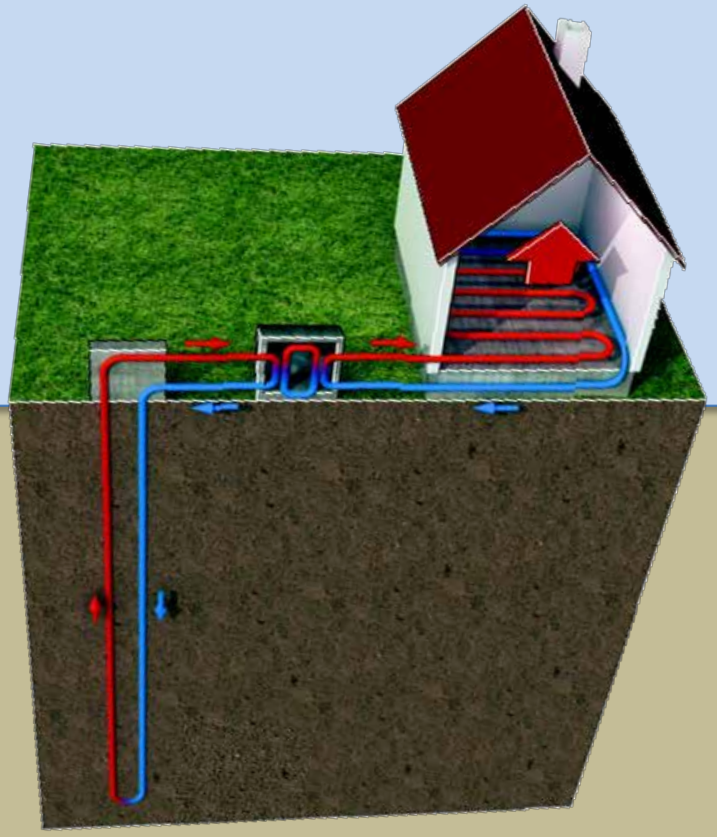
Indhold

Lufttemperatur

- Regionale variationer i sæsontemperatur
- Regionale variationer i opvarmningsbehov – graddage

Temperaturforholdene i de øvre jordlag (> 250 m)

- Datagrundlaget
- Overfladevariationers indtrængning i undergrunden
  (årstidsvariation, klimavariation 150 år)
- Regionale og dybdemæssige variationer i temperatur
- Temperaturgradienter og lithologi



Møller et al. 2014. D9 Temperatur og temperatur-gradienter ved og under jordoverfladen i relation til geologi. EUDP rapport. http://geoenergi.org/xpdf/d9-temperatur_og_temperaturgradienter.pdf

Lufttemperatur – 2 m højde

Sæson

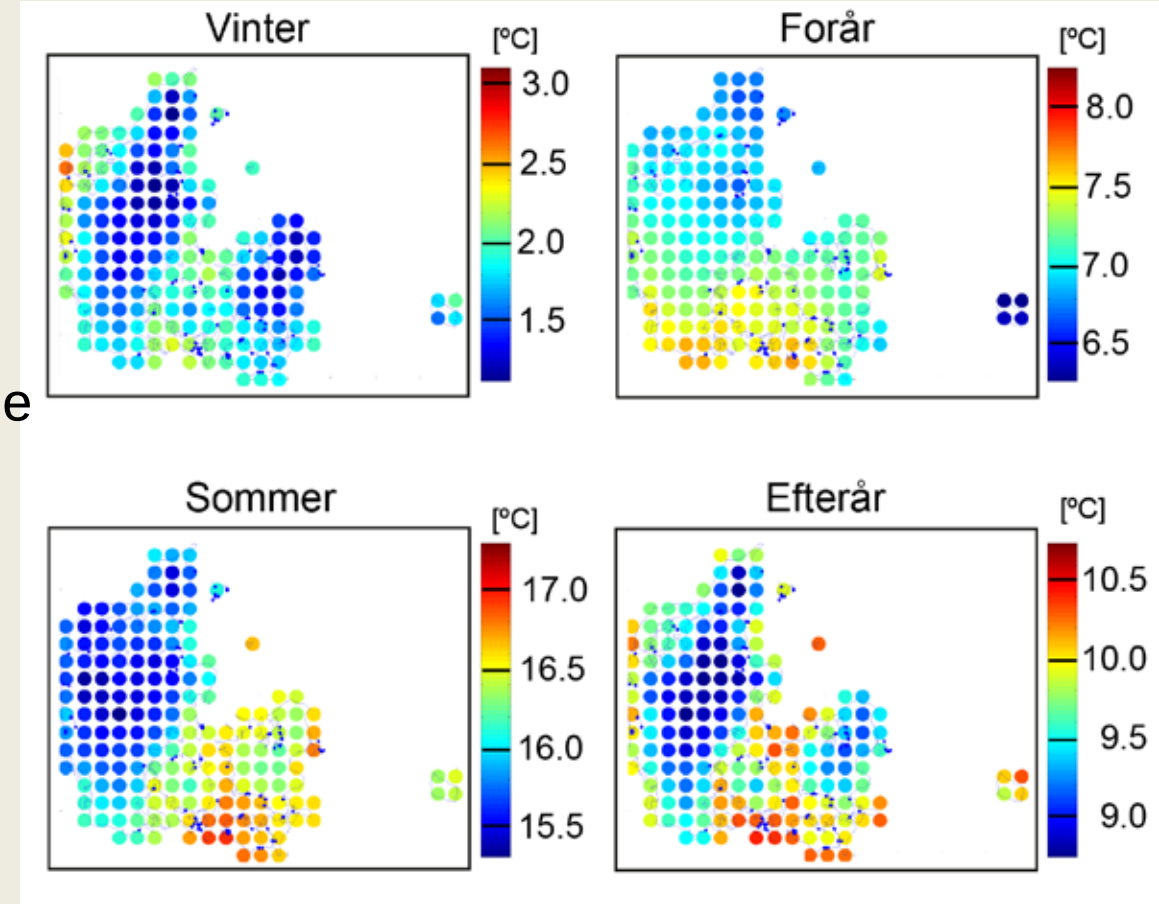
Middeltemperatur

Data fra DMI's klimanet for 1990-2011.

Regionale temp. forskelle på 1-1,5 °C

(tilsvarende variationer i årsmiddeltemperatur)

Standardafvigelse på 1-2 °C, (størst om vinteren)



Lufttemperatur – 2 m højde

Graddage – et mål for opvarmningsbehovet i fyringssæsonen

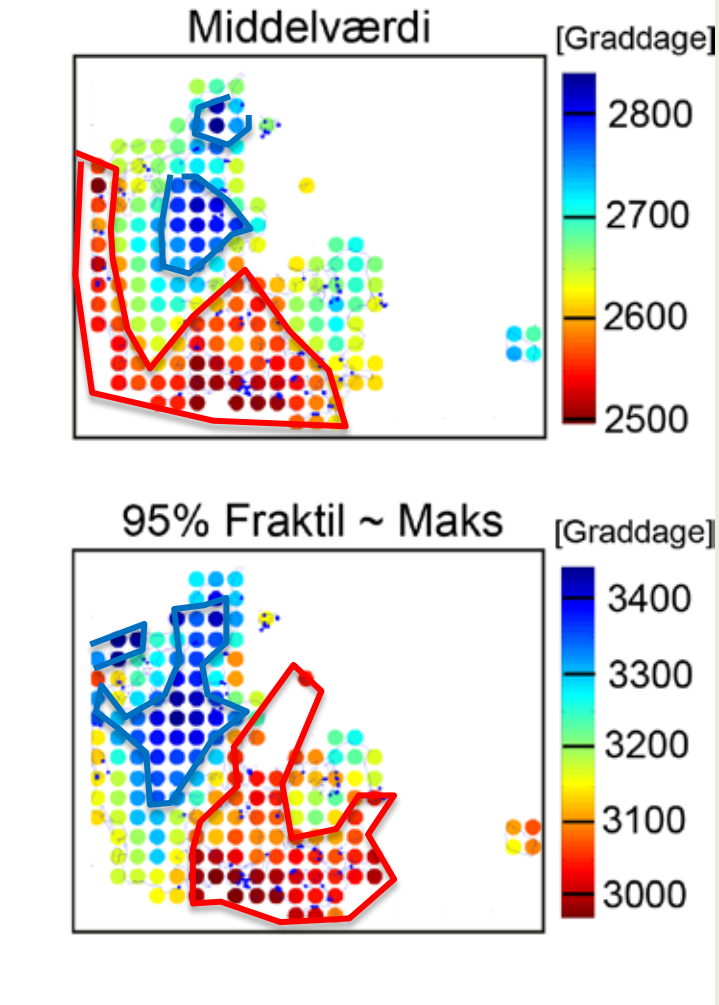
Data fra DMI's klimanet for 1990-2011.

Regionale forskelle (Middelværdi)

> 300 graddage ~ 12%

I de koldeste fyringssæsoner: 500-750 flere graddage (15-20%).

Altså: Regionale forskelle i opvarmningsbehov



Temperatur i undergrunden

Temperaturen ved jordoverfladen: ★

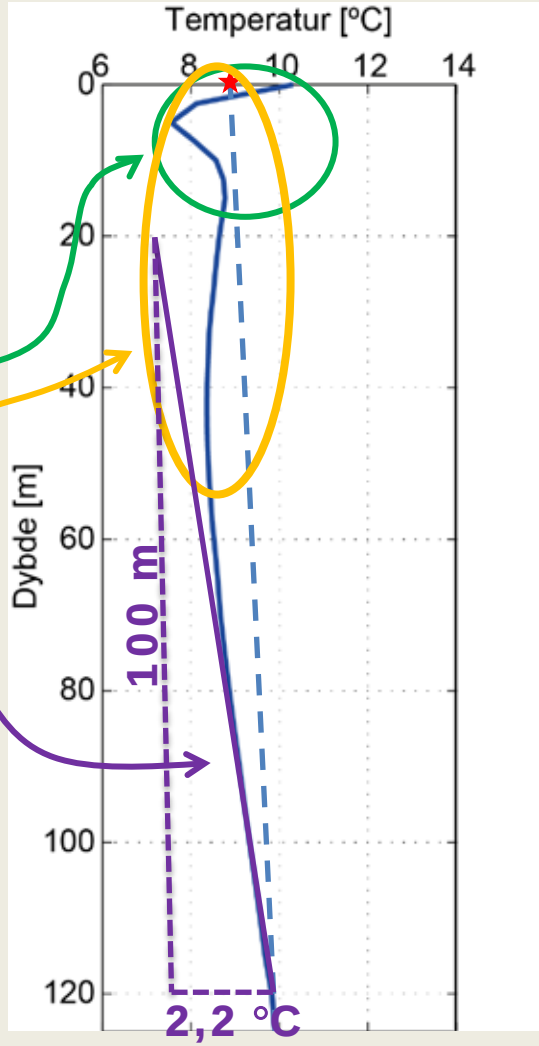
- Bestemt af den varme som tilføres fra solen.
- Varierer i forhold til regionale og lokale klimatiske forhold.
- Temperaturvariationen i jordoverfladen vil "overlejre" de ellers langtidsstabile temp.gradienter
  - årstidsvariationen
  - klimaændringer

Temperaturen vil generelt stige med stigende dybde.

Stigningsraten = temperaturgradienten [°C/100m]

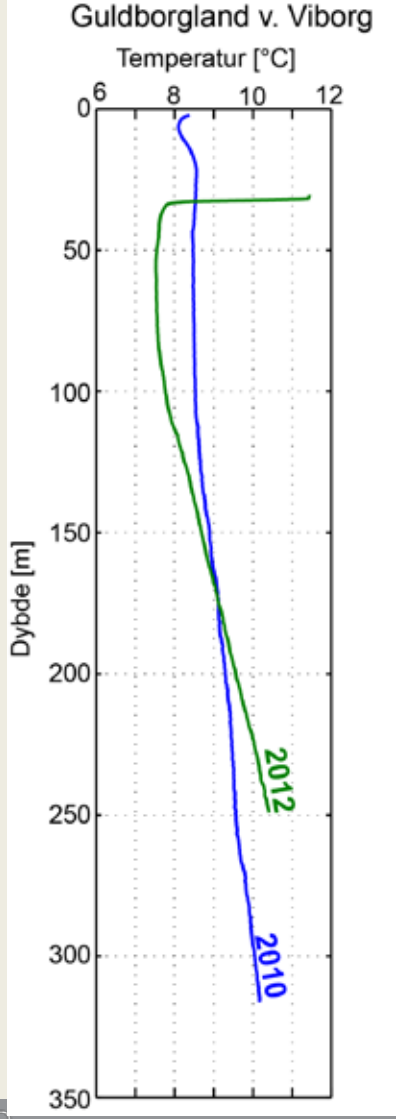
Varmestrøm = temperaturgradient´ varmeledningsevne

Temperaturgradient = varmestrøm/varmeledningsevne



Temperatur i undergrunden

Nøjagtig information om temperatur i undergrunden opnås ved målinger i borehuller, hvis temperatur er i ligevægt med de omgivende jordlag.



Forstyrrelser:

- Borearbejde
- Intern vandbevægelse (uforet boring)
- Vandbevægelse pga. pumpning

Þ Fejlagtig gradient

Þ Fejlagtige temperaturer

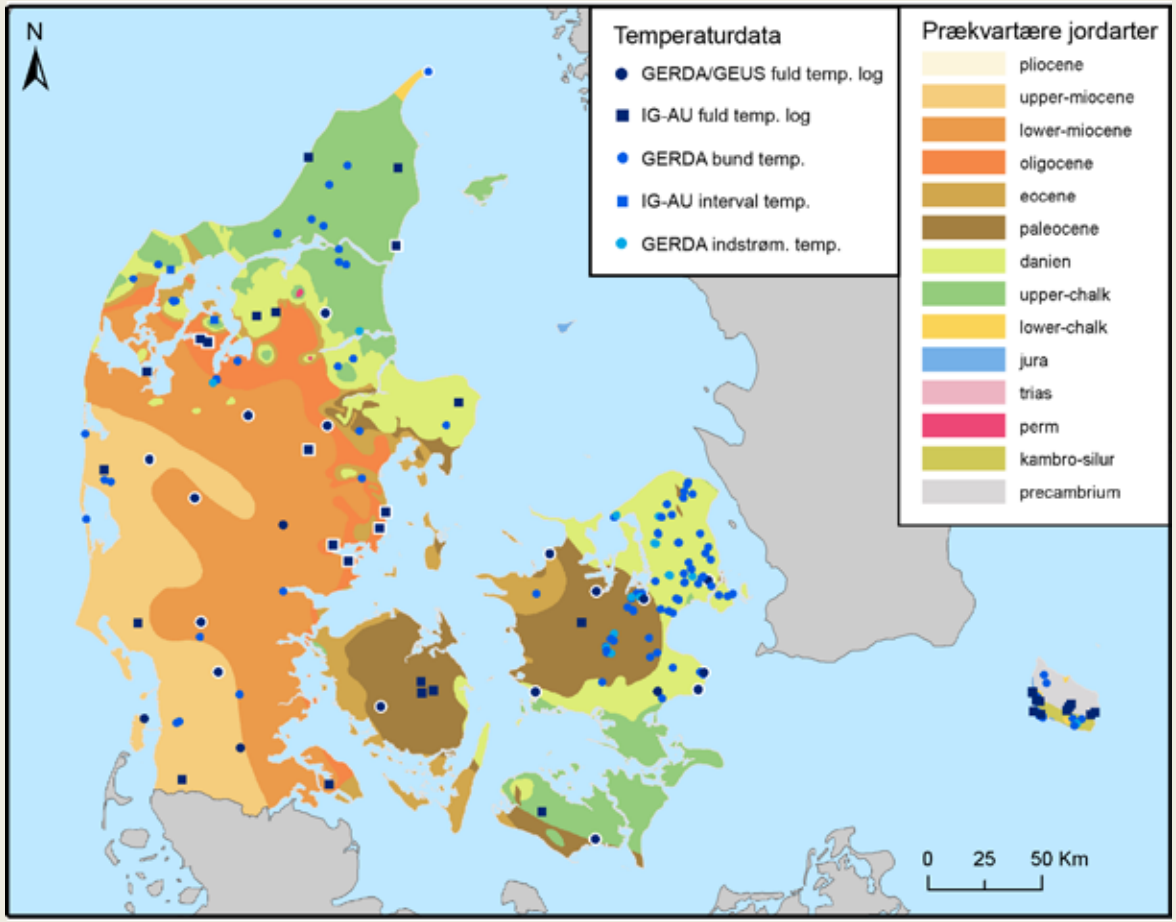
Þ Evt. brugbar bundtemperatur

Temperatur i undergrunden

Datagrundlaget

- Uforstyrrede temp.-logs: 54
  - Repræsenterer forskellige geologiske aflejringer og landsdele (fra IG-AU og GEUS forskningsprojekter)
- Temperaturinformation fra 193 borehuller (IG-AU, GEUS og GERDA databasen),

  GERDA databasen:
  - 1019 temp.-logs fra 743 boringer er vurderet.
  - Bundtemp.: 120
  - Indstrøm.temp. i åbne kalkboringer: 16



30 boringer er logget i projektet af IG-AU og GEUS. Heraf er 22 anvendt i analyserne.

Temperatur i undergrunden

Årstidsvariationen:

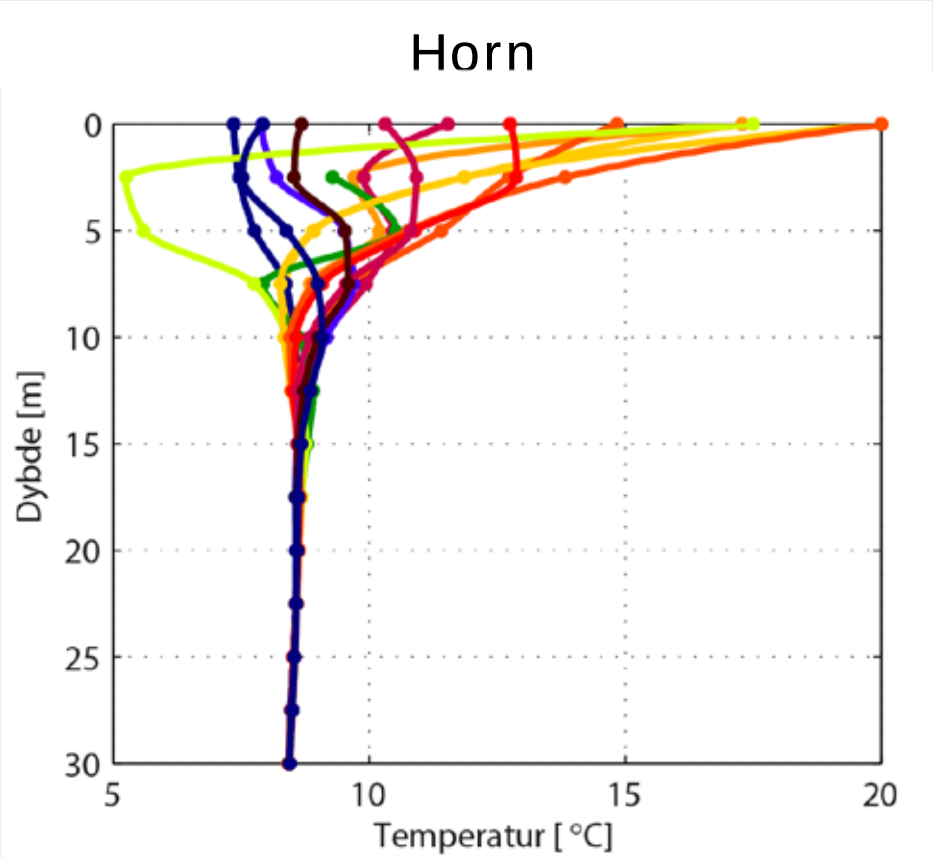
– Sommerens varme og vinteren kulde trænger ned i jorden samtidig med at amplituden dæmpes.

Målinger i 3 borehuller (Horn, Jebjerg og Harre) gennem projektperioden har vist en årsvariation på:

~ +/- 2,5 °C i 5 m

< +/- 0,5 °C i 10 m

< +/- 0,05 °C i 20 m

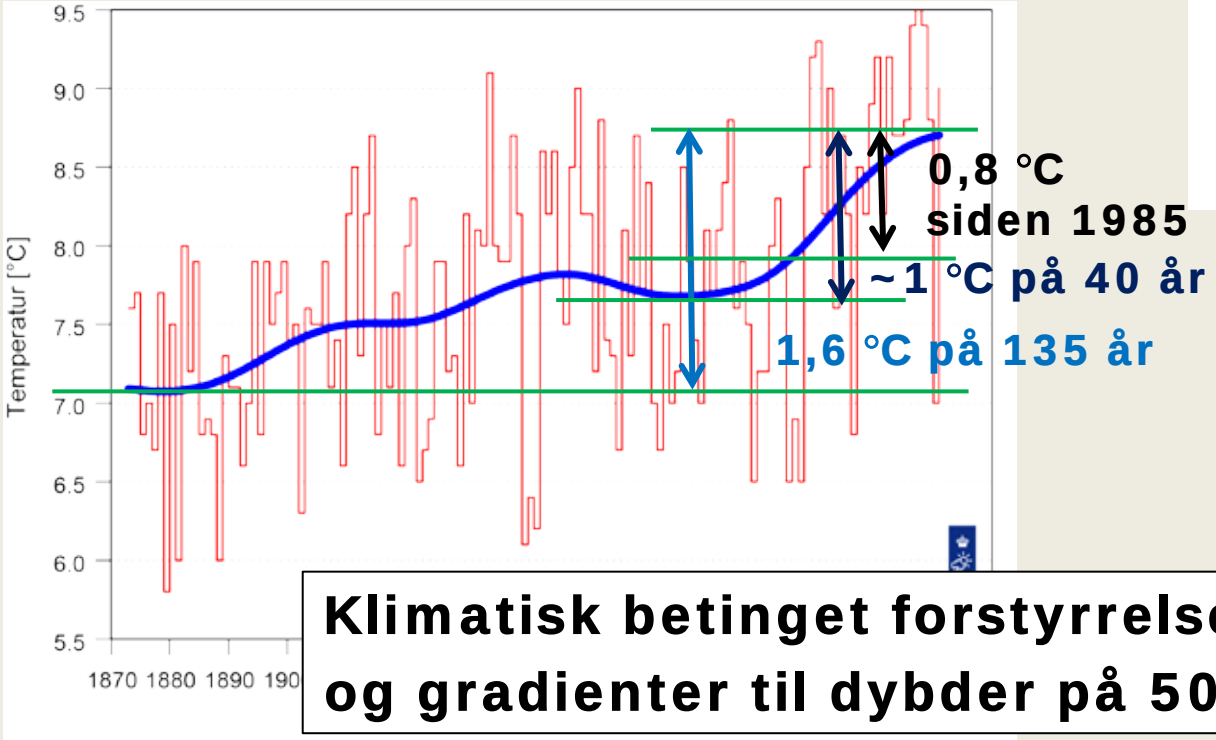


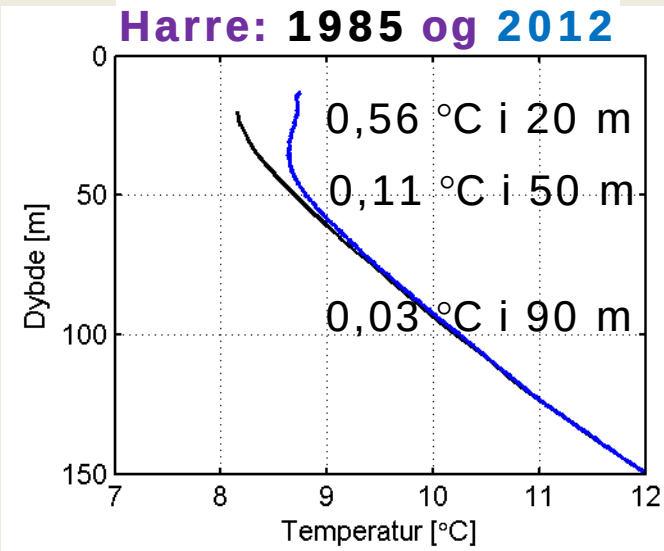
Temperatur i undergrunden

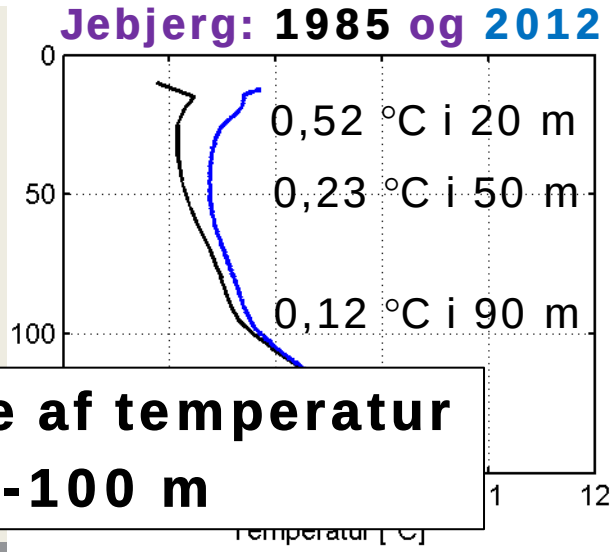
I relation til klimaforandringer over de seneste 150 år

Danmarks årsmiddeltemperatur

Glattet, svarende til en 30 års glidende middel





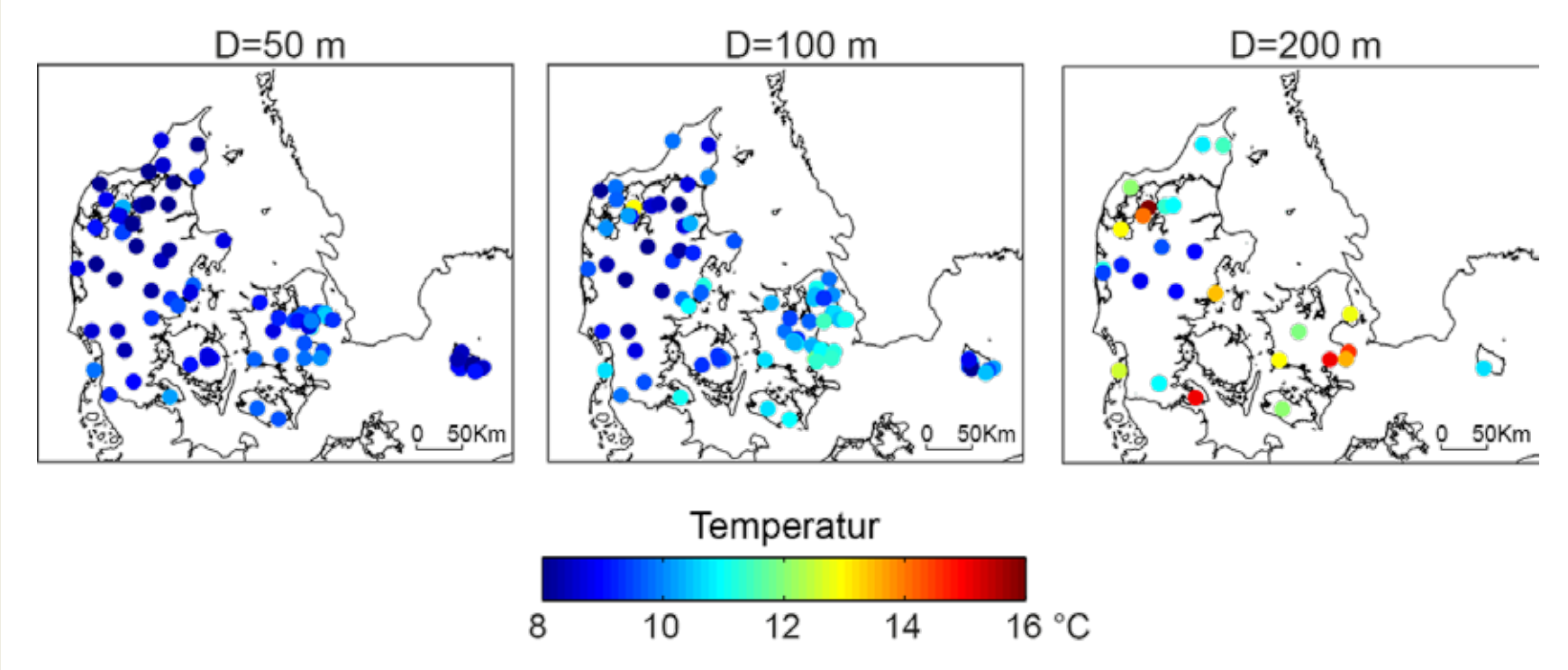


Klimatisk betinget forstyrrelse af temperatur og gradienter til dybder på 50-100 m

Temperatur i undergrunde

Temperatur i 50-200 m dybde

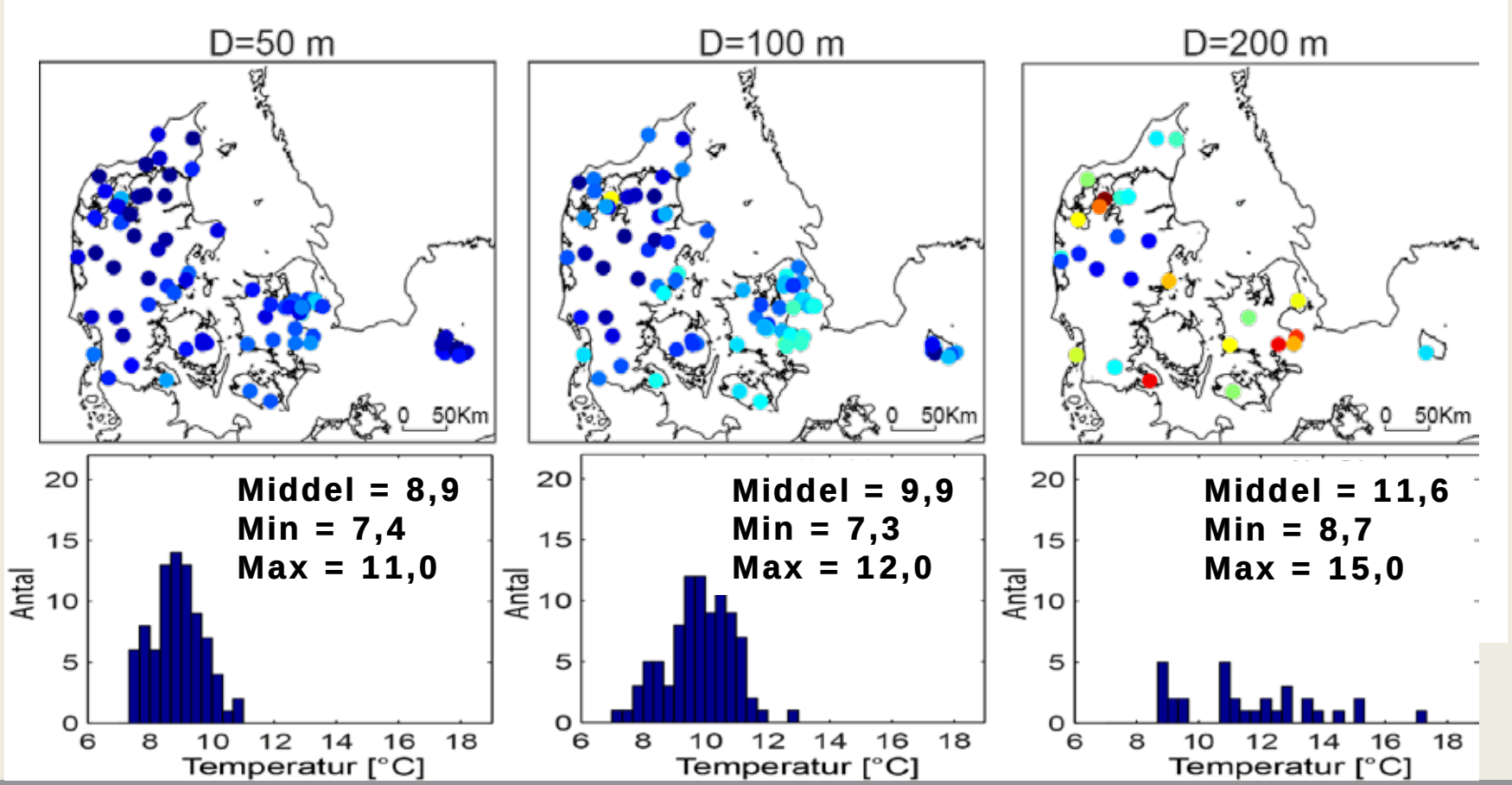
Data fra alle uforstyrrede temp.-log og bundtemp.



Temperatur i undergrunde

Temperatur i 50-200 m dybde

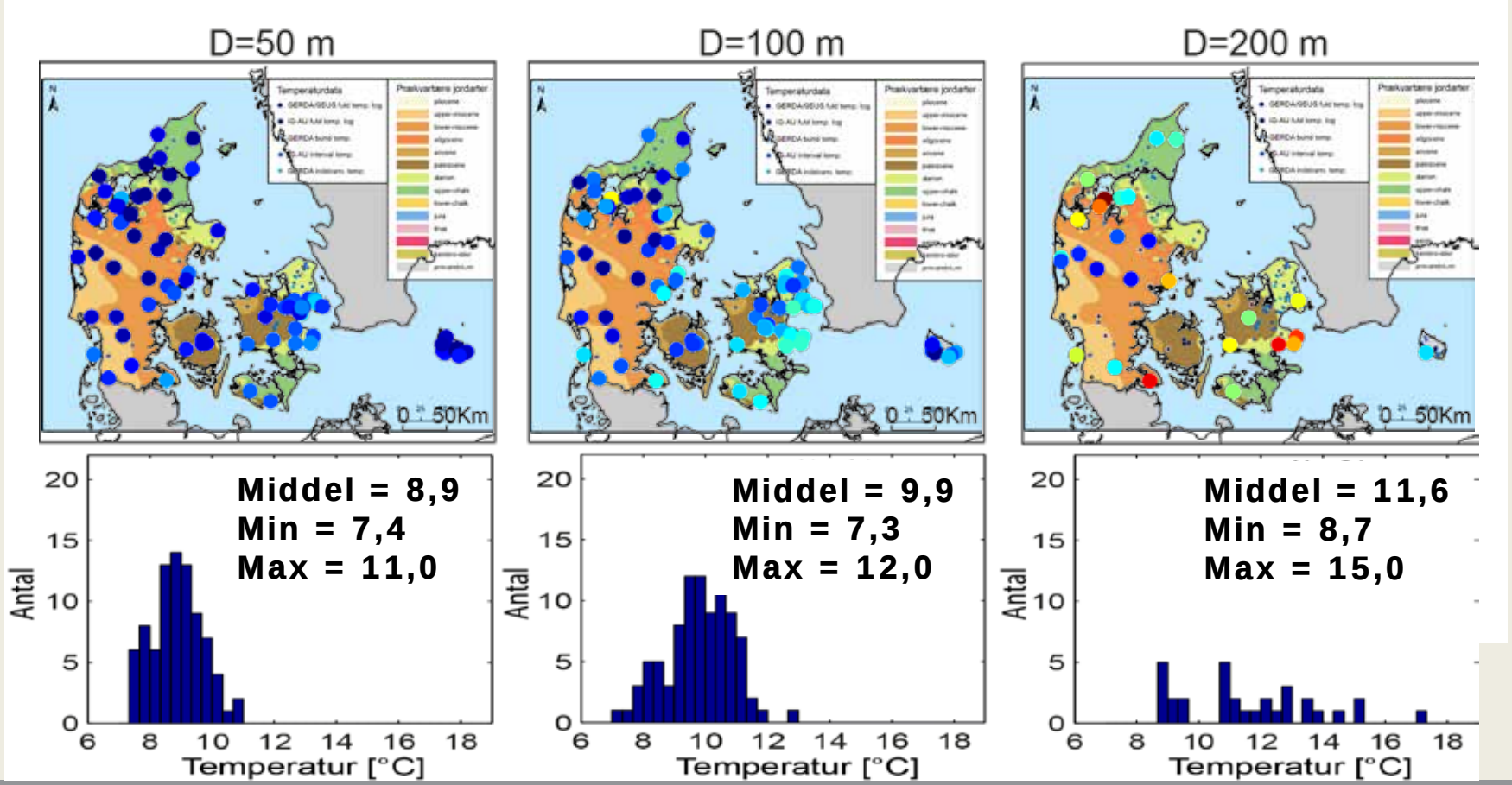
Data fra alle uforstyrrede temp.-log og bundtemp.



Temperatur i undergrunde

Temperatur i 50-200 m dybde

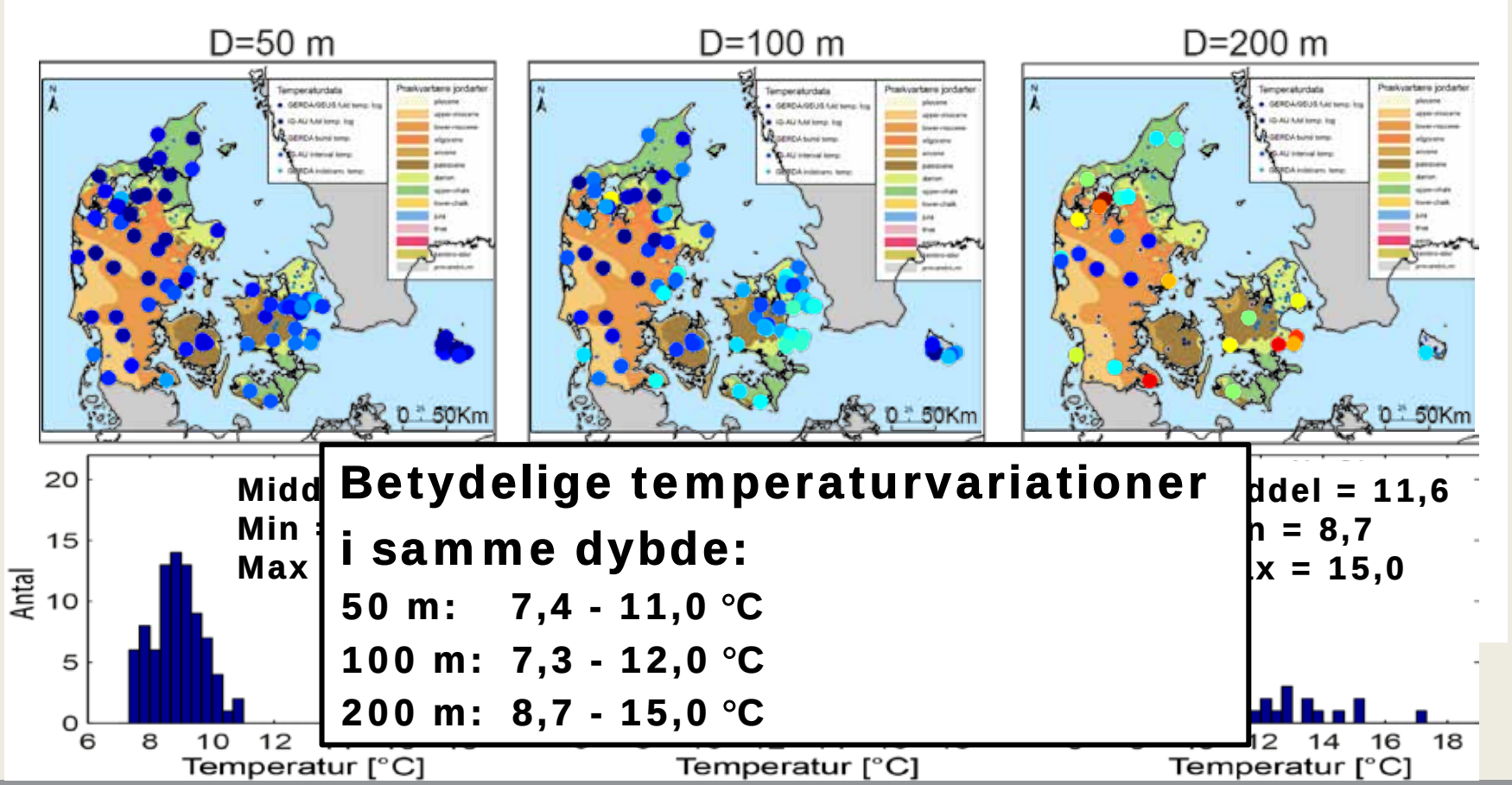
Data fra alle uforstyrrede temp.-log og bundtemp.



Temperatur i undergrunde

Temperatur i 50-200 m dybde

Data fra alle uforstyrrede temp.-log og bundtemp.



Betydelige temperaturvariationer i samme dybde:

50 m: 7,4 - 11,0 °C

100 m: 7,3 - 12,0 °C

200 m: 8,7 - 15,0 °C

Temperatur i undergrunden

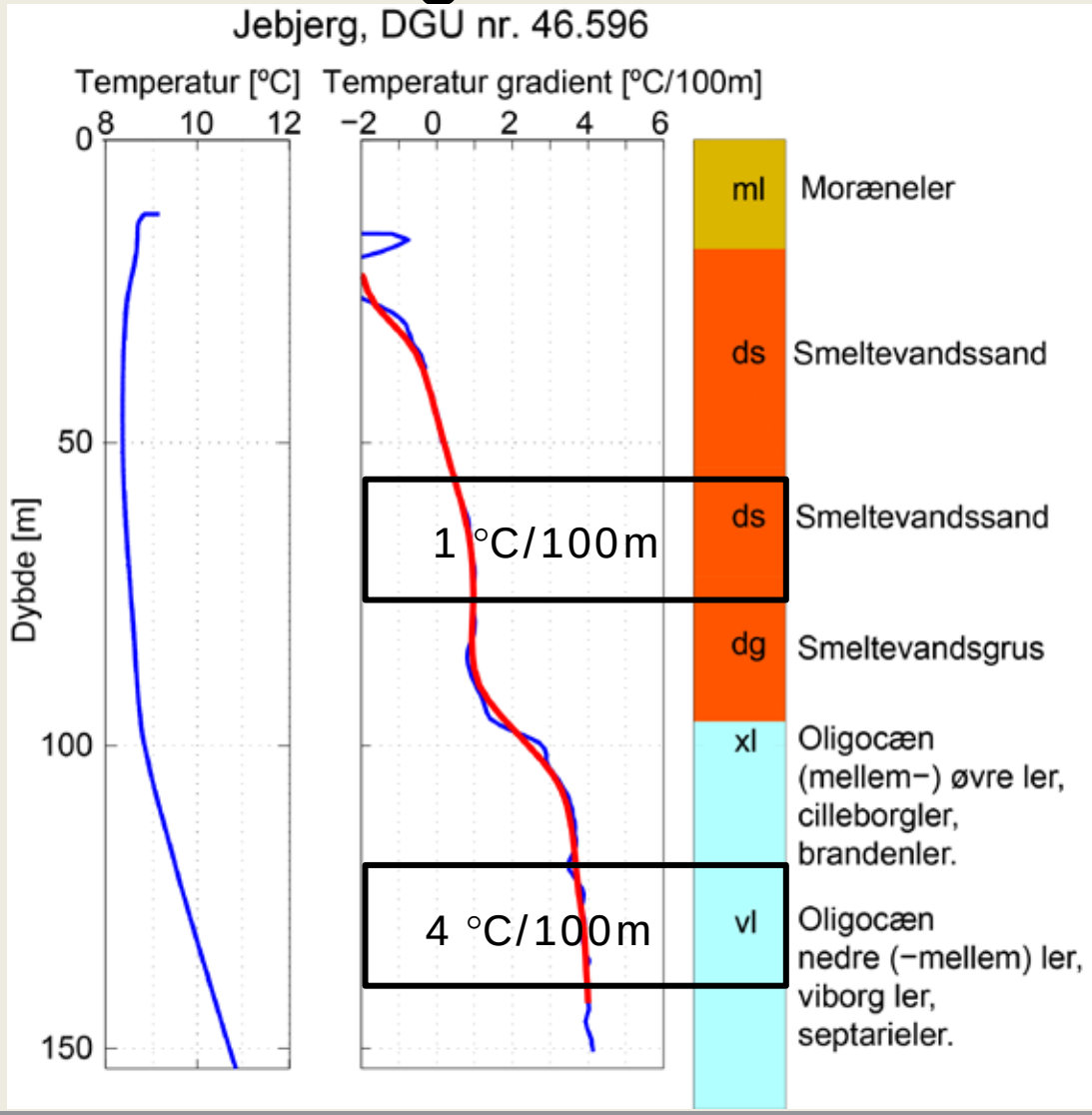
Temperaturgradienter og lithologi sammenhæng:

Temperaturgradient = varmestrøm/varmeledningsevne

Gradienter beregnet over 20 m interval knyttet til lithologitype i samme interval.

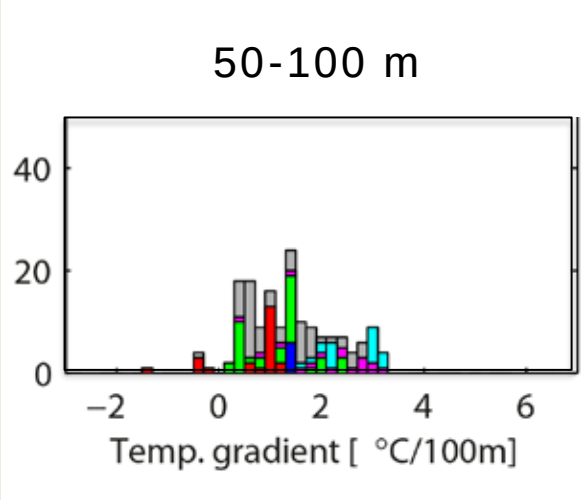
Analysen opdelt i:

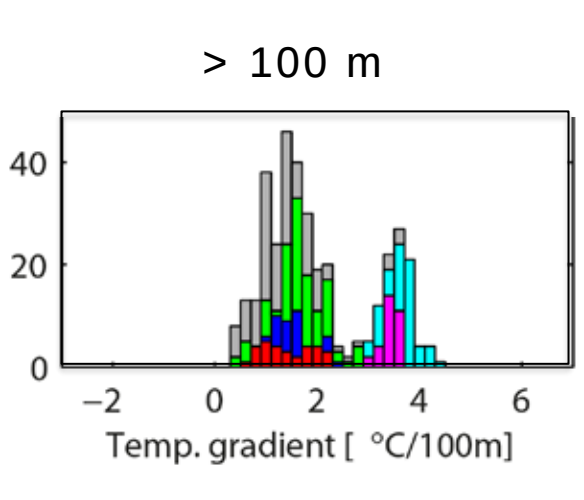
- potentiel forstyrrede gradienter 50-100 m dybde
- uforstyrrede gradienter > 100m dybde



Temperatur i undergrunden

Temperaturgradienter for Miocæne og Oligocæne aflejringer

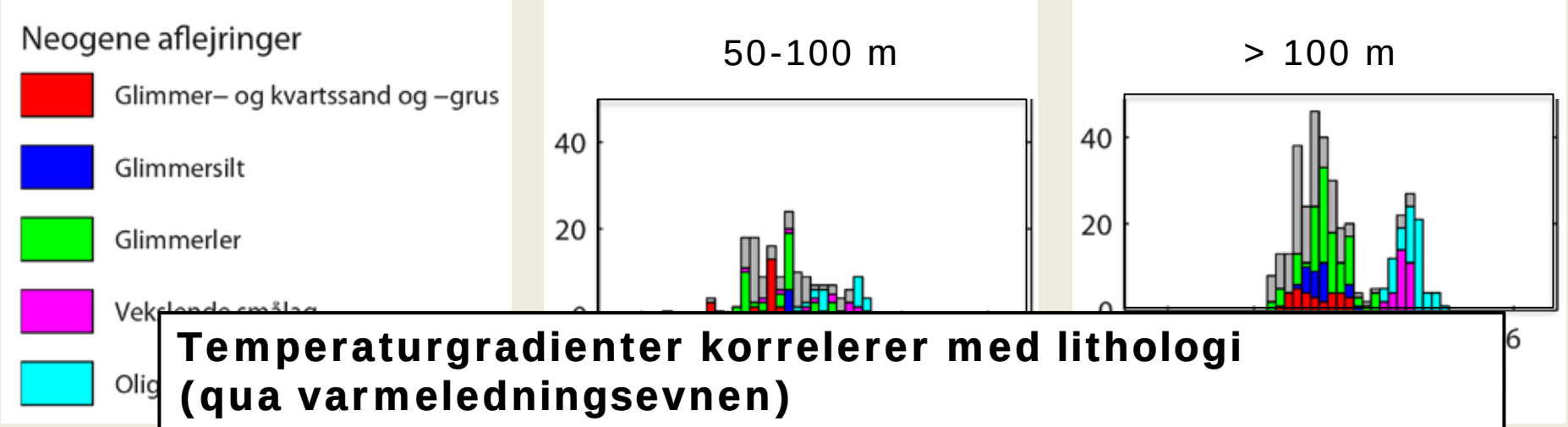




Aflejringstype	Middelværdi	Middelværdi
Neogen, samlet	1,49	2,12
Glimmer og kvartssand og grus	0,75	1,52
Glimmerler	1,24	1,76
Oligocænt ler	2,67	3,76

Temperatur i undergrunden

Temperaturgradienter for Miocæne og Oligocæne aflejringer



Temperaturgradienter korrelerer med lithologi (qua varmeledningsevnen)

Laveste gradienter (1-1,6 °C/100m): sand/grus/granit

Intermediære gradienter (2,2-2,5 °C/100m): Kalk/kridt

Højeste gradienter (3,4-4,4 °C/100m): (fedt) ler

Glimmerler	1,24	1,76
Oligocænt ler	2,67	3,76

Temperaturforhold i undergrunden

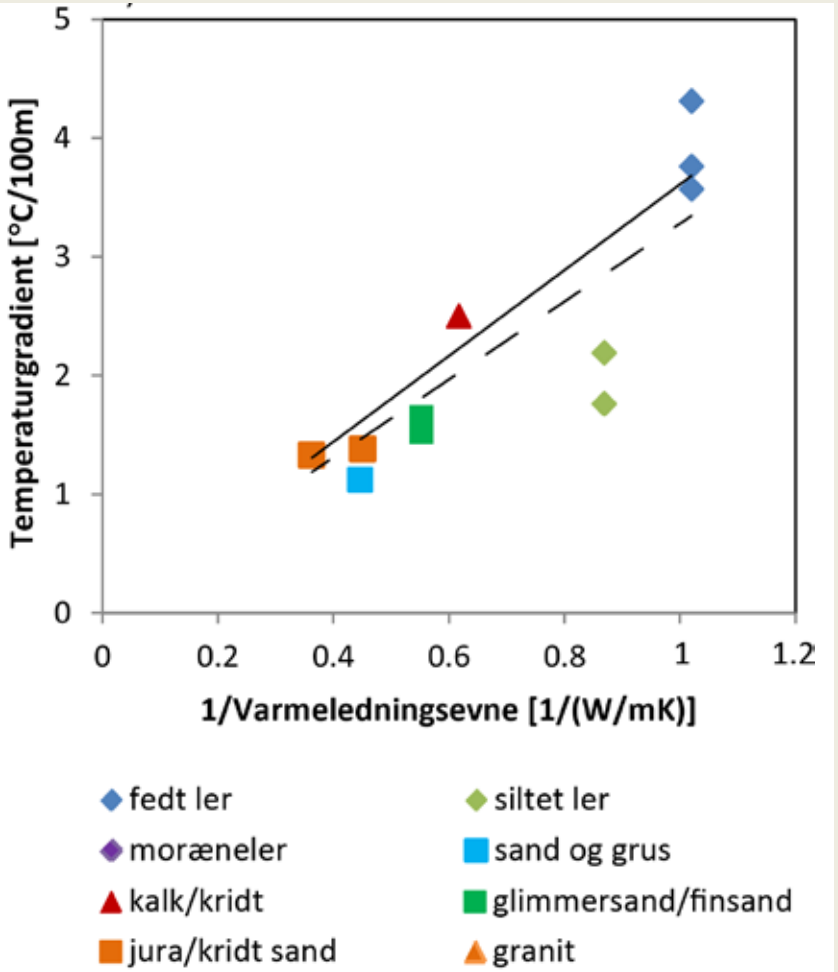
Korrelation mellem temperaturgradient og varmeledningsevne

Temperaturgradient = Varmestrøm ´ 1/varmeledningsevne

Varmestrøm = hældningskoefficienten

Varmestrøm = 36mW/m^2 (R^2 =0,89)

Det giver en landdækkende gennemsnitligt varmestrøm, som er i god overensstemmelse med tidligere nøjagtige målinger i en række korte boringer.



(Varmeledningsevner: Ditlefsen & Sørensen, 2014, Balling et al. 1981, Kristiansen et al. 1982)

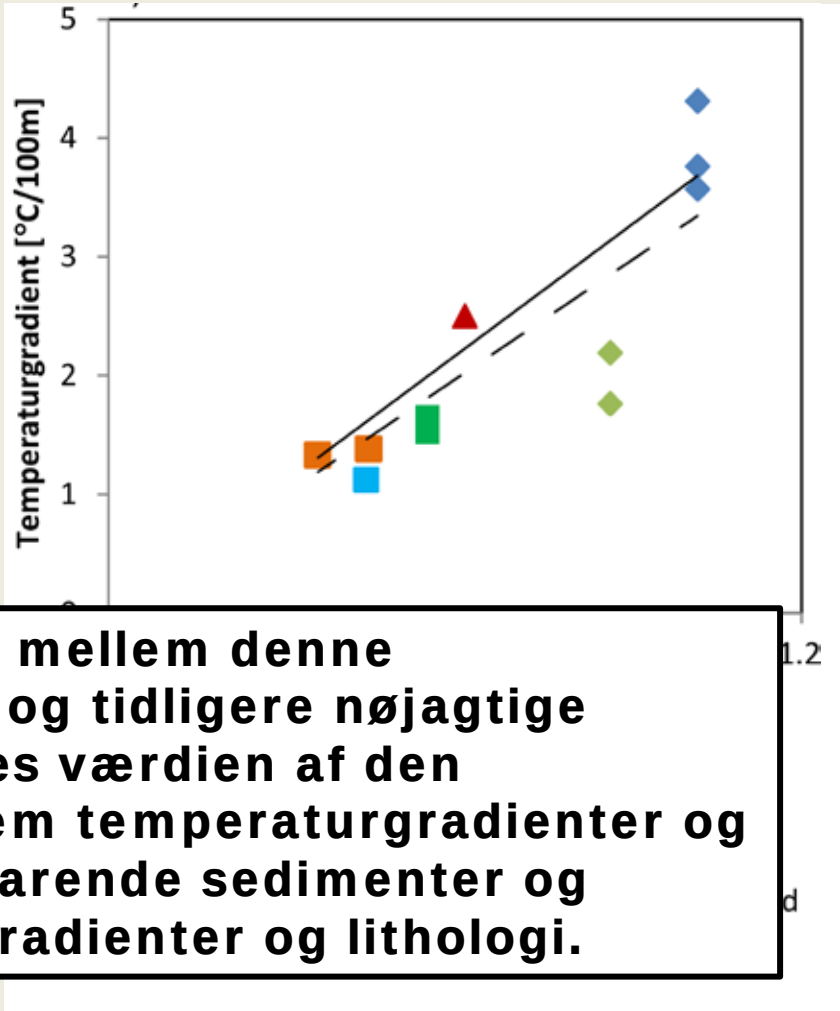
Temperaturforhold i undergrunden

Korrelation mellem temperaturgradient og varmeledningsevne

Temperaturgradient =
Varmestrøm ´ 1/varmeledningsevne

Varmestrøm = hældningskoefficienten

Varmestrøm = 36mW/m^2 (R^2 =0.89)



Det
genn
god
nøja
borin

Den gode overensstemmelse mellem denne bestemmelse af varmestrøm og tidligere nøjagtige målinger underbygger således værdien af den fremkomne korrelation mellem temperaturgradienter og varmeledningsevner for tilsvarende sedimenter og dermed mellem temperaturgradienter og lithologi.

Konklusioner

- Analyse af DMI's temperaturgrid (2m lufttemperatur) viser regionale forskelle i opvarmningsbehov.
- Klimatisk betinget forstyrrelse af temperatur og gradienter til dybder på 50-100 m.
  - Þ På mange lokaliteter – kun svag temperaturstigning i de øverste 50-100 m
- Betydelig temperaturvariation i samme dybde afhængig af lithologi.
- Temperaturgradienter er relateret til lithologi
  - Højest i (fedt) ler, intermediært i kalk, lavest i sand
- Varmestrømsbestemmelse ud fra korrelation mellem temperaturgradienter og varmeledningsevner for tilsvarende sedimenter er i god overensstemmelse med tidligere nøjagtige målinger.