geo viden

VIL DU FORTSAT MODTAGE GEOVIDEN?

Genopskriv dig på geoviden.dk og få stadig bladet leveret gratis i postkassen

NR. 1 • MARTS 2019

GEOTERMI

Varme fra Jorden

Nyt blad
Brug det i undervisningen 2

Perfekt sandsten
Dyk ned i den danske undergrunds potentiale 20

Kom med
Reportage og video fra geotermisk anlæg 26

Velkommen til det nye

GEOVIDEN

Vi har glædet os til at byde dig velkommen!

Vi har relanceret Geoviden med både nyt design og indhold. Det er nu målrettet gymnasierne, hvor det kan bruges som et supplement i undervisningen til at give indblik i aktuelle emner og det geofaglige arbejde.

Derfor er Geoviden indrettet lidt anderledes, end den trofaste læser er vant til. Igennem en række individuelle artikler behandler vi et enkelt tema pr. blad. En stor del af artiklerne går i dybden med geovidenskaben bag emnet. I dette nummer er der eksempelvis fokus på de store formationer af sandsten i vores undergrund. Derudover kan du læse om, hvordan man arbejder på det givne område, nogle gange fra laboratoriet, nogle gange i felten. Vi bestræber os desuden på at fortælle, hvilken rolle det aktuelle emne i bladet har i samfundet og vores hverdag.

Udover det fysiske blad kan du nu også gå på videre opdagelse i temaet i Geovidens nye onlineunivers på geoviden.dk. Her finder du selve bladet, både som enkelte artikler og som helhed, ligesom du kan finde de enkelte figurer og ekstra materiale – denne gang er der for eksempel en video fra geotermianlægget i Thisted.

Vær opmærksom på, at hvis du har opskrevet dit abonnement før den 21. november 2018, skal du **genopskrive** dig på geoviden.dk, hvis du fortsat vil modtage bladet. Ellers er dette det sidste Geoviden, der ankommer i din postkasse. Det er gratis at modtage Geoviden, og alle kan abonnere. Der kan desuden bestilles klassesæt.

I dybden med geotermi

I dette blad lægger vi ud med et emne, der er meget oppe i tiden, nemlig geotermi. Danmark ligger oven på så store mængder geotermisk energi, at op til halvdelen af vores varme i princippet kunne komme derfra, og både fra politisk og erhvervslivets side er der stigende interesse for den grønne teknologi.

Hvorfor nu det? Fordi ingen har lyst til at sidde i en stue uden varme på en dansk vinteraften i januar med hylende snestorm og kold næsetip. Det undgår vi lige nu med afbrænding af især biomasse, kul og naturgas, der kan sende varmt vand i vores radiatorer, når det gælder. Biomasse defineres ganske vist som en vedvarende energitype, men de fossile brændsler gør sig stadig gældende, som man kan læse på side 9. Derfor skal vi til at finde nye græsgange, hvis vi skal nå regeringens mål om at gøre Danmark helt fri for fossile brændsler i 2050. Her er geotermi en spændende teknologi at se nærmere på, fordi potentialet er så stort.

Vi håber, du bliver lige så glad for det nye Geoviden, som vi er, og fortsat vil lade din opmærksomhed trække med ned i dybet af geovidenskabens spændende verden. Vi udvikler fortsat på konceptet, og vi hører gerne fra dig på geoviden@geus.dk, hvis du har feedback og ideer.

God læselyst!

Johanne Uhrenholt Kusnitzoff
Redaktør og skribent

Find mere på geoviden.dk/geotermi

- Film om dyb geotermi i Danmark
- Udbygget liste med forklaring af nøglebegreber
- Geologiske parametre til vurdering af geotermiske reservoirer
- Figur over bjergarters varmeledningsevne
- Kort over de største sandstensformationer i Danmark
- Link til bl.a. interaktivt kort over potentialet i undergrunden
- Bladet og de enkelte artikler i PDF
- Illustrationer enkeltvis

UNDERGROUND CHANNEL

Se filmen om dyb geotermi i Danmark på geoviden.dk/geotermi

Eksperter der har bidraget til dette Geoviden

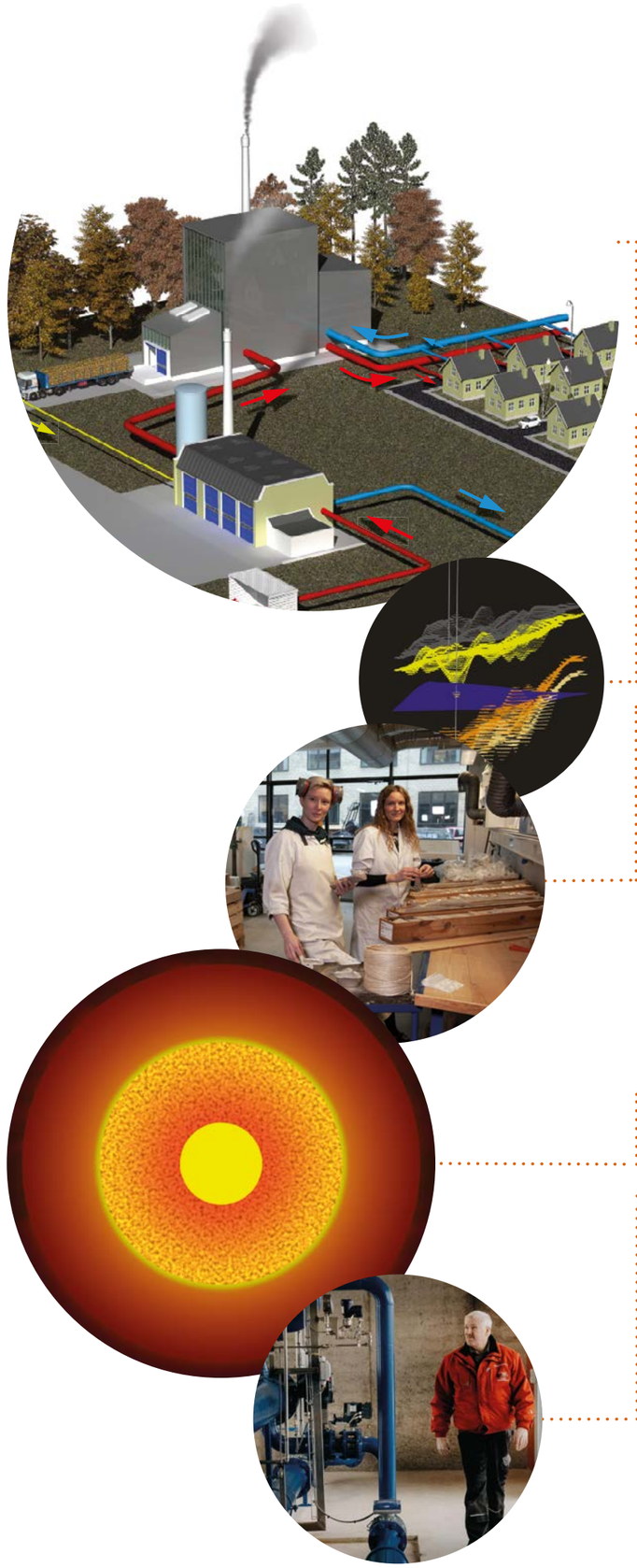
Lars Henrik Nielsen
Statsgeolog
GEUS

Anders Mathiesen
Seniorrådgiver
GEUS

Marton Major
Ph.d.-studerende
Aarhus Universitet

Mette Olivarius
Postdoc
GEUS

Niels Balling
Lektor
Aarhus Universitet



Dyb geotermi i Danmark 4

Danmarks undergrund bobler af grøn energi 6

Danmarks vej mod grønnere energi 8

Dannelsen af de danske sandstensreservoirer 10

"Det er under kridtet, det spændende begynder" 12

Gassumsandstenens mange ansigter 18

Er din sandsten lodden eller kantet? 20

Længe leve de geotermiske reservoirer 22

Hvor kommer varmen fra? 24

"Når først anlægget kører, prøver vi så vidt muligt at holde fingrene fra det" 26

Dyb geotermi i Danmark

Selvom princippet bag geotermisk energi er såre simpelt, skal der alligevel være styr på en del detaljer, før der for alvor kan komme varme ud i radiatorerne. En stor del af dem er geologiske.

Geotermi er en vedvarende og dermed grøn energikilde, der modsat for eksempel vindenergi og solenergi ikke er afhængig af vejret, men derimod kan levere varme året rundt tappet direkte fra Jordens indre. Oversat fra græsk betyder geotermi jordvarme. På dansk er geotermi og jordvarme dog to forskellige måder at høste varme fra jorden på.

Jordvarme er et system af lukkede rør, der typisk løber mellem en og hundrede meter under jordoverfladen, og kan høste energi fra små temperaturforskelle. Geotermi består typisk af to rør, der er boret en til tre kilometer ned i jorden, hvor temperaturerne er væsentligt højere. Her løber vandet frit mellem den ene boring, der pumper varmt vand op, og den anden, der pumper det ned igen, når varmen er trukket ud af vandet. Teknologien kaldes også for dyb geotermi, og det er den udgave, vi dykker ned i her i bladet.

Nødvendigt for geotermi

Der er vand de fleste steder i undergrunden, men for at pumpe det op og udtrække varmen fra det, skal man have adgang til, hvad der kaldes et geotermisk reservoir. Et reservoir består af porøse bjergarter, i Danmark hovedsageligt sandsten, hvor porerummene er så store, at vand kan strømme gennem sandstenen, hen til det rør, man pumper det op igennem. Hvor effektiv processen er afhænger af en lang række faktorer ved selve sandstenen. Her er sandkornenes størrelse, form og kemi vigtig, som du kan læse om længere inde i Geoviden.

Selvom ressourcen til den geotermiske energi er vedvarende i kraft af Jordens varme, kræver udvindingen af den en ekstern energikilde. Varmepumperne, der udvinder reservoirvandets varme, skal have en smule energi tilført udefra. Det vil typisk være enten varme fra det lokale forbrændingsanlæg, men kan også være el fra eksempelvis vindmøller eller solceller. Selve varmen fra reservoirvandet overføres via en særlig varmepumpe kaldet en varmeveksler til det vand, der kører i fjernvarmenettet.

> **Geotermi består typisk af to rør, der er boret en til tre kilometer ned i jorden, hvor temperaturerne er væsentligt højere.**

Vandet fra undergrunden kommer altså aldrig over i de rør, der løber ud til forbrugerne, men føres tilbage i jorden, så balancen opretholdes. Hvis man ikke gjorde det, ville det hurtigt blive svært at pumpe vandet op igen i produktionsboringen. En anden vigtig ting er, at det geotermiske anlæg skal ligge tæt på et fjernvarmenet, hvor varmen kan sendes ud, uden at der tabes for meget undervejs. Når varmen er overført til fjernvarmenettet, løber det via lange underjordiske rør ud i radiatorer hjemme i folks stuer, hos virksomheder osv.

Geologien i geotermi

Der er altså en række ting, der skal være styr på, før man kan gå i gang med geotermien, herunder en lang række geologiske faktorer. Geotermi er nemlig et område, hvor rigtig meget handler om geologi, og hvor næsten alle geologiske metoder og discipliner er i brug. Der er alt fra seismiske målinger af undergrundens opbygning og analyser af borekerner til geologiske modeller af udbredelsen af de bjergarter, der indeholder varmt vand og temperaturmålinger i jorden. Der er en del geologer, som beskæftiger sig med geotermien på den ene eller anden måde, både i Danmark og internationalt.

Forskningen foregår både i laboratorierne, ved computere og i felten og beskæftiger sig med alt fra de helt små detaljer i de enkelte sandkorns mineralogiske sammensætning til kortlægning af kæmpemæssige, underjordiske formationer. g

GEOTERMIEN I DANMARK

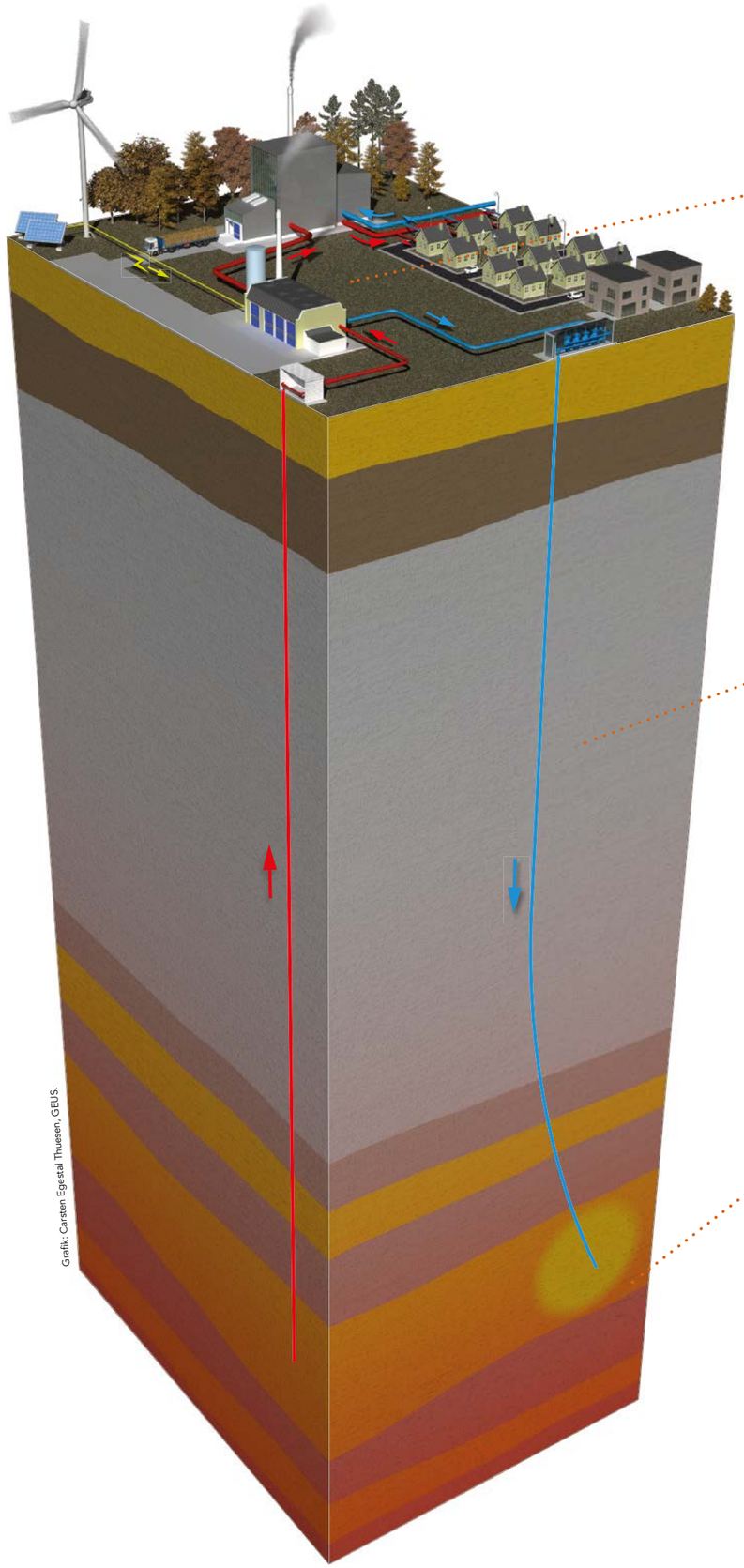
Lige nu producerer de danske geotermiske anlæg kun energi i form af fjernvarme, da produktion af strøm kræver vand over kogepunktet, så dampen derfra kan drive en turbine.

Vand på den temperatur ligger dybere nede i den danske undergrund, end man lige nu kan udnytte effektivt, men det er muligt.

I 2019 er der tre geotermiske anlæg i Danmark:
1. Thisted Varmeforsyningsanlæg, der åbnede i 1984
2. Margretheholmanlægget i København, der åbnede i 2006
3. Et i Sønderborg, som startede pumperne i 2013.

Mellem 25 og 50 procent af Danmarks samlede fjernvarmebehov kan i princippet dækkes af geotermisk energi, hvis man opfører flere anlæg. Præcis hvor meget afhænger af energipriser, anlægsomkostninger mm.

Flere store private virksomheder er i gang med at undersøge mulighederne for at opføre flere geotermiske anlæg omkring de store byer i Danmark. Blandt andre A.P. Møller Holding og Geoop.



Grafik: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

3

Varmen trækkes ud af reservoirvandet og føres til et fjernvarmeanlæg, hvorfra det føres ud til forbrugerne. For at drive pumperne i det geotermiske anlæg skal der tilføres lidt energi udefra, eksempelvis fra et forbrændingsanlæg eller solceller og vindmøller.

2

To lange rør går fra overfladen og ned i reservoiret. Fra det ene pumpes reservoirets varme vand op (rødt) og føres ind i selve det geotermiske anlæg, hvor varmen udtrækkes med varmepumper. Det andet rør fører det afkølede vand ned igen (blåt).

1

I undergrunden ligger tykke og tynde lag med sandsten fordelt i forskellige dybder. Lidt ligesom en svamp kan sandsten indeholde meget vand, hvilket gør det til en velegnet reservoirbjergart. Der kan også være vand i andre bjergarter, men det strømmer typisk ikke så let som i sandsten.

Danmarks undergrund bobler af grøn energi

Vi danskere bor oven på en meget stor energiressource, som vi kan varme os på langt ud i fremtiden, fortæller dansk geolog.

I vores undergrund findes det, der svarer til en guldåre i vore dage. Nemlig kilden til grøn, vedvarende energi i form af naturligt opvarmet vand. Seniorrådgiver i Geofysisk Afdeling ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Anders Mathiesen, er en af dem, der arbejder med at vurdere, hvor man bedst kan udnytte den geotermiske energi, og hvor meget der er af den. Det fortæller han om her.

Hvor meget geotermisk energi er der i den danske undergrund?
"Det svarer til omkring tre gange den mængde energi, vi indtil videre har pumpet op fra oliefelterne i Nordsøen. Det er selvfølgelig behæftet med en hel del usikkerheder, fordi vi stadig ikke ved præcis, hvor gode reservoirerne er over det hele, og dermed hvor meget af energien der rent faktisk kan udnyttes. Nogle steder har vi meget gode data som viser, hvordan undergrunden ser ud, men andre steder er de tilgængelige data af meget dårlig kvalitet, så her er usikkerheden stor. Men at der er energi dernede, og meget af den, det er vi sikre på."

Er Danmarks undergrund bedre egnet til geotermisk energiproduktion end andre landes?
"Både ja og nej. Vi har et godt potentiale, fordi der for omkring 200 millioner år siden blev aflejret en hel masse sand på det sted, hvor Danmark i dag ligger, og fordi der i sandstenen i dag findes en masse vand. Det samme gælder i for eksempel den nordlige del af Tyskland og Polen, som har nogenlunde de samme reservoirforhold, som vi har. Lande som Norge og Sverige er til gengæld mindre velegnede til denne type geotermi, da grundfjeldet ligger højt og derfor ikke har efterladt plads til sandaflejringer, der kunne indeholde varmt vand.

> **Men at der er energi dernede, og meget af den, det er vi sikre på.**

Et land som Island derimod står i geotermisk energi til knæene. Landet ligger oven på en revne i jordskorpen, hvor varmen strømmer ud tæt ved overfladen. Her er udfordringerne nærmere, at udstyret kan blive ødelagt af den voldsomme varme og ustabile undergrund. Der har vi det trods alt mere fredeligt her."

Kan hele det danske energiforbrug udskiftes med geotermi?
"Nej, vi kommer aldrig til kun at bruge geotermi. Vandet i den danske undergrund er ikke varmt nok til at udvinde el fra, så energiproduktionen er begrænset til varme. Af samme grund har et geotermisk anlæg brug for at få tilført strøm udefra til at drive pumperne, og derfor kan geotermiske anlæg i Danmark ikke stå alene, men er nødt til at indgå i et energisystem med andre energikilder.

Derfor ser jeg geotermi som et grønt supplement til andre energiformer. Men med det sagt, vil man mange steder i landet kunne få et rigtig fornuftigt supplement til varmeforsyningen ved at etablere et eller flere anlæg. For eksempel i de større byer, hvor varmeforbruget er stort.

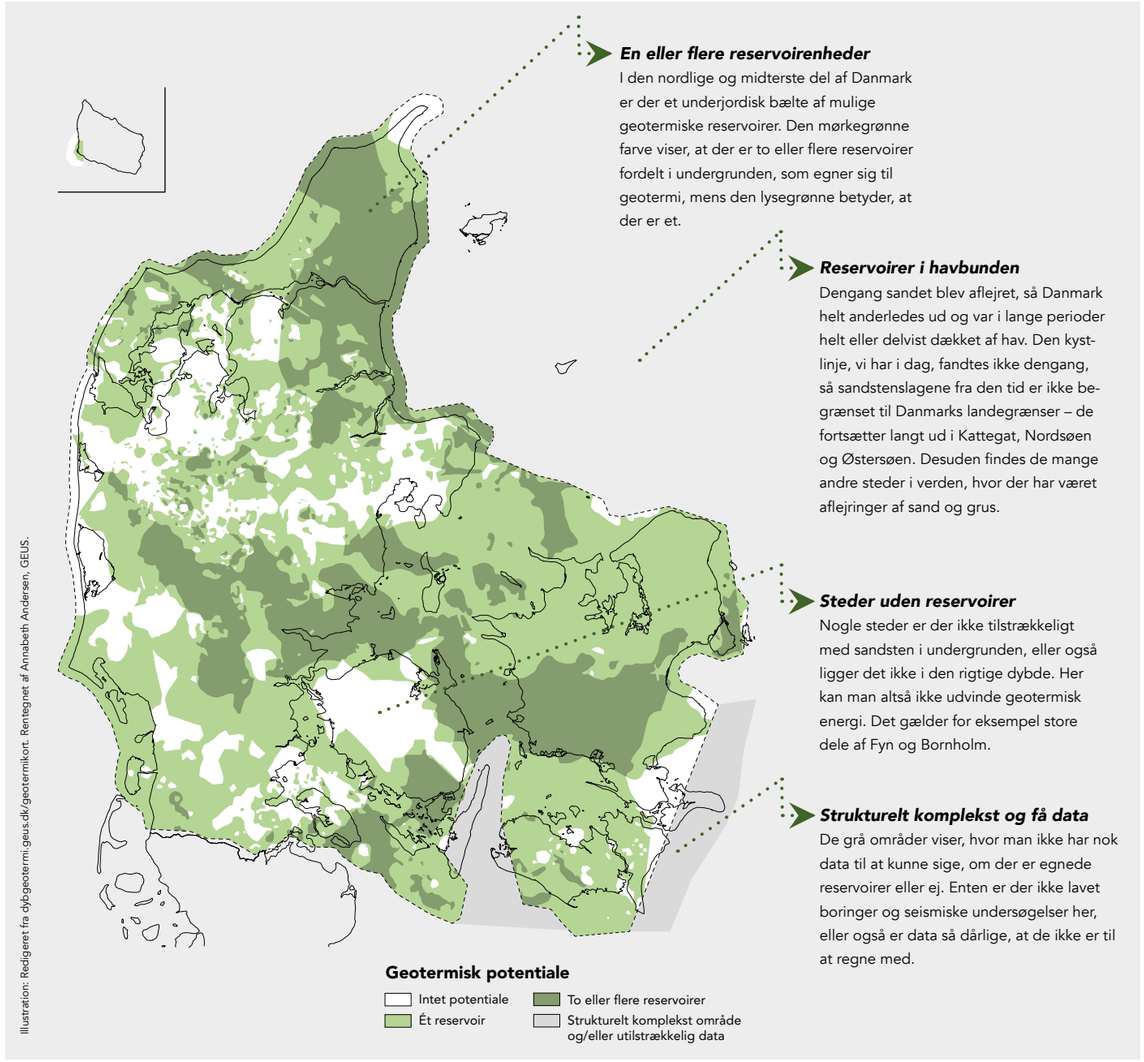


Illustration: Redigeret fra dybgeotermi.geus.dk/geotermikort. Rentegnet af Annabeth Andersen, GEUS.

En anden ting er, at de enkelte anlæg jo ikke vil kunne leve evigt. Man forventer, at et nyt anlæg kan køre i mindst 30 år, før teknologien og den måde, det er bygget på, er forældet. Derudover sker der også en langsom afkøling af reservoiret, når man konstant pumper afkølet vand ned i det via injektionsboringen. Jorden er ikke varm nok under Danmark til at kunne nå at varme det helt op igen, så afhængigt af, hvor langt der er mellem de to boringer, der pumper vandet op og ned, vil vandet man pumper op på et tidspunkt blive koldere. Dog tager det mange år, måske flere hundrede, og så kan man jo altid bare lave en ny boring længere væk eller i et andet reservoir."

Hvorfor er geotermisk varmeudvinding ikke mere udbredt i dag?
"Tiderne skifter jo, og flere af de store olieselskaber er også begyndt at skifte fokus mod grøn energi, herunder geotermi. Før har incitamentet til at bygge et anlæg måske ikke været helt stort nok set i forhold til omkostningerne, men det er ved at ændre sig. Vi geologer arbejder hele tiden på at forstå undergrunden bedre, så vi kan give et bedre beslutningsgrundlag for, hvor og hvordan man skal bore. På den måde prøver vi at hjælpe med til, at det bliver mindre økonomisk risikabelt at bygge et anlæg. Varmen har jo hele tiden været dernede, så kort sagt kommer det an på den økonomiske vilje til at hive den op og efterfølgende drive et anlæg."

Hvad er der fokus på i forskningen inden for geotermi lige nu?
"Permeabilitet. Der er meget, vi ikke forstår om, hvor permeabel, det vil sige hvor stor vandgennemtrængeligheden er i de forskellige sandstensreservoirer i den danske undergrund. Og netop sandstenens evne til at lede vand er helt grundlæggende, når man skal pumpe vand op og efterfølgende ned i sandstenslaget igen. Derudover arbejder vi hele tiden på at blive klogere og kunne give den bedste rådgivning.
Lige nu er mine kolleger og jeg i gang med at opstille rammer for, hvor stor usikkerheden er ved de forskellige reservoirers egenskaber fordelt ud over landet. Hvis vi kan sige hvor store variationer, der kan forekomme i hulrum mellem sandkornene, deres kornstørrelse, lerindholdet med mere, kan vi bedre udpege et godt sted til nye geotermiske anlæg." 9

BOR DU OVEN PÅ ET GEOTERMISK RESERVOIR?

På baggrund af de mange boringer og geologiske undersøgelser, der er lavet af den danske undergrund gennem tiderne, har geologer fra GEUS lavet et interaktivt danmarkskort, der viser, hvor der er geotermiske reservoirer i undergrunden og hvor mange der er.

Her kan du selv gå ind og se, om der ligger et, to eller flere såkaldte lagpakker af geotermiske sandstenslag under din hjemby, i hvilken dybde, hvor varme de er og meget andet. Herudover indeholder kortet en 3D-funktion, så du kan få en rumlig fornemmelse af reservoirets form og udbredelse i undergrunden.

Kortet indeholder informationer om i alt otte forskellige lag af sandsten, som egner sig i en eller anden grad som reservoir for geotermiske anlæg. Det er der en lang række kriterier for, blandt andet at laget ligger 800 til 3000 meter nede, så temperaturen er så høj som muligt samtidig med, at der kan strømme tilstrækkeligt med vand igennem.

Find det interaktive danmarkskort samt baggrundsviden og figurer på Web-GIS-portalen: dybgeotermi.geus.dk/geotermikort

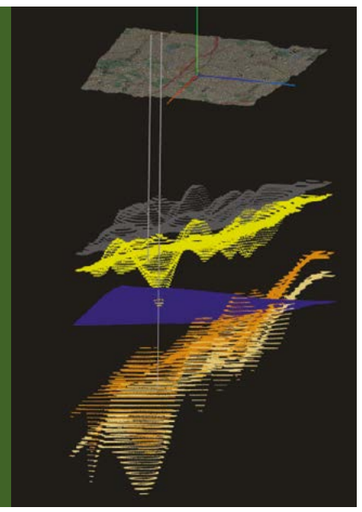


Foto: dybgeotermi.geus.dk/geotermikort

Danmarks vej mod grønnere energi

Geotermi kan potentielt erstatte nogle af de mindre grønne energiformer i samfundet, men hvor kommer vores energi fra i dag?

Det er en politisk vision, at Danmark skal være fri for fossile brændsler i 2050, altså om godt 30 år. Da samfundet næppe får brug for mindre energi i fremtiden betyder det, at der både skal findes alternative energiformer, som kan erstatte de gamle, og at energien skal bruges mere effektivt.

I Danmark har det betydet, at især biomasse, vind- og solenergi er buldret frem over de seneste årtier. Samtidig er forbruget af fossile brændsler som olie og kul blevet gradvist mindre. Det betyder, at hvor Danmarks totale forbrug af vedvarende energi i 1980 lå på 22 petajoule (PJ), var det tal i 2017 steget til 244 PJ. Dermed var lidt over 34 procent af al energi brugt i Danmark i 2017 vedvarende energi. Det gælder altså det samlede energiregnskab, både fjernvarme, strøm og alt andet.

Vores totale energiforbrug som samfund lå på 772 PJ i 2017, hvilket er en lille stigning fra året før. Dog fulgte vores samlede CO_2-udledning ikke med, da den faldt med omkring seks procent i forhold til året før. Dermed udledte Danmark i 2017 cirka 34 millioner tons CO_2. Sammenligner man det tal med udledningen i 1990 er det faldet med lidt over 30 procent på 27 år.

ENERGIENHEDER OG -FORBRUG

Energi regnes typisk i joule, både når det kommer til energien i en chokoladebar og energien fra et geotermisk anlæg.

Der er selvsagt en enorm forskel i energimængderne i de to ting, og derfor regner man ofte i enhederne terajoule (TJ) eller petajoule (PJ), når det for eksempel kommer til energiforbruget i et helt land.

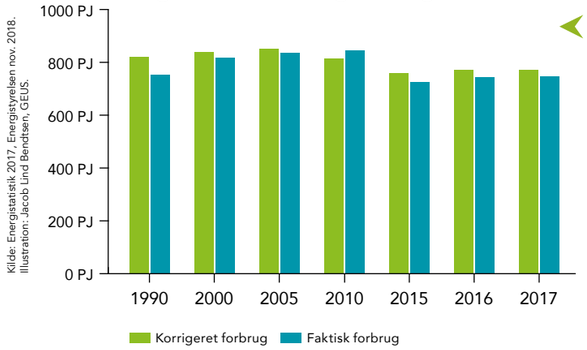
I 2017 udgjorde fjernvarme 17,6 procent af Danmarks totale energiforbrug.

1 joule (J)	**= 1 Watt x 1 sekund**
1 kilo Joule (kJ)	= 1.000 J
1 megajoule (MJ)	= 1.000.000 J
1 gigajoule (GJ)	= 1.000.000.000 J
1 terajoule (TJ)	= 1.000.000.000.000 J
1 petajoule (PJ)	= 1.000.000.000.000.000 J

Omregning til andre enheder

1 liter fyringsolie	= 36 MJ
1 liter fyringsolie	= 10 kWh
1 liter fyringsolie	= 8600 kilokalorier (kcal)

Faktisk energiforbrug og korrigeret bruttoenergiforbrug



Kilde: Energistatistik 2017, Energistyrelsen nov. 2018. Illustration: Jacob Lind Bendtsen, GEUS.

Udviklingen i Danmarks totale energiforbrug i de seneste årtier. Tallene afspejler hhv. det faktiske og korrigerede forbrug i syv forskellige år i perioden 1990 til 2017. Det faktiske forbrug er det, der er blevet brugt, mens det korrigerede er justeret i forhold til eksport og import af energi med mere.

Af det totale energiforbrug på de 772 PJ for hele det danske samfund i 2017, blev de 135,6 brugt på fjernvarme.

På side ni kan du se, hvilke kilder fjernvarmen kom fra i 2017 og hvordan udviklingen har været siden 1990. Geotermi er stadig en meget lille del af det store billede, men har som nævnt potentiale til at vokse sig større. Der er dog ikke på nuværende tidspunkt noget officielt mål for, hvor meget geotermi skal bidrage med i fremtiden.

GEOTERMI GLOBALT

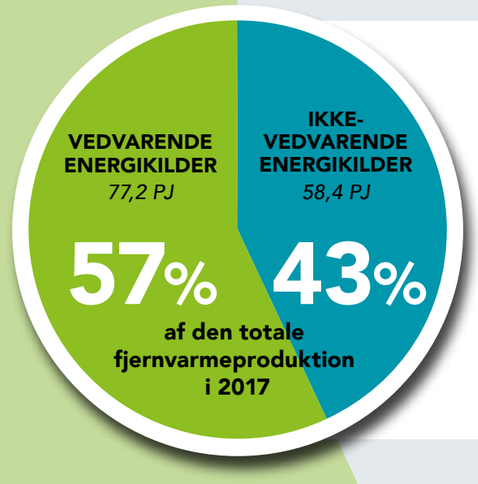
Det er ikke kun i Danmark, man får varme fra undergrunden via geotermi. Mange lande anvender energiformen i stor stil, især i USA har man mange aktive anlæg. Flere steder i Asien som Indonesien satses der også stort på den underjordiske energi.

I flere af landene bruges geotermien også i høj grad til produktion af strøm. Det kræver dog, at temperaturen i undergrundens vand er 100°C eller mere, da vandets damp skal kunne drive en turbine. Det er der masser af i f.eks. Indonesien, mens det tilgængelige vand under Danmark ikke er varmt nok.

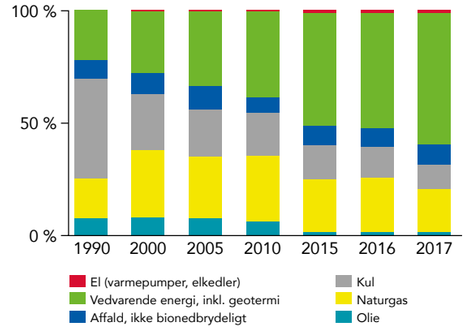
Her kom Danmarks fjernvarme fra i 2017

Total produktion af fjernvarme 2017 = 135,6 PJ

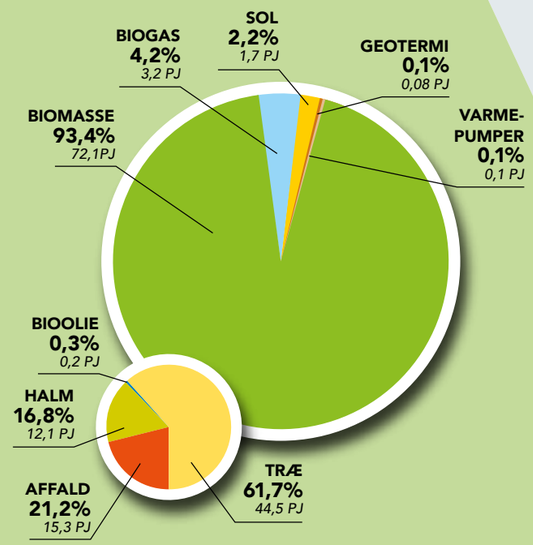
Herunder kan du se, hvilke energikilder fjernvarmen kom fra og hvordan udviklingen har set ud fra 1990



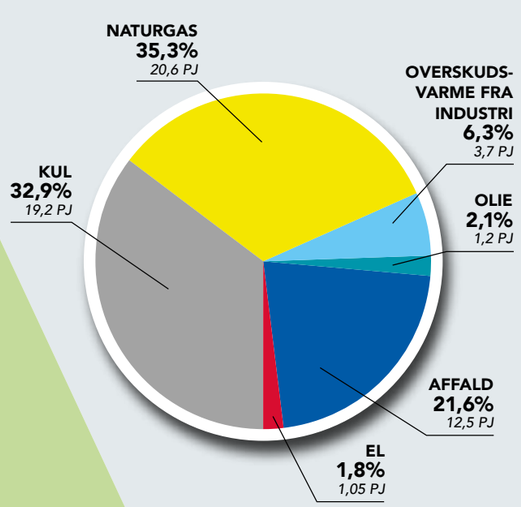
Årlig fordeling af energikilder til fjernvarmeproduktion



Fordeling af fjernvarme produceret med vedvarende energikilder



Fordeling af fjernvarme produceret med ikke-vedvarende energikilder



Kilde: Energistatistik 2017, Energistyrelsen nov. 2018. Illustration: Jacob Lind Bendtsen, GEUS.

Dannelsen af de danske sandstensreservoirer

Den danske undergrund er rig på geotermiske reservoirbjergarter, og det kan vi blandt andet takke jordskorpens indsynkning for.

Stiller man sig på den midtjyske hede og graver et meget dybt hul i jorden, vil man opdage, at Danmark i det store og hele er et stort bassin fyldt med millioner af års sedimentaflejringer af forskellig art. Modsat vores mere grundfjeldsforankrede naboer i Norge og Sverige, er Danmark lidt groft sagt én stor sandkasse. Det skyldes flere ting, men især at der i en stor del af det område, der i dag er dansk, men også polsk og nordtysk, er sket en indsynkning i jordskorpen, som har tilladt alle de tilkomne sedimenter at blive begravede og med tiden opnå stenstruktur.

De steder, hvor jorden ikke har været udsat for indsynking i samme grad, er mange af sedimenterne blevet ført videre eller eroderede. Danmarks indsynkning har så at sige givet sedimenterne plads til at indtage landet og med tiden blive begravet og omformet til sten af nytilkomne sedimenters vægt. Hvilken type sten, de er blevet til, afhænger af, hvilke sedimenter, der er tale om, og det afhænger igen af omverdenens tilstand på det tidspunkt. Har der været dybt hav, vil der typisk blive aflejret meget mudder og silt, som ved begravelse bliver til muddersten. Var der en saltvandssø, som med tiden blev inddampet af Solen, blev der aflejret et lag med salt. Var der et flodleje eller en kyststrækning, vil der typisk blive aflejret sand. Det danske område har undervejs op i tiden været udsat for det hele og mere til. Derfor er undergrunden netop en afspejling af fortidens geologiske hændelser og forandringer.

De otte sandsten

Særligt aflejringen af sand fra kyster, havbund og flodlejer er interessant for geotermi, da sandsten er en porøs bjergart. Det vil sige, at den på grund af sine relativt store korn har tilsvarende store porerum, som vand kan strømme igennem. Er sandstenen blevet tilstrækkeligt dybt begravet, vil vandet være varmt, da temperaturen i jordskorpen stiger med dybden. Dog må sandstenen heller ikke være for dybt begravet, for så vil den ofte være for kompakt og sammentrykt, så vandet ikke kan strømme igennem. Blandt andet derfor har geologerne fundet ud af, at sandstenslag der ligger i cirka 800 til 3000 meters dybde er bedst egnede som geotermiske reservoirer. Der findes otte geologiske enheder i vores undergrund, der helt eller delvist opfylder det krav:

1. Bunter Sandsten Formationen
2. Skagerrak Formationen
3. Gassum Formationen
4. Haldager Sand Formationen
5. Frederikshavn Formationen
6. Flyvbjerg Formationen
7. Nedre kretassisk enhed
8. Nedre jurassisk enhed

På figuren kan du se cirka hvornår og hvor i landet de er aflejret. Tykkelsen på hver enhed er et udtryk for hvor lang en periode, den er aflejret over.

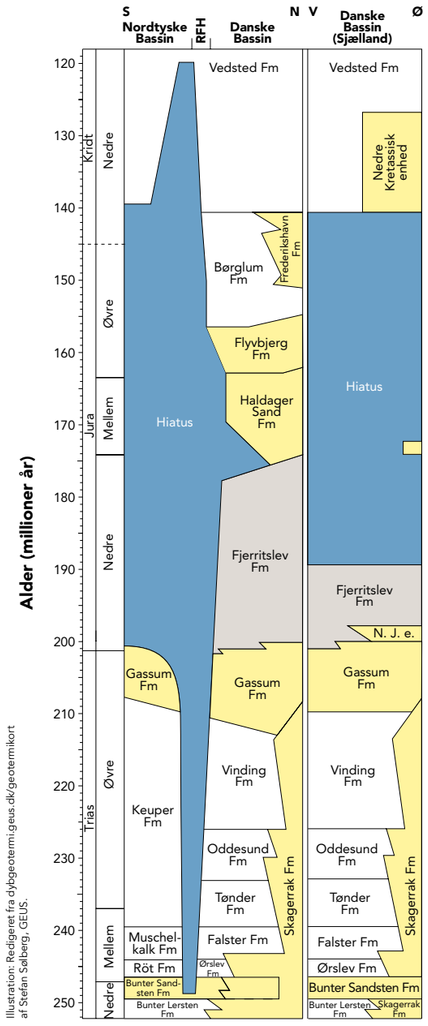


Illustration: Redigeret fra dybgeotermi.geus.dk/geotermikort af Stefan Sølberg, GEUS.

Lithostratigrafisk inddeling af den danske undergrund med fokus på aflejringsperioder for de otte geologiske enheder, som er særligt vigtige ved geotermisk energiudvinding. Fordelingen af enhederne viser, hvornår og hvor de cirka er aflejret, og skal altså ikke forstås som tykkelse på lagene. Til venstre vises tidsenhederne nedefter i millioner år. Den midterste del af figuren skal illustrere et tværsnit fra syd mod nord i Jylland og højre side fra øst til vest under Sjælland.

Fm = Formation
RFH = Ringkøbing-Fyn Højderyggen
Hiatus = Tidsperiode uden sedimentafsætning eller hvor sedimenterne er eroderet væk.
N.j.e. = Nedre jurrasisk enhed

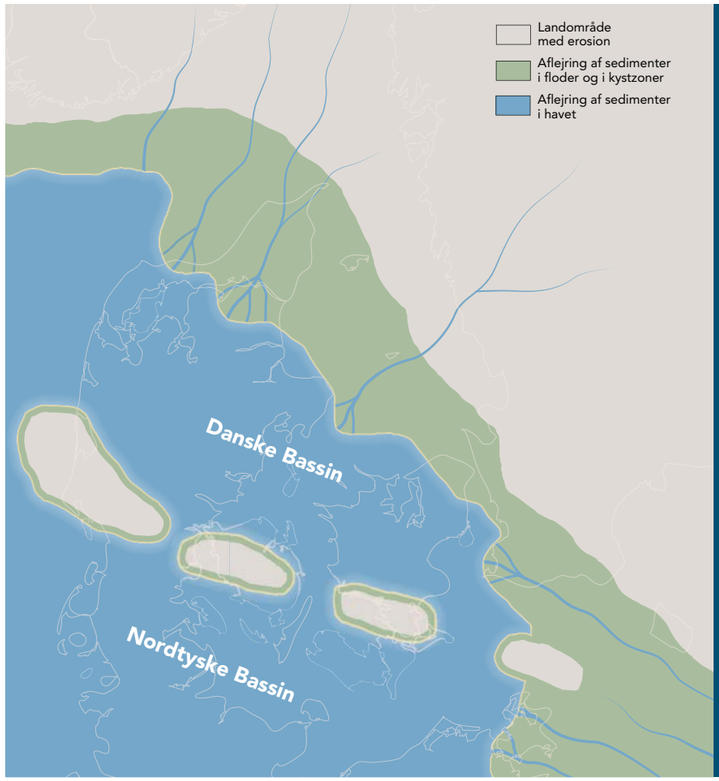


Illustration: Stefan Sølberg, GEUS.

GASSUM FORMATIONEN OPSTÅR

Gassum Formationens sedimenter er aflejret for omkring 200 millioner år siden i Øvre Trias over en periode på godt 10 millioner år.

Dengang var kontinenterne stadig samlet i en stor landmasse, og gentagne svingninger i havniveau gennem perioden havde stor indflydelse på fordelingen af land og hav.

Det palæogeografiske kort til venstre viser derfor kun et øjebliksbillede af, hvordan det danske område kan have set ud dengang. I perioder med meget højt havniveau var de markerede øer henover det højtliggende grundfjeldsområde, vi i dag kalder Ringkøbing–Fyn Højderyggen, sandsynligvis oversvømmede, og havet har strakt sig længere mod nord og øst.

Når havniveauet var lavt, rykkede floderne til tider frem, og afsatte sedimenter i flodlejer og fjorde. Gassum Formationen består altså af sand fra forskellige aflejringsmiljøer, og derfor kan formationen se forskellig ud forskellige steder i landet.

Gassum er bedst til geotermi

Ud af de otte er den geologiske viden størst om Gassum Formationen, og sandsten fra den udnyttes allerede til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg. På grund af sin store udbredelse under Danmark kombineret med generelt god vandgennemstrømning og andre gode takter, vurderes Gassum Formationen til at være den bedst egnede formation til geotermi i Danmark. I områder hvor den ikke er til stede i det rigtige dybdeinterval, eller hvor reservoiregenskaberne er mindre gode, kan andre sandstensenheder dog være mere oplagte. Ved det geotermiske anlæg på Amager bruger man for eksempel Bunter Sandsten Formationen.

Gassum Formationen er generelt mellem 30 og 150 meter tyk og domineres af sandsten, men indeholder også ler- og siltsten og nogle steder tynde kullag. Sedimenterne i Gassum Formationen blev aflejret for omkring 200 millioner år siden over en periode på omkring ti millioner år. I det tidsrum var klodens landområder samlet i ét kæmpestort kontinent ved navn Pangæa.

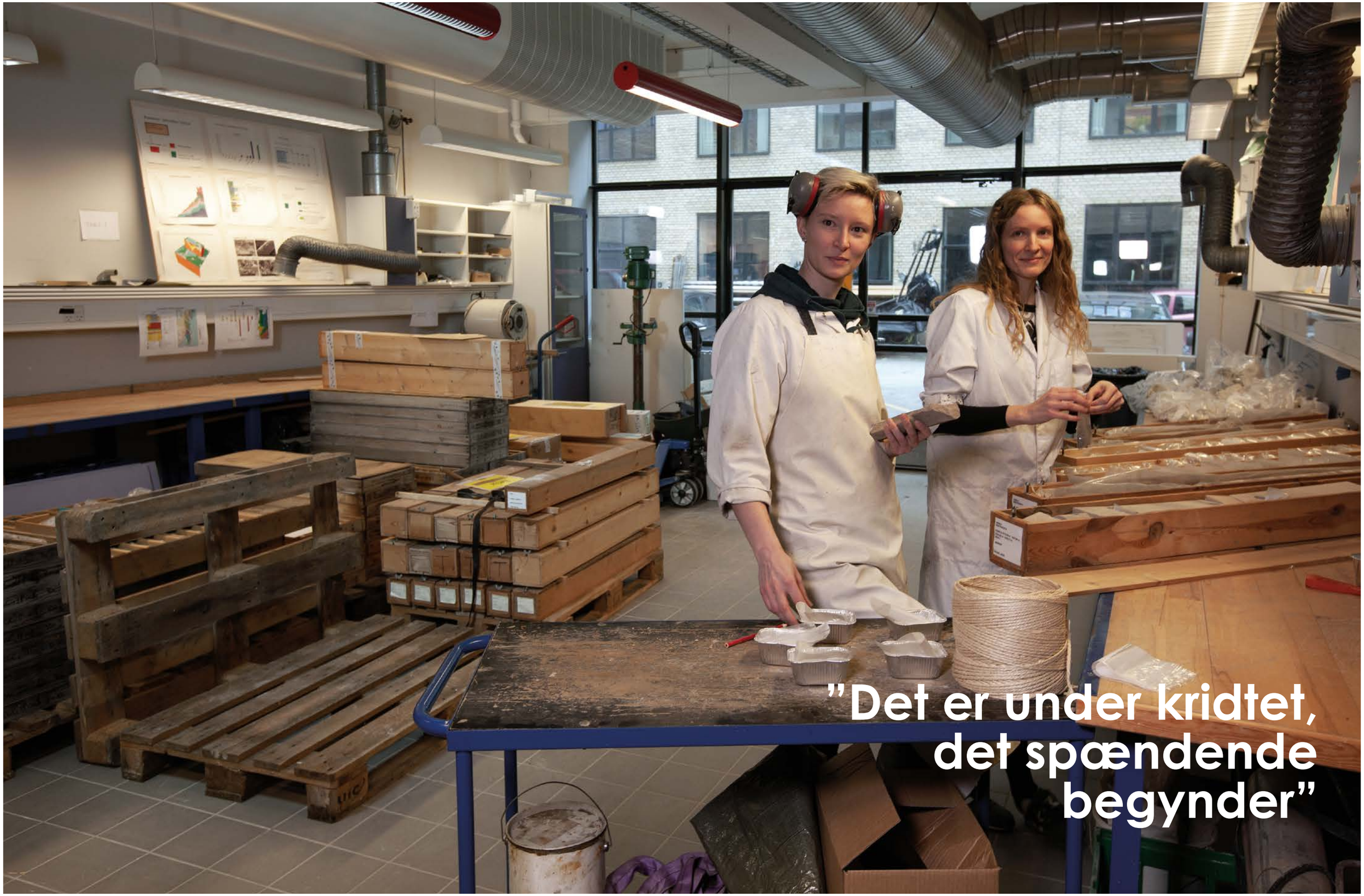
Som det ses på kortet herover, var hovedparten af det danske område dengang et lavvandet havområde, hvortil floder fra det højtliggende skandinaviske grundfjeldsområde transporterede store mængder af sand. Noget af sandet blev afsat i flodkanaler og fjorde, men det meste blev aflejret i havet som kystsand. I perioder med faldende havniveau rykkede kysten og de bagvedliggende floder ud i de centrale dele af bassinerne. Derfor blev der med tiden aflejret sand over et meget stort område, som i dag er blevet til tilsvarende store reservoirer af sandsten.

NØGLEBEGREBER

Sediment: En løs masse af individuelle, usammenhængende partikler. Ved forskellige processer kan partiklerne blive kittet sammen, hvorefter de udgør en sedimentær bjergart. Sedimenter dannes blandt andet ved forvitring og erosion af bjerge, hvorefter det nedbrudte materiale transporteres videre mod lavereliggende områder af vind, vand eller is for til sidst at blive aflejret i floder, søer, havet med mere.

Aflejring: Når sedimenterne efter en kortere eller længere rejse med vand, is, eller vind ender deres transport og bringes i hvile på en flodbund, havbund etc. Fordi sedimenterne med tiden synker sammen og der typisk vil fortsætte med at komme nye sedimenter til, vil der efterhånden bygge sig et lag af sediment op. Begraves de dybt nok, kan de for eksempel ende som sandsten, muddersten, siltsten og så videre.

Formation: Et udtryk der bruges om lag af bjergarter, der adskiller sig fra dem ovenover og nedenunder ved at have ensartede egenskaber som kornstørrelse, farve, mineralsammensætning med mere.



”Det er under kridtet, det spændende begynder”

Foto: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

NAVN
Mette Olivarius

STILLING
Postdoc i Reservoirgeologisk Afdeling ved GEUS.

UDDANNELSE
Kandidat i sedimentær geologi, Københavns Universitet.
Ph.d. i diagenese og proveniens, Aarhus Universitet.

FORSKNING
At nedbringe usikkerhederne omkring sandstenslagenes sammensætning og udbredelse, så det blandt andet kan blive mindre økonomisk risikabelt at bore nye geotermiske brønde.

Foto: Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS.

Mette Olivarius og Maria Leth er på jagt efter sand i boreprøver fra hele landet. (s.12-13).

Mette Olivarius undersøger en håndfuld borespåner fra en af de udvalgte dybder med sandsten, der skal udtages prøver fra.

Normalt er det svært at udtale sig om ting, man ikke kan se, men ikke desto mindre er det netop det, der foregår hver dag i laboratoriet hos Mette Olivarius, der arbejder med at kortlægge sandstenslagene i den dybe undergrund.

Lugten af billedkunstlokale blandet med værksted får borelaboratoriet til at føles hyggeligt og rart. Gulvet er dækket af stabler af aflange trækasser med hver sit lille skilt i enden med navne som 'Voldum-1, 1170 til 1390 m' og 'Uglev-1, 3.050 til 3.070 fod'. Hver kasse indeholder sedimenter i form af borekerner eller -spåner fra en boring med det pågældende navn, typisk opkaldt efter en nærliggende by. Hver gang der bores i undergrunden indsamles sedimenterne fra hele dybden, og på den måde kan geologerne analysere alle lag og formationer.

"Ja, jeg satser på at nå dem alle sammen i dag," siger Mette Olivarius. Hun åbner plastikindpakningen omkring borekernerne i en af de mange trækasser, der er stillet på bordet.

"Jeg skal have aldersbestemt sandet fra de lag og områder, man ikke kender så godt, så vi bedre kan vurdere, hvordan sandstenslagene er fordelt på landsplan."

Det foregår ved at måle indholdet af radioaktive isotoper i nogle særlige mineraler, der dannes naturligt i mange bjergarter", forklarer Mette. Mineralerne kaldes zirkoner.

Sandets oprindelse

Zirkoner er små krystaller, der findes i små mængder i blandt andet sandsten. De indeholder bittesmå mængder radioaktive isotoper, som man kan måle indholdet af og dermed regne ud, hvor gamle zirkonerne er.

Hvis zirkonerne i en prøve viser sig at have samme alder som for eksempel de norske fjelde, så stammer de og dermed sandsynligvis også resten af sandet derfra. Hvis der også er ældre og yngre zirkoner i sandet, er det blandet op med sand fra andre kilder.

"Hvis vi finder sand fra de norske fjelde i alle boringerne i Nordjylland, vil det tyde på, at der blev aflejret sand derfra over hele området, også hvor man ikke har boret endnu. Min hypotese er, at vi netop vil se, at det meste sand i det nordlige Danmark stammer fra Norge, og at der sker en opblanding med sand fra andre steder jo længere sydpå vi kommer."

Hvis dagens prøver kan afsløre, om det holder stik, vil Mette Olivarius og kollegerne være et skridt tættere på at kunne lave en model over hvilken slags sand, der er hvor. Den viden er efterspurgt flere steder, men særligt inden for geotermibranchen.

"Hvis man skal udvinde geotermisk energi, skal man have sand af en vis kvalitet med tilpas stor tykkelse, udbredelse og kornstørrelse, og uden for meget ler og cementering. Derfor er det jo rigtig nyttigt, hvis vi kan forudsige, hvor netop den type sand formentlig er," siger hun.

"Her skulle der gerne være sand"

Hun betragter den blotlagte borekerne fra Fjerritslev-2 og gnider pegefingeren mod dens ensartede, grå overflade.

"Hm, den er godt nok finkornet den her," siger hun for sig selv. En prøve på 300 gram skal tages fra den del af borekernen, der er mest sandet, og som derfor kunne være interessant i geotermisk sammenhæng. Mette åbner den næste kasse, der indeholder borespåner:

"Ud fra en række målinger har vi en ide om, i hvilken dybde der formentlig er sand. Men en del af opgaven i dag er også at finde ud af, om det så rent faktisk passer med det, vi ser i boreprøverne."

Hun studerer et papir med en detaljeret graf inddelt i forskellige farver.

"Den her skulle meget gerne være sand," siger hun og

Illustration: Modificeret efter Nielsen s. 461 i Geological Survey of Denmark and Greenland. Bulletin 1 2003.

Dybe boringer i Danmark, der typisk er opkaldt efter det sted, de er boret, plus et tal for, hvad nummer boringen er, hvis der er flere samme sted. De fleste er lavet af private firmaer i forbindelse med olieeftersøgning, geotermiske boringer mm.

løfter en pose op fra en kasse med borespåner fra Slagelse-1. Hun åbner posen og hælder lidt af dens indhold ud i hånden. "Pyh, det var det også," siger hun med et smil. Det noteres.

> **Min hypotese er, at det meste sand fra det nordlige Danmark stammer fra Norge**

"Så tager jeg bare 300 gram fra med en ske og herover i en ny pose, der også får en mærkat med boring og dybde." Prøven stilles i en lille foliebakke på et rullebord. Så mangler der bare 28 andre.

Borekerner fra en borekerne

Borekernerne er mere omstændelige at tage prøver fra. Her må der bores mindre borekerner ud af hver kerne, så man får en god repræsentativ prøve, men gør så lidt skade på kernen som muligt. De små prøve-borekerner kaldes 'plugs', og dem står studentermedhjælper Maria Leth for at bore ud og skære til, så det svarer til ca. 300 gram. Maria, der læser Geologi og Geoscience på Københavns Universitet, går i pendulfart mellem trækasserne med borekerner og maskinerne i rummet ved siden af iført kittel og svuppende gummistøvler.

"Du må hellere tage de her på, for det larmer altså lidt," siger Maria og rækker et par kraftige høreværn frem. Hun tænder rundsaven, der accelererer i omdrejningerne og med en skinger snerren skærer sig igennem en plug. Maria lægger det tilsavede stykke i en foliebakke, som hun stiller på vægten inde på bordet med trækasserne. "Hah, 300,1 gram!" udbryder Maria. Mette kommer med et overdrevent, imponeret udbrud. De griner.

"Herfra sendes prøverne så videre op til grovlaboratoriet," forklarer Mette. "Der bliver de knust og hældt ud på et rystebord, som overskylles med vand, så de tunge mineraler, som blandt andet er zirkonerne, adskilles fra de lette." Hun åbner plastikken i en trækasse med borekerner fra Børglum-1, imens hun snakker.

"Derefter sorteres de tunge mineraler under mikroskop,

NØGLEBEGREBER

BOREKERNER
Lange cylinderformede stenstykker, der er boret op fra undergrunden og giver indblik i mineralogien i den pågældende dybde.

BORESPÅNER
Fordi det er meget bekosteligt at udtage borekerner, foregår det meste af boringen ved, at stenen bliver knust på vej ned, mens hullet bores. Det knuste materiale bringes op til overfladen, hvor det kan bruges som erstatning for borekernerne, da de også giver et indblik i undergrunden, bare mindre præcist og detaljeret.

OMLEJRING
Når et sandlag er aflejret, bliver det langsomt begravet, fordi der hele tiden aflejres nyt sediment oven på, men der kan derefter ske bevægelser i undergrunden, der hæver sandlaget op til overfladen igen. Her bliver det eroderet af vind og vejr, så sandkornene igen bliver separeret og aflejret igen et nyt sted, hvor det igen kan begraves og blive til sandsten.

ZIRKON
Stabilt tungmineral der modsat mange andre mineraler stort set ikke bliver knust ved transport eller opløst ved begravelse. Det består af $ZrSiO_4$ og indeholder små mængder af blandt andet uran og bly, der gør det muligt at datere, hvornår mineralet er dannet. Det kaldes zirkondatering, og bruges mange steder i geologien, når man skal vide, hvor gamle bjergarterne er.

Fotos: Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS.

A: En borekerne som har fået udtaget fire plugs.

B: Studentermedhjælper Maria Leth skærer et stykke af en borekerne, så mængden passer til forskernes analyser.

C: Poser med borespåner fra en boring ligger på række i en trækasse. Alle poser indeholder spåner fra samme boring, men fra forskellige dybder.

D: Borespåner består af knust sten, som er blevet skyllet op til overfladen i takt med at boret arbejder sig ned gennem undergrunden. Bruges ligesom borekerner til geologiske analyser.

Føto: Gunver Krarup Pedersen, GEUS.

SYNLIG SANDSTEN I DANMARK

I Danmark ligger det meste sandsten dybt begravet, men på Bornholm er den flere steder løftet helt op til overfladen af bevægelser langs forkastninger i jorden.

Her findes også flere sandstensbrud, hvor der brydes blokke af sandstenen, som bruges over hele øen til fliser og skulpturer. De eksporteres desuden under navnet Nexøsandsten.

Et stykke af den bornholmske sandsten kan ses ud for Hovedbanegården i København i form af Frihedsstøtten, der blev rejst i 1797 i forbindelse med ophævelsen af stavnsbåndet. Den består af rød sandsten på en sokkel af norsk marmor.

Veklsende lag af sand og mudder set ved Galløkken på Bornholm. Sedimenterne er aflejret for omkring 200 millioner år siden.

hvor zirkonerne pilles fra med en pincet. Så kommer vi til selve dateringen af zirkonerne, som sker ved at beskyde zirkonerne med laser og derudfra analysere isotopsammensætningen. Ud fra resultatet kan vi estimere zirkonernes alder, og dermed sandets alder."

Der går typisk tre måneders tid fra udvælgelse af prøver, til resultaterne er klar, fortæller Mette.

Afslørende kvartskorn

Mette nærstuderer en overskåren borekerne fra Børglum-1, der med sin grønne farve afslører, at den er aflejret som dyb havbund. En håndfuld kvartskorn træder tydeligt frem mellem det ellers helt fine og homogene sand.

"Nåh, det var spændende. Det betyder nok, at stenen her er aflejret tæt på en sedimentkilde, eller at der er sket en lokal omlejring af ældre sand, ellers ville der ikke kunne være så store korn blandet i," siger hun.

"Jeg glæder mig til at se, hvad zirkonerne fra den her prøve siger." Hun skriver ned og går videre til næste kasse.

"Det her er fra Margretheholm-1, som er den boring, der bruges til at pumpe vand ned i undergrunden på det geotermiske anlæg på Amager. Den når blandt andet ned i Bunter Sandsten Formationen, som anlægget bruger som reservoir, men jeg skal tjekke de øvre sandlag fra blandt andet en del af Gassum Formationen, der faktisk ligger lige under kridtlaget i det område. De kan måske også blive aktuelle at anvende til geotermi."

Hun tager en pose op af kassen, binder knuden op og tager en smule af det mørkebrune sediment ud i hånden.

"Det er meget mørkt," siger hun og tager lidt mere ud i hånden. "Det er sandsynligvis på grund af organisk materiale, for som du kan se, er der næsten intet ler i."

Ildelugtende men lovende

Hun nulrer noget af Margretheholm-sandet mellem tommel- og pegefinger.

"Men det er faktisk rigtig god kvalitet det her - lettere grovkornet og ensartet, så det bliver rigtig interessant at gå videre med," siger hun. Med en ske øser hun 300 gram af posens indhold over i endnu en foliebakke. "Det er under kridtlaget, det spændende begynder."

Mette studerer igen sine papirer og går til næste kasse med borespåner fra Margretheholm-1. "Puh, hvor det lugter," udbryder hun, da hun åbner en pose. Sandet udsender en hengemt, syrlig lugt, som en meget fugtig kælder tilsat noget udefinerbart ubehageligt. Det ligner derimod noget, der sagtens kunne have ligget på en hvid postkortstrand. Hun tager lidt ud mellem fingrene. "Ah ja, det er meget homogent og kvartsrigt, så sandet her er sandsynligvis aflejret på en strand. Det ville være velegnet til geotermi."

Hun skriver ned og går videre til næste trækasse, alt imens Maria svupper videre mellem laboratorium og boremaskine med det ældgamle, hærdede sand, hvis ophav og alder måske gør det nemmere at lave nye geotermiske anlæg.

Gassumsandstenens mange ansigter

Sandsten er et produkt af fortiden og kan se meget forskellig ud alt efter, hvordan dens fortid ser ud.

Gassum Formationen er den mest udbredte af de sandstensformationer, der kan bruges til dyb geotermi i Danmark. Den strækker sig over, eller rettere under, to tredjedele af Danmark, og ligger for det meste i en dybde, der er optimal til geotermisk udnyttelse.

Da den er så udbredt, er det også den sandstensformation, der er mest viden om fra boreprøver og geologiske forsøg. Derfor har geologer bedst chance for at forudsige, hvordan sandstenen i Gassum Formationen vil opføre sig som geotermisk reservoir fremfor de andre formationer med sandsten. Gassum Formationen regnes derfor for at være den vigtigste formation i geotermiske sammenhænge i Danmark.

Sandstenens fingeraftryk

De mange boreprøver, som både geologer og private virksomheder har lavet over årene har imidlertid vist, at selvom der er tale om den samme formation, kan sandstenens sammensætning være ret forskellig fra landsdel til landsdel. Det gælder også Gassum. Alt efter hvor i landet en prøve tages, kan sandet i prøven stamme fra forskellige kilder og være aflejret under forskellige forhold. Det betyder, at der kan være meget stor forskel på sandstenens indhold af mineraler og på dens tekstur, som igen har stor betydning for, hvor god sandstenen i lige netop dét område er som geotermisk reservoir. Forskellen kan ikke altid ses med det blotte øje, men den kan være meget tydelig, når man analyserer en prøve i elektronmikroskop ved et såkaldt automatisk mineralscan. Her skelnes mineralerne fra hinanden og de omkringliggende porerum, så mineralsammensætning, porøsitet og kornstørrelse blandt andet bliver meget tydelig. Billederne kan se pixellerede ud, men det skyldes, at maskinen måler små områder af gangen, og forskellige mineraler fremstår som pixels i en anden farve.

Sandet ændrer udtryk

Nedenfor ses sådan et mineralscan af en prøve fra netop gassumsandsten taget fra henholdsvis en boring i Jylland og en boring på Sjælland. Udover kornstørrelsen er der tydelig forskel på de to prøvers indhold af kvarts, der vises som gul, og forskellige typer feltspat, som er markeret med nuancer af lilla. Den jyske sandsten stammer fra en boring i byen Gassum, som formationen er opkaldt efter, og er taget i 1642 meters dybde. Sandstenen indeholder nærmest lige dele kvarts og feldspat af typerne kalifeldspat, albit og plagioklas. Det skyldes formentlig, at sandet i det nordvestlige Danmark er transporteret direkte med floder og vind fra eroderede grundfjeldsområder i Norge og Sverige for at blive aflejret og begravet uden de store forstyrrelser i undergrunden.

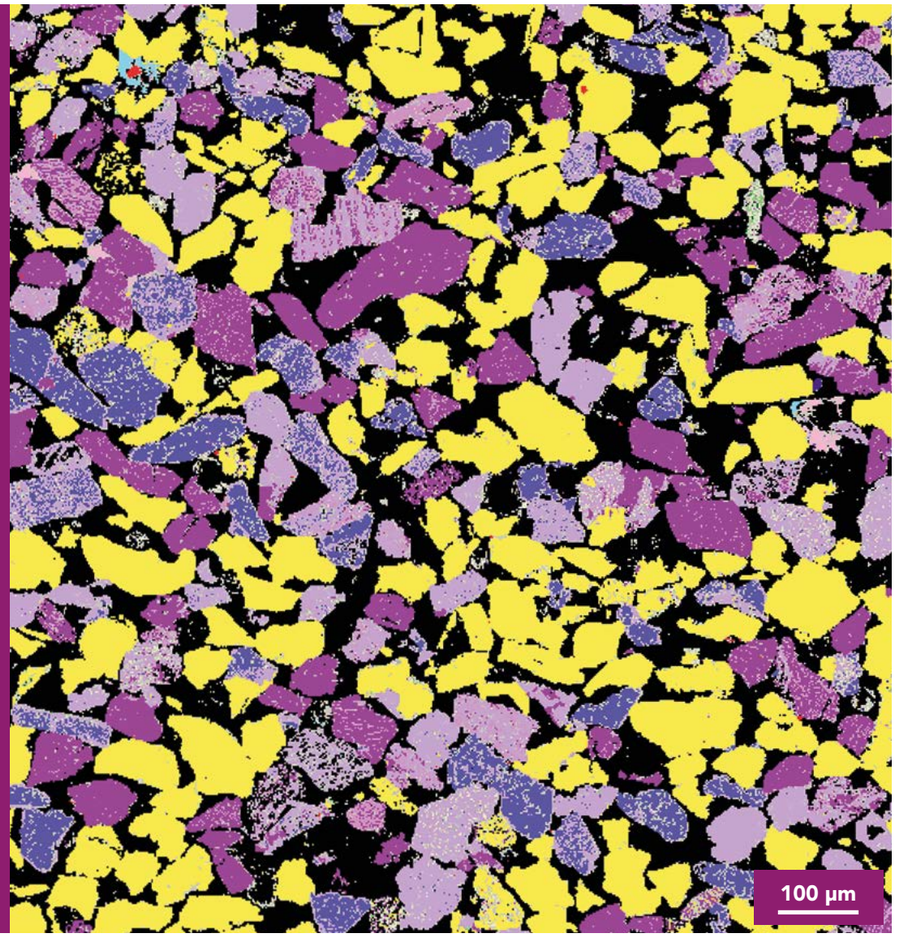
Derfor er sandsten i det område ofte relativt uændret rent mineralogisk i modsætning til, hvis den er blevet løftet op, eroderet og begravet flere gange af bevægelser langs forkastninger i jordskorpen. En proces, der kaldes omlejring. Det er lige netop, hvad der er sket med sandstenen fra den sjællandske boring. Den er lavet ved Stenlille, og stammer fra 1546 meters dybde. Fordi sandet i sandstenen under store dele af Sjælland er blevet omlejret, er en større del af den mindre stabile feldspat blevet nedbrudt.

Derfor fremstår scanningen af den sjællandske Gassumsandsten meget mere gul end den jyske, da den efter den hårde behandling mest består af den langt mere stabile kvarts. Forskellen på de to sandstensprøver er et godt eksempel på, hvorfor det er vigtigt at kende til mineralogien i sandstensformationerne på tværs af landet. Jo mere forskerne ved om forskelle og ligheder, des bedre kan de forudsige, hvor sandstenen egner sig bedst som geotermisk reservoir. [9]

Mineral

- Kvarts
- Kali-feldspat
- Alkali-feldspat
- Albit (feldspat)
- Plagioklas (feldspat)
- Biotit (glimmer)
- Kaolinit (ler)
- Illit (ler)
- Calcit (cement)
- Pyrit (cement)
- Zirkon
- Uklassificeret
- Porerum

GASSUM FORMATION MIDTJYLLAND

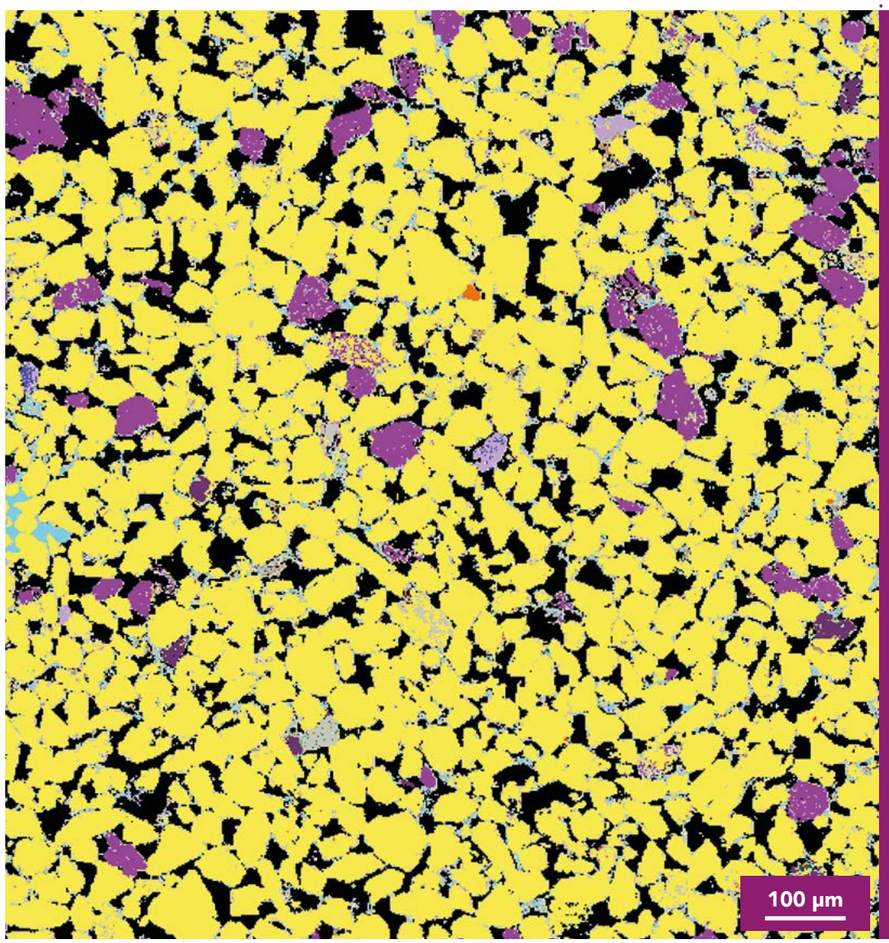


Sandstenen i prøven har et meget højt indhold af feldspat, der fremstår som forskellige nuancer af lilla på billedet. Det gule er kvartskorn, og derudover kan man ane små spredte krystaller af pyrit, biotit og calcit (hhv. rød, grøn og blå).

Den store mængde feldspat kan resultere i mineralogiske ændringer ved dybere begravelse, for eksempel dannelse af forskellige lermineraler, som kan fylde porerummene og vanskeliggøre geotermisk produktion. Det er dybden dog ikke stor nok til her, så porerummene er stadig åbne.

Den store kornstørrelse gør desuden, at porerummene i forvejen er meget store, hvilket gør sandstenen i lige netop denne dybde på dette sted meget velegnet som reservoir.

GASSUM FORMATION MIDTSJÆLLAND



Den sjællandske sandstensprøve viser stor dominans af kvarts med spredte feltspattyper og små krystaller af blandt andet calcit og zirkon (hhv. blå og orange).

Indholdet af den meget stabile kvarts gør sandstenen modstandsdygtig over for den opløsning og cementering, der ellers ofte følger med dybere begravelse i undergrunden. Derfor vil sandstenen have åbne porerum på større dybder end feltspatholdig sandsten som den i Jylland.

Den sjællandske sandsten har en mindre kornstørrelse end den jyske, og det betyder, at den har en lidt lavere porøsitet og en del lavere permeabilitet. Dog er den, som den jyske gassumsten, stadig i den meget fornuftige del af spektret, så den egner sig stadig godt til geotermi.

Fotos: Automatisk mineralscan, Sebastian Nørby Malkki, GEUS.

Er din sandsten lodden eller kantet?

Dansk geotermi i den dybe undergrund er afhængig af, at der er sandsten i en ordentlig kvalitet. Men hvad er en god sandsten?

Sandsten består som navnet antyder af sand, men sand kan være mange ting. Helt basalt set er definitionen af sand blot, at det har en kornstørrelse mellem 0,06 og 2 millimeter. Det vi i daglig tale kalder sand, som ligger på strandene rundt omkring ved kysterne, består reelt set af sandkorn blandet med findelte muslingeskaller, lerpartikler, småbitte stykker rundsleben glas og meget andet godt fra havet.

Selve sandkornene består af mineraler såsom kvarts og feltspat, der engang har været del af større bjerge. Med tiden er de blevet slidt af og ført ud i verden med floder, vind eller gletsjere. Om sandet ender som en sandsten, der kan bruges til dyb geotermi afhænger blandt andet af, hvor store sandkornene er og hvilke mineraler sandet består af. Størrelsen på sandkornene bestemmer nemlig også størrelsen på porerummene mellem dem, som er afgørende for, hvor nemt vand kan strømme igennem. Den mineralske sammensætning afgør, hvordan sandet reagerer på den stigende varme og det stigende tryk, der følger med dybere begravelse i undergrunden, hvilket også får betydnig for porerummene.

> **Selve sandkornene består af mineraler såsom kvarts og feltspat, der engang har været del af større bjerge.**

Den lodne illit

Hvis sandet for eksempel indeholder meget feltspat, der er et ustabilt mineral, vil det ved øget tryk og varme begynde at blive opløst til mindre dele. Ved nedbrydelsen dannes mere finkornede lermineraler på kornenes overflade, der ses som små lodne, hårlignende strukturer, der kaldes illit. De optager meget plads i porerummene og kan derfor begrænse sandstenens geotermiske egenskaber, da det bliver sværere for vand at strømme forbi illitten. Består sandkornene mest af kvarts, som er langt mere stabil, vil der skulle højere tryk og varme til, før der sker nedbrydning og udkrystallisering på overfladen. Når de kommer, er det modsat illitten i form af kantede og geometriske udvoksninger, som vandet nemmere kan løbe forbi.

I Gassum Formationen på Sjælland har sandstenene generelt et ret højt kvartsindhold, og derfor kan man bruge de lidt dybere dele af formationen, da porerne ikke stopper til i samme grad som andre steder med mindre kvartsindhold. Hvor godt et geotermisk reservoir er kommer altså i høj grad an på sandtype, men også dybden, det ligger i. Selvom et reservoir består af meget feltspat, kan det sagtens fungere fint i de lavere dybder. Se boksen herunder for yderligere kriterier for et godt reservoir.

OVERORDNEDE KRITERIER FOR OM EN SANDSTEN ER EGNET SOM RESERVOIR

1. **Tykkelse og udbredelse**
   Hvor meget sand er der i formationen?
   Man vil gerne have en samlet sandstenstykkelse på mindst 15 meter, og lagene skal have en vis udbredelse, for at det er rentabelt.

2. **Porøsitet**
   Hvor store er porerummene mellem sandkornene?
   Jo grovere sand, des bedre.

3. **Permeabilitet**
   Hvor god er forbindelsen mellem porerummene, så vandet kan strømme gennem stenen? De tal man måler sig frem til via boreprøver med mere kan blandt andet regnes sammen til reservoirets overordnede ydeevne, kaldet transmissivitet.

4. **Transmissivitet**
   Tykkelsen af reservoirsandstenen ganget med den gennemsnitlige permeabilitet i reservoiret. Nenævnes ved enheden Darcymeter (Dm). Ved en transmissivitet på 10 Dm og derover betegnes reservoiret som velegnet til geotermisk varmeproduktion.

Se mere på geoviden.dk/geotermi

Find en oversigt og eksempler på de præcise parametre, geologerne tager i betragtning for et sandstensreservoir, når de skal vurdere, om det egner sig til geotermi.

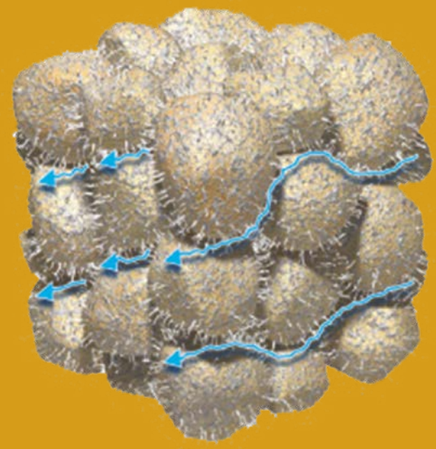
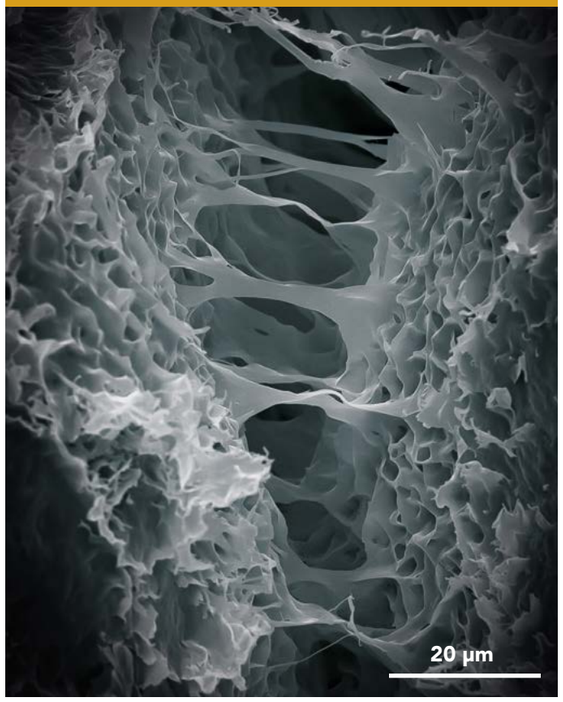


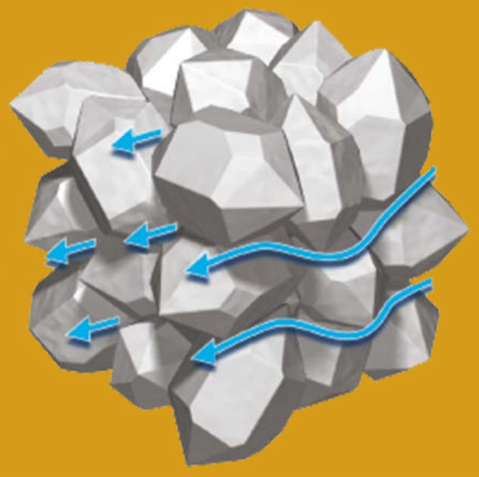
Illustration: Stefan Sølberg, GEUS

FELTSPATHOLDIG SANDSTEN - 'LODDEN'

Ovenfor ses en figur af sandsten med højt feltspatindhold, som ved begravelse har fået udvoksninger af illit, også kaldet illitcementering. De blå pile forestiller vandets strømning gennem sandstenen, der besværliggøres af de strittende illitudvoksninger.

Virkelighedens illit kan ses på elektronmikroskopbilledet herunder. Illitten vokser ud fra hvert sandkorn og vokser i nogle tilfælde sammen med illitten fra nabokornene. Jo dybere sandstenen begraves, des større bliver illitkrystallerne, og des sværere får vandet ved at flyde forbi.

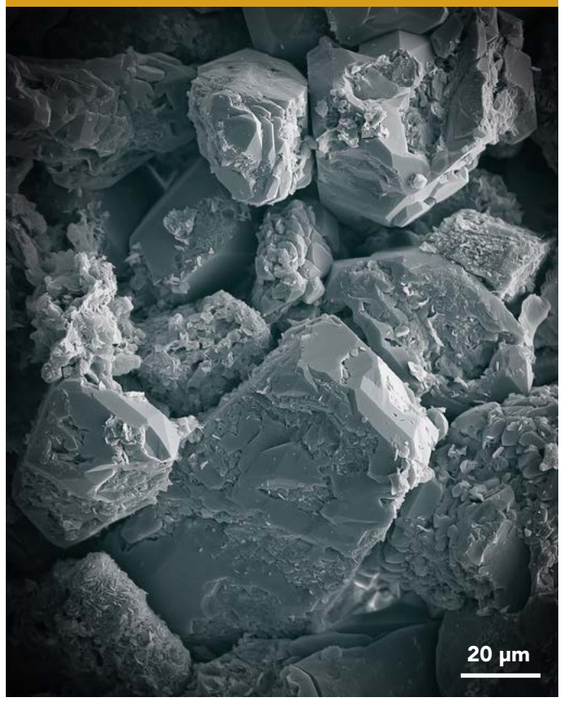




KVARTSHOLDIG SANDSTEN - 'KANTET'

Har sandstenen et højt kvartsindhold, vil den være mere modstandssygtig mod cementering. Ved tilstrækkeligt høje temperaturer begynder der dog også at komme kvartsudvoksninger på overfladen af sandkornene, men modsat illitten er det i meget geometrisk form med glatte, regelmæssige flader. Her kan vandet bedre løbe gennem porerummene, da der ikke er lige så meget, der kommer i vejen som ved den lodne, illitcementerede sandsten.

Elektronmikrosopbbilledet herunder viser tydeligt de geometriske overflader, og selvom de ligger tæt, vil vandet bedre kunne strømme forbi en glat overflade end en lodden.



Fotos: Mikroskopi, Rikke Weibel, GEUS.

NØGLETAL FOR SIMULERING AF TEMPERATUR

Afstand mellem produktions- og injektionsboring 1200 m

Produktion 150 m^3/t

Reservoirets tykkelse 50 m

Reservoirets temperatur i midten 75°C

Injektionsvandets temperatur 20°C

Temperaturforskel 55°C

Foto: Peter Warna-Moors, GEUS.

Lige ud til Øresund på Amager vidner to rør om, at der udvindes geotermisk energi. Rørene når ned til Bunter Sandsten Formationen i cirka 2,6 km dybde.

Længe leve de geotermiske reservoirer

Blandes koldt vand med varmt vand, får man lunkent vand. Den proces sker også, når der pumpes afkølet vand ned i de varme reservoirer, men her går det så langsomt, at det ikke behøver være et reelt problem.

Når et geotermisk anlæg startes, vil man selvfølgelig gerne have, at det kører så lang tid som muligt. Både for at få så meget grøn energi som muligt, og fordi det tager en årrække at tjene investeringerne i de dyre boringer og anlæg ind igen.

Derfor er det nødvendigt at vide på forhånd, cirka hvor mange år man kan regne med at holde et geotermisk anlæg kørende fra pumperne tændes den første dag. Det er der en gruppe forskere fra blandt andet Aarhus Universitets Institut for Geoscience, der har regnet på. En af dem er lektor Niels Balling, der har arbejdet med varme i jorden det meste af sit forskningsliv.

"Inden for dyb geotermi hører man ofte den tommelfingerregel, at man i hvert fald kan regne med, at et geotermisk anlæg kan køre i cirka 30 år på grund af teknologiens levetid, men også fordi injektionsvandet efterhånden nedkøler reservoiret. Vores beregninger viser bare, at nedkølingen altså går meget, meget langsomt," fortæller Niels Balling.

Model af Amageranlægget

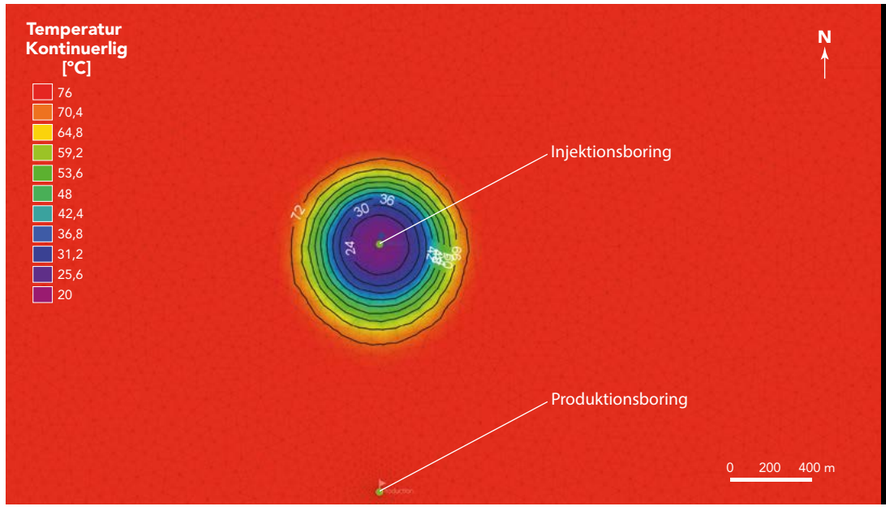
Med udgangspunkt i det 13 år gamle geotermiske anlæg Margretheholm på Amager ved København har Niels Ballings kolleger, Søren Erbs Poulsen og ph.d-studerende Marton Major, lavet en fremskrivning af, hvordan temperaturudviklingen vil være i reservoiret, når der pumpes afkølet vand ned i det over en årrække. Til højre kan du se, hvordan temperaturen vil udvikle sig på henholdsvis 10, 50 og 100 år ifølge simuleringen.

Efter 150 års uafbrudt produktion vil temperaturen sandsynligvis kun være faldet med mindre end ti grader. Vandet ved produktionsboringen vil altså stadig være mindst 65°C varmt i år 2155, og det kan man sagtens fortsat udvinde varme fra.
Det betyder dog ikke, at alle anlæg kan regne med præcis samme udvikling.

"Den præcise temperaturændring vil jo svinge fra anlæg til anlæg alt efter undergrundens sammensætning i lige netop det aktuelle område," siger Niels Balling.

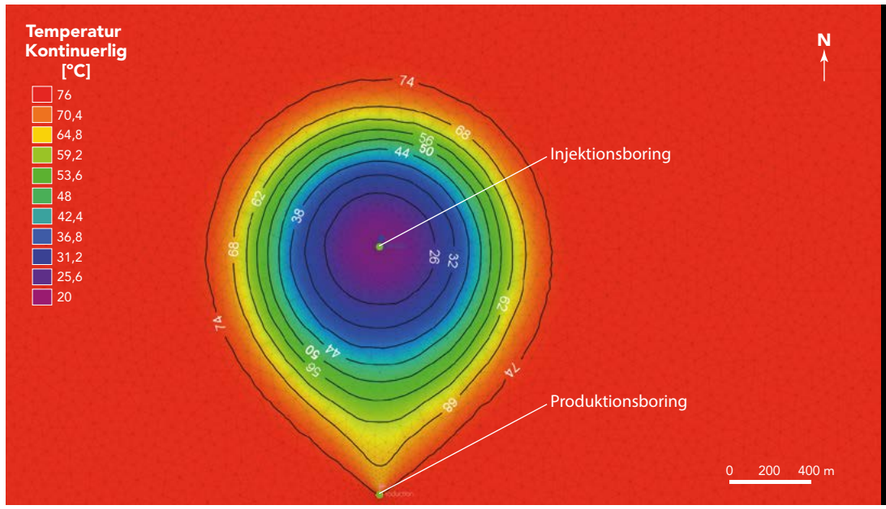
"Generelt ser det dog ud til, at man roligt kan regne med en meget lang årrække, før temperaturen i reservoiret ved produktionsboringen påvirkes." g

På hver af de tre simuleringer strømmer det kolde vand ud fra injektionsboringen og bevæger sig horisontalt hen mod produktionsboringen, hvor det varme vand pumpes op til det geotermiske anlæg.



EFTER 10 ÅR

Når varmen er hevet ud af vandet i anlægget på overfladen, pumpes det ned i reservoiret igen ved omkring 20°C. Her spreder det sig langsomt fra huller i røret ved injektionsboringen. Som vist, er det afkølede vand efter ti års drift nået omkring 500 meter hen mod produktionsboringen. Samtidig med, at vandet løber meget langsomt, genopvarmes det undervejs af varme fra de lag, der ligger over og under reservoiret.



EFTER 50 ÅR

Når det geotermiske anlæg har pumpet vand op og ned i 50 år, begynder det første afkølede vand at nå hen til produktionsboringen. Fordi pumpen i røret skaber et undertryk, trækkes det afkølede vand en smule hurtigere derhen, end det ellers ville, men som figuren viser, er det stadig omkring 74°C varmt, altså kun en enkelt grad koldere end oprindeligt.

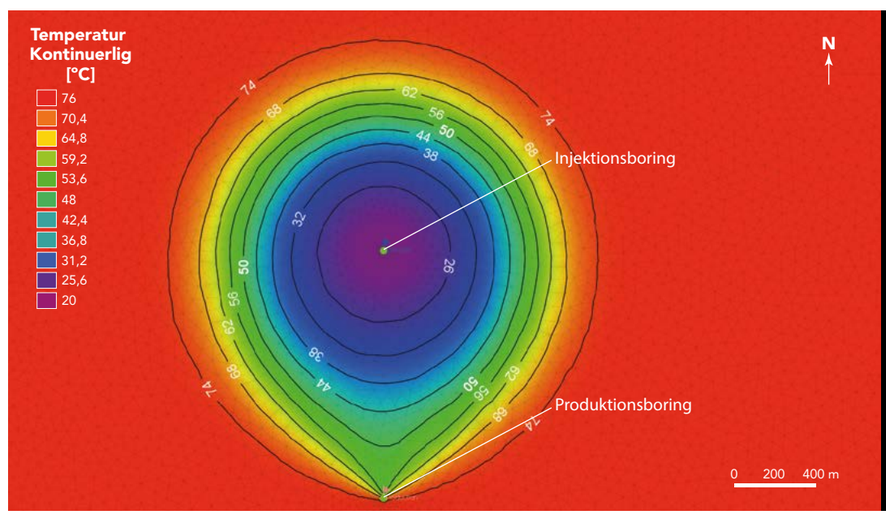
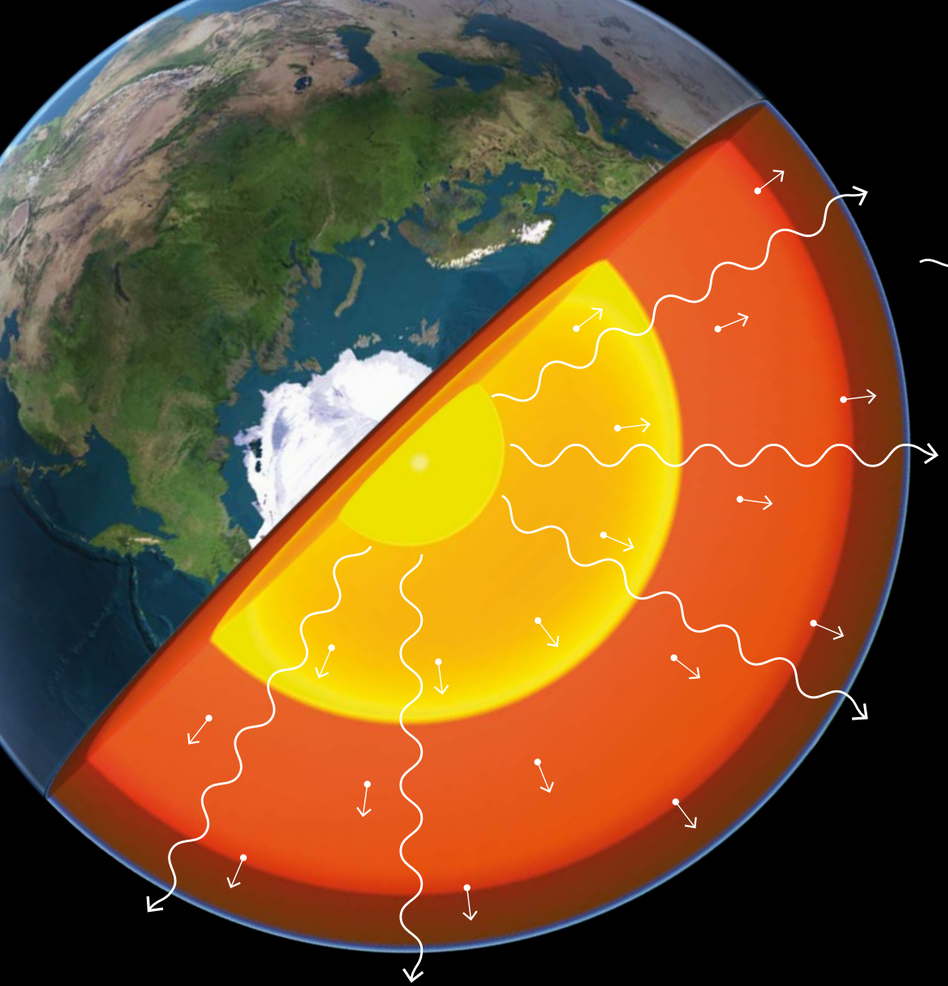


Illustration: Computersimuleringer, Marton Major, Aarhus Universitet.

EFTER 100 ÅR

Efter 100 år er der kommet mere afkølet vand, men der produceres stadig omkring 70°C varmt vand fra produktionsboringen. Teknisk set vil der kunne produceres varme i flere hundrede år med et fald i temperatur på mindre end 15°C. Det er stadig meget langt fra de 20°C, som det afkølede vand i injektionsboringen har, så hvis man vil, kan man fortsætte produktionen i mange år endnu, selv med faldende temperatur.



Grafik: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

Varmen fra Jordens indre stammer primært fra radioaktivitet og restvarme, der langsomt bevæger sig ud gennem jordskorpen og til sidst ud i Universet.

Hvor kommer varmen fra?

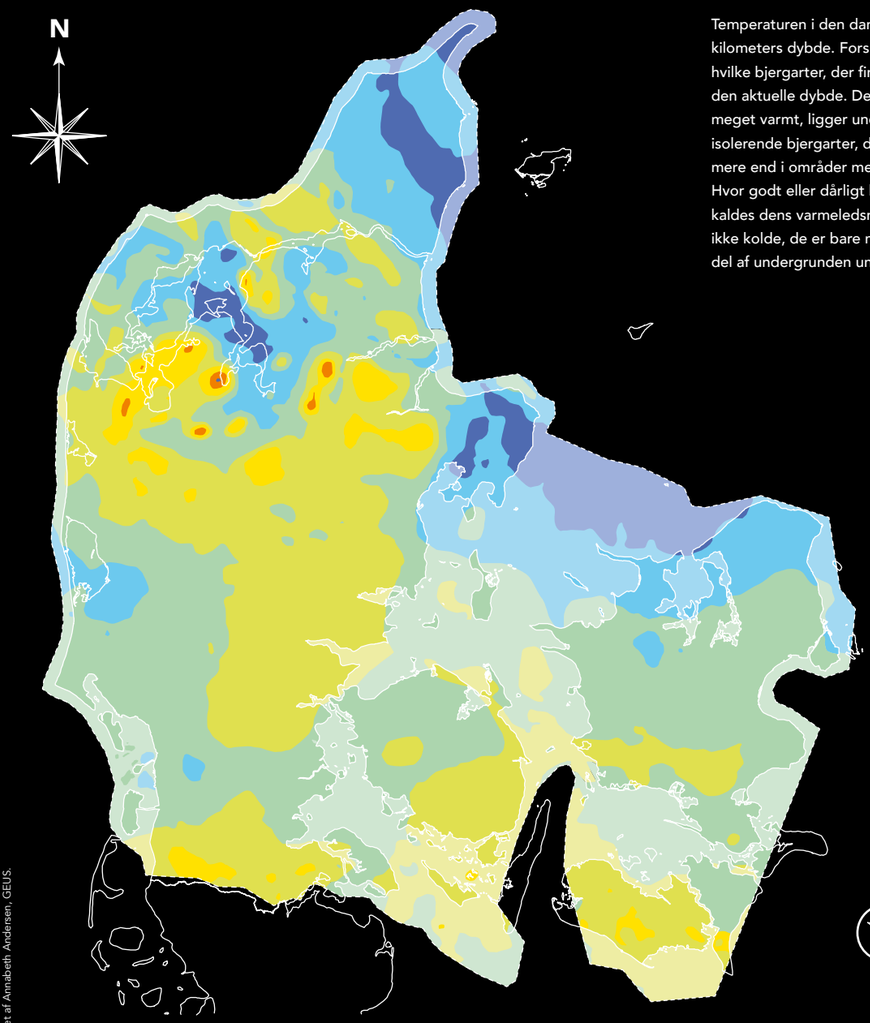


Illustration: Sven Fuchs, GFZ Potsdam og Niels Balling, Aarhus Universitet. Rentegnet af Annabeth Andersen, GEUS.

Temperaturen i den danske undergrund i præcis to kilometers dybde. Forskellene i temperatur afspejler hvilke bjergarter, der findes fra overfladen og ned til den aktuelle dybde. De steder på kortet, hvor der er meget varmt, ligger under lag med højt indhold af isolerende bjergarter, der får temperaturen til at stige mere end i områder med bjergarter, der ikke isolerer. Hvor godt eller dårligt bjergarten holder på varmen kaldes dens varmeledsningsevne. De blå områder er ikke kolde, de er bare mindre varme end de gule. En del af undergrunden under havet er inkluderet.

Find ekstra figur over temperaturstigning og varmeledningsevner på geoviden.dk/geotermi

Varmen fra Jordens indre er en konstant ressource, som vi modsat mange andre energityper kan regne med forsyning fra i de næste par milliarder år.

Størstedelen dannes ved henfaldet af radioaktive isotoper fra tre forskellige grundstoffer: Uran, thorium og kalium. De er radioaktive, fordi deres atomkerner er ustabile og ikke kan holde sammen på sig selv. Derfor 'falder' der sommetider små stykker af kernen, hvilket fortsætter indtil kernen er lille nok til at kunne holde sammen på sig selv. Det kaldes henfald. Hver gang det sker, frigives en smule energi, og da der er enormt mange radioaktive isotoper fordelt gennem hele Jorden, giver det en hel masse varme, der strømmer ud mod overfladen.
Grunden til, at det netop er uran, kalium og thorium, der primært varmer Jorden op, er at de alle har isotoper med enormt lange halveringstider på op til 14 milliarder år. Halveringstiden er den tid, det tager for et givet antal isotoper at henfalde til det halve. Da Jorden 'kun' er 4,6 milliarder år gammel, er der altså en stor del af den oprindelige mængde uran, kalium og thorium, der stadig er i gang med at henfalde. Det vil de blive ved med i flere milliarder år endnu, indtil den sidste isotop er henfaldet til et stabilt grundstof.

Ud over radioaktiviteten stammer en del af Jordens varme også fra dens egen fødsel. Da løst støv og sten begyndte at klumpe sig sammen og blive til en planet, gav det en voldsom varmeudvikling. Det betød, at hele Jorden inklusiv overfladen var flere tusind grader varm i mange millioner år. Stille og roligt blev overfladen dog nedkølet af det kolde rum udenom, men på grund af Jordens enorme masse og den høje starttemperatur er de indre lag stadig varme, hvilket virker som en indre planetær varmelampe.

Forskellige lag giver forskellig varme

Det er en gængs opfattelse, at temperaturen i jorden stiger med cirka 25°C for hver kilometer, man bevæger sig nedad. Det skal dog tages som en grov tommelfingerregel, for det afhænger i høj grad af, hvor man er og hvilke bjergarter man passerer igennem på vej ned.

Der er nemlig stor forskel på de forskellige bjergarters evne til at lede varme, kaldet deres varmeledningsevne. Temperaturen stiger derfor mere gennem et lag af ler end den gør gennem et lag sandsten, fordi sandsten har en rigtig god varmeledningsevne, og derfor strømmer varmen hurtigt igennem sandstenen. Ler derimod har en dårlig varmeledningsevne og holder meget mere på varmen. Derfor kan det betyde meget for temperaturen i en given dybde, om der ligger et lag med ler, sandsten eller noget helt tredje.

I den dybe undergrund under Danmark stiger temperaturen typisk fem til seks grader for hver 100 meter lersten og kun omkring to til tre grader gennem kalk og sandsten. På Danmarkskortet herover kan man netop se den forskel. Det viser temperaturen i undergrunden præcis to kilometer under Danmark.

Ifølge tommelfingerreglen burde der være knap 60°C på hele kortet (temperaturen starter på 8-9°C i overfladen), men fordi der netop er forskel på temperaturstigningen afhængig af bjergarterne nedefter, er der ret store udsving inden for relativt korte afstande. De laveste værdier ses at være på cirka 50°C, og det er typisk på de steder, hvor man ved, der er tykke lag af kalk. I nogle områder under Midtjylland, Lolland-Falster og Sønderjylland er der op til 70-75°C og her er der netop nogle lag med lav varmeledningsevne, hvor temperaturen drives i vejret. I de områder er der simpelthen naturlig isolering i jorden, hvor varmen andre steder nemmere strømmer ud mod overfladen og ud i verdensrummet. 9

”Når først anlægget kører, prøver vi så vidt muligt at holde fingrene fra det”

Foto: Frederik Wolff Teglhus, Underground Channel, Statens Naturhistoriske Museum.

I Thisted har et hul i jorden leveret varme fra Jordens indre til borgerne siden 1984. Selvom anlægget er relativt selvkørende, skal der stadig holdes øje med pumper, filtre og trykstigninger, og det klares på 30. år af maskinmester Henrik Schultz.

I oktober 1984 var en større forsamling mødt op trods kulde og regn på en mudret plads i udkanten af Thisted for at indvie Danmarks første geotermiske anlæg. I jakkesæt og med beskyttende institutions-plastikhætter om de fine sko stod politikere og journalister sammen med anlæggets initiativtagere i ring om det store blå rør, der stak en meter op af jorden bag byens affaldsforbrænding. Inde i røret strømmede kilden til fremtidens energi – varmt, underjordisk vand, der måske kunne erstatte olie og kul til opvarmning af vores huse. Vinterhalvåret 2018-19 er den 35. med geotermisk varme i radiatorerne i Thisted, og anlægget kører ufortrødent videre og leverer varme til 5500 borgere i Thisted Kommune.

"Lige nu pumper vi 135 m^3 vand op i timen, men den fulde kapacitet er 310 m^3," fortæller Henrik Schultz, der er maskinmester og daglig opsynsmand på anlægget. Iført overalls og rød termojakke står han med hånden på det store blå rør, der var samlingspunkt for indvielsen i '84. Selv har han været på anlægget siden 1989.

"Vi har lige indviet vores nye injektionsboring i sidste uge, så vi starter stille og roligt op for at være sikre på, at det hele kører som det skal," forklarer han.

Arbejdsgang - så lidt som muligt

Sammen med driftstekniker Thorbjørn Jensen styrer Henrik den daglige gang på anlægget. Geotermien er Henriks ansvar, men han hjælper også med driften af biomasseanlægget og affaldsforbrændingen. Den daglige arbejdsgang på geotermianlægget er, som han selv udtrykker det, at lave så lidt som muligt.

"Når først anlægget kører, prøver jeg så vidt muligt at holde fingrene fra det. Jeg vil helst undgå at lave indgreb, for det medfører altid en risiko for, at der trænger ilt ind i systemet. Det laver bobler, som forstyrrer driften og i værste fald bliver vi nødt til at stoppe produktionen."

Alligevel sidder Henrik dog sjældent stille, for anlægget er kun selvkørende i den udstrækning, at der er frit løb i alle rør, passende temperatur, gennemtræk i filtrene og gang i pumperne.

Det sørger Henrik for, og med en enkelt berøring af en tromle eller et rør, kan han mærke, om geotermi-anlægget kører, som det skal.

"Jeg siger altid, at man som maskinmester faktisk kun gør tre ting. Man føler, lytter og lugter," siger han og peger på sine tilsvarende sanseapparater.

> **Jeg siger altid, at man som maskinmester faktisk kun gør tre ting. Man føler, lytter og lugter.**

Fungerer som et køleskab

Inde i den store hal, hvor hoveddelen af geotermianlægget står, er det da også svært ikke at bruge sanserne. Da vi åbner døren derind, mødes vi af en konstant summende larm af pumper og rør, der ryster, afbrudt af pludselige, høje 'pfttttttttttht', når trykket bliver udlignet et sted i systemet. Der lugter en smule af salt og varmt metal.

Hver tromle og hvert rør varierer i temperatur fra kølig over lun til varm eller meget varm, alt efter hvor i processen de befinder sig. Det rør, hvor vandet først strømmer

THISTED VARMEFORSYNING

I den lille sorte container midt på gårdspladsen står produktionsboringen, der pumper vandet op fra undergrunden. Det er det samme rør, man også kan se på sort-hvid-billedet på højre side. Derfra løber røret under jorden og over i hallen med de tre gule porte, hvor varmen trækkes ud af vandet med en varmepumpe. Herfra sendes vandet tilbage i undergrunden via injektionsboringen på en nærliggende mark.

Henrik Schultz på sin runde ved det geotermiske anlæg, her ved injektionsboringen (s. 26-27).

Foto: Frederik Wolff Teglhus, Underground Channel, Statens Naturhistoriske Museum.

Foto: Lokalhistorisk Arkiv Thy.

INDVIELSE I 1984

Det var en stor dag, da Danmarks første geotermiske anlæg blev indviet i Thisted i oktober 1984. Energiminister Knud Engaard var kommet hele vejen fra København for at overvære begivenheden, og både han og Thisteds borgmester Svend Thorup holdt tale ude ved røret.

Journalisterne ser måske en smule skuffede ud over, at sådan et banebrydende energianlæg ikke ser ud af mere end blot et hul i jorden med et lille rør stikkende ud.

Ikke desto mindre er det netop en af fordelene ved geotermiske anlæg, at de netop ikke fylder ret meget og derfor i princippet kan laves mange steder uden at være til gene.

Anlægget blev en succes med tiden, men havde en lidt hård opstart, blandt andet fordi det var lidt dyrere at starte et anlæg, end man havde regnet med. Året efter indvielsen blev det besluttet at udfase planen om at udbrede geotermien i Danmark, og Thisted Varmeforsyning fik lov at overtage rettighederne til anlægget og boringen.

OLIEKRISEN SATTE GANG I GEOTERMIEN

Da der blev sat gang i geotermiprojekter i 1980'ernes Danmark som følge af den globale oliekrise, havde man forsket i teknologien i årevis, og den var kendt i andre lande.

1973
Olielandene sætter olieproduktionen ned og prisen op i protest over USA's støtte til Israel i krigen mellem Egypten, Syrien og Israel. Europa har næsten ingen olieproduktion selv og rammes derfor hårdt. Bilfri søndag indføres for at spare på olien. Offentlige bygninger skal slukke eller skrue ned for varmen, og samfundet opfordres generelt til at bruge mindre varme og strøm.

1979
Uroligheder i Iran sender igen oliepriserne voldsomt i vejret, og igen ryger Europa i problemer. Dog var man lidt mere forberedt denne gang og var blandt andet på grund af 73-krisen begyndt at udvinde sin egen olie. For at blive mindre afhængig af olieforsyninger begyndte man at udvikle nye måder at få energi på, herunder vind, sol og også geotermi.

1984
Her åbnede det første danske forsøgsanlæg med geotermi i Thisted. På grund af blandt andet problemer med afgifter og uheldige erfaringer fra andre boringer, blev geotermi dog ikke så udbredt, som først håbet.

2019
Der er igen stigende interesse for geotermisk energi, blandt andet på grund af øget generel interesse for grøn energi. Store firmaer som A.P. Møller Holding har meldt ud, at de er klar til at investere i etablering af nye anlæg de kommende år.

SALT RESERVOIRVAND

Flere steder i undergrunden er der aflejringer af salt, som kan påvirke saltindholdet i de omkringliggende aflejringer, for eksempel i sandstensformationerne som Gassum Formationen.

Saltlagene stammer typisk fra inddampning af mindre havområder i varme perioder, eksempelvis Perm for over 250 millioner år siden, som har efterladt tykke saltlag. Ifølge Henrik Schultz smager saltet fortrinligt.

Foto: Frederik Wolff Teglhus, Underground Channel, Statens Naturhistoriske Museum.

ind i hallen fra produktionsboringen ude på pladsen har en behagelig, lun temperatur.

"Vandet fra reservoiret er 43,3°C, så rørene her har omkring samme temperatur," fortæller Henrik. Når det lune vand fra reservoiret er pumpet op, føres det ind i to fire meter høje tromler, hvor varmen suges ud.

"Det fungerer i det store og hele ligesom et køleskab. Der hiver en pumpe også varmen ud af luften inde i køleskabet, så der bliver koldt, og varmen frigøres på bagsiden af køleskabet. Tromlerne her gør det samme, men her er det bare varmen, vi primært er interesserede i, ikke kulden."

28 kilometer rør

Hver tromle har et lille kooje på hver side, og bag glasset kan vi se vandet hvirvle vildt rundt. "Der løber tynde rør med kølevæske derinde, og vi pumper vandet rundt om dem, indtil det er kølet tilstrækkeligt ned."

I alt er der 28 kilometer rør koblet til systemet. Når vandet forlader de store tromler er det kølet ned til omkring 10°C, så for hver liter, der ryger gennem anlægget, høstes ca. 33°C.

"Vi har så en varmepumpe sluttet til anlægget, som varmer fjernvarmevandet yderligere op til 62°C, som temperaturen mindst skal være, når det når ud til forbrugerene," siger han og peger på en stor metalanordning oppe på toppen af hver tromle.

> **Det stammer jo fra Triastiden, så måske er der en enkelt dinosaurlort et sted, men det smager jo alt sammen.**

Da anlægget som sagt hiver mellem 100 og 300 m³ vand op i timen, altså mellem 100.000 og 300.000 liter, giver det en konstant strøm af varme til de vinterkolde thyboere. Det kræver dog også energi at drive pumperne, men den kan potentielt skaffes fra vedvarende energikilder som sol og vind, så systemet er helt bæredygtigt. I praksis er det dog ikke altid muligt, og så må man finde det bedste alternativ, fortæller Henrik.

"Lige nu kører vores varmepumpe på naturgas, og det skyldes faktisk den meget tørre sommer. Normalt kører de på biogas fra halm, men i sommer gjorde tørken, at kornet ikke modnede ordentligt og derfor ikke giver ret meget biogas. Derfor skiftede vi til naturgas, men vi skifter tilbage til halm igen, når vi kan."

Salt fra Triastiden

Henrik leder an ned ad en metaltrappe til et aflangt rum med en lang række rør, der stikker ud fra det store rør med reservoirvand. Også her opfyldes lokalet af den allestedsnærværende lyd af vibrerende rør og pumper.

"Det her er filtrene, der filtrerer urenheder fra vandet, inden det kommer videre ind i systemet," siger han og klapper på et af rørene.

"Når man pumper vand op fra undergrunden, ryger der altid en smule sand og grus med, så det fanger vi heri," siger han og holder en forvokset støvsugerpose frem svarende til dem, der sidder inde i rørene. Dem skifter Henrik et par gange om året.

Nogle steder er der flere små lækager i pakningerne, hvor dråber siver langsomt ud og drypper ned på gulvet til små rustrøde pytter.

"Det er ikke noget, vi gør noget ved, når de er så små," siger Henrik.

Han forklarer, at den røde farve skyldes, at der er et højt jernindhold i vandet fra reservoiret. Derudover er reservoirvandet meget salt, så ved nogle af de lækager, der har fået lov at overleve i længere tid, gror der lange saltkrystaller frem på undersiden af røret.

"Det smager faktisk rigtig godt," siger Henrik og rækker en hånd ind under røret og knækker en salttap af. Han lægger et lille stykke på tungen: "Ren gourmet."

En del af saltkrystallen er lidt brunlig i det, men det lader Henrik sig ikke mærke med, tværtimod.

"Det stammer jo fra Triastiden, så måske er der en enkelt dinosaurlort et sted, men det smager jo alt sammen."

Fremtidssikringen på den frosne mark

Vi forlader anlægget og kører cirka to kilometer ad små tilisede veje for at se injektionsboringen, hvor det afkølede vand fra tromlerne pumpes tilbage i undergrunden. Den befinder sig i en ensomt beliggende, aflang bygning midt på en snedækket mark.

Den er placeret et godt stykke fra produktionsboringen, så det kolde vand ikke med det samme afkøler det varme i reservoiret. Inde ad den røde dør mødes vi, ud over af en overraskende varme, af en voldsom lugt af maling. Rørene der leder hen til boringen er nymalede og står stolte og struttende i deres høj-himmelblå kulør. Farven hedder RAL510, siger Henrik.

"Det er den farve, vi altid har kørt med, fordi den er dejlig tydelig."

Også her er der larm fra pumper og ventiler, og de lange rør ryster så voldsomt, det virker en anelse faretruende.

"Det er bare fordi, de er under tryk. Sådan skal det være," siger han og leder hen til det sted, hvor forestillingen ender. Endnu et hul i jorden med et stort rør stikkende op.

"Her pumper vi vandet ned i reservoiret igen, så trykket dernede er konstant. Hvis vi bare hev vandet op og ikke pumpede det tilbage igen, ville det hurtigt blive umuligt at trække noget vand op derfra."

Den sidste del af røret har ikke fået maling endnu, men får det en af dagene. Det skal se ordentlig ud, for det skal forhåbentlig blive stående længe, fortæller Henrik.

"Vi lavede denne nye boring, fordi den gamle injektionsboring en kilometers penge herfra begyndte at blive stoppet til, så det krævede mere og mere strøm at pumpe vandet ned i reservoiret igen. Derfor valgte vi at investere i en ny boring herude, så vi kan aflaste den gamle boring, så den forhåbentlig holder lidt længere. På den måde håber vi, at anlægget kan køre en god del år endnu."

Med de ord er dagen ved at lakke mod enden, og Henrik skal tilbage til anlægget for at ordne et par sidste ting inden fyraften. Han er ikke blevet træt af rør og tromler endnu, og bliver det formentlig aldrig.

"Jeg har altid sagt, at man skal gå glad på arbejde, men man skal fandeme også gå glad hjem. Det gør vi her ved Thisted Varmeforsyning, og det er jeg stolt af at være en del af."

UNDERGROUND CHANNEL

Se filmen fra Thisteds geotermiske anlæg på geoviden.dk/geotermi

THISTED-ANLÆGGET I TAL

1260 METER
Så dybt ligger det sandstensreservoir ved navn Gassum Formationen, som Thisted-anlægget pumper vand op fra.

200 MILLIONER ÅR SIDEN
Samtidig med dinosaurernes storhedstid blev Gassum Formationen aflejret.

UGE 42
Er typisk der anlægget startes op, og så kører det indtil slutningen af maj. I sommermånederne er varmebehovet ikke stort nok til, at det giver mening at holde pumperne i gang.

5500 FORBRUGERE
Er koblet til fjernvarmenettet, hvor geotermien bidrager.

310 M³ VAND/TIME
Så meget kan Thisted-anlægget pumpe op fra reservoiret ved fuld kapacitet. På et enkelt døgn kan der altså ryge op til 7440 m³ gennem rørene, hvilket er nok til at fylde syv store svømmebassiner.

16% SALTINDHOLD
Så salt er vandet fra reservoiret, hvilket er omkring ti gange højere end det danske havvand.

2017
Geotermi udgjorde 11% af al varmen sendt ud til forbrugerne fra Thisted Varmeforsyning i 2017.

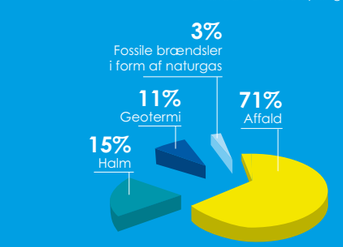


Illustration: Jacob Lind Bendtsen, GEUS.

geo viden

Udgiver: Geocenter Danmark
Ansvarshavende:
Mette Buck Jensen, GEUS
Redaktør og skribent:
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS
Design: Annabeth Andersen, GEUS
Tryk: Rosendahls A/S
Forside: Sandkorn under mikroskop, Rikke Weibel, GEUS
Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse
Kontakt: geoviden@geus.dk

ISSN: 1604-6935 (papir)
ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet udkommer tre-fire gange om året. Abonnement er gratis og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstramateriale som video.

GEOCENTER DANMARK

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og Statens Naturhistoriske Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

NORDISK MILJØMÆRKNING
TRYKSAG
541 176

ØNSKER DU FORTSAT AT MODTAGE GEOVIDEN?

Tegn gratis abonnement på geoviden.dk
Gælder både nye og gamle abonnenter

NÆSTE NUMMER

I sommerudgaven af Geoviden sætter vi fokus på vores grundvand. Bliv blandt andet klogere på truslerne fra klimaforandringerne.

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

GEUS

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: ign@ign.ku.dk

Statens Naturhistoriske Museum (SNM)
Øster Voldgade 5–7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: snm@snm.ku.dk

Institut for Geoscience (IG)
Aarhus Universitet
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Aahus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk