

# JORDEN SOM VARMEKILDE

**D**anmarks undergrund indeholder meget store geotermiske ressourcer i form af både dyb geotermi og overfladenære geotermi eller jordvarme. Ved dyb geotermi udnyttes meget varmt vand fra store dybder, mens jordvarmeanlæg benytter slanger i jorden eller grundvand til at optage varmen fra de øverste jordlag i kombination med varmepumpeteknologi. Udnyttelsen af ressourcen er endnu begrænset og for jordvarme mangler vi stadig viden og praktisk erfaring for at kunne udnytte ressourcen optimalt.

Danmarks undergrund indeholder meget store geotermiske ressourcer, som kan udnyttes i det meste af landet. Man skelner mellem dyb og overfladenære geotermi og vi har de sidste mere end 30 år gjort brug af begge ressourcer. Målt i antal anlæg er der foreløbig kun gjort

brug af den dybe ressource i meget begrænset omfang. Den overfladenære ressource, i form af jordvarmeanlæg i kombination med varmepumper, benyttes i et større, men stadig begrænset, omfang. Det øgede fokus på CO<sub>2</sub>-udledning og klimaforandringer samt afhængigheden af en begrænset mængde af fossile brændsler har imidlertid styrket interessen for geotermi som en vedvarende energikilde, der kan bidrage til opnåelse af Danmarks energipolitiske målsætninger om reduktion af CO<sub>2</sub>-udslip og øget forsyningsikkerhed.

## HVOR KOMMER VARMEN FRA

Temperaturen i Jordens indre, faste kerne er ekstremt høj, ca. 4300°C, men planeten afkøles langsomt ved transport af varme fra kernen og kappen og ud gennem skorpen, se figuren på side 4. Jorden, som er ca. 4,5 mia. år gammel, vil være afkølet på nogle få hundrede mio. år, hvis ikke det var for den varme, der frigives ved

henfald af radioaktive isotoper i Jordens indre, og som udgør en konstant varmekilde, der er med til at nedbremse hastigheden af Jordens afkøling. Udover den varme, der strømmer ud mod jordoverfladen, opvarmes de øverste jordlag også gennem optagelse af varme fra solindstrålingen og når vi etablerer jordvarmeanlæg, stammer varmen primært fra solindstrålingen og kun i meget lille grad fra varmeudstrålingen fra Jordens indre, se figuren nedenfor.

## OVERFLADENÆR GEOTERMI (JORDVARME)

Hvor den dybe geotermi udnytter varmen fra Jordens indre direkte gennem oppumpning af meget varmt vand fra kilometer-dybe borer, udnytter den overfladenære geotermi den oplagrede varme i de øverste jordlag, baseret på en kombination af varmepumper og slanger i jorden til at optage varmen, eller varmepumper som optager varmen direkte fra oppumpet grundvand (se boksene).

Opvarmning ved hjælp af jordvarme er en klima- og miljøvenlig energiform. Ved udnyttelse af jordvarme produceres typisk 3–5 gange så meget energi, som der bruges i elektricitet til varmepumpen. Endvidere har en britisk undersøgelse vist, at CO<sub>2</sub>-udledningen ved opvarmning baseret på jordvarme typisk er det halve af CO<sub>2</sub>-udledningen ved opvarmning med fx naturgasfy. Hvis den strøm, der anvendes til varmepumpen, yderligere er helt eller delvist fremstillet af fx vindmøller ser CO<sub>2</sub>-regnskabet endnu bedre ud.

Anlæg til indvinding af den dybe geotermiske energi er typisk af en størrelse, hvor flere tusinde husstande forsynes med varme, og udnyttes mest hensigtsmæssigt i kombination med eksisterende fjernvarme-infrastruktur. I modsætning hertil er jordvarmeanlæg typisk designet til forsyning af alt fra en enkelt husstand til større enkeltbygninger/bygningskomplekser.

Varmepumpeteknologi gør det muligt at dække behovet for både opvarmning og afkøling i fx større kontorbygninger, mens enfamiliehusstande typisk kun har behov for opvarmning. Jordvarme har således et stort potentiale både i forbindelse med fx skrotning af gamle

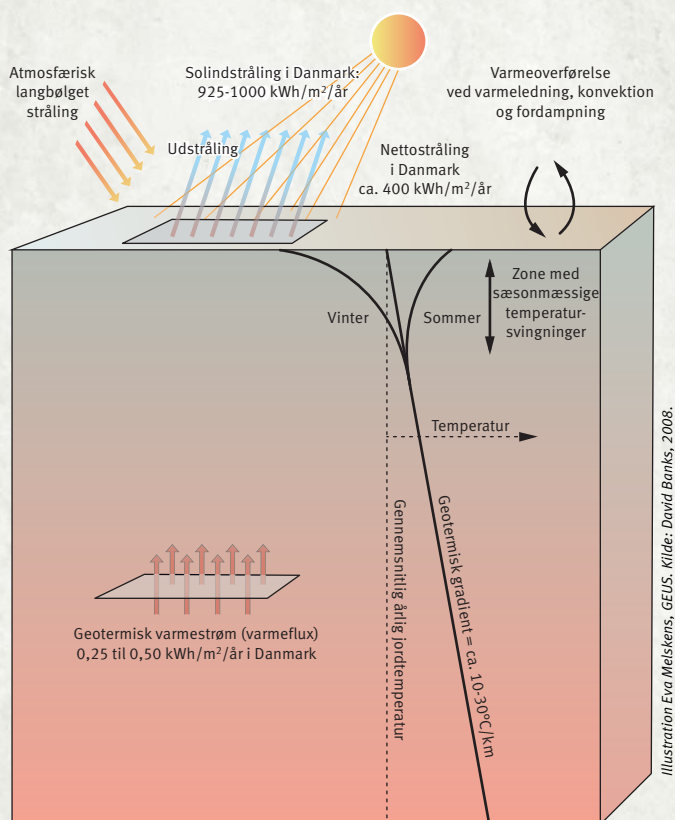


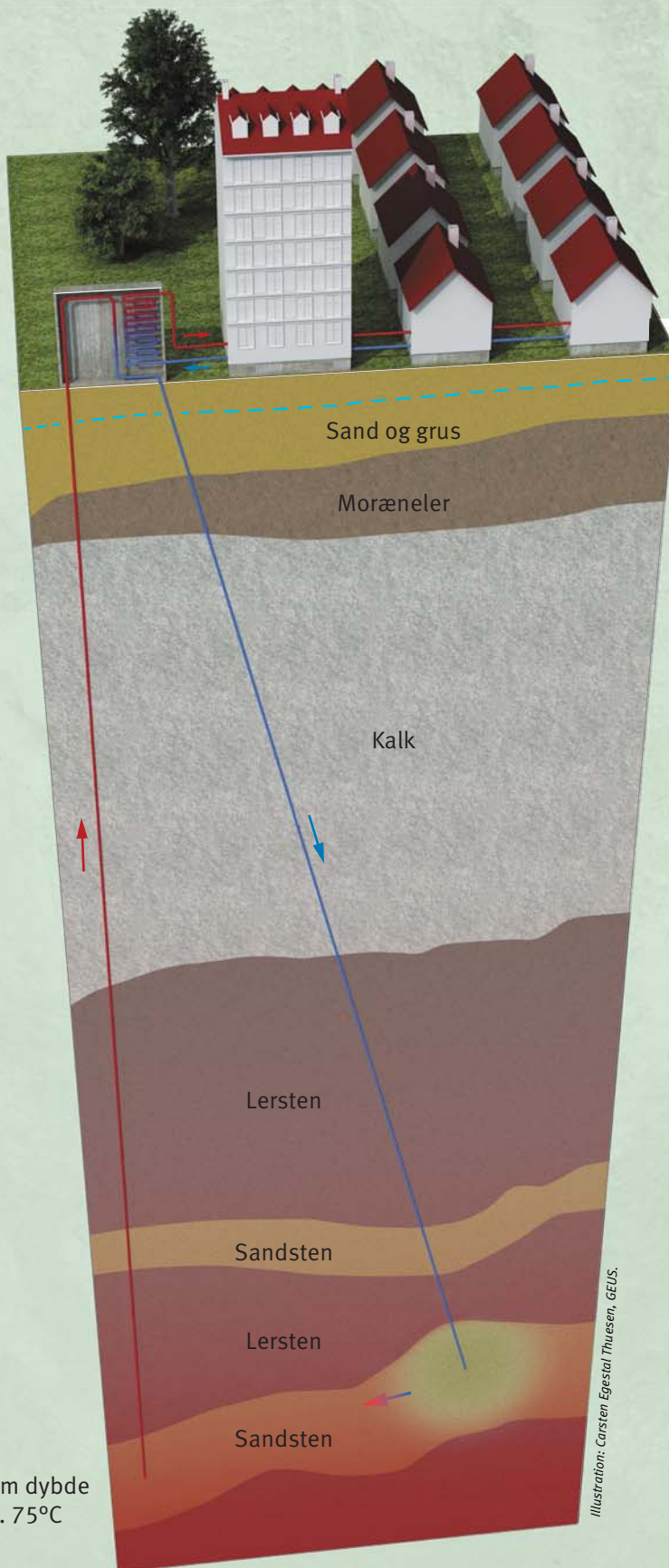
Illustration Eva Meiskens, GEUS. Kilde: David Banks, 2008.

Fordelelingen af solindstråling og varmestrømning (varmeflux) fra Jordens indre; årstidsvariationer i temperaturen i de øverste 10–20 m af jorden og den generelle temperaturgradient.

**THOMAS VANGKILDE-PEDERSEN**

Specialkonsulent, GEUS

tvp@geus.dk



2,5 km dybde  
ca. 75°C

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

## DYB OG OVERFLADENÆR GEOTERMI

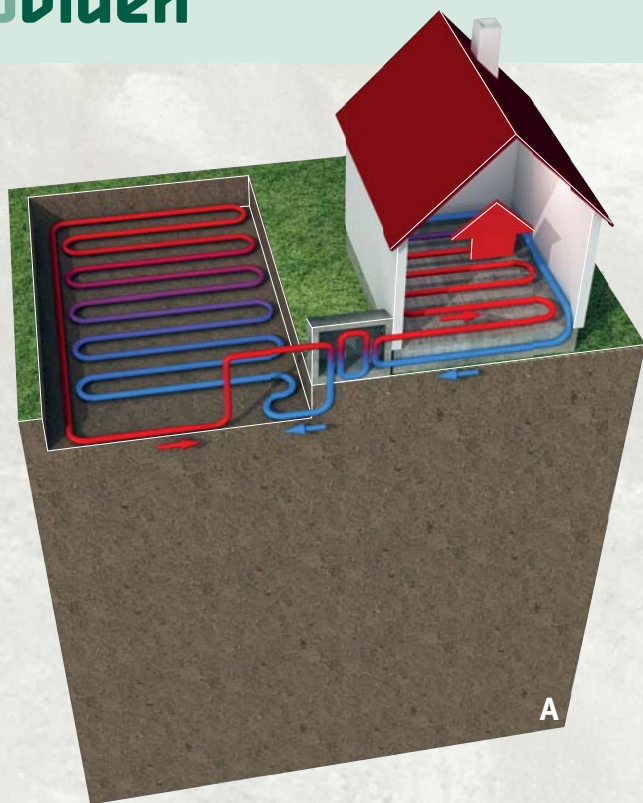
Dyb geotermi udnytter høje temperaturer (ca. 40–100°C) på stor dybde (ca. 1–3 km). Ved at etablere en produktionsboring i porøse bjergarter med vandfyldte porerum, fx sandsten, kan der oppumpes varmt vand; varmen udtrækkes gennem varmeveksling og ledes via det almindelige fjernvarmenet til forbrugerne. Det afkølede vand returneres herefter til de samme geologiske lag gennem en injektionsboring et stykke væk fra produktionsboringen, se figuren til venstre.

Overfladenær geotermi, jordvarme, udnytter lavere temperaturer; typisk 8–11°C svarende til ca. 0–100 meters dybde. En frostsikret væske cirkuleres i jorden i slanger og optager derved noget af den oplagrede varme fra de øverste jordlag. Varmen afgives herefter i en varmepumpe, som hæver temperaturen til brugsniveauet i husets varmeanlæg (se også boks om varmepumpens funktion). Den afkølede væske ledes tilbage til slangerne i jorden og optager på ny varme fra jorden.

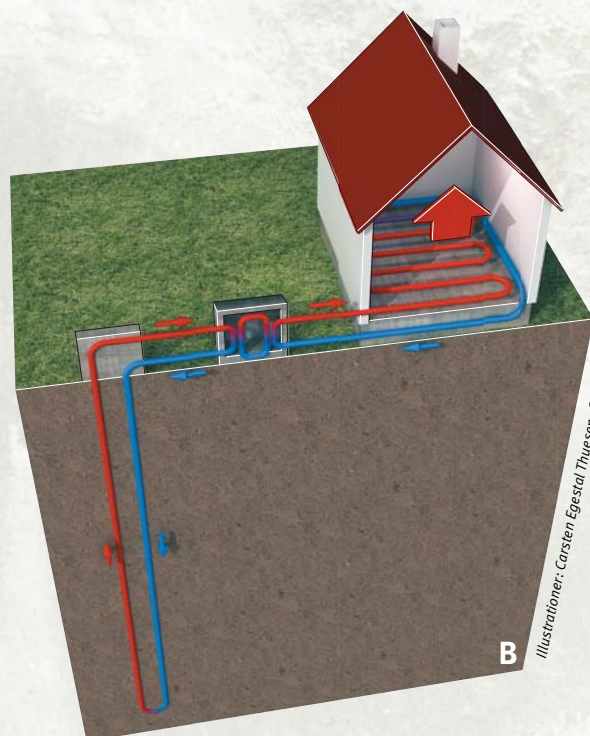
Det er også muligt at benytte oppumpet grundvand direkte som varmekilde til varmepumpen. Det afkølede eller opvarmede vand re-injiceres efterfølgende til de samme lag, ligesom det sker ved dyb geotermi.

På grund af de relativt lave temperaturer i jorden, kan jordvarmeanlæg også benyttes til køling ved at 'vende' funktionaliteten i varmepumpen, så den fungerer ligesom et køleskab eller en fryser. Det kan udnyttes i forbindelse med bygninger, som kræver opvarmning om vinteren og afkøling om sommeren eller i bygninger/anlæg, som udelukkende kræver køling.

For at udnytte den geotermiske varme, skal man bore to dybe huller på et sted hvor de geologiske forhold er optimale i form af porøse sandstenslag. Fra det ene hul pumpes varmt vand fra sandstenslaget op til overfladen, hvor man trækker varmen ud af vandet. Varmen overføres herefter ved hjælp af en varmeveksler til forbrugerne via fjernvarmenettet. For at sikre at trykket i sandstenslaget bevares uændret, pumpes det afkølede vand tilbage i sandstenslagene, ofte fra samme lokalitet på overfladen, men via en afbøjet injektionsboring, som ender et par km fra produktionsområdet.



A



B

Illustration af forskellige typer jordvarmeanlæg.

A) Lukket system med horisontale slanger ca. 1 m under terræn.

B) Lukket system med vertikale slanger i jordvarmeboringer.

Illustrationer: Carsten Egestad Thuesen, GEUS.

oliefyrrer i private centralvarmeanlæg, og i forbindelse med opvarmning/afkøling af større bygninger.

Det er relevant at skelne mellem 3 forskellige typer jordvarmeanlæg:

- A) Lukkede systemer med horisontale slanger ca. 1 m under terræn, se figuren ovenfor.
- B) Lukkede systemer med vertikale slanger monteret i jordvarmeboringer, se ovenfor.
- C) Åbne systemer med en produktionsboring og en injektionsboring. I princippet som B, men med separate borer til hhv. produktion og injektion.

I de lukkede systemer optages varme fra jorden af en væske, som cirkuleres i lukkede slanger. Varmen afgives i en varmepumpe og den afkølede væske ledes tilbage gennem slangerne og optager på ny varme fra jorden (se boks om dyb og overfladenær geotermi, side 17).

Anlæg med horisontale slanger kræver relativt meget areal og genetablering efter installation. De horisontale anlæg er desuden påvirket af årstidsvariationer med lave temperaturer i jorden i vinterhalvåret og høje temperaturer om sommeren, se figuren side 16. De lave temperaturer om vinteren giver selvfølgelig en dårligere drifts-økonomi, men til gengæld opvarmes jordvolumenet relativt hurtigt i løbet af sommeren.

Anlæg med vertikale slanger installeret i jordvarmeboringer kræver stort set ingen plads og meget lidt genetablering, men kan være lidt dyrere i anlægsomkostninger. Til gengæld har de typisk en bedre udnyttelsesgrad i kraft af højere og ikke mindst konstant temperatur i jorden året igennem, se side 16. Man skal dog være opmærksom på energibalancen i systemet, da genopvarmningen af jordvolumenet foregår væsentligt langsommere, når man er under den dybde, som er påvirket af årstidsvariationerne (typisk 10–20 m). Systemet kan optimeres ved tilførsel af varme i sommerperioden, enten i forbindelse med køling i bygninger eller fx via solfangerpaneler. I større målestok har jordvarmeboringer imidlertid også et stort potentiale for lagring af energi som produceres på tidspunkter, hvor behovet er lille, eller hvor der er overproduktion, som det typisk er tilfældet med fx kraftvarmeverker i sommerperioden, vindmøller og solvarmepaneler.

I de åbne systemer afkøles oppumpet grundvand i varmepumpen og ledes tilbage i jorden i en injektionsboring. Der er relativt strenge krav om minimal påvirkning af de lokale hydrogeologiske forhold og temperaturer i grundvandssystemet og der kan forekomme interessekonflikter med drikkevandsindvinding og mellem naboanlæg.

## VIGTIGE PARAMETRE

Jordens termiske egenskaber har betydning for hvor meget energi, der kan indvindes i et lukket vertikalt jordvarmesystem. Det drejer sig om parametre som *varmeledningsevne*, *termisk diffusivitet*, *specifik varmekapacitet*, *varmestrøm*, *temperaturgradient* og *overfladetemperatur* m.m. Desuden har det betydning hvilke materialer der er brugt til slanger og forsegling. Udover jordlag og materialers termiske egenskaber, betyder strømningshastigheden og viskositeten (sejheden) af væsken i jordkredsløbet også noget for, hvor megen varme der optages i slangerne.

## GEOTERMI ER FREMTIDEN

Den danske undergrund har et stort potentiale som geotermisk ressource til såvel opvarmning som køleformål. Både dyb geotermi og jordvarme er vedvarende energikilder, som kan bidrage væsentligt til at nedbringe udslippet af CO<sub>2</sub> til atmosfæren; men vi mangler stadig viden og praktisk erfaring for at kunne udnytte jordvarmen optimalt.

Dyb geotermi er dyr i anlægsomkostninger og kun relevant, hvor der allerede eksisterer et fjernvarmenet til distribution af varmen. Ofte har vi dog rigelig varme fra el-produktionen de steder, hvor vi har fjernvarme, hvilket betyder, at etablering af geotermi-anlæg bliver uøkonomisk.

## HVORDAN VIRKER EN VARMEPUMPE?

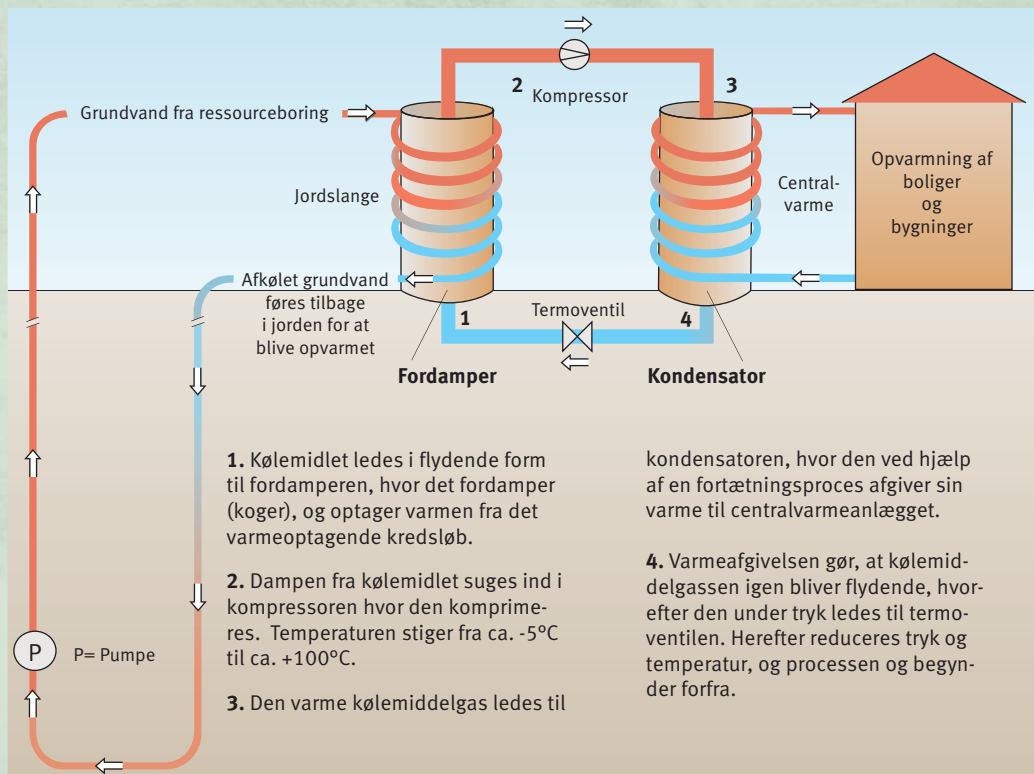


Illustration Eva Meiskens, GEUS. Kilde: David Banks, 2008 og www.volundr.dk

*Skitse over princippet og elementerne i en varmepumpe. En varmepumpe udnytter temperaturændringer som følge af komprimering og ekspansion og faseskift fra væske til gasform og tilbage til væskeform. Teknikken er analog til den teknik der anvendes i fryserne og køleskabe, bare omvendt.*

## EKSISTERENDE ANLÆG

Udnyttelse af jordvarme i Danmark har indtil nu primært været baseret på lukkede anlæg med horisontale slanger, men lukkede anlæg med vertikale slanger i jordvarme-boringer begynder at blive mere udbredt og i fx Tyskland og især Sverige er antallet af denne type anlæg meget højt. Antallet af jordvarmeanlæg baseret på åbne systemer i Danmark er relativt begrænset, og de fleste har været designet til køling. Der findes ingen formel registrering af jordvarmeanlæg i Danmark, men det samlede antal blev i 2008 af Miljøstyrelsen skønnet til at være ca. 25.000. I Sverige var der i 2004 230.000 jordvarmeanlæg. 80 % af disse skønnedes at være lukkede systemer med vertikale slanger i boringer.

misk. Men hvis en øget del af el-produktionen i fremtiden vil komme fra vindkraft, vil det give plads til både mere dyb geotermi og jordvarme, samtidig med at CO<sub>2</sub>-gevinsten fordobles. Der til kommer at jordvarmeboringer kan benyttes som energilager i kombination med både solfangeranlæg og overskudsvarmen fra kraftværkerne i sommerperioden.

Med den stærkt øgede fokus på klima- og energiområdet tyder meget på, at vi i Danmark vil kunne få en væsentlig del af vores energi til opvarmning (og afkøling) fra jorden, og aktiviteten bliver næppe mindre efter politikerne har vedtaget, at private oliefyre skal udfases allerede fra 2012.

## HER KAN DU LÆSE MERE:

- **Vurdering af det geotermiske potentiale i Danmark.**  
Mathiesen, A., Kristensen, L., Bidstrup, T. & Nielsen, L.H., 2009. GEUS Rapport 2009/59.
- **Jordvarmeboringer – problemstillinger og perspektiver.**  
Inga Sørensen. Vand og Jord, nr. 3, 2010.
- **Introduktion til jordvarme og varmepumpens velsignelser.**  
Inga Sørensen, 2011 i: Samlet rapport 69 - ATV Jord og Grundvand, s. 15-26.
- **Undergrunden som geotermisk ressource.**  
Thomas Vangkilde-Pedersen m.fl., 2011 i: Samlet rapport 69 - ATV Jord og Grundvand, s. 1-14.



Montering af rør i jordvarmeboring, efter at der er boret 100 meter ned.

Foto: Inga Sørensen, VIAUC.

# GEOCENTER DANMARK

## GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geologisk Institut ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

## UDGIVER

Geocenter Danmark.

## REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på [www.geocenter.dk](http://www.geocenter.dk), hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)



Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Bygning kollapsede efter jordskælv, Port-au-Prince, Haiti.

Kilde: POLFOTO / Reynold Mainse.

Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

## DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)



## INSTITUT FOR GEOGRAFI OG GEOLOGI

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: [geo@geo.ku.dk](mailto:geo@geo.ku.dk)

## GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: [rcp@snm.ku.dk](mailto:rcp@snm.ku.dk)



## INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet

Høgh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: [geologi@au.dk](mailto:geologi@au.dk)



DANMARK

PP

Magasinpost UMM  
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup