

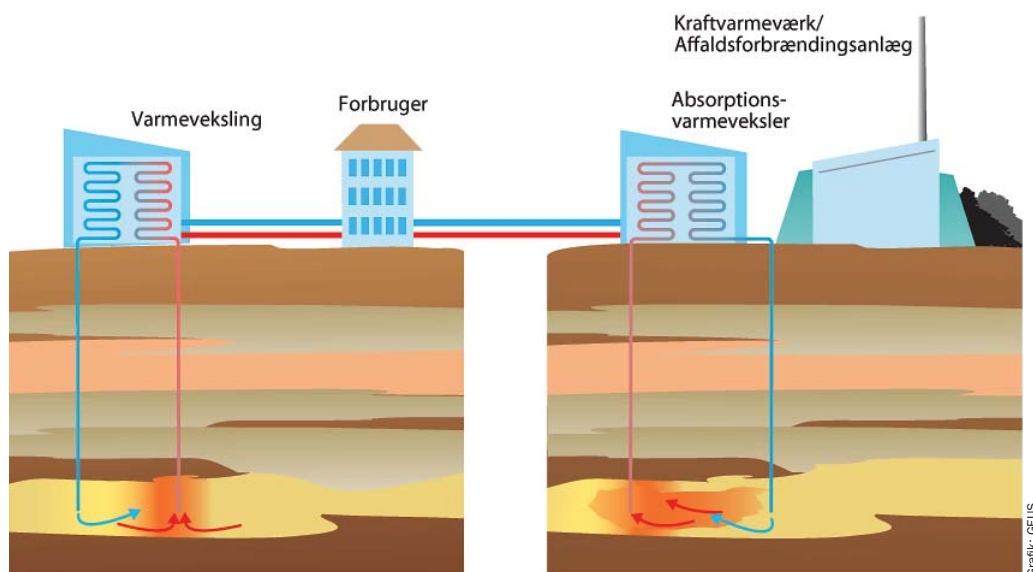
# Varmen fra Jordens indre

Fra jordens indre strømmer der uafbrudt varme ud mod jordoverfladen og opvarmer vandet i undergrundens porøse sandstenslag. Denne geotermiske energi kan bruges til at opvarme vore huse – og i Danmark har vi et stort uudnyttet potentiale.

Af Anders Mathiesen

De seneste års efterforskning har vist, at der i Danmark findes mange områder med gode sandstenslag, hvor geotermisk energi vil kunne bidrage både til varmforsyningen og til den lokale forsyningsikkerhed. Denne vedvarende energi kan udnyttes ved at pumpe varmt vand fra undergrunden op gennem en produktionsboring og ekstrahere varmen ved direkte og indirekte varmeveksling. Varmen kan derefter ledes via almindelig fjernvarme til forbrugerne. Det afkølede vand pumpes derefter tilbage ned i reservoiret gennem en injektionsboring (se figur). Rentabel geotermisk varmeproduktion kræver således, at det er muligt at afsætte den producerede varme, f.eks. til et nærliggende fjernvarmenet. Eneste begrænsning og risiko er, at det geotermiske vand skal holdes i et lukket kredsløb – fra produktionsboring, gennem varmeveksler og tilbage igen gennem injektionsboringen og ned i sandstensreservoiret. Kredsløbet skal være lukket, da vandet fra undergrunden kan indeholde bl.a. salt, som hvis det udfældes kan reducere gennemstrømningen.

Danmarks første geotermiske



For at udnytte den geotermiske varme skal man bore to dybe huller det helt rigtige sted, dvs. der hvor man finder de mest optimale geologiske forhold i form af porøse sandstenslag. Fra det ene hul oppumpes varmt vand fra sandstenslaget – f.eks. med en temperatur på ~73 °C som på Margretheholm – op til overfladen, hvor man trækker varmen ud af vandet. Varmen overføres herefter ved hjælp af en varmeveksler til forbrugerne via varmefjernvarmenettet. For at sikre at trykket i sandstenslaget bevares uændret pumpes det afkølede ~15 °C lunkne vand via en injektionsboring et par km derfra tilbage ned i sandstenslagene. Et geotermisk anlæg, som f.eks. Margretheholm er ikke i drift om sommeren, idet overskudsvarmen fra affaldsforbrændingen i denne periode er stor nok til at opfylde fjernvarmebehovet.

anlæg blev bygget i Thisted i 1984, og det har fungeret tilfredsstillende siden. Thisted-anlægget har vist, at geotermalt vand med selv relativ lav temperatur (omkring 50 °C) kan danne basis for en betragtelig varmeproduktion, og at brug af en såkaldt *absorptionsvarmepumpe* kan reducere driftsomkostningerne væsentligt, især

hvis drivvarmen leveres fra et nærliggende affaldsforbrændingsanlæg.

## Sandstenens egenskaber

Når man skal etablere et geotermisk anlæg, er det vigtigt at vide, hvor sandstensreservoirerne er, og hvor tykke de er. Samtidig skal de ligge tilstrækkelig dybt, så temperaturen er

høj nok til, at der er økonomi i at hente vandet op fra dem. Grunden til at sandstenslag i reservoirerne er interessante i geotermisk sammenhæng, er at det er nemmere at trække vandet ud af sandsten end f.eks. lerlag, som har en tættere struktur. Dette kræver blandt andet, at reservoirerne har et stort porevolumen (god porøsitet), og at

det varme vand kan strømme frit mellem porerne (god permeabilitet). Generelt falder både porøsiteten og permeabiliteten med dybden på grund af trykket af de overliggende aflejringer og kemiske udfældningsprocesser, der delvist udfylder porerne. Derimod stiger temperaturen af vandet med dybden svarende til ca. 30 °C/km. Ud fra den generelle viden om disse to modsatrettede tendenser er det primært dybdeintervallet 1000–3000 m, der forventes at have det største potentiale.

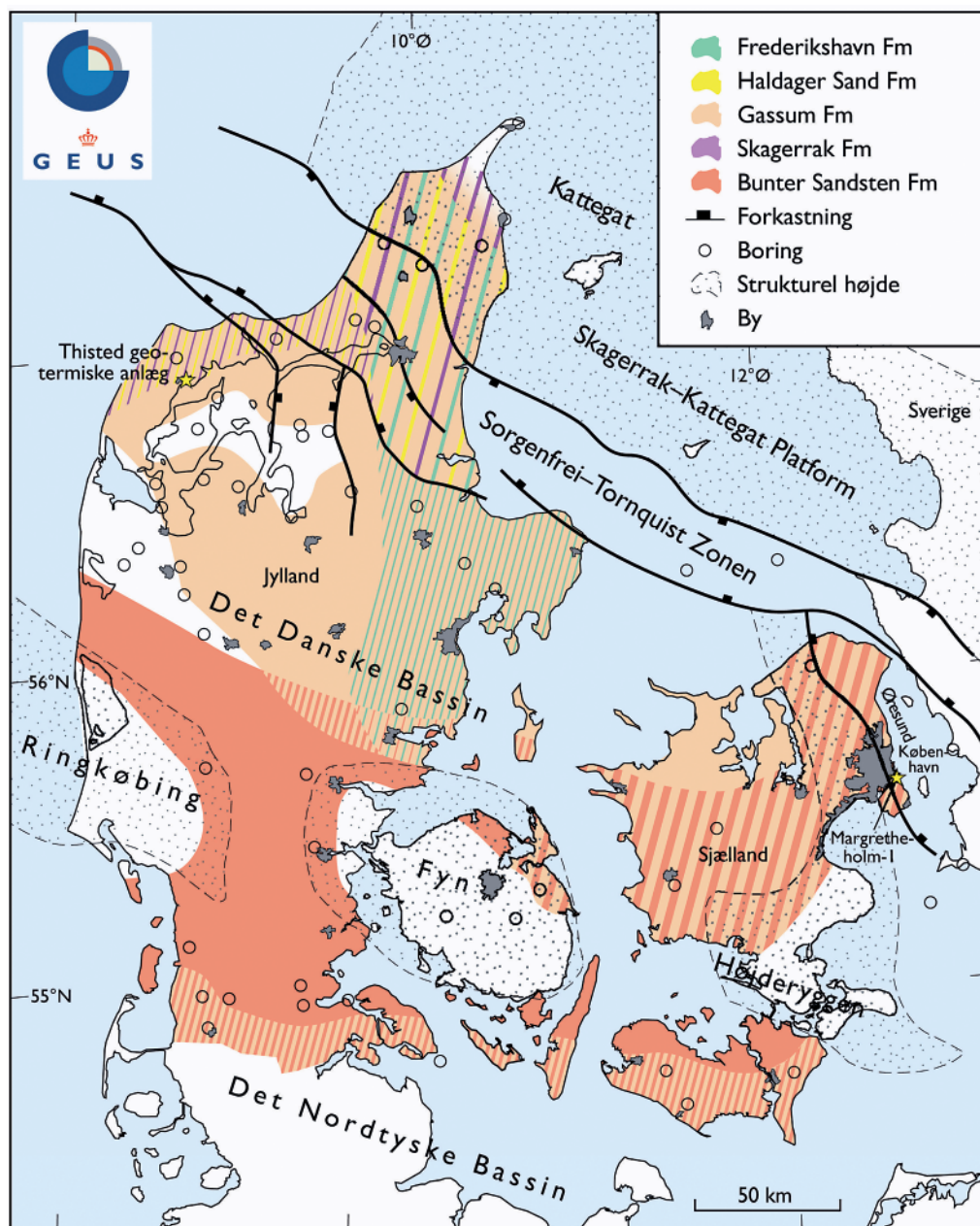
### Geotermisk efterforskning

Geologisk set er Danmark inddeelt i flere strukturelle elementer og består af to geologiske bassiner adskilt af en strukturel højderyg (Ringkøbing-Fyn Højderyggen) fyldt med sandrige sedimentter og hvor der er adskillige kilometer ned til grundfjeldet.

På baggrund af regionale geologiske studier og resultater fra tidligere tiders olieefterforskning har man identificeret fem sandstensrige enheder i den danske undergrund, som indeholder potentielle geotermiske reservoirer. Disse sandstenslag forekommer ikke overalt i den danske undergrund, men der er store dele af landet, hvor de fem reservoirer har potentiale til at blive udnyttet til geotermisk energi (se kortet).

Kendskabet til den danske undergrund fås ved geologisk at kombinere information fra seismiske data og fra borer. Seismiske data bidrager til forståelsen af udviklingen af de strukturelle elementer, til at vurdere udbredelse, dybde, tykkelse og den interne opbygning af undergrunden. Boringer kan skaffe information om reservoirets kvalitet (f.eks. porøsitet og permeabilitet), om reservoirets temperatur, samt om geokemien af porevæsken (salt-indhold).

Specielt permeabilitet er meget kritisk, men svær at forudsige, idet den varierer meget afhængig af aflejringsmiljø, samt sandstenslagets udvikling gennem tid. Alt dette kan beskrives ved hjælp af den geologiske model, som ved at sammenstille alle geofysiske og geologiske



Kort over Danmark som viser det regionale geotermiske potentiale for mulige sandstensrige reservoirer. Kortet er baseret på en begravningsdybde for reservoirerne på 1000–3000 m og at reservoirtykkelsen er større end 25 m. De hvide områder indikerer at reservoiret ikke er til stede (Ringkøbing-Fyn Højderyggen), ligger for grundt (< 1000 m; nordligste Jylland) eller er begravet for dybt (centrale del af Det Danske Bassin). Bemærk fordelingen af de dybe borer, samt placeringen af de to geotermiske anlæg ved Thisted og på Margretheholm nær København. Fm står for formation (enhed).

data kan belyse, afklare og forudsige om de rigtige geologiske forudsætninger og faktorer er til stede.

Vurderingen af potentialet er dog behæftet med store usikkerheder pga. et beskedent datagrundlag, der gør, at kendskabet til reservoirerne er ringe – især i lokalområdet. For at kunne pege på mulige fremtidige borelokaliteter i eller nær en potentiel geotermisk by, er det derfor nødvendigt at supplere med nye

seismiske undersøgelser i lokalområdet, da seismiske data på land generelt er af ældre dato og varierende kvalitet.

### Fungerer i 30 år

I dag er boreteknikken blevet så avanceret, at man kan bore skråt ned gennem undergrunden frem for lodret, og det gør det muligt at hente mere varmt vand op, fordi en skrå boring rammer en større flade af sandstensreservoiret. Endvidere

betyder de skrå borer, at to borer med 10 meters afstand på overfladen, kan være adskilt mere end 1200 m i reservoirdybde. Denne afstand mellem borerne i reservoirdybde er væsentlig, fordi lokalt vil der ske det, at det afkølede vand fra injektionsbrønden over tid vil begynde at påvirke temperaturen i produktionsbrønden. Med en afstand af 1200 meter vil det tage omkring 30 år. Selvom vandet bliver koldere i produk-

# Jordens varme

I mere end 99 % af jordens volumen er temperaturen over 1000 °C og energiindholdet i jordens varme indre er flere hundrede millioner gange så stort som energiindholdet i jordens samlede kul-, olie- og gasreserver. Varme fra jordens indre strømmer til stadighed ud mod jordoverfladen og dannes som følge af radioaktiv nedbrydning af grundstofferne Uran, Thorium og Kalium. Herved frigives der energi, som både opvarmer jordens indre og danner strømbevægelser, som bl.a. får kontinenterne til at bevæge sig. I områder med vulkansk aktivitet stiger temperaturen hurtigt med dybden; f.eks. på Island kan den geotermiske energi udnyttes til el-produktion ved hjælp af almindelige damppturbiner.

I områder uden vulkansk aktivitet som i Danmark stiger temperaturen imidlertid mere moderat med dybden – typisk med 25-30 °C pr. kilometer med en effekt på 0,067 W/m<sup>2</sup>. I sådanne områder kan den geotermiske energi udnyttes til opvarmning i form af fjernvarme, idet bl.a. vandførende porøse sandstens- og kalkstenslag i undergrunden løbende opvarmes. Fra disse vandførende lag kan geotermisk energi udvindes i form af varmt vand. Den varmemængde, der løbende strømmer ud fra undergrunden under Danmark, svarer teoretisk set til ca. 2/3 af Danmarks samlede nuværende fjernvarmebehov. Geotermisk energi kan udover til opvarmning også anvendes til en række andre formål; f.eks. opvarmning af drivhuse, badeanlæg til rekreation og velvære, opvarmning af bassiner til fiskeproduktion etc. Sådanne anvendelsesmuligheder findes endnu ikke i Danmark.

tionsboringen vil anlægget dog fortsat kunne producere, men anlæggets effekt vil med tiden langsomt dale. Hvis det på et tidspunkt vurderes, at fortsat produktion på den pågældende lokalitet ikke længere er rentabel, kan et nyt anlæg etableres få kilometer væk. Når en lokalitet forlades, vil en langsom genopvarmning af reservoiret finde sted, som følge af den konstante strøm af varme fra jordens indre. Det vil dog tage ganske lang tid – op til 5–6000 år – inden reservoiret igen er tæt på sin oprindelige temperatur.

## Stort potentiale i hovedstadsområdet

Behovet for boligopvarmning, kombineret med et stort antal kraftvarmeverker, gør Københavnsområdet til et oplagt område for geotermisk udnyttelse. I 2000–2006 undersøgte GEUS og DONG Energy derfor mulighederne for at udnytte geotermisk energi nær København. Resultaterne af denne undersøgelse var så positive, at man i maj 2006 kunne indvie Danmarks andet geotermiske anlæg på Margretheholm.

Det geotermiske anlæg eks-

traherer 73 °C varmt vand fra sandstenslag i en dybde af ca. 2700 m. En dykpumpe pumper op til 230 m<sup>3</sup> vand i timen op fra reservoiret. Vandet afkøles i varmevekslere til ca. 17 °C, inden det sendes tilbage i reservoiret af en injektionspumpe. I alt kan anlægget producere op til 27 MW varme, fordelt på 14 MW fra undergrunden og 13 MW fra drivvarmen. Ifølge DONG Energy svarer den årlige varmeproduktion fra undergrunden til forbruget i ca. 4600 husstande eller omkring 1 % af det samlede fjernvarmebehov i hovedstadsområdet.

DONG Energy har i 2007 vurderet, at anlægget vil kunne udbygges til et såkaldt stjerneanlæg med i alt fem produktions- og seks injektionsboringer og dermed femdoble varmeproduktionen. Endvidere tyder overslagsberegninger på, at det teknisk set på sigt vil være muligt at dække mindst 20 % af fjernvarmebehovet i hovedstadsområdet med geotermisk energi og vil dermed kunne bidrage væsentligt til hovedstadsområdets fjernvarmeforsyning i tusinder af år.

De sidste par år har Sønderborg ligeledes ønsket at satse på

geotermisk energi som et attraktivt supplement til fjernvarmeforsyningen af byen, og gradvist erstatte den naturgasbaserede fjernvarmeproduktion med geotermisk energi. Om alt går vel, vil en geotermisk produktion kunne starte i Sønderborg i slutningen af år 2011 og vil kunne producere varme svarende til en tredjedel af byens fjernvarmebehov.

## En brik i fremtidens energiforsyning

Geotermisk energi er forbundet med stor forsyningssikkerhed og geotermiske anlæg kan i dag producere store varmemængder ved et lavt el-forbrug. Elforbruget bruges primært til at pumpe det varme underjordiske vand op til overfladen og det afkølede vand tilbage til undergrunden, samt lidt forbrug til at drive varmevekslerne. El-forbruget udgør typisk 5–10 % af den varmeenergi, der produceres.

Selvom geotermi ikke er svarer på hele Danmarks energibehov, kan det blive en ganske central brik i den samlede energiforsyning. Den vedvarende geotermiske energi vil i Danmark kunne bidrage til varmforsyningen i adskillige hundrede år, idet Danmarks undergrund har meget store geotermiske ressourcer, hvoraf kun en brøkdel udnyttes i dag i Thisted og København.

Nye evalueringer har vist, at et geotermisk anlæg, evt. suppleret med en lagerboring, er meget velegnet til lokalt at etablere en sæsonlagring af varme. Derved kan overskudsvarme eller varme produceret billigt f.eks. i sommerhalvåret flyttes til vinterhalvåret, hvor den kan erstatte dyr produktion baseret på fossile brændsler.

For at kunne øge udnyttelsen af geotermisk energi yderligere, er det vigtigt at styrke den geologiske forståelse af de geotermiske reservoirers udbredelse og beskaffenhed for at reducere risikoen ved geotermisk efterforskning. Dette kan kun gøres ved indsamling af nye data og løbende langsigtet forskning, idet en bedre geologisk database og en bedre forståelse giver en bedre og mere sikker geologisk model. ■

## Om forfatteren



Anders Mathiesen er seniorrådgiver, geolog ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland – GEUS  
Tlf.: 3814 2000  
E-mail: anm@geus.dk

## Videre læsning:

Sørensen, K., Nielsen, L.H., Mathiesen, A. & Springer, N., 1998: *Geotermi i Danmark: Geologi og ressourcer*. GEUS Rapport 1998/123. 24 pp.

Nielsen, L.H., Mathiesen, A. & Bidstrup, T. 2004: *Geothermal energy in Denmark. Review of Survey activities 2003*. Geological Survey of Denmark and Greenland bulletin 4 p.17–20.

*Geografisk Orientering* 2007, Nr 5, Oktober 2007.

## Relevante web-links:

DONG Energy:  
[www.geotermi.dk](http://www.geotermi.dk)

ENGINE (ENhanced Geothermal Innovative Network for Europe):  
<http://engine.brgm.fr>