

NR. -
01
-2024-

geo viden



CO₂-LAGRING

KOM MED I DYBDEN

DAMMARKS GEOLOGI
ER SUPERGOD
AT LAGRE CO₂ I



BLIV KLOGERE PÅ
SANDSTEN
- EN BJERGART MED
GOD PLADS

EN DEL AF
✓

NATUREN ER LØSNINGEN

Klimaforandringer er et stort problem for menneskeheden. I dette nummer af Geviden stiller vi skarpt på CO₂-lagring, som er en ud af flere løsninger, der kan nedbringe den mængde CO₂, vi udleder til atmosfæren.

Det stormer og regner, havet stiger og skyller ind over lavtliggende områder langs den danske kyst. Vandet drukner huse og møbler og efterlader landskaber forandrede. Andre steder steger solen og gør jorden gold og tørstig.

Ekspertene er enige om, at en del af grunden til, at vi oplever mere ekstremt vejr, er klimaforandringer. De er opstået i kølvandet på menneskers aktiviteter, hvor vi – set i forhold til de seneste millioner af år – på meget kort tid har udledt meget mere CO₂ til atmosfæren, end Jorden selv kan (gen)optage. Vi har forstyrret kulstofkredsløbet med den konsekvens, at der kommer ubalance i tingene.

Den gennemsnitlige globale temperatur er i skrivende stund ifølge FN's klimapanel steget 1,1 grader celsius, og i deres seneste rapport vurderer panelet, at der er brug for, at vi hurtigt og øjeblikkeligt nedbringer udledningen af CO₂. Formår vi det, kan vi holde stigningen på 1,5 grader. Det har blandt andre Danmark skrevet under på at gøre i den internationale klimaaftale indgået i Paris i 2015, og det samme foreskriver den danske klimalov.

Det stiller krav til myndigheder, erhvervsliv og eksperter om at handle hurtigt og effektivt. En af de muligheder, vi har i værktøjskassen, er at lagre CO₂ i undergrunden i stedet for at sende den

ud i atmosfæren. Forskere er derfor i fuld gang med at finde ud af, hvordan vi kort sagt begraver problemet.

Hvordan det skal gå for sig, ser Geviden nærmere på i dette nummer. Vi inviterer dig med dybt ned, så du kan blive klogere på, hvad CO₂-lagring går ud på, og hvordan det fungerer. Du kommer med en tur til Midtjylland, hvor en dansk virksomhed er ved at gøre klar til at pumpe CO₂ ned i undergrunden – vel at mærke med ambitionen om at være de første i Europa til at lagre CO₂ i stor skala på land.

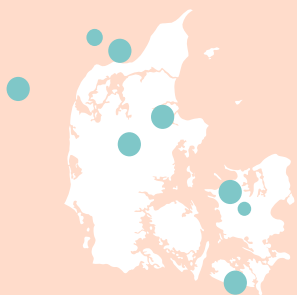
Man kan fristes til at sige, at en af løsningerne på klimakrisen ligger lige for (eller under) næsen af os, dybt nede i undergrunden. Ved at bruge naturens egen lagerfacilitet i form af sandsten, som er skabt for millioner af år siden, er fortiden med til at løse nutidens klimaproblemer – og det er da en virkelig spændende udvikling at følge med i!



FIE KRØYER DAHL

REDAKTØR OG SKRIBENT

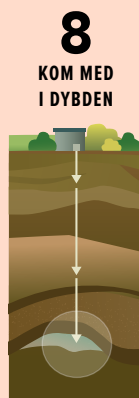
INDHOLD



4 DANMARKS GEOLOGI ER SUPERGOD TIL CO₂-LAGRING



12 MØD EN BJERGART MED GOD PLADS



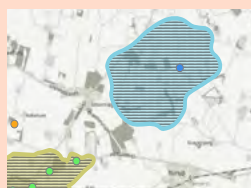
8
KOM MED I DYBDEN



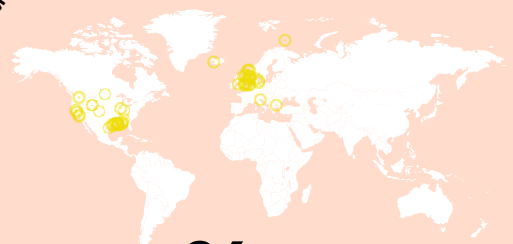
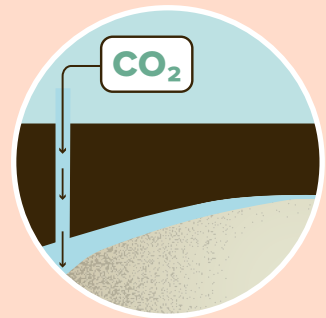
14 LUFTKANONER OG STORE STEMPLER



22
HER BLIVER CO₂-LAGRING TIL VIRKELIGHED



FØLG CO₂'ENS REJSE
DYBT NED I JORDEN **20**



26 CCS ER I VÆKST



VIDEO

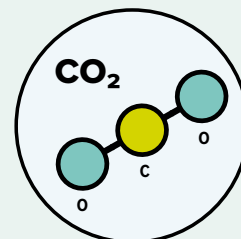
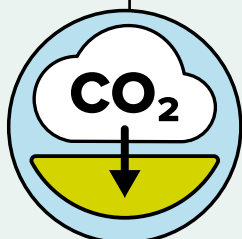
Med en lille sort cylinder af lersten viser geofysiker Marie Keiding, hvordan geologien helt naturligt kan forsegle et CO₂-lager. Det og meget andet kan du blive klogere på i Underground Channels explainer-film, som du kan se på geoviden.dk.

Hvad er CO₂,
og hvorfor er
den et problem?



CO₂ findes helt naturligt i atmosfæren og indgår i naturens kredsløb.

Derfor leder vi efter løsninger, der kan være med til at nedbringe udledningen af den skadelige drivhusgas. En af dem er CO₂-lagring, også kaldet for CCS – Carbon Capture and Storage.



CO₂ er den kemiske betegnelse for kuldioxid, også kaldet kulsyre eller carbondioxid. CO₂ består af et kulstofatom og to oxygenatomer. Det er en gasart, der hverken kan ses eller lugtes.



I løbet af de seneste århundreder har menneskelige aktiviteter medført, at koncentrationen af CO₂ i atmosfæren er blevet så høj, at det forårsager klimaforandringer med blandt andet global opvarmning til følge.

DANMARKS GEOLOGI ER SUPERGOD TIL CO₂-LAGRING

På verdensplan skal vi sende mindre CO₂ ud i atmosfæren. En af løsningerne på den udfordring er at lagre den miljøskadelige drivhusgas dybt nede under os – og Danmarks undergrund egner sig godt til netop det. Derfor er CO₂-fangst og -lagring et af de tiltag, som Danmark satser på at udvikle.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

En af vor tids vigtigste opgaver er at nedbringe udledningen af CO₂. Derfor skal vi mennesker nedsætte vores forbrug af den energi, som kommer fra fossile kilder som olie og gas, men der er også andre tiltag, som vil hjælpe – og her kommer CO₂-lagring ind i billedet. Ved at anbringe drivhusgassen permanent i undergrunden undgår vi at sende den ud i atmosfæren, og både FN's klimapanel, IPCC, og Klimarådet, som er et uafhængigt dansk ekspertorgan, anbefaler CO₂-fangst og -lagring som en ud af flere metoder til at mindske mængden af CO₂, som udledes til atmosfæren.

GRUNDIGE UNDERSØGELSER

I den forbindelse har Danmark et rigtig godt kort på hånden, for dybt nede under os er sammensætningen af undergrunden velegnet til at opbevare gas.

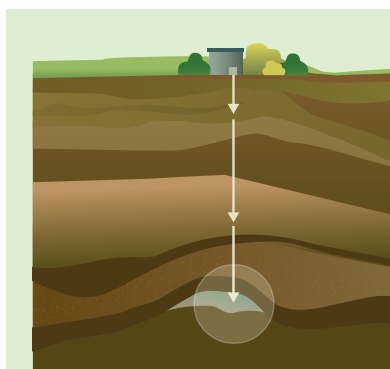
”Danmark har en supergod geologi til CO₂-lagring. Man skal

have porøse, gennemtrængelige sedimenter, som for eksempel sandsten, for at kunne lagre CO₂, og der skal være et tykt, tæt lerlag ovenover, der kan holde på gassen. Den kombination er der mange steder i Danmarks undergrund,” forklarer Nina Skaarup.

Hun er leder af Afdeling for Geofysik og Sedimentære Bassiner ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). GEUS rådgiver myndighederne og bidrager blandt andet til, at lagring af CO₂ kan foregå på forsvarlig vis.

GRUNDIGE UNDERSØGELSER

Der er altså et stort potentiale for at etablere CO₂-lagre i den danske undergrund, både på land og til vands, og i foråret 2023 blev CO₂ for første gang på forsøgsbasis pumpet ned i et undersøisk reservoir i den



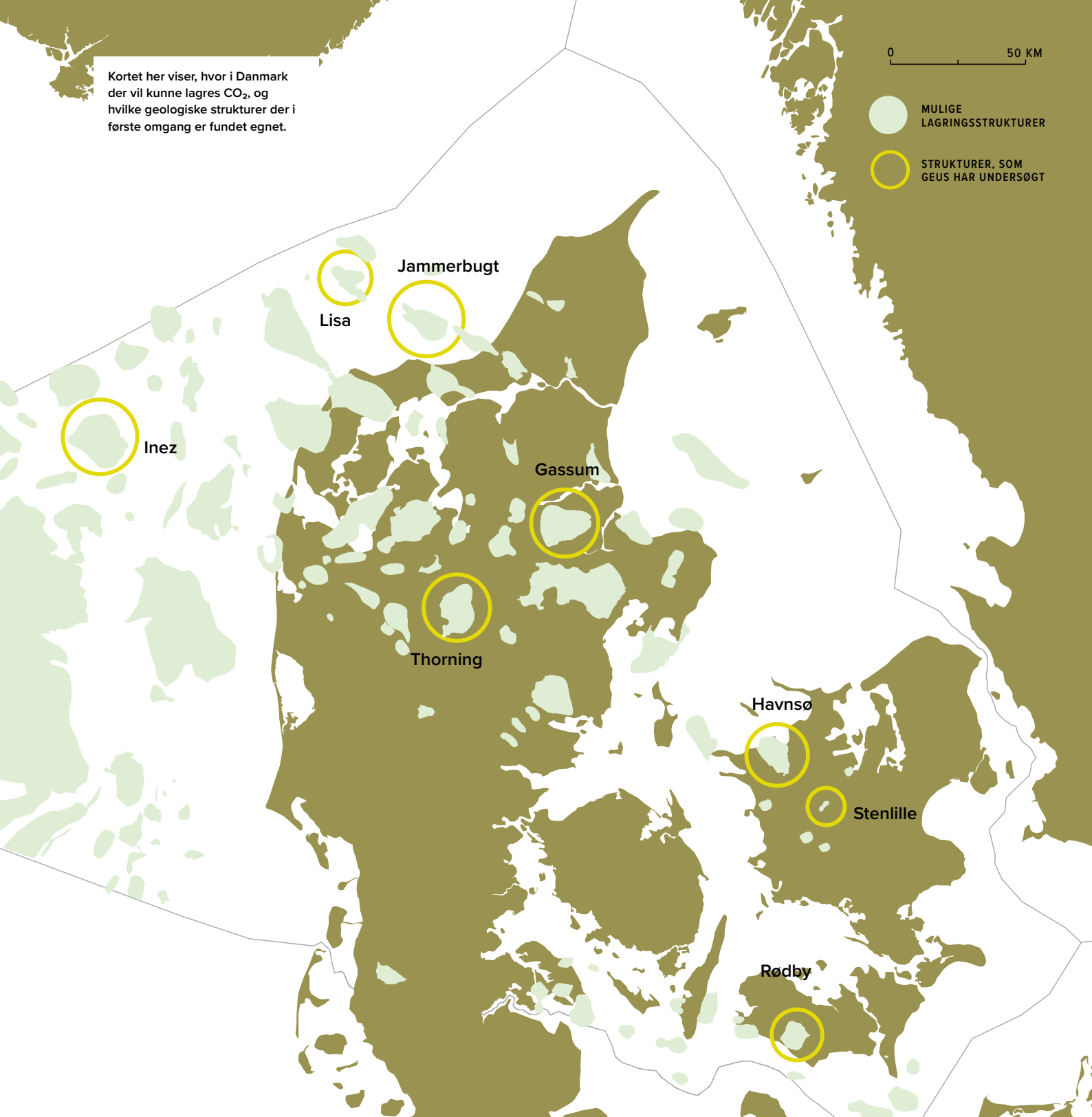
EN FORM, SOM HOLDER PÅ GASSEN

Et CO₂-lager består af selve lageret – et reservoir – og et overliggende segl. Tilsammen udgør det et lagringskompleks. CO₂ vil automatisk stige opad, så når man pumper den ned i jorden, er det vigtigt, at reservoiret har en form, der kan holde på gassen. Derfor skal reservoiret i undergrunden være udformet som en lukket struktur (som en omvendt skål – se grafik side 21). Reservoirets størrelse vil være forskellig fra lager til lager og afhænge af den lokale geologi.

Kortet her viser, hvor i Danmark der vil kunne lagres CO₂, og hvilke geologiske strukturer der i første omgang er fundet egnede.

0 50 KM

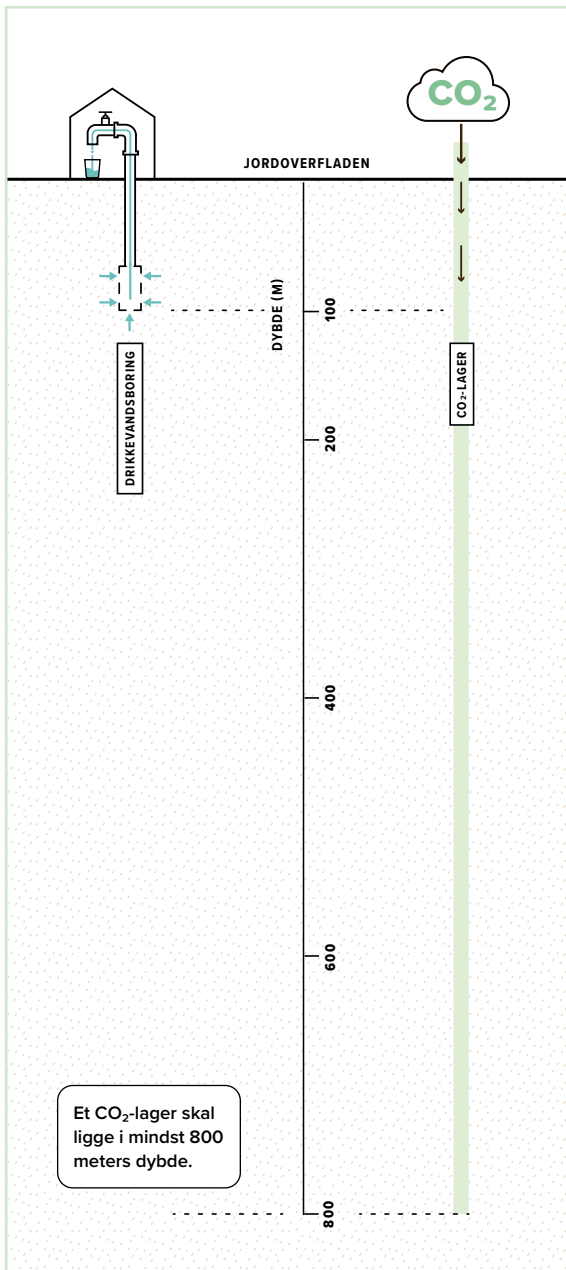
- MULIGE LAGRINGSSTRUKTURER
- STRUKTURER, SOM GEUS HAR UNDERSØGT



GEUS estimerer, at der i den danske undergrund er potentiale for at lagre CO₂ svarende til flere århundreders udledning i Danmark.

danske del af Nordsøen for at blive permanent lagret. Det samme er nu i gang med at ske på land og i kystnære havområder, hvor GEUS har foretaget omfattende seismiske undersøgelser for at kortlægge, hvor det vil være mest oplagt at placere CO₂-lagre (læs mere om seismiske undersøgelser på side 15). Indtil videre er fem steder rundt omkring i landet blevet udpeget og undersøgt nærmere af GEUS.

Ifølge Nina Skaarup har GEUS' opgave været at sikre, at det er sikkert, og at der er plads nok til at oprette et CO₂-lager i de geologiske strukturer, som den uafhængige forskningsinstitution har undersøgt, og at sandstenen i strukturen har >



PÅVIRKER CO₂-LAGRING VORES GRUNDVAND?

I Danmark har vi mange underjordiske grundvandsmagasiner, som forsyner os med drikkevand. Magasinerne består af geologiske strukturer, der kan indeholde væske – præcis som et CO₂-lager – og ligger som meget udbredte "lommer" i forskellige størrelser rundt omkring i den danske undergrund. Grundvandsmagasinerne ligger i cirka 100 meters dybde, og et CO₂-lager vil typisk ligge i 1-2,5 kilometers dybde. Der er altså tykke geologiske formationer mellem den lagrede CO₂ og det dybeste grundvand, og når brøndene, som skal føre CO₂'en ned i reservoiret, skal etableres, bliver der taget nøje hensyn til grundvandsmagasinerne. Desuden monitoreres CO₂-lageret på forskellige måder, som du kan læse mere om på side 25. Det øger sikkerheden og er med til at passe på grundvandet.



NINA SKAARUP

Statsgeolog ved GEUS i Afdeling for Geofysik og Sedimentære Bassiner. Ph.d. i geologi fra Københavns Universitet.

> den rette sammensætning. Derudover er det også vigtigt at vurdere, om det ovenliggende lag af lersten er tykt nok til at fungere som en forsejling af lagret.

”Lagring af CO₂ i undergrunden kræver, at der er en række geologiske betingelser på plads, og det hjælper GEUS med at undersøge. Det er vigtigt med et ordentligt datagrundlag, og heldigvis har GEUS masser af viden om den danske undergrund efter mange års forskning – og det supplerer vi så med data fra nye seismiske undersøgelser,” fortæller hun.

ET NATURLIGT LAGER

Når man lagrer CO₂ i undergrunden, vil det foregå efter samme princip, som har sørget for, at olie og gas på naturlig

Sådan bliver et CO₂-lager til virkelighed



GEUS laver en screening af eksisterende geologiske data, som er indsamlet gennem mange årtier. Dataene kan vise, hvor i den danske undergrund der er reservoirer med sandsten, som egner sig som CO₂-lager.

1



Screeningen af data viser, at der er potentiale til at lave CO₂-lagre mange steder, og GEUS udvælger de bedst egnede geologiske sandstens-strukturer og går endnu mere i dybden med den eksisterende data: Hvor store er strukturerne, og hvor meget CO₂ vil de kunne indeholde?

2

vis igennem millioner af år er blevet lagret i dybet. Der er råstofferne blevet akkumuleret i porøse bjergarter som f.eks. sand- eller kalksten, mens solide bjergarter som lersten og skifer har fungeret som forsegling. På den måde baserer CO₂-lagring sig på naturens egne principper, og i blandt andet Norge og Canada har man de seneste år haft succes med at lagre CO₂ på denne måde.

I Danmark har vi desuden naturgaslagre, blandt andet i Stenlille midt på Sjælland, hvor samme koncept anvendes. (Læs mere om det kommende CO₂-lager i Stenlille på side 22.)

”Det er solid geologisk viden og erfaring, vi trækker på og som gør os i stand til lagre CO₂ på sikker måde. Men selve det at lagre gas eller væske i geologiske strukturer i undergrunden er naturens helt egen opfindelse,” siger Nina Skaarup.

KLIMAFORANDRINGER HAR IKKE LANDEGRÆNSER

GEUS estimerer, at der i den danske undergrund vil kunne lagre, hvad der svarer til den mængde CO₂, Danmark ville sende ud i atmosfæren over flere hundrede år, hvis vi fortsatte med udledningen på det nuværende niveau. Reelt set er det en kæmpe volumen, når man ser det i lyset af, at målet er at sænke udledningen over de næste årtier. Faktisk er der ifølge Nina Skaarup så meget lagringsplads, at Danmarks nabo-lande kan eksportere deres CO₂ til os – og der vil stadig være plads til vores eget.

“Det er solid geologisk erfaring, vi trækker på, og som gør os i stand til at lagre CO₂ ...”

NINA SKAARUP

STATSGEOLOG, GEUS

Det vil være en fordel for et land som f.eks. Sverige, fordi den svenske undergrund består af det, som kaldes grundfjeld. Grundfjeld er solide bjergarter, som i modsætning til sandsten og andre bløde sedimenter ikke kan rumme CO₂. Sverige har altså ikke selv mulighed for at etablere CO₂-lagre på land, og ifølge Nina Skaarup giver det god mening at importere CO₂, eksempelvis fra svenskerne, da det er et politisk mål at nedbringe CO₂-udledning ikke bare nationalt, men globalt:

”Det vil være til gavn for os alle, at vi importerer CO₂ fra andre lande. For selvom vi måler og vurderer CO₂-udledning fordelt på lande, så kender klimaforandringer ikke til landegrænser. På den måde kan vi ved fælles hjælp nedbringe udledningen,” slutter hun. •



På baggrund af de nye seismiske undersøgelser og screeningen af eksisterende geologiske data udpeger GEUS fem områder i Danmark, hvor geologien egner sig til at lagre CO₂. Derefter står Energistyrelsen for at lave en såkaldt udbudsrunde, hvor virksomheder byder ind på retten til at drive lagre i de godkendte områder. Den første udbudsrunde var i december 2023.



De udvalgte virksomheder skal sørge for at få lavet borer og flere seismiske undersøgelser. Borekerner og laboratorietests kan vise, om bjergarten – det vil sige den type sten, som undergrunden består af – med sikkerhed egner sig som CO₂-lager.

3

4

5

6

7



Der skal indsamles mere viden i form af data fra de udvalgte områder – og så er det frem med minilastbilerne! GEUS står for at lave helt nye seismiske undersøgelser 'on location' i de udvalgte områder.



Når det er besluttet, hvilke virksomheder som skal drive CO₂-lagrene, kan GEUS rådgive virksomhederne om, hvor lagrene helt præcist kan placeres i de udvalgte områder. Det sted, hvor CO₂en pumpes ned, fylder ikke ret meget (se eksempel fra Stenlille Naturgaslager på side 22).



Til sidst vurderer myndighederne, om hver enkelt virksomhed kan få endelig godkendelse til at oprette og drive et CO₂-lager.

KOM MED I DYBDEN

... og få overblik over, hvordan CO₂-lagring foregår.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · ILLUSTRATION OG LAYOUT: LYKKE SANDAL

1

CO₂ indfanges fra kilder, der udleder CO₂ – f.eks. industri eller energiproduktion.



JORDOVERFLADEN

0
DYBDE (M)
400
600
800
1.000
1.500
2.000

4

CO₂ fordeler sig i hulrummene i reservoiret.

Selve reservoiret skal bestå af porøse bjergarter med mange velforbundne hulrum af en vis størrelse, så CO₂ kan fordele sig ud i hele reservoiret. Sandsten, som der er meget af i den danske undergrund, er et eksempel på en bjergart, som er velegnet til at lagre CO₂ i. Et velegnet reservoir består typisk af mindst 20 procent hulrum.

Bliv klogere på, hvad der egentlig sker med CO₂ nede i reservoiret, på side 20.

CO₂ lagres i mindst 800 meters dybde

CO₂ fylder mindre, når det er under tryk, og trykket stiger, jo længere ned i undergrunden, man kommer. Ved at pumpe CO₂ ned i en dybde på mindst 800 meter kan der derfor lagres store mængder på mindre plads. Så langt nede fylder CO₂ cirka 300 gange mindre end på overfladen. Et CO₂-lager vil typisk ligge i 1-2,5 kilometers dybde.

CO₂ I RESERVOIRET

Gamle olie- og gasfelter kan bruges til at lagre CO₂

Det er planen at bruge udtømte olie- og gasfelter i Nordsøen til lagring af CO₂. Her er allerede stor viden om undergrunden, som ofte har de rette egenskaber, da CO₂ lagres på samme måde, som olie og gas har ligget i undergrunden. CO₂ kan transporteres derud med skib eller gennem rørledninger.

2

Gassen komprimeres og transporteres via rørledning, lastbil eller skib til et egnet reservoir i undergrunden.

CO₂-lagring på land er en god løsning

I den danske undergrund er der mange områder, som er velegnede til at lagre store mængder CO₂. Lagring af CO₂ på land er et godt alternativ til undersøisk lagring, da det gør transporten af CO₂ meget enklere.

3

CO₂ pumpes ned i reservoiret, indtil det er fyldt.

Reservoirets kapacitet skal være stor nok

Det er afgørende, at reservoiret har en stor nok volumen. Det skal være mindst 50 meter dybt, så der er kapacitet til, at det giver mening at etablere et CO₂-lager.

LERLAG

Minimum
50 meter

SANDSTEN

Ler holder CO₂ nede i undergrunden

Oven over sandstenen, som CO₂ pumpes ned i, skal der være et tykt lag af uigennemtrængelige bjergarter, f.eks. lersten, så gassen forbliver i undergrunden og ikke siver op igen. Laget kaldes også et segl. Det skal være minimum 20 meter tykt og skal gerne have form som en kuppel (eller en omvendt skål, se side 21), som CO₂ kan lægge sig oppe under.

MINIMUM
20 METER DYBT

LÆS
MERE

KORT OG GODT OM CCS

Hvad består sandsten af? Hvordan fanger man en drivhusgas, og hvorfor er det smart, at CO₂ kan komprimeres? Det kan du få svar på her.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL



SOLID LERSTEN

Lersten er en bjergart, som hovedsageligt består af finkornede lerm mineraler. De ligger i en tætpakket struktur, der gør det meget svært for væske eller gas at trænge igennem stenen.



EN DEL AF CO₂ KAN GENBRUGES

Ud over at lagre CO₂ kan man faktisk udnytte en del af den. Kulstoffet (C) kan udvindes og udnyttes til andre formål – f.eks. til at producere forskellige kemiske forbindelser til industrien og på sigt også grønne brændstoffer i processer, der kaldes Power-to-X (PtX).

Power-to-X betyder, at elektricitet (power) fra grønne kilder, f.eks. vindmøller, gennem forskellige processer omdannes til grønne brændstoffer (X), f.eks. brint. Det skal på sigt være med til at gøre os uafhængige af fossile ressourcer som olie og gas.

PORØS SANDSTEN

Sandstenen i Danmarks dybe undergrund stammer fra løst sand, kaldet sediment, der for mange millioner år siden blev aflejret på Jordens overflade. Med tiden sank sandet sammen og blev bragt ned i undergrunden, mens det undervejs blev udsat for stigende tryk og temperaturer. Det løse sand blev trykket sammen, og der skete en opløsning af mineraler og cementering – og det løse sand blev til en sandsten. Sandstens porøsitet (dvs. forholdet mellem mineral Korn og hulrum i bjergarten) afhænger af flere faktorer, blandt andet:

- Hvor dybt sandstenene er bragt ned i undergrunden
- Sandets oprindelige kornstørrelse og mineralogi (ofte med kvarts og feldspat som de dominerende mineraler)

Mange steder har sandstenene bevaret en god porøsitet og kan anvendes til at lave geotermisk energi eller lagre CO₂.

Opsamles der 1.000 m³ CO₂ fra et kraftværk på jordoverfladen, fylder det kun 3,8 m³, når man pumper det 800 meter ned i undergrunden. Ved ca. 800 meter er tryk og temperatur så høje, at gassen skifter form til en væske. På den form er CO₂ meget mere kompakt end i gastilstanden. Den har tyngde som en væske, men kan bevæge sig som en gas.



FANG DRIVHUSGASSEN

Før man kan lagre CO₂ i undergrunden, skal den helt bogstavelig talt indfanges. Det sker primært på to måder:

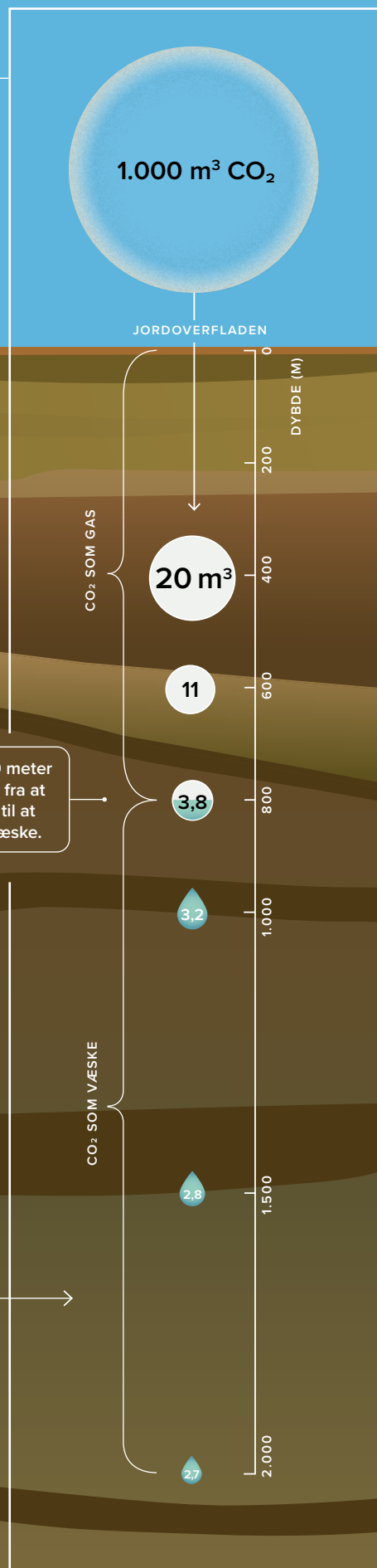
- Ved at lave en kemisk rensning af røggasser fra f.eks. industri- og energianlæg, hvor røggassen har en høj CO₂-koncentration, kan man adskille CO₂ fra de øvrige komponenter i røggassen.
- Ved at lave en såkaldt opgradering af biogas, hvor man med forskellige teknologier fjerner CO₂'en fra biogassen, kan man efterfølgende indfange den.

Der findes også anlæg, som suger CO₂ direkte ud af luften. Det kaldes Direct Air Capture (DAC).

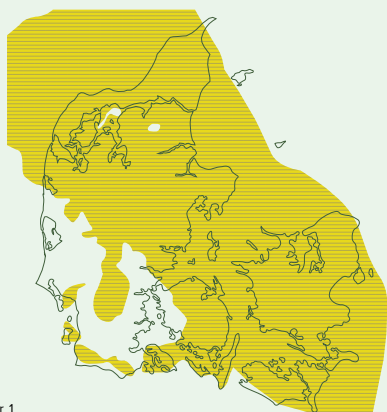
CO₂ KAN KOMPRIMERES

Når CO₂ kommer under tryk, fylder den mindre, og det er smart, når man gerne vil have plads til meget af det. Det kan blandt andet ske på de her to måder:

- Kunstigt tryk: Når CO₂ skal transporteres fra A til B i f.eks. en lastbil, kommer CO₂ under kunstigt tryk.
- Naturligt tryk: På vej ned i undergrunden stiger trykket, præcis som hvis du dykker ned under vandets overflade, hvor du bl.a. kan mærke trykstigningen som propper i ørerne. Når CO₂ pumpes ned i jorden, vil den helt naturligt blive komprimeret og fylde mindre og mindre, jo længere den kommer ned.



HVAD ER EN GEOLOGISK FORMATION?



Figur 1

Geologer inddeler undergrunden i enheder, som er baseret på bjergarter af forskellig alder og tykkelse. En geologisk formation udgør sådan en enhed og kan defineres ud fra blandt andet kornstørrelse, farve og sammensætning af mineraler. Inddelingen er praktisk, da det gør det muligt at kortlægge en formation fra boring til boring over store afstande.

Gassum Formationen, som omtales her på siderne, kan være op til flere hundrede meter tyk og breder sig i varierende dybde under to tredjedele af Danmark – som vist på kortet her.

MØD EN BJERGART MED GOD PLADS

Reservoirer i undergrunden fungerer som naturens egne depoter, og når vi lagrer naturgas eller CO₂ i bjergarter som f.eks. sandsten, er det ikke et koncept, vi selv har fundet på. Det er naturens egen opfindelse, vi kopierer.

TEKST: FIE KRØYER DAHL • LAYOUT: LYKKE SANDAL

Det kan være lidt svært at forestille sig, hvordan man kan lagre noget som helst i sten – det er jo ... sten! Men det kan godt lade sig gøre, og det er slet ikke noget nyt. Det fortæller geolog og seniorforsker Henrik Vosgerau fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).

”Naturen selv er mester i at gemme på forskellige råstoffer i jorden. Tænk bare på olie og gas, som vi trækker op af undergrunden, hvor det har ligget i millioner af år.”

Det er præcis det koncept, vi mennesker efterligner, når vi lagrer f.eks. naturgas eller CO₂ i sandsten dybt nede i undergrunden. Forskellen er, at vi i stedet for at pumpe noget op pumper noget ned.



Henrik Vosgerau, geolog og seniorforsker ved GEUS i Afdeling for Geofysik og Sedimentære Bassiner.

EN STEN MED HULRUM

Når vi taler om at lagre CO₂, er det nærliggende at få den tanke, at det drejer sig om nogle store underjordiske hulrum, som vi fylder CO₂ ned i. Sådan er det ikke – og så alligevel lidt. For lagringen foregår rent faktisk i hulrum, men de er bittesmå. De findes blandt andet i den type sten (på fagsprog kaldet bjergart), som hedder sandsten.

”De mange bittesmå hulrum mellem sandkornene, og det at de er forbundet med hinanden, gør, at flydende elementer som f.eks. vand kan passere igennem stenen,” forklarer Henrik Vosgerau.

Netop den porøse struktur betyder, at der – afhængig af sandstenens karakter – også kan være plads til en gasart som CO₂, som bliver flydende, når den kommer under tryk dybt nede i jorden. Hvordan CO₂'en helt præcist reagerer, når den pumpes ned i sandsten, kan du læse mere om på side 20.

LAND AF SAND

I Danmark har vi masser af sandsten i undergrunden, blandt andet i Gassum Formationen, som indeholder sandsten i forskellige dybder i et stort sammenhængende område (se figur 1). I tidens løb har geologer og forskere lavet rigtig mange analyser og laboratorietest af boreprøver for at blive klogere på den danske undergrund. De grundige undersøgelser har vist, at selvom karakteren af sandsten i f.eks. Gassum Formationen kan være forskellig fra landsdel til landsdel, så indgår sandstenene i formationer, der har stor udbredelse i undergrunden. Alt efter, hvor i Danmark en prøve tages, kan sandstenen altså variere, fordi den stammer fra forskellige kilder, er aflejret under forskellige forhold og befinder sig i forskellige dybder i undergrunden.

”Det betyder, at der kan være meget stor forskel på sandstenens indhold af mineraler og på dens tekstur. Og det kan have stor betydning for, hvor godt sandstenen i et givent område fungerer som CO₂-lager,” siger Henrik Vosgerau.

Forskellen kan ikke altid ses med det blotte øje, men den kan være meget tydelig, når man analyserer prøver som f.eks. eksemplerne på næste side. De er fra to forskellige borer i Gassum Formationen, og når man kigger på dem, kan man tydeligt se, at sandstenen har forskellig karakter, alt efter hvor den stammer fra. •

ET KIG I MIKROSKOPET

Forskerne kan få et indblik i sandstens opbygning ved at lave et såkaldt mineralscan, som ses herunder. Det gør de ved at kigge på en prøve i et elektronmikroskop, hvor mineralerne træder tydeligt frem og kan skelnes fra hinanden og fra de omkringliggende hulrum. På den måde kan forskerne blandt andet vurdere:

- Sandstens sammensætning af mineraler
- Hvor porøse stenene er
- Sandkornenes størrelse

TYDELIG FORSKEL PÅ PRØVERNE

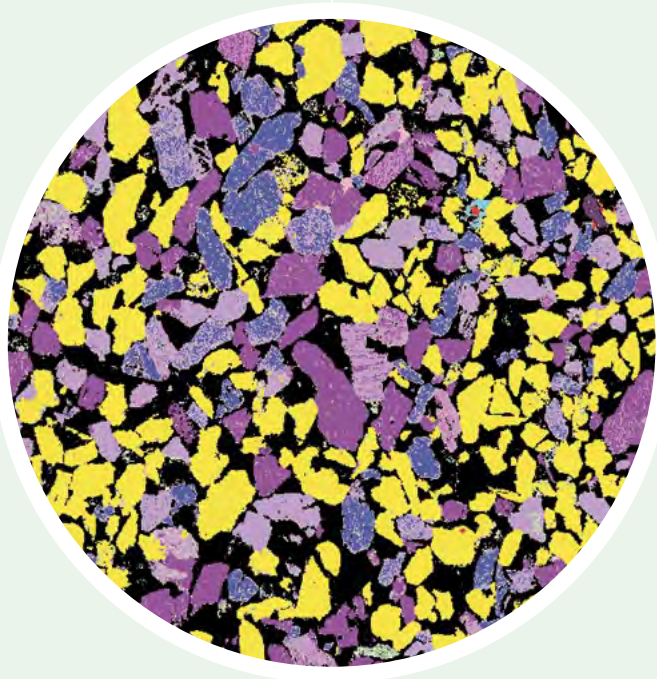
De to scanninger er sandstensprøver fra en boring i henholdsvis Jylland (øverst) og en boring på Sjælland (nederst). Begge prøver stammer fra Gassum Formationen.

Der er tydelig forskel på prøverne, fordi de har gennemgået hver sin geologiske udvikling:

- Sandstenen fra **Sjælland** består mest af **kvarts**, som er et stabilt mineral, der ikke nedbrydes så let.
- Sandstenen fra **Nordjylland** indeholder også kvarts, men har også en stor mængde **feldspat** (lilla), der nedbrydes lettere end kvarts.

GASSUM, ØSTJYLLAND

Prøve fra sandsten i 1.642 meters dybde.

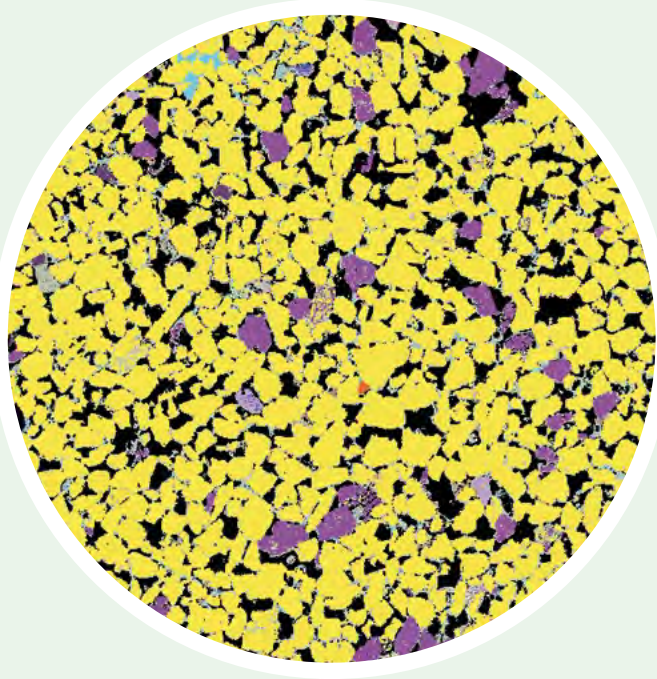


Den jyske sandsten er både lilla og gul (både feldspat og kvarts), og den sjællandske er mest gul (meget kvartsholdig).

Der er tydelig forskel på de to prøvers indhold af kvarts (gul) og forskellige typer feldspat (nuancer af lilla).

Kornstørrelsen er forskellig.

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



STENLILLE, MIDTSJÆLLAND

Prøve fra sandsten i 1.546 meters dybde.

HVILKEN SANDSTEN ER BEDST TIL CO₂-LAGRING?

Det er vigtigt at kende en sandstens sammensætning og placering i undergrunden, når man skal vurdere, hvor meget CO₂ en sandsten kan indeholde, og hvor let det er at pumpe CO₂ ned i den.

Både sandstenen fra Gassum og Stenlille egner sig til lagring af CO₂, fordi der er forbundne hulrum (de sorte områder på billederne) mellem sandkornene. I den nordjyske sandsten er hulrummene større, og derfor vil den kunne indeholde mere CO₂ end den sjællandske.

I større dybder vil der dog være en risiko for, at hulrummene i den nordjyske sandsten lukker til. Det sker, fordi tryk og temperatur stiger i dybden, og det kan føre til, at ustabile mineraler som feldspat opløses og danner cement, der blokerer i hulrummene.

Med den sjællandske sandsten skal der større dybder til, før kvartsmineralerne bliver opløst og danner cement i hulrummene.

LUFTKANONER OG STORE STEMLER KORTLÆGGER UNDERGRUNDEN

Før et CO₂-lager kan blive til virkelighed, skal geologerne finde det helt rette sted at placere det. Det står GEUS for ved at lave undersøgelser, hvor de bruger forskellige metoder til at kortlægge undergrunden og se, hvordan jordlagene dybt nede fordeles sig.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

To hvide minilastbiler kører langsomt, tæt efter hinanden langs en landevej i det nordlige Jylland. For hver 10. meter stopper de og sænker hver især et stempel ned på vejen, hvorefter der i præcis 16 sekunder høres en dyb brummen. De store stempler, som er monteret under lastbilerne, vibrerer på vejen og sender lydbølger ned i undergrunden.

Lastbilerne er fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), og de er sendt ud til udvalgte lokaliteter i landet for at lave det, som kaldes en seismisk undersøgelse. Den bruges til at kortlægge, hvad undergrunden består af, og det er vigtigt at vide, hvis man har en ambition om at lagre CO₂ dernede.

EN POLITISK BESLUTNING

I 2021 vedtog et bredt flertal i Folketinget en køreplan

“Det, vi kigger efter, er en geologisk struktur med form som en omvendt skål.”

MARIE KEIDING

GEOFYSIKER, GEUS

Når GEUS laver seismiske undersøgelser på land, foregår det med mini-lastbiler som disse, der stille og roligt bevæger sig igennem det område, hvor der potentielt kan lagres CO₂ i undergrunden. Tiden, det tager, afhænger af områdets størrelse. Typisk tager det et par måneder at gennemføre en seismisk undersøgelse af et potentielt CO₂-lager på land.



for, hvordan vi skal fange og lagre CO₂ i Danmark. Den bestemte, at man skulle begynde at undersøge steder rundt omkring i landet, hvor der potentielt kan lagres CO₂.

Som et resultat af den beslutning har GEUS i løbet af 2022 og 2023 indsamlet seismiske data i Jammerbugt og fem områder på land: Gassum og Thorning i Jylland, Rødby på Lolland og Stenlille og Havnsø på Sjælland.

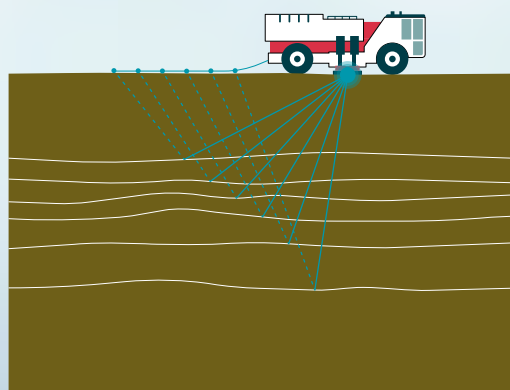
HVAD FORTÆLLER LYDBØLGERNE?

En af dem, som har været med til det arbejde, er Marie Keiding, som er geofysiker ved GEUS.

”Seismiske undersøgelser er en form for skanning af undergrunden, hvor vi bruger lydbølger til at kortlægge de dybere geologiske strukturer. På land kan man lave lydbølgerne med mini-lastbilerne, som udsender vibrationer ved hjælp af et stempel. Hvis man skal undersøge undergrunden til havs, laver man lydbølgerne ved hjælp af en luftkanon, som trækkes efter et skib,” forklarer hun.

Når lydbølgerne rammer en grænse mellem forskellige geologiske lag i undergrunden – f.eks. mellem sandsten og lersten – bliver de reflekteret og vender tilbage til jordoverfladen. De reflekterede lydbølger kan registreres på overfladen ved hjælp af geo- og hydrofoner, som er en slags fintfølede mikrofoner. Den tid, det tager for lydbølgerne at nå ned til en laggrænse og tilbage igen, afhænger af, hvor dybt de har været nede. Ved at sammenholde de seismiske data med information om geologien fra dybe brønde kan man kortlægge, hvordan de forskellige lag af sandsten og lersten ligger >

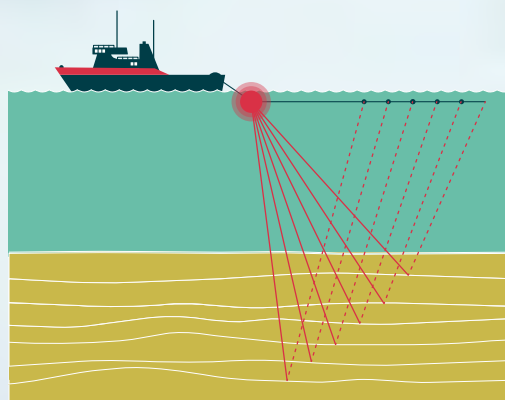
SÅDAN FOREGÅR SEISMISKE UNDERSØGELSER



Illustrationer: Mads Perse

PÅ LAND

En mini-lastbil udsender lydbølger ved hjælp af vibrationer fra et stempel. Lydbølgerne forplanter sig ned igennem de geologiske lag i undergrunden, hvor de reflekteres og sendes tilbage til overfladen. De reflekterede lydbølger opfanges ved hjælp af geofoner, som enten er monteret på en streng trukket efter mini-lastbilen eller er placeret på små jordspyd rundt om i terrænet.



TIL HAVS

En luftkanon trækkes efter et skib og laver lydbølger. Lydbølgerne forplanter sig ned igennem de geologiske lag i undergrunden, hvor de reflekteres og sendes tilbage til overfladen. De reflekterede lydbølger opfanges ved hjælp af hydrofoner, som trækkes efter skibet på en lang streng.



Foto: GEUS

FREMTIDEN

I de kommende år vil der sandsynligvis blive lavet flere seismiske undersøgelser af områder i Danmark med potentiale for at lagre CO₂. I den forbindelse vil der løbende blive afholdt besøgsdage i felten, som her i Gassum, hvor en GEUS-medarbejder fortæller om det arbejde, de er i gang med. Der kommer også infomøder, hvor lokale kan møde eksperter og høre om den lokale geologi, blive klogere på de teknologier, der anvendes, og på, hvordan et CO₂-lager bliver til virkelighed. Sidstnævnte proces kan du læse mere om på side 7.



i undergrunden. På den måde kan man finde egnede geologiske strukturer, hvor man kan lagre CO₂.

”Det, vi kigger efter, er en geologisk struktur med form som en omvendt skål. Inderst i skålformen skal der være en porøs sandsten, som man kan fylde med CO₂,” siger Marie Keiding.

Oven på sandstenen skal der være et solidt, forseglende lag af lersten, som skal sikre, at CO₂’en bliver dernede. Ved hjælp af den seismiske kortlægning kan man også opdage, hvis der er forkastninger (se forklaring i boks her på siden) i under-

grunden, som potentielt kan medføre en utæthed i den forseglende lersten. Opstår der en utæthed, vil den hurtigt blive opdaget, fordi CO₂-lageret konstant monitoreres (læs mere om monitorering på side 25).



MARIE KEIDING
Geofysiker ved GEUS i
Afdeling for Geofysik
og Sedimentære Bassiner.
Ph.d. i geofysik fra Islands
Universitet.

VIGTIGE HENSYN

Når geologerne fra GEUS laver seismiske undersøgelser på land eller i kystnære havområder, tager de en masse hensyn. På land er

det nødvendigt at omdirigere trafikken, så folk kan færdes i området, mens undersøgelserne står på. Styrken på vibrationerne bliver også sat ned, når mini-lastbilerne er i nærheden af huse, så rystelserne fra stemplerne ikke laver skader på for eksempel murværk.

Til havs tager geologerne hensyn til lokalt fiskeri og anden skibstrafik. Det er også vigtigt at udføre undersøgelserne, så man ikke generer havpattedyr som f.eks. marsvin, der er fredede. Både på land og til havs undgår man naturbeskyttelsesområder og laver vurderinger af, hvordan lokal natur eller dyreliv vil blive påvirket af undersøgelserne.

GEUS og Energistyrelsen, der begge er en del af Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, har holdt infomøder og besøgsdage i de områder, hvor de seismiske undersøgelser har stået på. På den måde kan lokalbefolkning og erhvervsdrivende, f.eks. fiskere, få mere at vide om de seismiske undersøgelser og CO₂-lagring generelt. •

ORDFORKLARING:

FORKASTNING

Kan også kaldes en brudzone og er en forskydning af de geologiske lag, der forekommer i den øvre del af jordskorpen. Den opstår på grund af ophobede spændinger i jorden, og når de udløses og danner forkastningen, kan det lave rystelser.

CCS PÅ DET POLITISKE PLAN

Hvad siger den danske klimalov om CO₂-lagring? Og hvad vil det sige at være klimanegativ? Geoviden giver dig svaret.

TEKST: FIE KRØYER DAHL • LAYOUT: LYKKE SANDAL



EKSPERTER ANBEFALER CCS

Både FN's klimapanel, IPCC, og Klimarådet, som er et uafhængigt dansk ekspertorgan, anbefaler CCS som en ud af flere grønne løsninger, der kan nedbringe mængden af CO₂, som udledes til atmosfæren.

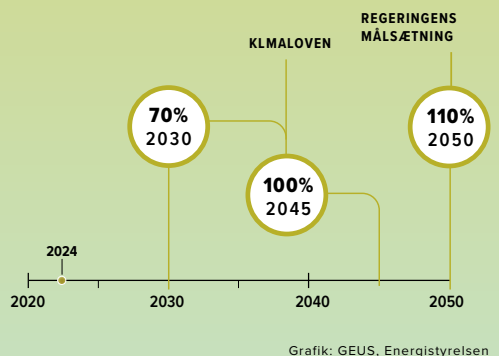
HVEM SKAL DRIVE DE DANSKE CO₂-LAGRE?

Energistyrelsen har i december 2023 åbnet for, at virksomheder kan ansøge om retten til at drive CO₂-lagre i de områder i undergrunden, som GEUS har undersøgt og fundet egnede som CO₂-lagre. Områderne ligger ved Stenlille og Havnsø på Sjælland, Rødby på Lolland og Gassum og Thorning i Midtjylland. Det er op til myndighederne at beslutte, hvilke virksomheder som får godkendelse til at drive de danske CO₂-lagre.

På side 7 kan du få et overblik over processen, der leder frem til, at et CO₂-lager bliver til virkelighed.



DANMARKS MÅLSÆTNING FOR NEDBRINGELSE AF CO₂-UDLEDNING



LOVEN SIGER ...

I Danmark har Folketinget vedtaget en klimalov. Den fastsætter, at:

- Danmark skal reducere udledningen af drivhusgasser i 2030 med 70 procent i forhold til niveauet i 1990. Det skal CO₂-fangst og -lagring, også kaldet CCS, være med til at sørge for, at vi kommer i mål med.
- Danmark opnår at være et klimaneutralt samfund i senest 2050 med Parisaftalens målsætning om at begrænse den globale temperaturstigning til 1,5 grader celsius for øje.

Regeringen har derudover en målsætning om 110-procents drivhusgasreduktion i 2050 i forhold til 1990.

Kilde: Klimaloven



VI SKAL FJERNE MERE CO₂, END VI UDLEDER

Det er ikke nok, at alle verdens lande sigter mod klimaneutralitet, hvis vi skal begrænse de globale temperaturstigninger til 1,5 grader. Nogle lande er nødt til at blive klimanegative, og det har Danmark et mål om at være efter 2045. Det vil sige, at vi skal trække mere CO₂ ud af atmosfæren, end vi udleder. Her er CO₂-fangst og -lagring (CCS), et vigtigt værktøj.

Kilde: Klima-, Energi og Forsyningsministeriet



KULSTOFKREDSLØBET STYRER JORDENS KLIMA

Kulstof (C), som indgår i CO₂, indgår i et hurtigt og et langsomt kredsløb, hvor det med forskellig hastighed vandrer mellem atmosfæren, oceanerne og Jordens overflade og indre. De processer er med til at styre Jordens klima, og her kan du blive klogere på, hvordan det langsomme kulstofkredsløb foregår.

TEKST: JOHANNE UHRENHOLT KUTSNITZOFF OG FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

Kulstofkredsløbet er med til at styre Jordens klima, og langt hovedparten af kredsløbet foregår i en del af kulstofkredsløbet, man ikke mærker i hverdagen. Det foregår nemlig på en tidsskala, der spænder fra få tusinder til millioner af år – kort sagt: meget langsomt. En vigtig del af det langsomme kredsløb kaldes silikat-karbonat-kredsløbet, og 70 procent af al Jordens CO₂ er til enhver tid bundet et sted i det, mens resten cirkulerer mellem planter, dyr og nedbrydning (det hurtige kredsløb) eller begravelse i jorden.

Processerne i silikat- og karbonatkredsløbet kan koges ned til en række kemiske reaktioner mellem silikat- og karbonatholdige sten (f.eks. feldspat), havet og atmosfæren. Mængden af CO₂ i atmosfæren bestemmes af ændringer i omfang og hastighed på disse kemiske reaktioner. CO₂-koncentrationen netop dér er afgørende for klimaet, og forhøjede koncentrationer af CO₂ i atmosfæren vil medføre forhøjede temperaturer, mens mindre koncentrationer af CO₂ giver lavere temperaturer. Den mekanisme driver klimaforandringer og global opvarmning, hvilket er noget, som har svinget flere gange gennem Jordens historie.

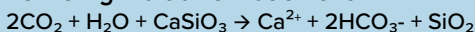
SYSTEM I (U)BALANCE

Kredsløbets system søger altid mod ligevægt, men hvis der sker ændringer i en eller flere dele af kredsløbets delelementer, kan systemet blive skubbet ud af balance. Over en periode på cirka 100.000 år vil tilbagekobling i systemet reducere udsvinget og finde tilbage til den ligevægt, der var i udgangspunktet – medmindre kredsløbet og klimaet passerer et 'tipping point', hvor ændringen bliver mere permanent i en længere periode på op til 500.000 år, måske endda flere millioner år. Det er højst sandsynligt sådan en periode, vi er på vej ind i nu. Det kan betyde, at balancen forskubbes så meget, at systemet ikke kan komme tilbage i ligevægt. Over tid vil det finde en ny ligevægt, men det betyder store ændringer i klima og miljø og kræver enorm tilpasningsevne hos levende organismer. •

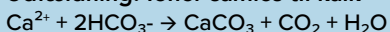
Kilde: Christian J. Bjerrum, professor ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet

KEMISKE REAKTIONER I SILIKAT-KARBONATKREDSLØBET

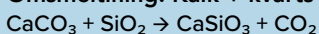
A Forvitring: Kalciumsilikat til ioner



B Udfældning: Ioner samles til kalk



C Omsmelting: Kalk + kvarts tilbage til kalciumsilikat



1. FORVITRING AF BJERGE

Noget af den CO₂, der er i atmosfæren, binder sig til vanddamp. Derved dannes der en svag kulsyre (H₂CO₃), og når den falder som nedbør, kan den opløse de kalk- og silikatholdige sten, som størstedelen af jordskorpen består af. Processen kaldes forvitring, og for hver kalciumsilikat-mineral, der forvitrer, fjernes to CO₂-molekyler fra atmosfæren (se reaktion A i boksen nederst). Reaktionen frigiver en kalciumion (Ca²⁺), to bikarbonat-ioner (HCO₃⁻) og siliciumdioxid, også kaldet kvarts (SiO₂).

2. UDFÆLDNING I HAVET

Ude i havet lever millioner og atter millioner af små skaldyr, som bruger de udvaskede kalcium- og bikarbonat-ioner til at opbygge deres skaller og skeletter med. Det kan være plankton og koraller. De opfanger de udvaskede ioner og kombinerer dem til kalciumkarbonat (CaCO₃) (se reaktion B). Reaktionen efterlader kvartsen fra reaktion A, der synker til bunds. For hvert molekyle, dyrene danner i deres skelet eller skal, frigives et af de to CO₂-molekyler, der blev brugt i forvitringen af de kalk- og silikatholdige sten i jordskorpen. Det ene CO₂-molekyle udveksles med atmosfæren.

FOR MEGET CO₂ FORSTYRRER
 Når mængden af CO₂ i atmosfæren bliver for høj, stiger temperaturen. Det er det, vi oplever nu.

- | + CO ₂ -TILFØRSEL TIL ATMOSFÆREN | - CO ₂ -FJERNELSE FRA ATMOSFÆREN |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Vulkanudbrud • Gejsere • Biologisk nedbrydning af organisk materiale • Afbrænding af fossile brændsler (unaturlig) | <ul style="list-style-type: none"> • Begravelse i undergrunden • Opløsning i havet • Planterers fotosyntese • Forvitring |

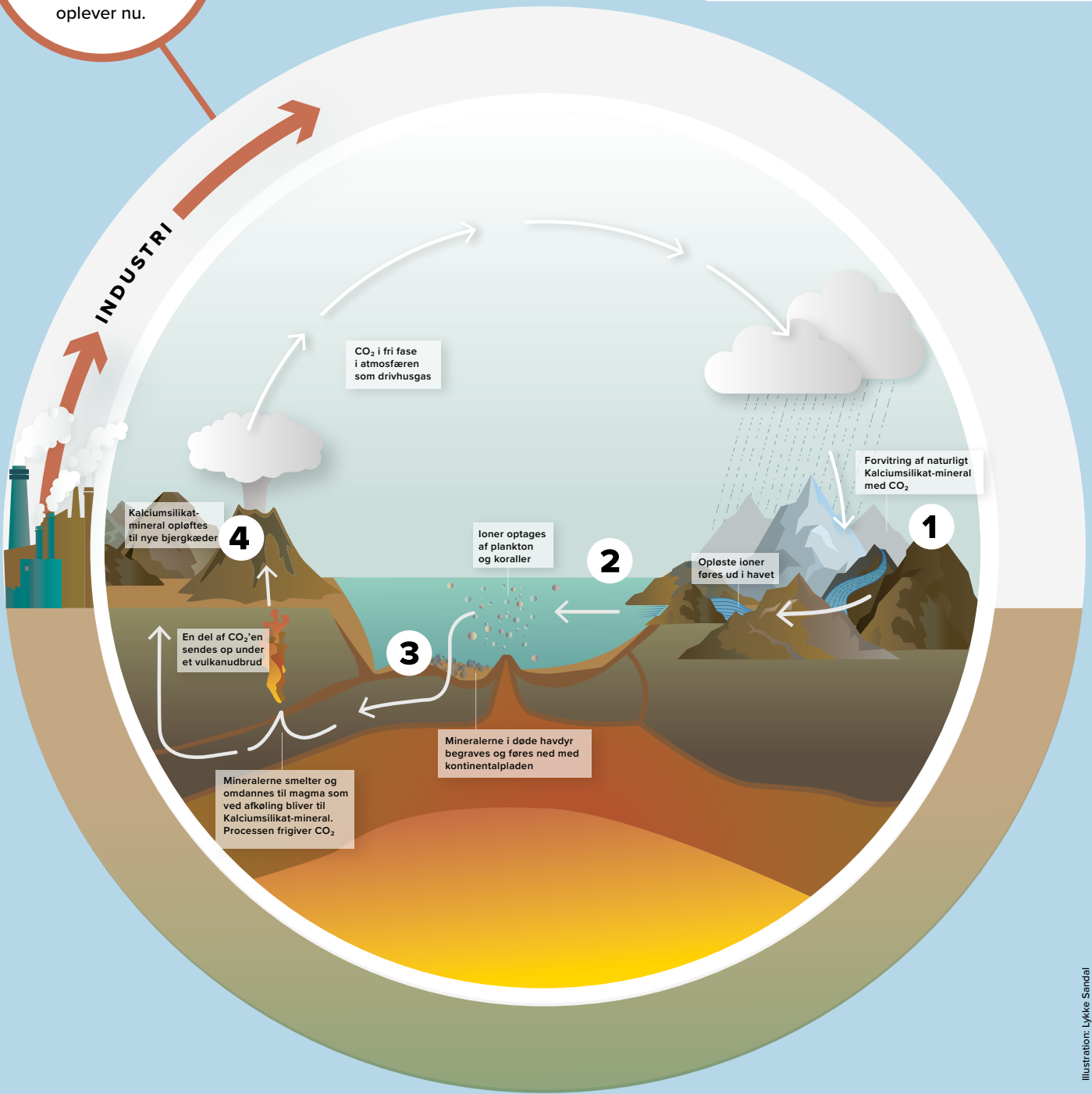


Illustration: Lykke Sandal

3. BEGRAVELSE I HAVBUNDEN

Når dyrene med calciumkarbonatskeletterne dør, synker de til bunds. Her bliver de med tiden begravet under nye lag, der synker ned fra oven, sammen med den silika, der blev tilovers ved dannelsen af deres skal. Der hvor kontinentalpladerne mødes, vil den ene plade sommetider bevæge sig ned under den anden, hvilket danner en såkaldt subduktionszone. Her føres de begravede lag af havdyrenes calciumkarbonat og silika sammen med kontinentalpladen ned i dybet.

4. DANNELSE AF NYE BJERGE

På et tidspunkt bliver tryk og temperatur så høje, at calciumkarbonat og silika splittes op, og noget smelter. Atomerne sættes sammen på ny til den bjergart, det hele startede med, nemlig kalciumsilikat-mineral. Reaktionen frigiver det sidste af de to CO₂-molekyler, der oprindeligt skabte forvitringen i bjergene (reaktion C). Det CO₂-molekyle frigives med tiden tilbage til atmosfæren via vulkanudbrud og gejsere. Tektoniske bevægelser vil over mange, mange tusinde år løfte den nye kalciumsilikat-mineral op som bjerge – og så starter det hele forfra.

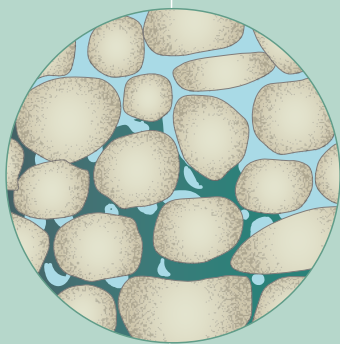
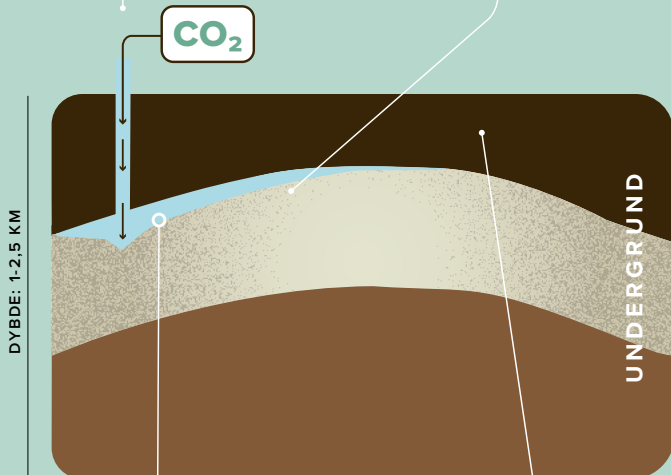
FØLG CO₂'ENS REJSE DYBT NED I JORDEN

Når CO₂ pumpes ned i et underjordisk reservoir af sandsten, ændrer gasarten karakter på vej ned og bliver flydende, fordi trykket stiger. Nede i selve reservoiret vil en del af den nu væskelignende CO₂ reagere med andre kemiske forbindelser, f.eks. vand. De processer kan du læse om her.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

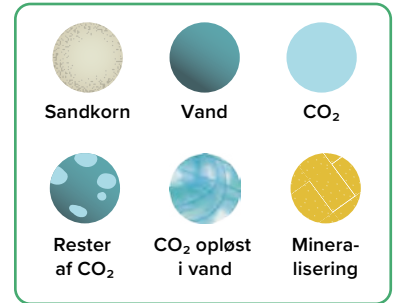
1. CO₂'en pumpes ned i reservoiret via en brønd. På vejen stiger trykket, jo dybere man kommer ned. Det vil få CO₂'en til at blive flydende og fylde mindre (se også side 11).

2. Når CO₂'en når sin endelige destination dybt nede, er den flydende og vil fordele sig i små hulrum mellem kornene i sandstenen.



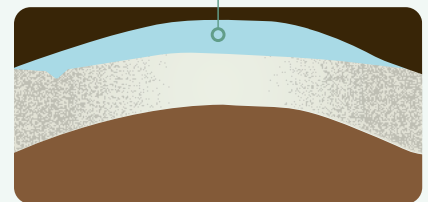
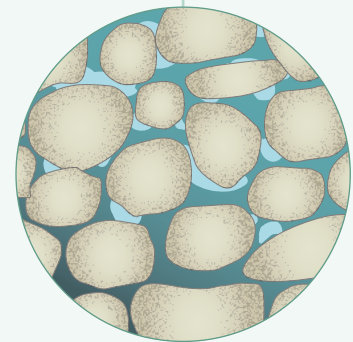
3. Den flydende CO₂ er lettere end det saltvand, der i forvejen er mellem sandkornene i sandstenen. Den vil derfor stige opad gennem sandstenslaget, indtil den når det forseglende lag af lersten.

4. Nede i sandstenen vil størstedelen af CO₂'en blive ved med at være bevægelig, lidt som en flydende sky. Derfor skal der være et tykt, tæt lag af lersten oven over reservoiret for at sikre, at CO₂'en bliver dernede.



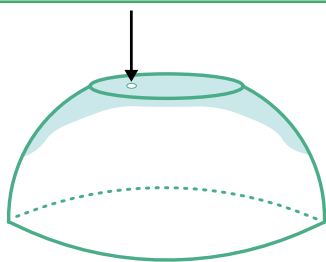
A

FANGET I HULRUM



På vej mod reservoirets top bliver en del af CO₂'en fanget, fordi nogle af hulrummene i sandstenen er så små og snævre, at CO₂-boblerne ikke kan komme igennem og ender i en blindgyde. Mængden af CO₂, der bliver fanget på den måde, afhænger af sandstenens karakter og egenskaber.

Processen sker over årtier, for CO₂'en bevæger sig kun langsomt gennem reservoiret mod toppen.



LAGRET FYLDES SOM EN OMVENDT SKÅL

Reservoiret kan ses som en omvendt skål, hvor CO₂'en lægger sig øverst og langsomt fylder skålen fra toppen og ned.

DANNELSE AF MINERALER

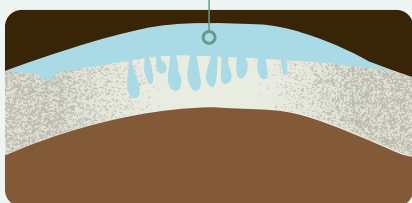
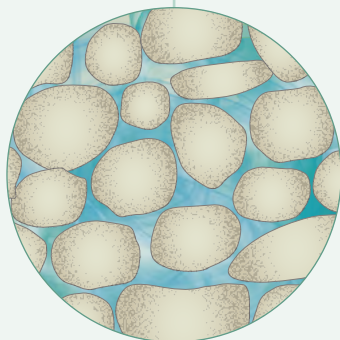
Mineraler er samlinger af grundstoffer, der sætter sig sammen i faste kemiske strukturer og gitter, som f.eks. den simple natriumklorid eller de mere komplekse siliciumforbindelser, også kaldet silikater. Mineralisering betyder, at kemiske forbindelser mødes og danner mere af et bestemt mineral eller helt nye mineraler.

FANGET, OPLØST OG MINERALISERET!

En del af CO₂'en i reservoiret vil gennemgå kemiske processer, der sker sideløbende og varer fra årtier til årtusinder. Kom tæt på processerne her.

B

OPLØST I VAND

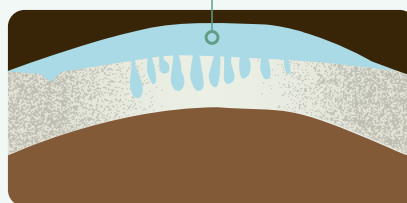
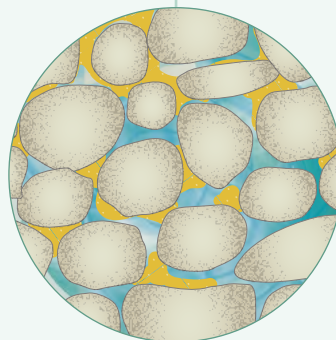


Nede i reservoiret møder CO₂'en det saltvand, som er i hulrummene, og en del CO₂ vil blive opløst i det. Vand kan kun indeholde en begrænset mængde CO₂, men den opløste CO₂ gør vandet en smule tungere. Derfor synker vandet langsomt mod bunden af reservoiret og giver plads til nyt saltvand i toppen.

Processen sker over lang tid – fra årtier til århundreder.

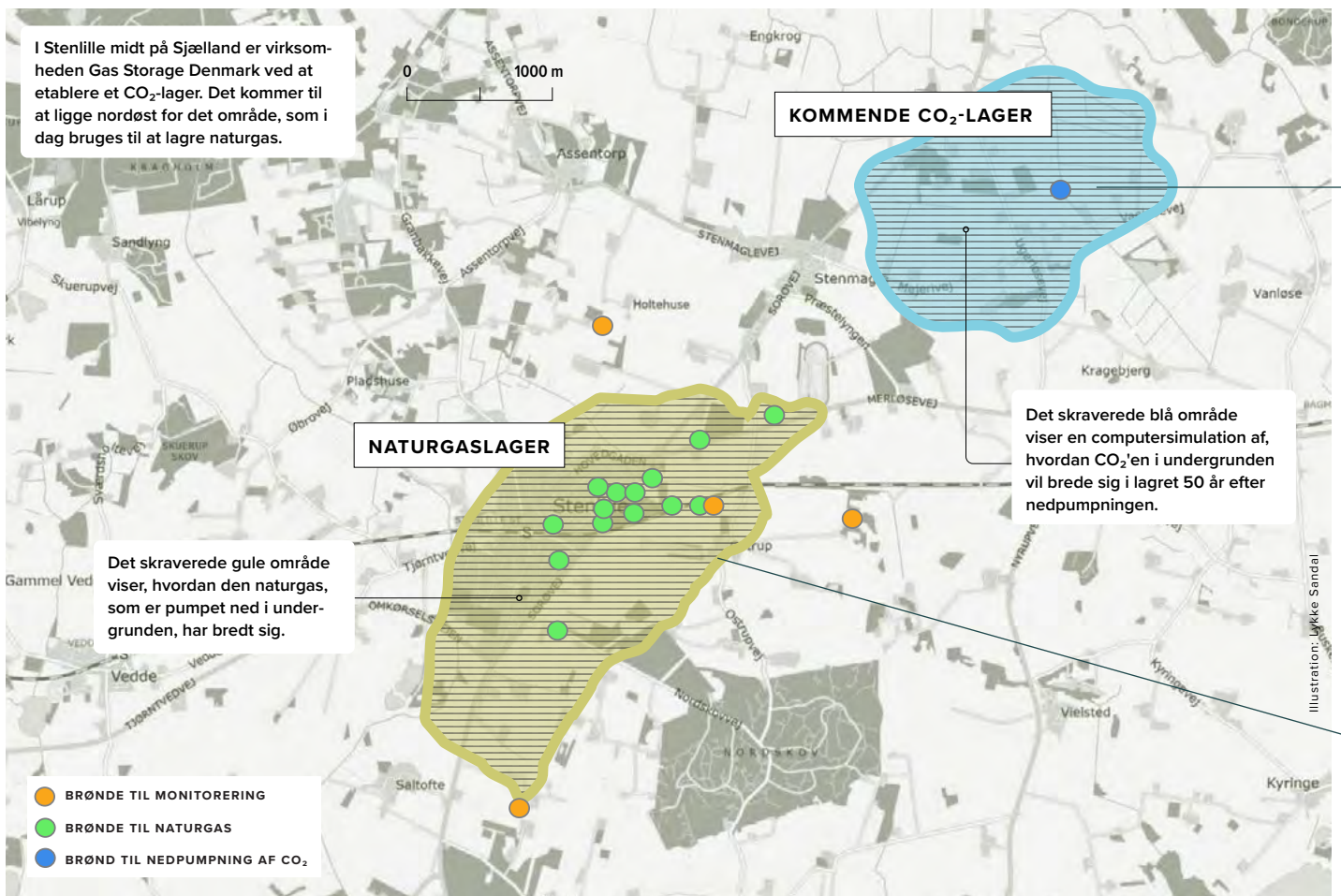
C

MINERALISERET I BJERGART



CO₂ kan reagere med visse mineraler i den bjergart, som reservoiret består af. Det kaldes mineralisering. Så dannes der nye mineraler, og på den måde bliver en del af CO₂'en med tiden til en fast del af reservoiret.

I sandsten sker der kun lidt mineralisering, og det er en meget langsom proces, der foregår over hundreder til tusinder af år.



HER BLIVER CO₂-LAGRING TIL VIRKELIGHED

I Danmark er der blevet lagret naturgas i geologiske formationer i undergrunden i flere årtier. Det er netop de erfaringer, som forskere, myndigheder og virksomheder kan trække på, når det handler om at lagre CO₂ – og ved Stenlille er de godt i gang med at etablere det, der efter planen vil blive Europas første storskala-CO₂-lager på land.

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT: LYKKE SANDAL

Det kan være svært at begribe, at en diskret metalkonstruktion midt på en mark er toppen af en brønd, der ender 1500 meter nede i jorden. At der på et lille område omkranset af træer uden for den lille by Stenlille midt på Sjælland er en direkte forbindelse til undergrunden og et miljø, som blev skabt for 200 millioner år siden. Dengang gik der dinosaurer på Jorden, og området var kystområde. Nu er der boret et hul hele vejen derved, og på et tidspunkt vil der blive pumpet

CO₂ ned, som skal lagres permanent i dybet som en del af den grønne omstilling.

FØRSTE LAGER PÅ LAND I EUROPA

Brønden tilhører det statsejede selskab Gas Storage Denmark, som med projektet CO₂RYLUS arbejder på at etablere det første storskala-CO₂-lager på land i Europa. Det kommer til at ligge ved siden af Stenlille Naturgaslager midt på Sjælland,

➕ MERE VIDEN ONLINE

Tag med til det kommende CO₂-lager i Stenlille i Underground Channels explainerfilm på www.geoviden.dk.



Foto: Underground Channel



Foto: Underground Channel

Et CO₂-lager synes ikke af meget på overfladen. Nedpumpningen foregår i en bygning på størrelse med en almindelig garage, hvor et rør fører CO₂'en hen til selve brønden og ned i undergrunden. Uden om vil der være et afgrænset område omtrent på størrelse med en fodboldbane.

Hvis man tog et røntgenbillede af undergrunden ved Stenlille Gaslager, ville det se (nogenlunde) sådan her ud.

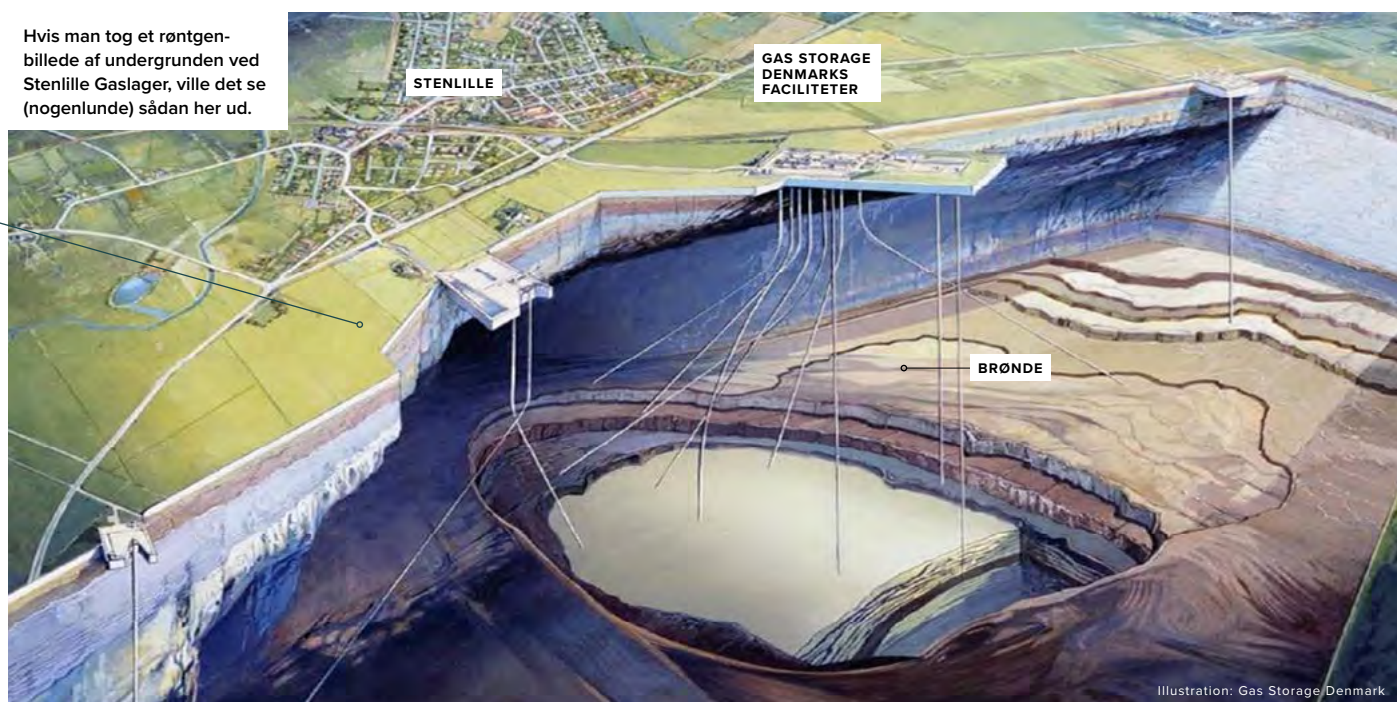


Illustration: Gas Storage Denmark



Det kommende CO₂-lager bliver, forudsat at tidsplanen holder, det første af sin slags på land i Europa. Det er placeret ved byen Stenlille på Midtsjælland.

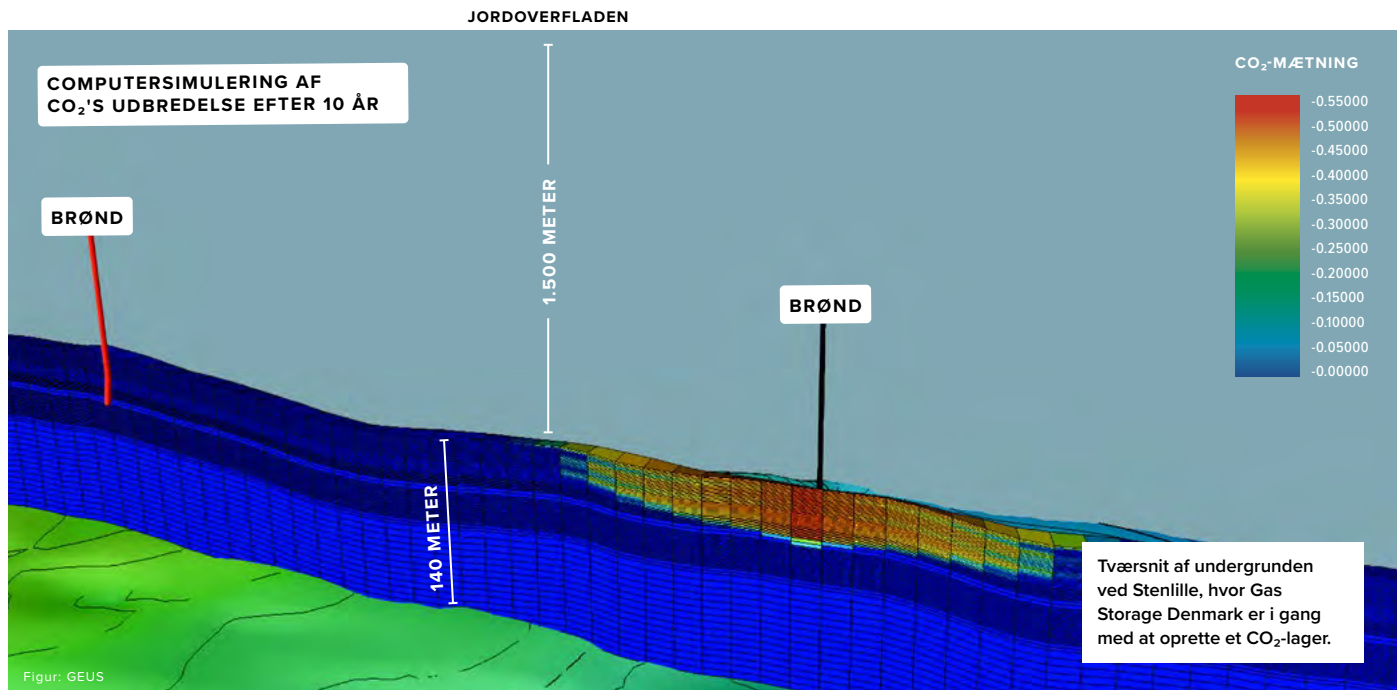
hvor Gas Storage Denmark har lagret naturgas siden starten af 1990'erne. Her bliver naturgassen pumpet ned i løbet af sommeren, så man kan hente den op igen, når energibehovet er større om vinteren.

Det detaljerede kendskab til undergrunden netop der, og erfaringerne fra mere end tre årtiers lagring af naturgas, er medvirkende til, at området omkring Stenlille Naturgaslager har potentiale til at blive det første sted, hvor der pumpes store mængder CO₂ ned.

Ifølge Martin Patrong Haspang, som er geofysiker i Gas Storage Denmark, er målet at have et lager i drift i 2026.

”Vi har faciliteterne og infrastrukturen til naturgaslagring i Stenlille, og det gør, at vi allerede er godt på vej til også at kunne lagre CO₂,” siger han.





> DET BATTER NOGET

CO₂-lagret ved Stenlille kommer til at ligge i dybt nede i et naturligt skabt reservoir af porøs sandsten. Det er en del af den danske undergrund, som kaldes Gassum Formationen (læs mere om den på side 12). Reservoiret består af sandsten med tyndere lag af lersten, der tilsammen danner en geologisk bule-struktur, som i alt er cirka 150 meter tyk.

Reservoiret er forsejlet med et overliggende tæt lag af lersten, som med sine cirka 300 meter er omtrent dobbelt så tykt som selve reservoiret. Over forsejlingen af lersten er der cirka en kilometer kalk- og kridtsten, der virker som et sekundært segl på lageret. Så alt i alt vil CO₂'en være godt begravet.

Ifølge Gas Storage Denmarks undersøgelser og beregninger vil der kunne lagres op mod 10 millioner ton CO₂ i undergrunden ved Stenlille. Det svarer til 20 års udledninger fra ARC (Amager Ressourcecenter), som håndterer affald for fem kommuner i Hovedstadsområdet.



MARTIN PATRØNG HASPANG
Ansæt som geofysiker i Gas Storage Denmark, der blandt andet driver Stenlille Naturgaslager. Uddannet cand.scient. i fysik fra Københavns Universitet.

”Den mængde er faktisk nok til, at det batter noget i det samlede klimaregnskab,” siger Martin Patrøng Haspang.

CO₂'en vil blive pumpet ned nordøst for det område, som Gas Storage Denmark i dag bruger til at lagre naturgas. Det er en hidtil uudnyttet del

af den undergrund, som Stenlille Naturgaslager råder over. Brønden blev etableret i 1988 og er tidligere blevet brugt til at nedpumpe vand fra undergrunden, som følger med, når naturgassen trækkes op. Derfor skal den opgraderes til at kunne håndtere CO₂.

VIDEN SKAL DELES

Efter planen skal den første CO₂ pumpes ned i reservoiret i 2026, og teknologien bag er meget lig den, som man bruger til at håndtere naturgas. Derfor er der ifølge Martin Patrøng Haspang meget stor sikkerhed ved metoden. Derudover har naturgaslageret i Stenlille været i drift siden 1990'erne, så Gas Storage Denmark har et solidt kendskab til geologien i området og reservoirets evner.

Forberedelserne til at etablere CO₂-lagret i Stenlille består blandt andet af studier af de data og den viden, der allerede findes om undergrunden netop der, og nye, udvidede undersøgelser af undergrunden.

”Ud over undergrunden skal vi også have styr på nogle ting på overfladen. Vi skal blandt andet have bygget det anlæg, der skal modtage CO₂'en, og så skal vi have opsat det udstyr, som vi skal bruge til at monitorere lageret med,” fortæller Martin Patrøng Haspang.

På sigt skal der også lagres CO₂ andre steder i den danske undergrund, og et af formålene med CO₂RYLUS-projektet er netop at skabe et godt fundament for det fremtidige arbejde med CO₂-lagring i Danmark.

”Det handler om at dele den viden, vi har, og de data, vi får ind, med andre, der arbejder med CO₂-lagring. På den måde kan vi sammen få gjort noget ved klimaforandringerne i en fart.”•

MONITORERING:

EN KOMBINATION AF METODER ØGER SIKKERHEDEN

TEKST: FIE KRØYER DAHL · LAYOUT OG ILLUSTRATION: LYKKE SANDAL · KILDE: MARIE KEIDING, GEUS

Når man lagrer CO₂ i undergrunden, er det et krav fra de danske myndigheder, at fagfolk monitorerer området både før, under og efter, at CO₂'en er blevet pumpet ned. Det vil sige, at der laves en løbende overvågning, og da et CO₂-lager altid vil være på mindst 800 meters dybde, foregår monitoreringen både dybt nede i undergrunden og nær jordoverfladen.

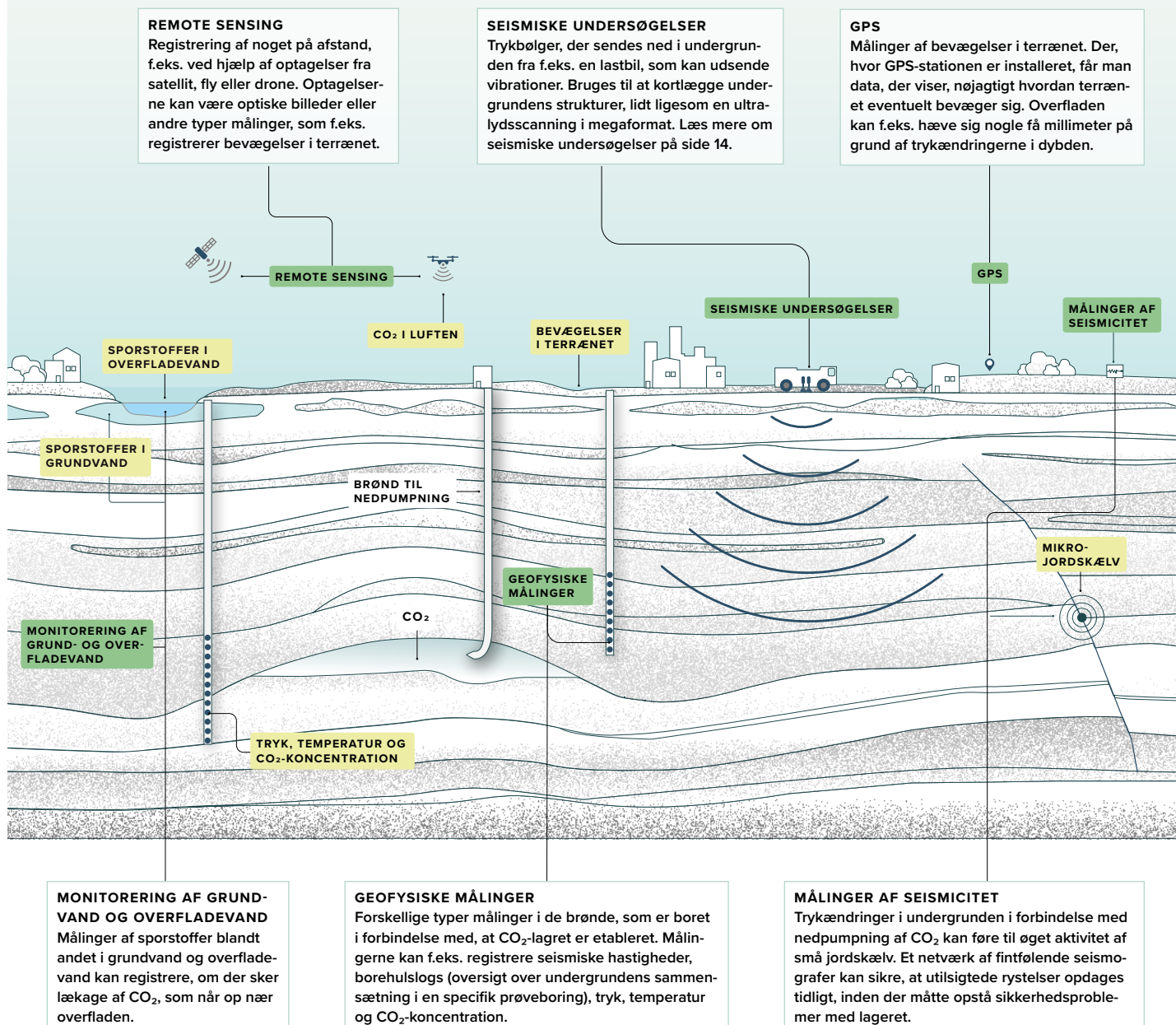
For at være sikker på, at man får lavet monitoreringen godt nok, kombinerer man forskellige metoder (som vist her på

siden), og man vil blandt andet holde øje med grundvand og eventuelle bittesmå terrænbevægelser i området. Man måler også tryk, temperatur og CO₂-koncentration i de brønde, der leder ned til selve CO₂-lageret.

Efter CO₂-lageret er taget i brug, er den løbende monitorering vigtig for at vide, præcis hvor i lageret CO₂'en befinder sig, og for at dokumentere, at der ikke sker udslip.

SÅDAN FOREGÅR MONITORERINGEN AF ET CO₂-LAGER

METODER (grøn cirkel) DET, DER MÅLES (gul cirkel)



1

USA HAR MEST PLADS

Undergrunden i USA er det sted i verden, hvor undergrunden ser ud til at kunne lagre mest CO₂ – helt op til 21.000 milliarder tons. FN's klimapanel, IPCC, anslår, at der i år 2100 skal være fjernet og lagret ca. 1.200 milliarder ton CO₂ for at nå klimamålene, så teoretisk er der rigelig plads under USA. I 2022 begyndte virksomheden Red Trail Energy at fange og lagre CO₂ fra deres ethanolanlæg i North Dakota. Dermed er North Dakota den første amerikanske delstatsmyndighed, der udsteder en tilladelse til CCS.

Kilde: ethanolproducer.com

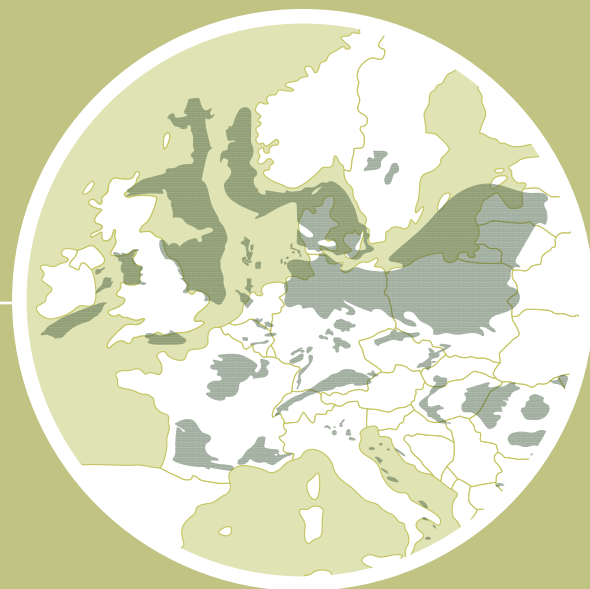


Foto: Red Trail Energy

EUROPAS POTENTIALE

Ekspertter vurderer, at Europa har kapacitet til at lagre op til 500 milliarder tons CO₂, eller cirka 300 års CO₂-udledning fra alle regionens industrier og kraftproduktion. Store områder af regionen har en geologi, der egner sig til CO₂-lagring (de grå felter på kortet til højre), men det er nødvendigt med flere undersøgelser. I øjeblikket er detaljerede vurderinger af potentielle CO₂-lagringssteder ofte begrænset til områder, der allerede er blevet udforsket ift. olie og gas.

Kilde: Clean Air Task Force



CCS ER I VÆKST

... men der skal mere til. For det kræver en stor global opskalering af CO₂-fangst og -lagring, hvis det skal batte noget i klimakampen, lyder det fra den internationale tænketank Global CCS Institute. Men hvordan står det egentlig til med CO₂-lagring på verdensplan?

TEKST: FIE KRØYER DAHL • LAYOUT: LYKKE SANDAL

Tager man et kig på kortet over Europa i cirklen øverst på denne side, er der en hel del grå felter. De indikerer, at undergrunden består af bjergarter, der potentielt er egnet til at lagre CO₂. Og netop CO₂-fangst og -lagring, i daglig tale CCS, er et område i vækst. Sådan lyder vurderingen fra den internationale tænketank Global CCS Institute, som i deres nyeste rapport 'Global Status of CCS 2023' gør status over udviklingen inden for CCS på verdensplan.

STIGENDE INCITAMENT

Ifølge tænketanken er der sket en markant udvikling, siden de udgav den forrige rapport i 2022. Flere nye projekter har set dagens lys, og der er et øget fokus på at udvikle teknologier til at

fange og lagre CO₂. Det skyldes blandt andet, at der er et stigende incitament for politikere og beslutningstagere til at sætte skub i den grønne omstilling og investere i udviklingen af CCS, især i Europa og Nordamerika.

HELE VERDEN SKAL VÆRE MED

Et af målene i Parisaftalen, som er en juridisk bindende klimaaftale indgået af de 196 medlemslande i FN's klimakonvention, er at begrænse den globale temperaturstigning til 1,5 grader. Hvis det skal nås, er der dog ifølge Global CCS Institute brug for en massiv opskalering. Det vil kræve, at ikke kun de vestlige lande, men også resten af verden, sætter CCS højt på den politiske dagsorden.

2 FRA CO₂ TIL DANSKVAND TIL STEN

I Island har forskning vist, at den vulkanske undergrund, som består af bjergarten basalt, er virkelig velegnet til at lagre CO₂. Det udnytter CCS-anlægget Orca, som åbende i september 2021. Det er det første og (i skrivende stund) største af sin slags, som suger CO₂ direkte ud af luften (kaldet Direct Air Capture) og lagrer det

dybt nede i undergrunden. Inden CO₂'en pumpes ned, blandes den med store mængder vand. Blandingen af vand og CO₂ resulterer i en væske, der minder lidt om dansk vand. Nede i undergrunden reagerer væsken med basaltstenen og laver mineralet karbonat, og i løbet af kun to år (meget kort tid geologisk set!) bliver 'dansk vandet' til solid sten.



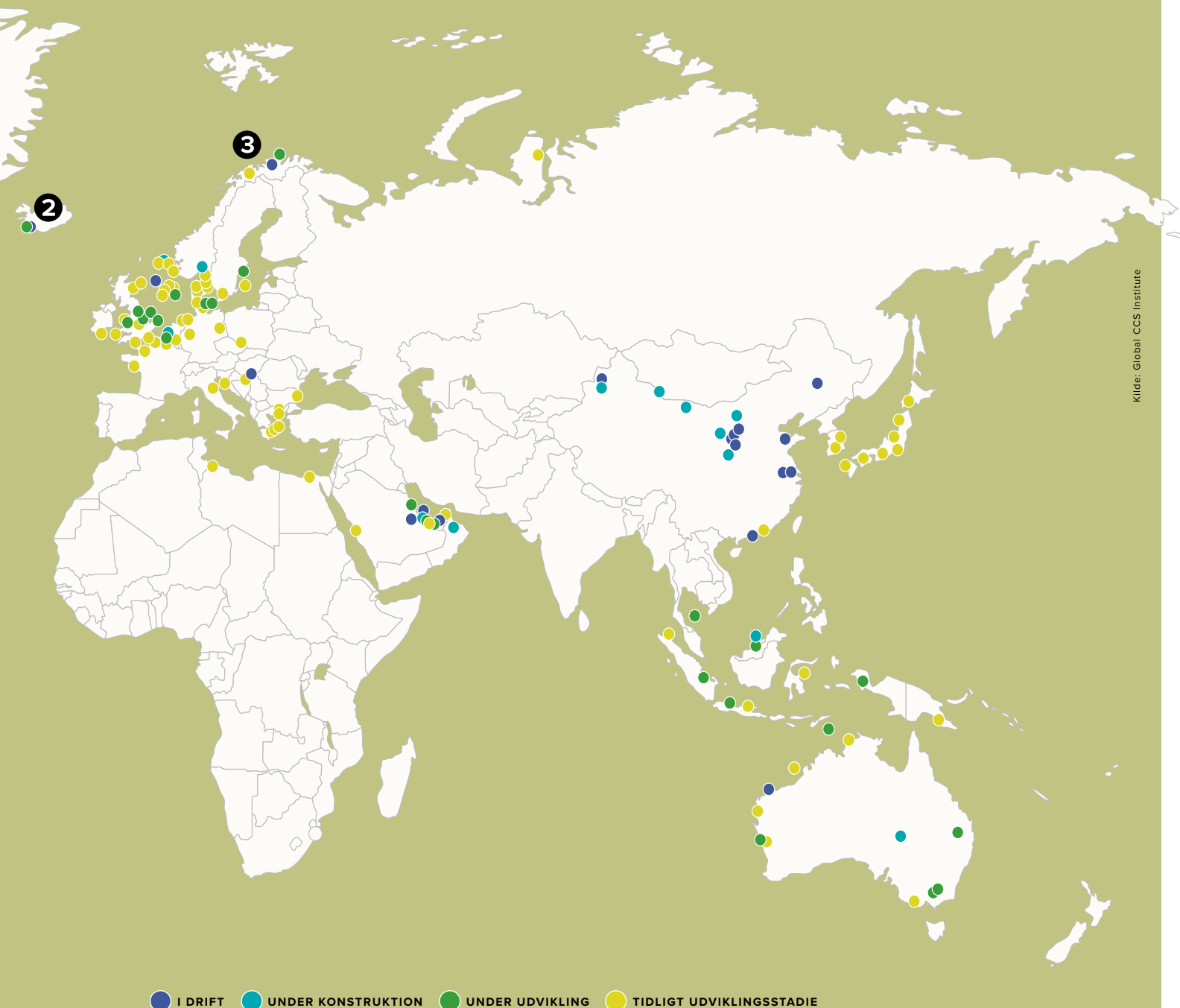
3 NORGE HAR GANG I UDVIKLINGEN



Foto: Equinor

Norge har indtil videre to storskalaanlæg til havs, Sleipner og Snøhvit. Begge er koblet til naturgasproduktion, hvor de filtrerer og genlagrer CO₂ fra den naturgas, der pumpes op. Sleipner blev indviet i 1996 og er det første

storskalaanlæg i verden bygget på havet. Derudover er en række store norske selskaber med støtte fra den norske stat i gang med projektet 'Northern Lights', hvor der bygges skibe og anlæg både på land (som på billedet herover) og til vands. Så kan nordmændene transportere og lagre endnu mere CO₂ under havets bund. Northern Lights begynder at lagre CO₂ i 2024 og forventer at kunne modtage 1,5 Mt (megaton per år).



geo viden

Udgiver: Geocenter Danmark

Ansvarshavende:
Anja Fonseca, GEUS

Redaktør og skribent:
Fie Krøyer Dahl, GEUS

Design: Lykke Sandal, GEUS

Korrektur:
Caroline Dea Rutter, GEUS

Forsideillustration: Lykke Sandal

Tryk: Strandbygaard

Eftertryk: Tilladt med kildeangivelse, videresalg ikke tilladt. Læs mere på geoviden.dk/copyright

Kontakt: geoviden@geus.dk

www.geoviden.dk

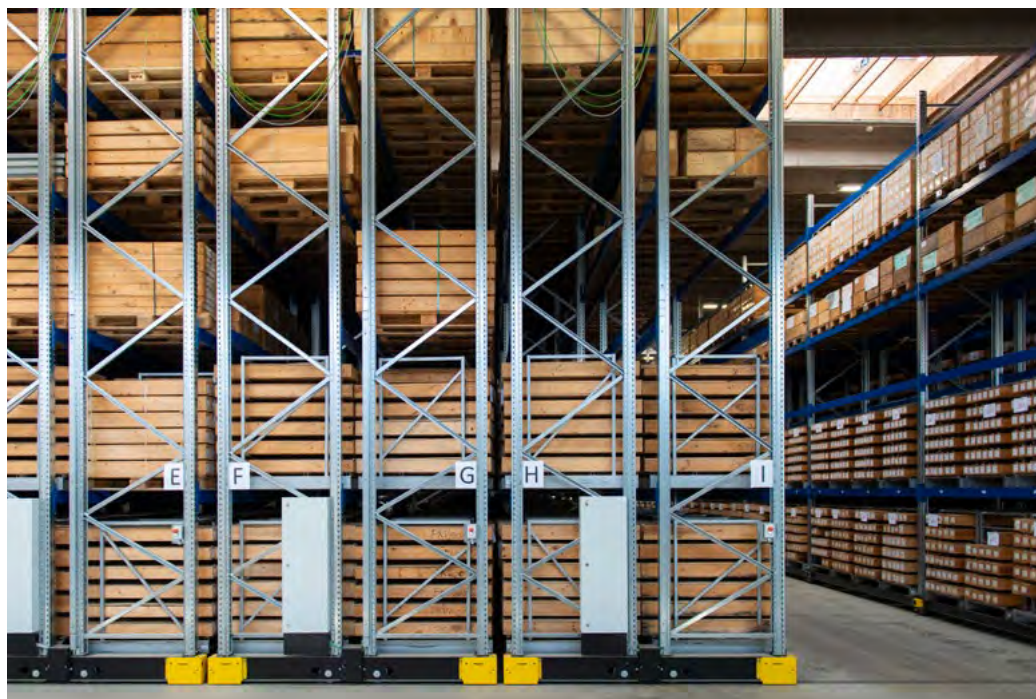
ISSN: 1604-6935 (papir)

ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

GEOCENTER DANMARK

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Der udkommer to blade og en plakat om året. Abonnement er gratis og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstramateriale, bl.a. video.

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.



 MERE PÅ GEOVIDEN.DK

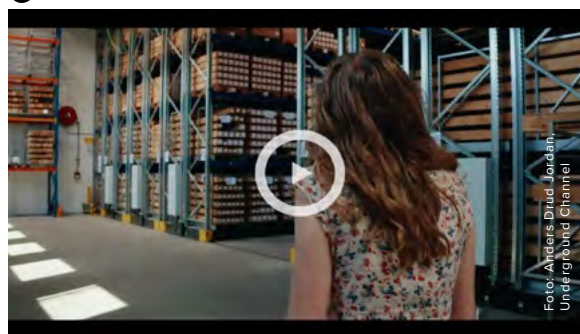


Foto: Anders Dind, Jordam
Underground Channel

KOM MED I UNDERGRUNDSARKIVET

I snart hundrede år er der blevet boret efter olie og gas i den danske undergrund. De mange års borer har givet os en stor del af vores viden om, hvad der er i undergrunden. Hver gang der bores, skal der nemlig tages prøver og foretages målinger, foreskriver Undergrundsloven. Prøverne (borekerne) opbevares i trækasser i Undergrundsarkivet hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Undergrundsarkivet fylder i dag en stor lagerhal. Kom med på lageret og hør, hvordan de arkiverede borekerner bliver brugt til at forske i CO₂-fangst og -lagring og andre dele af den grønne omstilling, i temavideoen på geoviden.dk/oliedanmark.



DE NATIONALE GEOLOGISKE
UNDERSØGELSER FOR DANMARK
OG GRØNLAND (GEUS)
www.geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB
OG NATURFORVALTNING (IGN)
www.ign.ku.dk

STATENS NATURHISTORISKE
MUSEUM (SNM)
www.snm.ku.dk



AARHUS
UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)
AARHUS UNIVERSITET
www.geo.au.dk