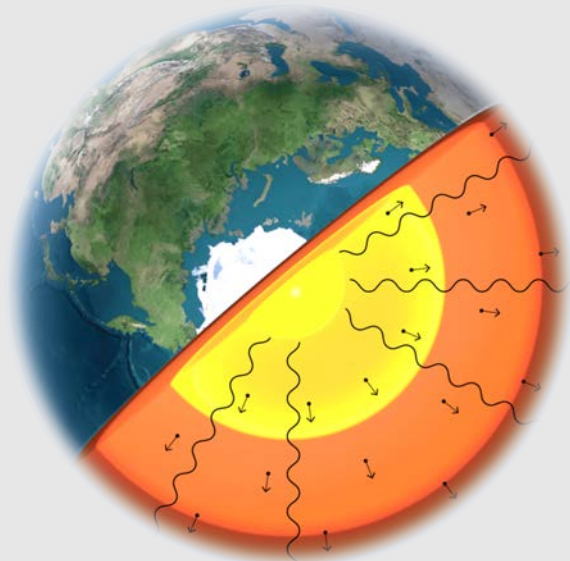


Jordvarme

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

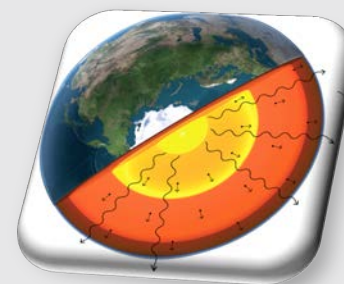


Vind



Formålet med jordvarme og geotermi 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 jordvarme og geotermi
- Jeg kan forklare hvordan varmen opstår
- Jeg ved hvordan jordvarme indvindes og omformes til rumvarme eller bruges til køling





Overvejelser om energikilder

Diskuter med din sidemakker:

Hvordan fungerer jordvarme og geotermi, og hvad er forskellen?

Hvor stammer energien, der udnyttes i jordvarme primært fra?

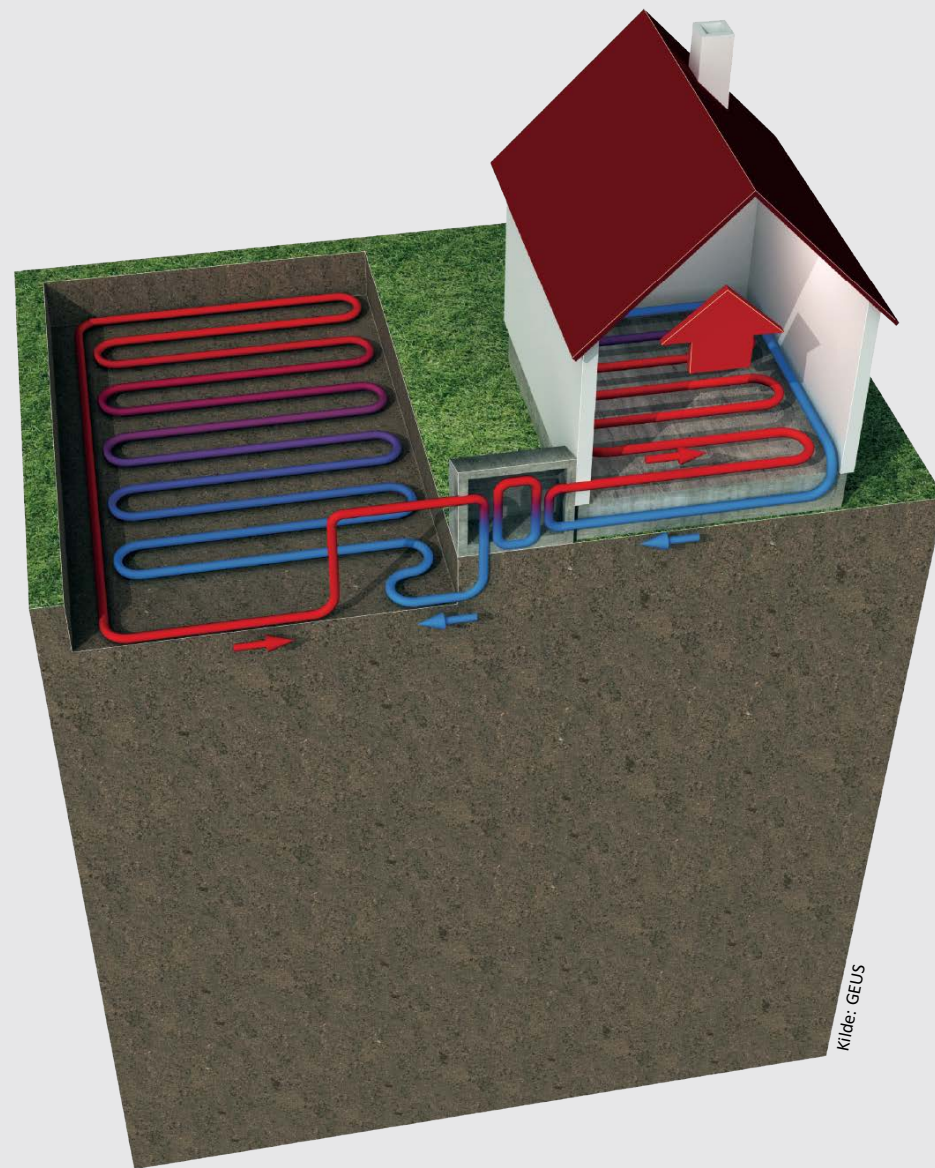
Hvor mange jordvarmeanlæg er der i Danmark?

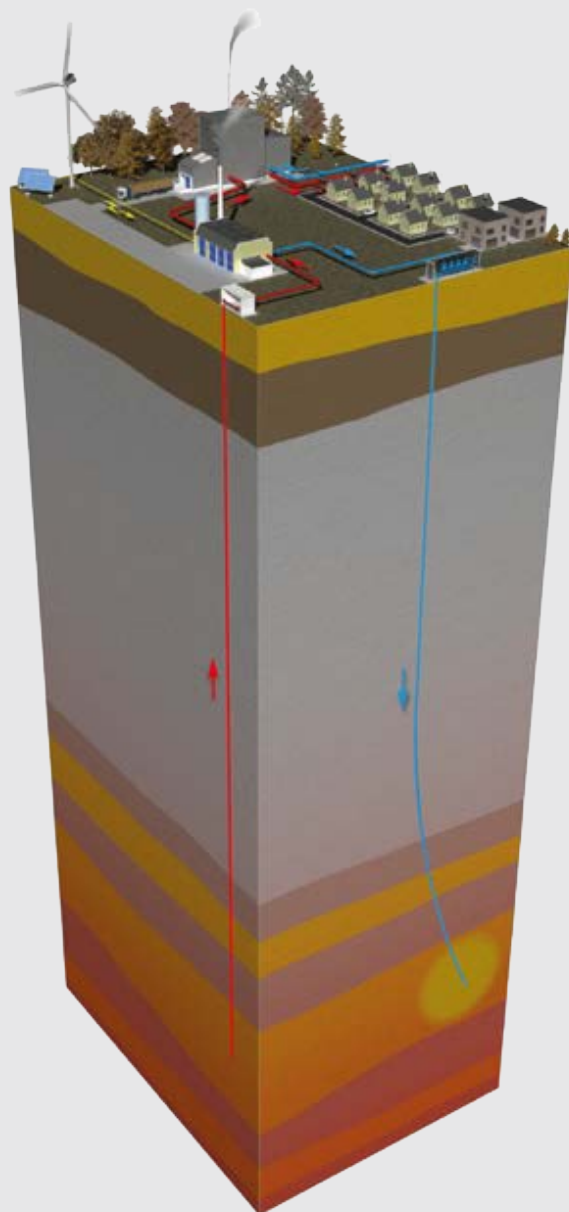
- ca. 70, 700 eller 7000?



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

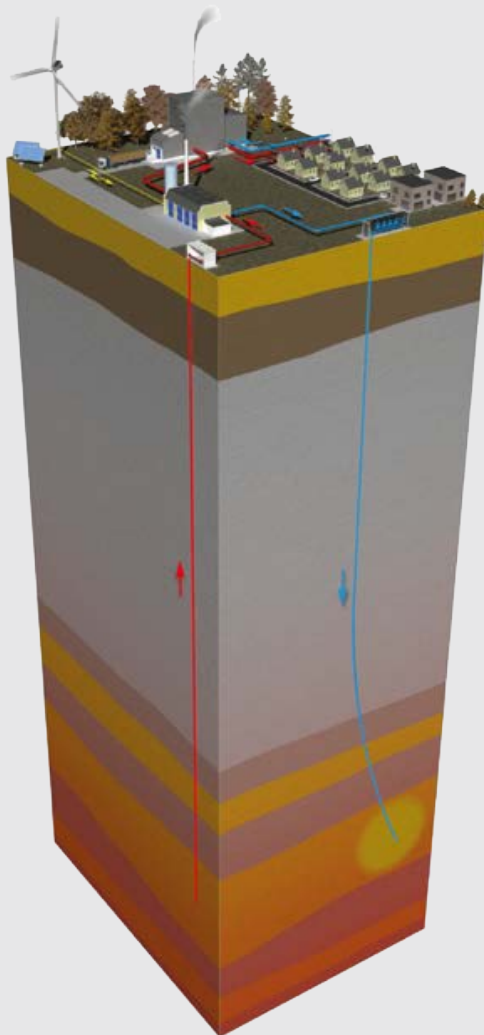
- Geotermisk energi til fjernvarmeproduktion kan indvindes i Danmark fra sandstenslag i ca. 0,8-3,0 km dybde som tommelfingerregel
- Vandet pumpes op i en produktionsboring og varmen udnyttes via varmepumpe og varmeveksler, hvorefter det afkølede vand pumpes ned igen i en injektionsboring
- Vandet pumpes 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

Geotermi og jordvarme

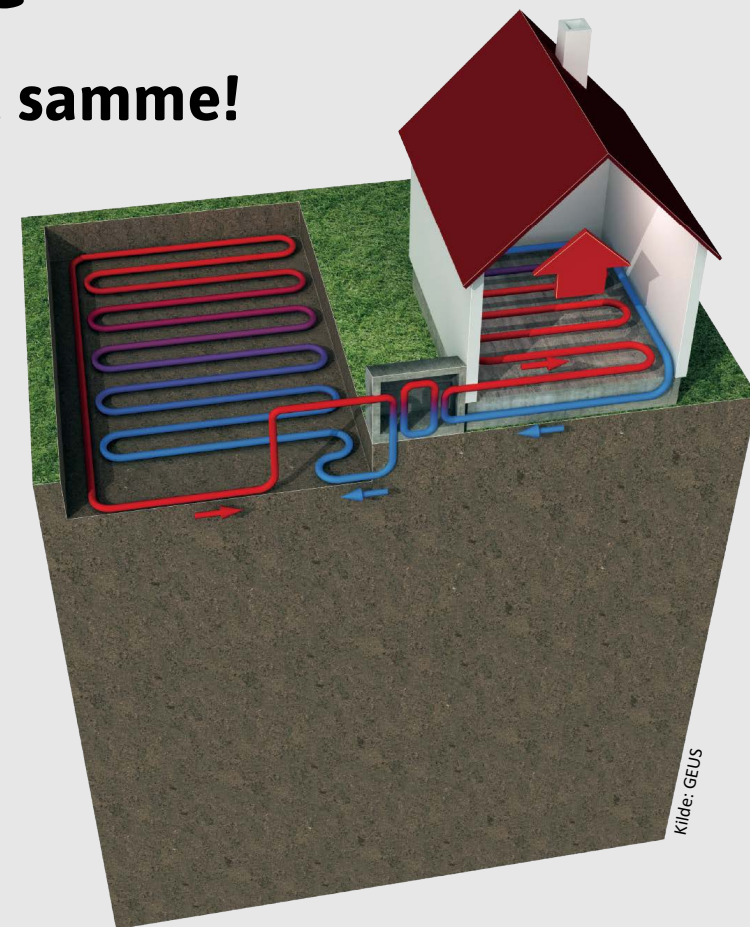
..er ikke det samme!

Diskuter med din sidemakker

- hvorfor geotermi og jordvarme ikke er det samme
- Hvilke forskelle kan I nævne?

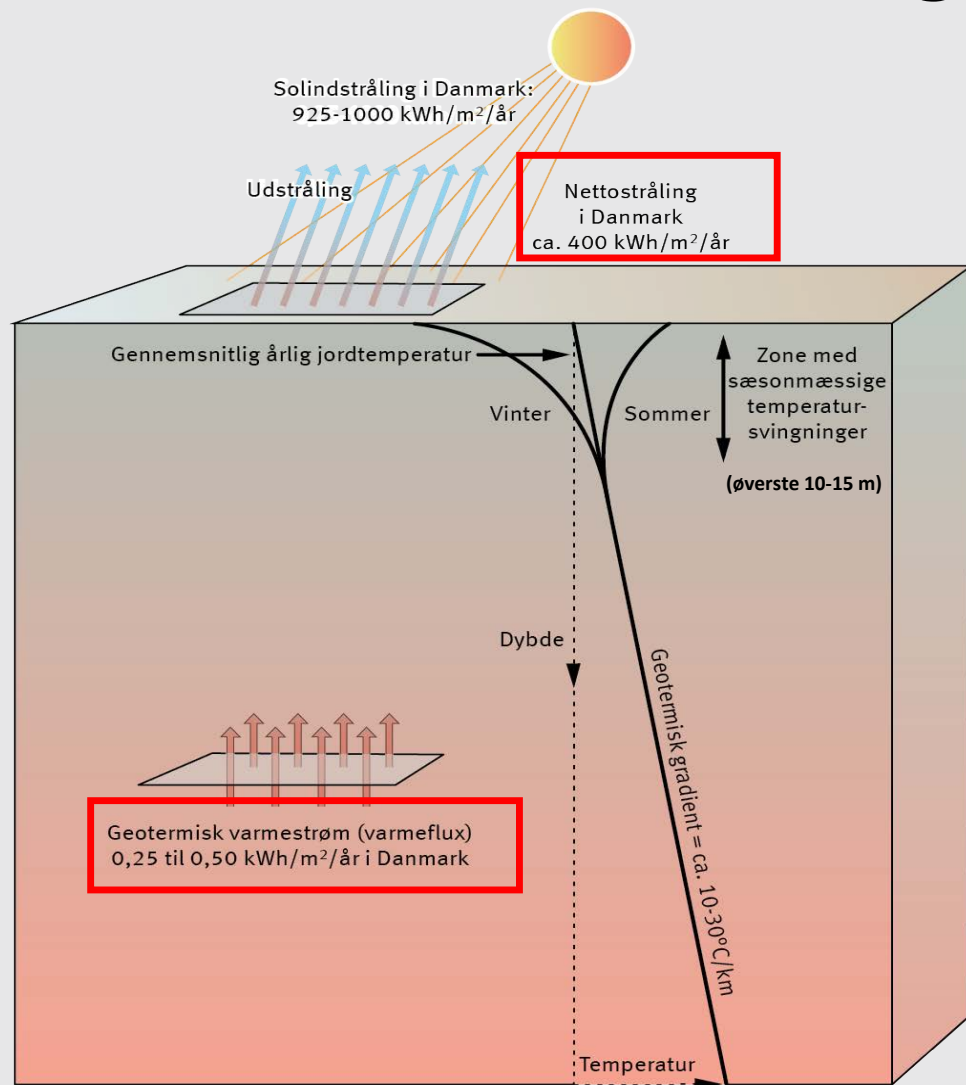


Geotermi



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

Overvejelser om jordvarme

Diskuter med din sidemakker:

- Hvor dybt påvirkes jordtemperaturen af årstiderne?
- Hvad er temperaturen lige under denne zone?
- Hvad er formålet med en varmepumpe?
- Er det bedst at placere en jordvarmeboring i vådt eller tørt sand?

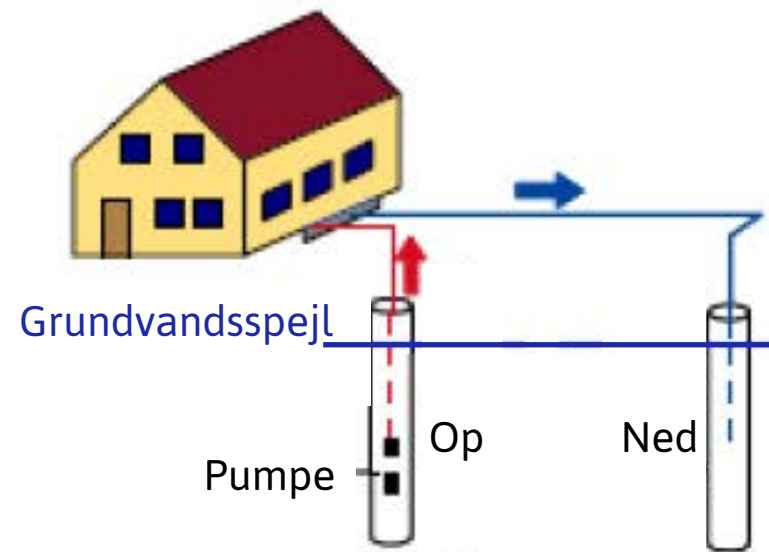
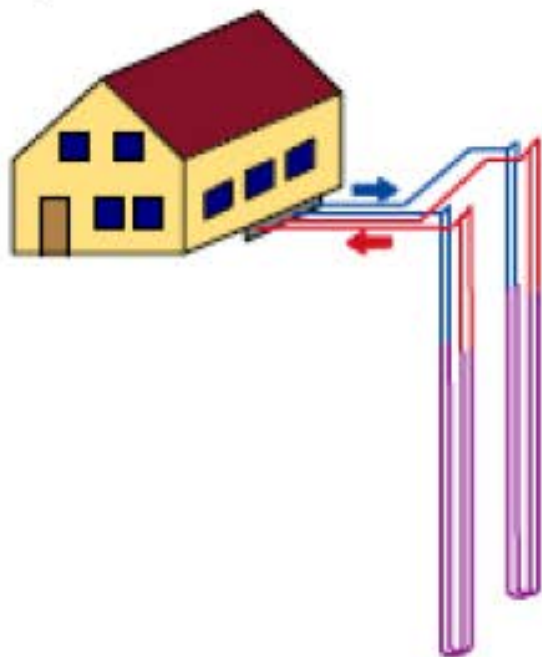


Tre typer af jordvarmeanlæg

A) Jordvarmeslanger 1 m under terræn

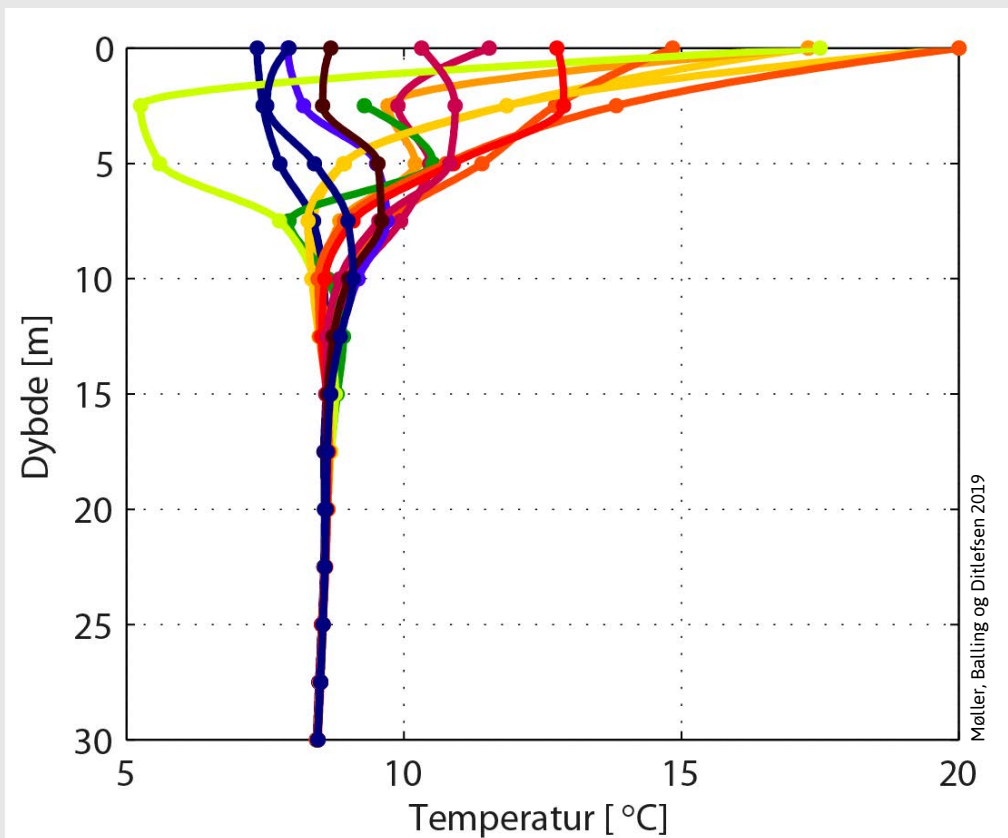


B) Lukkede jordvarmeboringer C) Åbne jordvarmeboringer



Temperaturvariationer nær overfladen

Sommerens varme og vinterens kulde trænger ned i jorden samtidig med at temperatursvingningen dæmpes



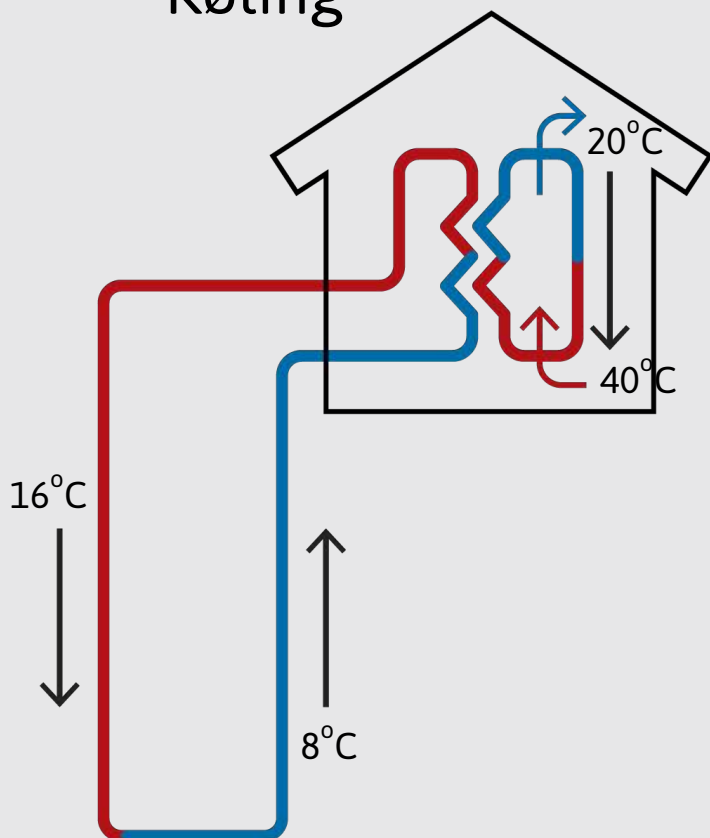
På figuren ses et eksempel på temperaturvariationer nær jordoverfladen, hvor hver kurve repræsenterer temperaturfordelingen i en måned af året

Overvej

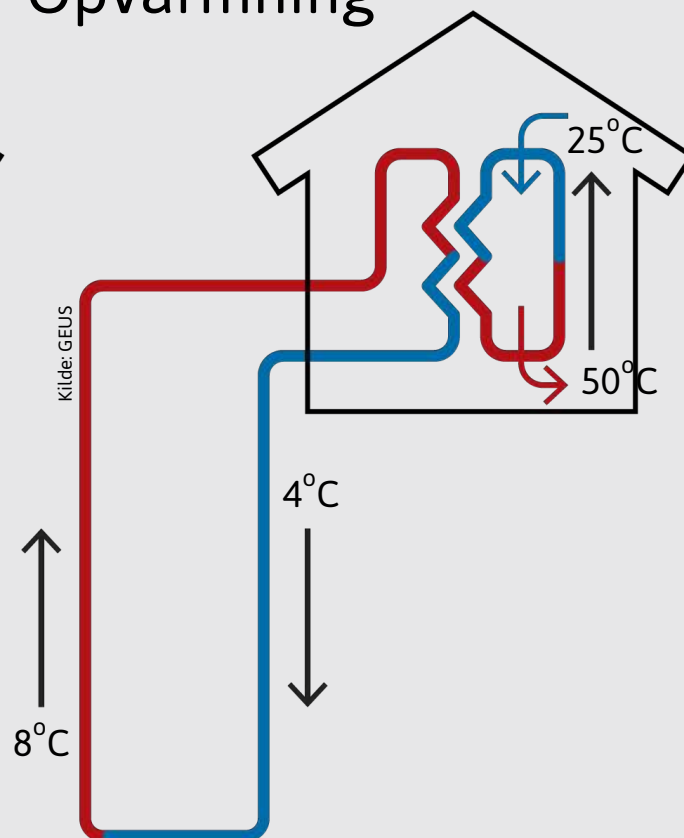
- Hvor meget varierer temperaturen i 1 meters dybde i løbet af et år?
- Under hvilken dybde er årstidsvariationen stort set nul?
- Hvad er temperaturen cirka i 30 meters dybde?

Varmepumpen

Køling



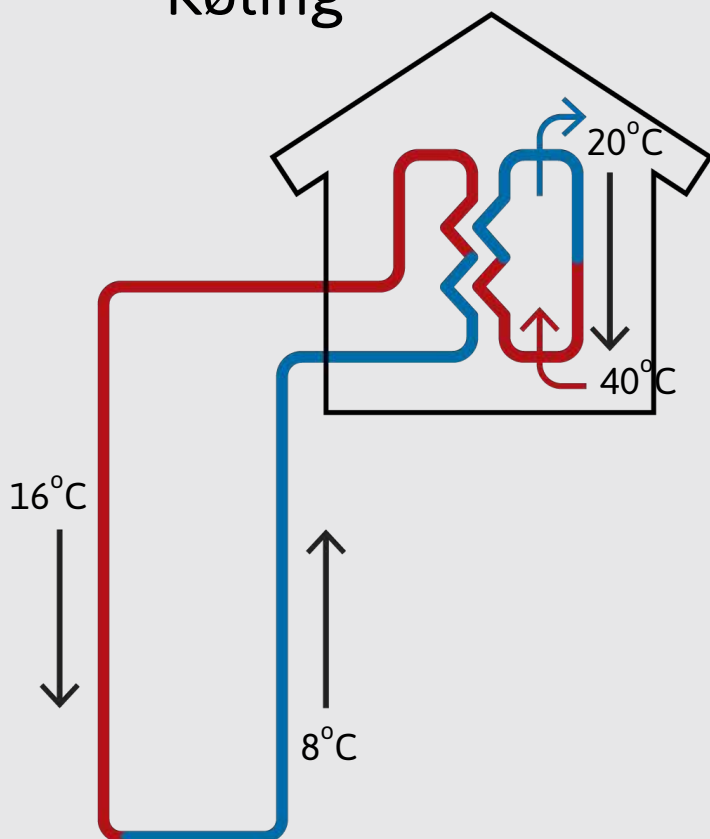
Opvarmning



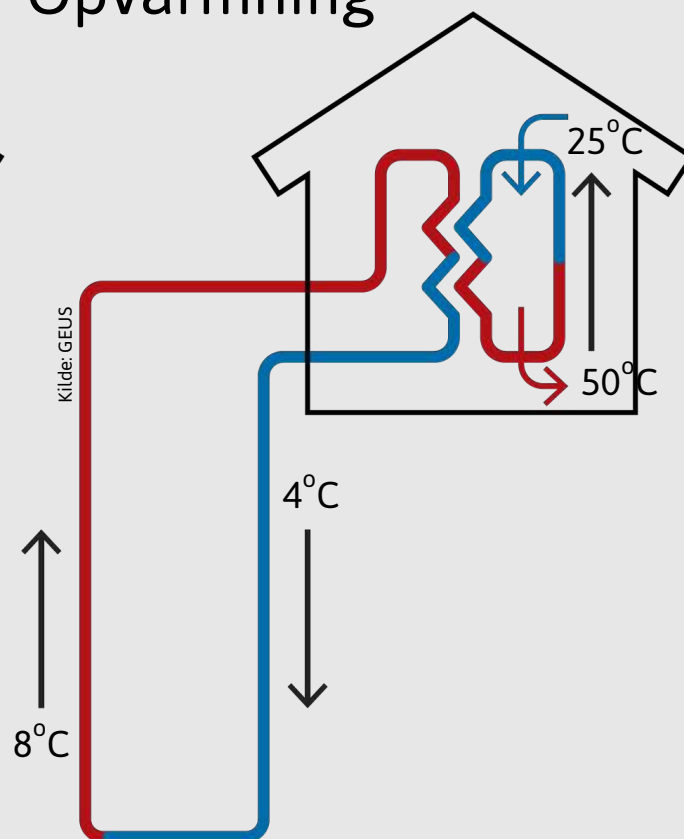
- Med en varmepumpe kan man hæve den temperatur man får fra jorden så den kan bruges til fx rumopvarmning
- Man kan omvendt også bruge temperaturen man får fra jorden til at køle indeluften om sommeren
- Varmepumpen kræver noget ekstra energi i form af strøm, typisk omkring 20% af den energi man indvinder fra jorden
- Derfor kan det godt betale sig at bruge en varmepumpe

Varmepumpen

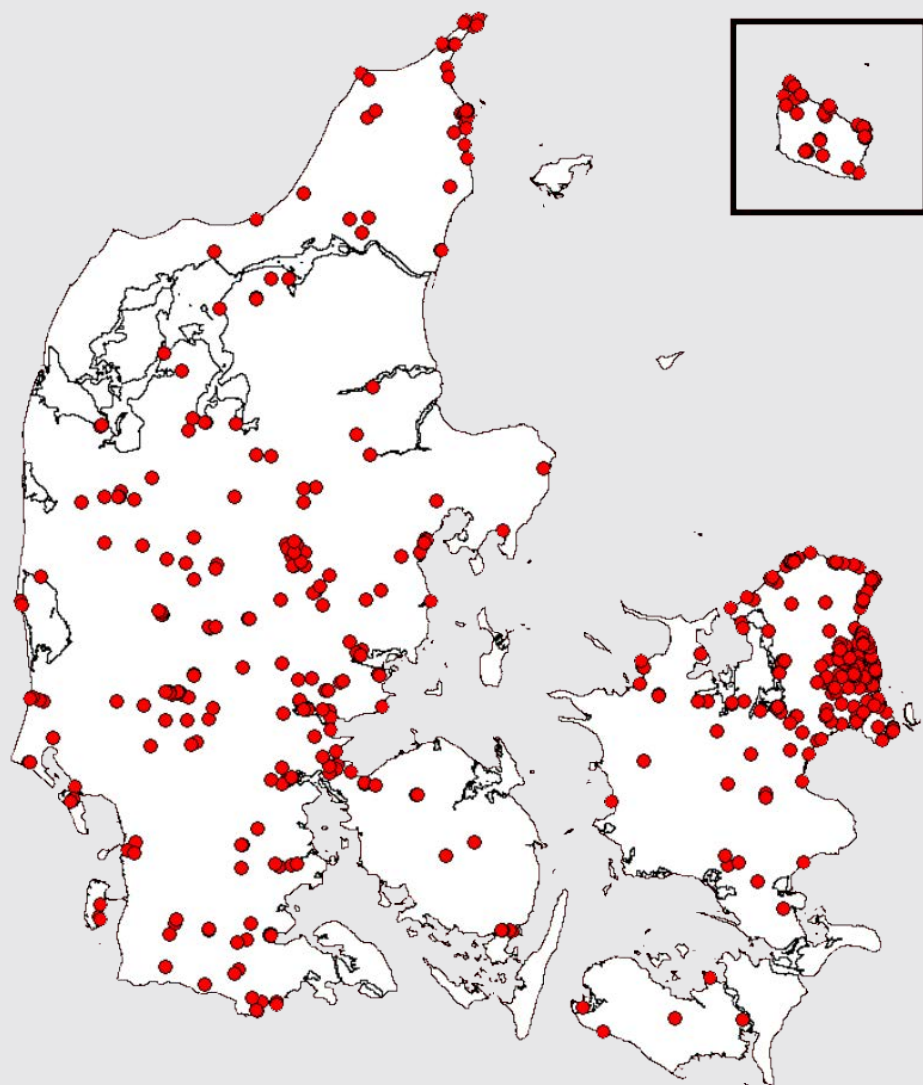
Køling



Opvarmning



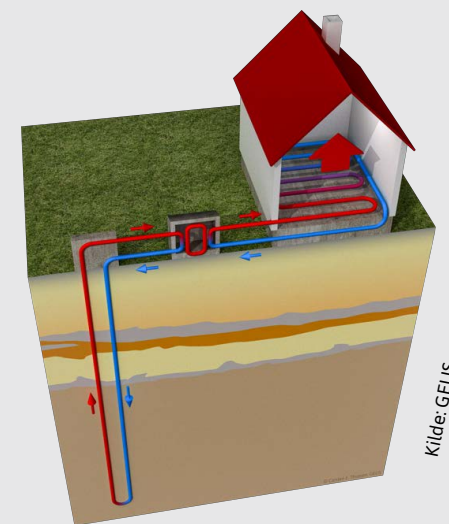
- Med en varmepumpe kan man hæve den temperatur man får fra jorden så den kan bruges til fx rumopvarmning
- Man kan omvendt også bruge temperaturen man får fra jorden til at køle indeluften om sommeren
- Varmepumpen kræver noget ekstra energi i form af strøm, typisk omkring 20% af den energi man indvinder fra jorden
- Derfor kan det godt betale sig at bruge en varmepumpe



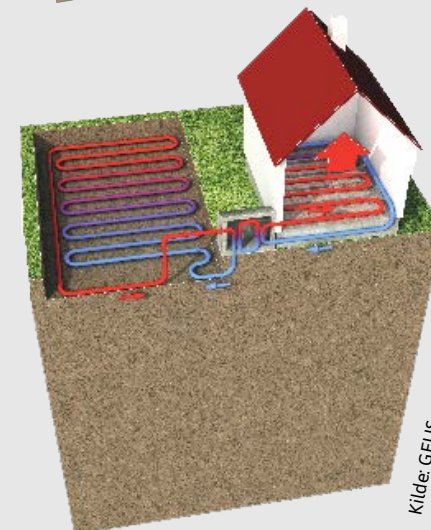
Jordvarmeboringer i Danmark (Jupiter 2020)

Jordvarme i Danmark

- Der er registreret ca. 1100 jordvarmeboringer i Danmark, hvoraf omkring 75 er åbne, grundvandsbaserede boringer
- Enfamiliehuse har typisk behov for en eller to boringer mens større virksomheder ofte har en del flere (5-15 stk.)
- Til sammenligning anslås der at være etableret i størrelsesordenen af 7000 jordvarmeanlæg med slanger
- Disse benyttes primært til enfamiliehuse

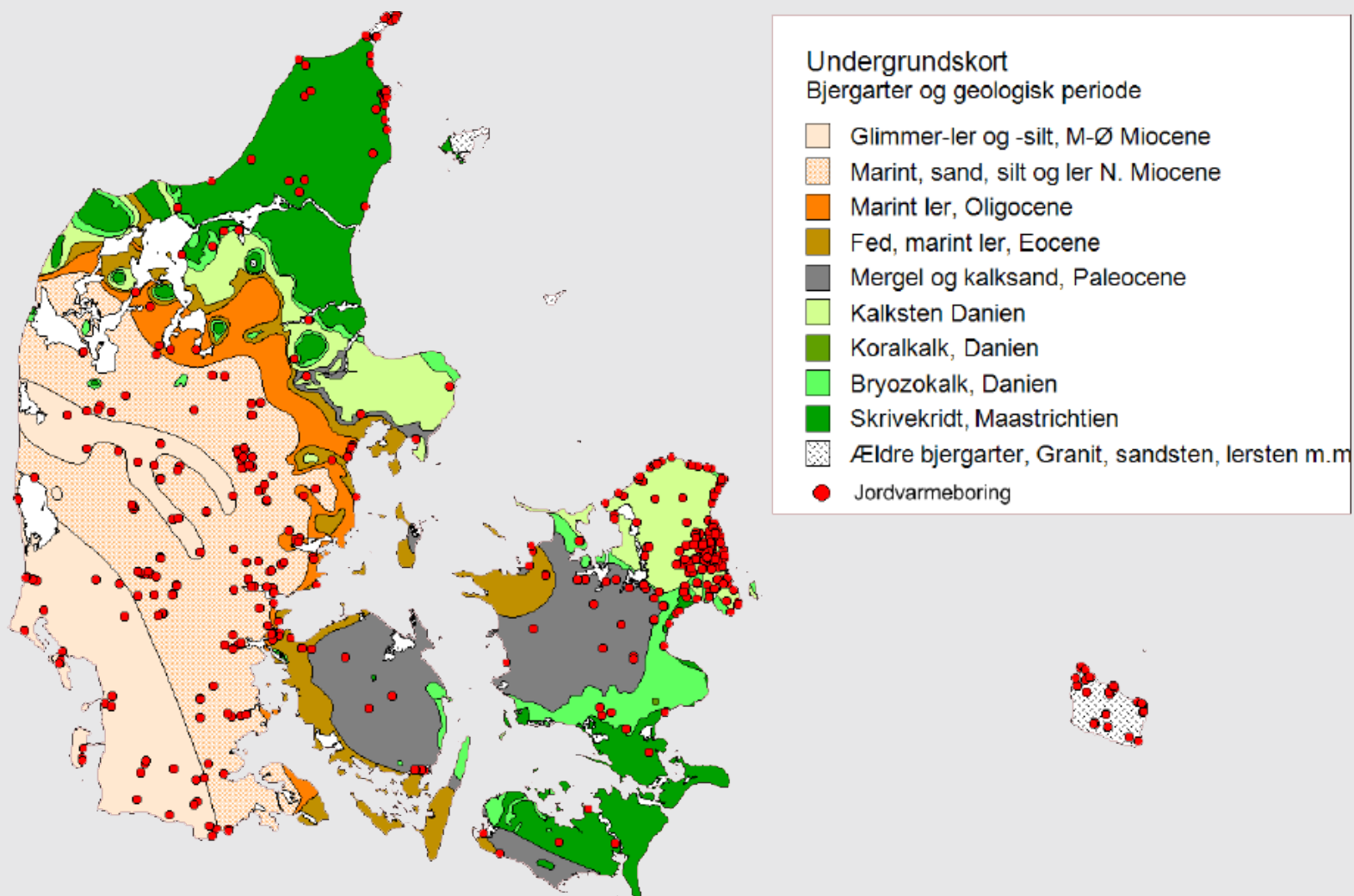


Kilde: GEUS



Kilde: GEUS

Jordvarme i Danmark



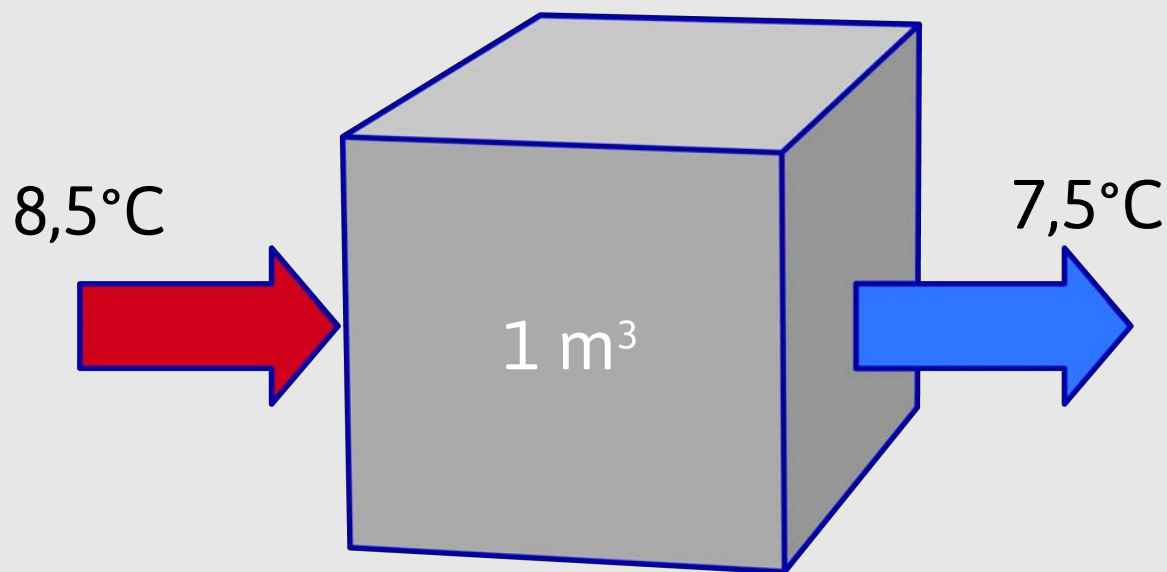
- Egnede jordlag findes over det meste af landet
- Lukkede jordvarmeboringer er mest effektive i jordlag med høj varmeledningsevne
- Åbne jordvarmeboringer kræver vandførende lag med en vis udbredelse og afstand til anden vandindvinding
- Jordvarme er især attraktiv udenfor større byer med fjernvarme bl.a. til erstatning af oliefyr

Der er lavet mange jordvarmeboringer omkring København, på Bornholm og i Sydjylland. Hvilke bjergarter møder man i undergrunden de tre steder?

Varmeledningsevne

Effektiviteten af en jordvarmeboring afhænger af de omgivende materials varmeledningsevne λ (lambda)

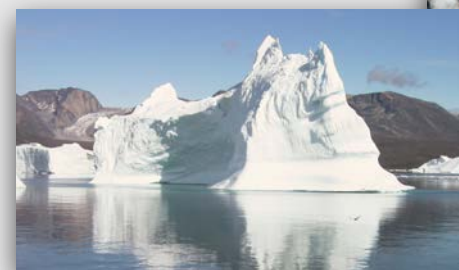
Et materiales λ -værdi angiver, hvor godt materialet leder varme



λ -værdi i W/m°C

Omtrentlig varmeledningsevne af forskellige materialer

Materialer	Varmelednings-evne (W/m°C)
Sølv	410
Stål	50
Jord og klippe	1-4
Is	2
Vand	0,6
Uld	0,035
Luft	0,025

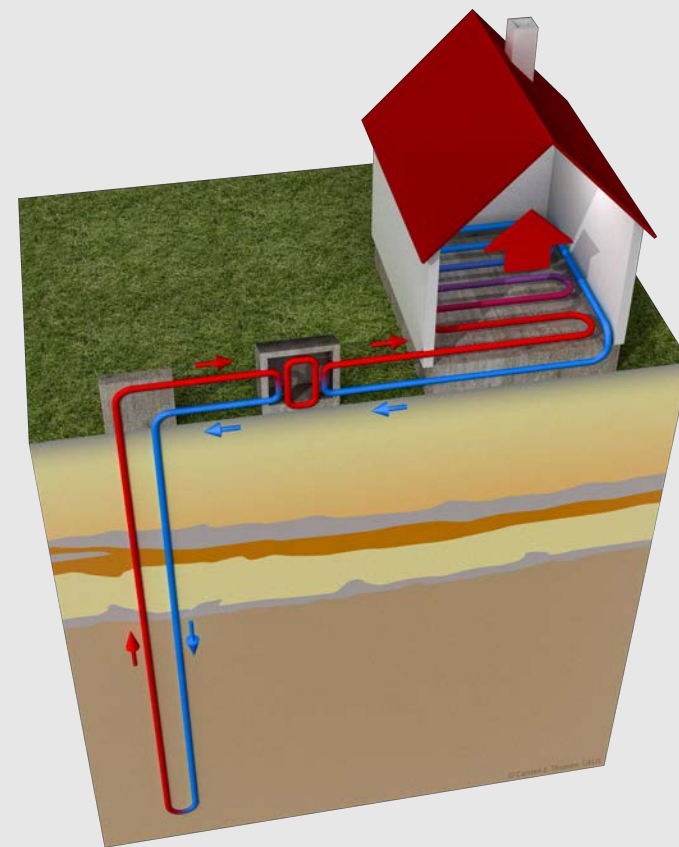


Kilde: GEUS



Omtrentlig varmeledningsevne af forskellige materialer

Geologiske materialer	Varmelednings-evne (W/m°C)
Granit	3,2
Sandsten	2-4
Vådt sand under grundvandsspejlet	2,4
Ler med sand og sten (moræneler)	1,9
Kridt	1,6
Rent ler	1,1
Tørt sand (over grundvandsspejlet)	0,4



Øvelse om jordvarme

Forskelle i jordvarmeboringers ydelse

- Et moderat isoleret parcelhus bruger en energimængde på omkring 9000 kilowatt timer om året til opvarmning
- Generelt regner man med at en boring med varmepumpe kører 1800 timer om året
- På grund af forskellig varmeledningsevne i forskellige geologiske materialer er effekten (målt i watt) der kan afgives forskellig:

Tørt sand: 25 watt pr. meter boring

Ler: 42 watt pr. meter boring

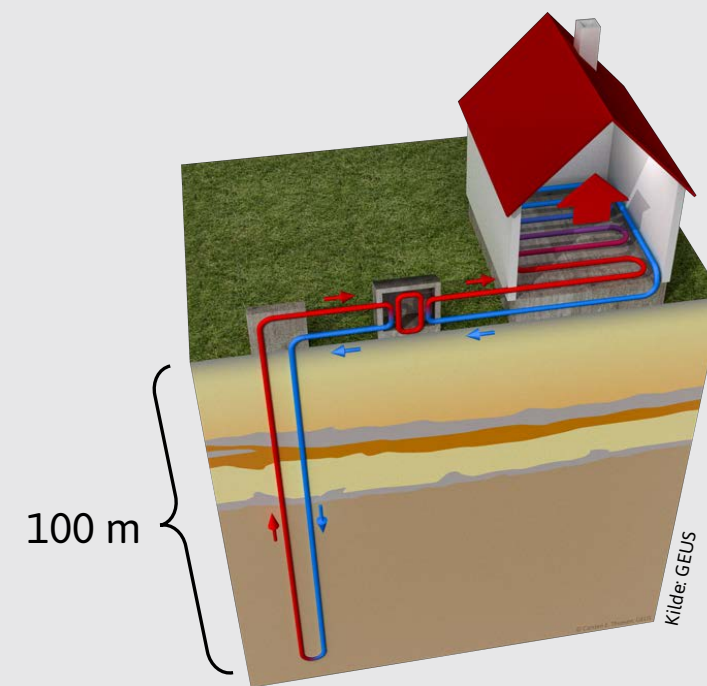
Vådt sand: 72 watt pr. meter boring

Hvor meget energi kan der indvindes fra en 100 m dyb boring?

- a) i vådt sand
- b) i ler
- c) i tørt sand
- d) i sand hvor grundvandet træffes 50 m under terræn

Hvor mange boringer / boremetre er der behov for til et parcelhus i de fire tilfælde?

Tip: Effekten pr. meter boring ganges med boringens længde og derefter ganges med det årlige antal timer varmepumpen kører for at få den samlede energimængde. Divider til slut med 1000 for at omregne fra watt timer til kilowatt timer. I spørgsmål d summeres energien for hhv. 50 m tørt sand og 50 m vådt sand.



Øvelse om jordvarme

Forskelle i jordvarmeboringers ydelse

- Et moderat isoleret parcelhus bruger en energimængde på omkring 9000 kilowatt timer om året til opvarmning
- Generelt regner man med at en boring med varmepumpe kører 1800 timer om året
- På grund af forskellig varmeledningsevne i forskellige geologiske materialer er effekten (målt i watt) der kan afgives forskellig:

Tørt sand: 25 watt pr. meter boring

Ler: 42 watt pr. meter boring

Vådt sand: 72 watt pr. meter boring

Hvor meget energi kan der indvindes fra en 100 m dyb boring ?

a) i vådt sand: $72 \text{ watt/m} \times 100 \text{ m} \times 1800 \text{ timer} = 12.960.000 \text{ watt timer} = 12960 \text{ kWt}$

b) i ler $42 \text{ watt/m} \times 100 \text{ m} \times 1800 \text{ timer} = 7.560.000 \text{ watt timer} = 7560 \text{ kWt}$

c) i tørt sand: $25 \text{ watt/m} \times 100 \text{ m} \times 1800 \text{ timer} = 4500000 \text{ watt timer} = 4500 \text{ kWt}$

d) i sand hvor grundvandet træffes 50 m under terræn

$25 \text{ watt/m} \times 50 \text{ m} \times 1800 \text{ timer} + 72 \text{ watt/m} \times 50 \text{ m} \times 1800 \text{ timer} = 2250 \text{ kWt} + 6480 \text{ kWt}$

=8730 kWt

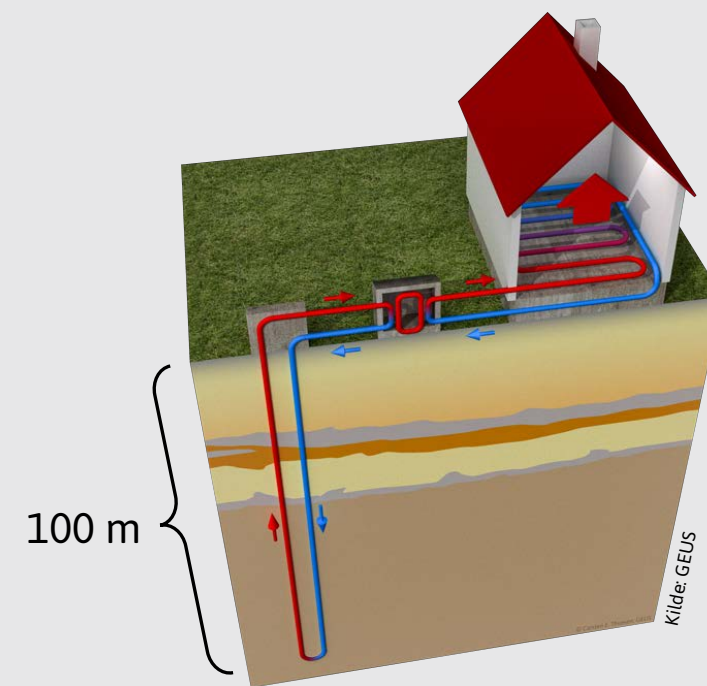
Hvor mange boringer / boremetre er der behov for til et parcelhus i de fire tilfælde ?

a) $100 \text{ m} \times (9000/12960) = \text{ca. } 70 \text{ m}$

b) $100 \text{ m} \times (9000/7560) = \text{ca. } 119 \text{ m}$

c) $100 \text{ m} \times (9000/4500) = \text{ca. } 200 \text{ m}$ svarende til 2 stk. 100 m boringer

d) $100 \text{ m} \times (9000/8730) = \text{ca. } 103 \text{ m}$



Sådan kan I arbejde videre med emnet

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

- Geotermi
- Lagring i undergrunden
- Grundvand og klimaforandringer

Øvrige undervisningsmaterialer

Generelt om vedvarende energi:

<http://sustainable.dk/energi-2/3-produktion-af-energi/>

Jordvarme og varmelagring:

<https://geoenergi.org/>

Geoviden nr. 4, 2011, side 16-19:

https://www.geocenter.dk/wp-content/uploads/2018/07/Geoviden_4_2011.pdf

Muligheder for varmelagring:

<http://data.geus.dk/geusmap/?mapname=varmelagring>

Geoviden temanummer om geotermi:

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

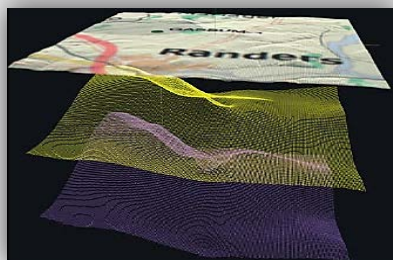
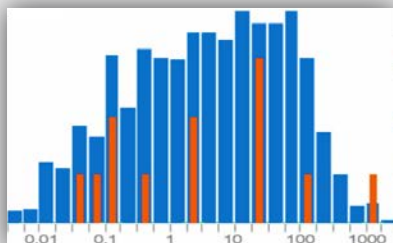
Sådan arbejder geologer



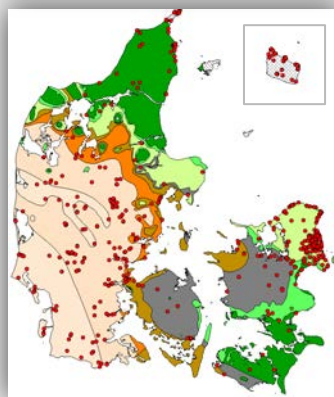
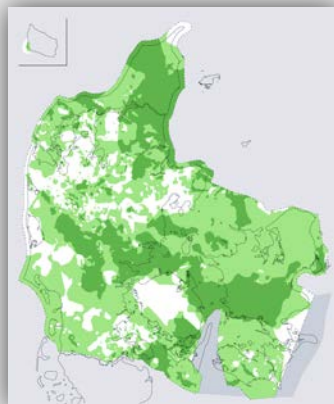
I Danmark



Analyserer prøver
af de øvre lag



Modellerer
undergrundens
egenskaber



Udpeger de
egnede områder

Kilde: GEUS



Tester nye metoder

I verden



Bruger varme fra fx
grundfjeld