



Maritim transport af CO₂

Maritim transport af CO₂

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Miljøteknologi

I samarbejde med

Maersk Broker Advisory Services
Midtermolen 1
2100 København

Oktober 2022

Udgiver: Teknologisk Institut og Maersk Broker Advisory Services A/S

Redaktion:

Daniel Asger Cáceres Larsen, Maersk Broker Advisory Services

Jacob Ask Hansen, Dansk Teknologisk Institut

William Norvold Bjørn, Maersk Broker Advisory Services

Kim Winther, Teknologisk Institut

Ketil Bernt Sørensen, Teknologisk Institut

Anna Zink Eikeland, konsulent, Teknologisk Institut

This report is based on our knowledge of relevant market conditions. Our estimates are made on the basis of this knowledge, but other circumstances, or new circumstances, as well as general uncertainty could cause the market to develop differently. We take general reservation for misprints. Maersk Broker K/S and Maersk Broker Advisory Services A/S are not responsible or liable for any damages or losses resulting or arising directly or indirectly from your use of the report.

Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
1. Baggrund og formål.....	6
2. Resumé.....	7
3. Anvendt metode.....	8
3.1. Værdikæden	8
3.2. Spørgeramme	9
4. Vurdering af mængder.....	10
4.1. Forventninger til fangst af CO ₂	11
4.2. Forventninger til lagring af CO ₂	12
5. Prissætning	14
5.1. Værdikædeomkostninger baseret på interviewserie.....	14
5.2. Omkostningsanalyse for maritim transport af CO ₂	15
5.3. Samlet økonomisk incitament for etablering af CCUS værdikæde.....	18
6. Alternativer og barrierer (andre transport former / konkurrence / infrastruktur).....	19
7. Maritim transports rolle i CCUS værdikæden	20
7.1. Kommercielle muligheder	21
7.2. Tekniske betragtninger	23
7.3. Fremtidens marked for CO ₂ shipping.....	24
8. Konklusion: CO ₂ værdikæden fra et dansk perspektiv	28
Appendix 1 - Interviewguide	30
Appendix 2 - Respondenter	32

Forord

Denne rapport blev skabt på baggrund af ønsket om at udforske og kortlægge de kommercielle maritime muligheder for transport af CO₂ i et dansk perspektiv. Fremkomsten af denne rapport er blevet muliggjort under Den Danske Maritime Fonds tilskudsordning, som har til formål at yde økonomisk støtte til initiativer, der medvirker til at fremme dansk skibsfart og maritim industri. Projektet forløb i perioden april 2022 til oktober 2022 i samarbejde mellem Maersk Broker Advisory Services og Teknologisk Institut. Derfor skal der lyde en stor tak og anerkendelse af Den Danske Maritime Fonds formål og arbejde for at muliggøre dette projekt samt at støtte fremmelsen af nye potentialer.

Rapporten vil have karakter af et forstudie og vil bestå af en kortlægning og belysning af relevante kommercielle og tekniske problemstillinger med hensyn til brug af skibe til transport af CO₂. Forstudiet vil bl.a. berøre volumen, rater, type af kontrakter, konkurrerende alternativer for transport og infrastruktur. Forstudiet vil både inddrage teknologiske, politiske, kommercielle og miljømæssige overvejelser. Rapporten vil være den første af sin slags der fokuserer på en kommerciel kortlægning af værdikæden, der belyses ud fra et maritimt og nordeuropæisk perspektiv. Rapporten har inddraget en række ekspertinterview fra forskellige aktører i Carbon Capture Utilization & Storage (CCUS) værdikæden, som skal sikre centrale pointer og indsigter fra alle dele af værdikæden.

Rapporten er struktureret således, at den indledes med en kort baggrund for Carbon Capture Utilization and Storage og dens potentielle sammenspil med maritim transport, hvilket begrunder formålet med rapporten samt fremlægger problemstillinger der ønskes besvaret. Dernæst vil den metodiske fremgangsmetode blive fremlagt ved at præsentere rapportens underliggende hypoteser, der havde til formål at sikre sammenhæng og vejledning i udarbejdelsen. Herefter, går rapporten igennem kapitler som behandler den indsamlet empiri på mængder, prissætning, alternativer/barrierer samt den maritime transports rolle i værdikæden. Til sidst vil rapporten sammendrage en konklusion der til deles konkluderer på rapporten samt belyser dansk skibsfarts potentielle rolle i det fremtidige CCUS-marked.

Projektets styregruppe bestod af:

- Daniel Asger Cáceres Larsen, Maersk Broker Advisory Services
- Jacob Ask Hansen, Teknologisk Institut
- William Norvold Bjørn, Maersk Broker Advisory Services

Desuden bidrog følgende projektdeltagere til projektet:

- Kim Winther, Teknologisk Institut
- Ketil Bernt Sørensen, Teknologisk Institut
- Anna Zink Eikeland, Teknologisk Institut

1. Baggrund og formål

Energisektoren er i gang med en stor grøn omstilling, der skal reducere udledningen fra fossile energikilder. Det forventes ikke, at der kan skabes en komplet uafhængighed af fossile energikilder, hvorfor reducere af CO₂ emissionerne på denne baggrund i sig selv ikke er tilstrækkeligt. Det internationale energiagentur (IEA) har udpeget Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) til at være en af de nøgleteknologier, der skal være med til at sikre økonomisk bæredygtighed i energisystemet i forbindelse med den grønne omstilling og muligheden for at opnå de fremtidige klimamål.¹

I forbindelse med udbygningen af CCUS i Danmark og omkringliggende lande, forventes behovet for transport af CO₂ at stige markant. CO₂'en skal transporteres fra fangstanlæg eller nærliggende havne og til lagringsfaciliteter eller aftagere af CO₂ med henblik på anvendelse. Dette kunne f.eks. være til Power-to-X (PtX). Transport af CO₂ er et mellemliggende link i CCUS-kæden og kan ske ved brug af pipelines, landtransport eller maritim skibstransport, afhængig af bl.a. geografisk lokation og volumen af udledning. Værdikæderne i forbindelse med CO₂ fangst, lagring og anvendelse er stadig under opbygning og den maritime transport af CO₂ forventes at kunne få stor betydning i denne. Dette skyldes dels fleksibiliteten forbundet med maritim transport, som kan eller vil blive nødvendig i forbindelse med etablering af værdikæderne, og dels en forventning om, at ikke alle lager- eller anvendelsesfaciliteter vil have volumener og afstande til kilder der retfærdiggør etableringen af f.eks. pipelines.

Henvielse til maritim transport i denne rapport vil referere til transport af CO₂, der bliver fragtet via skibe, som er specialdesignet til dette formål. Maritim transport af CO₂ forventes ikke at give en større teknisk kompleksitet sammenlignet med transport af andre gasser såsom f.eks. Liquified Petroleum Gas (LPG) eller Liquified Natural Gas (LNG). Dette medfører at design af skibe vil basere sig på gennemprøvet teknologi, og at man derfor ikke forventer tekniske udfordringer, der kan hindre eller umuliggøre transporten af CO₂ via skib. Kigger man på den landbaserede infrastruktur, der kræves for at understøtte udskibning af CO₂, så forventes der heller ikke større tekniske kompleksiteter, da det vil minde om tidligere etablerede værdikæder som f.eks. det globale LNG-marked. Der findes allerede på nuværende tidspunkt en håndfuld skibe til transport af CO₂ men de er for små til fremtidens behov.

I relation til dette er det relevant at undersøge de underlæggende kommercielle potentialer indenfor maritim transport af CO₂ for at undersøge om der er et marked for dette. Gennem denne rapport vil dette potentiale blive belyst med udgangspunkt i en værdikædebetragtning for at kortlægge de relevante problemstillinger omkring dette:

- Identifikation af væsentlige interessenter gennem hele værdikæden fra CO₂-kilden via fangst og transport til lagring eller anvendelse
- Estimering af de potentielle mængder der forventes at skulle transporteres
- Estimering af den potentielle markedspris for maritim transport af CO₂ og hele værdikæden
- Estimering af potentialet for maritim transport af CO₂ med et fokus på dansk skibsfart

¹ International Energy Agency; Global Energy Review: CO₂ emissions in 2021

2. Resumé

Gennem en række interviews med nøglepersoner indenfor CCUS i Danmark og omkringliggende lande, afdækkes eksisterende erfaringer med transportveje for CO₂ samt forventningerne til den fremtidige udvikling. Herunder kommer rapporten ind på relevante aspekter såsom tidshorizont, omkostninger og mulige økonomiske gevinster.

Afdækningen munder ud i følgende hovedbudskaber:

- CCUS forventes at spille en stor rolle i udfasningen af fossile brændstoffer fra industrianlæg og er tættere på at give kommerciel mening med stigende CO₂ afgifter i både Danmark og Europa.
- De første kommercielle projekter forventes i drift inden 2030, og det forventes, at der er nok lagringskapacitet til den planlagt fangst, både i Danmark og Europa.
- Maritim transport kan blive en konkurrencedygtig og fleksibel måde at fragte CO₂ fra udleder til lagerfacilitet og kan spille en stor rolle i etableringen af en effektiv CCUS-værdikæde i Nordsøen. For at muliggøre maritim transport af CO₂ er det dog nødvendigt med yderligere infrastruktur samt at projekter optimeres på tværs af værdikæden for at kunne tiltrække langsigtet kapital
- Prisen for maritim transport er en relativ lille del af den samlede omkostning på tværs af værdikæden, hvoraf fangst udgør den største del af prisen. Både fangst og transportdelen forventes at kunne reduceres signifikant ved skala og modenhed af projekter.
- Der er endnu ikke tilgængelige skibe klar til at transportere CO₂, og de bygges eller finansieres kun, hvis rederne kan sikre sig lange kontrakter.
- **På den korte bane**, inden 2030, vil markedet være baseret på lange kontrakter mellem pre-definerede fangst og lagringsfaciliteter. Intet tyder på at anvendelse vil have en nævneværdig rolle i CCUS værdikæden på den kortere bane.
- **På den længere bane**, efter 2030, vil det kræve større skala og flere lokationer for fangst, lagring og anvendelse, hvis et marked for maritim CO₂ transport skal etableres. Mange nuværende shippingvirksomheder vil have kompetencerne til at spille en rolle i dette marked, hvilket kan lede til et mindre attraktivt marked med stor priskonkurrence.
- At anvendelse af CO₂ ikke vil spille en nævneværdig rolle på den korte bane skyldes at værdikæden til anvendelse ikke er klar. På den længere bane kunne der potentielt opstå et marked for anvendelse, hvor biogen CO₂ transporteres til steder med billig elektricitet til at fremstille syntetiske brændstoffer. Her kan den maritime transport potentielt spille en stor rolle.
- Danske aktører er på nuværende tidspunkt blandt "first-movers" men hvis de skal have en fordel af at være det, kræver det at de danske CCUS-projekter etableres så hurtigt som muligt og helst før vores naboer i Nordsøen.

3. Anvendt metode

Med udgangspunkt i eksisterende viden er denne rapport opbygget på en hypotesedrevet tilgang til afklaring af forretningspotentialer for maritim transport. Med dette udgangspunkt er der defineret følgende hypoteser:

- Der er på kort sigt et marked for maritim transport af flydende CO₂ fra fangst til lagring
- Der er på lang sigt et marked for transport af flydende CO₂ fra fangst til lagring og anvendelse
- Maritim transport er konkurrencedygtig med alternative transportformer
- Der er behov for subsidier og/eller anden form for lovgivning til at kommercialisere værdikæden på grund af begrænset betalingsvillighed hos modtager og udleder

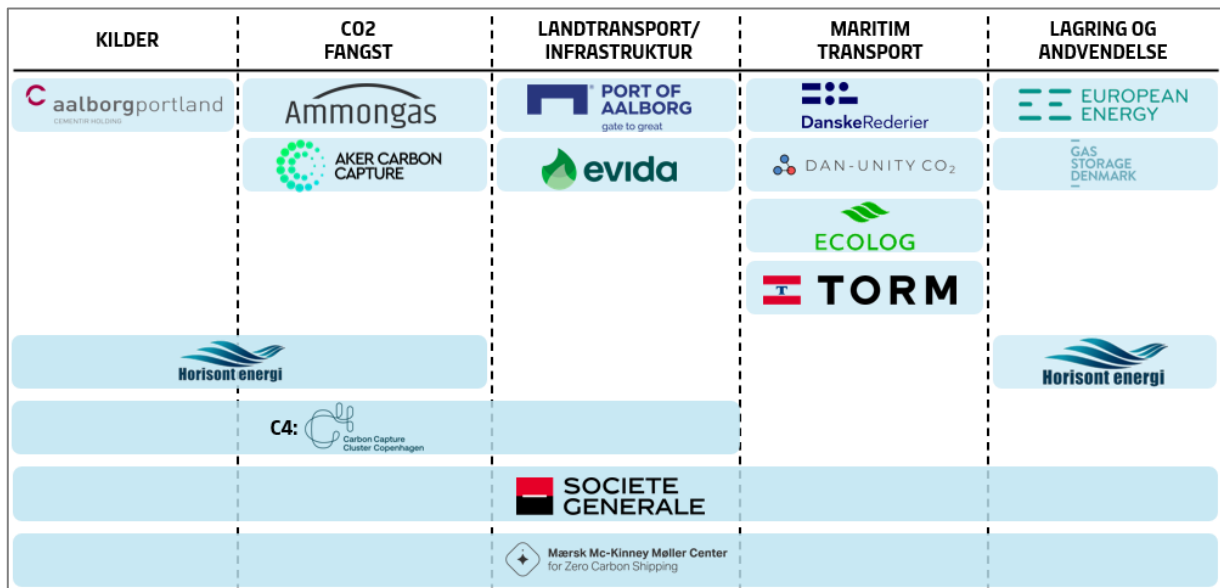
Med udgangspunkt i disse hypoteser afdækkes værdikæden ved at sikre input fra relevante parter. Hertil defineres en spørgeramme til første interviewserie. Med baggrund i gennemførte interviews og ønske om yderligere informationer i forhold til yderligere sikring/afdækning af hypoteserne, evalueres spørgerammen og fokus i værdikæden med henblik på en anden interviewserie, som har fokus på de maritime aktører og relevante muligheder og problemstillinger.

Eftersom det kræver betydelig teknisk og økonomisk indsigt at vurdere fremtidens CO₂-marked, er de interviewede parter særligt udvalgte eksperter, som fordeler sig over hele værdikæden, dog med særlig fokus på kilder, indfangning og shipping.

3.1. Værdikæden

Værdikæden omkring CCUS består af en række indbyrdes afhængige aktører, og er på nuværende tidspunkt, relativt umoden. Første led i værdikæden består af den opsamlede CO₂. Det kan være ejeren af en kilde, som udleder CO₂, hvilket f.eks. kan være et industri- eller biogasanlæg, eller opsamlet CO₂ direkte fra den omgivende atmosfære, som indeholder ca. 0,05% CO₂. Den udledte CO₂ indfanges med en Carbon Capture teknologi (CC-teknologi), hvorefter den lagres lokalt (korttidslager) eller bliver ført via pipelines til et fjernlager. Leverandører af CC-teknologi er næste led i kæden. Herefter transporteres CO₂'en til en havn, hvilket kan ske via tankbil eller pipeline. Vognmand eller ejer af pipelinen bliver derfor næste led i værdikæden. I havnen er der faciliteter, så CO₂'en kan lastes på et skib. Både havne og skibejer er derfor hvert sit led i værdikæden. Skibets destination kan enten være en havn eller et depot i den undersøiske undergrund. Ved anløb i en havn er der to muligheder for videre befragtning af CO₂'en: Enten kan det blive ført til et anlæg for anvendelse af CO₂, f.eks. PtX (Utilization), eller det kan blive ført til et depot i den landbaseret undergrund (Storage). Hvis skibet har destination til en undersøisk undergrund, vil det f.eks. sejle til et tidligere oliefelt og pumpe CO₂'en ned i depotet (Storage).

Det er afgørende, at der findes et forretningsmæssigt element i hvert enkelt led af værdikæden, da kæden ellers vil brydes. Indtjeningen i hvert enkelt led udgør således en forudsætning for hele kæden. For at belyse dette er der udvalgt eksperter fra virksomheder der 1. repræsenterer enkelte led i den samlede værdikæde eller 2. har stor viden om den samlede værdikæde. Disse led samt de udvalgte virksomheder er afbilledet i Figur 1.



Figur 1: De 5 hovedelementer i CCUS værdikæden inklusive placering af de interviewede virksomheder i denne

3.2. Spørgeramme

Ud fra de opsatte hypoteser er der opbygget en spørgeramme, der tager udgangspunkt i de fire overskrifter "Mængder", "Pris", "Alternativer" og "Hindringer" skitseret i tabel 1. Da værdikæden rummer forskellige aktører med forskellige roller, er spørgerammen indrettet således, at den enkelte respondent kan udtrykke sine forventninger til den del af markedet, som denne har bedst kendskab til. Dette sker for at undgå gætværk og gentagelser af forventninger, som allerede har været nævnt i pressen. Branchen er desuden præget af hård konkurrence om at blive *First Mover*, så der er betydelige forretningshemmeligheder på spil. Derfor kan respondenterne ikke altid udtale sig konkret om priser og omkostninger, da dette er konkurrencefølsomme oplysninger. Spørgerammen tager højde for dette ved at respondenterne kan vælge at svare for egen virksomhed eller delproces, egen branche eller region. Svarene er udtryk for respondentens egne *forventninger* på tidspunktet for interviewet og altså ikke for realiserede tal. Interviewrunde 1 blev foretaget i april til juni 2022, mens interviewrunde 2 blev foretaget i august 2022.

Interviewguide for hhv. første og anden runde findes i Appendix 1 Tabel 7 og Tabel 8, liste over respondenter findes i Appendix 2 Tabel 9.

Tabel 1: Udgangspunkt for spørgeramme

Mængder	Pris	Alternativer	Hindringer
Hvor meget CO ₂ skal fanges?	Hvad er omkostningerne for lagring?	Hvilke andre planer er der for transport af CO ₂ ?	Juridiske rammer (tilladelser til import/eksport)
Hvor meget CO ₂ forventes lagret?	Hvad er omkostningerne for fangst?	Hvilke planer er der for fangst og anvendelse af CO ₂ ?	Økonomiske rammer (tilskud/afgifter)
Hvad er tidshorisonten for fangst og lagring?	Hvilke andre omkostninger er der forbundet med søtransport: <ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur • Landtransport 	Hvilke konkurrenter er der til søtransport?	Infrastruktur på havne (hvor generisk kan denne infrastruktur være?)
Er søtransport indtænkt i forhold til nuværende finansierede projekter?	Hvad bliver værdien af et ton CO ₂ ? <ul style="list-style-type: none"> • Afgifter / tilskud 		Nødvendig teknologimodning (tidshorisont?)

4. Vurdering af mængder

Til vurdering af de mængder af CO₂, der potentielt skal transporteres på skib, er det relevant dels at vurdere de mængder der på sigt er behov for at fange i dansk og europæisk kontekst, samt at vurdere mængden, der kan lagres i f.eks. Nordsøen. Der kan være langt fra de teoretiske vurderinger til implementering af infrastruktur samt fangst og lagring. Dette forsøges blandt andet afklaret gennem interviews. I forhold til vurdering af potentialet for maritim transport af CO₂, er det ikke kun vigtigt at betragte tidslinjen for implementering af fangst af CO₂ men også alternativerne til lagring og den mulige infrastruktur omkring dette.

Hvis Danmark skal nå i mål med 70% reduktion af CO₂ udledningen i 2030, mangler der en reduktion på 9,4Mtpa CO₂ i forhold til den nuværende udledning. En del af dette forventes at skulle findes via CCUS, hvor klimarådet anslår mængderne der skal lagres fra Danmark til at være ca. 4,5Mtpa i 2030. Potentialerne for CO₂ til danske lagrer er dog betragteligt større, idet den danske regering anser bl.a. Tyskland, Sverige, Belgien og Finland for at have væsentlige potentialer for eksport af CO₂ (med henblik på lagring) til Danmark. Energistyrelsen vurderer i sin "Assessment of the market potential for CO₂ storage in Denmark" potentialet for import af CO₂ til lagring til at være op imod 45Mtpa.²

IEA vurderer, at CO₂ udledningen på verdensplan skal reduceres med 36,3Gtpa³, hvoraf CCUS er udpeget til at være en af nøgleteknologierne for at opnå dette. Det estimeres, at der i 2030 skal fanges 840Mtpa, hvoraf 640Mtpa forventes lagret og resten anvendes. I 2050 forventes det, at der skal fanges 5.600Mtpa og lagres 5.230Mtpa.⁴

² Assessment of the market potential for CO₂ storage in Denmark, Energistyrelsen, maj 2021

³ International Energy Agency; Global Energy Review: CO₂ emissions in 2021

⁴ International Energy Agency; Energy Technology Perspectives 2020 – Special report on Carbon Capture Utilization and Storage

4.1. Forventninger til fangst af CO₂

For at tegne et billede af de mængder CO₂, der forventes indfanget og lagret både på kort og lang sigt, er der udvalgt en række aktører med forskellig placering i værdikæden med viden om de forventninger der er til de danske planer for CCUS og særligt de mængder der er relevante i forhold til fangst og lagring. I Danmark har en række af de større punktkilder konkrete planer om fangst af CO₂ med henblik på lagring, mens en stor del af øvrige store kilder er centreret i fem klynger omkring København, Aalborg, Aarhus, Esbjerg og Fredericia⁵. Herudover er der en række mindre kilder, hvorfra der på sigt skal indfanges CO₂. Af disse er specielt biogasanlæg interessante, idet der på mange af disse i dag allerede foregår opgradering af biogassen ved at separere CO₂ fra den udvundne gas. Herudover er CO₂ opsamlet fra biogasanlæg biogent CO₂, og vil derfor være aktuelt i forhold til anvendelse til f.eks. produktion af syntetiske brændstoffer via PtX. Syntetiske brændstoffer også kaldt elektrobrændstof, electrofuels eller e-fuel er flydende brændstof der er baseret på vedvarende energi og bliver set som en løsning til transportsektorens grønne omstilling.

Af svarene fra de interviewede danske aktører fremgår det, at mange af de kortsigtede planer (1-5 år) lægger sig op ad det nuværende og kommende udbud fra Energistyrelsen i forhold til fangst af hhv. 400ktpa i nuværende og 500ktpa i kommende udbud. Det er værd at bemærke, at det forventes kun at være ét konsortium, der vil få mulighed for at få del af disse midler. De kortsigtede planer for fangst og lagring skal derfor ses i dette lys. Dog indikerer den store interesse for disse udbud også konkrete planer for en række aktører i forhold til fangst og lagring af CO₂. Der er dog ikke tvivl om, at der er aktuelle planer der rækker ud over de aktuelle udbud og som på sigt vil give anledning til en væsentligt større mængde af CO₂ fanget til lagring.

Der er allerede nu konkrete planer om fangst til lagring i 2030 fra Aalborg og København. Fra Aalborg området er der potentiale for fangst til lagring på op til 1Mtpa fra Aalborg Portland, og dertil yderligere fangst til udskibning fra Aalborg Havn på omkring 3Mtpa. Fra Københavnsområdet forventes der fra Carbon Capture Cluster Copenhagen (C4) fangst i størrelsesordenen af 3Mtpa fra de 6 partnere.

Ud over disse konkrete initiativer til fangst fra store punktkilder, er der også aktuelle planer om fangst af CO₂ fra biogasanlæg. Her forventer EVIDA, at der skal indfanges 1,5Mtpa fra biogas, og Ammogas forventer, at der vil være installeret anlæg med en kapacitet på 2Mtpa inden 2030 for biogas og yderligere 1Mtpa fra affaldsforbrænding.

Disse tal flugter med forventningerne fra Energistyrelsen omkring potentialer for CCUS mellem 4,9Mtpa og 9Mtpa. Disse tal er dog behæftet med en del usikkerhed og enkelte overlap, og samtidigt repræsenterer de ikke det fulde potentiale for CCUS, hvor der også kan forventes betydelige mængder fra f.eks. Aarhus området.

Disse betragtninger gælder kun for fangst fra Danmark, der forventes realiseret inden 2030. Herudover vil der også være forventninger om betydelige mængder CO₂, der skal fanges og håndteres, specielt fra Tyskland, Holland, Polen, England og Norge. Fra Norge forventes mængder i samme størrelsesorden som i Danmark, mens der fra Tyskland og Polen kan forventes mængder i størrelsesordenen 12-16Mtpa. Fra England forventes lagring af 20-30Mtpa fra 2030.

⁵ Energistyrelsen: Punktkilder til CO₂ – potentialer for CCS og CCU

4.2. Forventninger til lagring af CO₂

I Danmark er der lige nu primært tre aktuelle projekter inden for lagring af CO₂: Offshore projekterne Greensand (INEOS) og Bifrost (Total Energi) og onshore lageret på Sjælland (Gasstorage Denmark). Herudover er norske Northern Lights projektet lokaliseret, så det vil være aktuelt i forhold til lagring af CO₂ fra Danmark. Northern Lights er det projekt, der er længst fremme med en forventning om 1,5Mtpa lagret CO₂ fra 2023, og 5 Mtpa på længere sigt. I Greensand er der netop sikret licens til prøvelagring af CO₂, og der forventes at kunne lagres op mod 1,5Mtpa fra 2025 og 6-8Mtpa fra 2030. Total Energi har opstartet Bifrost projektet, og har planer om at kunne lagre 3Mtpa på den korte bane og op mod 10Mtpa på lang sigt. Herudover estimeres det, at der kan lagres 500-1.500ktpa CO₂ på land fra 2028.

Ud over de nævnte igangværende lagringsprojekter i Danmark og Norge, er specielt Holland og England aktive omkring etablering af CCUS-infrastruktur og lagringsfaciliteter.⁶ I Holland bliver der gennem Porhos og Aramis projekterne etableret CO₂ hubs omkring Rotterdam med pipelines til offshore lager med en forventet kapacitet på ca. 10Mtpa. Den lagrede CO₂ forventes her at stamme dels fra oplandet, men også fra nabolande, hvorfra der er gode transportmuligheder via skib eller pram på de europæiske kanalsystemer.

I England er der ligeledes en række projekter omkring etablering af CCUS, bl.a. "Zero Carbon Humber" med en målsætning om at kunne lagre 9,5Mtpa, mens "Netzero Teesside" vil lagre 10 Mtpa. Herudover anvendes eksisterende infrastruktur i project Acorn til etablering af offshore CO₂ lagring på 5-10Mtpa. Ligesom i Danmark udbydes der pt. licenser til lagring af CO₂ i England med et mål om lagring af mellem 20Mtpa og 30Mtpa CO₂ i 2030.⁷

Projekterne i Holland, Norge og England udgør for nuværende en stor del af den CCUS lager infrastruktur, der allerede er etableret eller som etableres indenfor relativt korte tidshorisonter. Horisont Energi planlægger offshore lagring af 2-6 Mtpa CO₂ i deres Polaris projekt i Barents Havet og 4-8Mtpa i første udviklingsfase i Errai projektet, som udvikles i samarbejde med Neptune Energy. Derudover planlægger Altera og Aker at lagre 10Mtpa i Stella Maris.

I Island er Carbfix allerede i dag aktiv i forhold til mineralisering og lagring af CO₂, og har således allerede på nuværende tidspunkt lagret ca. 85k ton. De etablerede projekter har en begrænset lagringshastighed på omkring 50ktpa, men med planer om etablering af "The Coda Terminal", vil kapaciteten for CO₂ lagring hos Carbfix stige til 3Mtpa i 2031.

Som tidligere nævnt er den samlede kapacitet i dansk undergrund væsentlig større end de forventede mængder CO₂, der vil blive fanget i Danmark inden 2030 mens der vil være behov for lagerkapacitet fra CO₂ fanget i specielt central Europa. Dette kunne være i dansk undergrund, men her er der en direkte konkurrence med lagringprojekter i den engelske del af Nordsøen, ud for Holland, i Norge og på Island.

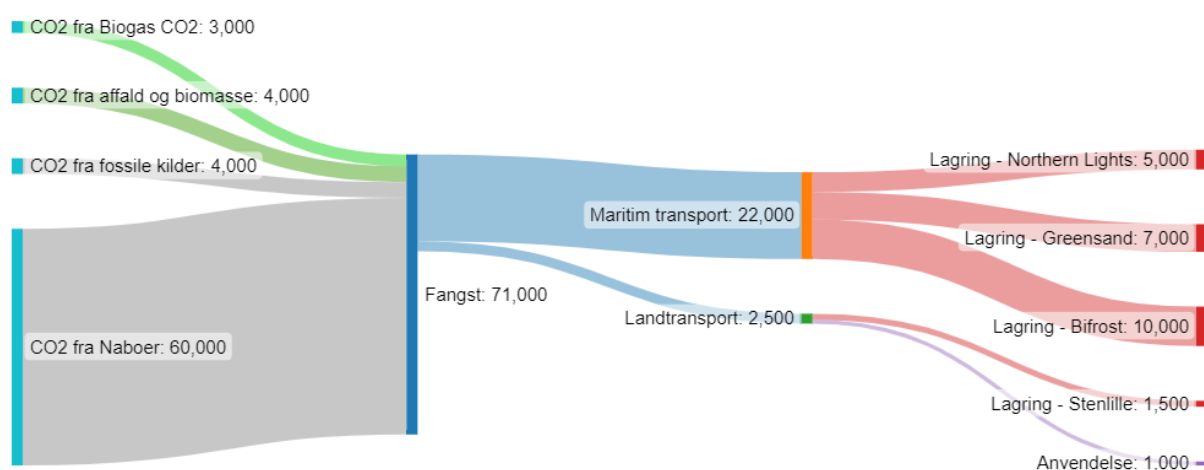
Mængden af CO₂, der skal lagres, er dog ikke alene bestemt af mængden af CO₂ der indfanges. Det forventes at der inden for en årrække vil blive behov for anvendelse af CO₂ til PtX. Her er specielt fremstillingen af syntetiske brændstoffer relevant at have med i betragtningen. Anlæg til dette er dog på

⁶ <https://iogpeurope.org/wp-content/uploads/2022/01/Map-of-EU-CCS-Projects-January-2022.pdf>

⁷ <https://www.nstauthority.co.uk/licensing-consents/licensing-rounds/carbon-storage-licensing-rounds/#tabs>

nuværende stadie relativt umodne, og de første forventes først klar om 1-5 år. Gennem den gennemførte interviewserie, er der identificeret planer for anvendelse i Danmark af omkring 1-2Mtpa, med fokus på anvendelse af CO₂ fra biogene kilder. Fokus på disse kilder skyldes primært to ting 1) nogle aftagere af syntetiske brændstoffer sætter krav til, at den CO₂ der anvendes, skal være grøn og 2) der er i dag ikke nogen monetær incitamentsstruktur, der understøtter lagring af biogent CO₂.

Da der er nogle tidsmæssige forskydninger mellem behovet for biogent CO₂ og behovet for implementering af CO₂ fangst på kilder, der udleder biogent CO₂, er det forventningen, at også denne CO₂ vil skulle lagres indtil der er etableret tilstrækkeligt behov for CO₂ til PtX. Der er blandt flere respondenter udtrykt tvivl om, hvorvidt det på sigt vil give mening at producere syntetiske brændstoffer via PtX i Danmark, idet denne produktion kræver adgang til store mængder billig energi. Dette kan på sigt løses via udbygning af den grønne el-infrastruktur i Danmark, eller ved at udskibe den fangede CO₂ til områder med adgang til billig energi.



Figur 2: Skematisk overblik over planlagte mængder af CO₂, i et dansk perspektiv frem mod 2030, gennem værdikæden fra udledning via fangst og transport til lagring og anvendelse.

5. Prissætning

Til en vurdering af prissætning, er det nødvendigt at betragte hele værdikæden fra udleder til lagring. For at CCUS skal kunne give kommerciel mening, skal de samlede udgifter i hele denne kæde skal dækkes af de afgifts- og kvotebesparelser, der er ved ikke at udlede CO₂'en. Det vil med andre ord sige, at de samlede omkostninger (inklusive de forventede fortjenester) for fangst, transport og lagring ikke må overstige afgifts- og kvotebesparelsen.

5.1. Værdikædeomkostninger baseret på interviewserie

I forhold til fangst af CO₂ indikerer interviewrækken en stor variation i den forventede pris, og for en del af respondenterne er disse omkostninger en del af deres konkurrenceparameter, som de derfor ikke ønsker at oplyse. To danske respondenter opgiver en forventet prissætning for fangst til hhv. 300-400kr/ton og 500kr/ton, hvor en leverandør af den samlede værdikæde opgiver omkostninger omkring 80-130 kr/ton. Rambøll har tidligere udgivet en rapport med beregninger på prisen for fangst af CO₂ fra et dansk affaldsforbrændingsanlæg på ca. 345kr/ton⁸ hvilket stemmer fornuftigt overens med de oplysninger, der er kommet gennem disse interviews. Det er dog værd at nævne at omkostningen for fangst vil variere meget afhængig af skala samt kompleksiteten af røggassen.

Omkostningerne forbundet med lagring af CO₂ indikeres af respondenterne til, i den opbyggende fase af CO₂ lagrings infrastruktur, at være omkring 200-300 kr/ton, med en forventning om at omkostningen kan reduceres til 50-100kr/ton på længere sigt. Prislejet ligger i samme område, som forventes fra engelske lagringsfelter, når infrastrukturen er udbygget. Disse forventer omkostninger omkring €6-20/ton (45-150kr/ton)⁹.

Når omkostningerne for transport skal opgøres, er det væsentligt at betragte den samlede transport fra fangst til lagring, hvilket inkluderer både transport på land fra kilden og eventuel maritim transport. Enkelte respondenter har givet bud på de samlede omkostninger med indikationer mellem 115kr/ton og 900kr/ton. Den store variation skyldes bl.a. at der kan være store variationer i prisen for transport til udskibningsstedet, afhængig af type af transport og afstand. Hvis landtransporten foretages i pipelines, som det bl.a. er planlagt i Nordjylland, forventes der en omkostning i dette led på 80-200kr/ton, mens en tilsvarende transport på lastbil vil have en omkostning omkring 150-200kr/ton.

Vurdering af de samlede omkostninger gennem hele værdikæden ligger hos mange af aktørerne i området omkring €100-€200 (750-1500kr) per ton CO₂. AKER, Dan Unity, Danske Rederier har forventninger til at det kan gøres for mellem €80-€100 (600-750kr) per ton og Horisont Energi har et target om at det kan gøres for omtrent €100 per ton. Andre aktører i værdikæden vurderer omkostninger omkring €150-€200 (1120-1500kr) per ton.

En opsummering af svar omkring omkostningsstrukturen for den samlede CCUS-kæde ses i Tabel 2 nedenfor:

⁸ Rambøll - CO₂ Fangst på danske affaldsenergianlæg

⁹ Zero emissions platform – The Costs of CO₂ Storage

Tabel 2: Samlet vurdering af omkostninger for CCUS på baggrund af interviews

Operation	Omkostning	Bemærkninger
Fangst	80-500kr per ton	Forventet høj pris på kort sigt med stort potentiale for lavere omkostninger på længere sigt
Transport	115-900kr per ton	Den samlede pris afhænger meget af placeringen af kilden og de omkostninger der er forbundet med transport på land
Injektion	50-300kr per ton	Priser omkring 50-150kr/ton forventes på længere sigt
	245 → 1700kr per ton	Kort sigt: 1000-1700kr per ton Længere sigt: 600-1000kr per ton

5.2. Omkostningsanalyse for maritim transport af CO₂

Som et supplement til de gennemførte interviews, er der blevet udarbejdet en omkostningsanalyse for den maritime transport af CO₂. Analyser er foretaget på to cases, én på et skib, der kan transportere 22,500 m³ CO₂ og en på et skib, som kan transportere 7,500 m³ CO₂, svarende til hhv. 25.000 ton og 8.000 ton. For begge er der regnet på scenarier hvor skibene også kan transportere LPG.

Analyserne er foretaget som simple omkostningsanalyser, hvor man kigger på den operationelle pengestrøm, der inkluderer indtjening, OPEX, brændstofomkostninger samt andre relaterede omkostninger med at drive skibet på en specifik rute. Der er her ikke inkluderet evt. finansieringsstruktur af skibene, fremtidig værdi af pengestrømme, samt på hvor mange penge skibet kan indtjene efter endt kontrakt. For hver case er der beregnet på to scenarier, hhv. en 15-årig og en 20-årig kontrakt med en fast volumen fra udleder. Ved udgangen af 15 års kontrakten er der set på yderligere to scenarier: 1) Skibet bliver skrottet og man modtager en stålværdi for skibet, og 2) et penge-salg af skibet hvortil nogle kan fortsætte med at drive det videre som LPG-skib eller CO₂ skib. Ved den 20-årige kontrakt kigger man kun på scenariet med skrotværdi da det ikke vil være kommercielt attraktivt at købe et 20-årig gammelt skib, hvis man kigger på gennemsnitslevealderen for skibe.



Nybygningspriserne som understøtter beregningerne, er blevet fundet ved at snakke med virksomheder der er aktive i CCUS-markedet, samt ved at benchmarke med andre skibe der deler samme karakteristika. Da dette stadig er i et tidligt stadie, kan det forventes at nybygningspriserne kan ændres i takt med at markedet udvikler sig, stålpriser fluktuerer samt at værfterne får erfaring med disse typer skibe. Nybygningspriserne som er angivet i omkostningsanalysen fornedes er påvirket af de nuværende høje stålpriser og lange ordrebøger der optager pladser på værfterne, hvilket betyder at man historisk set ligger imod den høje ende af prisindekset. Udsving i prisen vil påvirke den endelige omkostningsanalyse, men vil ikke ændre den overordnede konklusion og derfor kan tallene stadig bruges som et referencepunkt.

Herudover er der antaget brændstofpriser som er angivet i Tabel 3, samt at skibene kan sejle på Marine Gas Oil (MGO) med lavt svovlindhold og High Sulfur Fuel Oil (HFO) med højere svovlindhold. I og med at skibene er underlagt EU-regulativer ved sejlads i EU-farvande, er der differentieret mellem disse to

brændstoffer. Omkring en femtedel af den valgte rute er i zoner, hvor man skal sejle med den dyrere MGO. Det er ydermere centralt at pointere, at de antagne brændstofpriser har en signifikant påvirkning på omkostningerne ved at drive skibene. Historisk set har brændstofpriser været volatile, og derfor vil udsving i disse påvirke den endelige omkostningsanalyse. Dette tydeliggør også formålet med analysen som værende en base-case analyse der kan fungere som reference. Tabel 3 nedenfor opsummerer de centrale antagelser i disse cases.

Antagelserne er verificeret af Maersk Broker som har mere end 30 års data og information på driftsomkostninger for skibe.

Tabel 3: Opsummering af centrale antagelser af 2 cases til omkostningsanalyser

	Case 1	Case 2
Skibstyper: (Tryk / Temperatur)	22,500 m3 (-63 celsius / 8 bar) 	7,500 m3 (-35 celsius / 19 bar) 
Nybygningspris	68m USD / 519m DKK	52m USD / 397m DKK
Skrotværdi	3.16m USD / 24.1m DKK	1.68m USD / 12.8m DKK
Rutedistance / rundture på et år	800nm / 41 rundture	800nm / 44 rundture
Brændstofpriser	HFO = 550 USD p. ton / 4,200 DKK p. ton MGO = 1,050 USD p. ton / 8,022 DKK p. ton	

Selve udregningerne på de enkelte scenarier er baseret på metodikken om at finde en minimumsrate, hvor projektet tilbagebetaler sig selv. Det betyder, at resultatet af analysen ikke inkorporerer investorers krav til afkast på investeringer, hvilket også betyder, at man skal se nedenstående værdier som værende den absolutte omkostning, der kan kræves af maritim transport af CO₂ under de specificerede antagelser.

Til sidst er det vigtigt at understrege, at analysen er baseret på, at alle omkostninger, der er forbundet med at drive skibet (nybygningspris, OPEX, bunker, havneudgifter osv.), er båret af den der driver skibet, og minimumsraten vil være justeret for disse.

Baseret på ovenstående antagelser er der blevet fundet frem til resultaterne anført i Tabel 4 og Tabel 5.

Tabel 4: Base-case for et 22,500 m³ CO₂ skib

22,500 m ³ SKIB	Kontraktlængde: 15 År	Kontraktlængde: 20 År
Skrot efter kontrakt	14.3 USD / 109 DKK per ton CO ₂	13.3 USD / 102 DKK per ton CO ₂
Kommercielle muligheder efter kontrakt	12.98 USD / 99 DKK per ton CO ₂	N/A (ikke anset som værende en kommerciel mulighed)

Tabel 5: Base-case for et 7,500 m³ CO₂ skib

7,500 m ³ SKIB	Kontraktlængde: 15 År	Kontraktlængde: 20 År
Skrot efter kontrakt	31.8 USD / 243 DKK per ton CO ₂	29.1 USD / 221 DKK per ton CO ₂
Kommercielle muligheder efter kontrakt	28.6 USD / 219 DKK per ton CO ₂	N/A (ikke anset som værende en kommerciel mulighed)

Sammenligner man med de to analyser foretaget i denne rapport, så ser man, at for skibet med lastekapacitet på 22,500 m³ CO₂ ligger prisen i spændet mellem 99 – 109 DKK per ton CO₂. For skibet med lasteevne på 7,500 m³ CO₂ er udgiften 219 – 243 DKK per ton CO₂. For at sætte tallene fra analysen i perspektiv, så have de interviewede parter en pris for maritim transport af et ton CO₂ i spændet mellem 115 - 383 DKK. Dette spænd er dog uden specificerede skibsstørrelser samt antagelser bag estimatet hvilket betyder, at sammenligningen mellem ovenstående analyse og estimaterne fra interviews ikke kan sammenlignes en til en. Derfor er det ikke en overraskelse at tallene fra omkostningsanalysen ligger i den lavere ende af estimaterne fra interviews. Denne omkostningsanalyse bør derfor bruges som reference til hvad maritime transport kan koste i højere grad end hvad der kan forventes at blive opkrævet i markedet.

Et andet perspektiv på resultaterne fra omkostningsanalysen kan findes i et studie fra 2021, hvor transportomkostninger for CO₂ blev estimeret med udgangspunkt i Northern Lights projektet i Norge.¹⁰ Her angives en pris på ca. 35 USD (268 DKK) per ton CO₂, hvilket flugter med resultaterne fra Tabel 5. Grunden til at resultaterne fra omkostningsanalysen er en smule højere end fra studiet kan skyldes at nybygningsprisen på Northern Lights skibene er højere end antaget i rapporten, da skibene har installeret LNG motorer, air lubrication systemer og vind assisteret fremdriftssystemer, for at nedbringe CO₂ udledningen. Dette har medført en højere nybygningspris sammenlignet med et "standard" CO₂ skib i denne størrelse.¹¹

¹⁰ Smith, Erin & Morris, Jennifer & Kheshgi, Haroon & Teletzke, Gary & Herzog, Howard & Paltsev, Sergey. (2021). The Cost of CO₂ Transport and Storage in Global Integrated Assessment Modeling. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.3816593.

¹¹ <https://shippingwatch.com/suppliers/article13359295.ece>

Tabel 6: Samlet vurdering af omkostninger for CCUS på baggrund af interviews og omkostningsanalyse

Operation	Omkostning	Bemærkninger
Fangst	80-500kr per ton	Forventet høj pris på kort sigt med stort potentiale for lavere omkostninger på længere sigt
Maritim transport	100 – 375kr per ton	Den samlede omkostning afhænger her af mange antagelser inklusiv rute og skibsstørrelse.
Landtransport	80-200	Pipelines eller lastbil
Injektion	50-300kr per ton	Priser omkring 50-150kr/ton forventes på længere sigt
	310 →1250kr per ton	Kort sigt: 700-1250kr per ton Længere sigt: 310-900kr per ton

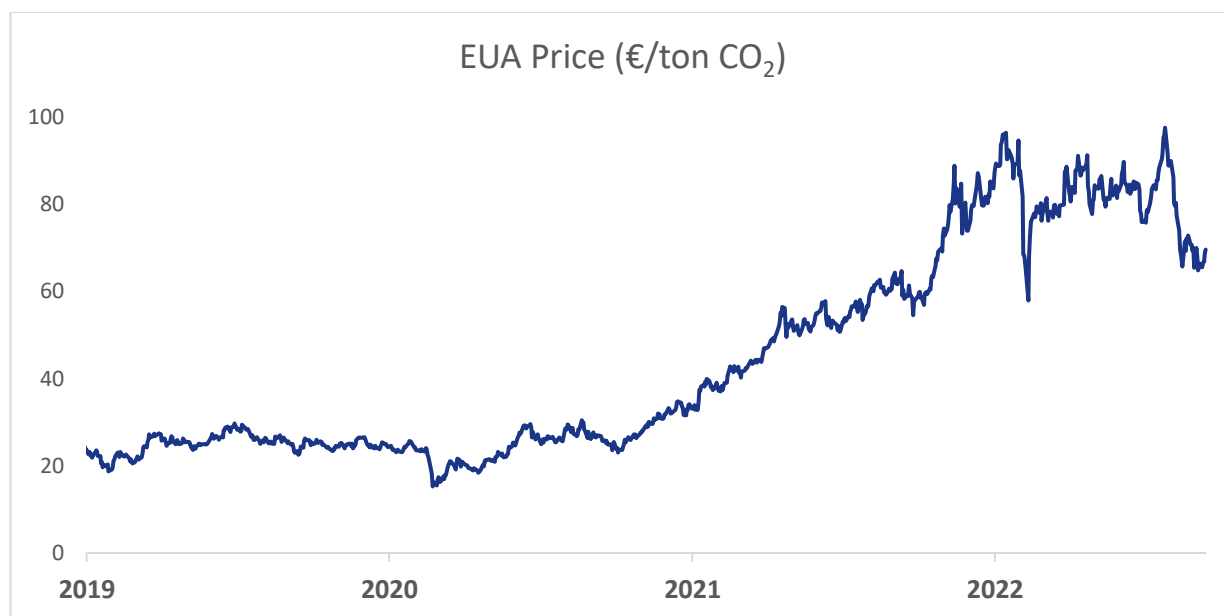
5.3. Samlet økonomisk incitament for etablering af CCUS værdikæde

I juni 2022 blev den danske regering enig om en grøn skattereform, hvor der fastlægges en kombineret kvote- og afgiftsbetaling per tons CO₂ udledt. Betalingen varierer afhængig af virksomhedstype. Virksomheder omfattet af kvoter i det Europæiske kvotesystem, som ikke laver mineralogiske processer, skal betale 1.125kr per ton CO₂. Virksomheder som laver mineralogiske processer, skal betale 875kr per ton udledt CO₂. Disse tal er baseret på en forventet Europæisk kvotepris i 2030 på 750kr.

I tilfælde af ovenstående afgiftssatser, vil der være en gevinst ved fangst og lagring af CO₂ hvis udgiften til denne er under 1125kr per ton CO₂ for kvoteomfattede virksomheder, og under 875kr per ton CO₂ for de mineralogiske processer. Som det ses af både Tabel 2 og Tabel 6 forventes den samlede omkostning for CO₂ lagring ikke at overstige kvoteprisen. Hvis den samlede pris for fangst, transport og lagring ikke væsentligt overstiger 1000kr per ton CO₂, vil der på det danske marked være en god forretningscase på CCUS for de kvoteomfattede virksomheder allerede for nuværende, hvis disse ikke kan reducere deres forbrug af fossile brændsler på en mindre omkostningsfuld vis. For de mineralogiske virksomheder, vil det kræve at omkostningerne for CCUS kommer under 875kr per ton CO₂ for at det vil kunne betale sig at indgå i CCUS hvilket på nuværende tidspunkt skaber tvivl om CCUS vil kunne betale sig for mineralogiske virksomheder. Her er det dog værd at nævne, at nogle mineralogiske virksomheder, såsom Aalborg Portland, har få billigere alternativer til at omstille deres cementproduktion end CCUS. Ydermere kan det forventes at prisen for CCUS nærmere vil være i den billige ende af spektret i Tabel 2 og Tabel 6 grundet de store mængder CO₂ et cementanlæg udleder.

Med den grønne skattereform er der blevet åbnet op for mulighederne for at sikre økonomien i forbindelse med CCUS-investeringer for virksomheder, der anvender fossile brændsler. Der er dog ikke med denne reform skabt et incitament for fangst af CO₂ fra kilder der udleder biogen eller kombineret fossilt og biogent CO₂, idet reformen kun omfatter anvendelsen af fossile brændsler. Disse virksomheder omfatter bl.a. affaldsværker, biomassefyrede kraftvarmeværker og biogasanlæg.

Forretningspotentialiet på europæisk plan afhænger af de nationale tilskyndelsesmekanismer (afgifter), samt den Europæiske kvotepris dikteret fra EU's Emission Trading Scheme (ETS), som da denne rapport blev skrevet havde en pris på ca. €65 (485kr). Som det ses af Figur 3 har denne været stødt stigende over de seneste år, og Futures markedet tyder på, at denne tendens vil fortsætte over de kommende år.¹²



Figur 3: Prisudvikling for CO₂ kvoter (EU ETS)

6. Alternativer og barrierer (andre transport former / konkurrence / infrastruktur)

Ved lagring af CO₂ i tidligere olie og gas reservoirer, vil der primært være ét andet alternativ til maritim transport, hvilket vil være etablering af nye pipelines eller anvendelse af tidligere gas infrastruktur. Dette alternativ vil dog i høj grad afhænge af afstanden til kysten samt eksistensen og status af nuværende infrastruktur. Hvis der skal etableres nye pipelines til offshore reservoirer, vil dette indbefatte betydelige investeringer. Vurderingen i forhold til Greensand vil være, at dette kræver mængder i omegnen af 4-8Mtpa for at denne løsning er rentabel. Det ses dog bl.a. i de hollandske projekter, hvor de anvendte reservoirer ligger relativt kystnært, og gasproduktionen er stoppet, at eksisterende gas infrastruktur genanvendes i forbindelse med lagringen af CO₂ i disse reservoirer. I dette tilfælde vil en stor forsyning af CO₂ skulle fragtes ud til de havne anlæg, hvorfra det pumpes ud i reservoirerne. Medmindre disse mængder kan sikres lokalt, vil der blive et behov for transport af CO₂ til disse "hubs". Dele af denne transport kan/vil foregå gennem onshore pipelines eller f.eks. pramme, men dele af transporten kunne komme fra kilder uden adgang til pipelines, hvorfor det kan være relevant at introducere maritim transport. EcoLog understøtter dette i deres interview:

¹² <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

“There are a lot of emitters that are far away from storage fields. At certain distances ships are cheaper than pipes.”

Når anvendelse af skibe eller pipelines skal besluttes, vil dette afhænge af de enkelte scenarier, og hvilken eksisterende infrastruktur der er til rådighed. Der er foretaget mange studier på break-even distancer for forskellige volumener af CO₂ til transport, og generelt for disse har pipelines en fordel ved store mængder og relativt små distancer, mens skibstransport giver en større fleksibilitet og fordele ved specielt længere transport og mindre volumener¹³. Ved transport (port-to-port) af 0,5Mtpa vil skibstransport således være billigere allerede med en distance på 160km, mens denne vil være 500km for 5Mtpa.¹⁴ Derudover skaber skibe også en større fleksibilitet i forhold til at kunne øge eller sænke kapaciteten trinvist, hvis efterspørgslen skulle ændre sig.

Ligeegyldigt hvordan værdikæden sættes sammen (fangst, transport, anvendelse og lagring af CO₂), vil der være brug for en stor grad af standardisering, specielt i forhold til interfaces imellem de enkelte skridt i værdikæden. Her er der brug for etablering af standartbetingelser for transport (tryk, temperatur) og kvaliteten af den transporterede CO₂. Hvis den samlede omkostning igennem værdikæden skal ned, er en af de store udfordringer bl.a. trykregulering undervejs i transportkæden, idet denne regulering er meget energitung. Hvis dette bliver svært at sikre på tværs af værdikæden ved brugen af eksisterende pipelines, vil dette være endnu et argument for at bygge nye skibe, da specialbygget skibe er fleksible i trykreguleringen hvilket kunne sænke omkostningerne på tværs af værdikæden.

7. Maritim transports rolle i CCUS værdikæden

Maritim transport vil spille en afgørende rolle i opførelsen af en kommerciel CCUS værdikæde. Det er vurderingen, at maritim transport kan være en god løsning på den korte bane, idet det er billigere og hurtigere at udbygge den maritime infrastruktur sammenlignet med etablering af nye pipelines. Samtidig vil der i den tidlige fase af etablering af markedet og værdikæderne for CCUS være et behov for fleksibilitet i infrastrukturen – en fleksibilitet som den maritime transport vil kunne sikre. På nuværende tidspunkt er der få skibe, som sejler med CO₂ og de skibe der gør, er relativt små. Det er ikke vurderingen fra aktører i shipping-branchen, at der er nogle tekniske barrierer, der bevirker, at maritim transport af CO₂ i større skala skulle være vanskeligere at transportere end andre gasser der i dag transporteres på skib.

De interessante perspektiver i et voksende marked for CO₂ har skabt interesse fra flere aktører indenfor den maritime industri. Fra et europæisk perspektiv, er der en håndfuld skibsredere, der har tilkendegivet deres interesse og/eller engageret sig aktivt i et etablere sig i markedet for maritim transport af CO₂. Dette strækker sig fra etableret gasredere såsom Exmar og Knutsen OAS til nye virksomheder med en baggrund i gastransport, som Ecolog og Dan Unity. Derudover er der også observeret engagement fra flere japanske multirederier såsom MOL og NYK samt den danske tankreder Torm, der traditionelt har transporteret raffinerede olieprodukter. På trods af interessen fra flere aktører har meget få forpligtiget sig til markedet og bestilt nye skibe. Her er et joint venture af olie majors (TotalEnergies, Equinor og Shell) de eneste der har bestilt to 7.500 m³ skibe, der skal anvendes i Northern Lights projektet.

¹³ Applied Energy 287 (2021) 116510: A review of large-scale CO₂ shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage

¹⁴ Element Energy; Shipping Co₂ – UK Cost Estimation Study 2018

Derudover har en række skibsredere fået godkendt designs på skibe i forskellige størrelser af klassifikationsselskaberne.

Manglen på bestillinger af skibe skyldes hovedsageligt kommercielle og tekniske risici, som skal løses, før virksomhederne vil investere. Det følgende afsnit omhandler hvilke tekniske og kommercielle betragtninger maritime aktører overvejer, og hvad der skal ændres, før et marked for CO₂ shipping kan etableres. Dette vil blive efterfulgt af et afsnit om, hvordan fremtiden for CO₂ shipping kunne se ud. Disse afsnit er baseret på anden interviewrunde, hvor de interviewede er virksomheder, som offentligt har tilkendegivet deres interesse i maritim transport af CO₂.

7.1. Kommercielle muligheder

Shippings rolle i værdikæden

På den korte bane, er der enighed blandt de interviewede parter om, at shipping ikke vil spille en markant rolle uden at være en del af et konsortium. Både Dan Unity, Ecolog og Torm er enige om, at de første projekter vil kræve specialbyggede skibe, der passer til den omkringliggende infrastruktur, og som er tilpasset de forventede transportmængder, der forventes fanget og lagret i netop disse projekter. Idet der er en anseelig økonomisk risiko ved at bygge disse skibe, bør shipping kontrakterne tage udgangspunkt i den underliggende kontrakt mellem fangst og lagringsfaciliteter. Længden af disse kontrakter forventes at skulle være 10, 15 eller 20 år afhængigt af skibet og projektet. Ifølge Lars Mathiasen, VP i Torm, er der "ingen reder der bestiller specialbyggede skibe uden lange kontrakter." Dette understreges af Paul Taylor, Global Head of Societe Generale's Maritime Industries, som er eksperter indenfor finansiering af maritime infrastruktur projekter. Paul Taylor mener, at "high quality sponsors" med en stærk kredit og en historik for at kunne eksekvere på lignende projekter er nødvendigt, for at kunne understøtte projektet og på den baggrund rejse langsigtet kapital for en integreret CCUS værdikæde. Societe Generale mener, at det er afgørende for et projekts finansiering, at risikoen fordeles og afdækkes i alle dele af værdikæden, fra udleder til lager, da en bank som den skal kunne sikre sig at projektet kan fortsætte selvom den ene part svigter sine forpligtigelser. Dette er et område som de kommercielle parter på tværs af værdikæden bør fokusere på tidligt i forhandlingerne.

Med hensyn til hvilke skibe der er mest effektive til CO₂ transport, er der divergerende holdninger blandt de interviewede parter. Ecolog har en ambition om at bygge i bestemte størrelser og tilbyde deres ydelser som en service. Ifølge Jasper Heikens, Chief Commercial Officer i Ecolog, skal omkostningerne være så lave som mulige, da CO₂ er et affaldsprodukt og det skal kunne betale sig at komme af med det. Ecolog mener, at den mest oplagte måde at reducere omkostninger på er via skala, da større skibe giver lavere omkostninger per ton. Lavere omkostninger per ton, drevet af øget kapacitet uden at øge nybygningsprisen proportionelt, vises i beregningerne fra afsnit 5.2. Dette er også grunden til, at Ecolog kigger på skibe med fragttørrelser mellem 25.000 m³ og 84.000 m³ med sidstnævnte værende meget større end konkurrenterne.

Hvor Ecolog har stor fokus på størrelsen af skibene, er Torm neutrale i forhold til størrelser. De mener ikke, man som shippingvirksomhed bør låse sig fast på en størrelse men i stedet se på selve projektet og bygge det skib, der passer bedst til den omkringliggende infrastruktur. Så længe man får et afkast,

som investorerne er tilfredse med, så kan man have en pragmatisk tilgang til samtalerne med resten af værdikæden.

Denne diskussion afspejles også i spørgsmålet om, hvorvidt skibene i sig selv skal være så CO₂ effektive som muligt. Ecolog ser dette som en "license to operate" og mener, at det vil være svært at kunne snakke med kunderne om deres grønne omstilling uden selv at være ambitiøs omkring det. Dan Unity og Torm mener begge, at det vil være godt at have "grønne" skibe til at transportere CO₂, men vil ikke selv stille det som krav, medmindre det kræves af det specifikke projekt, og at dette vil kunne finansiere det. Med andre ord, fragtraten skal kunne afdække præmien i nybygningsprisen for et energieffektivt skib der potentielt kan sejle på alternative brændstoffer.

De forskellige holdninger blandt de interviewede parter indikerer en begyndende divergens i forretningsmodeller med to primære retninger:

1. En pragmatisk tilgang, hvor der bygges skibe til et specifikt projekt. Her spiller shipping en passiv rolle og indordner sig resten af værdikæden.
2. En proaktiv tilgang, hvor man som virksomhed har en klar holdning til hvordan man bygger skibe der kan anvendes på tværs af flere projekter og geografier. Her spiller shippingvirksomheden selvbestemmende rolle og finder projekter, hvor ens skibe passer bedst.

Risici og barrierer

Blandt respondenterne i anden interviewrunde, er der enighed om, at den største barriere for at kunne investere i skibene er at sikre en partner, der er kan indgå en lang kontrakt. Uden kontrakter på fangst og lagring mellem stærke og erfarne parter er det højst usandsynligt, at redere vil bygge CO₂ skibe, da det i så fald vil basere sig på spekulation.

Der er tre hovedårsager til at udlejerne ikke underskriver disse kontrakter på nuværende tidspunkt:

1. Omkostningerne til fangst, lagring og transport har været større end dem forbundet med udledning af CO₂ til atmosfæren. Dette skyldes bl.a. at der ikke har været en afgift struktur der har givet tilstrækkeligt engagement til investeringer i den nødvendige infrastruktur eller teknologi til at undgå disse emissioner. Med den grønne skattereform fra juni 2022 er dette ikke længere en barriere i Danmark. I Europa, som er dækket af en Emission Trading Scheme (ETS), er prisen for at udlede CO₂ steget de seneste par år men der er stadig ingen garanti for, at denne forbliver i et stabilt og højt nok leje til at kunne retfærdiggøre at underskrive en lang kontrakt.
2. Carbon Capture i stor skala er stadig forholdsvist umoden og omkostningstung. Dette pålægger udleder en relativt stor risiko for at etableringen af CO₂ fangst og efterfølgende transport og lagring eller anvendelse ikke kan gøres til en tilstrækkelig lav (og sikker) pris.
3. Der er frygt for at binde sig til at levere en bestemt mængde CO₂ over en lang periode. Udleder kan hurtigt opleve en "lock-in" effekt, hvor man har bundet sig til at komme af med sin CO₂ til en dyr pris kontra andre billigere alternativer i fremtiden

Disse bekymringer er reelle og, ifølge Societe Generale's Maritime Industries, bør hele CCUS værdikædens risici og økonomi analyseres fra et holistisk perspektiv, hvor hele kæden indgår i betragtningerne. For at de første udledere underskriver kontrakter og sætter projekter i gang, kræver det at nationale

myndigheder sætter klare rammeaftaler op for sektoren og medvirker til at minimere risiciene forbundet med projektet, ved fx at finansiere dele af dette. Ifølge Paul Taylor bliver det svært at finansiere projekter på en "non-recourse" basis, hvor långivere kun har rettigheden til pengestrømmen fra projektet, hvis ikke der er en "take-or-pay" aftale på plads. Med andre ord, så skal projekter sørge for at kunne vise synlige og forudsigelige pengestrømme, hvis der skal rejses langsigtet kapital fra både egenkapital og gæld. Den franske bank understreger også, at en sikkerhed omkring prisen på CO₂ er essentiel for at gøre projektet attraktivt. Dette kan komme via enten (i) at implementere en CO₂ afgift, som er højere end omkostningen ved CCUS, som Danmark har gjort, eller (ii) i regioner der er dækket af ETS, kan udleder indgå en "Contracts for Difference ("CfD") med regeringen, som garanterer en langsigtet pris på CO₂ baseret på en pre-defineret mængde, som kan sikre projektets afkast. En CfD er blevet forslået i Storbritannien og er baseret på et instrument, som den danske regering tidligere har haft succes med i udbygningen af den danske vind-industri.

Af andre barrierer specifikt for shipping nævnes manglede tilladelser til at transportere CO₂ på tværs af landegrænser. På nuværende tidspunkt er CO₂ klassificeret som et affaldsprodukt under London-protokollen, hvilket gør at man praktisk talt ikke må transportere CO₂ på tværs af landegrænser. Dog det vist sig at være muligt at indgå i bilaterale aftaler mellem lande der muliggør at transportere CO₂ mellem disse lande. I september 2022 kom den første aftale mellem Holland og Norge, som accepterer transporten af fanget CO₂ fra Yaras gødningsproduktion i Holland til Northern Lights lagringsfaciliteter i Norge. Tilmed er der også kommet en bilateral aftale mellem Danmark og Belgien, der muliggør lagring af belgisk CO₂ i den danske undergrund. Derfor formodes det, at dette ikke bliver en mærkbar barriere fremadrettet og at der bliver kigget kritisk på London-protokollen i takt med at CCUS-markedet vokser.

7.2. Tekniske betragtninger

Som tidligere beskrevet afhænger rentabiliteten af anvendelsen af skibe fremfor pipelines dels af de aktuelle mængder, der skal transporteres, og dels af afstanden.¹³ Disse betragtninger vil derfor også spille ind i forhold til de relevante skibsstørrelser. Gennem interviews fremgår det, at der i de nordeuropæiske projekter vil være fokus på anvendelsen af mellemstørrelse skibe. Her har Dan Unity fokus på skibe på størrelser mellem 10.000 m³ og 25.000 m³ til anvendelse i den lokale Nordsø, mens Torm også udtaler behov for skibe i samme størrelsesorden. Med et lokalt opland af indfanget CO₂ til transport på 3Mtpa ton (eller 2.25 millioner m³), vil det med en skibsstørrelse på 20.000m³ svare til ca. 110 skibe om året eller et skib hver 3. dag. Med en samlet tid for lastning i Aalborg, discharge ved et felt i Nordsøen og retur på omkring 3-3.5 dage kunne denne strækning serviceres af to-tre skibe.

Ved længere transport vil disse betragtninger være anderledes, og det kan være relevant med større skibe. I de tilfælde overvejer Ecolog skibe med kapaciteter op til 84.000m³. Denne type skibe vil særligt have sin berettigelse når CCUS markedet er bedre etableret, og hvor der forventes transport af fanget CO₂ fra regioner, der ikke selv har adgang til anvendelse eller lagring. Denne type af skibe vil også være relevante for transport af større mængder CO₂ til områder med billig energi, hvor der derfor kan forventes etablering af større PtX faciliteter.

For at sikre så meget last ombord som muligt, arbejder Dan Unity med designkriterier så tæt på trippelpunktet for CO₂ som muligt. Dette skyldes dels at det mindre tryk giver mulighed for at designe skibe der er væsentligt lettere, og dels at der kan lastes mere CO₂ per m³, da densiteten af flydende CO₂ er

højere i de lave trykregimer. Faktisk vil man være begrænset til maksimalt 12.000m³ CO₂, hvis man ønsker at operere ved medium tryk (omkring 15bar). De i interviews omtalte kriterier er hhv. 6,5 bar og -45°C og 8 bar og -15°C. Netop ved disse tryk og temperatur regimer, hvor man nærmer sig trippelpunktet for CO₂, skal man være ekstra opmærksom på urenheder i den tryksatte CO₂. Dette skyldes, at eventuelle urenheder kan flytte det aktuelle trippel-punkt, og dermed risikere dannelse af tøris ved f.eks. ekspansion i pumper og rør der anvendes til flytte CO₂ ind og ud af tanksystemerne. Nervøsiteten for dette er dog ikke udpræget i shippingkredse, da man kender til lignende problemstillinger fra LNG.

I forhold til lokale buffer tanke på havne anlæg, er det forventningen, at disse skal operere i samme tryk- og temperaturregimer, som der forventes i den maritime transport. For at sikre hurtig lastning af skibe ved havne anlæggene, kræver det at de lokale buffersystemer er af en størrelse på mindst den samme volumen som de skibe der anvender anlægget. For at sikre operationel fleksibilitet, diskuteres i litteraturen forskellige sikkerhedsmargins, men baseret på de erfaringer der er fra LNG-transport forventes en lokal kapacitet på 120% at være et godt kompromis mellem fleksibilitet og omkostninger.

For at kunne etablere lokale bufferanlæg, er der en række sikkerhedsmæssige aspekter der skal indtænkes. Omend industrien har stor erfaring med håndtering af andre akut giftige og brandfarlige gasser, er der stadig betragtninger omkring sikkerheden ved opbevaring af CO₂, specielt i bynære områder.

I dag er forventningerne, at investering i skibe til transport vil kræve lange kontrakter med konsortier, som baseres på fangst og lagringfaciliteterne indenfor konsortierne. Dette kan betyde en risiko for, at der udvikles løsninger, der er rettet specifikt mod den enkelte værdikæde. Det er her værd at bemærke, at hvis der på længere sigt skal udvikles et mere flydende spotmarked for maritim transport af CO₂ ville det være yderst relevant at definere en fælles standard for de tryk og temperatur regimer der skal transporteres ved, så flere operatører kan anvende samme havnefaciliteter.

7.3. Fremtidens marked for CO₂ shipping

Flere aktører fra den maritime industri er begyndt at vise interesse for at transportere CO₂ fremadrettet. Det er dog meget få, som har indgået kontrakter bestilt skibe på værfterne, hvilket giver gode muligheder for nye spillere til at træde ind på markedet. Hvorvidt der er større potentiale for, at bestemte typer af skibsredere kan engagere sig, vil afhænge af hvordan et fremtidigt scenarie kan se ud for CO₂ shipping på kort og på langt sigt.

Relevante spillere

Virksomheder som Dan Unity og Ecolog, der begge beskæftiger sig med maritim transport af gas, er kendetegnet ved dyb og specialiseret teknisk viden inden for skibsbygning og operationel drift af netop denne type skibe. Dette skyldes, at gasskibe inkluderer avanceret tekniske specifikationer som f.eks. nedkølingssystemer eller tanke med forskellige tryk. Virksomheder der bevæger sig i disse segmenter, har derfor ofte egne afdelinger og kompetencer inden for netop dette. Ved gastransport er der typisk tale om enten LPG eller LNG. Her vil LPG-skibe minde meget i specifikationerne om de fremtidige skibe til transport af CO₂, idet de opererer ved højere tryk, hvorimod LNG skibe typisk arbejder med nedkøling til meget lave temperaturer for at sikre at gassen transporteres i væskeform. Derfor vil man med de rigtige specifikationer kunne sejle med både LPG-produkter og CO₂ på de samme skibe, hvilket gør at

LPG-redere må anses som værende høj-potentielle aktører, hvis man kigger på de kompetencer og ressourcer det vil kræve at operere CO₂ skibe.

Som konstateret tidligere i denne rapport, så forventes det ikke at blive sværere eller mere komplicerede at transportere CO₂ transport sammenlignet med andre gasarter. Dette betyder derfor, at skibsredere der allerede beskæftiger sig med transport af gas, bør have de tekniske ressourcer til stede, og derfor ikke vil stå overfor radikale organisatoriske udvidelser, ændringer eller omkostninger. Dette betyder, at der vil være en væsentlig synergi mellem den eksisterende forretning og en fremtidig transport af CO₂. Omvendt vil engagementet i maritim transport af CO₂ for andre segmenter, f.eks. tørlast redere, betyde, at virksomheden skal opbygge kompetencer inden for områder, de ikke har erfaring med.

Produkttankrederiet Torm har vist interesse i at spille en rolle i etableringen af et marked for maritim transport af CO₂. Tankrederier som Torm sidder typisk på avanceret tekniske kompetencer, men afviger fra kompleksitetsniveauet forbundet med gastransport. Hvis et tankrederi skulle træde ind i dette marked, skal der opbygges kompetencer og viden inden for transport af gasarter, men organisatorisk vil man være vant til at håndtere lignende tekniske problemstillinger og processer. Derudover kan der være et spekulativt aspekt i, hvorvidt tankredere, der pt. driver forretning baseret på transport af væskebaseret fossile brændstoffer, søger nye markeder i takt med den grønne omstilling.

Konkurrencesituationen

I dag er der på globalt plan ca. 40 gasredere med en flåde på over 10 skibe. Disse virksomheder kan klassificeres som potentielle kandidater til at engagere sig i maritim transport af CO₂. Af disse 40 virksomheder er ca. 20 af dem aktive i LPG-segmentet, hvorfor de kan blive anset for at have større potentiale til at kunne ekspandere deres services til at inkludere CO₂. Baseret på nuværende observationer, ses der en overvejende tendens til at europæisk-baseret gas firmaer vil være de første til at investere i maritim transport af CO₂. Af de 40 gasredere udgør ca. 30 af dem virksomheder som har hovedfunktioner i Europa og omkring 20 af dem virksomheder som har vitale funktioner i lande der grænser op til Nordsøen.

Med mange gasredere der potentielt kan bruge deres nuværende kompetencer til at træde ind i CCUS værdikæden, kunne det tyde på at fremtidens marked vil være præget af konkurrence. Hvis man inkluderer andre aktører, heriblandt olie majors og tankrederier, så understreges dette endnu tydeligere. Dette vil både være gældende i Nordsøen men også i andre regioner der skal udvikle en CCUS-værdikæde.

Fremtidsperspektiver

Da CCUS-værdikæden stadig er i et tidligt stadie, og de kommende projekter stadig et "proof of concept", så forventes det, at de første skibe skal bestilles med udgangspunkt i lange kontrakter. Sådan et marked vil minde en del om starten af LNG-markedet, hvor skibene blev specialbygget til projektet og aktiverne i værdikæden blev finansieret på baggrund af hele værdikæden. De projekter der er længst fremme i Nordsøen forventes at bruge skibe i mellemstørrelsen, der kan sejle mellem A og B i pendulfart i 10, 15 eller 20 år. I og med at projekterne vil have pre-defineret fangst- og lagringsfaciliteter, vil dette understøtte den pragmatiske forretningsmodel, som både Dan Unity og Torm satser på, da projektet og dets økonomi vil definere skibets specifikationer.

Det forventes også på den korte bane at skibene vil transportere CO₂ til lagring og ikke til anvendelse. Dette vil understøtte forretningsmodellen med lange kontrakter indenfor et konsortium, da man her kender mængderne af fanget CO₂, der skal lagres. Det er først når der kommer flere kunder og større skala på fangst, lagring og potentielt anvendelse, at man kan forvente at der bliver skabt et spotmarked for transport af CO₂. Dette understøtter også forretningsmodellen med mellemstore skibe, da skibe på +50.000 m³ ikke vil give mening før der er behov for at transportere CO₂ på tværs af kontinenter.

Som de fleste af de maritime aktører nævner, så er det nødvendigt med lange kontrakter fra et konsortium før de kan bygge og finansiere de første skibe. Dette vil være nødvendigt for at sætte skub i markedet og vise at det kommercielt bedre kan betale sig at lagre CO₂ end at betale for en CO₂ afgift. Lange kontrakter mellem pre-defineret fangst- og lagringsfaciliteter skaber dog en "lock-in" effekt. Hvis man tager eksemplet fra Aalborg Portland, en dansk cementvirksomhed, så regner de med at være klar til at fange CO₂ i 2026. Hvis de underskriver en kontrakt på 20 år, vil de have en forpligtigelse til at kunne levere samme mængde CO₂ i 2046 som de gør nu. På grund af skalaen i cementproduktion, så vil CCUS muligvis være den billigste løsning for Aalborg Portland til at blive CO₂ neutral i 2050. Dette er dog ikke nødvendigvis tilfældet for alle industrier og slet ikke for alle individuelle industrianlæg.

For at undgå lock-in effekten for størstedelen af den tunge industri i Europa bør de lange kontrakter kun bruges, hvor det giver mening på den lange bane. Her vil det være oplagt at fokusere de lange kontrakter i industriklynger eller "CO₂ hubs" hvor man kan samle større volumener. Her vil større skibe med mere "neutrale" specifikationer være at foretrække, hvilket vil understøtte den mere proaktive forretningsmodel. Ved større volumener åbner man dog også for, at skibe bliver mindre attraktive end pipelines, hvis al CO₂ transporteres via land til de store hubs. Selv på den lange bane, i et marked præget af koncentrerede CO₂ hubs, vil shipping, ifølge Ecolog, have tre fordele sammenlignet med pipelines. For det første har skibe nemmere ved at tilføje eller fjerne kapacitet i takt med efterspørgslen. For det andet, så skaber skibe en større pålidelighed da det er nemmere at tilføje et eksisterende skib til en rute fremfor at reparere eller bygge en ny pipeline. For det tredje, så vil man som udleder i et etableret marked have muligheden for at vælge den lagringsfacilitet med den mindste pris, hvilket vil sænke prisen på tværs af værdikæden.

Dansk skibsfart

Blandt de danske aktører, der kigger på transport af CO₂, er Dan-Unity og Torm længst fremme. På den korte bane vil de have en fordel i forhold til transport af CO₂ på projekter i Danmark eller i Nordsøen, da de vil have adgang til de rette interessenter i de relevante konsortier. Et eksempel på dette er, at Dan Unity er indtrådt i Fase 2 på Greensand projektet¹⁵. Man kan argumentere for, at hvis markedet baseres på lange kontrakter indenfor konsortier, kan det forventes at first-movers vil have en fordel i fremtidige udbud, hvis man allerede har vist man kan levere maritim transport på en til to kontrakter. Her vil begge de danske aktører have en fordel med deres pragmatiske forretningsmodel, hvor skibe bliver specialbygget til projekterne.

Med det sagt, så har shipping ikke historisk set været et marked, hvor first-movers har haft nemt ved at fastholde forspringet i markedsandele. Som nævnt tidligere er transport af CO₂ ikke meget anderledes end at transportere andre gastyper, og derfor vil konkurrenter let kunne træde ind i markedet.

¹⁵ <https://www.projectgreensand.com/>

Derudover kan selskaber fra andre segmenter med en interesse for et voksende marked med en "grøn historie" også potentielt være fremtidige konkurrenter, hvilket øger den potentielt hårde konkurrence.

Danmark er et land med en bemærkelsesværdig repræsentation af store og mellemstore rederier inden for gas og tank, og de kan blive aktuelle i et fremtidigt CO₂ transport scenarie. Dette er især gældende for virksomheder, der allerede i dag bevæger sig i LPG-segmentet af gastransport. At sætte navn på de danske redere eller operatører der kunne engagere sig i maritim transport af CO₂, ville være meget spekulativt og uden berettigelse. Der er dog et stort potentiale for at danske maritime aktører kan tage del i udviklingen af det nye marked når man kigger på potentialet fra det danske maritime miljø, der er præget af innovation, stor viden, kompetencer og en geografisk lokation tæt på det globale epicenter for de første CCUS værdikæder.

Selvom det på længere sigt vil være svært at opretholde fordelene af at være *first mover*, så vil de danske aktører være godt placeret til at vinde de første udbud og underskrive kontrakter med de store konsortier. Hvis de danske aktører vinder de første kontrakter, vil de på længere sigt have erfaring og adgang til kunderne. Herfra vil de, uden de store problemer, kunne ændre deres forretningsmodel til at fokusere på større og mere "neutrale" skibe, der kan konkurrere i spotmarkedet. Derfor står danske maritime aktører velpositioneret til at spille en stor rolle i opbyggelsen af CCUS værdikæden. Med det sagt, så vil størrelsen på det potentiale afhænge af hvem der vinder de første kontrakter og her vil man have nemmere ved at fastholder en konkurrencefordel på længere sigt jo hurtigere de danske CCUS-projekter bliver igangsat.

8. Konklusion: CO₂ værdikæden fra et dansk perspektiv

Carbon, Capture, Utilization and Storage (CCUS) er udset til at spille en afgørende rolle i den grønne omstilling, da det kan være med til at sikre en gradvis udfasning af CO₂ udledninger fra allerede eksisterende infrastruktur. Historisk set har CCUS kun været brugt i enkelte tilfælde, og der er på nuværende tidspunkt intet større marked for CO₂. De seneste års øget grønne ambitioner fra store virksomheder, samt introduktionen af højere CO₂ afgifter, har gjort CCUS mere interessant, specielt for aktører i Nordsøen. I dag er Danmark sammen med Storbritannien, Norge, Island og Holland førende indenfor CCUS, og de første store projekter forventes at være i fuld drift inden 2030.

I Danmark er CCUS altafgørende i målet om at reducere udledningen af CO₂ med 70% i 2030 svarende til ca. 10Mtpa. Rapporten viser, at den samlede kapacitet fra de tre danske CCS-projekter har tilstrækkelig lagringskapacitet til at dække dette behov, og særligt de ca. 7Mtpa, der er planlagt at blive fanget fra København og Nordjylland. Samme konklusion kan drages på europæisk plan, da lagerkapaciteten i Nordsøen er stor nok til at kunne rumme den planlagte volumen fra fangstanlæg fra de førende lande.

I den grønne skattereform i juni 2022 blev der fastlagt en kombineret kvote- og afgiftsbetaling på 1125kr per tons CO₂ for kvoteomfattede virksomheder og 875kr per tons CO₂ for virksomheder der laver mineralogiske processer. Med den grønne skattereform er der åbnet for mulighederne for at sikre økonomisk incitament i forbindelse med CCUS-investeringer for virksomheder, der anvender fossile brændsler, hvis prisen for fangst, transport og lagring på kan lande omkring 1000kr per ton CO₂. I de tilfælde hvor omkostningen er lav nok, vil der på det danske marked være en god forretningscase på CCUS for de kvoteomfattede virksomheder allerede for nuværende. Samme konklusion kan ikke drages på europæisk plan, hvor den nuværende CO₂ afgift, som en del af EU ETS system, er en smule lavere og volatil.

Udbygningen af en CCUS værdikæde vil kræve ny infrastruktur for både danske og europæiske projekter. Her vil det være nødvendigt med yderligere infrastruktur såsom pipelines, tankvogne og havnefaciliteter for at muliggøre maritim transport af CO₂. Maritim transport kan spille en afgørende rolle for udbygningen af ny infrastruktur i projekter med længere transport og mindre volumener. Derudover kan nye specialbyggede skibe give større fleksibilitet i forhold til trykregulering på tværs af værdikæder i forhold til nye eller eksisterende pipelines. Omkostningsanalysen i denne rapport viser, at maritim transport udgør en relativ lille del af den samlede omkostning på tværs af værdikæden, hvor fangst udgør den største del. Derfor kan projekter med fordel tænke maritim transport ind i værdikæden, hvis ikke der er eksisterende infrastruktur der kan anvendes til formålet.

På trods af de attraktive egenskaber ved den maritime transport af CO₂, er der endnu ikke tilgængelige skibe klar til at transportere CO₂. Selvom mange shippingvirksomheder har vist interesse i at bygge og operere CO₂ skibe, er der endnu kun blevet lavet én ordre på to skibe der skal bruges i Northern Lights projektet. Gennem interviews konkluderer denne rapport, at skibe ikke vil blive bygget eller finansieret medmindre man kan sikre sig lange kontrakter og modenhed på tværs af værdikæden. Rapporten konkluderer også at projekter, for at kunne tiltrække langsigtet kapital, skal analyseres på tværs af værdikæden i stedet for i de enkelte dele og at shipping kontrakterne skulle understøttes af lange kontrakter mellem fangst- og lagringsfaciliteter.

Hvis man som shipping virksomhed kan sikre sig lange kontrakter, vil man i første omgang bygge specialbyggede skibe, der passer til projektet. Meget lig LNG-markedet i sit tidlige stadie, vil markedet for maritim transport af CO₂ være baseret på lange kontrakter med pre-defineret fangst- og lagringsfaciliteter. Dette vil være tilfældet indtil der er kommet større skala og flere lokationer for fangst, lagring og anvendelse både i Nordsøen og på internationalt plan. Denne rapport har også vist at, på trods af store potentialer for anvendelse af CO₂ til produktionen af syntetiske brændstoffer til bl.a. shipping industrien, så vil anvendelse ikke spille en nævneværdig rolle på kort sigt. Det skyldes, at værdikæderne til anvendelse af CO₂ ikke er klar, at Power-to-X har et større fokus i dansk sammenhæng, samt at der ikke med den nye grønne skattereform er skabt et incitament for fangst af CO₂ fra kilder der udleder biogen eller kombineret fossilt og biogent CO₂, idet reformen kun omfatter anvendelsen af fossile brændsler.

På længere sigt, hvis transport af CO₂ bliver et etableret marked, kan man forvente at et spotmarked udvikles. Her vil et skib kunne operere i flere havne og med flere lagringsfaciliteter, hvor CO₂ kan transporteres på tværs af kontinenter og mod regioner med billig elektricitet til at producere syntetiske brændstoffer mere omkostningseffektivt. Denne fleksibilitet vil alt andet lige sænke prisen på CCUS da det vil kræve større skibe samt skabe et mere dynamisk marked.

Blandt de interviewede parter i denne rapport finder man et par af de danske *first-movers*. Disse har begge en pragmatisk forretningsmodel, hvor ambitionen er at bygge specialbyggede skibe til specifikke projekter. De danske aktører vil have en fordel i at tilbyde maritim transport til alle projekter i Nordsøen, hvor man kigger på maritim transport. Denne rapport argumenterer for, at de danske aktører har en konkurrencefordel i de danske projekter, da man allerede kan være i dialog med de store konsortier.

På længere sigt kan denne konkurrencefordel blive mindre da transporten af CO₂ ikke er nogen ny disciplin men i højere grad endnu en type gas, der kan transporteres på skibe. Det betyder mange virksomheder vil have kompetencerne til at kunne træde ind på markedet. Specielt i et internationalt og fragmenteret spotmarked vil de danske aktører ikke have en nævneværdig konkurrencefordel udover en antaget erfaring og netværk fra de første projekter i Nordsøen. Derfor konkluderer denne rapport, at potentialet for at drage fordel af at være *first mover* er signifikant større jo hurtigere de danske CCUS-projekter bliver igangsat. I dette tilfælde kan de danske aktører drage større fordel på at have været visionær tidligt i segmentets udvikling.

Appendix 1 - Interviewguide

Tabel 7: Interviewguide, 1. runde

Spørgsmål	Svar (notér)
Hvor mange tons CO ₂ forventer du, at der fremover skal indfanges på årsbasis fra din virksomhed eller branche?	Virksomhed/branche (definition): Potential tons/år:
Hvor mange tons CO ₂ forventer du, at der fremover skal lagres i undergrunden?	Omfang (land/virksomhed/region): Potentiale tons/år:
Kender du til nogen nuværende planer for transport af flydende CO ₂ ad søvejen?	Omfang (land/virksomhed/region): Potentiale tons/år:
Kender du til aktuelle planer for koordineret opsamling og anvendelse af CO ₂ på samme lokalitet?	Lokalitet (land, by, virksomhed): Potentiale tons/år:
Hvordan vurderer du tidshorisonten for de tiltag, som du har kendskab til?	År til start: År til fuld skala:
Forventer du et skifte fra lagring til anvendelse af den opsamlede CO ₂ fra din virksomhed eller branche?	
Kender du til omkostningerne forbundet med lagring af CO ₂ på havbunden i Nordsøen?	Hvis ja: kr. pr. ton
Kender du til omkostningerne forbundet med fangst af CO ₂ fra landfaste anlæg?	Hvis ja: kr. pr. ton
Kender du til omkostninger forbundet med transport af CO ₂ , herunder infrastruktur, tankfaciliteter, nedkøling og landtransport?	Hvis ja: kr. pr. ton eller ton-km.
Hvilke alternative transportmuligheder kender du til? F.eks. pipeline, vejtransport og kender du til prisstrukturen forbundet med disse	Hvis ja, hvilke:
Hvad er, efter din mening, et realistisk bud på værdien af et ton CO ₂ til anvendelse som f.eks. PtX?	Kr. Pr. Ton:
Hvilke afgifter og tilskud er der, efter din mening, behov for, hvis CO ₂ skal transporteres i større mængder med skib?	Kr. Pr. Ton:
Hvilke tekniske, juridiske og økonomiske barrierer ser du i forhold til CO ₂ transport i større mængder med skib?	Angiv problem/tidshorisont:
Ser du barrierer i forhold til infrastrukturen hvis der skal udskibes CO ₂ fra havne?	Hvis ja, hvilke:

Tabel 8: Interviewguide, 2. runde

Spørgsmål	Svar (notér)
Hvem ser du som jeres primære kunde?	Branche: Potential tons/år:
I hvilke situationer har maritim transport en fordel fremfor alternativerne (f.eks. pipelines)	
Hvilke volumener er nødvendige for at der laves kontrakter på CO ₂ transport?	Omfang tons/år:
Ser du shippingvirksomheder drive forretning alene i værdikæden eller er der brug for konsortier?	
Hvor lange kontrakter forventer i før der giver mening for jer?	År:
Hvad skal fragtraterne være for at det bliver rentabelt?	Kr/ton
Hvad skal størrelsen af skibe være for at det bliver rentabelt?	Ton:
Er det en nødvendighed/fordel at skibe i sig selv er grønne?	
Hvad er det optimale tryk/temperatur i forhold til skibsdesign? Hvad er mest effektivt for skibene vs. hvad er optimalt for værdikæden	
Hvad er din erfaring med loading / discharge design på CO ₂ tankskibe. Hvilken indflydelse vil det have ift. at engagere sig i søtransport af CO ₂ ?	
Hvilke tekniske risici ser du i forhold til at drive skibene?	
Hvilke kommercielle risici ser du i forhold til maritim transport af CO ₂ ?	
Hvilke risici ser du i forhold til CO ₂ infrastruktur?	
Hvilke barrierer ser du som de vigtigste at nedbryde før at CO ₂ kan blive en kommerciel disciplin inden for shipping?	
Vil der være en differentiering mellem den kommercielle operation af fossils og biogent CO ₂ ?	
Hvilken indflydelse vil overgang til anvendelse som alternativ til lagring have på den kommercielle maritime transport af CO ₂ ?	
Hvordan ser maritim transport af CO ₂ på kort (5år) og længere (10-15år) sigt ud for jer? <ul style="list-style-type: none"> • Kunder • Typer af kontrakter • Geografi • Skibsstørrelser 	

Appendix 2 - Respondenter

Tabel 9: Respondenter

Virksomhed	Placering i værdikæden	Runde	Kontaktperson
Aalborg Portland	Stor kilde; Erfaring med mængder og omkostninger ved fangst	1	Thomas Uhd
Aalborg Havn	Infrastruktur, lokal lager og anvendelse	1	Martin Vogdrup Olesen
European Energy	Anvendelse, PtX	1	Martin Sloth Jensen
Maersk Zero Carbon Shipping	Total værdikæde, men primært transport og lager	1	Johan Byskov
C4 – Carbon Capture Cluster Copenhagen	Total værdikæde, primært udleder, fangst, infrastruktur	1	Mikkel Krogsgaard Niss
Danske Rederier	Transportør; Viden om danske tiltag for transport af CO ₂	1	Thomas Sylvest
Ammongas	Fangst; Viden om omkostninger i forbindelse med fangst af CO ₂	1	Jonas Samuelson
Acer Carbon Capture	Fangst, med fokus på hele værdikæden	1	Anders Rooma Nielsen & Peter Thoft Knudsen
Gas Storage Danmark	Lagring	1	Martin Patrong
EVIDA	Landtransport	1	Morten Poulsen
Societe Generale	Syn på risikoen på tværs af værdikæden. Eksperter i finansiering af maritim infrastruktur	1	Paul Taylor, Mark Westley Chris Wright & James Paton
Horisont Energi	Fangst, anvendelse og lagring	1	Rasmus Holmer
Dan Unity	Maritim transport	1 & 2	Steffen Jacobsen
Ecolog	Maritim transport	2	Jasper Heikens
Torm	Maritim transport	2	Lars V. Mathiasen

