

ANBEFALINGER TIL STRATEGI FOR CO₂-FANGST, ANVENDELSE OG LAGRING

ADVISORY BOARD FOR PTX/CCU OG CCS

Indhold

Forord	3
1. Medlemmer af Advisory Board	4
2. Anbefalinger til strategi for CO₂-fangst, anvendelse og lagring	6
3. Introduktion	11
3.1 Beskrivelse af CCUS	12
3.2 CCUS værdikæde og teknologier	14
3.3 Igangværende projekter	16
4. Markedsoverblik og potentiale	18
4.1 Udvalgte relevante industrier med CO ₂ -fangst potentiale	19
4.2 Potentialet for at indfange CO ₂ i Danmark	21
4.3 Potentiale for CO ₂ -lagring i Danmark	25
4.4 Potentiale for CO ₂ -brug i Danmark	27
4.5 Internationalt potentiale for CO ₂ import	29
4.6 Regulering og initiativer indenfor CCUS	31
5. Omkostningsniveau for CCS	33
5.1 CO ₂ -fangst	34
5.2 CO ₂ transport	35
5.3 CO ₂ -lagring	38
5.4 Udvikling i omkostninger	39
6. Danmarks markedsmuligheder og erhvervspotentiale indenfor CCUS	40
6.1 CO ₂ -pris og kommerciel relevans	41
6.2 Erhvervsmuligheder – eksport af CCUS-teknologier og ydelser	41
6.3 Erhvervsmuligheder – CO ₂ -import fra omkringliggende lande	47
6.4 Potentielle barrierer og løsninger	49

Forord

Udviklingen af bæredygtige brændstoffer (Power-to-X) samt lagring og anvendelse af kulstof (CCS) kommer til at gå stærkt i de kommende år. Derfor har DI Energi sammen med Haldor Topsøe samlet en bred kreds af virksomheder i Advisory Board for PtX/CCU og CCS, som skal give gode råd til regeringen og Folketinget. Advisory Board for PtX/CCU og CCS består af 34 virksomheder, som dækker i hele værdikæden.

Dette er Advisory Boards første anbefalinger til regeringens strategi for anvendelse og lagring af kulstof.

Vi vil med rapporten gerne pege på de markedsmuligheder og det erhvervspotentiale, der er i anvendelse og lagring af kulstof for danske virksomheder. CO₂-fangst og -lagring er en stor potentiel mulighed for dansk erhvervsliv, og derfor bør vi igangsætte storskala projekter samt skabe klarhed om de fremtidige regulatoriske rammer. Det vil hjælpe danske virksomheder og åbne nye markeder ved, at vi udvikler nye løsninger og opbygger knowhow om anvendelse og handel med CO₂, som vil være en gevinst for danske virksomheder.

For at indfri dette potentiale, er det nødvendigt, at der igangsættes større værdikædeprojekter som en del af strategien. Vi ved, at det tager lang tid at etablere den nødvendige infrastruktur til både anvendelse, transport og lagring. Derfor er det vigtigt, at Danmark hurtigst muligt får igangsat projekter, der kan styrke værdikæden og danne rammerne for at kunne realisere klimamålsætningerne i 2030.

Der er mange virksomheder, der arbejder med etablering af PtX-anlæg samt anlæg til fangst og lagring af CO₂. I den sammenhæng er det også vigtigt, at strategierne for CCS og PtX sammentænkes for at undgå lock-in effekter, da begge teknologier vil blive industrialiseret i de kommende år.

Kim Grøn Knudsen

Chief Strategy & Innovation Officer
Haldor Topsøe

Troels Ranis

Branchedirektør
DI Energi

Medlemmer af Advisory Board



1. Medlemmer af Advisory Board

Navn, titel	Virksomhed
Formand, Kim Grøn Knudsen, Chief Strategy & Innovation Officer	Haldor Topsøe
Christian Tomsen, Managing Direktor, Nordic Countries	Air Liquide
Christian Thomsen, President – Business Unit Welded Heat Exchangers	Alfa Laval
Mogens Røigaard, COO	Ancotrans
Knud Pedersen, Executive Vice President	Andel
Kristian Eriknaer, Vice President, Corporate Responsibility	Arla
Jens Boe Jacobsen, Business Development Direktor	Arriva
Kristina Fløche Juelsgaard, Business Development Director	Ballard Power Systems
Nikolaj Holmer Nissen, CEO	BWSC
Michael Hannibal, Partner	CIP
Klaus Winther Ringgaard, Senior Vice President	COWI
Jakob Fredsted, Senior Vice President	Danfoss
Karl Christian Møller, Direktor	Danish Crown
Finn Bjørn Schousboe, Business Manager	Dansk Shell
Jakob Steffensen, Head of Innovation and Partnerships	DFDS
Thea Larsen, Adm. direktør	DGC – Dansk Gasteknisk Center
Jesper Pagh, Group COO	DLG
Carsten Riisberg Lund, President	FLSmidth
Jens-Ole Aagaard Jensen, CEO	Focus Bioenergy
Sebastian Koks Andreasen, Adm. direktør	Green Hydrogen System
Christopher Sorensen, Adm. direktør	Green Lab Skive
Claus Madsen, Adm. direktør	Hitachi ABB Power Grids
Hans Martin Friis Møller, Adm. direktør	Kalundborg Forsyning
Thomas Woldbye, CEO	Københavns Lufthavne
Bjarne Foldager, Senior Vice President	MAN Energy Solutions
Ole Hvelplund, Adm. direktør	NGF Nature Energy
Nils Christian Holm, Global divisionsdirektør	Rambøll
Simon Pauck Hansen, Koncerndirektør	SAS Danmark
Lars Jespersen, Adm. direktør	SDK Shipping
Steen Brødbæk, CEO	Semco Maritime
Peter Weinreich, Adm. direktør	Siemens Energy
Martin Rune Pedersen, Country Chair TotalEnergies in Denmark	TotalEnergies
Ulrik Stridbæk, Vice President	Ørsted
Thomas Uhd, Head of Sustainability & External Relations	Aalborg Portland
Troels Ranis, Branchedirektør	DI Energi



Anbefalinger til strategi for CO₂- fangst, anvendelse og lagring



2. Anbefalinger til strategi for CO₂-fangst, anvendelse og lagring

1) CO₂-fangst er en forudsætning for at opnå vores klimamål – og bør prioriteres på kort og lang sigt

CO₂-fangst spiller en afgørende rolle i at opnå fremtidens klimamål, og det er afgørende, at den samlede strategi for CCS tager højde for og rammesætter både de kort- og de langsigtede muligheder og potentialer. De beslutninger, der bliver taget i forhold til investeringer i fangst på punktkilder, infrastruktur til transport og lagring eller investeringer indenfor CCU, vil have vidtrækkende implikationer på den lange bane. Det er derfor vigtigt, at strategierne for CCS og PtX/CCU sammentænkes for at undgå lock-in.

Omkostningerne på CO₂-fangst forventes at falde i fremtiden, hvilket vil gøre det mere relevant for flere punktkilder, biogene og fossile. Punktkilderne forventes over tiden at blive mindre, og der vil være behov for, at man skaber sikkerhed om rammerne for CO₂-fangst fremadrettet for at reducere risikoen ved investeringer i fangstanlæg. Projekter med CO₂-fangst i Danmark vil styrke danske virksomheders konkurrenceevne globalt i forhold til eksport af ydelser og teknologier omkring CCUS. Det anbefales på den baggrund, at man prioriterer CO₂-fangst som et værktøj i Danmark og understøtter de nødvendige projekter og skala, der vil drive lavere enhedsomkostninger og understøtte dansk industri.

2) Fangst af biogen CO₂ spiller en vigtig rolle, hvis Danmark skal nå klimamålene i 2030 og 2050.

Biogen CO₂ spiller en vigtig rolle i at opnå klimamålene ved at kunne levere negative emissioner og til produktionen af CO₂ neutrale grønne brændsler. Derfor vurderes anvendelsen af CO₂-fangst på bl.a. forbrændingsanlæg, biogas, og biomasse varme- og kraftværker for at kunne møde fremtidens behov for grøn CO₂ som værende meget vigtig. I Danmark har vi et stærkt grundlag for biogen CO₂-fangst på store anlæg, men fangst på mindre biogas- og biomasseværker kan også blive relevant i fremtiden for at møde efterspørgslen.

For at biogen CO₂ kan spille en afgørende rolle fremadrettet kræver det, at de rigtige rammer for biogen CO₂-fangst er til stede. Det er således vigtigt, at strategien definerer og anerkender biogen CO₂ som grøn og tager stilling til etablering af internationale certificeringsordninger og standarder for CO₂-fangst fra biogene kilder, herunder registrering af negative emissioner ved BECCS, i dialog med EU-Kommissionen.

Derudover bør strategien forholde sig til, hvordan, hvor meget, og hvorfra hvilke kilder biogen CO₂ kan indsamles i fremtiden for at skabe forsyningsikkerhed for PtX industrien og negative emissioner fremadrettet, samt hvordan de rigtige rammebetingelser og økonomiske incitamenter for produktion og fangst af biogen CO₂ sammensættes.

3) Der er gode forudsætninger for CO₂-lagring i Danmark og strategien bør understøtte national lagring – potentielt både on-, near- og offshore.

Der er gode forudsætninger for CO₂-lagring i den danske undergrund med signifikant lagerkapacitet on-, near- og offshore.

Der er fordele og ulemper ved forskellige typer lagring, herunder variationer i omkostningsniveauet. Onshore lagring vurderes til at have markant lavere omkostninger end offshore, og nearshore omkostninger forventes at ligge imellem de to. I Danmark har man flere års positive erfaringer med onshore lagring af gas, bl.a. ved akviferlageret i Stenlille. Det anbefales, at strategien tager stilling til de forskellige lagertyper i Danmark. Strategien bør prioritere løsninger som driver de laveste enhedsomkostninger, hvilket vil være til fordel for både industrien og samfundsøkonomien. Dette taler for, at man igangsætter en bred indsats for at udvikle CO₂-lagringsområdet og undersøger muligheder og potentiale for skalafordele ved lagring både on-, near- og offshore.

Før der kan etableres CO₂-lagring i Danmark, uanset valg af type, er det kritisk, at man hurtigt får igangsat de nødvendige forundersøgelser af reservoirs. Der er behov for udvidede tests og forsøg, samt behov for at øge forståelsen for potentialet i at anvende eksisterende infrastruktur og materialer og, hvor meget tilpasning det i givet fald vil kræve.

For at muliggøre lagring af CO₂ i Danmark kræver det desuden justeringer i den danske regulering på området, et arbejde som også skal inkluderes i den danske strategi på området.

4) CO₂-fangst og -lagring er en stor, potentiel mulighed for dansk erhverv, og der bør igangsættes storskala projekter samt skabes klarhed om de fremtidige regulatoriske rammer

Det vurderes, at CO₂-fangst og -lagringsprojekter i Danmark både vil være med til at styrke mulighederne for at eksportere ydelser og teknologier til et stort globalt marked og forbedre konkurrenceevnen for dansk procesindustri og skabe arbejdspladser i Danmark. For at understøtte dette, er det nødvendigt, at man får igangsat større værdikædeprojekter som en del af strategien. Det tager lang tid at etablere den nødvendige infrastruktur til både transport og lagring, og det er vigtigt, at man får igangsat projekter for at imødekomme afhængigheder i værdikæden og for at danne rammerne for at kunne realisere klimamålsætningerne i 2030. Det er desuden en vigtig drivkraft for etableringen af et marked for CO₂ og bør sammentænkes med PtX og den udvikling, der skal ske indenfor det område.

Udover igangsættelsen af storskala projekter, er det vigtigt, at der skabes klarhed omkring de fremtidige regulatoriske rammer i strategien. Manglende gennemsigthed og klarhed omkring reguleringen skaber usikkerhed og reducerer investorers og virksomheders villighed til at investere og satse på området. Dette inkluderer et overblik over, hvordan man fremadrettet både vil lagre og anvende CO₂ og skabe rammer, der muliggør begge dele, så man undgår at blive låst på én teknologisk løsning. Virksomheder, der investerer i PtX/CCU og CCS, skal således have sikkerhed i forhold til de politiske rammevilkår fremadrettet.

5) Import af CO₂ fra omkringliggende lande giver mulighed for at opnå skalaeffekter og forsyningssikkerhed og bør indtænkes i planer for infrastrukturen

For dansk industri er der flere fordele og muligheder ved, at Danmark potentielt importerer CO₂ fra omkringliggende lande. Dette inkluderer lavere priser for nationale virksomheder drevet af skalaeffekter, øget adgang til CO₂ til PtX industri, fortsat udnyttelse af eksisterende olie- og gasfelter, etablering af mere industri omkring CCS og fastholdelse af danske arbejdspladser, samt et potentielt marked for international CO₂ transport. På lang sigt vurderes det, at der er et signifikant potentiale i markedet for CO₂-lagring og -anvendelse og, at import af CO₂ kan være med til at udvikle industri og arbejdspladser i Danmark.

Det anbefales, at strategien indtænker det signifikante langsigtede potentiale for import af CO₂ til Danmark og også inkluderer dette i planlægningen af fremtidig CCUS-infrastruktur. På den kortere bane bør man fra dansk side få etableret rammerne for dansk CO₂-fangst og -lagring for at kunne dokumentere, at infrastrukturen og de danske løsninger virker.

En forudsætning for international handel med CO₂, herunder til lagring, vil være etablering af internationale standarder. Dette kunne inkludere standarder for materialevalg og standarder for CO₂-renhed, som er kritisk at sikre i forbindelse med CCU og PtX. Disse standarder bør undersøges og etableres i dialog med EU og industrien for at understøtte mulig import og handel med CO₂.

6) Etablering af national og regional CO₂-infrastruktur for at understøtte flere CCUS-klynger

Infrastrukturen for transport af CO₂ spiller en kritisk rolle for at etablere et marked og en industri omkring CCUS. Det er en forudsætning for et CO₂-marked og forbinder udbud med efterspørgsel. Det skal være på plads for, at virksomheder og investorer er villige til at satse på området.

Der vurderes at være et signifikant potentiale i etablering af et regionalt og nationalt CO₂-transmissionsnet, som skal danne ryggraden for den danske industri for CO₂-fangst, -lagring og -anvendelse og forbinde Danmark. Strategien bør forholde sig til etableringen

af en fremtidssikker rørledning-infrastruktur i Danmark, som kan møde den langsigtede efterspørgsel på CO₂ som råvare og mulig import af CO₂ fra omkringliggende lande. Det vil være en drivkraft for at etablere et marked for CCUS, drive lavere enhedsomkostninger og øge efterspørgsels-sikkerheden for anlæg med CO₂-fangst og derigennem investeringsvilligheden. En del af infrastrukturen anses for at være et naturligt monopol på linje med det nationale elnet. Da infrastrukturen understøtter efterspørgslen og tager lang tid at etablere, anbefales det, at dette arbejde igangsættes for at imødekomme fremtidigt behov.

I etableringen af dette netværk bør der desuden være fokus på først at etablere netværk omkring regionale CCUS-klynger samt at forbinde disse klynger for at øge fleksibiliteten og forsyningssikkerheden. Disse klynger har en række fordele, særligt lavere omkostninger, og gør CO₂-fangst tilgængeligt for flere, mindre punktkilder. Ved etablering af infrastruktur omkring klynger minimerer man desuden risikoen for strandede aktiver¹. På længere sigt bør det overvejes at etablere en national rørinfrastruktur, som også vil muliggøre import og udnyttelse af markedspotentialet.

7) Finansiering og prissignaler spiller en afgørende rolle i udbredelsen af CCUS-løsninger

Der er signifikante omkostninger forbundet med etablering af CO₂-fangstanlæg, og det vil være nødvendigt at etablere effektiv finansiering og prissignaler, der skaber det økonomiske incitament til at opnå den CO₂-fangstkapacitet, der er krævet for at opnå klimamålene.

I forhold til finansiering forventes det, at omkostningerne til bl.a. CO₂-fangstanlæg vil falde på sigt, men det vil fortsat kræve meget store investeringer at etablere, særligt på den korte bane. Der er usikkerhed om størrelsen på eksisterende støttepuljer er tilstrækkelige til at opnå den nødvendige skala. Strategien bør komme med konkrete retningslinjer for støtte til CCUS-projekter, inkl. anvendelse af specifikke virkemidler. Herunder skal det sikres, at der tilskyndes til at etablere CCS- og CCU-anlæg med effektive incitamenter til både CCS og Power-to-X, da begge teknologier har brug for industrialisering inden for en kort årrække. Det er i den forbindelse relevant at udnytte erfaringer fra initiativer, der er anvendt i udlandet for at accelerere erhvervspotentialet.

Mangelfuld værdiansættelse på CO₂-udledninger, herunder negative udledninger fra biogene kilder, resulterer i manglende prissignaler og incitament for at etablere CO₂-fangstanlæg. Dette fremgår i blandt andet i strukturen af EU's kvotesystem (EU-ETS) som understøtter CCS, men ikke CCU i forbindelse med anvendelse af CO₂. På baggrund af dette anbefales det, at man i strategien forholder sig til værdiansættelsen af CO₂-udledninger, inkl. negative emissioner og sammentænkter biogen CO₂ med CCU og PTX.

¹ Strandede aktiver (stranded assets) refererer til risikoen for at aktiver, som en rørledning, ved eksempelvis pludselig lukning af virksomhed kraftværk eller anden punktkilde strander/ikke kan anvendes, hvilket kan resultere i spildt kapital

Introduktion



3. Introduktion

Hvis vi skal nå de ambitiøse målsætninger om reduktion i CO₂-udledninger i Parisaftalen og i transitionen til et nul-emissionssamfund, spiller fangst, lagring og brug af CO₂ en vigtig rolle. CCUS er et vigtigt redskab til at opnå signifikante og vedvarende reduktioner i CO₂-udslip på globalt plan, og en række lande forholder sig allerede eller vil komme til at forholde sig til implementering af CCUS. I Danmark er dette bl.a. afspejlet i klimapartner-skaberne og Klimarådets anbefalinger, som sætter CCUS på agendaen.

CCUS-teknologierne muliggør transformationen af CO₂ fra et affaldsprodukt til en værdifuld råvare ved at give mulighed for at lagre og/eller genanvende CO₂. Der er en række områder, hvor CCUS er et særligt vigtigt værktøj for at reducere udledningen og koncentrationen af CO₂. Dette inkluderer:

- **Håndtering af CO₂-udledning fra energisektoren**, herunder kraftværker inkl. biogas-anlæg og affaldsforbrænding, som ikke kan skifte brændsel men kan gøres CO₂-neutrale, eller potentielt endda net-negative, ved at anvende CO₂-fangstanlæg/CCUS.
- **Understøtning af reduktionen af CO₂-udledninger fra transportsektoren og tung industri**, som repræsenterer nogle af de største enkeltstående udledere i Danmark. Dette sker både igennem produktion af grønne brændsler, kemikalier og syntetisk materiale og ved lagring af opfanget CO₂.
- **Understøtning af en grøn hydrogen-drevet fremtid** ved at give adgang til store mængder bæredygtig CO₂, som anvendes i Power-to-X (PtX). Dette kan være med til at drive grøn transition på tværs af flere sektorer.
- **Reduktion af CO₂ i atmosfæren** ved at trække den direkte ud af luften samt ved anvendelse af CO₂-fangst og lagring på biomassekraftværk og -anlæg. Dette er en afgørende brik i de globale scenarier for at nå målene i Paris-aftalen og fremhæves af både IPCC og IEA.

3.1 Beskrivelse af CCUS

CCUS dækker over teknologier relateret til CO₂-fangst og -lagring (Carbon Capture and Storage, CCS) og CO₂-fangst og -brug (Carbon Capture Utilisation, CCU).

Kernen i både CCS og CCU er selve fangsten af CO₂, som enten kan opfanges direkte fra punktkilder eller direkte fra luften (Direct Air Capture, DAC). Fangst af CO₂ anvender kendt og velafprøvet teknologi og er foregået i mange år i Danmark, hvor det bl.a. er anvendt at rense biogas for CO₂, så det kan indgå i naturgasnettet. Fangst af CO₂ kan inddeles i fire primære teknikker:

- 1 Præ-forbrænding
- 2 Post-forbrænding (herunder absorption/adsorption og kryogen)
- 3 Iltberiget forbrænding (oxyfuel)
- 4 Direkte fangst af CO₂ fra luften

Der er en række forskellige teknologier, som kan kategoriseres under de forskellige teknikker, af varierende modenhedsgrad, omkostninger og kommerciel tilgængelighed. Amin –absorptionsproces, som foregår post-forbrænding, vurderes til at være den dominerende teknologi. Fangsten af CO₂ fra punktkilder er i dag den mest relevante kilde til CO₂. Her kan især biogasanlæg, affaldsforbrænding, store industrielle punktkilder og biomassebaseret kraftvarme fremhæves som potentielle kilder.

Efter fangsten af CO₂ vil den enten blive anvendt on-site eller blive komprimeret eller tryksat til en væske og transporteret til langtidsdeponi (CCS) eller anvendelse (CCU).

Lagring/deponi (CCS): Ved valg af CCS vil CO₂'en blive transporteret, eventuelt via midlertidige lagre, til langtidsdeponi i undergrunden. Denne undergrundslagring kan både være on-, near- eller offshore, og forskellige typer af reservoirs kan anvendes. Den mest anvendte type lagring i dag er i oliesektoren, hvor CO₂ anvendes til 'enhanced oil recovery' (EOR), injektion og monitorering af CO₂ i undergrunden er altså velkendt i oliesektoren.

Anvendelse (CCU): Den indfangede CO₂ kan anvendes enten ifm. med anlæg i nærheden af punktkilden eller efter transport. Der er en række muligheder for anvendelse af indfanget CO₂. Det er en central teknologi i understøttelsen af produktionen af grønne brændsler/e-fuels, syntetisk materiale, kemikalier mm., da det kan levere det nødvendige CO₂-råmateriale. Her er særligt fokus på biogen CO₂, som kan anvendes til at lave grønne brændsler (PtX). Andre anvendelser inkluderer derudover CO₂ i byggemateriale og til landbruget.

Klimaeffekter: De egentlige klimaeffekter afhænger af omfanget af indfanget CO₂ fra punktkilden, samt hvis og hvordan CO₂'en anvendes.

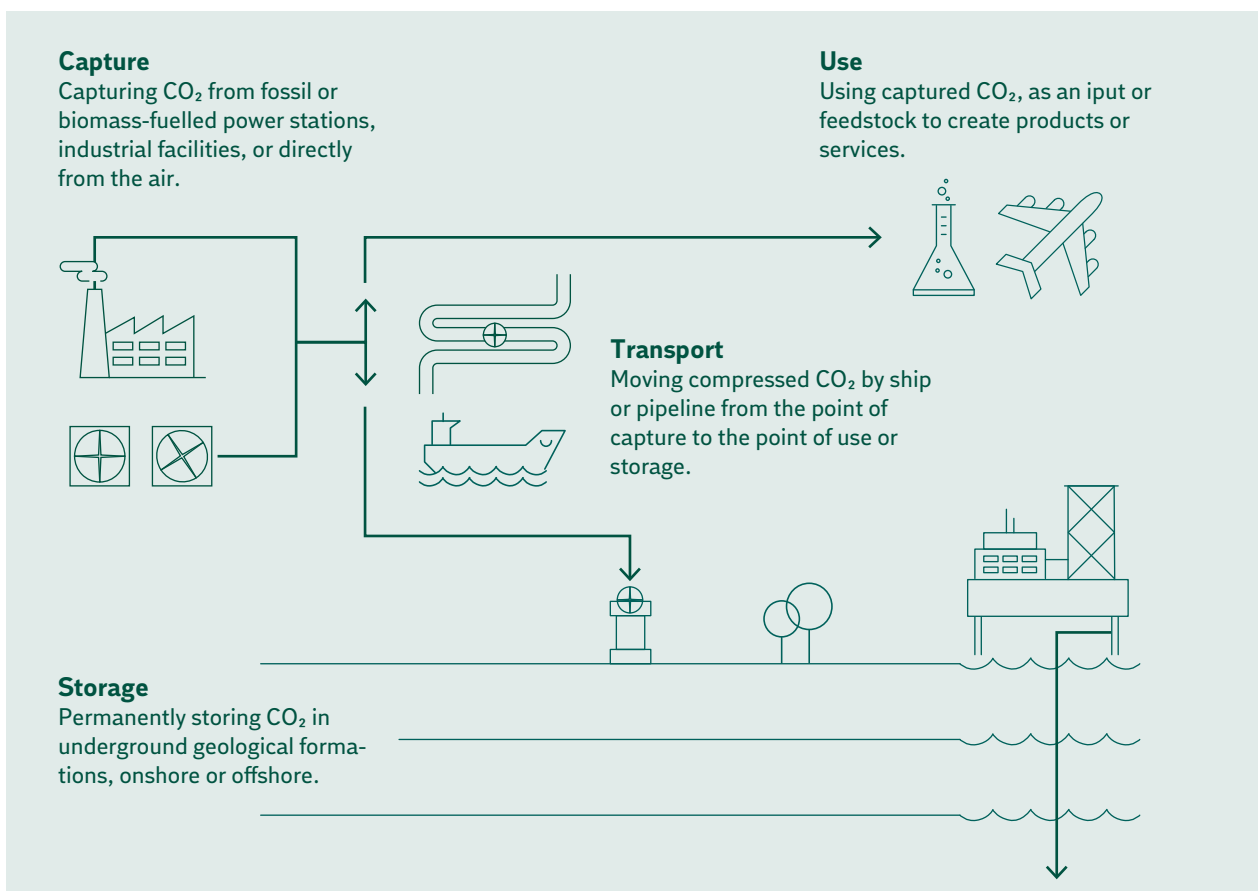
- Ved anvendelse af CO₂-fangst og -lagring på biogas- og biomasseanlæg (Bio Energy Carbon Capture and Storage, BECCS) samt ved direkte fangst fra luften (DAC) er der potentiale for at reducere kulstof i atmosfæren. Disse teknologier er således afgørende for at producere negative udledninger for at kompensere for emissioner i sektorer, hvor nul-emission ikke er muligt. I 'Sustainable Development Scenario' fra IAE estimeres BECCS og DAC at udgøre 1/3 af al CO₂-fangst i 2070. Det er kun muligt at reducere kulstof i kredsløbet, hvis langtidslagringen er stabil, og kilden er biogen.

- For at sikre neutrale netto-klimaeffekter ved CCU er det nødvendigt at sikre, at fossil CO₂ fortrænges. Det er afgørende, at man undgår dobbelttælling af CO₂-reduktioner, eksempelvis kan man ved produktion af brændstof med CO₂ indfanget fra f.eks. et affaldsenergianlæg ikke vurdere hele udledningen fra både anlægget og det producerede brændstof til at være grønt.

3.2 CCUS værdikæde og teknologier

CO₂-fangst, -lagring og -anvendelse (CCUS) består af flere trin, der hver især indeholder en række teknologier, og som ofte er gensidigt afhængige. Det kræver udvikling på tværs af disse trin i værdikæden for at skalere CCUS og indfri potentialet. I figuren herunder er en simpel visualisering af værdikæden:

Figur 1 Illustration af værdikæden for CCUS²



² Illustration fra IEA, 'Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage'

Nogle teknologier indenfor CCUS er modne og implementeret i stor skala, mens en række fortsat kræver yderligere udvikling og investering. I oversigten herunder illustreres et udpluk af relevante teknologier i CCUS værdikæden og deres modenhedsniveau, baseret på Rambøll analyse og IEA-estimer. TRL, eller Technology Readiness Levels, beskriver den teknologiske modenhed, og højere TRL-score indikerer højere teknologisk modenhed. En score på over 5 indikerer, at teknologien er valideret i det relevante anvendelsesområder (udenfor laboratorie), og en score på 9 indikerer, at systemet er anvendt og dokumenteret i en operationel kontekst, jf. beskrivelse fra Europa Kommissionens Horizon 2020 program:

Figur 2 Oversigt over teknologier på tværs af værdikæden og estimeret teknologisk modenhed (TRL)

Capture/Produktion	Transport/	Storage	Use
Pre-combustion IGCC-CCS (Energy) (7)	CO ₂ pipelines (9)	Aquifer CO ₂ storage (9)	Carbon capture and storage enhanced oil recovery (CCS-EOR) (9)
Post-combustion chemical absorption (9)	Retrofitting of natural gas pipelines to CO ₂ (9)	Salt cavern CO ₂ storage (9)	PtX teknologier der anvender CO ₂ (5-9)
Post-combustion physical adsorption (7)	CO ₂ shipping (8)	Advanced monitoring techniques (6-7)	
Post-combustion membrane CO ₂ capture (6-7)	CO ₂ transport by road (9)	Mineral storage (3)	
Post-combustion cryogenic-based CO ₂ capture (9)	CO ₂ compression (9)		
Oxyfuel combustion (7)	CO ₂ injection pump (9)		
Chemical looping combustion (4)	CO ₂ dehydration (9)		
Direct air capture (DAC) (4-6)	CO ₂ liquefaction (9)		
Pyrogenic carbon capture (9)			

3.3 Igangværende projekter

CCUS har generelt fået øget opmærksomhed de seneste år i takt med faldende omkostninger og er understøttet af højere nationale klimamålsætninger og politiske initiativer på tværs af en række lande. Dette afspejles også i en stigende mængde af CCUS-projekter globalt, hvilket er illustreret i figur 3 herunder:

Figur 3 Udvikling i antallet af store CCUS-faciliteter i drift og under udvikling globalt³



Globalt er der siden 2017 annonceret planer om mere end 30 nye CCUS-projekter, primært indenfor CCS, med en samlet kapacitet på ca. 130 Mt/år. Af disse projekter er en del i Europa. Herunder følger et kort udpluk af interessante projekter i Danmark og omkringliggende lande:

³ IEA, 'Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage'

Figur 4 Overblik over udvalgte CCUS-projekter

Navn	Type	Kapacitet	Status	Beskrivelse
Longship & Northern Lights (NO/Int.)	Longship: Offshore CCS fra bred vifte af kilder på tværs af Europa Northern Lights: Offshore CCS fra cementproduktion og WtE i Norge	Op til 1,5 Mtpa i 2024, planer om at ekspandere til 5 Mtpa på sigt	Forventes i drift i 2024	Verdens første tværnationale projekt for CO ₂ -transport og -lagring. Vil give mulighed for at virksomheder på tværs af EU kan lagre deres CO ₂ i den norske offshore-undergrund
Project Greensand (DK)	Offshore CCS	0,5-1 Mtpa	Undersøgende fase, planer om CO ₂ -lagring i Ninifeltet pr. 2025	Undersøger mulighederne for at deponere CO ₂ i sandreservoirs ved Ninifeltet
Greenlab PtX (Skive, DK)	CCU/PtX-projekt med CO ₂ fra biogasanlæg	12 MW elektrolyse anlæg plant; 1,5 MWh batteri	I drift	Produktion af hydrogen og metanol med el fra onshore-vind og sol, og CO ₂ fra lokalt biogasanlæg
Humber Zero Carbon Cluster (UK)	Industrielt CC, PtX, hydrogenproduktion	N/A	BECCS-anlæg forventes i drift i 2027 Samlet cluster i 2040	Industrielt cluster med CCS, bioenergi med CCS (BECCS) samt CSS i Nordsøen
Porthos (Rotterdam, NL)	Industrielt CC	Ca. 5 Mtpa (potentielt op til 10 Mtpa på sigt)	Feasibility – forventes i drift i 2024	Anvendelse af CCS i et industrielt cluster, inkl. to energivirksomheder, med CO ₂ -lagring i Nordsøen

Andre relevante projekter inkluderer bl.a. ACORN (UK/Scotland), Teeside (UK), HyNet North West (UK), Preem CSS & Hydrogen (SE), Power2Met (DK) og Ravenna (IT)

Markedsoverblik og potentiale



4. Markedsoverblik og potentiale

CCUS spiller en afgørende rolle i reduktionen af CO₂ på tværs af en række lande i Nord-europa, inkl. Danmark.

For Danmark er der potentiale i både nationale CCUS-aktiviteter, herunder reduktion og lagring/brug af CO₂ fra affaldsanlæg og industri, men også potentielt i import af CO₂ fra omkringliggende lande, enten til lagring eller brug.

4.1 Udvalgte relevante industrier med CO₂-fangst potentiale

De mest relevante områder og potentialer for CCUS, og i særdeleshed CO₂-fangst, er store punktkilder. Her kan især energisektoren og energiintensiv/tung industri fremhæves, hvilket bl.a. inkluderer affaldsforbrænding, biomassekraftværker, cementproduktion og biogasanlæg. Et overblik over relevante industrier og CCS kan ses herunder⁴:

Figur 5 Udvalgte industrier og deres potentiale for CO₂-fangst

Sektor	Industri	Potentiale for CO ₂ -fangst	Teknisk-potentiale for CO ₂ -fangst, %
Produktion af el og varme	Kraft- og varmekværker, inkl. fossile, biomasse, biogas, affaldsforbrænding mm.	<p>Potentialet for fossile/kul-kraftværker, vurderes at være lavt i Danmark, da størstedelen forventes udfaset inden 2030⁵. Dette kan dog være aktuelt internationalt.</p> <p>Signifikant potentiale for biogas, biomassekraftværk og affaldsforbrændingsanlæg som er en kilde til grøn CO₂, der kan anvendes til negative emissioner eller grønne brændsler.</p> <p>En potentiel begrænsning for CO₂-fangst på biomasseanlæg er, at det er mere sæsondrevet (færre driftstimer) og, at antallet af biomassekraftværk forventes at falde i Danmark⁶.</p>	Op til ~90%
Energi-intensive industrier	Jern og stål-industrien (metal)	Medium potentiale: Både CO ₂ -fangst og alternative energikilder (hydrogen) kan anvendes til at reducere emissioner. Det forventes, at anvendelse af hydrogen vil foretrækkes. Hvis der anvendes hydrogen fra naturgas (blå hydrogen), vil CO ₂ -fangst dog være afgørende.	Op til ~60%

Figur 5 Udvalgte industrier og deres potentiale for CO₂-fangst, fortsat

Sektor	Industri	Potentiale for CO ₂ -fangst	Teknisk potentiale for CO ₂ -fangst, %
	Raffinaderier	Højt potentiale da udledningerne fra raffinering af olie og gas er svære at reducere.	Op til ~50%
	Mineralproduktion (herunder cement-, beton-, glas-, og keramik-industri)	Højt potentiale: CO ₂ -fangst spiller en afgørende rolle i at opnå CO ₂ -neutral cementproduktion. Der kan både anvendes post-combustion men også Oxyfuel og andre teknologier i denne kontekst. En del af reduktionen kan dog opnås ved effektivisering, produktion af nye cementtyper og anvendelse af alternative brændsler. For glas- og keramikindustrien er der også procesudledninger hvor CO ₂ -fangst vil være relevant.	Op til ~70-90%
	Kemikalieindustrien	Højt potentiale: CO ₂ -fangst har særligt potentiale som en transitions-løsning, da vedvarende energi kan substituere fossile kilder i produktionen. Der er ofte højere CO ₂ koncentration, hvilket reducerer omkostninger til CO ₂ -fangst/ton. Derudover kan CO ₂ anvendes som råvare i produktionen.	Op til ~50%
	Papir & papirmasse	Højt potentiale: Det er energikrævende at producere og anvender ofte biomasse som energikilde. Det giver potentiale for biogen CO ₂ -fangst med potentiale for at skabe negative emissioner eller grønne brændsler. Potentialet i Danmark er begrænset, da der kun er få papirfabrikker i Danmark. Større potentiale internationalt, herunder i bl.a. Sverige og Finland.	Op til ~90%

⁴ Baseret på Rambøll analyse og eksterne kilder, primært 'The role of Carbon Capture and Storage in a Carbon Neutral Europe, Carbon Limits, 2020'

⁵ KEF, 'Notat om kuludfasning'

⁶ EA Energianalyse, 'Potentialet for nye teknologier i el- og fjernvarmesektoren'

4.2 Potentialet for at indfange CO₂ i Danmark

I Klimaprogrammet fra 2020 fremhæves det, at CCUS skal anvendes til at reducere CO₂-udledninger og skabe negative udledninger med et teknisk reduktionspotentiale fra CCUS på 4-9 Mt CO₂ (inkluderer overlap til PtX potentiale)⁷.

I den endelige rapport fra Klimarådet 'Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion' estimeres det samlede potentiale for CCS i Danmark til at være⁸:

Figur 6 Reduktionspotentiale for CCS, tabel fra Klimarådet

CCS-potentiale	Reduktionspotentiale i 2030, Mt CO ₂ e	Sandsynlighed
CCS på biogas	1,2	Høj
CCS på affaldsanlæg	1,1	Høj
CCS på industrianlæg	1,2	Høj
CCS på biomasse kraftvarmeanlæg	1,0	Høj
Total	4,5	

Til sammenligning estimerer regeringen i deres Klimaprogram 2020, at det tekniske reduktionspotentiale for CCUS er imellem 4 og 9 Mt CO₂ i 2030. Rambøll vurderer, at det reelle tekniske potentiale er højere end, hvad Klimarådet estimerer, da potentialerne på både affaldsanlæg og biomassekraftværker er i den lave ende af, hvad man kan forvente.

4.2.1 Potentiale på tværs af sektorer

Energisektoren og tung industri fremhæves som områder med stort potentiale. I figur 7 herunder ses fordelingen af bekræftede fossile CO₂-udledninger i 2019 for de CO₂-udledere, der er en del af EU's kvotesystem (EU ETS) fordelt efter årlige CO₂-udledning i Kt. Det inkluderer ikke biogene kilder. Dette repræsenterer samlet 329 punktkilder/anlæg.

⁷ KEFM, 'Klimaprogram 2020'

⁸ Klimarådet, 'Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion'

Figur 7 Overblik over fordelingen af fossile punktkilder efter årlig udledning, interval for udledning af MtCO₂ pr. år pr. udleder på x-aksen



Det største potentiale for CCUS er således også blandt de største 20 udledere, der samlet udgør ca. 71 % af den samlede CO₂-udledning fra de inkluderede anlæg med 8,6 Mt CO₂/år.

Her skal det bemærkes at CO₂ udledning under EU-ETS på nuværende tidspunkt udelukkende fungerer i forbindelse med lagring og ikke i forbindelse med anvendelse. Det betyder at en virksomhed kan undgå at indlevere kvoter ved lagring af CO₂, men risikere at skulle indlevere kvoter ved anvendelse af CO₂ i forbindelse med f.eks. PtX processor. Desuden indgår udledning af CO₂ fra biogene kilder ikke i EU-ETS. Det betyder at negative kvoter ikke tildeles i forbindelse med lagring af CO₂ fra biogene kilder, samt at virksomheder der anvender brændstof baseret på biogen CO₂ kan risikere at skulle indlevere kvoter.

De 20 største danske fossile udledningskilder er affalds- og kraftvarmeværker og inkluderer Aalborg Portland og de danske olie- og gasaktiviteter⁹. Under antagelse af, at olie- og gasaktiviteterne forventes at være for nedadgående og skal lukke på sigt, vil disse ikke være relevante værter for CCUS, medmindre man vil anvende EOR til at hente yderligere olie op af den danske undergrund. Derudover vil f.eks. Nordjyllandsværket lukke som kulfyret varmeværk i senest 2028. Dvs., at flere af de større punktkilder, som vi kender i dag, kan forventes at forsvinde, nogle inden 2030 andre senere.

Udover potentialet på de store anlæg kan CCUS også anvendes på mindre anlæg, i særdeleshed indenfor industrier og processer med mere koncentrerede CO₂-udledninger, som f.eks. ved opgradering af biogas til naturgasnettet eller produktion af ammoniak og ethanol. For disse vil omkostningerne til CO₂-fangst være lavere og CO₂'en tilgængelig i f.eks. opgraderingsanlæggene. Dette ses bl.a. allerede på eksisterende biogasanlæg ved Esbjerg.

Biogasanlæg har desuden den fordel at renhedsgraden af CO₂ fanget fra røggassen er høj. Dette er specielt relevant for CCU og PtX processor, som stiller store krav til renhedsgraden af den anvendte CO₂. Den danske mængde af CO₂ produceret fra biogasanlæg estimeres i 2030 til 1.2 MtCO₂e, hvilket kan være med til at øge forsyningssikkerheden for danske PtX og CCU-anlæg fremadrettet.

Selv for industrier med mindre koncentration af CO₂ kan der være potentiale for CCUS ved at etablere CCUS-klynger/clusters i områder med højere koncentration af energiintensive industrier, hvor der vil være flere CO₂-punktkilder, og man derfor kan høste signifikante stordriftsfordele. Relativt til individuelle 'point-to-point' projekter reducerer man risiko og omkostninger for de enkelte projekter ved at samles om CCUS-infrastrukturen og man kan samtidig facilitere opsamling af CO₂ fra mindre CO₂-intensive punktkilder¹⁰. I et studie fra BCG vurderer man, at klynger kan være med til at reducere gennemsnitsomkostningerne ved CCS med op til 80% relativt til stand-alone projekter¹¹.

Potentialet i oprettelse af clusters afspejles også i ambitionerne fra C4 samarbejdet (Carbon Capture Cluster Copenhagen), der involverer HOFOR, ARC, ARGO, BIOFOS, Copenhagen Malmö Port (CMP), CTR, Vestforbrænding, Veks og Ørsted¹². De har en målsætning om at fange 3 Mt CO₂ om året i hovedstadsområdet i 2030, hvoraf op imod 1 Mt CO₂ skal stamme fra Amagerværket alene.

Ligeledes undersøger man igennem GreenCem-projektet mulighederne for CCUS i Nordjylland, hvor især Aalborg Portland er en signifikant punktkilde. Dette projekt evaluerer

⁹ Baseret på EEA greenhouse gas emission rapporteret af DK til UNFCCC, estimatet er baseret på 2018 tal for CO₂-eq udledning på 57.893 Kt

¹⁰ Global CCS Institute 'Understanding industrial hubs and clusters'

¹¹ BCG, 'Think Small to Unlock Carbon Capture's Big Potential'

¹² Beskrivelse fra HOFORs hjemmeside, 'HOFOR ser stort potentiale i grønt klyngesamarbejde om CO₂-fangst'

bl.a. de tekniske muligheder for CO₂-fangst hos Aalborg Portland samt potentialet ved etablering af lagringsfaciliteter og PtX-anlæg. Aalborg Portland estimerer i deres 2030-roadmap for bæredygtig cementproduktion, at ca. 30 % af CO₂-reduktion vil skulle komme fra CO₂-fangst, svarende til ca. 0,65 Mt CO₂. Aalborg Portland forventes at forbindes til naturgasnettet således, at der på sigt kan anvendes biogas til produktionen.

Under antagelse af, at der er en række sektorer og virksomheder, hvor det vil være nødvendigt at se på CCUS for at reducere CO₂-aftrykket, er der en stor gruppe potentielt påvirkede virksomheder. I figur 8 herunder illustreres en række af brancher, hvor anvendelsen af CO₂-fangst potentielt vil være relevant:

Figur 8 Overblik over udvalgte brancher, CO₂-udledning og virksomhedsinformation

Branche (DB07 127-grp)	Navn	Udledning, Kt CO ₂ , 2018 ¹³	Antal virksomheder, 2018 ¹⁴	Antal fuldtidsansatte, 2018	Omsætning (mio. kr.), 2018
17000	Papirindustri	106	124	4.458	10.218
20001	Fremstilling af basiskemikalier	185	61	4.552	15.481
23001	Glasindustri og keramisk industri	113	193	1.546	2.537
23002	Betonindustri og teglværker	2.908	282	11.727	24.728
24000	Fremst. af metal	198	137	4.620	11.545
Total		3.510	797	26.903	64.509

Hvis CCS er relevant for bare en del af disse virksomheder indenfor udvalgte industrier, så vil man kunne spare signifikante mængder af CO₂, og teknologien vil påvirke en bred pulje af virksomheder og medarbejdere i Danmark. Det egentlige potentiale for CO₂ fangst forventes dog at falde med effektivisering og skift til ikke-fossile brændstoffer. Overordnet vil CO₂-fangst-potentialet være højest for større punktkilder indenfor sektorer, hvor det er svært at overgå til grønne energikilder og for klynger med energi-intensiv industri.

¹³ Danmarks Statistik, Drivhusregnskab I CO₂ ækvivalenter efter opgørelsesprincip, branche og tid, DRIVHUS2

¹⁴ Danmarks Statistik, Generel firmastatistik efter tid, branche (DB07 127-grp) og enhed, GF2

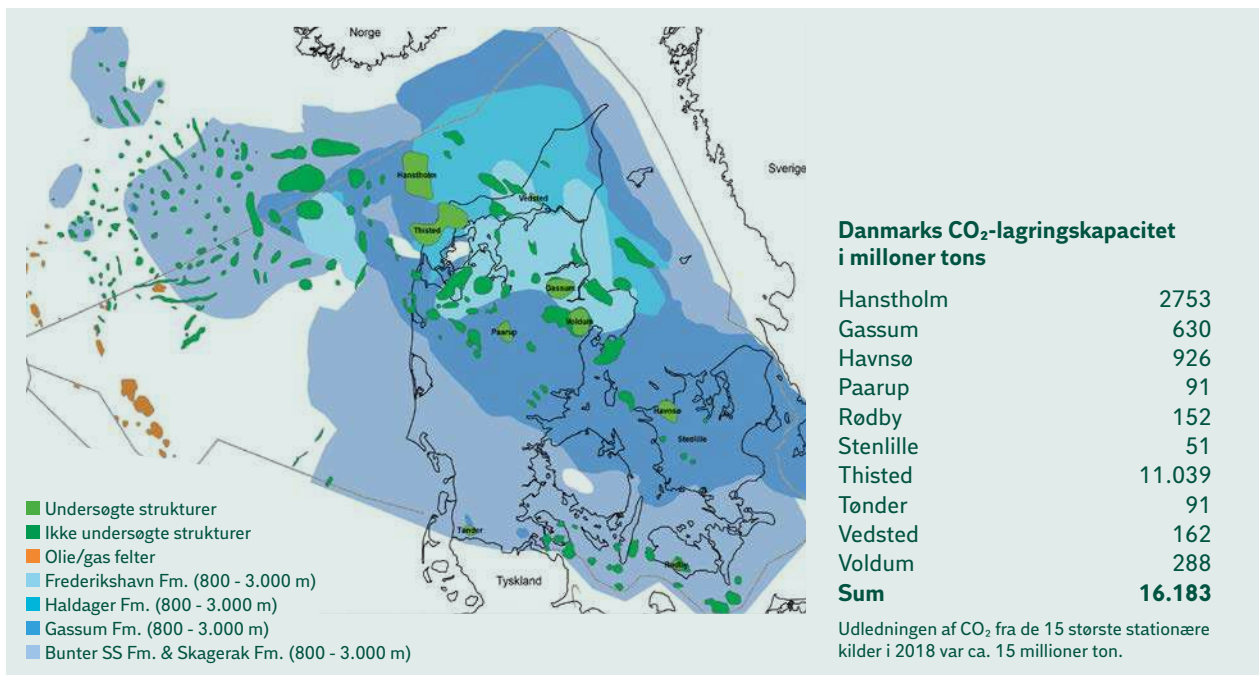
Udover de fossile punktkilder vil der være potentiale i også at anvende CO₂-fangst på biogene punktkilder i form af kraftvarmeværker og industrikilder, herunder biomasseanlæg og affaldsanlæg (delvist biogene CO₂), hvilket giver mulighed for produktion af grønne PtX-brændsler eller negative emissioner ved lagring (BECCS). Det vil være afgørende at tage stilling til anvendelsen af indfangen biogen CO₂, som både spiller en afgørende rolle i både decarboniseringen af flere sektorer samt er en kilde til at opnå de negative emissioner, der fremhæves af både IPCC og i IEA's Sustainable Development Scenario.

4.3 Potentiale for CO₂-lagring i Danmark

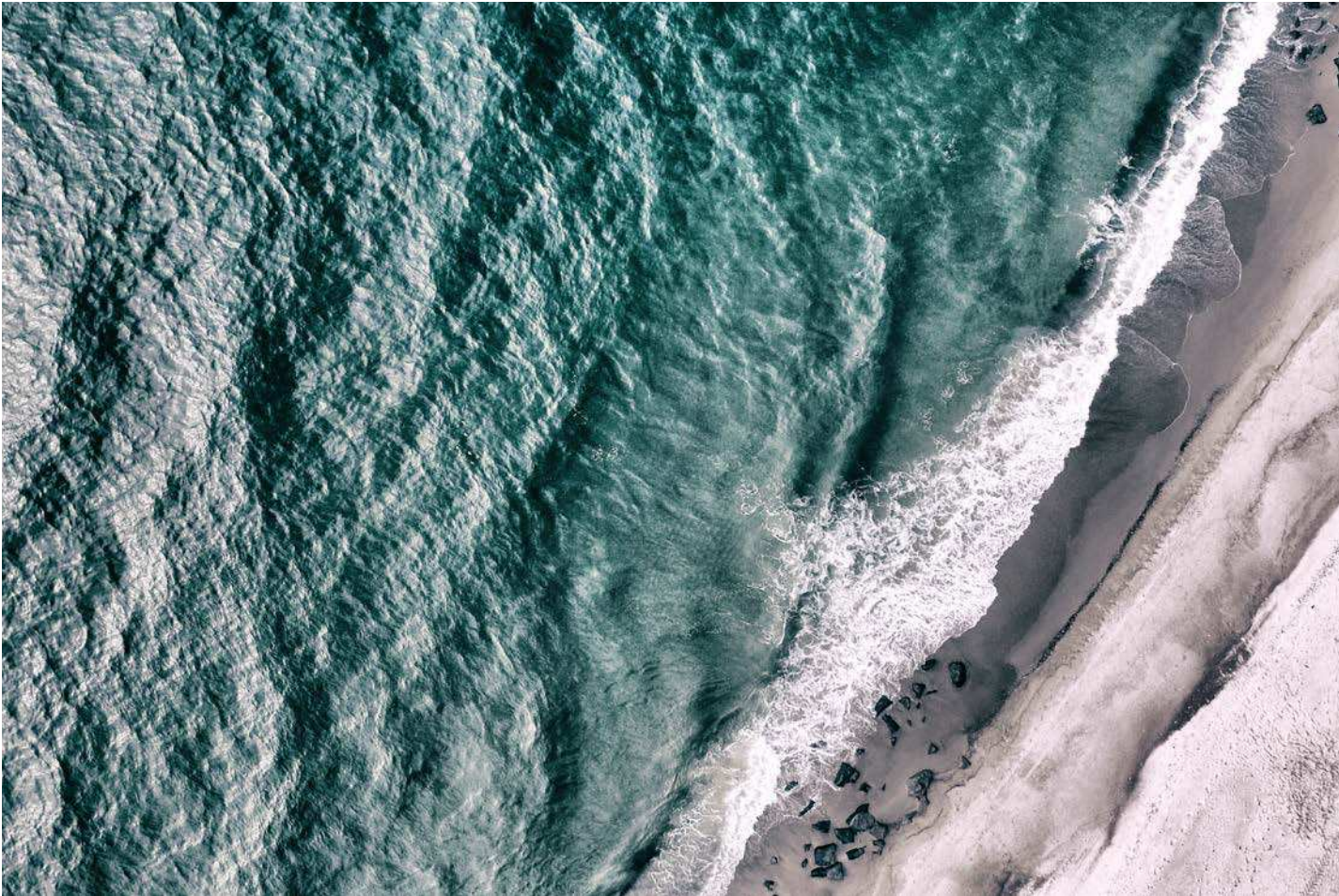
Danmark er velpositioneret i forhold til lagring af CO₂ i undergrunden, med muligheder for at lagre CO₂ både onshore, nearshore, og offshore. GEUS har kortlagt potentialet for CO₂-lagring i Danmark og estimerer, at man potentielt kan lagre 16,2 mia. ton CO₂, hvilket svarer til op imod 320 års dansk udledning på nuværende niveau¹⁵.

Der er således omfattende kapacitet til CO₂-lagring, der, som illustreret på figur 9 herunder, befinder sig på tværs af Danmark, men i særdeleshed i Nordsøen, og i det nordlige Jylland:

Figur 9 Lagringskapacitet på tværs af Danmark, illustration fra GEUS



¹⁵ GEUS præsentation, September 2020



Der er fordele og ulemper ved de forskellige typer af lagring, som er mulig i Danmark. En af de primære fordele ved anvendelse af offshore-lagring i tømte olie- og gasfelter er, at tætheden af det geologiske system og seglet allerede er testet. Dette er ikke tilfældet, hvis man anvender andre typer af løsninger, hvor man skal lave forstudier på seglet, men der er en potentiel risiko for lækage. Integriteten af eksisterende brønde samt nye vil ligeledes være kritisk for risikoen for lækage.

Den ekstra kapacitet vi har i Danmark kan potentielt anvendes til import og lagring af CO₂ fra omkringliggende lande i stil med Project Northern Light i Norge. Det projekt forventes at lagre CO₂ fra en række forskellige kilder og danne grobund for en international industri i området. Dette CCUS-projekt forventes ifølge et studie at have omfattende fordele, herunder reduktion af CO₂, styrket konkurrenceevne for norsk industri, understøttelse af hydrogen-produktionen og tilførslen af op imod 30.000 jobs i Norge¹⁶.

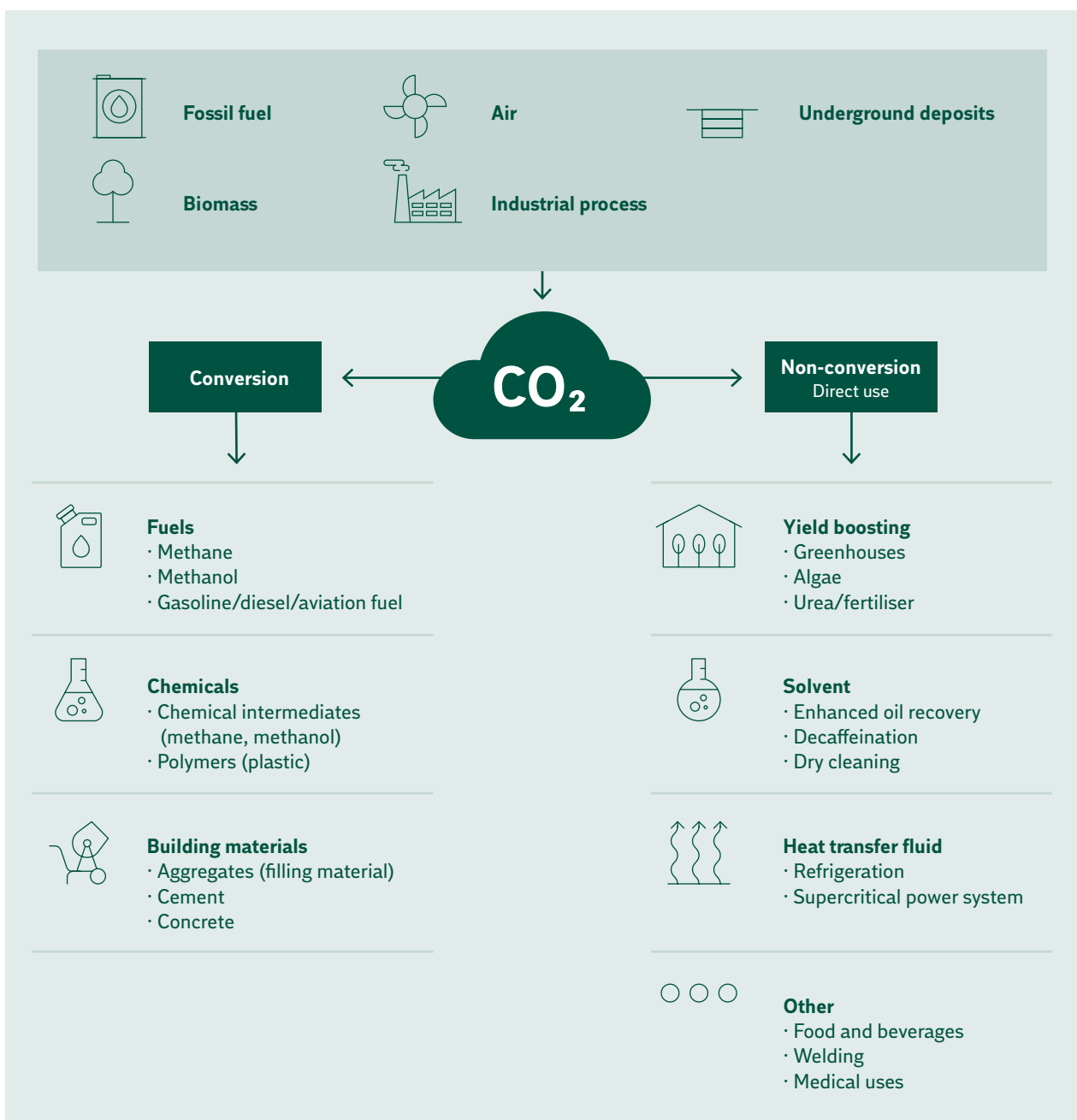
¹⁶ SINTEF, 'Industrial opportunities and employment prospects in large-scale CO₂ management in Norway'

¹⁷ IEA, 'Putting CO₂ to use'

4.4 Potentiale for CO₂-brug i Danmark

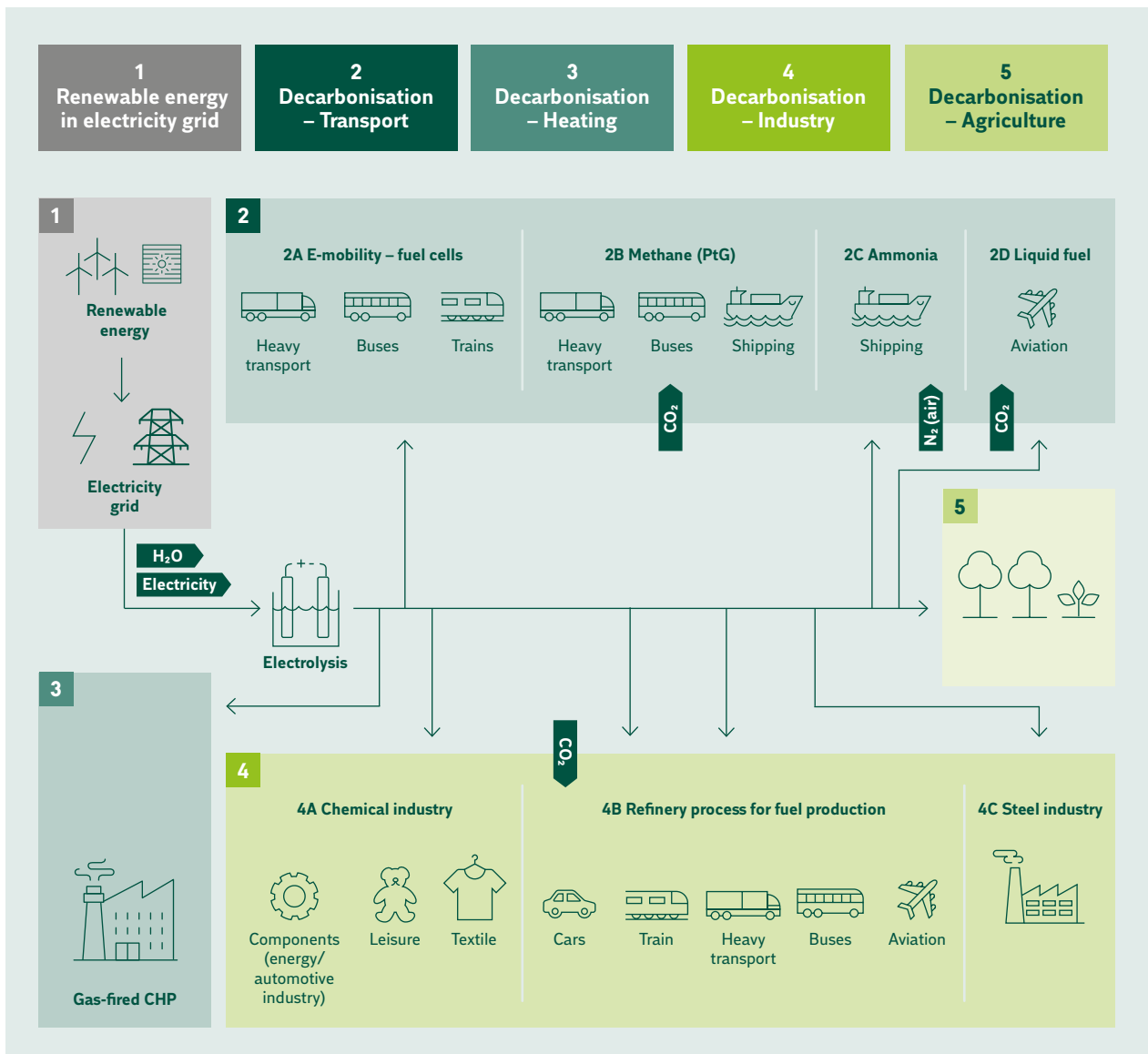
CO₂ kan anvendes til en række forskellige formål med et udpluk af relevante anvendelsesområder illustreret herunder¹⁷:

Figur 10 Kilder til CO₂ og anvendelsesområder, illustration fra IEA



I Danmark har man ambitiøse målsætninger for CCU og PtX. PtX spiller en afgørende brik i at reducere CO₂-udledningerne fra den del af energiforbruget, som ikke kan oversættes til direkte elforbrug og derfor fortsat skal bruge andre brændsler, herunder transportsektoren. I PtX produktionen skal der anvendes CO₂ som råstof til bl.a. at producere syntetisk metan og syntetiske flydende brændstoffer. Et overblik over potentiel anvendelse og processen for PtX er illustreret i figur 11 herunder:

Figur 11 Proces og anvendelsesområder for PtX



Der er potentiale for, at CCU kan være med til at substituere eksisterende fossile brændsler på tværs af en række brancher og områder.

Der forventes vækst indenfor PtX drevet af: 1) Ambitiøse klimamål, 2) regulatoriske initiativer som potentielle CO₂-skatter, 3) stigning i offentlig og privat investering, 4) øget efterspørgsel efter fleksibel energilagring, 5) faldende priser på vedvarende energi, 5) offentligt pres og ønske om bæredygtighed, og 6) teknologisk udvikling og lavere omkostninger.

De mængder CO₂, som skal anvendes til både direkte CO₂-anvendelser samt en PtX-industri i stor vækst, stiller krav til CO₂-tilgængelighed i Danmark. CO₂-fangst i Danmark og import af CO₂ kan være med til at sikre tilstrækkelig CO₂ til fremtidig produktion af PtX-produkter.

Der er i øjeblikket flere igangværende PtX projekter i Danmark, herunder en produktion af e-fuels med strøm fra Bornholms energigø (Green Fuels for Denmark, GFDK), en af Europas største produktionsfaciliteter af CO₂-fri grøn ammoniak og en samlet grøn industripark, forskningscenter og teknologi-katalysator (Green Lab Skive).

4.5 Internationalt potentiale for CO₂ import





Der er stor interesse for CCUS internationalt, hvor teknologien har været anvendt i flere år, bl.a. i USA i forbindelse med EOR (enhanced oil recovery). I Europa er der p.t. to store CCUS-projekter i drift, Sleipner og Snøhvit, begge i Norge. Udover Norge er der især stor fokus på CCUS i Storbritannien, hvor man har igangsat eller planlagt en række projekter og har en målsætning om at blive globalt førende indenfor området.

På tværs af Europa er det samlede potentiale for lagringsmuligheder estimeret til at være omkring 160 Gt CO₂ på land og yderligere 140 Gt CO₂ til havs. Anvendelsen af lagringskapaciteten på land er dog fortsat begrænset af lovgivning på tværs af store dele af Europa¹⁸. Selv uden kapaciteten på land bør der således være rigeligt CO₂-kapacitet.

Baseret på Rambølls analyse af CCS-potentialet ses i nedenstående tabel en opsamling af estimerede CO₂-udledninger fordelt på forskellige sektorer samt et overblik over deres estimerede fokus/støtte til CCS, og potentialet for import af CO₂ til Danmark.

¹⁸ IEA, 'Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage'

Figur 12 Overblik over udvalgte lande og potentiale for DK import/lagring

Land	FI	SE	NO	DE	UK
Relevant CO ₂ -udledning fra store punktkilder, 2017 (Mt CO ₂ /år)	47	51	27	406	146
Fordeling på sektorer: El- og varmeproduktion Industri Andet	36% 63% 1%	32% 67% 0%	53% 42% 5%	69% 27% 4%	75% 23% 2%
Konkrete CCS-målsætninger	×	✓	✓	×	✓
Mulighed for national CCS	Lav	Lav	Høj	Med	Høj
Støtte til CO ₂ -lagring i eget land/nationalt	NA				
Indikativt potentiale for DK-lagring	Høj	Høj	Lav	Høj	Lav

○ Lav værdi ● Høj værdi

Analysen indikerer, at der vil være potentiale for Danmark i at udnytte sine CO₂-lagre til også at importere CO₂ fra andre lande. Dette potentiale er særligt højt for Tyskland og Finland, som begge har begrænsede muligheder for national CCS, grundet henholdsvis modstand til onshore lagring og uegnede forhold i undergrunden. I Tyskland er en stor del af deres energiforbrug desuden drevet af fossile kilder, hvilket skaber muligheder for CO₂ fangst og lagring for at reducere emissioner. Dette kunne på sigt blive en potentiel indtægtskilde for Danmark og give muligheder for erhvervslivet. Der vil potentielt være et separat marked for CO₂-import til lagring og for CO₂-import til brug, da klimaeffekterne vil være forskellige, hvilket vil påvirke de nationale CO₂-regnskaber.

Udover markedspotentialet i CCS forventes der omfattende international efterspørgsel på e-fuels for at understøtte en grøn transition af transportsektoren.

4.6 Regulering og initiativer indenfor CCUS

Fra europæisk side er der stor opbakning til CCUS, som også er afgørende i den europæiske 'Green Deal' og målsætningen om at reducere CO₂-udledninger med 55 % før 2030. Der er således også en række støtteordninger og investeringspuljer, som understøtter CCUS, herunder Connecting Europe Facility (CEF) og Accelerating CCS Technologies (CCT), som også beskæftiger sig med CCU. Derudover er CCUS inkluderet i EU-taksonomien og inkluderes på tværs af en række initiativer, rapporter og strategier.

I forhold til EU-regulering bliver CO₂-lagring reguleret under det såkaldte EU 'CCS-direktiv' (2009/31/EF)¹⁹. CCS-direktivet er implementeret i Danmark i undergrundsløven og ved bekendtgørelsen om geologisk lagring af CO₂. CCS-direktivet giver mulighed for, at medlemslandene selv bestemmer, om undergrundslagring af CO₂ skal tillades, og man har i Danmark indtil videre besluttet, at det ikke er tilladt. Regeringen er ved af afdække denne og andre barrierer for CCS²⁰, hvilket potentielt kan åbne døren for dansk CO₂-lagring i fremtiden.

Udover CO₂-lagring har EU også igangsat en række politiske initiativer til at understøtte CCU og PtX, herunder 'Strategy for Energy System Integration and Hydrogen' (investering og revision af regulering), EU RED II (øget 2030 målsætning for vedvarende energi) og EU Green Deal (investering på mindst EUR 1 billion i vedvarende energi i det næste årti²¹). Derudover diskuteres CCU og CCS i forhold til EU's kvotehandelssystem, hvor priserne er for lave relativt til omkostningerne ved CCS, og hvor produktionen af e-fuels ved brug af DAC ikke belønnes med det nuværende kvotesystem.

Internationalt påvirkes CCUS-markedet også af London-protokollen²², som er en global protokol, der forhindrer eksport af CO₂ og andre affaldsprodukter med det formål at dumpe det til søs. En dispensation for eksport af CO₂ til lagringsformål blev fremstillet i 2009, men den er endnu ikke ratificeret af tilstrækkelig mange medlemmer. Denne protokol var tidligere en signifikant barriere for oprettelsen af et internationalt marked for CO₂-lagring. I oktober 2019 blev Norge og Holland, støttet af Storbritannien, enige om en midlertidig vedtagelse af ændringen fra 2009, hvilket giver mulighed for transport af CO₂ på tværs af grænser²³.

Udover internationale initiativer er der en række politiske initiativer, som understøtter CCUS i de enkelte lande. I Storbritannien har man har skabt favorable forhold for CCS igennem politiske og regulatoriske initiativer og har etableret CSS som en afgørende brik

¹⁹ EU Direktiv: DIRECTIVE 2009/31/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide

²⁰ Bech-Bruun, 'CCS-teknologi – en klimaløsning med juridiske udfordringer'

²¹ EC 'The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained'

²² IOGP, 'The potential for CCS and CCU in Europe'

²³ IEA, 'Energy Technology Perspectives 2020: Special report on Carbon Capture Utilisation and Storage'

i deres dekarboniserings-strategi. Politiske initiativer inkluderer omfattende investeringer i forsknings- og udviklingsprojekter og CfD-finansierede CCS-projekter, en tilgang der også er anvendt på projekter for offshore-vind. I USA har man oprettet et støttesystem for CO₂-fangst under navnet 45Q, hvorved man kan opnå skattefradrag på 35-50 USD pr. ton CO₂. I modsætning til Storbritannien ser man i Holland i højere grad på CCS, som en kortsigtet løsning og CCU og BECCS som langsigtede løsninger for at reducere CO₂ i atmosfæren²⁴. På tværs af Europa er den generelle attitude til CCS i de fleste lande positiv eller neutral, men mange lande har dog begrænsninger på onshore CO₂-lagring, herunder Tyskland og Holland. Onshore-lagring har i øvrigt mødt stor modstand blandt befolkningen i bl.a. Holland.

Efterhånden som CCUS-området udvikler sig vil der være stigende behov for at opsætte effektive markedsmekanismer og regulatoriske standarder. Herunder oprettelsen af et marked for lagring af CO₂ og etablering af et egentligt prisniveau på CO₂.



²⁴ International Energy Agency 'The Netherlands 2020: Energy Policy Review'

Omkostningsniveau for CCS

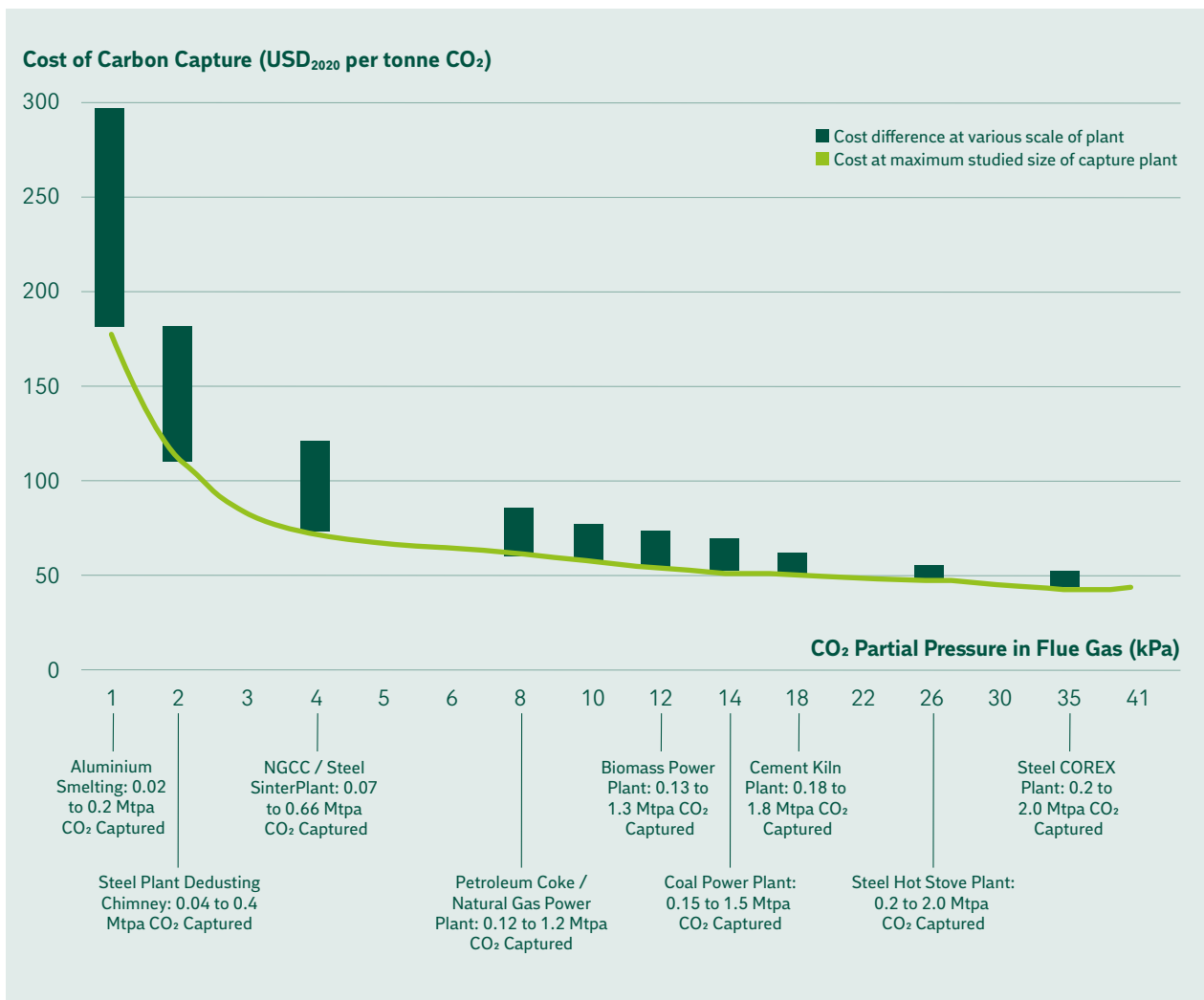
5

5. Omkostningsniveau for CCS

5.1 CO₂-fangst

Omkostningerne til CO₂-fangst varierer imellem forskellige teknologier men er især drevet af CO₂-koncentrationen, skalaen og prisen på energi. Dette afspejles også i figur 13. Den viser, at omkostningerne for CO₂-fangst falder med øget koncentration af CO₂. Derudover viser grafen, at skala er en vigtig parameter for omkostningsniveauet.

Figur 13 Overblik over effekten af CO₂ koncentration og skala på omkostningerne for CO₂-fangst, illustration fra Global CCS Institute²⁵



²⁵ Global CCS Institute, 'Technology Readiness and Costs of CCS'

For et mellemstort affaldsenergianlæg i Danmark har Rambøll i et studie for DAF estimeret omkostninger til CO₂-fangst med aminskrubning, den mest udbredte form for CO₂-fangst, til at være ca. 345 DKK/t CO₂²⁶, hvilket stemmer godt overens med ovenstående graf. Dette dækker investering, drift og vedligehold frem til, at CO₂ er klar til transport. Denne teknologi kan anvendes på eksisterende kraftværker, inkl. WtE, men den kan også anvendes til at fange CO₂ fra andre industrier, herunder raffinerier, cementproduktion m.m.

Det forventes, at omkostninger til CO₂-fangst i Danmark vil falde over de kommende år. I ovennævnte studie, som Rambøll udarbejdede for DAF i 2020, er det vurderet at omkostningen for CO₂ fangst på et mellemstort Dansk affaldsenergianlæg vil komme ned omkring 300 DKK/t CO₂ indenfor 10 år. Yderligere udvikling og innovation indenfor fangstteknologien vil kunne bidrage til at drive prisen yderligere ned. Dette ville blandt andet være i form af teknologi til energieffektiv CO₂-fangst, som ville kunne bidrage til at holde omkostningerne for de konkrete projekter nede og samtidig underbygge danske styrkepositioner inden for energieffektivitet, overskudsvarme m.v. samt afkorte afstanden til at Danmark når sine klimamål.

5.2 Faldende omkostninger til CO₂-fangst vil gøre det mere attraktivt for både energi-intensive industrier og kraftværker. CO₂ transport

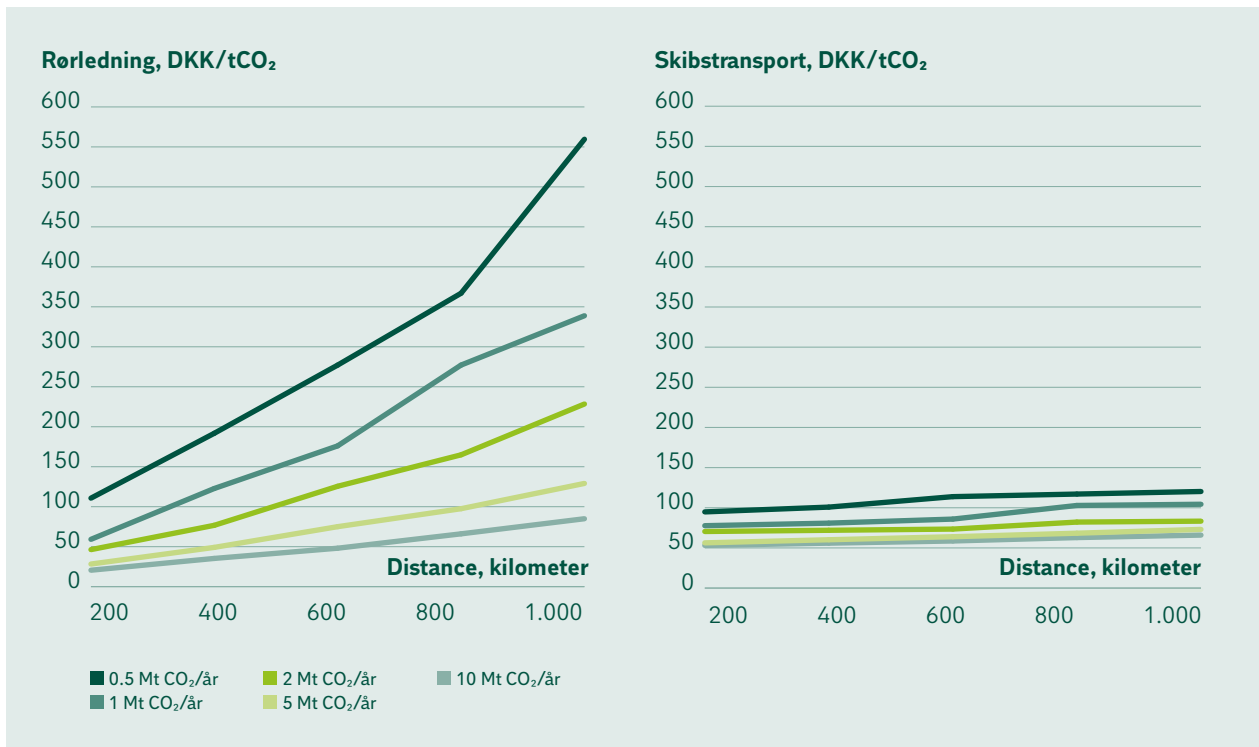
Transport af CO₂ kan generelt foregå med rørledninger, skib eller tog/vejtransport. Disse har forskellige fordele, ulemper og prispunkter. Man vil typisk kun anvende vejtransport til mindre volumen og korte distancer, f.eks. til midlertidige lagre, når det ikke er muligt/rentabelt at etablere en rørledning.

Rambøll-estimerer viser, at transportomkostningerne for rørledning på afstande omkring 50 km bliver sammenlignelige med omkostningerne for tanktrailer, når der ledes ca. 0.2 Mt CO₂ igennem pr. år. Det betyder, at omkostningerne for mindre anlæg formentlig vil være for høje til rørledning. Dette kan imødekommes ved, at flere anlæg slår sig sammen om tilslutning til en fælles rørledning. Ved at flere anlæg/punktkilder slår sig sammen, vil man kunne drive endnu lavere omkostninger pr. ton CO₂ ved at øge kapaciteten.

Over længere afstande og med større volumen til f.eks. offshore lagring står valget imellem rørledninger og søtransport. Begge teknologier er mulige, om end offshore loading er afhængigt af vind og vejr. Omkostningerne forventes at falde over tid, særligt efterhånden som kapaciteten udbygges og eksisterende infrastruktur eventuelt tilpasses til CO₂-transport. Baseret på et studie fra Storbritannien estimeres de relative omkostninger²⁷. Estimerede omkostninger, inkl. havnefaciliteter og liquifaction til skibstransport, ses i figur 14 herunder:

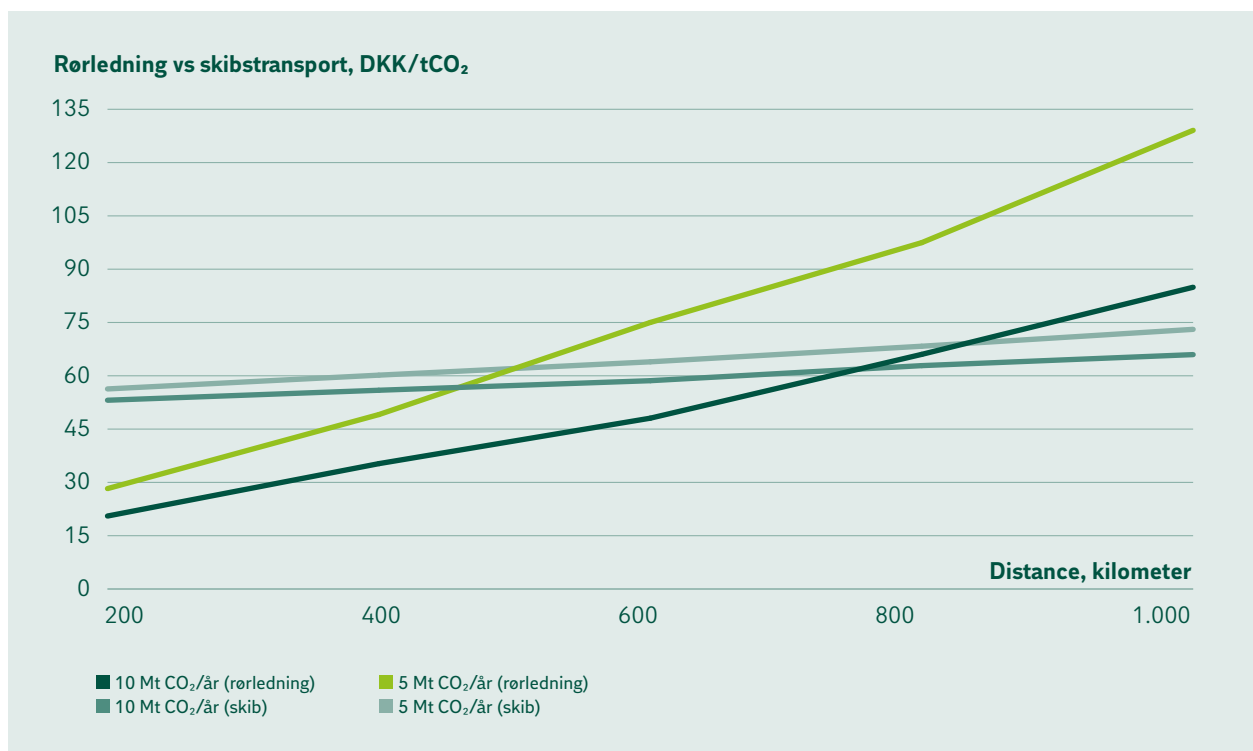
²⁶ Rambøll, 'CO₂ Fangst på Danske Affaldsenergianlæg', se rapport for fuld liste af forudsætninger og antagelser

²⁷ Udregninger og figur er baseret på standardforudsætninger og model fra BEIS, 'Shipping CO₂: UK cost estimation study'

Figur 14 Estimerede omkostninger til transport med rørledning og skib ved forskellige volumen og afstande

For CO₂-skibstransport spiller både OPEX og brændselsomkostninger en signifikant rolle, hvorimod omkostningerne til rørledninger domineres af CAPEX. Analysen viser, at skibstransport er det billigste alternativ for mindre volumen og ved lange afstande. Rørledninger har lavere omkostninger end skibstransport ved højt volumen/flow og ved kort-medium afstande. Dette er også illustreret på figur 15 herunder, som viser omkostningerne for transportrørledning relativ til skibstransport ved 10 Mtpa og 5 Mtpa.

Dette indikerer, at rørledninger vil være billigere for afstande under ca. 500 km ved et flow på 5 Mt og 750 km ved 10 Mt. Ovenstående priser er indikationer og vil variere efter, om det bl.a. er en offshore- eller onshore-rørledning.

Figur 15 Estimerede omkostninger til rørledning relativ til skibstransport

Nogle af de faktorer som driver de relative omkostninger, udover volumen, tryk og distance er:

- **Varigheden af projektet:** Projekter med længere levetid styrker casen for rørledninger grundet længere afskrivningsperiode for CAPEX.
- **Midlertidig lagring:** CO₂-transport med skib er afhængig af dyre CO₂-terminaler inkl. faciliteter til midlertidig lagring
- **Størrelsen på tilgængelige skibe:** Større skibe vil give mulighed for at reducere enhedsomkostningerne for CO₂-transport med skib
- **Omkostninger til brændsel:** Brændselsomkostninger udgør op til 29 % af omkostninger til skibstransport og påvirkes i høj grad af omkostninger til liquefaction og vil på sigt blive afhængig af tilgængeligheden af e-fuels

²⁸ IOGP, 'The potential for CCS and CCU in Europe'

- **Eksisterende infrastruktur:** Der er signifikante potentielle omkostningsbesparelser ved tilpasning og anvendelse af eksisterende rørledningsinfrastruktur til transport af CO₂. I en rapport estimeres det, at omkostningerne ved at genbruge olie- og gasledninger kan være ned til 1-10 % af omkostninger ved etablering af nye rørledninger²⁸. Det vil være afgørende at undersøge yderligere præcis hvor meget af dette udstyr, der kan genanvendes til CO₂.

Ved anvendelse af rørledninger på tværs af Danmark vil der desuden være mulighed for at forbinde importeret CO₂ fra lande omkring Østersøen nemmere med lagringsmuligheder i Nordsøen eller onshore lagre i Danmark. Derudover vurderes teknologierne for transport af CO₂ ved rørledninger til at være mere modne end stor-skala transport af CO₂ med skib, hvormed der kun er begrænset erfaring²⁹.

5.2 CO₂-lagring

Omkostninger til CO₂ lagring afhænger af, om lageret er placeret onshore, nearshore eller offshore og, om der anvendes tidligere olie-/gasfelter eller saline akviferer. Udnyttelse af eksisterende infrastruktur har potentiale for at bringe omkostningerne ned med forbehold for at faciliteterne kan leve op til de sikkerhedskrav, der gælder i forbindelse med håndtering af CO₂.

Internationale studier har dokumenteret, at omkostningerne til onshore generelt er lavere end for offshore og, at det er billigere at anvende tømte olie- og gasfelter fremfor saline akviferer. ZEP (Zero Emissions Platform), estimerer omkostninger til lagring på 2-20 EUR/tCO₂. Onshore lagring ligger i den lave ende af dette interval. Disse omkostningsestimater bygger dog på en antagelse om fuld skala CO₂-lagring i en moden industri³⁰.

Dette stemmer overens med Rambølls overordnede estimater på omkostningen for lagring i Danmark, som skønnes at ligge under 10 EUR/ tCO₂ for et større onshore lager og omkring 20 EUR/ tCO₂ for et større offshore lager. Omkostningsniveauet for nearshore lagre ligger herimellem. Enhedsomkostningen er lavere for større veludnyttede lagre og omkostninger til offshore lagring kan blive lavere, såfremt eksisterende rørledninger kan genbruges.

Udfordringer ved anvendelse af onshore anlæg kan dog gøre dem mindre attraktive, herunder pladskrav, restriktioner i nuværende regulering, øgede krav til overvågning og mulig modstand fra lokalsamfund, hvor CO₂-lagringen ville foregå.

²⁹ Global CCS Institute, 'Technology Readiness and Costs for CCS 2021'

³⁰ Zero Emission Platform (ZEP), 'The cost of CO₂ Capture, Transport and Storage'

5.3 Udvikling i omkostninger

Historisk set har CCUS været anset for at være en dyr løsning, men erfaringer fra projekter som i Duiven, Holland, indikerer, at omkostningerne potentielt har været overvurderet på grund af manglende erfaring med byggede anlæg. Derudover forventes priserne at falde med udviklingen i nye teknologier, effektiviseringer og øget kapacitet.

Samlet forventer Rambøll, at omkostninger vil falde i fremtiden, drevet af en kombination af:

- 1 Læringseffekter:** Erfaringer viser, at CAPEX falder fra tidligere udviklingsprojekter til nyere projekter i drift. Den estimerede pris på nye foreslåede CO₂-fangstprojekter er således ned til halvdelen af projekter i drift i dag, såsom 'Boundary Dam' og 'Petra Nova'.
- 2 Teknologisk udvikling:** Med øget udbredelse af CCUS-teknologier forventes der også yderligere teknologisk udvikling, der kan være med til at drive prisen på CCUS ned.
- 3 Konkurrenceudsættelse:** Med konkurrenceudsat udbud af flere kommercielle projekter vil man drive innovation og øge incitamenterne for leverandører til at levere løsninger indenfor området.
- 4 Økonomisk incitament:** Ved inkludering af CCS og CCU i ETS-systemet vil der være økonomiske fordele ved at installere CC-anlæg, hvilket vil drive større efterspørgsel og lavere priser.
- 5 Etablering af netværk/klynger:** Analyser viser, at en afgørende faktor i at reducere omkostningerne for CCUS er at minimere afstanden fra CO₂-udledere til lagring eller anvendelseslokationen. Dette kan opnås ved at etablere flere netværk med fokus på at sikre relativ lille geografisk spredning sammenholdt med en kritisk masse af udledere (nødvendige punktkilder til at opnå kritisk masse vil variere efter CO₂-koncentration og samlet udledning for virksomhederne i området).

Omkostningerne forventes at falde fremadrettet, men fald i prisen på lav-koncentration CO₂-fangst vil kræve en stigning i kapaciteten for at opnå skalafordele og læringskurveeffekter i stil med dem, man bl.a. har set i vind- og solindustrien³¹.

³¹ BCG, 'Think Small to Unlock Carbon Capture's Big Potential'

Danmarks markeds- muligheder og erhvervs- potentiale indenfor CCUS



6. Danmarks markedsmuligheder og erhvervs-potentiale indenfor CCUS

6.1 CO₂-pris og kommerciel relevans

En af de afgørende faktorer for den kommercielle udbredelse af CCS-løsninger, og i særdeleshed CO₂-fangst, er det samlede afgifts-/prisniveau på CO₂.

De samlede afgiftsniveau på CO₂ består i dag af energi/CO₂-afgift og et køb af CO₂-kvoter i EU-ETS-systemet. Nødvendigheden af CO₂-kvoter gælder i dag kun udledningen af fossil CO₂, hvilket reducerer incitamentet til at implementere CC på områder, hvor der delvist, eller udelukkende, anvendes biomasse/grønt brændsel.

For at CO₂-fangst bliver attraktivt for de danske udledere, vil det kræve, at CO₂-priser/-afgifter kommer op på et niveau, hvor det kan betale sig at indfange, og eventuelt videresælge, CO₂'en. Det vil kræve en udvikling i prisen og/eller omkostningerne for CO₂-fangst, før det bliver kommercielt rentabelt. Det forventes, at prisen på ETS CO₂-kvoter vil stige frem mod 2030 for at give incitament til aktiviteter, der kan nedsætte CO₂ udledningen³².

6.2 Erhvervsmuligheder – eksport af CCUS-teknologier og ydelser

For danske virksomheder giver CCUS muligheder indenfor eksport af fysisk udstyr, enten produceret i Danmark eller udlandet, samt indenfor rådgivning i forbindelse med design, ingeniørarbejde og konstruktion for kunder udenfor Danmark. I et norsk studie fra 2018 estimeres det, at markedet for CO₂-fangstteknologi og installationer kan nå imellem 75 og 200 mia. NOK i 2030 og op imod 450 mia. NOK i Europa i 2050³³. I et andet studie fra 2016 estimeres det, at CCU-potentialet kan reducere globale emissioner med 10 % i 2030 og, at det globale marked for CCU- og CO₂-baserede produkter vil nå 800 mia. USD i samme periode³⁴.

³² Markedsaktører fra bl.a. Refinitiv og Bloomberg forventer en tredobling af CO₂ prisen mod 2030 (til en pris på 80-100 EUR)

³³ SINTEF, 'Industrial opportunities and employment prospects in large-scale CO₂ management in Norway'

³⁴ ICEF, 'Global Roadmap for Implementing CO₂ Utilization'

Danmark er velpositioneret til at tappe ind i dette store potentielle marked for CCUS. Dette er i særdeleshed bygget på en stærk konkurrenceevne drevet af:

- **Industri der kan levere bred vifte af ydelser og løsninger indenfor CCUS.** I Danmark er der både virksomheder, som leverer de nødvendige komponenter til CCUS-anlæg (bl.a. brøndløsninger, pumper, kemikalier, katalysatorer mm.) og udviklere, som kan levere integrerede løsninger globalt og derefter sælge dem (f.eks. CIP/Ørsted). En samlet løsning giver mulighed for at optimere processen, reducere prisen og reducere risikoen for køber – og samtidig mulighed for at involvere en række danske virksomheder som underleverandører. I Danmark findes samtidig risikovillig kapital, som gerne vil investere i denne type løsninger, og man kan således også hjælpe med finansiering af projekterne.
- **Fokus på CCUS.** Det er en fordel, at man i Danmark har erfaring med pilotprojekter og fokus på CCUS. For at bibeholde denne fordel er det afgørende, at Danmark fører an i udviklingsfasen og har pilotprojekter, som fremhæver kvaliteten af danske løsninger. Dette understreger vigtigheden af politiske tiltag som f.eks. en pulje på ca. 16 mia. DKK til CCUS i Klimaaftalen for energi og industri mv. 2020³⁵.
- **Global status indenfor grønne løsninger**³⁶. Ved at gå forrest med ambitiøse klimamål-sætninger, inkl. CCUS, kan Danmark også lægge internationalt pres på andre lande for også at være mere ambitiøse. Dette kan være med til at drive efterspørgsel og skabe markedet.

Danske virksomheder er til stede og leverer ydelser på tværs af værdikæden for både CCU og CCS. Et high-level overblik, inkl. udpluk af virksomheder på tværs af CCUS værdikæden, er illustreret herunder:

³⁵ Klimaafale for energi og industri mv. 2020, indføres fra 2024 og løber i 20 år

³⁶ Illustreret ved Danmarks deltagelse og tale ved 'Leaders Summit on Climate

Figur 16 Overblik over trin i CCUS værdikæden, karakteristika og udvalgte virksomheder

Der er særligt mange virksomheder, som opererer indenfor 'produktion'-leddet, hvor danske virksomheders kompetencer vurderes at være særligt stærke.

For at estimere hvor de danske virksomheder har størst potentiale for at eksportere udstyr/ ydelser direkte relateret til CCUS, vurderes de regionale udsigter for CCUS i henholdsvis Nordamerika, Europa, Asien og Mellemøsten kort. Udover disse områder kan man på sigt også vurdere potentialet i Oceanien, Sydamerika og Afrika.

Nordamerika:

Nordamerika er den globalt førende region indenfor CCUS, målt på CO₂-fangstkapacitet, ført an af USA men også med Canada som en signifikant spiller på området med en række igangværende projekter³⁷ og en samlet CO₂-fangstkapacitet på 25 Mt. Det er således to signifikante markeder for danske virksomheder at tappe ind i. Der er begrænset fokus på CCUS i Mexico.

Det er både CCS- og CCU-projekter, som er i fokus i både Canada og USA, der begge har sat større puljer af til investering indenfor området, bl.a. en USD 131 millioner pulje fra U.S. Department of Energy til CCUS-teknologier annonceret sidste år³⁸. En lignende pulje er bl.a. annonceret i Alberta, Canada (ERA). Derudover tilbyder man i USA skattefradrag for CCUS-tiltag på op til 45 USD/tCO₂, en ordning der er kendt under navnet 45Q. Begge lande har geologiske formationer og olie-/gasfelter, der egner sig til CCS, samt industrier, som er relevante for CCS, bl.a. cement og stålproduktion, samt fokus på produktion af hydrogen og e-fuels. I USA kigger man primært på blå hydrogen.

En stor del af projekterne i regionen i dag er EOR-projekter, bl.a. Petra Nova hvor CC er retrofittet på et kulkraftværk og anvendes/deponeres ifm. olieudvinding. CO₂-fangst på kraftværker har generelt stort potentiale i regionen, og i USA står emissioner fra energiproduktion for over en tredjedel af deres samlede CO₂-udledninger. Der er omfattende potentiale for at retrofytte mange af disse anlæg med CO₂-fangst. Kulkraftværkerne i USA er dog gamle, med en gennemsnitsalder på 40 år, hvilket kan betyde, at relativt dyr CC-retrofitting ikke er relevant for alle anlæg. Gaskraftværker har til sammenligning en gennemsnitsalder på 22 år, og industrielle anlæg 10 år, hvilket kan betyde, at CO₂-fangst vil være en mere attraktiv mulighed for disse anlæg³⁹ og give muligheder for dansk eksport af ydelser og teknologier.

Europa:

Der er fokus på CCUS på tværs af en række europæiske lande. Derudover er der også igangsat flere CCUS-projekter, bl.a. CO₂Fokus og STRATEGY CCUS, som har fået støtte igennem Horizon 2020-programmet og har til formål at støtte udviklingen af CCUS i Syd- og Østeuropa. Derudover indgår CCS også som et vigtigt værktøj i den europæiske 'Green Deal'.

Der er flere planlagte CCUS-projekter i Europa og to større projekter i drift, begge i Norge. Den store politiske støtte til CCUS-projekter i Europa forventes også at drive yderligere efterspørgsel efter både teknologi og tjenester. Gennemsnitsalderen på fossilbaserede kraftværker i Europa er 28 år (33 år for kul, 17 for naturgas), hvilket gør retrofitting til en

³⁷ PEMBINA og CMC Research Institute

³⁸ Energy.gov, 'U.S. Department of Energy Announces \$131 Million for CCUS Technologies'

³⁹ IEA, Energy Technology Perspectives 2020: Special report on Carbon Capture Utilisation and Storage

mere attraktiv løsning for mange værker, relativt til i USA. En fordel for CCUS i Europa er, at meget af udledningen er koncentreret omkring færre industrielle 'hubs', hvoraf mange er tæt på potentielle lagringsområder. IEA estimerer, at 19 % af industrielle anlæg er placeret indenfor 100 km af et potentielt CO₂-lager. Disse industrielle hubs ligger især i Tyskland, Frankrig, Belgien, Holland, Storbritannien samt Skandinavien, alle lande/regioner hvor der er planlagt eller foreslået CCUS-projekter.

Der vil være muligheder for danske virksomheder for både at sælge ydelser og teknologi på tværs af Europa, og særligt til flere nærliggende lande. Ved etablering af Danmark som eksperter vil man kunne høste potentiale for både eksport af teknologier og potentielt salg af lagring.

Asien:

I Asien er der især stort fokus på CCUS i Kina, hvor CCUS specifikt nævnes som en vigtig teknologi i deres 5-års plan, og der er også flere pilotprojekter samt ét aktivt projekt, CNPC Jilin. Der er dog også interesse for CCUS i andre dele af Asien, hvor det er blevet promoveret af ADB siden 2009. I 2020 blev der desuden indgået et partnerskab mellem Japan, USA og de 10 ASEAN-lande for at undersøge mulighederne for CCUS i Sydøstasien⁴⁰.

Netop Japan har også fokus på CCUS og hydrogen-løsninger. CCUS er således også defineret i deres 'Environmental innovation Strategy', hvor der især er fokus på anvendelse af CO₂ til bl.a. produktion af e-fuels. Det forventes, at Japan både vil anvende CCS nationalt og eksportere CCUS teknologier⁴¹.

Det individuelle land med størst potentiale for CCUS i Asien er Kina. Kina har erklæret, at de vil være CO₂-neutrale før 2060, hvilket vil kræve omfattende implementering af CCUS-løsninger for at reducere udledningen fra industrier, hvor man er afhængige af fossile brændstoffer. Dette inkluderer bl.a. stålproduktion, hvoraf 60 % af den globale kapacitet ligger i Kina samt 30 % af produktionskapaciteten for ammoniak, metanol og andre kemikalier. Derudover er kulkraftværker ansvarlige for 45 % af CO₂-udledningerne i Kina⁴². Relativt til Europa og USA er mange af disse anlæg relativt unge, med en gennemsnitsalder for kulkraftværker på 13 år og industrielle anlæg på 10-15 år. Der vil således være stort potentiale for at retrofitte anlæg med CO₂-fangstteknologi, da de stadig forventes at være i drift de næste årtier. Der er store industrielle clusters langs kysten, men også i store dele af fastlandet, hvor der tillige er identificeret muligheder for geologisk lagring, særligt i forbindelse med EOR. Der er således stort potentiale for CCUS, inkl. dansk eksport til Kina, men også nogle udfordringer i forhold bl.a. manglende juridiske og politiske rammer, manglende stimulans af markeder samt utilstrækkelig finansiering⁴³.

⁴⁰ Nikkei Asia, 'Japan looks to ASEAN nations for carbon capture and storage'

⁴¹ Global CCS Institute, 'Global Status of CCS 2020'

⁴² IEA, Energy Technology Perspectives 2020: Special report on Carbon Capture Utilisation and Storage, s. 143

⁴³ Jiant et al, 2020, 'Privacy-preserving decentralized power system economic dispatch considering carbon capture power plants and carbon emission trading scheme via over-relaxed ADMM'

Mellemøsten:

I Mellemøsten har flere lande udtrykt en målsætning om at anvende CCS og CCUS til at reducere deres klimaeffekt. Dette er i mange tilfælde i forbindelse med EOR, men regionen er også hjemsted for flere andre energiintensive sektorer og industrier, herunder raffinaderier og produktion af petrokemikalier⁴⁴. Der er således også flere projekter relateret til CCUS i området, både research-projekter (bl.a. i UAE, Saudi Arabien og Qatar), større CCUS-anlæg (bl.a. et i Saudi Arabien og et i UAE) samt annoncerede planer om flere projekter, bl.a. planer om CO₂-fangst fra naturgasanlæg på op imod 5 Mt CO₂/år i Abu Dhabi fra 2030. I forhold til CCU har bl.a. UAE sat en målsætning om at blive storproducent af hydrogen ved anvendelse af CO₂-fangstteknologi (også kendt som blå hydrogen)⁴⁵.

Denne region er storproducenter af olie og gas, og knap 75 % af CO₂-udledningen i regionen stammer fra UAE og Saudi Arabien alene. Det forventes, at CCUS kommer til at spille en afgørende rolle i dekarboniseringen af området, og der er også stort potentiale for CO₂-lagring i undergrunden i størrelsesordenen 5-30 Gt. Udledningen af CO₂ er centreret omkring relativ få store punktudledere, som er samlet i industrielle klynger og olieletter, hvilket forbedrer mulighederne for CCUS. Qamar energi estimerer, at det vil kræve 40-60 milliarder USD at reducere udledningerne over de næste 10 år⁴⁶. Der forventes at være stort potentiale for eksport af teknologi og ydelser til regionen, og Global CCS Institute beskriver, at regionen potentielt kunne udvikle sig til et 'globalt hot spot' for CCS⁴⁷. Der er dog potentielle udfordringer med skalering på tværs af regionen grundet høje CAPEX, manglende regulatoriske rammevilkår, teknologisk modenhed og manglende CO₂ priser, ifølge studie fra 2012⁴⁸.

Case eksempel: Affaldsforbrændingsanlæg og Kulkraftværker i Kina

Kina har knap halvdelen af den globale kapacitet for kulkraftværker og udbygger kraftigt antallet af affaldsforbrændingsanlæg, med en relativ lav gennemsnitsalder på anlæggene og planer om at øge kapaciteten ifølge 'Chinese Electricity Council'⁴⁹ er disse anlæg oplagte til at eftermontere med CO₂-fangst udstyr. Det stigende pres for reduktion af udledninger udgør en mulighed for danske virksomheder for både at levere serviceydelser og rådgivning, komponenter og teknologi eller samlede løsninger til CCUS. Mange kulkraftværker og affaldsforbrændingsanlæg ligger i nærheden af byer og industriområder, hvor der vil være behov for grønne brændstoffer til transport og procesindustri. Der vil være muligheder for at sælge løsninger med CO₂-fangst og tilhørende PtX anlæg. For at udnytte overskudsvarmen kan dette desuden kombineres med fjernvarmenet eller lignende.

⁴⁴ United Nations, Report on Carbon Capture Utilization and Storage Challenges and Opportunities for the Arab Region

⁴⁵ World Oil, 'UAE targets carbon-capture hydrogen to reduce greenhouse emissions', 2021

⁴⁶ Qamar Energy præsentation for Global CCS Institute, 'Building momentum for CCS in the Gulf region',

⁴⁷ Global CCS Institute, 'Global Status of CCS 2020'

⁴⁸ Liu H, Tellez B G, Atallah T, Barghouty, M, 'The role of CO₂ capture and storage in Saudi Arabia's energy future', 2012

⁴⁹ Carbon Brief, 'Analysis: will China build hundreds of new coal plants in the 2020s?'

Der vil være mulighed for både samlede løsninger eller enkeltstående udstyr/teknologi og services.

Case eksempel: Løsning til CO₂-fangst

Mulighed for salg af løsninger indenfor CO₂-fangst, hvor man sælger samlet løsning til f.eks. affaldsforbrændingsanlæg, kan potentielt blive et område i stor vækst i Asien. Dette giver mulighed for at reducere emissioner, eller endda give negative emissioner, på anlæg med hel eller delvis biogen udledning og derved bidrage positivt til de globale klimamål. På sigt kan det blive en afprøvet teknologi i Danmark, hvor der er stærke kompetencer, indsigt i potentielle udfordringer og mulighed for at tilbyde samlede løsninger. Det vil i fremtiden være oplagt at etablere disse anlæg i forbindelse med PtX eller anden anvendelse af CO₂ – for at udnytte synergier og skabe en potentiel indtægtskilde for fangstanlægget.

Case eksempel: Grønne byggematerialer

Ved at facilitere etablering af CCUS på danske virksomheder, vil man potentielt sikre vilkårene for og forbedre konkurrenceevnen for den danske procesindustri og anden tung industri, som ellers ikke kan opnå CO₂-neutralitet. Ved at være foregangsland indenfor CCUS understøttes eksport af grøn cement og grønne byggematerialer, som er områder i stor vækst⁵⁰.

6.3 Erhvervs muligheder – CO₂-import fra omkringliggende lande

For Danmark vil import af CO₂ fra omkringliggende lande potentielt være med til at drive erhvervs muligheder på tværs af virksomheder i hele værdikæden. Det er veldokumenteret, at Danmark har høj lagringskapacitet og, at der er potentielle fordele og muligheder ved import af CO₂ fra omkringliggende lande. Muligheder og potentielle fordele ved at importere CO₂ inkluderer:

⁵⁰ Businesswire, 'Green Building Materials Market | Rising Need for Energy-efficient Green Buildings to Boost the Market Growth'

Figur 17 Muligheder og fordele for Danmark ved import af CO₂

Erhvervs muligheder for Danmark ved CCS	Beskrivelse
Reduktion af omkostninger til national CCS via skalaeffekter	<p>Import udefra giver skala, hvilket giver lavere pris for CCUS og derved bedre konkurrenceevne for dansk procesindustri</p> <p>Dette vil især være en fordel for industrier, hvor man ikke kan opnå CO₂-neutralitet ved effektivisering og er afhængige af fossile energikilder, hvor CCUS er et af de eneste alternativer</p>
Understøtter PtX og CCU-industri	<p>Ved at importere CO₂ til lagring kan man opbygge infrastruktur, som også kan understøtte PtX og CCU</p> <p>Hydrogen- og carbon-fuels vil være kritiske for decarboniseringen af en række sektorer og har stort markedspotentiale⁵¹</p> <p>Fangst- og lagring af CO₂ fra biogene kilder giver mulighed for produktion af grønne brændstoffer</p>
Udnytte eksisterende olie- og gasfelter	<p>Mulighed for at udnytte kapacitet i eksisterende olie- og gas-felter som potentiel indtægtskilde</p>
Etablering af industri omkring CCS og fastholdelse af danske arbejdspladser	<p>Etablering af CCS-industri i Danmark vil skabe jobs, hvor man kan udnytte stærke kompetencer og erfaringer fra især olie- og gasindustrien</p> <p>Danmark har stærke kompetencer og virksomheder på tværs af værdikæden, som vil kunne sælge deres ydelser/teknologier</p> <p>Ved at etablere en industri for dette i Danmark vil man skabe know-how og positionere sig til på sigt også at kunne eksportere mere teknologi og ydelser</p>
Marked for international CO ₂ -transport	<p>Dansk shippingindustri har omfattende erfaring med effektiv og sikker transport af flydende gas. Disse erfaringer vil kunne udnyttes til også at levere konkurrencedygtig transport af CO₂</p> <p>Erfaringer gjort nationalt vil også kunne anvendes internationalt og forbedre konkurrenceevnen</p>

⁵¹ SINTEF, 'Industrial opportunities and employment prospects in large-scale CO₂ management in Norway'

6.4 Potentielle barrierer og løsninger

Herunder fremhæves nogle af de potentielle barrierer for bred udbredelse af CCUS.

Figur 18 Potentielle barrierer for udbredelse af CCUS

Barriere	Potentielle løsninger
Manglende værdiansættelse på CO ₂ udledninger	<p>Klargør værdien af CO₂ udledninger, f.eks. ved: Beskatning (f.eks. CO₂ skat eller fradrag ved CO₂-fangst) Udvidelse af ETS (transport med skib samt inkludering af BECCS) CCS-krav Standarder for håndtering af CO₂-udledninger</p> <p>Ved at etablere en værdi på CO₂ vil man kunne skabe omsætning og/eller incitamenter for etablering af CO₂-fangst for flere virksomheder/anlæg</p>
Forsyningsikkerhed	<p>Import muligheder for CO₂ kan sikre internationale kontrakter</p> <p>'Store or pay' ordninger som giver mulighed for at garantere omsætning</p>
Den sikkerhedsmæssige regulering af CO ₂ er uklar	<p>For at opnå samme høje sikkerhedsniveau ved rørført CO₂ som for det eksisterende gassystem, vurderes det at være en fordel at anvende samme fremgangsmåde for de sikkerhedsmæssige reguleringer som for det eksisterende gassystem.</p> <p>En sådan præcisering kan eksempelvis gennemføres ved at inkludere rørført brint og CO₂ i Bekendtgørelse 1988, som p.t. regulerer naturgasinfrastruktur. Alternativt kan der etableres en ny standard dedikeret til brint- og CO₂-infrastruktur.</p>
Afhængigheder i værdikæden	<p>Større grad af carbon capture kræver også infrastruktur til transport og lagring eller anvendelse. Der vil således være behov for investering og udvidelse på tværs af værdikæden.</p> <p>Offentlige investeringer er nødvendige for CO₂ transport og lagring.</p> <p>Fremtidig regulering skal tillade CO₂-lagring</p>

Figur 18 Potentielle barrierer for udbredelse af CCUS, fortsat

Barriere	Potentielle løsninger
Usikkerhed om risiko og omkostninger	<p>Usikkerhed omkring den langsigtede risiko ved CO₂ lagring reducerer investeringsvillighed. Ved at skabe begrænsninger på risikoen og ved at tillade overtagelse af risiko kan dette minimeres</p> <p>Usikkerhed omkring omkostningsniveau da det er et nyt område, hvor økonomien er ukendt</p> <p>Usikkerhed om politisk handling skaber usikkerhed, hvilket kan mitigeres ved at skabe klarhed omkring nationale forventninger på området</p>
Manglende investeringer til at drive reduktion i omkostninger	<p>Store investeringer indenfor CCUS er nødvendige for at opnå de ambitiøse klimamålsætninger. Indtil prisen er på et kommercielt rentabelt niveau, vil det være nødvendigt med offentlige investeringer/subsidier.</p> <p>Det vil kræve investeringer og støtte til R&D for at drive innovation og lavere omkostninger for CCUS</p> <p>Det er muligt at reducere omkostningerne i takt med øget kommercialisering, som set ved sol- og vind-industrien, men det vil kræve stærk offentlig støtte og de rette rammevilkår</p>

