

CO₂-lagring i Danmark

- geologiske aspekter

Naturligt forekommende CO₂ bobler op fra undergrunden i Eifel-området i Tyskland. CO₂'en frigives fra et magmakammer, der nedkøles under området. (Foto: Karen Lyng Anthonsen, GEUS)

Karen Lyng Anthonsen, GEUS, Ann Troelsgaard Sørensen og Niels Peter Christensen, Vattenfall

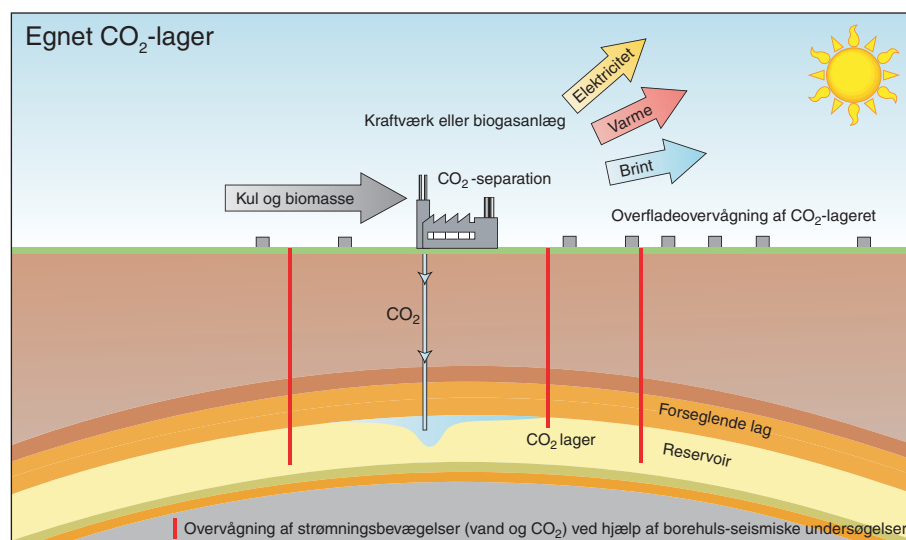
Stor international fokus på klimaforandringer har fået mange lande til at overveje, hvordan de bedst muligt reducerer deres udledning af drivhusgasser. Ifølge FN's klimapanel haster det med at få reduceret især udledningen af CO₂ for at begrænse skaderne forårsaget af en global temperaturstigning. Danmark har sammen med de øvrige EU lande forpligtiget sig til at reducere udledningen af CO₂ med 8 % i forhold til niveauet i 1990, i perioden fra 2008 til 2012. Danmarks nationale mål er 21 % reduktion. Men hvilke muligheder har vi så for at nå vores mål?

En af de muligheder, der arbejdes med mange steder i verden, er at lagre CO₂ fra store CO₂-udledere, som kraftværker og tung industri, i undergrunden. Metoden forkortes ofte CCS, som står for *Carbon Capture and Storage*. Den hyppigst foreslåede metode er at fjerne CO₂ fra røggassen (Post Com-

bustion) og via rørledninger eller skib at transportere den indfangede CO₂ til et egnet geologisk lager i undergrunden.

For at kunne lagre CO₂ i undergrunden og være sikker på, at det bliver der i en lang periode, er der flere forhold, som skal være opfyldt. Laget skal have en god porøsitet, hvilket i langt de fleste tilfælde vil sige sandsten eller kalkbjergarter. Laget skal ligge i minimum 800 meters dybde, da CO₂

ved et tryk på ca. 80 bar bliver en superkritisk væske. Det betyder, at gassen har densitet som en væske, men viskositet som en gas. CO₂ på superkritisk form fylder mindre end 1 % af, hvad den gør som gasart, og den bevæger sig lettere i gennem rørsystemer og geologiske lag. Den superkritiske CO₂ har en lavere densitet end formationsvandet og vil stige opad efter injektion. Så for at en formation er egnet til CO₂-lagring, skal



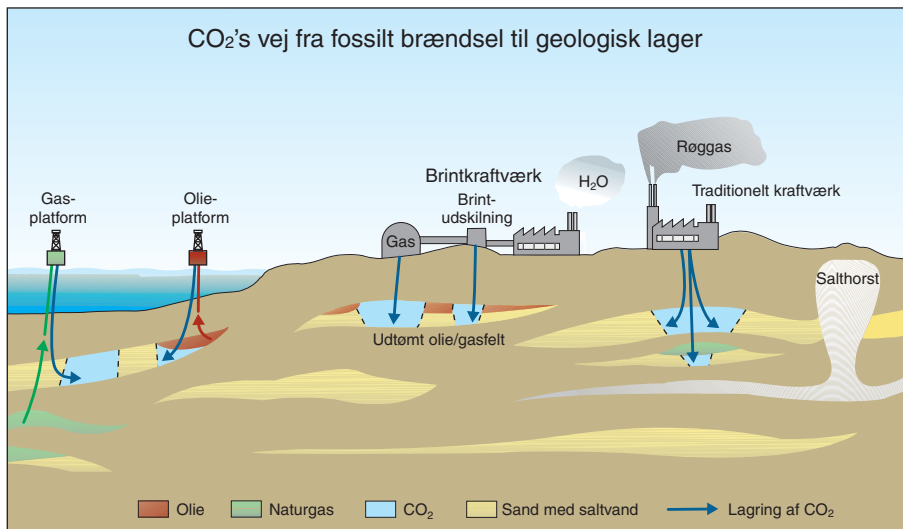
Kraftværket udskiller CO₂ fra røggassen og pumper CO₂ ned i undergrunden. (Kilde: GFZ Potsdam, grafik: GEUS)

den derfor være dækket af et impermeabelt lag, fx ler der kan fungere som segl (figuren nederst på foregående side).

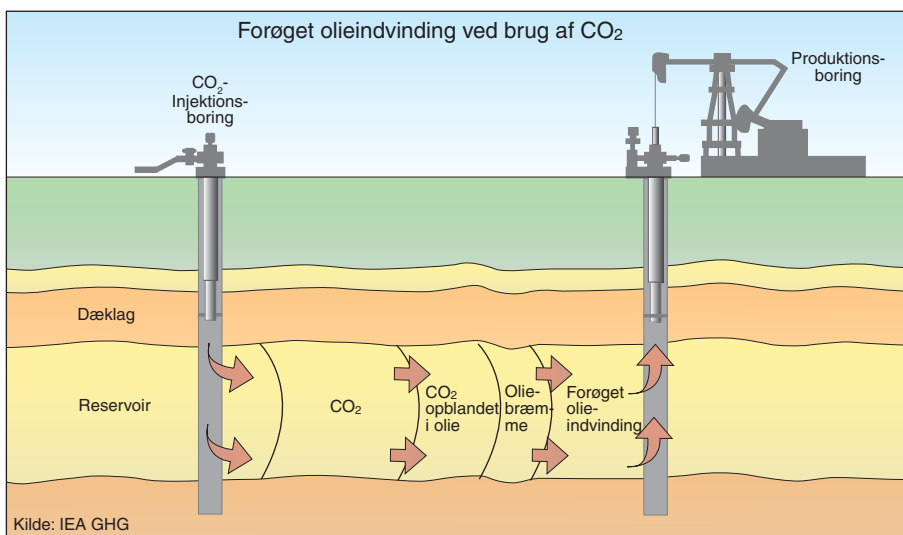
Lagringsmuligheder

Mange forskningsprojekter i ind- og udland har konkluderet, at de mest interessante geologiske formationer til CO₂-lagring er dybtliggende saline akviferer (vandførende lag), udtømte olie- og gasfelter samt kullag (figuren øverst til højre). Det største potentiale for CO₂-lagring har de saline akviferer. Saline akviferer er porøse sedimentære lag, der indeholder salt formationsvand, og det vil i langt de fleste tilfælde være sandsten eller kalkbjergarter. Saline akviferer har et stort lagringspotentiale, fordi de er hyppigt forekommende og ofte har en stor regional udbredelse. Til gengæld har man ikke så mange geologiske oplysninger om dem, da de traditionelt ikke har været interessante i kommerciel sammenhæng. Dette har dog til dels ændre sig inden for de sidste par årtier, hvor de saline akviferer også betragtes som en geotermisk ressource.

I områderne omkring olie- og gasfelterne ved man rigtigt meget om geologien, men ofte ligger felterne langt fra de store CO₂-kilder. Undtagelsen er, når overskydende CO₂ fra olie-gas-produktion reinjiceres i nærtliggende strukturer. Da Statoil i 1990'erne startede gasproduktionen fra Sleipner-feltet, indeholdt gassen 9 % CO₂. For at imødekomme salgsspecifikationerne på naturgassen var man nødt til at fjerne en del af CO₂-indholdet. Statoil besluttede derfor at bygge et separationsanlæg i forbindelse med produktionsplatformen. Processen reducerer CO₂-indholdet fra ca. 9 % til 2,5 %. Af miljømæssige og kommercielle hensyn valgte Statoil at lagre den overskydende CO₂ i Utsira Formationen 1.000 meter under havbunden. Utsira Formationen er en salin akvifer, der er dækket af 200-300 meter plastisk ler. Projektet har været nøje overvåget med seismiske undersøgelser af lageret, både før og efter lagringen tog sin begyndelse i 1996 (figuren nederst til højre).



Der er flere muligheder for at lagre CO₂. De mest interessante er dybtliggende saline akviferer, udtømte olie- og gasfelter, eller olie-felter hvor CO₂ kan bruges til at drive mere olie ud af reservoiret. (Grafik: GEUS)



CO₂ pumpes ned i et oliereservoir. CO₂ fortynder olien og får den til at flyde lettere mod produktionsbrønde. (Kilde: Saskatchewan Energy and Mines, grafik: GEUS)

Oprindeligt blev CO₂-injektion og senere CO₂-lagring påbegyndt, fordi der var god

økonomi i det. I USA og Canada har man siden 1970'erne brugt CO₂-injektion til at

Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Tørboring
- Luftslylleboring
- Skylléboring

- ring og hør nærmere...

POUL CHRISTIANSEN A/S
Brøndborer- & Ingeniørfirma
 7840 Højslev
 Tlf. 97 53 52 22

100 år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...

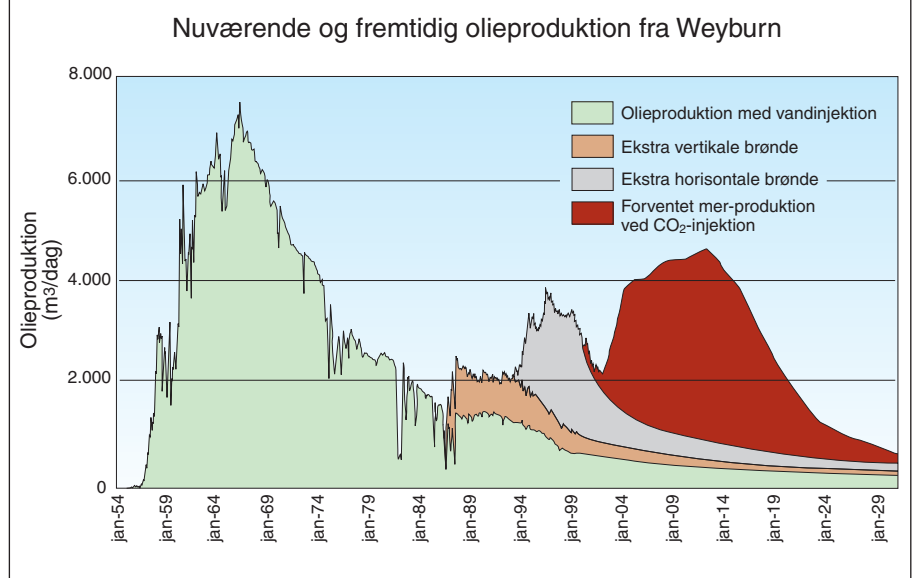
øge olieindvindingsgraden i næsten udtømte olieletter. Når CO₂ pumpes ned i olieletter, opløses den i olien. Oliens viskositet nedsættes, og mere olie frigives fra reservoiret (figuren nederst på foregående side). Erfaringen fra eksisterende projekter viser, at der kan udvindes mellem 8 og 16 % mere olie med denne metode (figuren øverst på denne side). Metoden betegnes også EOR (Enhanced Oil Recovery).

Hovedparten af den olie og gas, der produceres i Danmark, udvindes fra højporøse, men lavpermeable kalkfelter, hvor den effektive udvindingsgrad er lav, mindre end 1/3 af den tilstedeværende olie i feltet udvindes med traditionelle metoder. Muligheden for at bruge EOR er oplagt, men endnu ikke endeligt undersøgt.

En anden mulighed er at lagre i udtømte gasfelter, som allerede har bevist, at de kan holde gasser fanget i millioner af år, hvorfor det er oplagt at udnytte disse felter til CO₂-lagring.

CO₂-lagring i Danmark

I 2004 afsluttedes det EU-financierede forskningsprojekt *GESTCO* (Geological Storage of CO₂), hvis formål var at kortlægge CO₂-lagringsmulighederne i EU. Resultatet af den danske del af projektet viste, at de geologiske forhold på land og i de kystnære områder er meget gode for CO₂-lagring. Man har i rapporten vurderet, at der i Danmark kan lagres 17 milliarder tons CO₂ fordelt på 11 geologiske strukturer. Dette skal sammenholdes med, at der i Danmark findes 10 store punktkilder (primært kraft-varmeverker). Disse 10 CO₂-kilder udleder tilsammen ca. 21 millioner tons CO₂



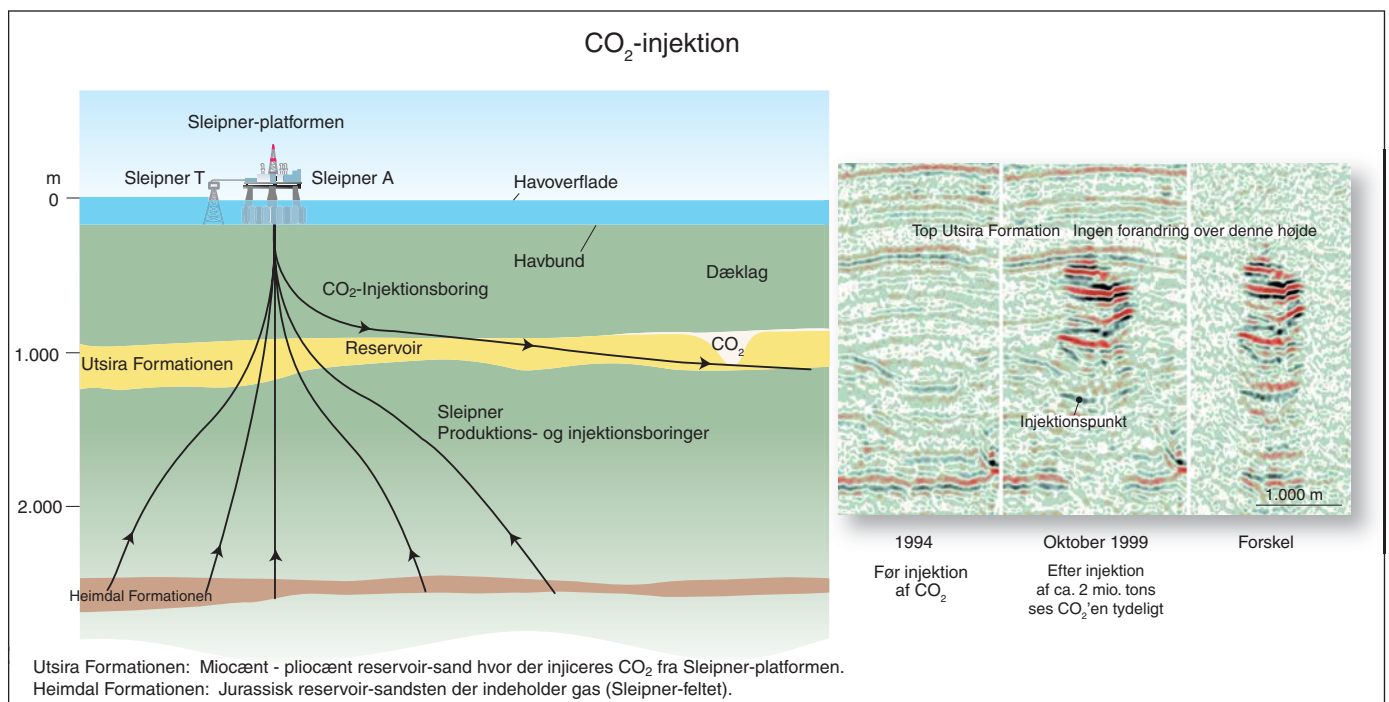
Det røde område viser den forventede mer-produktion ved brug af EOR i Weyburn-feltet i Canada. Den viste produktionsperiode er fra januar 1954 til januar 2029. (Kilde: EnCana Corp/IPCC 2002, grafik: GEUS)

per år. På baggrund af disse beregninger har Danmark plads til over 800 års CO₂-udledning fra de 10 største punktkilder.

Den formation, der har det største potentiale for CO₂-lagring, er den øvre triassiske - nedre jurassiske Gassum Formation. Formationen er udbredt i den største del af landet bortset fra en mindre del af Midt- og Sydjylland og det meste af Fyn. Gassum Formationen består primært af kyst- og deltasand aflejret i et lavvandet hav. Aflejringen er sket under indsynkning og har derfor givet ophav til marine sandsten, der i størstedelen af udbredelsesområdet når tykkelser

på over 100 meter. Reservoiregenskaberne er beskrevet som excellente med porøsiteter på 18-27 % og permeabiliteter på op til 2.000 mD (millidarcy (mD) – et mål for gennemtrængelighed – (1 darcy ≈ 10⁻¹²m²)).

Et andet velegnet reservoir er den nedre triassiske Bunter Sandsten Formation, som findes i de sydlige og østlige dele af landet. Bunter-sandstenen er dannet i et ørkenmiljø med klitter og periodiske floder. Bunter-sandstenen har kendte porøsiteter på op til 0-24 % og permeabiliteter på 10-100 mD og har altså ikke helt så gode reservoir-egenskaber som Gassum.



Fra Sleipner-feltet i Norge indvindes gas fra Heimdal Formationen. For at overholde salgsspecifikationerne skal gassens indhold af CO₂ reduceres fra 9 % til 2,5 %. På en ubemandet naboplattform fjernes CO₂ fra gassen, og CO₂'en pumpes ned i Utsira Sand Formationen, der ligger over den formation, hvorfra gassen indvindes. (Kilde: Statoil, grafik: GEUS)

Muligheder for at lagre CO₂ afhænger ikke kun af reservoirets egenskaber, men også af tilstedeværelsen af en forseglende bjergartsenhed. I Danmark består de geologiske formationer med potentiale som seglbjergarter af marine lersten, som dækker store dele af det danske område i flere stratigrafiske niveauer. Den vigtigste af dem er Fjerritslev Formationen, som ligger direkte over Gassum Formationen og stort set har samme udbredelsesområde. Fjerritslev Formationen består af marin lersten aflejret i et lavvandet hav og opnår typisk tykkelse på mellem 100-500 meter og udgør formentlig et godt segl.

Derudover dækkes størstedelen af Danmark af et op til flere kilometer tykt lag af kalkbjergarter aflejret i Kridt-Danien. I de områder kalklaget findes, vil det danne et sekundært segl. Skulle der ske lækage fra CO₂-lageret, og hvis CO₂'en når kalklaget, vil den svage kulsyre opløse noget af kalken, men samtidigt blive neutraliseret.

CO₂ i reservoiret

Når man lagrer CO₂ i akviferer eller olie-gasfelter, bliver CO₂'en delvist opløst i porø vandet. Ved kontakt med vandet dannes en svag syre, kulsyre. De fleste bjergartsdannende mineraler kan reagere med CO₂ ved de tryk- og temperaturforhold, der forventes at være i lageret. Både silikater og karbonater kan enten opløses eller udfældes.

Viden om, hvad der sker, når man injicerer CO₂, har man fra EOR-projekterne, laboratorieforsøg og undersøgelser af naturlige CO₂-forekomster. Forsøg med kalkbjergarter, der har været udsat for CO₂-injektion, viser varierende resultater. Prøver fra ét sted viser begrænset opløsning uden effekt på den mekaniske stabilitet, mens prøver fra andre steder viser omfattende opløsning og påvirkninger af bjergartsstabiliteten. Det skyldes sandsynligvis variationer i mineral-sammensætning og de specifikke kemiske forhold i lageret.

I sandstenreservoirer cementeret med karbonater ser man stort set de samme resultater som for kalkbjergarterne, men her sker der primært en opløsning af karbonatcementen med ændring af bjergartsstabiliteten som følge. I sandsten uden karbonatcement vil der ske en opløsning af feltspat og FeMg-silikater og udfældning af lerminerale, karbonater og i nogle tilfælde zeolitter. Udfældes der mineraler i lageret, vil CO₂'en være permanent bundet i undergrunden.

Konklusionen er, at undersøgelsen af et potentielt lageregnethed for CO₂-lagring skal simulere de fysiske og kemiske forhold i reservoiret bedst muligt, for at man kan give et kvalificeret bud på, hvad der sker med bjergarten, når CO₂ lagres.

Fuldskala CCS-demonstrationsprojekt

For at det skal være rentabelt at benytte CO₂-lagring, skal prisen for at lagre være sammenlignelig med prisen for at købe kvo-

I Eifel-området i Tyskland kan man se den naturligt forekommende CO₂ boble op. CO₂-brønden er et yndet udflugtsmål for områdets turister. (Foto: Karen Lyng Anthonen, GEUS)



ter. I forbindelse med CO₂-lagring bruges omtrent 2/3 af merudgiften ved processen til den del, der udskiller CO₂, mens resten går til transport og lagring. Der arbejdes derfor intensivt på at bringe udgiften til CO₂-separation ned bl.a. ved at optimere separationsprocesserne. Danmark er i den forbindelse vært for et pilotanlæg placeret ved DONG Energy's kraftværk i Esbjerg og finansieret af EU-projektet CASTOR.

Vattenfalls tre kraftværker i Danmark udleder samlet omkring 6 mio. tons CO₂ årligt, hvoraf ca. 1,8 mio. ton stammer fra Nordjyllandsværket, som ligger øst for Ålborg. Derfor er Vattenfall for øjeblikket i fuld gang med planlægningen af et fuldskala CCS-demonstrationsprojekt, som man ønsker skal stå klart og idriftsat i løbet af 2013. Projektet omfatter hele CCS-værdikæden; fuldskala CO₂-separation fra røggassen på Nordjyllandsværket blok 3, og derfra rørtransport af CO₂ til et egnet lager og endelig selve lagringen.

Man har via borer og seismiske undersøgelser fra henholdsvis 50'erne og 70'erne kendskab til en struktur i området nær Vedsted i Nordjylland, som formentlig vil være egnet til CO₂-lagring. Strukturen er særligt interessant, fordi den ligger tæt på CO₂-kilden, kun ca. 25 km vest for Nordjyllandsværket.

På baggrund af de eksisterende undersøgelser er den forventede lagerkapacitet vurderet til at være omkring 100 mio. tons CO₂. Det vurderes således, at der er rigelig lagerkapacitet til både Nordjyllandsværket og et andet CO₂-udledende anlæg i området. Man har planlagt nye 2D-seismiske under-

søgelser i efteråret 2008. Skulle disse undersøgelser give positive resultater og bekræfte antagelserne om Vedsted som en egnet undergrundslager, vil man efterfølgende, formentlig i løbet af 2009, lave borer og strukturer, der kan verificere antagelserne. Hele projektets gennemførelse er betinget af lagerets egnethed og myndighedernes endelige godkendelse.

Et væsentligt mål med demonstrationsanlæggene i Esbjerg og Vedsted vil være at fungere som katalysator for den nødvendige teknologiudvikling hos leverandører med henblik på udvikling af kommercielle anlæg inden år 2020. Et konkret succeskriterium vil således være at bidrage til omkostningerne, ved at CCS kommer ned på samme niveau som CO₂-kvoteprisen, således at CCS bliver et alternativ til at sende CO₂'en ud i atmosfæren, indtil vedvarende energi på sigt kan overtage mere af el-produktionen.

De CO₂-reducerende tiltag, som Danmark indtil nu har satset på, er generelle besparelser på energi, bygningsisolering og en delvis erstatning af kul med affaldsforbrænding – naturgas og biobrændsel, samt investeringer i CO₂-reducerende projekter i udlandet primært Østeuropa. Med den nye klimapakke sættes der desuden på opsætning af flere vindmøller.

De største CO₂-kilder i Europa er kraftværker, tung industri og transport. Den europæiske kraftværksindustri er den mest effektive i verden, og der udvikles til stadighed nye "renere" teknologier. Men spørgsmålet er, om vi opnår en tilstrækkelig CO₂-reduktion til at nå Danmarks mål uden også at tage CCS-metoden i brug? ■