

CO₂-LAGRING



KOM MED I DYBDEN



GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND

CO₂-LAGRING ER EN DEL AF LØSNINGEN

Verden er midt i en klimakrise, og for at komme igennem den og imødekomme de store udfordringer, som globale klimaforandringer har medført, kræver det en omfattende grøn omstilling – ikke bare i Danmark, men over hele kloden.

En af mange løsninger, som skal bidrage til den grønne omstilling og være med til at imødegå klimaforandringer, er Carbon Capture and Storage, i daglig tale kaldet CCS. Ved at fange og lagre CO₂ i undergrunden kan den menneskeskabte udledning af drivhusgasser nedbringes, og her har Danmark et stort potentiale. Den danske geologi er nemlig velegnet som gaslager – og der er masser af plads. Derudover er der vigtige erfaringer at trække på, da Danmark i årevis har lagret naturgas i sandstensformationer dybt nede i jorden.

Det er blandt andet de mange års arbejde med at udvinde naturgas og olie i Nordsøen, som ligger til grund for den viden og teknologi, som der kan trækkes på, når der skal pumpes CO₂ ned i udvalgte områder rundt omkring i landet og i Nordsøens undergrund. I den forbindelse har sikkerhed højeste prioritet, og både før, under og efter etableringen af et lager vil myndighederne med forskellige metoder overvåge CO₂-lagrene og sikre, at drivhusgassen ligger, som den skal i undergrunden.

For at få sat ekstra skub i udviklingen af lagring af CO₂ i undergrunden i Danmark har regeringen og et bredt flertal i Folketinget besluttet, at der skal udføres undersøgelser af udvalgte steder, som potentielt egner sig til lagring. Efterfølgende laver Energistyrelsen en udbudsrunde, hvor private firmaer kan byde ind på at etablere og drive et CO₂-lager på land.

På de følgende sider kan du blandt andet blive klogere på, hvordan CO₂-lagring foregår, hvorfor det er vigtigt, og hvor langt vi er nået.

Rigtig god læselyst!



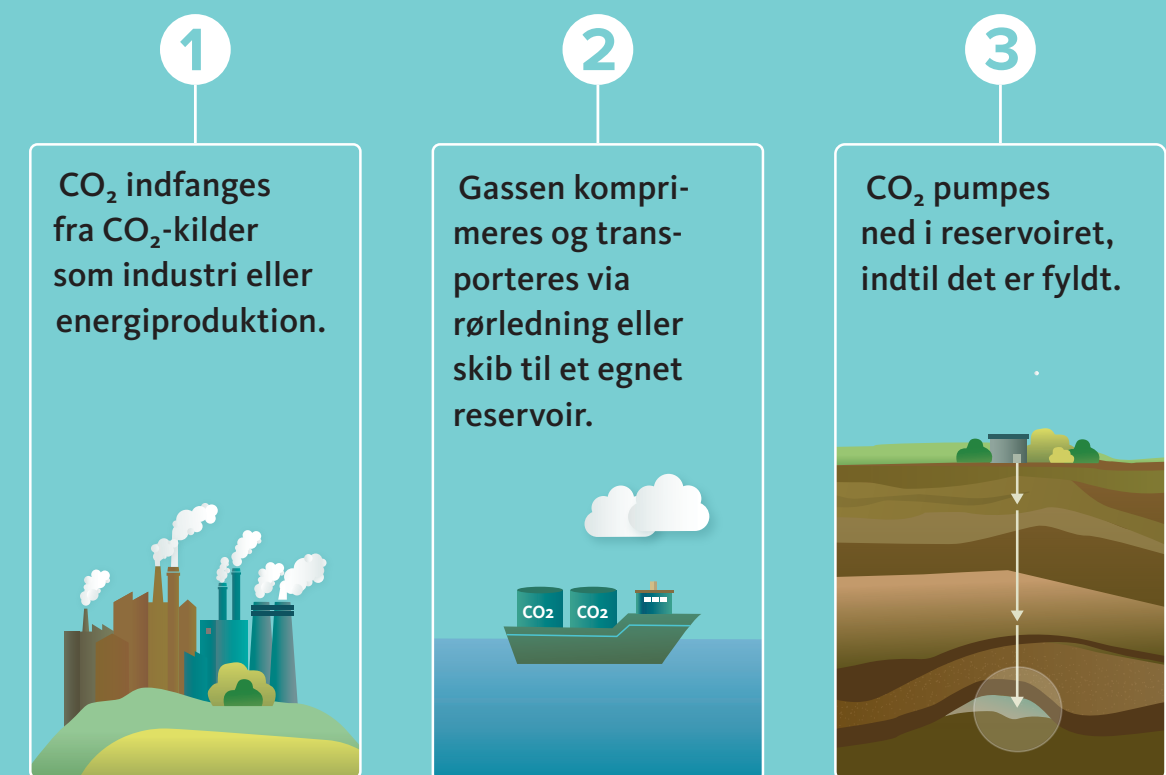
De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland (GEUS)

FORSTÅ CCS PÅ ET MINUT

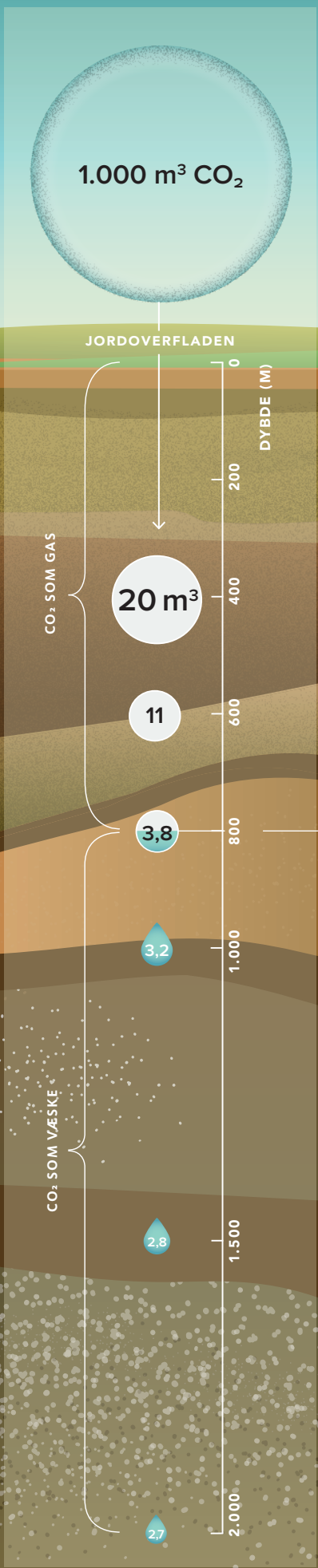
Lagring af gas i undergrunden er en teknik, som man har kendt til i mere end 30 år, blandt andet fra olie- og gasproduktion i Nordsøen. De erfaringer har vist, at man kan lagre gasarter sikkert i geologiske formationer, og den viden danner grundlag for, at både myndigheder og private aktører i dag arbejder på at lagre CO₂ dybt nede i jorden.

Helt forsimplet kan processen opsummeres i nogle få trin, som starter ved CO₂-kilden og ender i reservoirer i jorden.

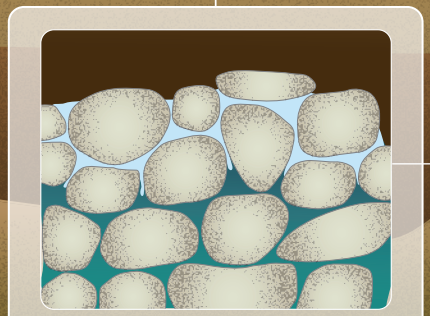
CO₂-lagring kaldes også for CCS – Carbon Capture and Storage.



SÅDAN FUNGERER CCS



CO₂ fordeler sig i porerummene i reservoiret



Selve reservoiret skal bestå af bjergarter med mange velforbundne pore-rum 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 velegnet bjergart at lagre CO₂ i. Et egnet reservoir består typisk af mindst 20 procent porerum.

CO₂ lagres i mindst 800 meters dybde

Reservoiret skal ligge i en dybde på mere end 800 meter, da CO₂ (på grund af højt tryk) fylder cirka 300 gange mindre i den dybde end på overfladen. På den måde kan der lagres store mængder CO₂ på mindre plads. Længere nede end 800 meter har CO₂ tyngde som en væske, men kan bevæge sig som en gas. Et CO₂-lager vil typisk ligge på 1-2,5 kilometers dybde.

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. På sigt vil man formodentlig primært etablere lagre på land, da det vil gøre det nemmere at opskalere CO₂-lagringen. En opskalering er nødvendig for at imødekomme klimamålene for reduktion af CO₂-udledning – hvilket er essentielt for at afbøde klimaforandringer.

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 næsten på samme måde, som olie og gas har ligget i undergrunden. CO₂ kan transporteres derud med skib eller gennem rørledninger.

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.

Ler holder CO₂ nede i undergrunden

Oven over sandstenen, som der pumpes CO₂ 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, som CO₂ kan lægge sig oppe under.

Minimum 20 meter

Minimum 50 meter

SEISMISKE UNDERSØGELSER KORTLÆGGER UNDERGRUNDEN

I 2021 vedtog et bredt flertal i det danske folketing en køreplan for lagring af CO₂. Den bestemte, at man skulle påbegynde undersøgelser af potentielle lokaliteter til CO₂-lagring i Danmark. Som et resultat af den beslutning har GEUS i løbet af 2022 og 2023 indsamlet nye seismiske data i Jammerbugt og fem områder på land: Gassum og Thorning i Jylland, Rødby på Lolland og Stenlille og Havnsø på Sjælland.

Seismiske undersøgelser er en form for skanning af undergrunden, hvor man

bruger lydbølger til at kortlægge de dybere geologiske strukturer. Til havs laver man lydbølgerne ved hjælp af en luftkanon, som trækkes efter et skib. På land kan man lave lydbølgerne med mini-lastbiler, som udsender vibrationer ved hjælp af et stempel.

HENSYN TIL MENNESKER OG DYR

Der er meget at tage hensyn til, når man skal lave en seismisk undersøgelse på land eller i kystnære havområder. På land må man nogle steder omdirigere trafikken og nedsætte styrken på

vibrationerne nær ældre huse for at undgå skader. Til havs må man tage hensyn til fiskeri og øvrig skibstrafik og udføre undersøgelserne, så man ikke generer havpattedyr som f.eks. marsvin, der er fredede.

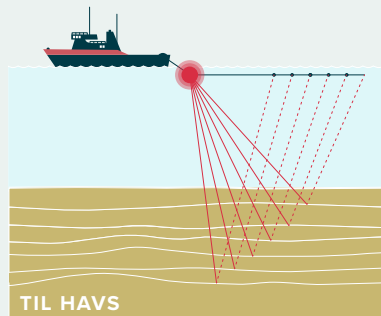
Både på land og til havs må man undgå naturbeskyttelsesområder og på forhånd vurdere, om lokal natur eller dyreliv vil blive påvirket negativt af undersøgelserne.



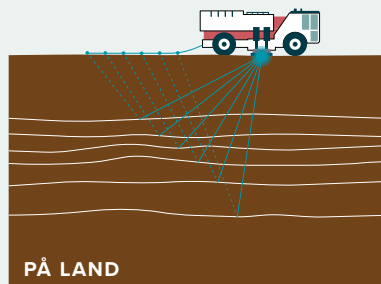
Energistyrelsen og GEUS har holdt borgermøder og besøgsdage – som her, hvor GEUS lavede seismiske undersøgelser ved Gassum – hvor lokalbefolkning og erhvervsdrivende, f.eks. fiskere, i de undersøgte områder kunne få mere at vide om CO₂-lagring. Til borgermøderne har GEUS' eksperter blandt andet fortalt om den lokale geologi, om teknologierne, der anvendes, og om processen, der leder op til, at der kan oprettes CO₂-lagre. En del af mødet handler desuden om lovgivning.

I de kommende år vil der sandsynligvis blive lavet yderligere seismiske undersøgelser af områder i Danmark med potentiale for at lagre CO₂ eller for at producere geotermisk energi, og i den forbindelse vil der løbende blive afholdt borgermøder, hvor borgere og eksperter får mulighed for at mødes.

LYDBØLGER OPFANGES MED SÆRLIGE HØJTTALERE



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.



En mini-lastbil udsender lydbølger ved hjælp af vibrationer fra et stempel. 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.



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.

STENLILLE GASLAGER:

HER LAGRES BÅDE NATURGAS OG CO₂

I Danmark er der blevet lagret naturgas i geologiske formationer i undergrunden i flere årtier, og det er netop de erfaringer, som forskere, myndigheder og virksomheder kan trække på, når det handler om at lagre CO₂.

Det statsejede selskab Gas Storage Denmark arbejder i øjeblikket på at etablere det første storskala-CO₂-lager på land i Europa. Det kommer til at ligge ved siden af Stenlille Gaslager 70 kilometer sydvest for København, hvor Gas Storage Denmark har lagret naturgas siden starten af 1990'erne. Her bliver naturgasen 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 gør det oplagt, at området omkring Stenlille Gaslager bliver det første sted, hvor der pumpes store mængder CO₂ ned.

Der vil kunne lagres op mod otte millioner ton CO₂ i undergrunden ved Stenlille nordøst for det område, som bruges til lagring af naturgas. Målet er at have en lagerfacilitet i drift allerede i 2026.

MASSIV FORSEGLING

I Stenlille lagres naturgas i mere end 1500 meters dybde i en porøs sandsten. Sandstenen blev aflejret for 200 millioner år siden i et kystnært miljø. Den

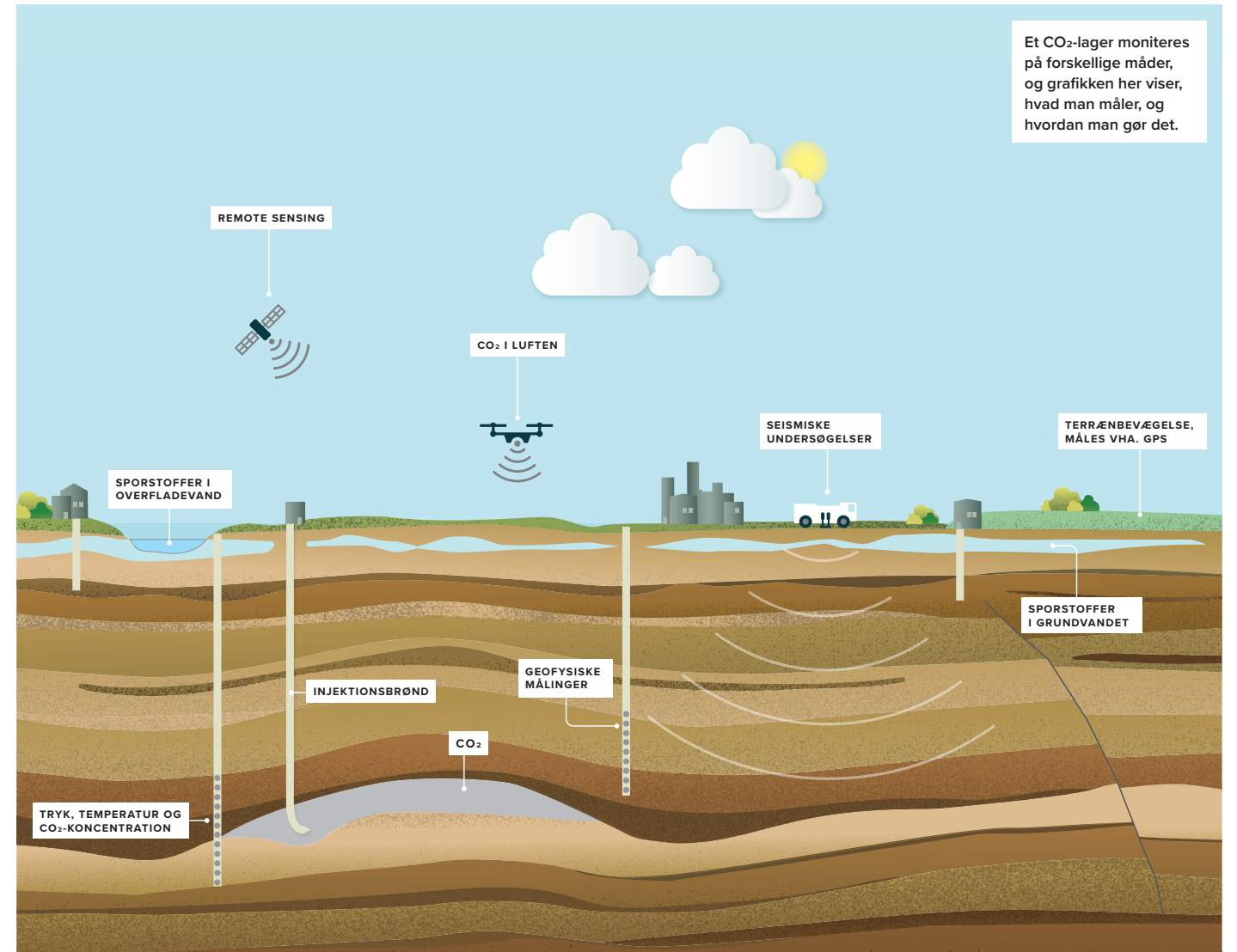
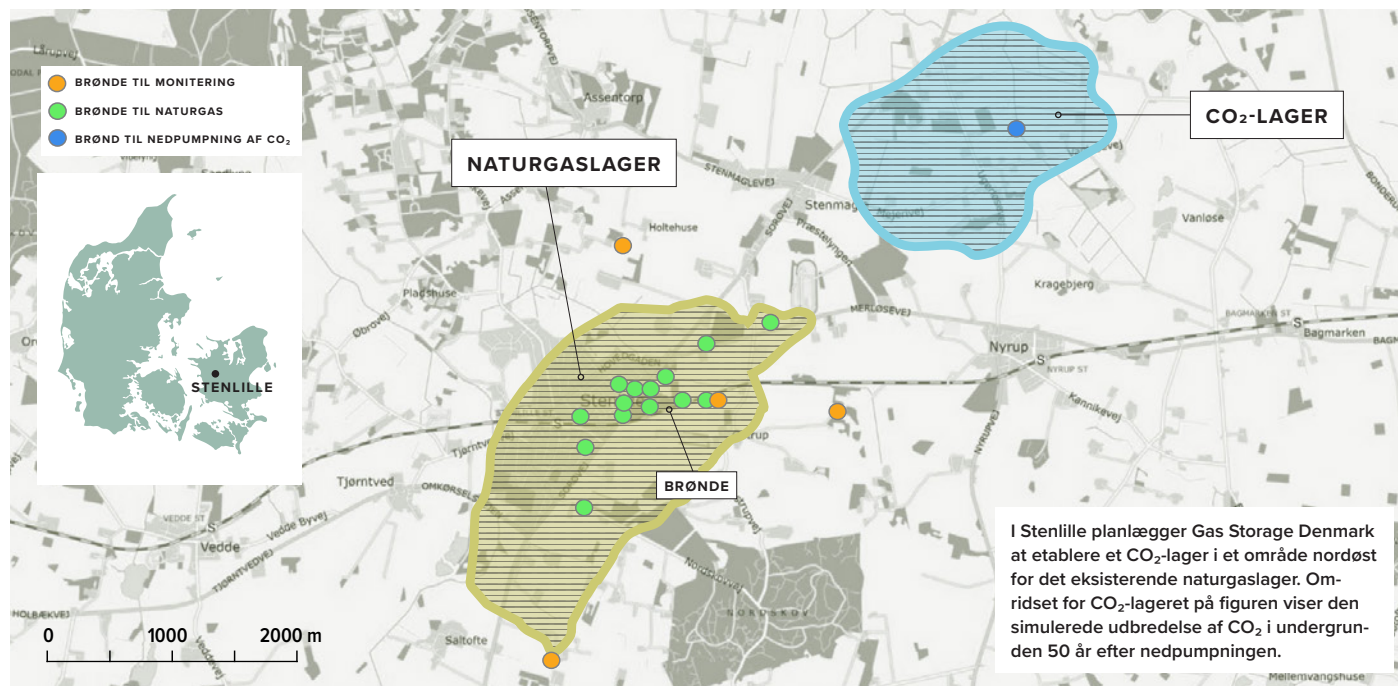
veksler med lag af lersten i en formation, som i alt er cirka 150 meter tyk.

Sandstensformationen er forsejlet med et overliggende tæt lag af lersten, som med sine cirka 300 meter er omtrent dobbelt så tykt som laget af sandsten. Herover er der en kilometer kalksten, der virker som et sekundært segl på lageret.

De geologiske lag af sandsten og lersten buler lidt op, som en omvendt skålforn, og det er med til at sikre, at CO₂'en, som er lettere end det eksisterende saltvand i undergrunden, ikke trænger ud til siderne eller siver op mod overfladen (se figuren på side 4-5).



Et CO₂-lager synes ikke af meget på overfladen. Nedpumpningen foregår i en bygning på størrelse med en almindelig garage, og uden om vil der være et afgrænset område omtrent på størrelse med en fodboldbane.



Et CO₂-lager monitoreres på forskellige måder, og grafikken her viser, hvad man måler, og hvordan man gør det.

GRUNDIG MONITERING ER VIGTIG

Når man lagrer CO₂ i undergrunden, er det et krav fra myndighederne, at operatørerne laver en grundig monitoring af området både før, under og efter, CO₂'en er blevet pumpet ned. Efter CO₂-lageret er taget i brug, er den løbende monitoring afgørende for at vide, præcis hvor i lageret CO₂'en befinder sig, og for at dokumentere, at der ikke sker udslip. CO₂ er en naturligt forekommende og ikke-brandbar gas, som kan indfanges og

lagres sikkert, når det gøres med omhu og teknisk ekspertise. Monitoring er en vigtig del af dette.

FORSKELLIGE METODER KOMBINERES
Et CO₂-lager vil altid være på mindst 800 meters dybde, og monitoringen foregår derfor både dybt nede i undergrunden, men også nær jordoverfladen. For at være sikker på, at man får lavet monitoringen godt nok, kombinerer man

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

Figuren ovenfor viser nogle af de metoder, som bruges til at monitorere et CO₂-lager.

DANMARK HAR GEOLOGIEN TIL CO₂-LAGRING

Danmarks undergrund egner sig rigtig godt til at lagre CO₂, og det giver mening at udnytte det store potentiale dybt nede i jorden. CO₂-lagring afbøder nemlig udledningen af den skadelige drivhusgas og bidrager til den grønne omstilling.

Klimaforandringer tvinger os til at finde løsninger på de problemer, der er opstået i kølvandet på århundreders industrialisering og intens udnyttelse af Jordens ressourcer. En af de løsninger er at lagre drivhusgassen CO₂ i undergrunden, og der har vi i Danmark et rigtig godt kort på hånden, som kan bidrage til den grønne omstilling. For dybt nede under os er sammensætningen af undergrunden helt perfekt til at opbevare gas, så den ikke bliver udledt til atmosfæren. Og det kan vi ifølge Nina Skaarup, som

er statsgeolog ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), godt være glade for.

”Vi er superheldige, fordi Danmark har en allertidens geologi til CO₂-lagring. Man skal have porøse sedimente som f.eks. sandsten for at kunne lagre CO₂, med et tykt, tæt lerlag ovenover, der kan holde på gassen, og den kombination er der mange steder i Danmarks undergrund.”

Der er altså et stort potentiale for at etablere CO₂-lagre i den danske undergrund, både på land og til vands. I foråret 2023 blev CO₂ for første gang pumpet ned i et undersøisk reservoir i den danske del af Nordsøen. Det samme skal nu ske på land og i kystnære havområder, hvor GEUS har lavet omfattende seismiske undersøgelser for at kortlægge, hvor det vil være mest oplagt at placere CO₂-lagre.

HENSYN TIL GRUNDTVAND

Indtil videre er otte steder blevet udpeget og undersøgt nærmere af GEUS. Den uafhængige forskningsinstitutions opgave har været at sikre sig, at der henholdsvis er plads nok, at den geologiske struktur har den rette form, og at det forseglende lag ovenover er tykt nok.

”De ting skal være i orden, så vi ved, at CO₂'en bliver dernede,” understreger Nina Skaarup.

I en udbudsrunde, hvor Energistyrelsen udbyder licenser til at oprette CO₂-lagre, kan private operatører byde ind på rettighederne til at etablere og drive lagre i de undersøgte områder. Når licenserne er uddelt, skal områderne undersøges endnu grundigere. Lagringen af CO₂ skal ske under hensyntagen til omgivelserne, og en af de vigtige

MULIGE LAGRINGSSTRUKTURER

STRUKTURER, SOM GEUS HAR UNDERSØGT

0 50 100 KM

opgaver, som operatørerne påtager sig, er at sikre, at CO₂'en ikke siver op til overfladen eller forurener grundvandet.

Selve lageret skal være på mindst 800 meters dybde, så der er tykke geologiske formationer mellem den lagrede CO₂ og det dybeste grundvand, som typisk er på 100 meters dybde.

STORT POTENTIALE

GEUS estimerer, at der i den danske undergrund vil kunne lagres CO₂ i mængder, der svarer til flere hundreder års udledning, hvis niveauet for Danmarks udledning forbliver, som det er nu. Da vi har så meget lagringsplads, kan vores nabolande faktisk eksportere deres CO₂ til os, og der vil stadig være plads til vores eget.

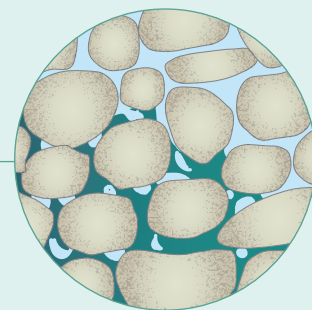
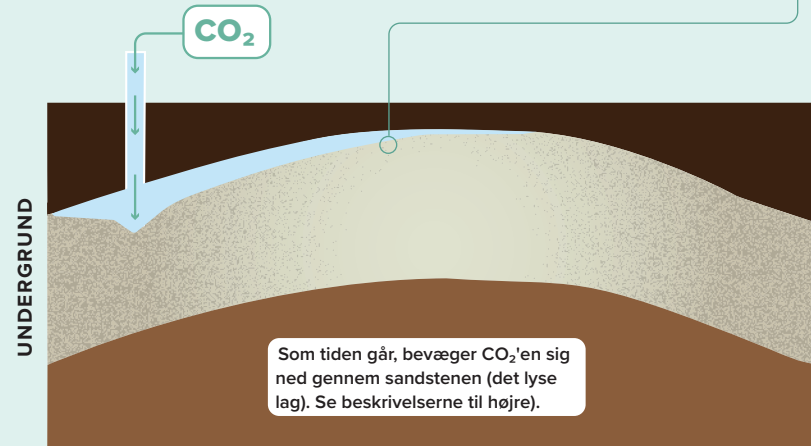
Det giver ifølge Nina Skaarup god mening at importere CO₂, da det politiske mål er at nedbringe CO₂-udledning globalt:

”Det vil være til gavn for os alle, for selvom vi måler CO₂-udledning fordelt på lande, så kender klimaforandringerne ikke til landegrænser,” slutter hun.

Kortet her viser, hvor i Danmark der vil kunne lagres CO₂, og hvilke strukturer der i første omgang er blevet udvalgt.

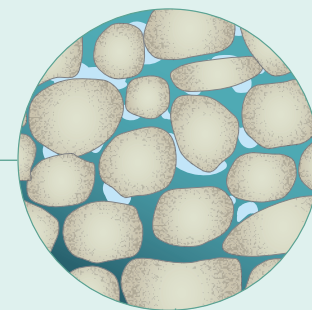
HVAD SKER DER MED CO₂ I ET UNDERJORDISK RESERVOIR?

Når CO₂ pumpes ned i et reservoir af sandsten, vil det fordele sig i små porerum mellem kornene i sandstenen. CO₂ er lettere end det saltvand, der i forvejen er mellem sandkornene, så gassen vil stige opad gennem sandstenslaget, indtil den når det forseglende lag af f.eks. lersten. Reservoiret kan altså ses som en omvendt skål, der fyldes oppefra.



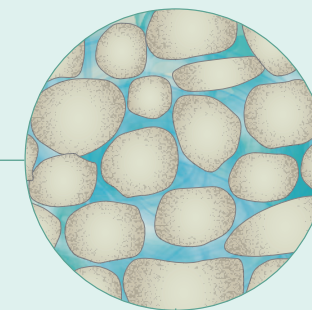
SOM EN BEVÆGELIG SKY

Geologisk lagring af CO₂ svarer til den måde, hvorpå olie og gas fra naturens side har været lagret i undergrunden i millioner af år. I sandsten vil størstedelen af CO₂'en blive ved med at være bevægelig, som en sky af komprimeret gas, og reservoiret skal derfor være forsejlet af et tæt lag, som kan sikre, at CO₂'en bliver dernede.



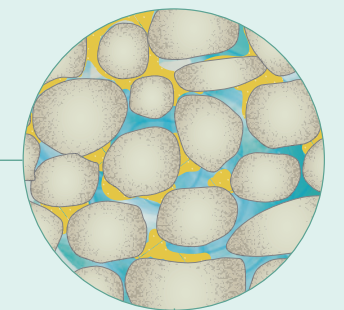
FANGET I PORERUM

På vej mod reservoirets top bliver en del af CO₂'en fanget, fordi nogle af porerummene 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 sandstens egenskaber. Processen sker over årtier, for CO₂'en bevæger sig kun langsomt gennem reservoiret mod toppen.



OPLØST I VAND

Nede i reservoiret møder CO₂'en det saltvand, som er i porerummene, 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, og 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.



MINERALISERET I BJERGART

CO₂ kan reagere med visse mineraler i den bjergart, som reservoiret består af. 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 dog kun lidt mineralisering, og det er en meget langsom proces, der foregår over hundreder til tusinder af år.

VÆRD AT VIDE OM CCS

Hvorfor skal vi lagre CO₂, og hvordan fanger vi det? Og hvor meget CO₂ er der egentlig plads til i den danske undergrund? Det kan du få svar på her.



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.



LAGRING I UDBUD

Energistyrelsen har i december 2023 åbnet en licensrunde for de fem undersøgte områder på land, hvor der på sigt vil kunne etableres CO₂-lagre. Områderne ligger ved Stenlille og Havnsø på Sjælland, Rødby på Lolland og Gassum og Thorning i Midtjylland.



FANG DRIVHUSGASSEN

Før man pumper CO₂ ned i undergrunden, skal den bogstavelig talt fanges, og det sker primært på to måder. Den ene er ved kemisk rensning af røggasser fra forbrænding, f.eks. fra industri- og energianlæg, hvor røggassen har en høj CO₂-koncentration. Den anden er ved såkaldt opgradering af biogas, hvor man med forskellige teknologier fjerner CO₂'en fra biogassen og derefter indfanger den.

GEUS vurderer, at der i den danske undergrund er potentiale for at lagre mellem **12 og 22 milliarder tons CO₂**. Det er flere hundrede gange Danmarks CO₂-udledninger på det nuværende niveau.



NEGATIVE UDLEDNINGER

Hvis vi skal opnå de CO₂-reduktioner, der skal til for at begrænse temperaturstigningerne, så de ikke overstiger de anbefalede 1,5 grader, skal vi have fokus på såkaldte negative udledninger – det vil sige teknologier, der fjerner CO₂ fra atmosfæren. Her spiller CCS en vigtig rolle, og 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 udledningen af CO₂.

UDGIVET AF DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS), DECEMBER 2023