



Carbon Capture and Storage

Sådan bliver Danmark europæisk centrum for lagring af CO₂



TotalEnergies

”Gemt i den danske undergrund findes et kæmpe potentiale for at bidrage til løsningen af klimakrisen. Med Danmarks unikke geologi og placering tæt på europæisk industri kan Danmark blive et europæisk omdrejningspunkt for CO₂-lagring.”

Martin Rune Pedersen
Direktør, TotalEnergies Danmark



OIL



NATURAL
GAS



ELECTRICITY



HYDROGEN



BIOMASS



WIND



SOLAR

CO₂-lagring er det næste kapitel i dansk klimahistorie

Fangst og lagring af CO₂ er en velafprøvet og sikker måde at reducere udledningerne - og det er der brug for.

At skifte fra fossile energikilder til havvind og solceller samt at energieffektivisere er nødvendigt for at bekæmpe den globale opvarmning. Men det er desværre ikke nok. Der skal flere løsninger til.

FN's Klimapanel (IPCC) og Det Internationale Energiagentur (IEA) vurderer, at uden storskala implementering af Carbon Capture and Storage (CCS), er opfyldelsen af 1,5 graders målsætningen usandsynlig. Når Danmark skal blive klimaneutral og endda opnå 110% reduktioner, vil CCS også spille en central rolle.

Det gør CCS til en central del af Danmarks næste klimakapitel. Hos TotalEnergies vil vi gerne bidrage til, at CCS også bliver en styrkeposition for Danmark.

Danmark har et optimalt udgangspunkt

Op til 22 milliarder ton CO₂. Det er GEUS' vurdering af kapaciteten i den danske undergrund. Med udledninger på omkring 40 millioner ton CO₂ i 2022 og 24 millioner ton i 2030 er kapaciteten meget større, end Danmark nogensinde selv får brug for. Ved at skalere CCS har Danmark derfor mulighed for at bistå resten af Europa med at lagre CO₂.

Det kan lade sig gøre, fordi Danmark besidder en geografisk fordel. Danmark er placeret tæt på store udledere i Tyskland, Polen og Sverige. I Tyskland har man, ifølge Tysklands Energiagentur, behov for at lagre 30-70 millioner ton CO₂ årligt, og EU vil, ifølge Kommissionen, have brug for at bruge CCS-teknologi til at reducere op mod 550 ton CO₂

årligt i 2050. Samtidig har Danmark en erfaren offshore-industri med kompetencerne til at lykkes med at lagre CO₂, hvilket gør Danmark til oplagt europæisk CCS-hub.

Hvad der skal til

Beslutningstagere og erhvervsliv spiller en afgørende rolle i udformningen af fremtidens energiforsyning, og CCS har potentialet til at bidrage til, at samfundet går en bæredygtig og klimaneutral fremtid i møde.

I TotalEnergies ønsker vi at samarbejde med lovgivere, erhvervsliv og civilsamfund om at nå 100% CO₂-reduktioner i 2045 og 110% i 2050. Sammen kan vi finde løsninger til etableringen af - og investeringer i - infrastruktur samt sikre incitamentter til fangst. Samtidig bør alle sejl sættes til at skabe internationale aftaler og rørføring til CO₂ med henblik på storskala transport.

På de første sider af publikationen kan du læse en gennemgang af, hvordan CCS virker. Dernæst beskriver vi, hvordan CCS både gavner klimaet og det danske samfund. På de sidste sider præsenteres de udfordringer og barrierer, der begrænser implementering af CCS i stor skala. Det kobler vi sammen med konkrete forslag til, hvordan de politiske rammer kan understøtte udviklingen i fremtiden.

God læselyst.



Martin Rune Pedersen,
Direktør, TotalEnergies Danmark

Sådan virker Carbon Capture and Storage

CCS handler om at tage CO₂, der ellers ville være udledt til atmosfæren, og lagre den sikkert i undergrunden. Faserne er, at CO₂ **indfanges**, **transporteres** og til sidst **lagres** sikkert.

Fangst

Når CO₂ udledes, kan den indfanges. Det kan man gøre med et røggasanlæg. Gassen behandles i en såkaldt vaskeproces, hvor CO₂ udskilles fra gassens andre molekyler. Med nuværende teknologi er det muligt at indfange mere end 90% af røggassens CO₂.

Fangsten kan enten ske, hvor CO₂ udledes (kaldet punktkilde), eller ved fangst fra atmosfæren (kaldet DAC - Direct Air Capture). Teknologien for punktkildefangst er den mest modne og den billigste på nuværende tidspunkt.

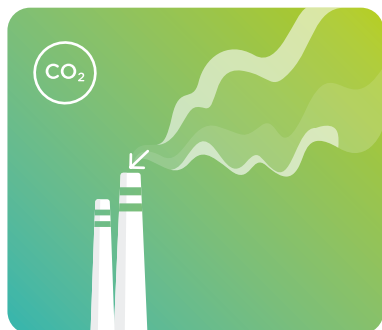
Transport

Gassen komprimeres til væske, da den dermed fylder mindre og er lettere at transportere. Herefter kan CO₂ transporteres gennem rørledninger eller i store tanke på tog, lastbiler og skibe.

Lagring

CO₂ lagres permanent i egnede geologiske strukturer i undergrunden, der er udvalgt efter lagerkapacitet og evne til at forsegle CO₂. I Danmark er der to typer geologiske lagre: udtømte gas- og olieletter samt akviferer.

Sådan lagres CO₂ i Nordsøens undergrund



CO₂'en bliver trukket ud af røggassen.



CO₂'en bliver omdannet til væske, så den er nemmere at transportere.



Den flydende CO₂ fyldes på rør.



Udtømte gas- og oliefelter

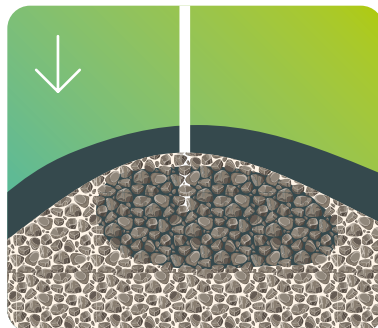
En type af lager er udtømte olie- eller gasfelter. Der er et indgående kendskab til lagerkapaciteten i disse gamle felter, og med nogle modifikationer er infrastrukturen på plads. Trykket i udtømte reservoirer kan være væsentligt under det oprindelige tryk, og dermed kan der pumpes store mængder CO₂ ned, før det oprindelige tryk er genoprettet. De eksisterende gas- og oliebrønde er designet til at forsegle det høje tryk, og eftersom kulbrinterne var fanget i undergrunden gennem millioner af år, er det også bevist, at reservoirforseglingen kan holde til det tryk, der er nødvendigt for at lagre CO₂ i undergrunden.

Akviferer

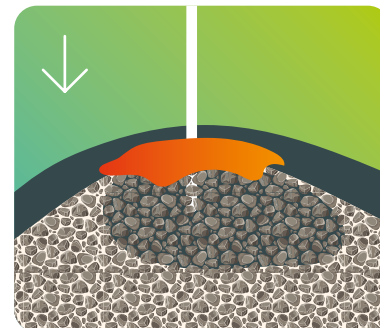
Den anden type af lager er akviferer, som betegner en stenstruktur i undergrunden, hvor der i de små hulrum i stenlaget findes vand. En akvifer befinder sig typisk dybt under havbunden. Lagerkapaciteten i akviferelag er vurderet til at være enorm. De geologiske strukturer er isoleret fra grundvandet. Endnu er man ved at undersøge akvifererne i den danske undergrund til bunds.



På platformen vil der være en kompressor, der pumper CO₂'en ned i reservoiret. Med få ombygninger kan en eksisterende platform benyttes til CO₂-lagring. Det er også muligt at konstruere en helt ny kompressorstation.



Den flydende CO₂ pumperes ned i felter, hvor der tidligere har været olie eller gas. Det kan også pumpes ned i såkaldte akviferer 1-2 km under havbunden.



CO₂'en er fanget af stenstrukturen under en lerforsegling, der forhindrer udslip. Desuden sikrer monitorering, at en potentiel lækage kan opdages og afhjælpes hurtigt.

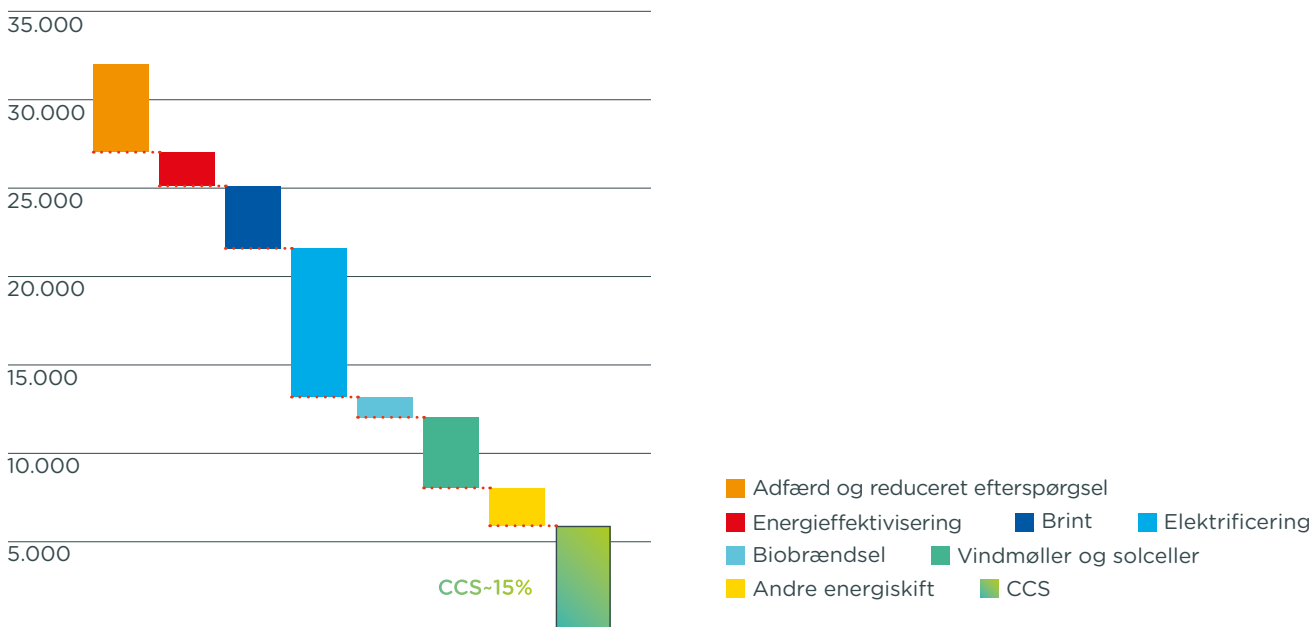
Vejen til klimaneutralitet i 2050 kræver en flerstrengt tilgang

Figuren viser, at vejen til klimaneutralitet kræver mange forskellige løsninger - og CCS er en af dem. At få bugt med den globale opvarmning kompliceres yderligere af, at efterspørgslen på energi vil stige som følge af den demografiske og økonomiske udvikling.

Det Internationale Energiagentur (IEA) vurderer, at CCS skal bidrage med 6,2 milliarder ton CO₂-reduktioner årligt i 2050 for at opnå klimaneutralitet. Det svarer til, at CCS kommer til at stå for mere end 15% af de samlede reduktioner i 2050.

Roadmap 2030-2050: CCS er et af de afgørende værktøjer for at nå global klimaneutralitet i 2050

MtCO₂



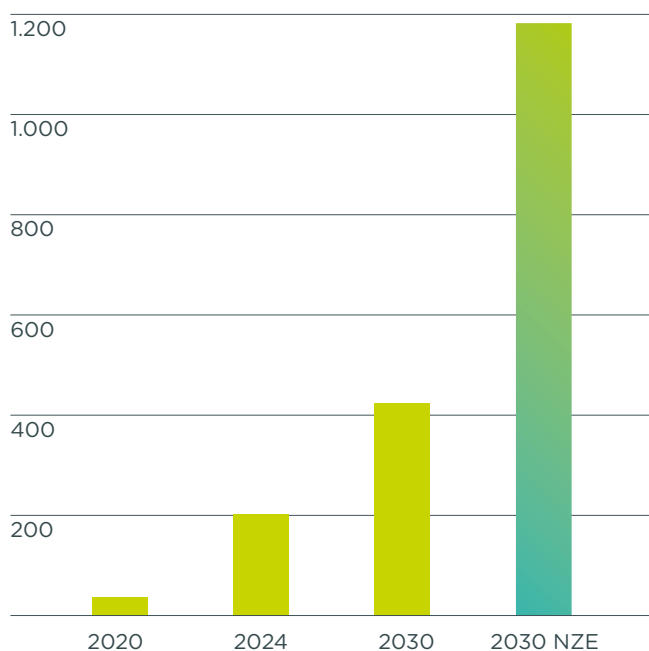
Kilde: Det Internationale Energiagentur (IEA).

CO₂-lagringskapaciteten skal femdobles frem mod 2030, hvis kloden skal nå klimaneutralitet

Figuren viser, at vi har travlt. På verdensplan er der i dag planlagt CCS-projekter til at fange ca. 200 millioner ton CO₂ i 2030. Hvis vi skal på sporet af klimaneutralitet i 2050, skal der lagres 1,2 milliarder ton CO₂ i 2030.

Klimaneutralitet kræver øget lagringskapacitet

MtCO₂/år



CCS på verdensplan

- 30 CO₂-lagringsfaciliteter i brug
- 11 faciliteter er under konstruktion
- 153 faciliteter er under udvikling

■ CO₂-lagringskapacitet (påkrævet for at være på sporet til net-zero i 2050)

■ CO₂-lagringskapacitet (i drift og planlagt)

NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. NZE er en normativ model, der opstiller en vej for den globale energisektor til at opnå klimaneutralitet i 2050. Derudover findes Announced Pledges Scenario og Stated Policies Scenario.

Kilde: Det Internationale Energiagentur (IEA). Data opdateret i juli 2023.

CCS kan bidrage med CO₂-reduktioner på kort og lang sigt

Siden 1990 er den globale, årlige udledning af drivhusgasser steget betydeligt. Det har medført, at atmosfæren er gået fra 350 parts per million (ppm) CO₂ i 1990 til mere end 420 ppm CO₂ i 2023. Før den industrielle revolution var niveauet omkring 280 ppm.

CCS kommer til at være et af flere tiltag, der kan vende denne udvikling. Det er både FN's Klimapanel, Det Internationale Energiagentur, EU-Kommissionen, Concito og den danske regering enige om.

Danmarks undergrund kan lagre langt mere end egne udledninger

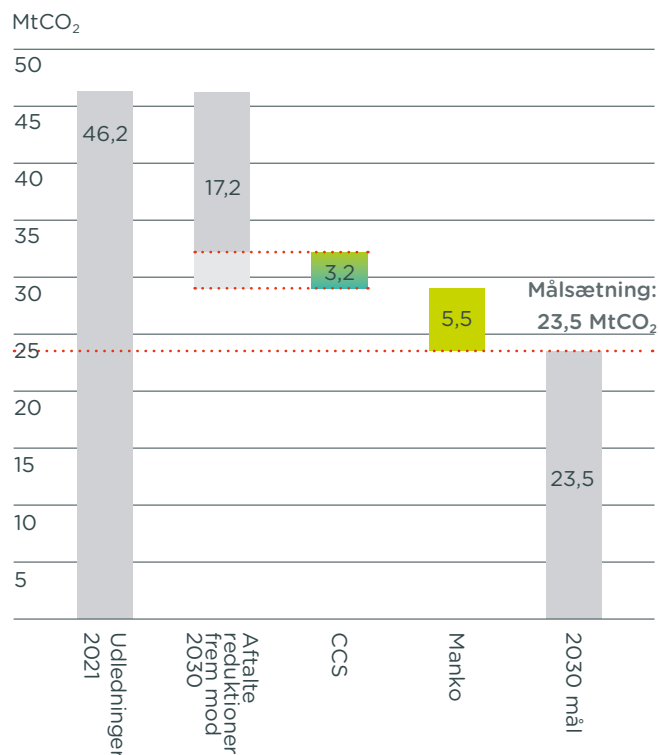
CO₂-lagring kan ske både på land og til havs. GEUS vurderer, at den danske undergrund har et lagringspotentiale på op til 22 milliarder ton CO₂. Det svarer til omkring 500 gange Danmarks årlige CO₂-udledninger på 2022-niveau. 22 milliarder ton svarer til at fjerne livstidsemissionerne fra samtlige danske personbiler mere end 200 gange. Vores velegnede undergrund betyder derfor, at vi kan lagre CO₂ for andre lande, der ikke har samme muligheder.

Sammen med Ørsted, DTU, BlueNord og Nordsøfonden har TotalEnergies allerede undersøgt mulighederne for at lagre CO₂ i Nordsøen i det snart udtjente Harald-gasfelt (Bifrost-projektet). De foreløbige resultater er positive og giver os vished om Nordsøens store CO₂-lagringspotentiale.

Energistyrelsen tildelte den 6. februar 2023 tre licenser til undersøgelse af fuldskala CO₂-lagring i Nordsøen. TotalEnergies blev tildelt to af licenserne, og vi er nu i gang med at investere og undersøge undergrunden nærmere, så vi kan idriftsætte CO₂-lagring i Nordsøen i storskala. Nordsøfonden er medejer af projekterne.

Danmark har sat finansiering af til 3,2 millioner ton CO₂-reduktioner i 2030. Concito vurderer, at CCS kan bidrage til at reducere Danmarks udledninger med 5 millioner ton om året. Concito anbefaler, at reduktionerne skal være gennem lagring frem for genbrug af CO₂, da lagring er mere energieffektivt. Indtil videre er der annonceret projekter i den danske del af Nordsøen med en lagringskapacitet på 13 millioner ton CO₂. Dermed kan Danmark både nå sin egen 70% målsætning og samtidig hjælpe vores naboer på vej.

CCS er nødvendigt for at nå 70% reduktion i Danmark i 2030



CCS hjælper sektorer, der har svært ved at begrænse CO₂-udledninger

Alle sektorer skal nedbringe sine udledninger af CO₂. Ved hjælp af CCS vil man kunne nedbringe CO₂-udledninger i de sektorer, hvor grøn elektrificering eller anden direkte dekarbonisering ikke kan lade sig gøre - kaldet

restemissioner. CO₂ frigives eksempelvis, når kalk brændes til cement. Her kan CCS spille en afgørende rolle for at sikre klimaneutralitet. I det følgende ses en oversigt over nogle af de store punktkilder til CO₂ i Danmark.



Industri

Industrien udledte ifølge Danmarks Statistik 5,9 millioner ton CO₂e i 2021. Det svarer til ca. 13% af den samlede danske udledning. En del af disse udledninger er der endnu ikke fundet klimaneutrale løsninger til. Danmark vil desuden kunne lagre CO₂ fra vores nabolandes tunge industri.



Forsyningssektoren

Kraftvarmeværker har en vigtig rolle i fremtidens energiforsyning på trods af skiftet hen imod bl.a. sol- og vindenergi. Der vil her fortsat være CO₂-emissioner, der er behov for at fange og enten lagre eller anvende til Power to X (PtX). Næst efter industrien har el- og fjernvarmesektoren, ifølge Energistyrelsen, det største CO₂-fangstpotentiale.



Raffinaderier

En væsentlig industriel udleder er raffinaderier, som også i fremtiden vil omdanne råmateriale til bearbejdede produkter. Selvom energiforbruget kan dekarboniseres, vil en del af de kemiske processer fortsat udlede CO₂.



Biogas

Der udledes CO₂, når biogas opgraderes til biomethan. CO₂'en skal fanges, og kan enten lagres som negative emissioner eller bruges til produktion af PtX. Biogas opgøres i sig selv som CO₂-neutral på grund af det biogene ophav.

Danmark kan blive europæisk hub og skabe tusindvis af arbejdspladser

Danmark har mulighed for at blive centrum for europæisk CO₂-lagring. Det vil skabe vækst og arbejdspladser, men det er ikke et nyt olie- og gaseventyr. Der vil blandt andet være brug for folk på platformene, håndværkere til konstruktion og ingeniører til at planlægge. Kraka anslår, at CCS-branchen i Danmark, direkte og indirekte, vil kunne beskæftige op imod 17.000.

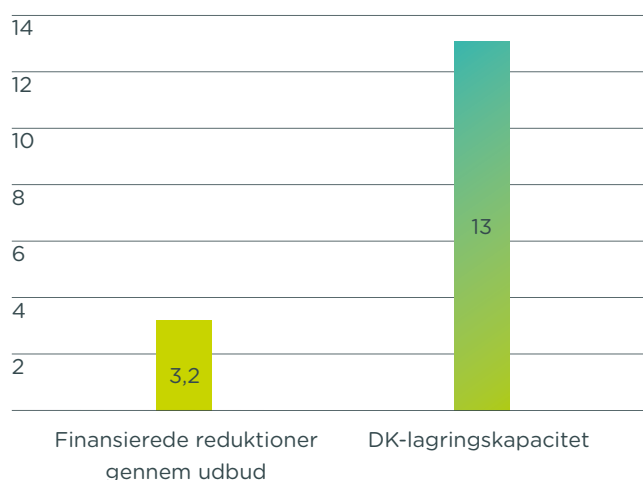
Danmark kan lagre mere, end vi selv har brug for. Den overskydende kapacitet kan gøre Danmark til et europæisk omdrejningspunkt for CO₂-lagring til gavn for klima, vækst og arbejdspladser.

Med placering tæt på den tunge industri i Tyskland, Sverige og Polen har Danmark mulighed for at hjælpe dem i en grønnere retning. Det kan blive muligt gennem koordination af CCS-værdikæden og internationalt samarbejde.

Men Danmark er ikke det eneste land, som har set potentialet inden for CCS. Andre er også i gang. Derfor skal Danmark i gang nu og skabe de nødvendige rammer.

Danmark har overskud af offshore-lagringskapacitet allerede i 2030

MtCO₂/år



Kun projekter tildelt licens er inkluderet i grafen. Tallene er de udmeldte lagringsestimater fra Greensand og TotalEnergies.

EU's Innovationsfond vil investere 38 milliarder euro i innovation inden for grøn energi, heraf minimum 3 milliarder euro i CCS, inden 2030.

Norges projekt Langskip har til hensigt at fremme CCS i et samarbejde mellem virksomheder, myndigheder og universiteter.

Tyskland er i gang med at udarbejde en national strategi for, hvordan CCS konkret implementeres for at skabe de bedste synergier.

Nederlandene øgede i 2022 budgettet for deres Sustainable Energy Transition Subsidy Scheme (SDE++), hvorigenem CCS-projekter kan få tilskud, fra 5 til 13 milliarder euro.

USA's Inflation Reduction Act giver betydelige skattefradrag til CCS, herunder et fradrag til Direct Air Capture (DAC) på \$180/ton.

Kortlægning af fremtiden: TotalEnergies' vision for nordeuropæisk CCS-infrastruktur

Dem, der udleder CO₂, skal forbindes med de steder, hvor det lagres. Jo større udledninger, jo større vil fordelene være af etablering af rørføring. Derfor vil effekten være størst ved en rørføring mellem Esbjerg og Fredericia og ned til Tyskland, der kobler Danmark op med den tyske industri, samt med

industrien fra Østersøområdet, der med skib vil laste CO₂ af i Fredericia. Fra Esbjerg vil CO₂'en blive ledt ud til lagringsfaciliteterne i Nordsøen via rør, hvor CO₂'en injiceres ned i undergrunden.



Tre greb til at gøre Danmark førende inden for CCS

CO₂'en er til stede. Teknologien til at lagre sikkert og i stor skala er velafprøvet i mere end 20 år. I Danmark er der afsat milliarder af kroner til at fange over 3,2 millioner ton CO₂ om året. Alligevel mangler der en effektiv værdikæde, som

er forudsætningen for at få prisen på CCS ned og opnå betydelige emissionsreduktioner. Med få forandringer vil skabelsen af værdikæden dog kunne hjælpes på vej:

1

ØKONOMISKE

Skab incitament til negative emissioner

Et ton CO₂ i atmosfæren har samme effekt, uanset om det kommer fra fossile eller biogene kilder. For at reducere CO₂ i atmosfæren mest muligt skal der være økonomisk incitament til at reducere udledninger med CO₂, uanset om kilden er fossil eller biogen. Derfor skal der også være en pris for at fange og lagre biogen CO₂. Prisen bør være negativ.

Ligestil værdien af negative og fossile emissioner - helst på EU-niveau

- Negative emissioner bør indtænkes i CO₂-skatte-reglerne for at sikre ens incitamenter til lagring.

2

REGULATORISKE

Muliggør fri handel med CO₂ over grænser

Atmosfæren kender ikke til statslige grænser, men hvis man vil handle internationalt med CO₂ for at lagre det offshore, skal man have en bilateral handelsaftale eller en projektdispensation. Det forsinker udrulningen af CCS.

Fjern forbud mod handel af CO₂ til offshore-lagring

- En ratificering af Artikel 6 i den såkaldte London-protokol fra 1996 vil gøre handel med CO₂ til offshore-lagring tilladt. Ratificeringen skal ske på mellemstatsligt niveau. Indtil da skal der indgås bilaterale aftaler med lande som Tyskland, Sverige og Polen.

Udbyd flere arealer til lagring af CO₂ i Nordsøen

- Priorité udbud af nye arealer i den danske del af Nordsøen for at afklare det reelle potentiale og skabe mere kapacitet til lagring af CO₂ i Danmark.

3

FYSISKE

Rørføring sikrer skala og fleksibilitet

CO₂-rørføring er nødvendig for at skalere CCS. Rør vil skabe billig, sikker og stabil transport fra udledere til lagring. Ligesom ved gas og olie er transporten via rør langt mere effektiv. Det er der fire grunde til:

- **Transmission:** Rør kan transportere større mængder CO₂ ad gangen
- **Omkostninger:** I den nødvendige skala er rør billigere per ton CO₂ transporteret
- **Energieffektivitet:** Rør har lavere energiforbrug per CO₂ transporteret
- **Stabilitet:** Rør til offshore-lagring kan transportere CO₂ uanset vejrforhold

Nogle af de eksisterende gasrør kan genbruges til transport af CO₂, mens andre skal etableres. Skibe, lastbiler og tog vil bidrage til at skabe fleksibilitet, når CO₂ skal transporteres fra udledere til et centralt kompressor anlæg tilsluttet rørføringen. Især "det nedre t" er vigtigt.

Staten påtager sig aktiv rolle i udbygningen af CCS-infrastruktur

- Staten bør understøtte koordination af hele CCS-værdikæden - fra punktkilder til lagringsfaciliteter. Det er vigtigt, at alle led i kæden kommer på plads. Dette gøres bl.a. gennem hensigtsmæssige design af udbud.
- Staten bør identificere og planlægge de mest centrale CO₂-rørføringer i Danmark. Rørføring mellem Fredericia og Esbjerg og ned til Tyskland bør prioriteres højt.
- Staten bør bidrage med den nødvendige risikovillighed, der sikrer at centrale CO₂-rørføringer etableres. Det kan fx ske gennem statsejede virksomheders engagement i tilvejebringelse af rørføringerne. TotalEnergies samarbejder gerne med sådanne virksomheder. Hvis konstruktionen af de store rør i stedet overlades til markedet, vil dimensioneringen af rørene følge enkeltprojekter og blive for små til samfundets fremtidige behov.

CCS-skalering kræver erfaring - det har TotalEnergies

Udvikling og implementering af CCS-projekter indebærer komplekse udfordringer, og TotalEnergies har mere end 20 års erfaring med at bygge og drive CCS-anlæg. I dette afsnit gennemgås nogle af TotalEnergies' tidligere og kommende CCS-projekter.

Tidligere projekter

Sleipner i Norge

I 1996 blev verdens første store kommercielle CO₂-lagringsprojekt indviet. I forbindelse med gasudvinding på den norske sokkel blev CO₂ i fanget og lagret offshore - tæt på gasfeltet. Under TotalEnergies deltagelse i projektet, som løb frem til 2016, blev der lagret over 16 millioner ton CO₂. I Sleipner-feltet lagres fortsat CO₂.



Lacq i Frankrig

I 2007 blev en milepæl nået, da fangst og lagring af CO₂ skete på separate lokationer, hvorfor der for første gang skulle etableres dedikeret CO₂-transportinfrastruktur. TotalEnergies var operatør af hele projektet. CO₂ blev fanget fra et naturgasanlæg, omdannet til væske og sendt gennem 27 kilometers rørføring fra Lacq til Rousse. Her blev CO₂'en lagret på land i et udtjent gasreservoir. Fra 2010 til 2013 blev der lagret mere end 51.000 ton CO₂.





Under konstruktion eller i udvikling

Bifrost i Danmark

I 2021 blev Projekt Bifrost påbegyndt i et samarbejde mellem Dansk Undergrunds Consortium (TotalEnergies, BlueNord og Nordsøfonden), Ørsted og DTU samt med støtte fra EUDP. Forundersøgelserne undersøger muligheden for at skabe en CCS-værdikæde ved at transportere CO₂ til Haraldfeltet, enten med skib og bruge en flydende offshore-enhed til at injicere CO₂'en eller ved at genbruge en eksisterende gasrørledning til transport af CO₂. I februar 2023 blev TotalEnergies tildelt to licenser, der omfatter Haraldfeltet og en nærliggende saltvandsakvifer. Sammen med den statslige partner Nordsøfonden er ambitionen at lagre mere end 5 millioner ton CO₂ om året fra 2030. Læs mere på www.bifrost-ccs.com

Northern Lights i Norge

Fra 2024 kan virksomheder i Europa få lagret deres CO₂ gennem Northern Lights-projektet. CO₂ transporteres via rør ud til platformen, og lagres i en akvifer. Projektet er et joint-venture mellem Equinor, TotalEnergies og Shell. Den norske stat har bidraget med vigtig støtte til projektet. Projektet udvides til lagring af 5 millioner ton de efterfølgende år.

Aramis i Nederlandene

En nybygget terminal i Rotterdam skal tage imod CO₂ fra industri i Nederlandene, hvorefter CO₂ sendes ud via rør til tidligere olie- og gasplatforme. Projektet udvikles i et partnerskab med EBN, Shell og Nederlandse Gasunie. Lagringen foregår i et udtjent gasfelt 3-4 kilometer under havbunden. Fase 1 påbegynder i 2027, og ambitionen er at lagre mere end 5 millioner ton årligt.

Northern Endurance Partnership i England

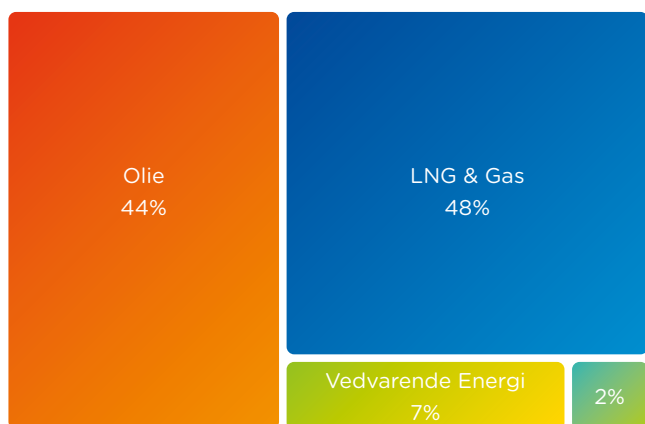
Northern Endurance Partnership er et projekt, der vil lagre CO₂ fra energiforsyning og industri i områderne omkring Teesside og Humber. I 2026 skal der lagres 4 millioner ton CO₂, og i 2030 skal dette stige til 10 millioner ton, hjulpet på vej af en effektiv rørføringsinfrastruktur. Lagringen sker i en akvifer, der vurderes at have en lagringskapacitet på 450 millioner ton CO₂. Det svarer til mere end 10 gange Danmarks årlige CO₂-udledning på 2023-niveau.

TotalEnergies er en global energivirksomhed med mere end 100.000 ansatte, heraf omkring 1.300 i Danmark. TotalEnergies' aktiviteter i Danmark går over et halvt århundrede tilbage og repræsenterer et vigtigt bidrag til Danmarks økonomi, energiforsyning og beskæftigelse. TotalEnergies er i gang med at transformere forretningen mod klimaneutralitet i 2050.

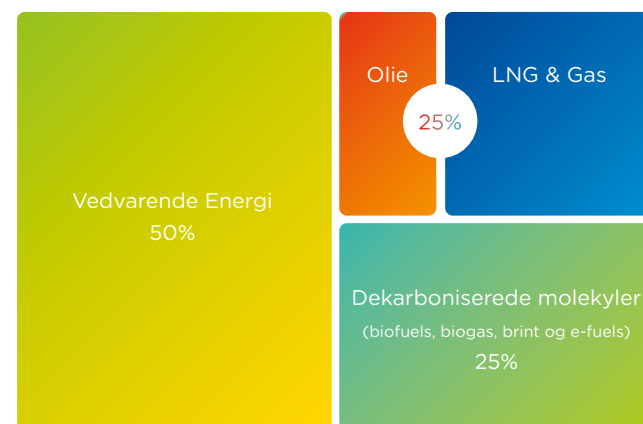
I dag er TotalEnergies et af verdens største olie-og gas-selskaber. I fremtiden vil TotalEnergies være blandt verdens største udviklere og operatører af vedvarende energi. Vores ambition om klimaneutralitet omfatter scope 1, 2 og 3 emissioner. Vi ønsker at bidrage med løsninger, der gør energi klimaneutral, billig og tilgængelig for alle.

Læs mere om TotalEnergies' omstilling til net-zero: "Sustainability & Climate 2023 Progress Report"

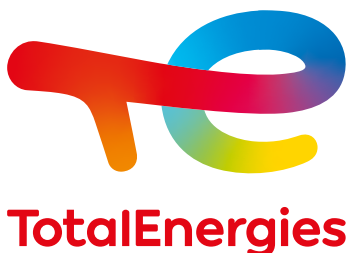
2021 energi-mix



2050 energi-mix



CCS 50-100 MtCO₂e/år



TotalEnergies Upstream Denmark
Amerika Plads 29
2100 København Ø

For kontakt vedrørende udgivelsen:
Johannes Bøggild, Head of Public Affairs
johannes.boeggild@totalenergies.com

For mere om
TotalEnergies' udvikling
af CCS skan venligst
QR-koden:

