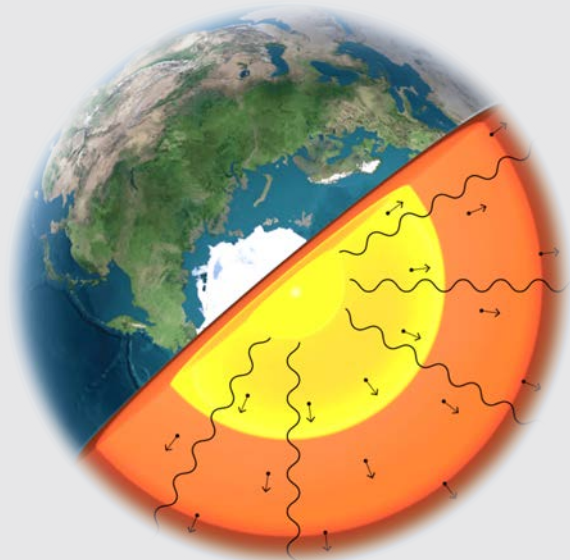


Geotermi

maj 2020

Mette Olivarius og Claus Becher Detlefsen

**Geotermi
og jordvarme**



Udfordring

For at begrænse global opvarmning og vildere vejr må vi mindske udledningen af CO₂ og derfor gå over til vedvarende energikilder

Sol



Vandkraft

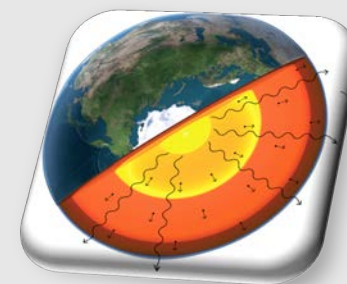


Vind



Formålet med geotermi og jordvarme er at:

- Udnytte den vedvarende varmekilde i jorden
... der er til stede i rigelige mængder og ellers går til spilde
- Opnå en pålidelig varmeproduktion
... der er uafhængig af vejr-variationer modsat sol- og vindenergi
- Udfase forbruget af fossile brændsler
... der skal til for at bremse den globale opvarmning



Læringspointer

- Jeg kender forskellen på geotermi og jordvarme
- Jeg kan forklare hvordan varmen opstår
- Jeg forstår hvad et geotermisk reservoir er





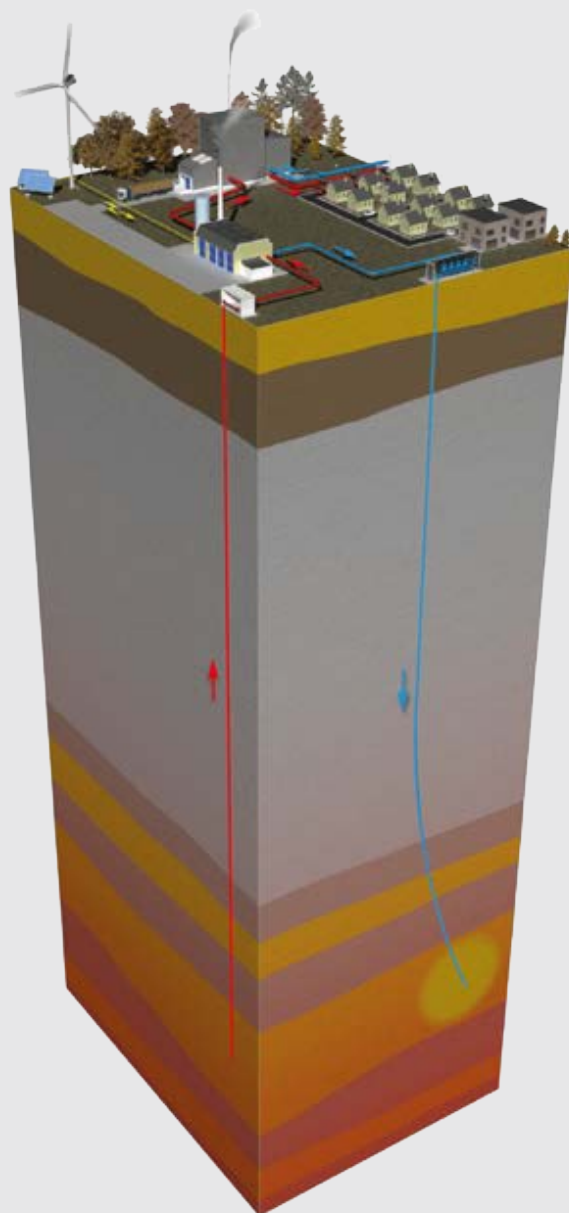
Overvejelser om energikilder

Diskuter med din sidemakker:

- Hvordan fungerer geotermisk energi og jordvarme?
- Hvor stammer energien, der udnyttes i geotermi primært fra?
- Hvor stammer energien til jordvarme fra?



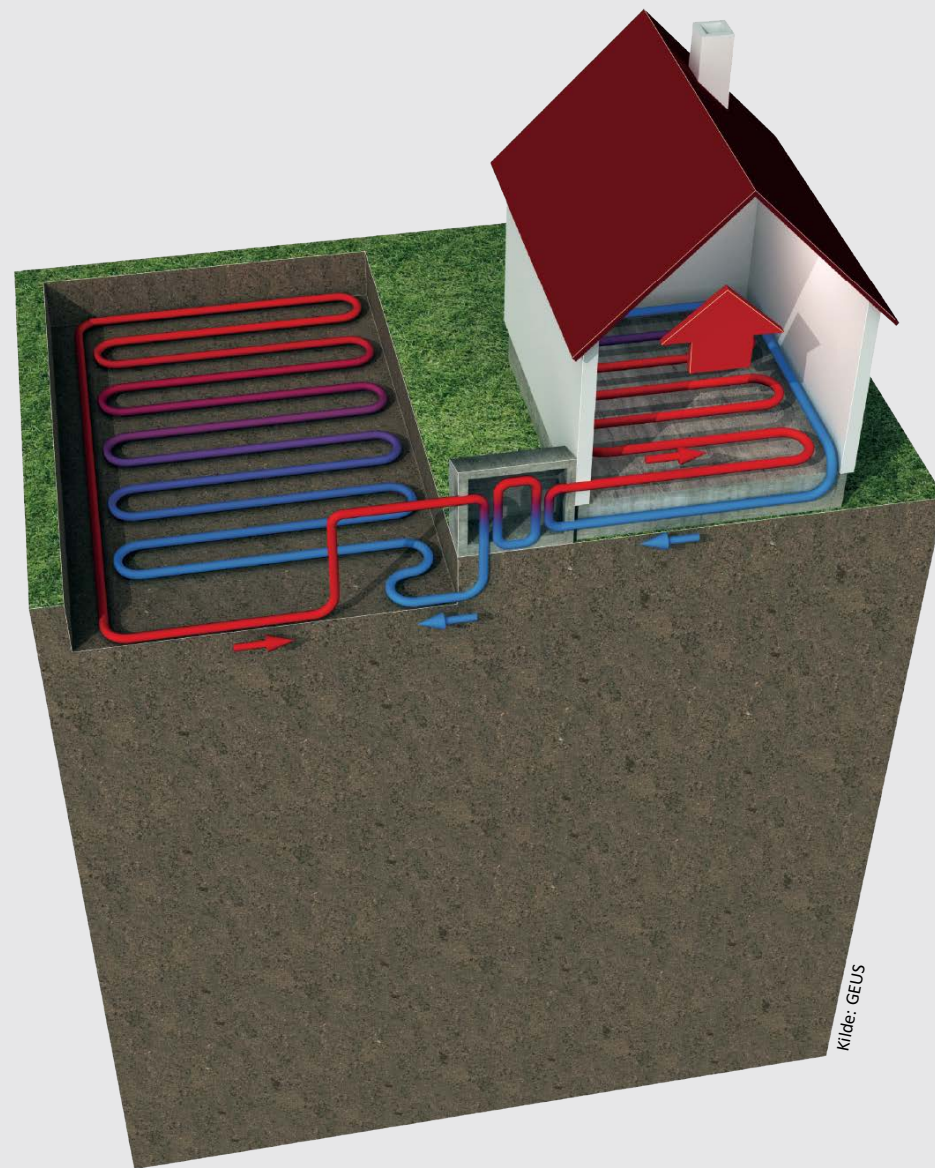
Geotermi



- Geotermisk energi til fjernvarmeproduktion kan indvindes i Danmark fra sandstenslag i ca. 0,8-3,0 km dybde som tommelfingerregel
- Vandet pumpes op i en produktionsboring og varmen udnyttes via varmepumpe og varmeveksler, hvorefter det afkølede vand pumpes ned igen i en injektionsboring
- Vandet pumpes ned et andet sted i samme sandstenslag for at sikre trykudligning i reservoiret og fordi vand fra forskellige lag ikke må blandes pga. uens vandkemi
- Varmen stammer fra radioaktive henfald i Jordens kerne

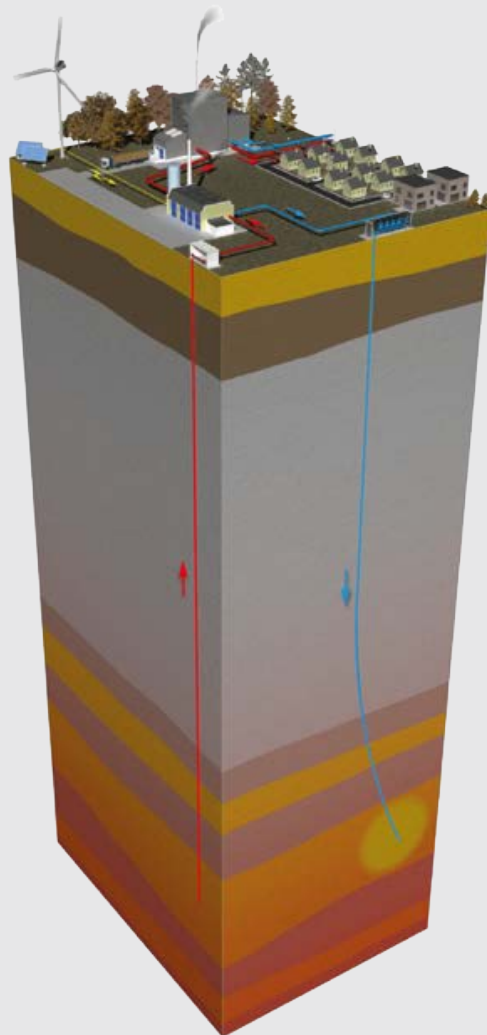
Jordvarme

- Jordvarme indvindes fra jordens øverste lag dvs. max et par hundrede meters dybde
- Ved jordvarme bruger man en varmepumpe, som cirkulerer en væske i et lukket eller åbent kredsløb
- Varmen stammer primært fra sol-indstrålingen



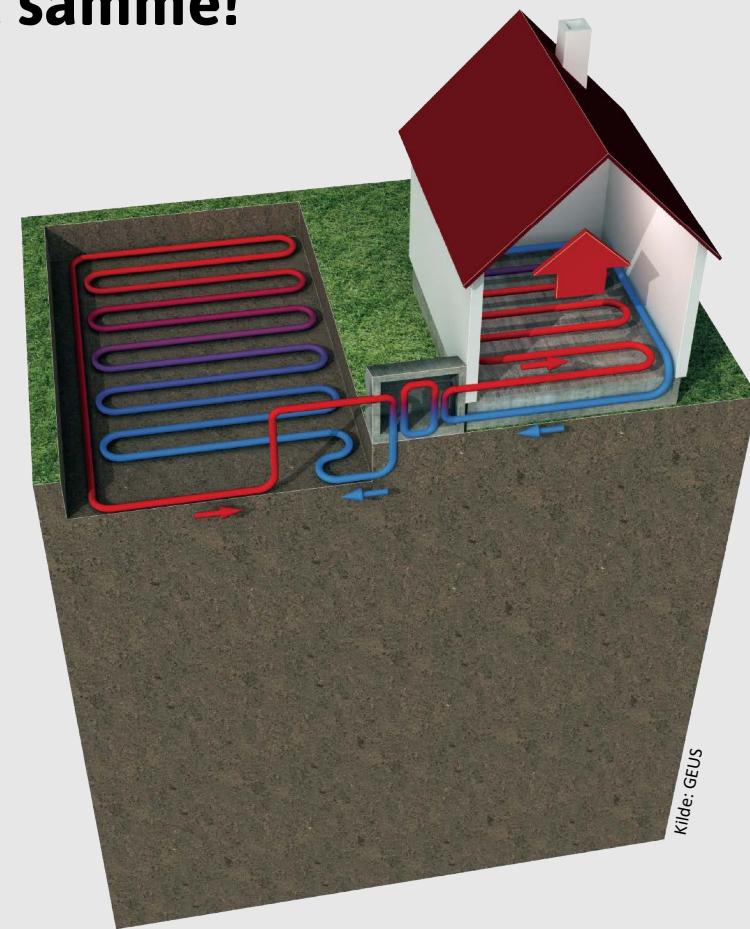
Geotermi og jordvarme

..er ikke det samme!



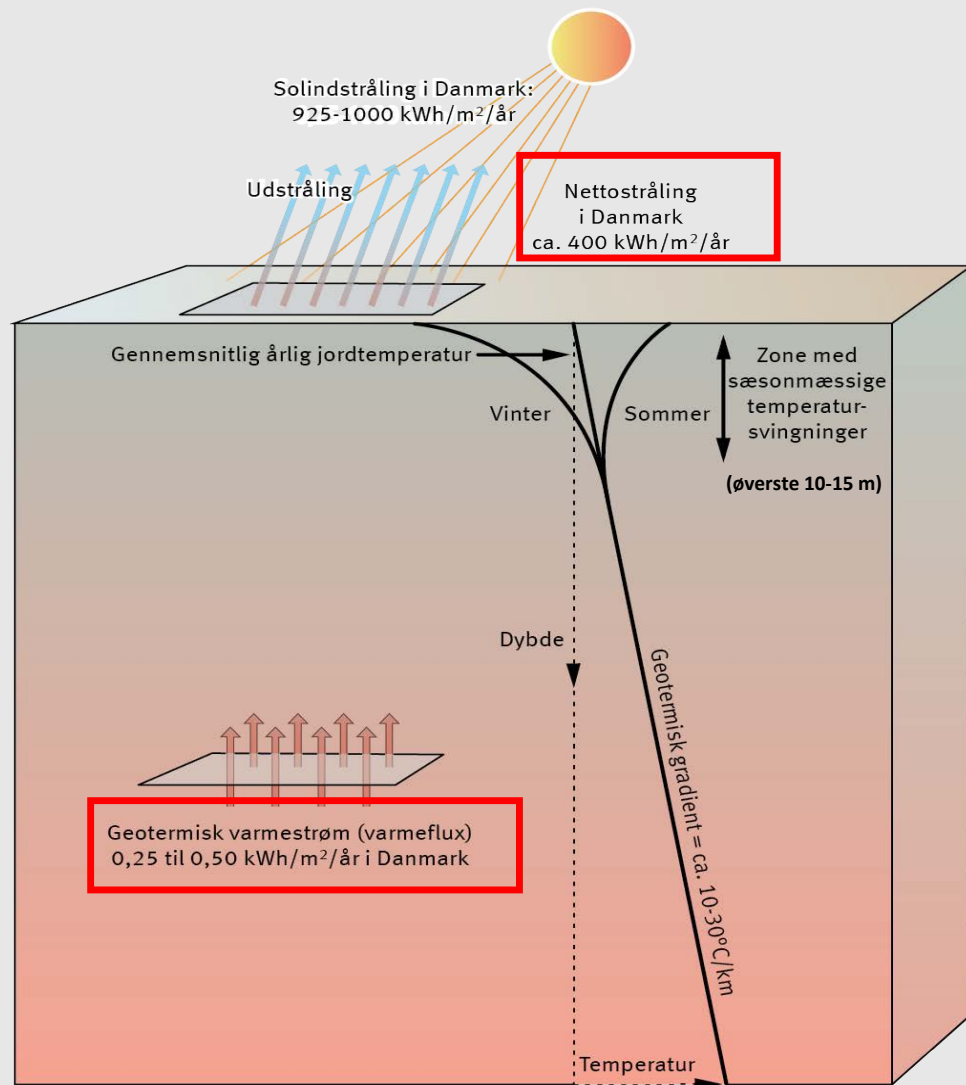
Geotermi

- Diskuter med din sidemakker hvorfor geotermi og jordvarme ikke er det samme
- Hvilke forskelle kan I nævne?



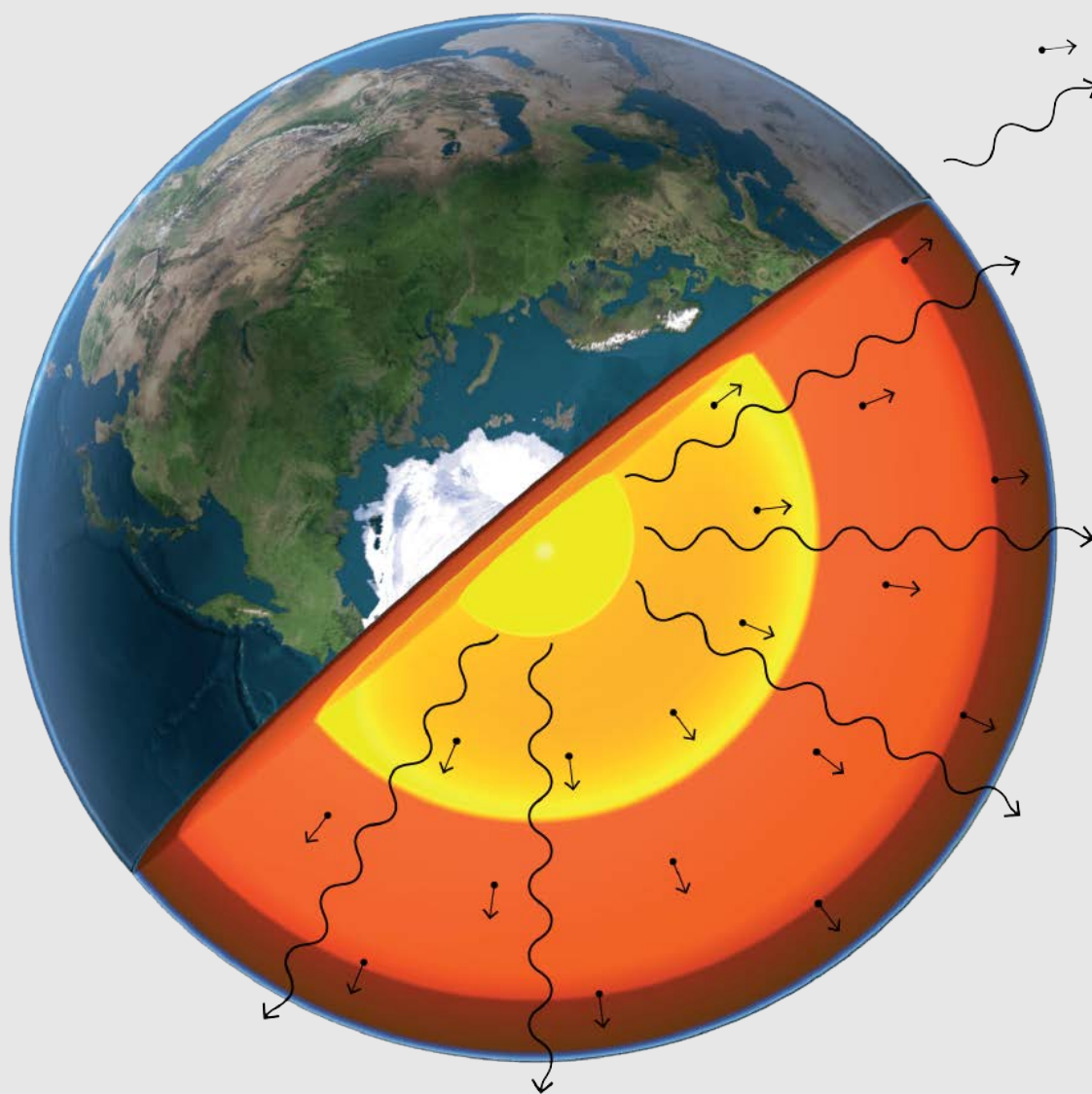
Jordvarme

Varmestrømme og temperatur-fordeling i jorden



Kilde: GEUS

- I de øverste jordlag er temperaturen påvirket af årstidsvariationerne
- Herunder stiger temperaturen generelt med dybden
- Stigningsgraden, der vises med den hældende kurve kaldes den geotermiske gradient, som varierer afhængig af hvor på Jorden, man befinder sig
- Der er en forholdsvis lille geotermisk gradient i Danmark og en stor geotermisk gradient i vulkanske områder såsom på Island
- Hovedmængden af den varme, der når jordoverfladen stammer fra solstrålingen



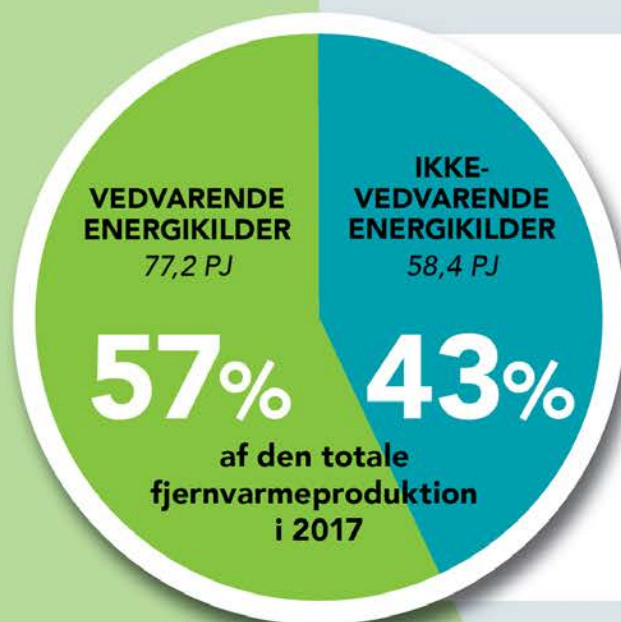
Varmen fra Jordens indre

- Varme, i form af geotermisk energi, opstår ved radioaktive henfald i Jordens indre
- Varmeressourcen i Danmarks undergrund er mindst 3 gange større end den energimængde, som vi har produceret plus forventer at producere fra olie og gas i Nordsøen
- Optimal udnyttelse af varmeressourcen ville kunne dække Danmarks varmebehov i mange hundrede år

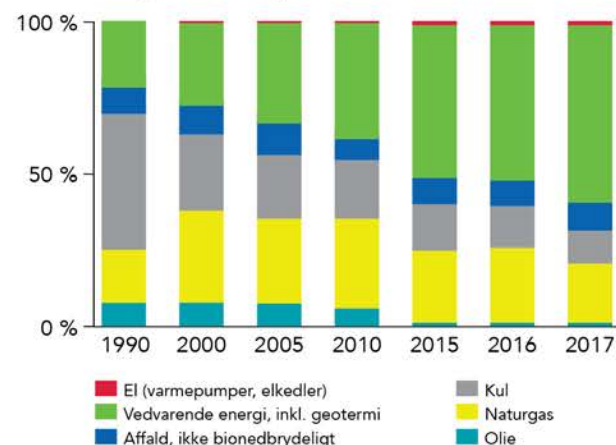
Her kom Danmarks fjernvarme fra i 2017

Total produktion af fjernvarme 2017 = **135,6 PJ**

Herunder kan du se, hvilke energikilder fjernvarmen kom fra og hvordan udviklingen har set ud fra 1990



Årlig fordeling af energikilder til fjernvarmeproduktion



Energikilder til fjernvarme

- Biomasse er den største kilde til fjernvarme i Danmark og udgør en vedvarende energikilde, hvis der løbende opdyrkes ny biomasse
- Geotermi er en vedvarende energikilde, der ligeledes kan levere varme
- Kul og olie er ved at blive udfaset i fjernvarmeproduktionen

Diskuter med din sidemakker hvilke fordele, der kan være ved anvendelse af geotermi i forhold til biomasse som energikilde?

Overvejelser om geotermi

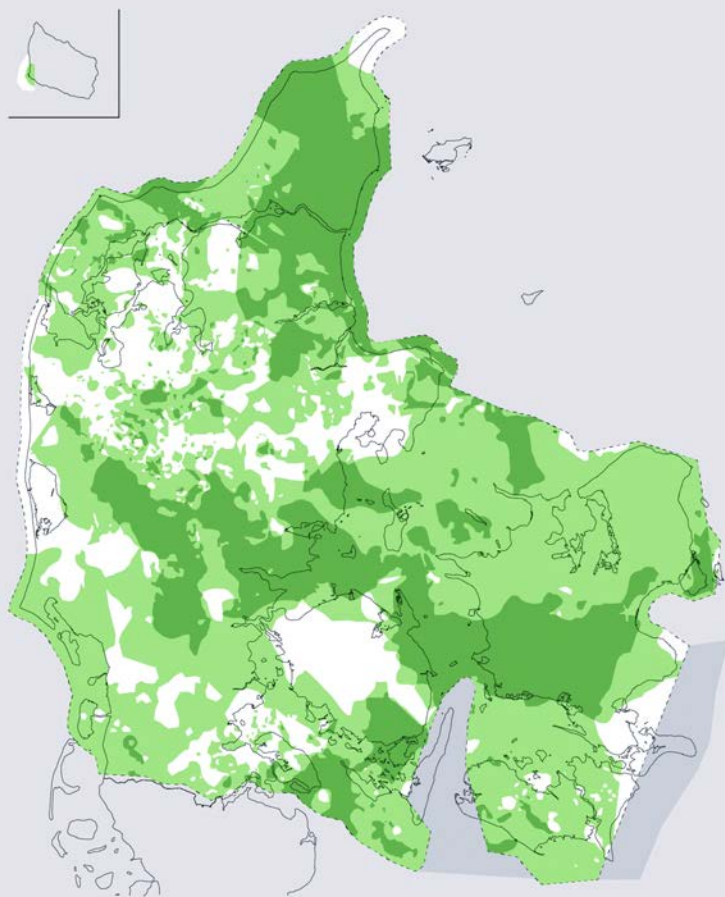
Diskuter med din sidemakker:

- Kan geotermi både bruges til at producere varme og elektricitet?
- Hvordan dannes en sandsten?
- Hvad karakteriserer et reservoir?



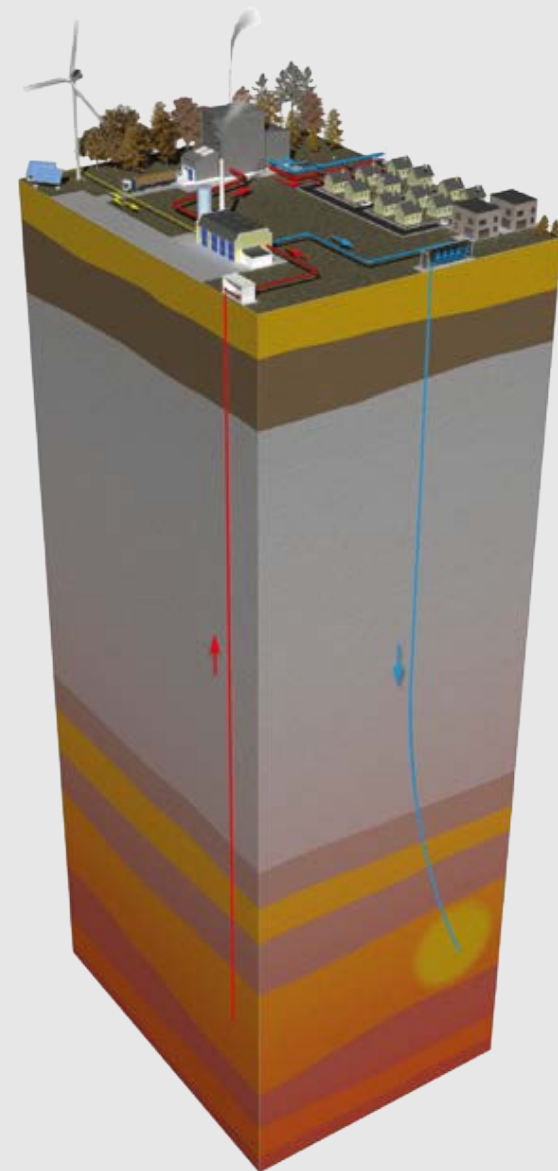
Geotermi i Danmark

- I Danmark bruges geotermi til at levere varme, da temperaturen ikke er høj nok til elektricitetsproduktion som fx på Island
- Egnede geotermiske reservoirer til fjernvarmeproduktion findes over det meste af landet i 0,8-3,0 km dybde
- Temperaturen øges i dybden med 25-30°C/km (+8°C ved jordoverfladen)
- De sandstenslag, der kan bruges til geotermisk energi i Danmark, blev aflejret som sand for ca. 150-250 millioner år siden
- Ressourcen er stor, grøn og CO₂ neutral



Geotermisk potentiale

Intet potentiale To eller flere reservoirer
Et reservoir Strukturelt komplekst område
og/eller utilstrækkelig data



Geotermiske anlæg

Thisted 1984

7 MW

Trias-Jura sandsten

Ca. 1250 m dybde

33 m tykt reservoir

45°C varmt vand

Sønderborg 2013

12 MW

Trias-Jura sandsten

Ca. 1130 m dybde

30 m tykt reservoir

47°C varmt vand

Margretheholm 2006

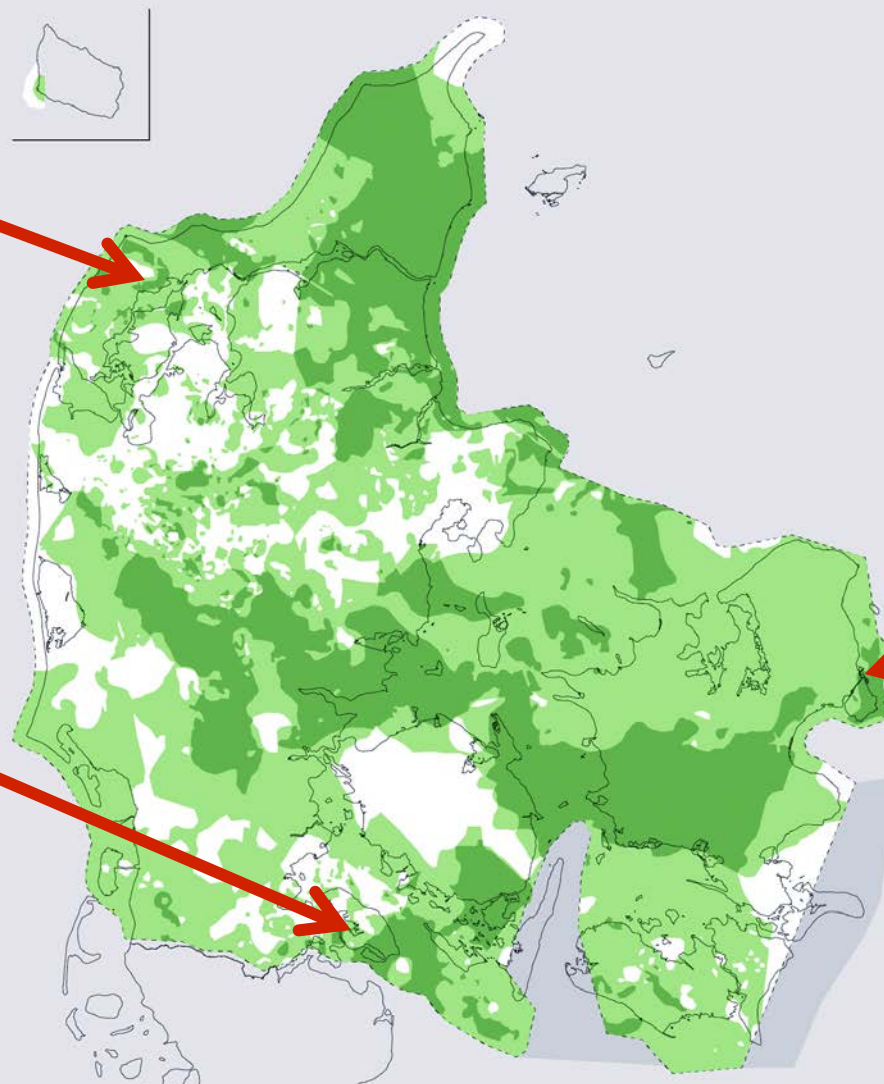
14 MW

Trias sandsten

Ca. 2600 m dybde

30 m tykt reservoir

74°C varmt vand



Geotermisk potentiale

Intet potentiale	To eller flere reservoirer
Et reservoir	Strukturelt komplekst område og/eller utilstrækkelig data

Et eller flere egnede reservoirer findes over det meste af landet

Geotermianlægget på Margretheholm

Geotermi er plads-
besparende og er især
attraktiv i byområder, fordi
der er stort varmebehov.

Varmevekslere og filtre

Injektionsboring

Produktionsboring

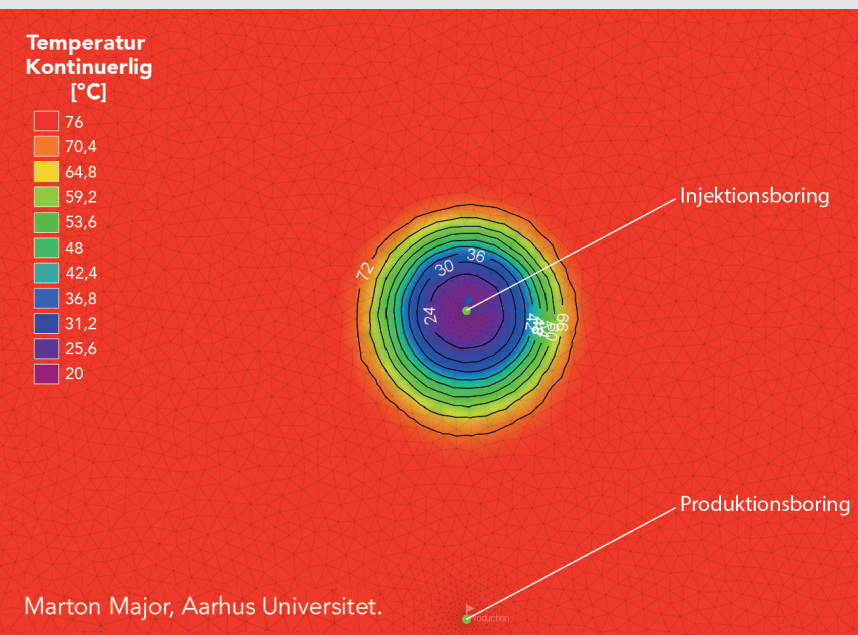
Boringerne er boret skråt
så der er >1 km afstand
mellem dem i reservoiret
med det varme vand

Afkøling af reservoiret ved injektion

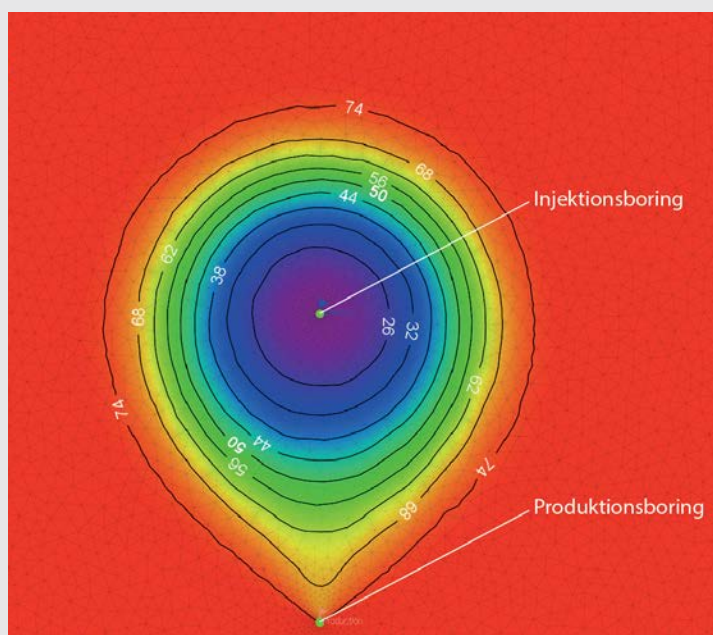
...går meget langsomt!

En afstand på 1 km mellem borerne i reservoiret er rigeligt, og de kan bores fra det samme sted på overfladen, hvis der bores skråt

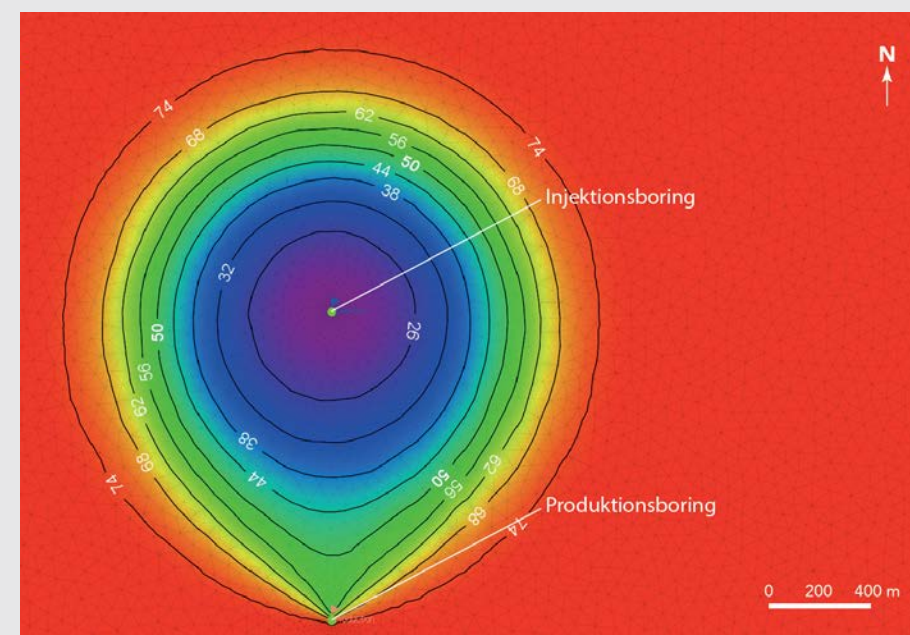
Efter 10 år



Efter 50 år



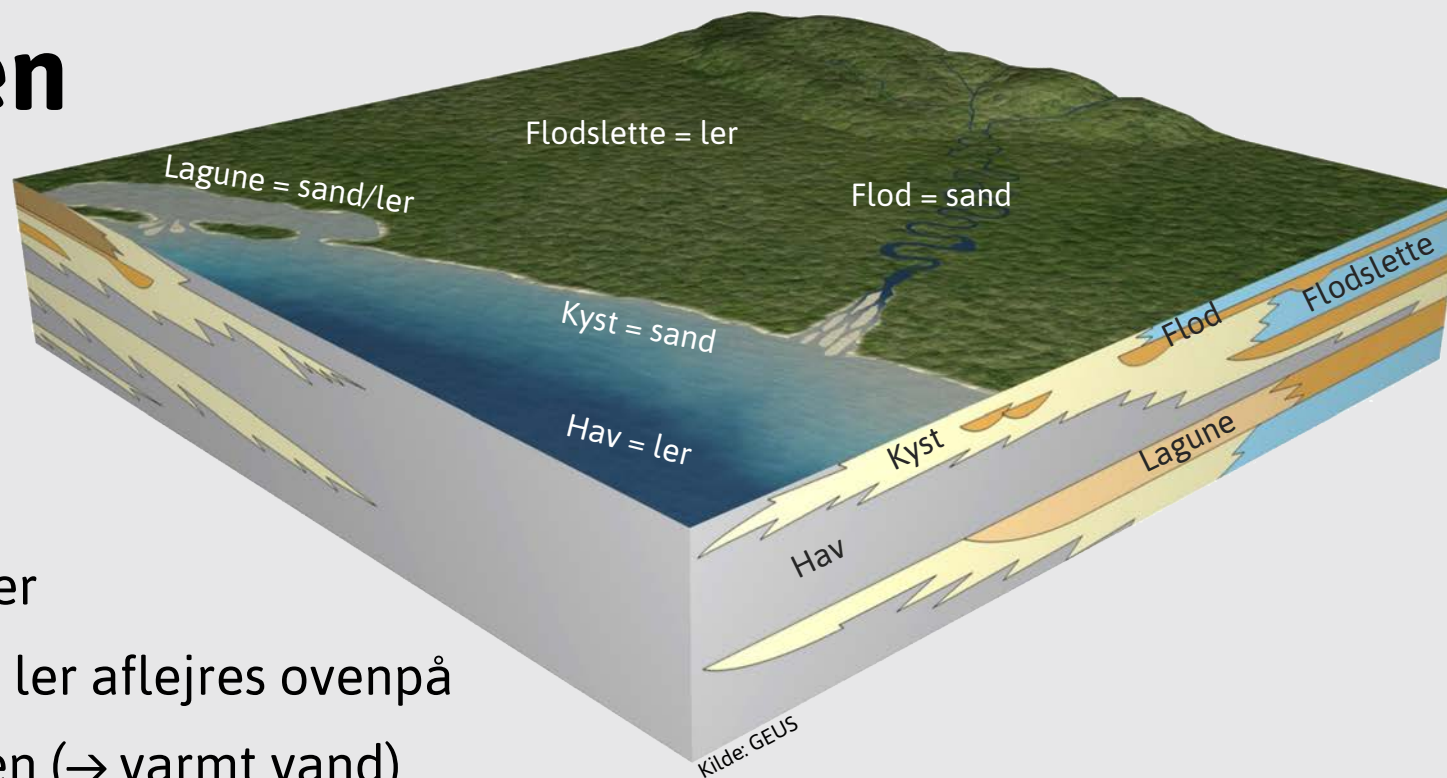
Efter 100 år



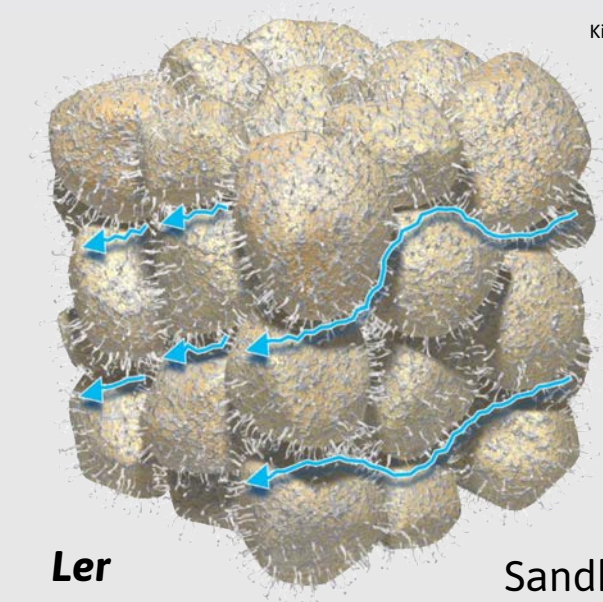
Fra sand til sandsten

Hvordan dannes et geotermisk reservoir?

- Sand aflejres fx langs floder og kyster
- Sandet begravnes fordi mere sand og ler aflejres ovenpå
- Temperaturen stiger ved begravelsen (→ varmt vand)
- Imellem sandkornene dannes cement, så sandet bliver til sten

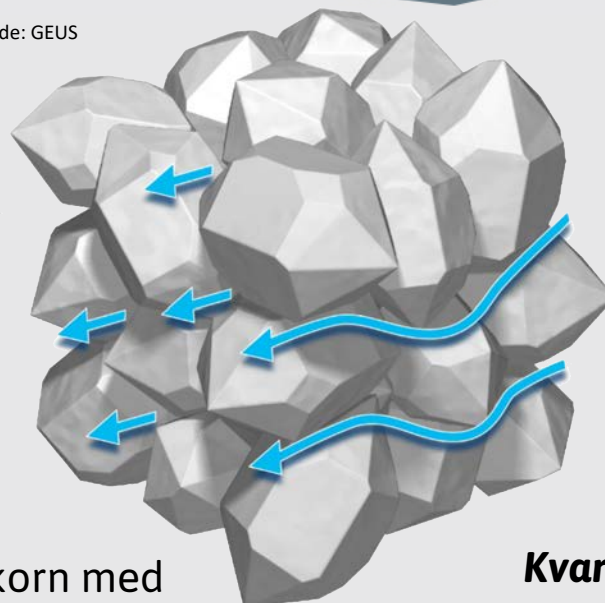


Kilde: GEUS

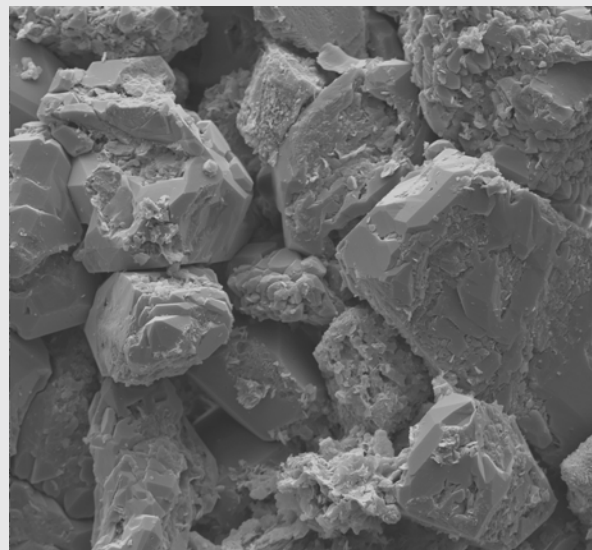
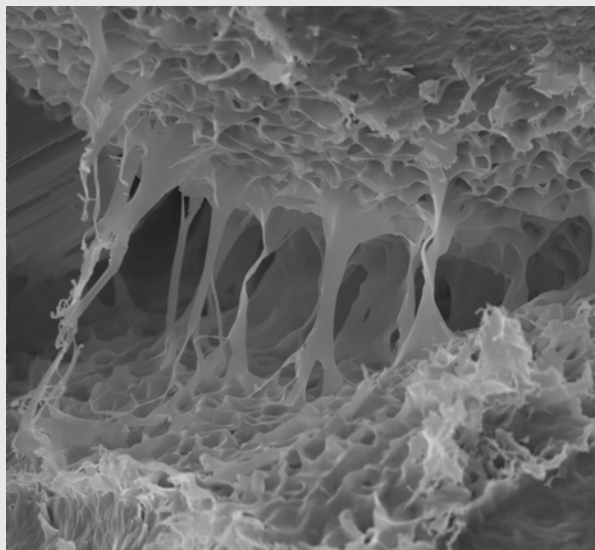


**Ler
cement**

Sandkorn med
cement udenpå



**Kvarts
cement**



Hvor hurtigt strømmer vandet?

Den cement der dannes mellem
sandkornene bestemmer hvor
hurtigt vandet kan strømme

Vandet strømmer hurtigere forbi
kvarts-cement end ler-cement

Opgave om geotermi

Her ses den første geotermi-boring i Danmark
(Thisted 1984)

Hvordan fandt man ud af, hvor det var bedst at
bore?

Det finder I ud af i denne øvelse!



Kriterier til at udpege geotermiske reservoirer

Reservoiret skal **bestå af sandsten** fordi disse kan der strømme tilstrækkeligt meget vand igennem

Reservoiret skal være **mindst 15 meter tykt** for, at der kan produceres nok vand til, at det er økonomisk rentabelt

Boringerne skal være placeret **mindst 2 km væk fra forkastninger** for at sikre, at produktions- og injektionsboring er tilkoblet det samme sandstenslag

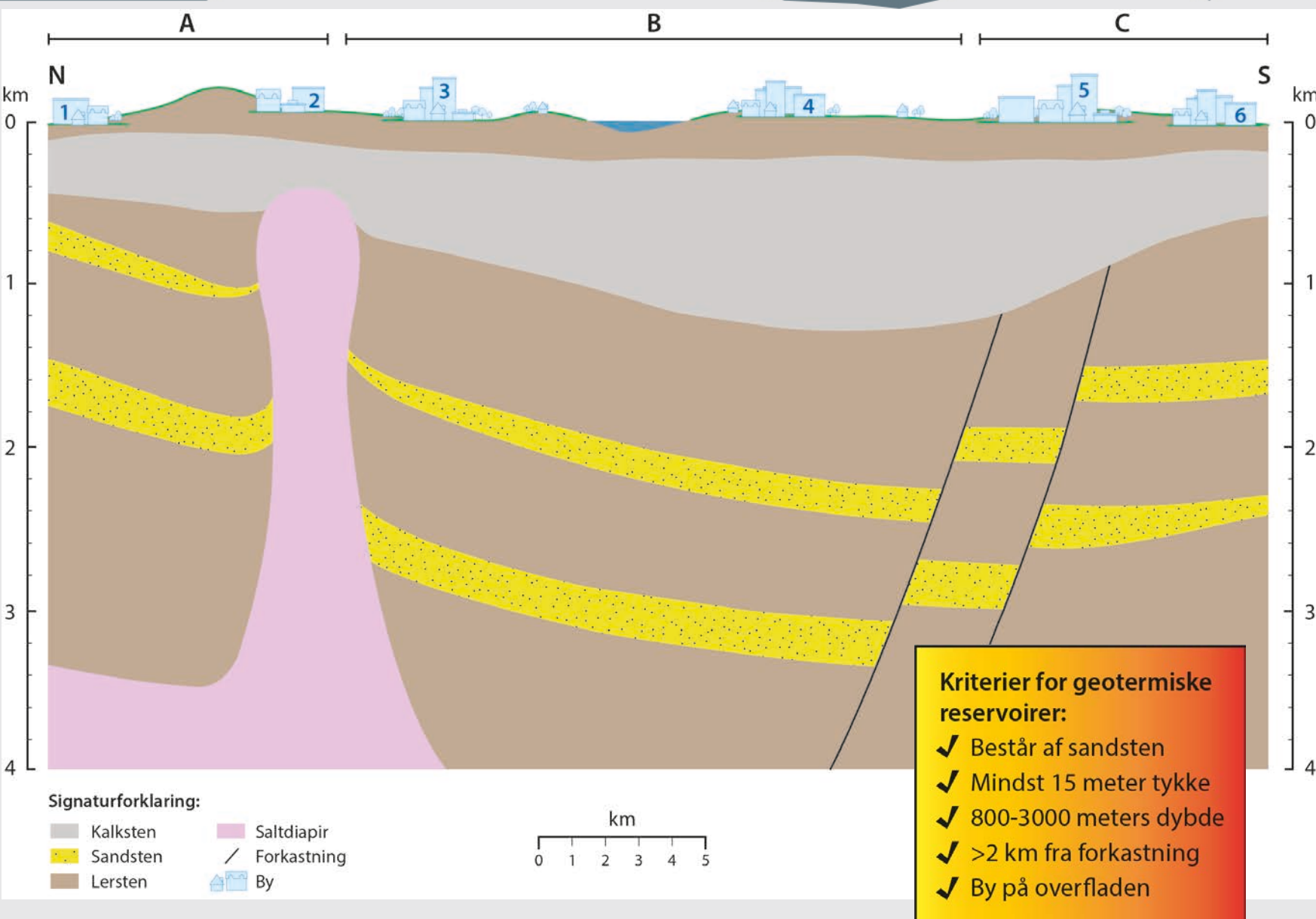
Reservoiret skal ligge i **minimum 800 meters dybde** for at vandet er tilstrækkeligt varmt til at det kan bruges til fjernvarme

Reservoiret skal ligge i **maksimum 3000 meters dybde**, fordi dybere sandsten er for cementererede til, at der kan strømme nok vand igennem

Der hvor et geotermisk anlæg placeres, skal der være aftagere dvs. en **by eller større industri** der kan bruge varmen, da den er dyr at transportere

Kriterier for geotermiske reservoirer:

- ✓ Består af sandsten
- ✓ Mindst 15 meter tykke
- ✓ 800-3000 meters dybde
- ✓ >2 km fra forkastning
- ✓ By på overfladen



Opgave om geotermi

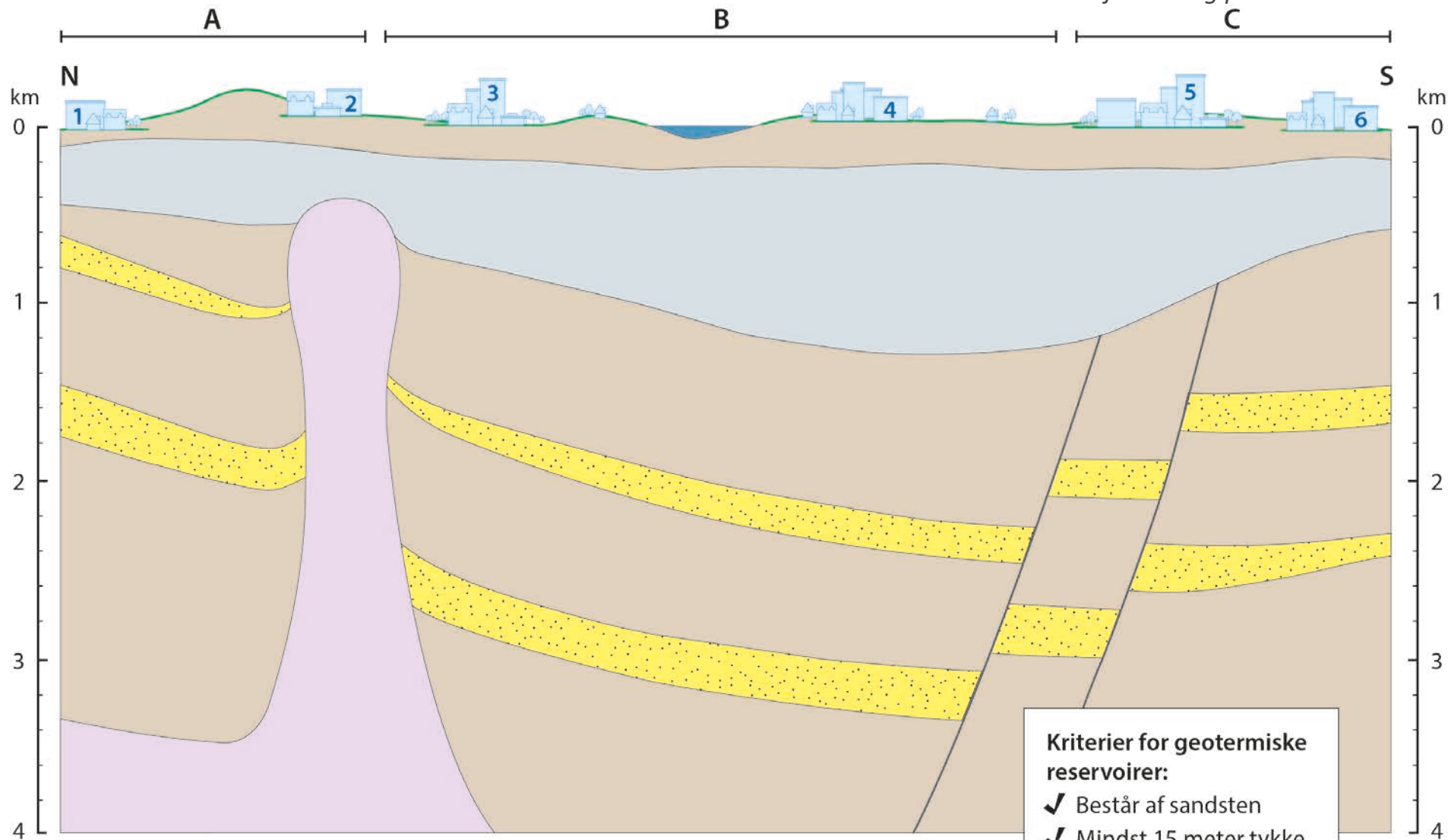
- Diskuter om I forstår kriterierne for geotermiske reservoirer
- Overvej om nogle reservoirer er bedre end andre, hvis flere af dem opfylder kriterierne
- Placér tre geotermiske anlæg (ét i hvert af områderne A, B og C)
- Indtegn en lodret boring under hvert anlæg ned til det udvalgte reservoir

Se næste side for print version

Opgave om geotermi

Placér tre geotermiske anlæg (ét i hvert af områderne A, B og C)
og indtegn en lodret boring under hvert anlæg ned til det udvalgte reservoir

boringen repræsenterer to
nabo-boringer til hhv.
injektion og produktion

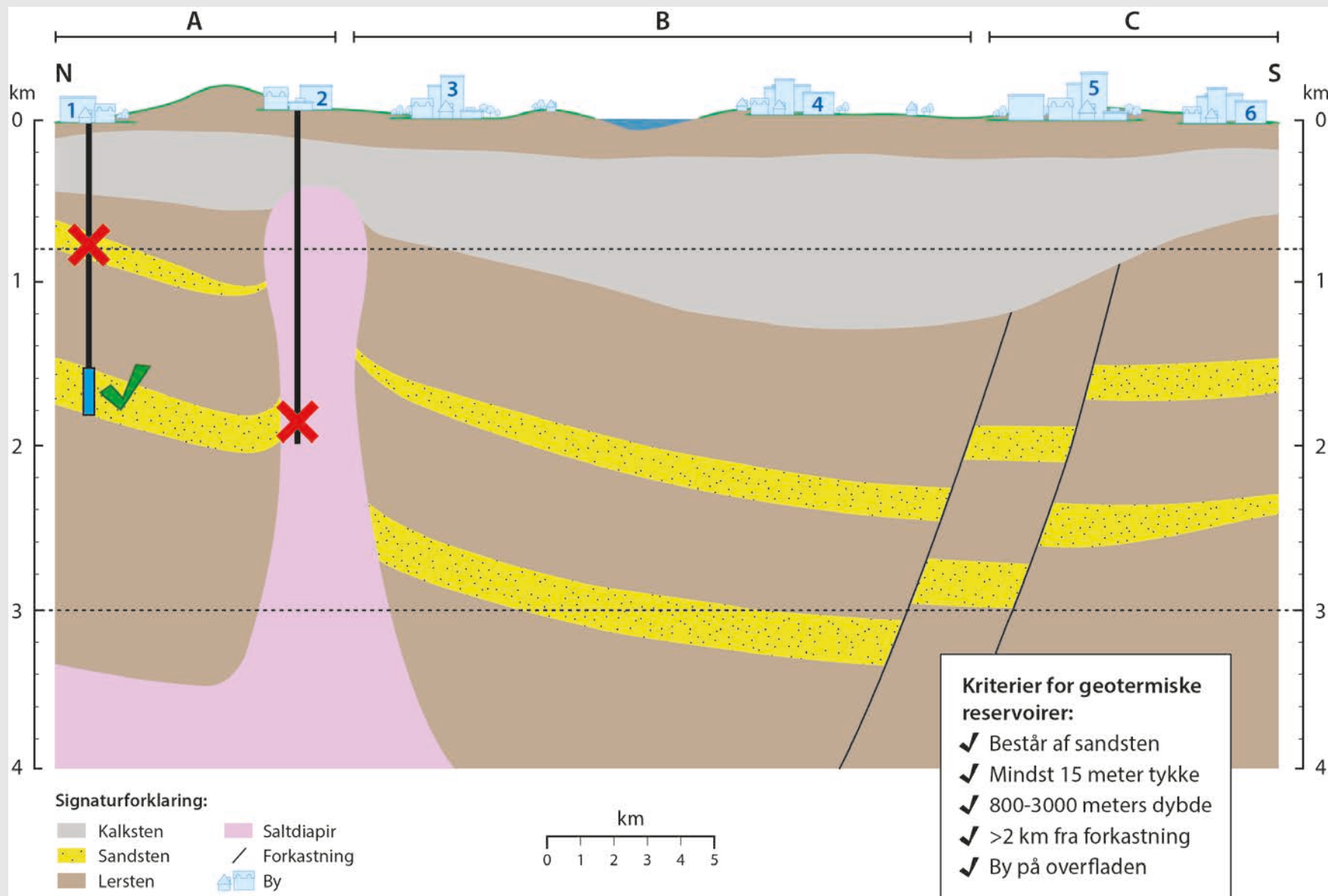


Signaturforklaring:

- | | |
|----------|-------------|
| Kalksten | Saltdiapir |
| Sandsten | Forkastning |
| Lersten | By |

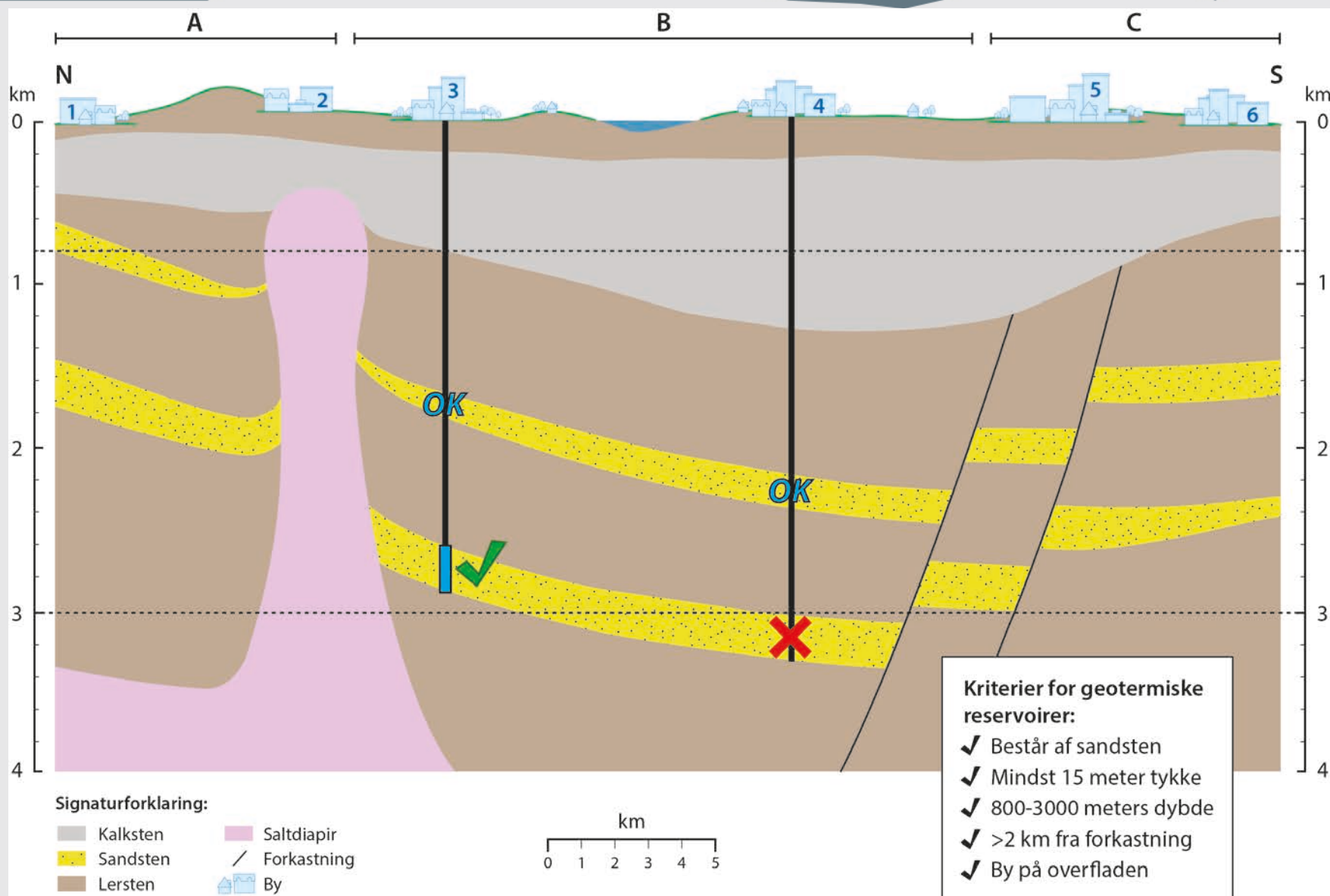
Kriterier for geotermiske reservoirer:

- ✓ Består af sandsten
- ✓ Mindst 15 meter tykke
- ✓ 800-3000 meters dybde
- ✓ >2 km fra forkastning
- ✓ By på overfladen



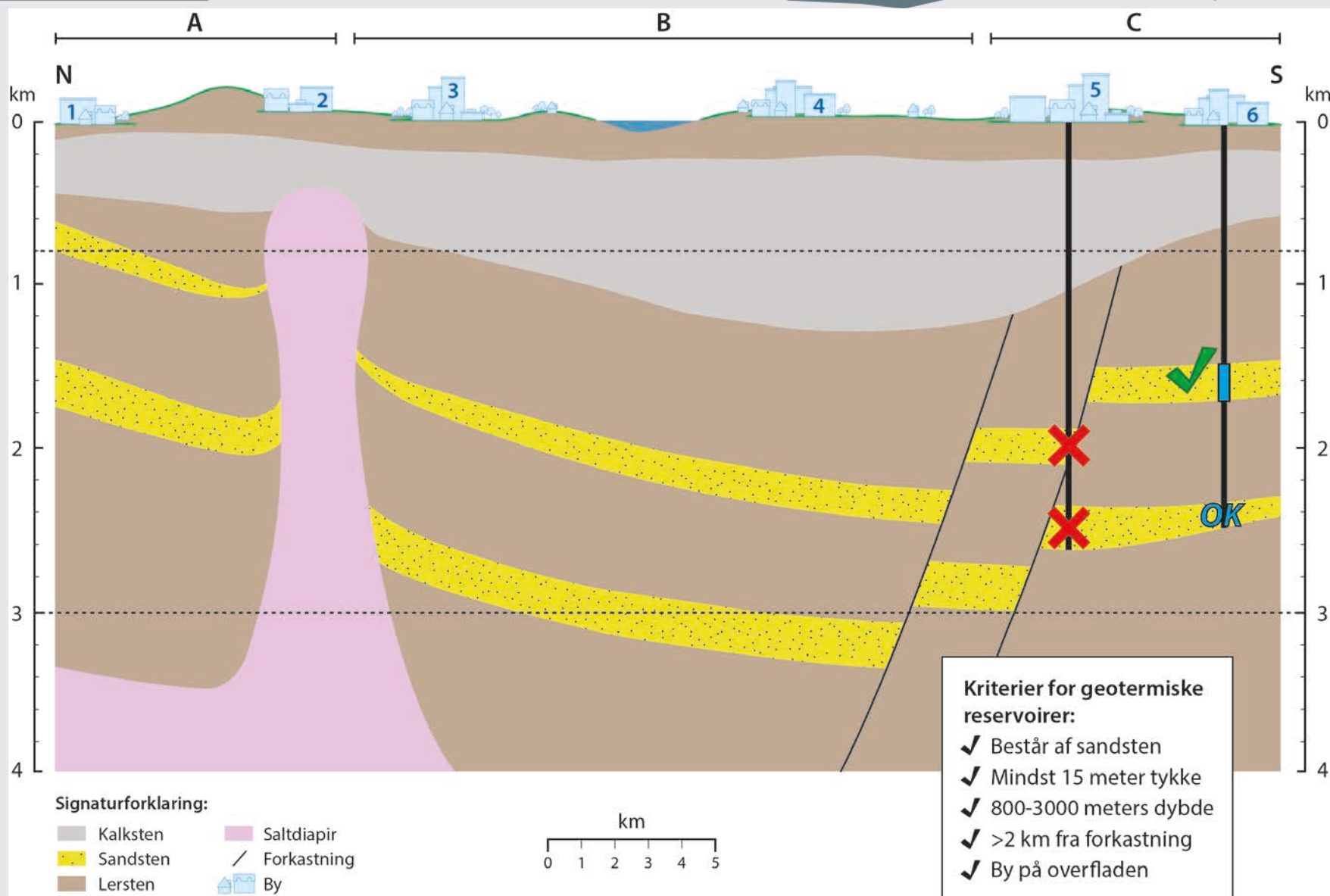
Løsning: Område A

- Det nederste sandstenslag under By-1 har en dybde og tykkelse, der er passende til geotermi
- Det øverste sandstenslag under By-1 er ikke varmt nok til geotermi
- Der kan ikke laves geotermi i By-2, da der ikke er sandsten i undergrunden
- Der bør ikke bores igennem en saltdiapir, fordi den kan bevæge sig, men ellers ville en skrå boring mod N have været en mulighed for By-2



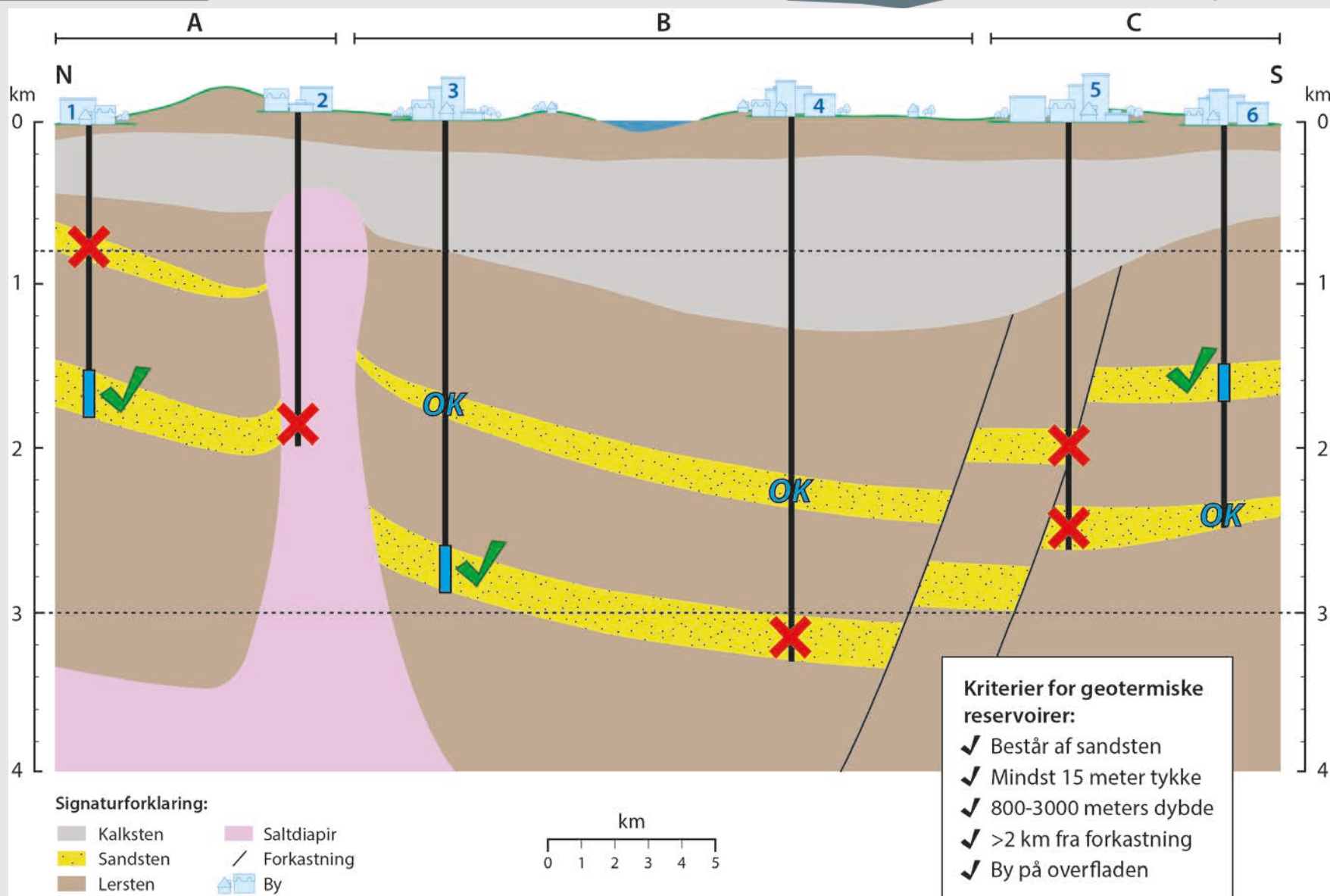
Løsning: Område B

- Det nederste sandstenslag under By-3 har en dybde og tykkelse, der er passende til geotermi
- Det øverste sandstenslag under By-3 og By-4 er egnet til geotermi, men kan ikke producere lige så meget varme som det dybere, tykkere lag under By-3
- Der kan ikke laves geotermi fra det nederste sandstens-lag under By-4, da der ikke kan strømme nok vand igennem sandstenene



Løsning: Område C

- Det er for usikkert at lave geotermi i By-5, da sandstenslagene i undergrunden ligger for tæt på forkastninger
- Det øverste sandstenslag under By-6 har en dybde og tykkelse der er passende til geotermi
- Det nederste sandstenslag under By-6 er egnet til geotermi, men det vil være dyrere at bruge fordi det er tyndere end det øverste lag og medfører større boringsomkostninger



Opsummering

- Den danske undergrund er velegnet til geotermi i det meste af landet
- Nogle steder er der flere egnede sandstenslag, så det må overvejes, hvilket lag det bedst kan betale sig at producere varme fra
- Der kan ikke bruges vand fra flere sandstenslag i samme boring, fordi lagene har forskellig vandkemi, og hvis vandet fra flere lag blandes kan det forårsage udfældning og dermed tilstopning

Øvelse: Geotermi i dit lokalområde

Kan evt. indgå i fællesfaglig prøve:

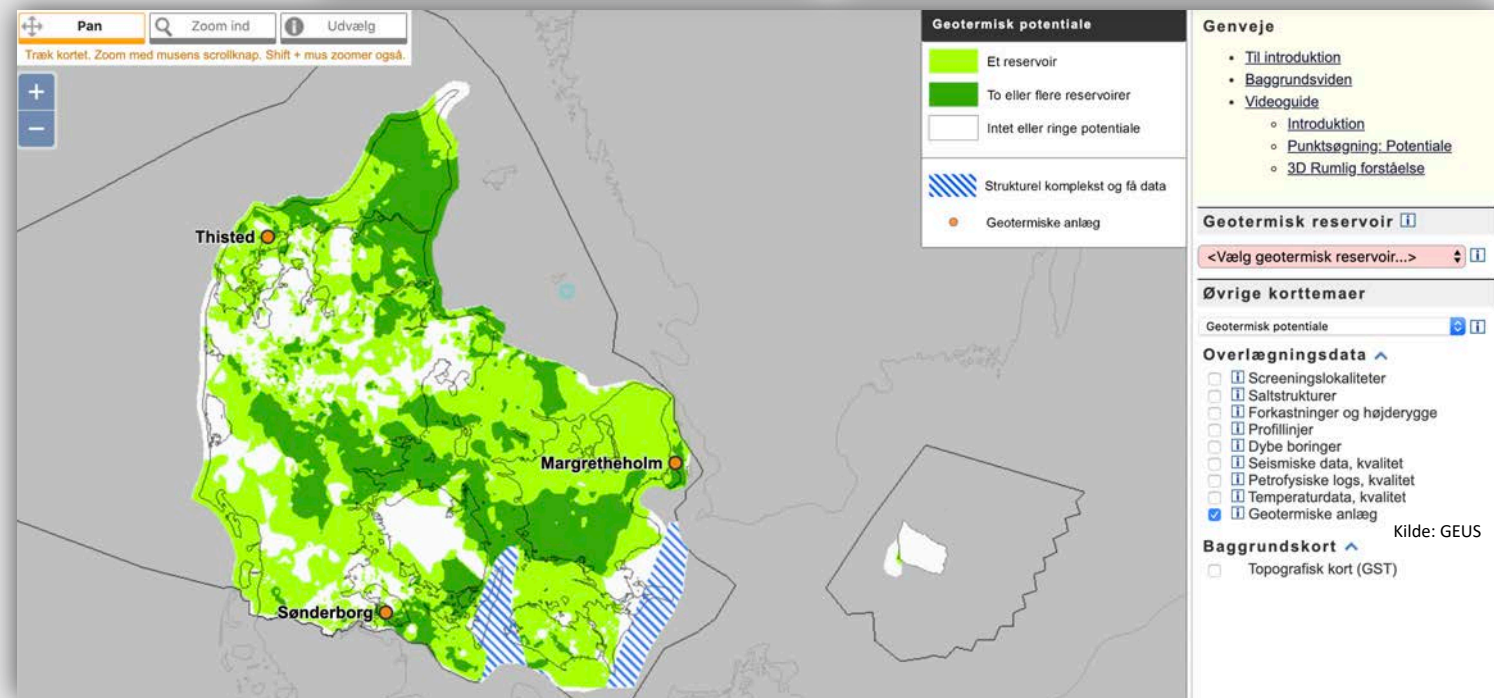
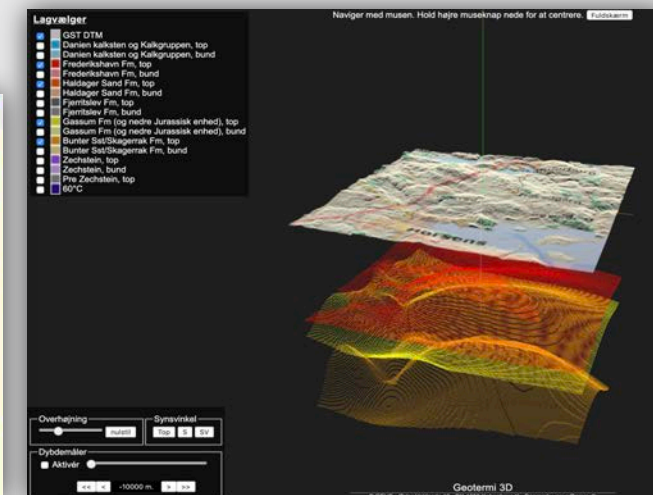
- Undersøg om jeres lokalområde er egnet til geotermi og sammenlign med en anden landsdel hvor I kender nogen der bor

Øvelsen løses ved hjælp af en WebGIS geotermi applikation som GEUS har lavet:

<https://data.geus.dk/geoterm/>

Tips

- Tryk et vilkårligt sted på kortet for at se hvilke reservoirer der findes dér og se 3D visningen hvor overhøjningen kan justeres
- Udvælg et geotermisk reservoir i menuen til højre og undersøg variationerne i dybde, tykkelse, temperatur mv.
- Undersøg datagrundlaget ved at tilføje fx dybe borer og seismiske data til kortet



Sådan kan I arbejde videre med emnet

Geotermi relaterer sig til disse andre lektioner fra **www.junior-geologerne.dk**:

- Jordvarme
- Lagring i undergrunden
- Danmarks undergrund i store træk
- Klimasystemet

Øvrige undervisningsmaterialer

WebGIS databasen med interaktive kort over geotermi i Danmark:

<https://data.geus.dk/geoterm/>

Kort over de gældende geotermiske licenser:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/geotermi/>

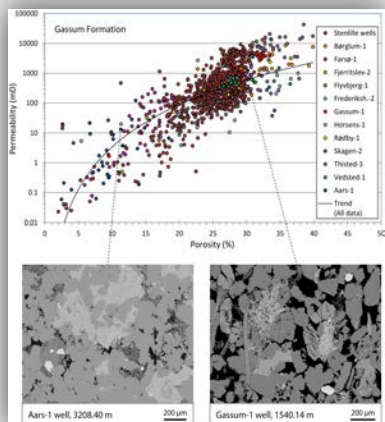
Geoviden temanummer om geotermi:

<https://www.geocenter.dk/geoviden/geotermi-varme-fra-jorden/>

Jordvarme og varmelagring:

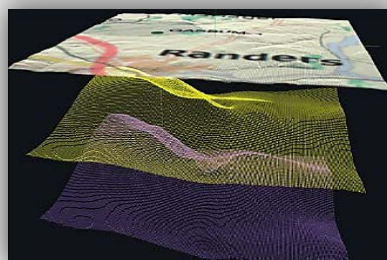
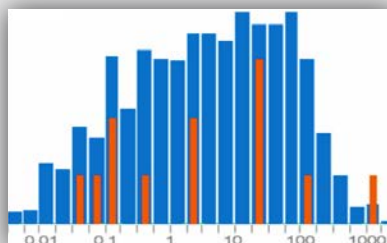
<https://geoenergi.org/>

Sådan arbejder geologer

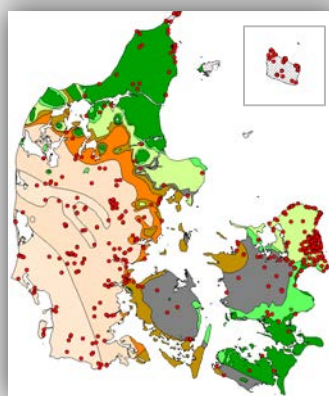
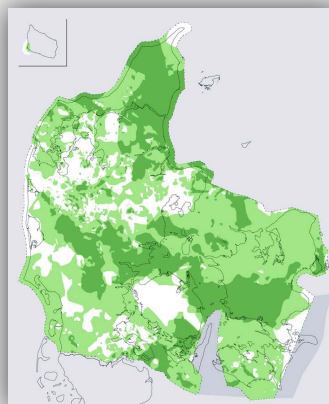


Analysere prøver
fra undergrunden

I Danmark



Modellerer
undergrundens
egenskaber



Udpeger de
egneede områder

I verden



Bruger varme fra fx
grundfjeld



Bruger høj-temperatur
geotermi til el-produktion