



# Omkostningseffektiv CO<sub>2</sub>-infrastruktur i hovedstadsområdet

---

**2. JANUAR 2023**

---

AFRAPPORTERING FRA KLYNGESAMARBEJDET  
OM CO<sub>2</sub>-TRANSPORT OG -INFRASTRUKTUR I  
HOVEDSTADSOMRÅDET.

**FOTO:**

Unsplash.com, side 1, 12, 28, 35, 47, 48 og 52  
C4, side 32

Amager Ressourcecenter, side 16

Ørsted A/S, side 20 og 24

AdobeStock, side 14, 27 og 30

Vestforbrænding, side 10

## Indholdsfortegnelse

1.	Sammenfatning .....	7
2.	Baggrund.....	13
3.	Strategiske veje til klyngefordele.....	17
4.	Strategiske anbefalinger .....	23
5.	Stort potentiale for CO <sub>2</sub> -fangst og CO <sub>2</sub> -import .....	29
6.	Transportkæden for håndtering af CO <sub>2</sub> .....	33
7.	Ejerskab og roller bør udformes, så de understøtter sigtepunktet .....	43
8.	Tekniske og regulatoriske anbefalinger .....	49
9.	Bilag.....	53

# Ordliste

---

Anvendelse	At bruge fanget CO <sub>2</sub> til at lave bæredygtige brændsler eller lignende gennem Power-to-X. Også benævnt utilization.
CCS	Carbon Capture and Storage.
CCU	Carbon Capture and Utilization. Se Anvendelse.
CCUS	Carbon Capture, Storage and Utilization.
CO <sub>2</sub> -fangst	Metode til at fange CO <sub>2</sub> direkte ved en punktkilde, fx med et amin-anlæg.
CO <sub>2</sub> -lager	Underjordisk lager, hvor CO <sub>2</sub> kan lagres i al fremtid. Et CO <sub>2</sub> -lager kan være placeret onshore eller offshore.
Fordråbning	Kondensering/fortætning af gas til flydende form. For CO <sub>2</sub> sker det gennem en kombination af tryksætning og nedkøling.
Klyngefordele	Synergi ved at have fælles løsninger.
Klyngen	Virksomheder, som er knyttet sammen af fælles infrastruktur.
Klyngesamarbejdet	Den midlertidige gruppe af virksomheder, som samarbejder om at udarbejde anbefalinger om CO <sub>2</sub> -transport og -infrastruktur.
Mellemlager	Midlertidigt lager i et tankanlæg, hvor CO <sub>2</sub> kan opbevares i flydende form.
Power-to-X (PtX)	Teknologi, der producerer brændstoffer, kemikalier og materialer på baggrund af CO <sub>2</sub> og grøn brint produceret ved elektrolyse (se også Anvendelse og CCU).
Sigtepunkt	En overordnet ambition og strategi for CO <sub>2</sub> -mængderne i en fælles infrastruktur samt for udviklingen af rammevilkår, ejerstrategier, støtte- og garantiordninger, som sikrer, at disse understøtter hinanden, og at markedsaktørerne kan tilrettelægge deres investeringer ud fra disse forventede rammer.
Tryksætning	At ændre trykket af fx CO <sub>2</sub> til det ønskede tryk til rørledninger, skib eller andet formål.

---



# Forord

CO<sub>2</sub>-fangst, -lagring og -anvendelse (CCUS) er væsentlige elementer, hvis Danmark skal nå klimamålene for 2030 og 2050. På verdensplan er CO<sub>2</sub>-lagring og -anvendelse også væsentlige teknologier, hvis Parisaftalens målsætninger helt eller delvist skal nås.

Hovedstadsområdet har nogle unikke muligheder for at etablere gode CCUS-værdikæder:

- Høje klimaambitioner og en tradition for at være først, så erhvervslivet herefter kan sælge løsninger internationalt.
- Store punktkilder til CO<sub>2</sub> ligger tæt, så omkostningerne kan reduceres med fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Gode CO<sub>2</sub>-lagringsmuligheder tæt på. Havnefaciliteterne til at udskibe CO<sub>2</sub> til Nordsøen er allerede veludbyggede, og det undersøges, om der kan etableres storskala-CO<sub>2</sub>-lager på Sjælland.
- Gode muligheder for produktion af grønne brændstoffer. Green Fuels for Denmark har annonceret, at de vil etablere en fabrik ved Avedøre, og andre aktører forventes at følge efter.

Klyngesamarbejdet om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur i hovedstadsområdet er nedsat af Klima- Energi- og Forsyningsministeriet med henblik på at igangsætte arbejdet med CO<sub>2</sub>-infrastruktur og komme med anbefalinger til ministeriet, ministeren og Folketinget, om hvad der skal til for at etablere CO<sub>2</sub>-infrastruktur i hovedstadsområdet. Bag klyngesamarbejdet står 18 virksomheder, der hver især har en interesse i, at Danmark og hovedstadsområdet når klimamålsætningerne billigst muligt.

Klyngesamarbejdet har udarbejdet nærværende rapport, der opridser de væsentligste anbefalinger til CO<sub>2</sub>-transport. Herudover er der udarbejdet tekniske konsulentrapporter til klyngesamarbejdet, som baggrund for arbejdet. Disse stilles til rådighed for alle interesserede. Vi håber, anbefalinger og rapporter vil blive taget godt imod.

Mikkel Krogsgaard Niss  
Formand for klyngesamarbejdet  
Sekretariatsleder for C4 – Carbon Capture Cluster Copenhagen



# 1. Sammenfatning

Omkostningerne til at fange, transportere, lagre og anvende CO<sub>2</sub> (CCUS) er betydelige, og det er derfor væsentligt at fokusere på, hvordan de kan reduceres.

I hovedstadsområdet ligger nogle af landets største CO<sub>2</sub>-udledere. CO<sub>2</sub>-udlederne ligger desuden tæt, og det giver mulighed for at lave fælles infrastruktur til transport af CO<sub>2</sub>, hvorved de samlede omkostninger til CCUS kan reduceres.

Fælles infrastruktur til CO<sub>2</sub>-transport reducerer transportomkostningerne og sikrer hermed, at Danmark kommer billigere i mål med klimaambitionerne. Men det er usikkert, hvordan risici, organisering og marked kan og bør håndteres. Derfor har Klimaministeriet nedsat klyngesamarbejder i seks områder af Danmark. Denne rapport afrapporterer klyngesamarbejdet i hovedstadsområdets arbejde.

Formålet med klyngesamarbejdet er at komme med anbefalinger til, hvordan CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur skal håndteres. Klyngesamarbejdet i hovedstadsområdet har arbejdet ud fra:

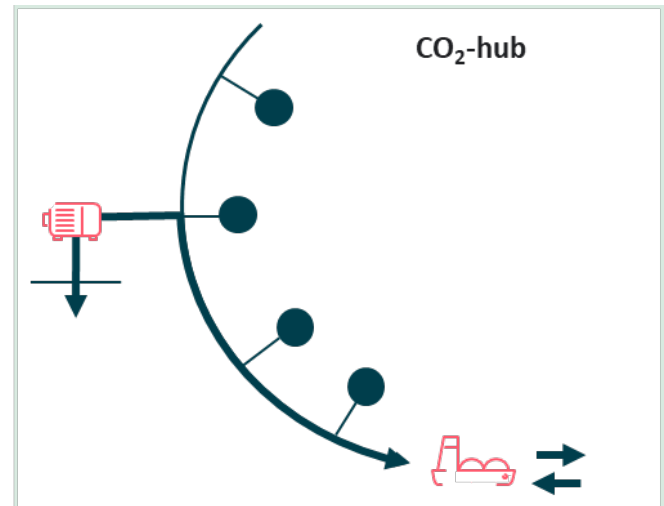
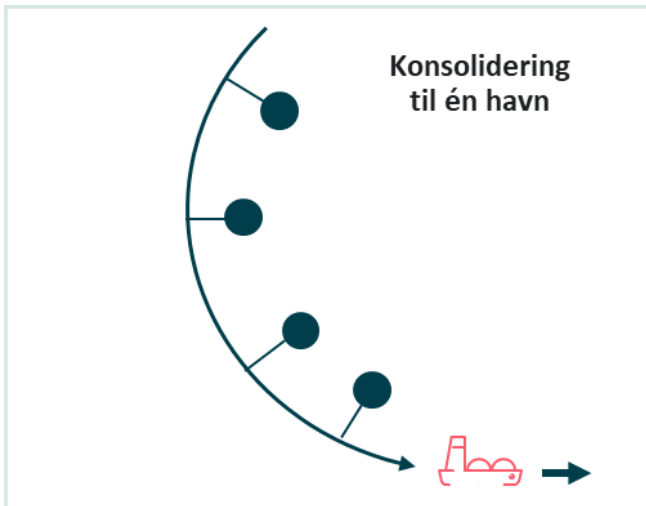
- At der skal findes de mest omkostningseffektive løsninger, så Danmark kan nå klimamålene billigst muligt.
- At suboptimering skal undgås, så der laves gode løsninger til gavn for hele værdikæden.
- At dansk erhvervsliv får og skaber ekspertise og knowhow, så de danske løsninger kan sælges i udlandet. Dette gælder for CO<sub>2</sub>-transport, men også PtX, CO<sub>2</sub>-lagring og -fangst.

I hovedstadsområdet er der overordnet set to retninger for CO<sub>2</sub>-fangst; én, hvor der etableres et stort CO<sub>2</sub>-lager på Sjælland eller et stort aftag af CO<sub>2</sub> til PtX-formål, og én, hvor dette lager ikke etableres. Etableringen af et CO<sub>2</sub>-lager tæt på kilderne har stor indflydelse på, hvordan man bør tænke CO<sub>2</sub>-infrastrukturen.

Hvis der kommer et stort CO<sub>2</sub>-lager på Sjælland, vil det skabe en konkurrencedygtig lagerløsning for aktører i Sverige, Finland, Tyskland og Polen, og hermed vil infrastrukturen kunne indrettes herefter. Dette vil kunne reducere enhedsomkostningerne til transport af CO<sub>2</sub> betydeligt. Kernen i infrastrukturen vil i dette tilfælde være CO<sub>2</sub>-lageret og/eller eventuelle PtX-fabrikker, som skal anvende CO<sub>2</sub>. Etablering af CO<sub>2</sub>-lager på Sjælland undersøges pt, men det er stadig ikke sikkert, om et foreslået lager ved Havnsø vil kunne etableres, da der udestår endelig teknisk analyse af undergrunden samt håndtering af proces- og tidsmæssige risici.

Hvis CO<sub>2</sub> ikke kan lagres og/eller anvendes i store mængder på Sjælland, vil infrastrukturen alene skulle dimensioneres efter de mængder CO<sub>2</sub>, der kan forventes fanget på Sjælland. Hermed vil infrastrukturen blive mindre, og enhedsomkostningerne vil blive højere. Kernen i infrastrukturen vil være en havn, hvorfra CO<sub>2</sub> kan udskibes til lagring, samt PtX-fabrikker, som skal anvende CO<sub>2</sub>.

De to retninger er skitseret i figur 1. Implikationerne af de to retninger, som CO<sub>2</sub>-infrastrukturen kan tage på Sjælland, gennemgås i kapitel 3.



Figur 1 - To retninger for CO<sub>2</sub>-fangst. De runde punkter symboliserer punktkilder forbundet med fælles infrastruktur.

## Mulighederne for at etablere en CO<sub>2</sub>-klynge

Etablering af en CO<sub>2</sub>-klynge frem for en række enkelt-anlæg skaber en række positive effekter:

- Der er væsentlige stordriftsfordele, som kan høstes gennem fælles infrastruktur- og transport. Det reducerer omkostningerne til at transportere CO<sub>2</sub>.
- Alt efter scenarie er der direkte samfundsøkonomiske effekter på 0,5-1,7 mia. kr./år fra fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur. Hertil kommer BNP-effekter på ca. 1,8 mia. kr. pr år og en jobeffekt på ca. 3.000 fuldtidsstillinger.
- Udjævning af CO<sub>2</sub>-produktionen kan sikre bedre udnyttelse af infrastrukturen og mere kontinuert leverance af CO<sub>2</sub> til fx PtX-anlæg.
- En klynge kan nå kritisk størrelse, som vil muliggøre kvalitative spring i teknologi, fx etablering af onshore-lagring eller tiltrækning af PtX-produktion med behov for konstante mængder af CO<sub>2</sub>.
- Etablering af en klynge kan tiltrække virksomheder og kompetencer inden for CCUS-området på grund af den øgede aktivitet

Fordelene skal opvejes mod den større kompleksitet ved etablering af fælles infrastruktur frem for enkeltprojekter, herunder også risikoen for at investere i infrastruktur og andre fælles løsninger, som ikke bliver efterspurgt. Risici og udfordringer skal modvirkes gennem rammevilkår, hvis det skal blive muligt at etablere fælles infrastruktur.

## Omfang af en CO<sub>2</sub>-klynge for hovedstadsområdet

Klyngesamarbejdet har udarbejdet en række scenarier for udvikling af en sammenhængende infrastruktur for at skabe indblik i potentiale, investeringsomfang og omkostninger. Til sammenligning er opstillet et scenarie, hvor der etableres individuelle CCS-projekter med egne transportløsninger.

### Tilgængelige CO<sub>2</sub>-mængder

Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst er belyst gennem en spørgeskemaundersøgelse, som er udsendt til de relevante punktkilde-ejere i hovedstadsområdet. Besvarelserne viser, at der er en bruttoudledning af CO<sub>2</sub> på ca. 6 mio. ton pr. år. Udledningen forventes at være relativt stabil frem mod 2030. Se figur 2 på side 9.

Bemærk, at bruttoudledningen ikke er udtryk for den mængde CO<sub>2</sub> der kan fanges. Bl.a. betyder årstidsvariationer i udledningen, at det vil være uøkonomisk at udnytte udledninger i spidslastperioder.

Hvis det lykkes at etablere et konkurrencedygtigt omkostningspunkt, vurderes det, at der kan tiltrækkes CO<sub>2</sub> fra punktkilder til lagring og PtX-formål.

Punktkilder i Skåne kan indtænkes i samme klyngelogik som punktkilder i hovedstadsområdet. Der kan etableres en fælles infrastruktur, og transportomkostningerne kan reduceres med fælles anlæg, bedre kapacitetsudnyttelse mv.

Eksport af CO<sub>2</sub> fra øvrige punktkilder i Østersø-området kan være attraktiv på grund af en kombination af to forhold:

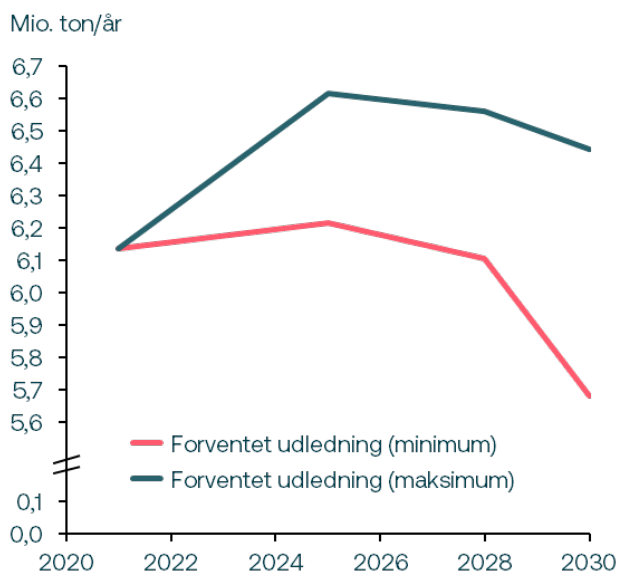


- Der er dårlige geologiske muligheder for CO<sub>2</sub>-lagring i en stor del af regionen.
- Der kan etableres et attraktivt omkostningspunkt gennem en kombination af fælles infrastruktur (skalafordele og kapacitetsudnyttelse) og afsætning af dele af CO<sub>2</sub>'en på land.

Afsætning på land er relevant, hvis der etableres et onshore-lager på Sjælland, eller hvis der etableres en stor PtX-produktion med behov for CO<sub>2</sub> – eller en kombination af disse. Anvendelse af CO<sub>2</sub> til at producere grønne brændstoffer kan få en betydelig kommerciel værdi frem mod 2050.

En analyse af importpotentialet gennemført af klynge-samarbejdet antyder, at der kan importeres 4,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030, voksende til 20 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2050, hvis der kan etableres en konkurrencedygtig pris for afsætning.

### Punktkildeejernes forventning til udvikling af CO<sub>2</sub>-bruttoudledning

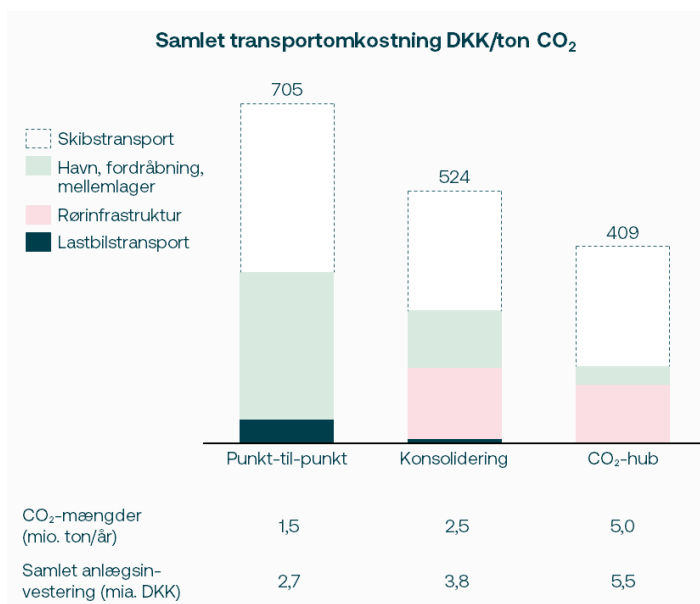


Figur 2: Forventninger til CO<sub>2</sub>-udledning fra punktkilder i hovedstadsområdet. Værdier for 2021 er realiserede udledninger. (Kilde: spørgeskemaundersøgelse).

### Omkostninger og investeringer i fælles infrastruktur

Analyserne viser, at der er et betydeligt potentiale for omkostningsreduktion ved etablering af fælles løsninger. Det er bemærkelsesværdigt, at der ikke blot vil være besparelser i den fælles infrastruktur, men at fælles løsninger også muliggør besparelser i andre dele af værdikæden. Især kan der opnås en stor besparelse på skibstransport, når CO<sub>2</sub>'en samles, da det vil muliggøre brug af større skibe.

Hovedtal for analyserne er gengivet i Figur 3. I tabellen er transportomkostningerne indsat som gennemsnit af forskellige strukturelle løsninger, fx off-shore- og onshore-lagring. Scenariet "CO<sub>2</sub>-hub" indeholder et bidrag fra import af to mio. ton CO<sub>2</sub>. De samlede transportomkostninger for hvert scenarie er inklusive skibstransport, fx til et offshore lager og lastbiltransport. I praksis vil noget CO<sub>2</sub> udskibes, noget køre med lastbil og noget anvendes/lagres lokalt, hvilket vil give forskellige transportomkostninger.



Figur 3: Omkostninger og omkostningssammensætning i de tre scenarier, som er opstillet for at belyse potentialet ved fælles infrastruktur. Bemærk, at skibstransport ikke er en del af den fælles infrastruktur, men påvirket af den.

Nogle aktører vil i større eller mindre grad selv kunne opnå klyngefordele, hvilket vil reducere klyngefordele for de øvrige aktører, da de samlede mængder hermed reduceres. Dette kan modvirkes med fleksible tariffer, der tager højde for transportafstand, CO<sub>2</sub>-mængder, CO<sub>2</sub>-renhed samt alternativomkostninger.

Der er betydelige samfundsøkonomiske gevinster ved at etablere en CO<sub>2</sub>-klynge, der kan reducere enhedsomkostningerne til transport af CO<sub>2</sub>. I scenariet 'Konsolidering til én havn' udgør de samfundsøkonomiske gevinster 488 mio. kr. pr. år, mens de i scenariet CO<sub>2</sub>-hub udgør 900-1.650 mio. kr. pr. år, alt efter hvor stor andel af CO<sub>2</sub>'en, der skal transporteres med skib. Udover de direkte samfundsøkonomiske gevinster vil etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur medføre en række afledte samfundsøkonomiske gevinster, herunder bl.a. vækst i BNP, jobskabelse og reducerede omkostninger grundet øget lokalt vidensniveau. Den samfundsøkonomiske analyse gennemgås på side 38 og i bilag 7.



## Fem strategiske anbefalinger

Klyngesamarbejdet har udarbejdet fem strategiske anbefalinger til at sikre målsætningerne. De fem anbefalinger søger at håndtere usikkerheden om de fremtidige CO<sub>2</sub>-mængder, både i forhold til hvornår CO<sub>2</sub>-fangstanlæg etableres og i forhold til, om der etableres CO<sub>2</sub>-lagring på Sjælland. Anbefalingerne er:

### 1. Sæt et sigtepunkt og dimensionér infrastrukturen efter sigtepunktet

Alt efter om der etableres et CO<sub>2</sub>-lager i Havnsø, foreslås følgende målsætninger for hovedstadsområdet:

- Med Havnsø-lager: ét onshore lager, én havn til import og eksport, tilhørende rørinfrastruktur med kapacitet på mindst 10 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år, der kan levere CO<sub>2</sub> til CO<sub>2</sub>-lager samt PtX-fabrikker.
- Uden Havnsø-lager: én havn til eksport, tilhørende rørinfrastruktur med en kapacitet på 3-5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år, der kan levere CO<sub>2</sub> til en havn og PtX-fabrikker.

De specifikationer, som fastlægges ved etablering af den første infrastruktur, vil have indflydelse på alle fremtidige brugere og bør optimeres ud

fra det forventede, fremtidige system af punktkilder, lager, PtX-fabrikker og CO<sub>2</sub>-transport.

### 2. Robust finansieringsmodel, der sikrer tilstrækkelig kapacitet og skalafordele i klyngerne

Der er begrænset incitament til at investere forud for efterspørgsel. Hermed risikeres, at der etableres for lidt kapacitet i infrastrukturen. Da udvidelse af infrastruktur er markant dyrere end at etablere ekstra kapacitet, foreslås en risikopulje, som kan finansiere midlertidig overkapacitet mod senere tilbagebetaling til fonden. Desuden foreslås, at der fra starten vælges en ejerskabsmodel for CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

En risikopulje kunne fx finansieres af afsatte puljer til CCUS, hvis de ikke finder fuldt afløb til projektstøtte. Støtten tilbageføres, når den ekstra kapacitet sælges til nye operatører og kan så udnyttes til at fremtidssikre nye infrastrukturanlæg.

### 3. Fremtidig støtte til CCUS skal understøtte synergi mellem projekterne

De nuværende tilskudsordninger til etablering af CCS-projekter er designet, så de understøtter enkeltprojekter og hermed risikeres suboptimering af infrastrukturen. Der er behov for, at støtte til CCUS understøtter fælles infrastruktur med tilstrækkelig kapacitet, så der kan skabes en bedre

konkurrence om CO<sub>2</sub>-fangst, -lagring og -anvendelse.

For at der i CCUS-værdikæden kan understøttes et reelt marked, anbefales, at biogen og fossil CO<sub>2</sub> prissættes nogenlunde ens, så der skabes størst mulig sikkerhed om værdien af CO<sub>2</sub>. Prisen for fossil CO<sub>2</sub> er i dag fastsat gennem EU-kvotestystemet (EU-ETS) samt den danske grønne skattereform.

Det foreslås, at værdien af negative emissioner (biogen CO<sub>2</sub> lagret i undergrunden) fastsættes ud fra en model, der læner sig op ad den eksisterende prisfastsættelse for fossil CO<sub>2</sub>, men med omvendt fortegn, eventuelt med et maksimalt antal ton, hvorved der også vil være mulighed for en prissætning af CO<sub>2</sub> til PtX.

Med en pris på negativ CO<sub>2</sub>-udledning opnås fair konkurrence og åbne priser, der sikrer, at CO<sub>2</sub>-fangstprojekter kan samarbejde om fælles CO<sub>2</sub>-transport i store skibe og fælles udnyttelse af CO<sub>2</sub>-infrastruktur. Det reducerer de samlede samfundsøkonomiske omkostninger til CO<sub>2</sub>-transport.

Det frarådes på det kraftigste, at værdien af negative emissioner i fremtiden fortsat skal afgøres gennem støttetildeling til enkeltprojekter, da det besværliggør samarbejde, mindsker muligheden for store CO<sub>2</sub>-fangstprojekter og medvirker til suboptimering.

#### **4. Tænk udbygning af fjernvarmen sammen med CO<sub>2</sub>-klynger**

CO<sub>2</sub>-fangst og -anvendelse samt fælles CO<sub>2</sub>-transportløsninger giver mulighed for at anvende store mængder overskudsvarme i fjernvarmenettene. Det kræver dog, at det sammenhængende fjernvarmenet i hovedstadsområdet udbygges simultant med CO<sub>2</sub>-fangstprojekterne, herunder fælles infrastruktur. Der kan med overskudsvarme fra CO<sub>2</sub>-fangst og -transport omstilles over 100.000 naturgasfyr i hovedstadsområdet til fjernvarme, hvis CO<sub>2</sub>-fangst og -transport samtænkes med udbygning af fjernvarmen. Det reducerer CO<sub>2</sub>-udledningen fra naturgasfyrene med ca. 350.000 ton CO<sub>2</sub> om året samt reducerer afhængigheden af naturgas.

Det bør prioriteres at udbygge fjernvarmenettene omkring CO<sub>2</sub>-fangstklyngerne i samme takt, som der bygges CO<sub>2</sub>-fangst og PtX-fabrikker. Alternativt kan det blive svært at udnytte overskudsvarmen tilstrækkeligt effektivt.

#### **5. Vi har travlt: Regulering og rammer skal på plads nu**

Der er behov for en hurtig afklaring af rammerne for udvikling af CO<sub>2</sub>-infrastruktur. Ellers risikeres, at de første CO<sub>2</sub>-fangstanlæg, som forventes allerede fra 2025, ikke kan indgå i fælles infrastruktur, hvilket går ud over både selskabs- og samfundsøkonomi på kort og lang sigt. Klyngesamarbejdet anbefaler, at staten inden udgangen af 2023 udarbejder strategier samt fastsætter rammer for CO<sub>2</sub>-transport.

Bag klyngesamarbejdet står 18 virksomheder, der tilsammen repræsenterer alle dele af CO<sub>2</sub>-værdikæden fra fangst til lagring og anvendelse. De 18 virksomheder er Aker Carbon Capture, ARC, ARGO, BIOFOS, Copenhagen Malmø Port, CTR, Evergas, Evida, Gas Storage Danmark, HOFOR, INEOS Energy, Norfors, Novo Nordisk Fonden, Novozymes, TORM, VEKS, Vestforbrænding og Ørsted.

De 18 medlemmer af klyngesamarbejdet er enige om også fremover at samarbejde om indsamling af information, fælles analyser, videndeling, branchesamarbejde, udarbejdelse af roadmaps mv. På hvert sit område vil deltagerne arbejde for at indgå i relevante arbejdsgrupper, udarbejde projektforslag mv., så der kan handles hurtigt, i takt med at de statslige rammebetingelser er på plads. Samarbejdet vil fortsat blive faciliteret af C4, fx som et tilknyttet erfaringsudvekslingsnetværk. Klyngesamarbejdet foreslår, at det tætte samarbejde med ministeriet fortsættes. Hermed sikres god videndeling mellem ministerium og de relevante aktører om implementering af delt CO<sub>2</sub>-infrastruktur og opnåelse af omkostningseffektive klyngefordele.

De fem strategiske anbefalinger er uddybet i kapitel 4, mens øvrige anbefalinger gennemgås i kapitel 8. Faglig baggrundsviden gennemgås i kapitel 5-7. Desuden er der vedlagt tekniske konsulentrapporter i bilag, som er udarbejdet for at opnå fælles viden og en forståelse af klyngefordele ved fælles infrastruktur.



## 2. Baggrund

CO<sub>2</sub>-fangst, -lagring og -anvendelse er helt nødvendig, hvis Danmark og verden skal nå i mål med klimambitionerne. Det er der bred enighed om, både blandt forskere, danske politikere på tværs af partier og FN's klimapanel, IPCC.

Omkostningerne til at fange, transportere, lagre og anvende CO<sub>2</sub> er betydelige, og det er derfor væsentligt at fokusere på, hvordan omkostningerne kan reduceres. Det vil forbedre Danmarks konkurrenceevne og skabe grobund for et internationalt erhvervsevenstyr for danske aktører i CO<sub>2</sub>-værdikæden samtidig med, at CO<sub>2</sub>-udledninger på global skala vil blive nedbragt med et lavere omkostningsniveau. Hvis vi gør det rigtigt, kan vi skabe gode muligheder for at fange, lagre og anvende CO<sub>2</sub> (CCUS) og samtidig sælge dansk teknologi til udlandet og tiltrække højtuddannet arbejdskraft til Danmark.

Hvis Danmark skal have en position i førerfeltet, kræver det handling nu. Norge og Holland er allerede langt i forhold til fangst, anvendelse og transport af CO<sub>2</sub>, og det ser ud til, at der kan blive kamp om ressourcerne på internationalt plan. Klyngesamarbejdet vurderer, at der er mange grønne arbejdspladser og enorme klimamæssige såvel som strategiske fordele ved at være med i førerfeltet. Derfor opfordres til, at indsatsen intensiveres.

I Danmark har der de seneste år været stort fokus på CO<sub>2</sub>-fangst, -lagring og -anvendelse med politiske strategier, udarbejdelse af regulering og samarbejde mellem aktørerne om at skabe gode langsigtede

rammer. Men der har ikke været meget fokus på, hvordan CO<sub>2</sub>'en transporteres.

Der er således ikke klare rammer for de dele af CO<sub>2</sub>-værdikæden, der ligger mellem fangst i den ene ende af værdikæden og lagring/anvendelse i den anden ende af værdikæden. Derfor har regeringen nedsat seks regionale klyngesamarbejder, der skal se på, hvordan de manglende dele af værdikæden kan håndteres.

Den store udfordring er, at der er stor risiko for suboptimering eller overinvestering, hvis CO<sub>2</sub>-infrastruktur etableres for småt eller for stort til fremtidige behov. Klyngesamarbejdet om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur i hovedstadsområdet har undersøgt fordelene og ulemperne ved fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur i hovedstadsområdet.

### **Om CO<sub>2</sub>-fangst, -anvendelse og -lagring (CCUS)**

CO<sub>2</sub>-fangst er en kendt teknologi, der har været anvendt i årtier i andre industrier.

CCUS er en proces, hvor man fanger CO<sub>2</sub> fra punktkilder, transporterer den videre til et bestemmelsessted og til sidst enten anvender CO<sub>2</sub>'en til grønne brændstoffer eller lagrer den permanent i undergrunden. Hvis man bruger CO<sub>2</sub>'en til at lave grønne brændstoffer, reducerer man anvendelsen af fossile brændstoffer og hermed CO<sub>2</sub>-udledningen. Hvis man

lagrer CO<sub>2</sub>'en i undergrunden, reducerer man CO<sub>2</sub>-udledningen fra de store punktkilder, og for biogene CO<sub>2</sub>-kilder er der mulighed for at opnå negativ nettoemission af CO<sub>2</sub>. Det giver et positivt bidrag til at reducere CO<sub>2</sub>-indholdet i atmosfæren.

Der er klare fordele ved at etablere CO<sub>2</sub>-fangst i klynger. I klyngerne er der store mængder CO<sub>2</sub> at fange, og både CO<sub>2</sub> og overskudsvarme kan anvendes lokalt. Omkostningerne til transport og infrastruktur kan reduceres, hvis der etableres fælles infrastruktur frem for individuelle løsninger.

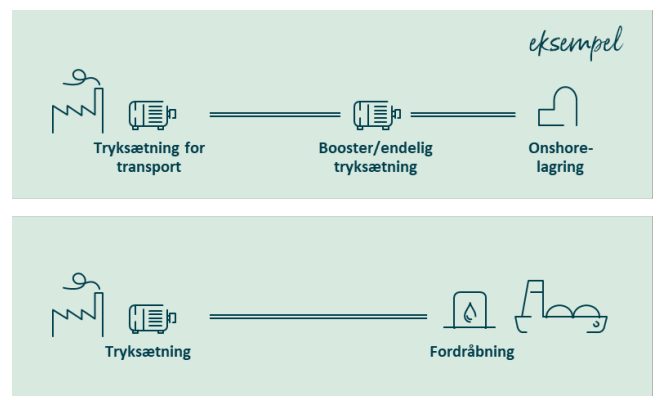


## Om CO<sub>2</sub>-infrastruktur

Omkostningerne til at transportere CO<sub>2</sub> er afhængige af, hvor langt CO<sub>2</sub>'en skal transporteres, hvilken transportteknologi der benyttes, og hvor store mængder CO<sub>2</sub> der transporteres. Derfor bliver omkostningerne til transport af CO<sub>2</sub> mindst, hvis der etableres CO<sub>2</sub>-lagring og PtX-fabrikker i nærområdet til de punktkilder, hvor der etableres fangstanlæg på Sjælland.

Fælles infrastruktur til at håndtere CO<sub>2</sub> indeholder adskillige led. Hvis CO<sub>2</sub> skal anvendes i en PtX-fabrik eller transporteres til et underjordisk lager på Sjælland,

vil CO<sub>2</sub>-infrastrukturen indeholde et anlæg, der kan tryksætte CO<sub>2</sub>'en, inden den transporteres i rør, samt selve rørledningerne, der kan transportere CO<sub>2</sub> i gasform, frem til det skal anvendes eller lagres. Hvis CO<sub>2</sub> skal transporteres med skib fra en havn (eller med lastbil), skal der desuden anvendes et fordråbningsanlæg, der kan gøre CO<sub>2</sub>'en flydende, et tankanlæg, der midlertidigt kan opbevare flydende CO<sub>2</sub>, samt havnefaciliteter, som kan overføre CO<sub>2</sub> fra lagertanke til et skib. Til sidst kræves lagringsinfrastruktur enten på land eller i Nordsøen, som er kompatibelt med skibe eller rørledninger, hvilket ikke berøres yderligere i nærværende rapport.



Figur 4: Komponenter og struktur i kollektive transportanlæg. (Den forenklede figur illustrerer placering af tryksætning og fordråbning).

## Om klyngesamarbejdet

Klyngesamarbejdet om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur i hovedstadsområdet blev sammen med de fem andre klyngesamarbejder etableret i foråret 2022 på baggrund af de politiske aftaler om en CCS-strategi og en PtX-strategi. C4 – Carbon Capture Cluster Copenhagen er udnævnt som formand for klyngesamarbejdet af klima-, energi- og forsyningsministeren.

Bag klyngesamarbejdet står 18 virksomheder, der til sammen repræsenterer alle dele af CO<sub>2</sub>-værdikæden, herunder fangst, transport, lagring og anvendelse. De 18 virksomheder er Aker Carbon Capture, ARC, ARGO, BIOFOS, Copenhagen Malmø Port, CTR, Evergas, Evida, Gas Storage Danmark, HOFOR, INEOS Energy, Norfors, Novo Nordisk Fonden, Novozymes, TORM, VEKS, Vestforbrænding og Ørsted.

Virksomhederne har siden sommeren 2022 indsamlet oplysninger om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur, som danner grundlag for anbefalingerne. Der er i den forbindelse blevet udarbejdet tekniske analyser af Rambøll og afholdt fire workshops med i alt over 100 deltagere fra kommuner, interesseorganisationer, statslige organisationer og en lang række virksomheder med interesse i CO<sub>2</sub>-transport. De 18 virksomheder

har i fællesskab finansieret alle omkostninger ved klyngesamarbejdet.

## Metode

Anbefalingerne er udarbejdet på baggrund af en række aktiviteter og kilder:

Der er gennemført fire *temaworkshops* med forskere, eksperter fra virksomheder, rådgivere, embedsmænd og repræsentanter for klyngesamarbejdet. Formålet med disse workshops har været at perspektivere en række spørgsmål i forbindelse med klyngerne og at kortlægge den nyeste viden inden for CCS-infrastruktur.

Analyserne bygger på en række *tekniske analyser* gennemført af Rambøll samt en analyse af de samfundsøkonomiske fordele ved etablering af klynger udført af Implement Economics. Formålet har især været at skabe fælles teknisk viden og en grundlæggende forståelse af omkostningerne ved sammenhængende CO<sub>2</sub>-infrastruktur. De tekniske analyser er udført på overordnet nøgletalsniveau og giver derfor et godt grundlag til at vurdere klyngefordele, men er ikke tilstrækkelige til at træffe investeringsbeslutninger og andre større beslutninger.

Der er gennemført en *spørgeskemaanalyse* hos relevante punktkilder. Denne kortlægning omfatter både produktionsforhold for punktkilderne og punktkildeejernes forventninger til at deltage i CCUS-aktiviteter.

*Styregruppen* for klyngesamarbejdet omfatter ledere fra alle de involverede virksomheder. Styregruppen har afholdt møder og workshops og har dybdegående behandlet strategiske, tekniske og økonomiske forhold ved etablering af fælles infrastruktur samt anbefalingerne til rammevilkår for CO<sub>2</sub>-klynger.

## Afgrænsning

Analyser og anbefalinger fokuserer på fælles infrastruktur anlæg til CO<sub>2</sub>-transport. Arbejdet er derfor afgrænset både opstrøms (fangst) og nedstrøms (udnyttelse og lagring).

Analysen omfatter transport fra fangststed til skib eller til onshore-slutlager, men ikke endelig tryksætning i forbindelse med lagring. Figur 5 viser, hvilke komponenter der er indeholdt i scenariebeskrivelserne.

Selv om skibe ikke betragtes som fælles infrastruktur, belyses de omkostningsfordele ved skibstransport, som muliggøres af at samle større mængder af CO<sub>2</sub>.

Der er ikke medtaget værdi af overskudsvarme fra kompressions- og fordråbningsanlæg og heller ikke anlægsomkostninger i forbindelse med tilslutning til fjernvarmeanlæg.

Alle omkostninger er vurderet konservativt og indeholder margin for uforudsete udgifter, som afspejler, at scenarierne ikke er projektmodnet, men blot skitseret. Prisoverslag medtager effekten af den nuværende forsyningssituation og inflation i det omfang, det er muligt.

### Analysen er afgrænset til fælles infrastruktur i en potentiel klynge



#### Ikke en del af analysen:

- Etablering og drift af fangstanlæg
- Bortledning af vand fra fangstprocessen



#### Indgår i analysen:

- Fordråbning ved fangststedet (hvor det er relevant, for eksempel ved lastbiltransport)
- Tryksætning op til 30 bar ved fangststeder i klyngen (importeret CO<sub>2</sub>, som leveres via skib eller transmissionsledning forudsættes tryksat til 30 bar ved modtagelse)
- Etablering og drift af rør imellem punktkilder og havn
- Etablering og drift af transmissionsledning til onshore-lager
- Midlertidige lagre ved udskibningshavn(e)
- Anlægsomkostninger i forbindelse med tilpasning af havne



#### Ikke en del af analysen:

- Skibstransport
- Anvendelse
- Tryksætning af CO<sub>2</sub> til slutlagring (hverken on- eller offshore)
- Endelig lagring

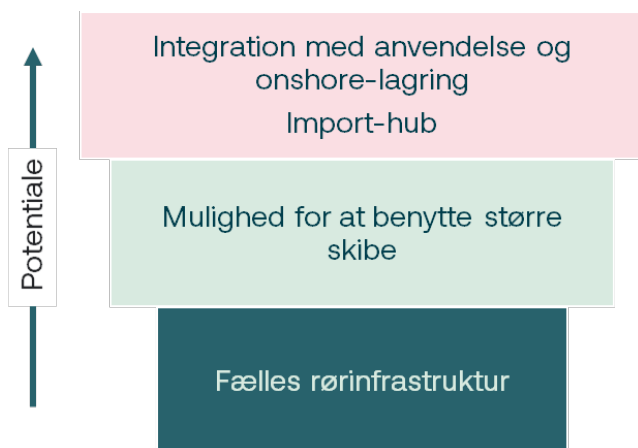
Figur 5: Afgrænsning af analysen.





### 3. Strategiske veje til klyngefordele

De udarbejdede tekniske analyser viser, at der er tre niveauer til at spare omkostninger til transport af CO<sub>2</sub>.



Figur 6: Fælles infrastruktur er fundamentet for udnyttelse af klyngefordele. Der er voksende fordele, hvis klyngen kan understøtte brug af større skibe til transport eller et kvalitativt spring til en importhub med integration af anvendelse og/eller onshore-lagring.

1. Hvis det er muligt at dele infrastruktur, øge anvendelsestiden samt mængderne af CO<sub>2</sub>, reduceres de samlede omkostninger. Fælles infrastruktur reducerer således omkostningerne til CO<sub>2</sub>-transport.
2. Hvis CO<sub>2</sub> skal udskibes til en anden destination med skib, reduceres omkostningerne til transport, hvis der kan anvendes større skibe. Det kræver samarbejde aktørerne imellem.

3. Hvis man kan undgå at transportere en del af CO<sub>2</sub>'en med skib, men i stedet anvende eller lagre CO<sub>2</sub> lokalt, spares omkostningerne til skibstransport.

I dette kapitel beskrives overordnet, hvordan det er muligt at opnå klyngefordele med fælles infrastruktur, større skibe og mulighederne for at undgå transport af CO<sub>2</sub> med skib. Herefter beskrives tre tilgange, som gennemgående anvendes i rapporten til at belyse mulighederne for at etablere fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur og opnå klyngefordele.

#### Fælles infrastruktur

Infrastruktur til CO<sub>2</sub>-transport består af alle eller nogle af følgende elementer: tryksætning, rensning for andre indholdsstoffer end CO<sub>2</sub>, tørring, transport i rør/lastbil/skib, fordråbning og mellemlager (se kapitel 6).

CO<sub>2</sub>, der skal transporteres med skib eller lastbil skal fordråbes og opbevares i flydende form i et tanklager, indtil det kan komme på et skib eller en lastbil. For at CO<sub>2</sub> kan fordråbes, skal de fleste andre indholdsstoffer fjernes fra CO<sub>2</sub>'en. Der er således behov for en rensning, inden CO<sub>2</sub> fordråbes. Anlægs- og driftsomkostninger til fordråbning er betydelige, hvorfor der kan høstes store fordele ved helt at undgå fordråbning.

CO<sub>2</sub>, der transporteres i rørinfrastruktur, kan transporteres i gasform. CO<sub>2</sub> kan også transporteres som væske og i superkritisk form. Det anbefales, at CO<sub>2</sub> i byer transporteres i gasform af sikkerhedsmæssige årsager. Desuden vurderes det, at totalomkostningerne

ved gasinfrastruktur er lavest, da yderligere tryksætning/fordråbning kun foretages, når det er nødvendigt og kan håndteres i fællesskab.

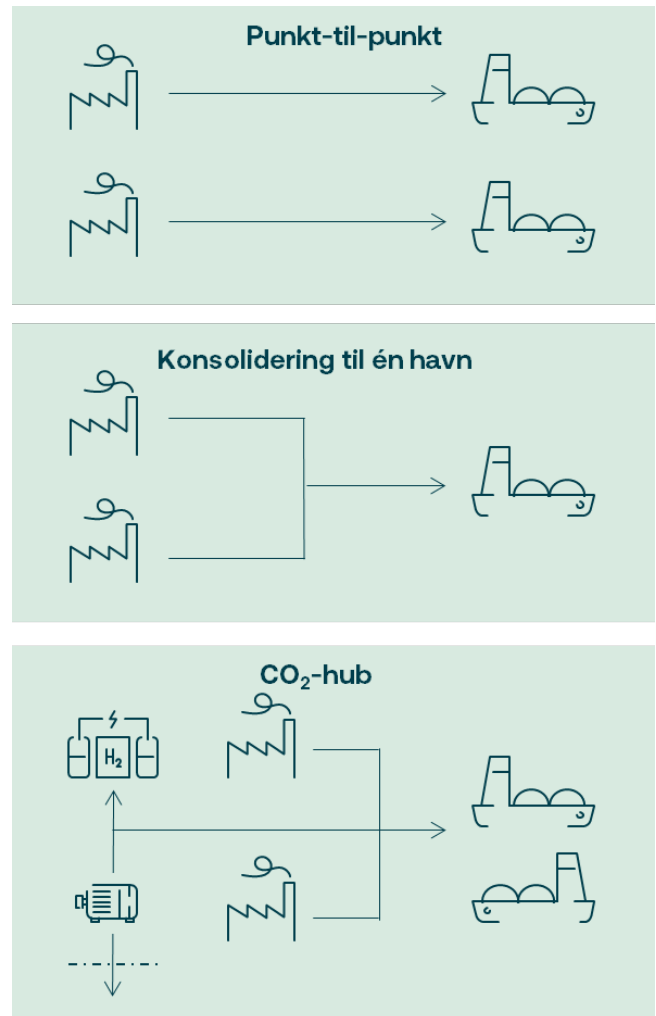
Når CO<sub>2</sub> transporteres i gasform, er det vigtigt først at affugte CO<sub>2</sub>'en samt at fjerne svovlbrinte, da disse elementer kan ødelægge gasrørene. Fordråbning og yderligere oprensning er ikke nødvendigt, når CO<sub>2</sub> transporteres i gasrør. Hvis CO<sub>2</sub> ikke skal transporteres i lastbil eller skib, er det således muligt at undgå fordråbning, midlertidig oplagring i tanke samt rensning for visse indholdsstoffer.

I figur 7 skitseres prototyper på tre værdikæder for transport af CO<sub>2</sub>, der kan anvendes til at skabe vidensgrundlag for forskellige handlemuligheder og anbefalinger.

I den første værdikæde vil det alene være muligt at dele havneinfrastruktur, herunder tankanlæg, hvis der indgås bilaterale aftaler aktørerne imellem. Ligeledes vil eventuel fælles rørinfrastruktur være baseret på bilaterale aftaler, hvilket vurderes kun at ville ske i særlige tilfælde. I den anden værdikæde vil det være muligt at deles om rørinfrastruktur, rensning, fordråbning og havneinfrastruktur, herunder tankanlæg. I den tredje værdikæde vil det være muligt at dele al infrastruktur.

Skalafordele tilsiger, at fælles og hermed større infrastruktur typisk er billigst. Delt infrastruktur giver, udover økonomiske fordele, også øget fleksibilitet. Således vil nedbrud hos en fangstoperatør ikke betyde, at en PtX-fabrik ikke kan få CO<sub>2</sub> til at producere grønne brændstoffer, eller at et skib ikke kan få CO<sub>2</sub> ombord. Eventuelle kendte u hensigtsmæssige sæsonvariationer fra de enkelte CO<sub>2</sub>-leverandører og -aftagere vil desuden kunne blive reduceret med fælles infrastruktur.

Etablering af fælles infrastruktur giver også ulemper for bl.a. fangstoperatøren. Udover øget kompleksitet og risiko for fejl dimensionering giver etablering af infrastruktur i klynger også øget risiko for forsinkelser og kan medvirke til at bremse initiativer ved fangstoperatører i den periode, hvor der ikke er endelig beslutning om etablering af infrastrukturen.



Figur 7: Tre prototyper af CO<sub>2</sub>-infrastruktur. I punkt-til-punkt-løsningen udvikles infrastruktur på projektbasis, og CO<sub>2</sub> transporteres til nærmeste havn. I konsolideringsscenariet spares omkostninger ved deling af infrastruktur og konsolidering af last i større skibe. I CO<sub>2</sub>-hubben fremmes udvikling af et sammenhængende CCUS-system.

### Fælles anlæg bør placeres så sent i værdikæden som muligt

Rambøll<sup>1</sup> har undersøgt, hvor de forskellige infrastructurelementer ved CO<sub>2</sub>-transport bedst placeres. Analyserne viser bl.a., at infrastruktur, der kan placeres på forskellige led i værdikæden, med fordel kan placeres så sent som muligt i værdikæden. Hermed kan de dimensioneres til den mængde CO<sub>2</sub>, der faktisk skal igennem infrastrukturen, og behovet for redundans

<sup>1</sup> Se bilag 2 og bilag 3

kan minimeres. Det reducerer omkostningerne jf. tabel 1.

Tabel 1: Omkostninger ved transport, rensning, fordråbning mv.

	Omkostninger
Lastbiltransport og individuel fordråbning	355 kr./ton
Ingen lastbiltransport, men individuel fordråbning (fangstanlæg placeret ved havn)	305 kr./ton
Rørtransport og fælles fordråbning	264 kr./ton

Følgende elementer bør ifølge Rambøll håndteres i fællesskab, hvilket reducerer de samlede omkostninger til CO<sub>2</sub>-transport:

- Rørinfrastruktur, som transporterer CO<sub>2</sub> i gasform.
- Oprensning for partikler, ilt mv.
- Fordråbning i forbindelse med udskibning.
- CO<sub>2</sub>-lager i tanke i forbindelse med udskibning.

Følgende skal ifølge analyserne håndteres individuelt af de relevante fangstaktører:

- Tørring.
- Rensning for svovlbrinter.
- Fordråbning i forbindelse med lastbiltransport.
- Tryksætning til ca. 30 barg.

## Større skibe

Enhedsomkostningen til skibstransport er afhængig af størrelsen på skibet, afstanden mellem udskibningshavn og modtagested, samt hvor meget skibet kan blive fyldt op hver gang (udnyttelsesprocent).

Rambøll har i analysen ”Tekniske og Økonomiske analyser – Konkretisering af scenarier” undersøgt omkostningerne til skibstransport fra København til Nordsøen afhængig af skibsstørrelse, jf. tabel 2.

Tabel 2: Omkostninger til skibstransport

Skibsstørrelse	7.500 m <sup>3</sup>	12.500 m <sup>3</sup>	22.500 m <sup>3</sup>
Transportomkostning DKK/ton	350 kr./ton	300 kr./ton	250 kr./ton
Kapacitet pr. skib	8.250 ton	13.750 ton	24.750 ton
Maksimal årlig transportkapacitet pr. skib*	0,7 mio. ton	1,1 mio. ton	1,7 mio. ton

\*) Transport fra København til Nordsøen, fx Greensand.

Hvis det er muligt at anvende og udnytte større skibe, vil der være et betydeligt besparelspotentiale. Andre vurderinger peger endog på endnu større potentialer. Nogle punktkilder vil have svært ved at udfylde de større skibsstørrelser alene og vil være nødt til at samarbejde med andre fangstaktører, såfremt de skal kunne anvende de større skibsstørrelser til CO<sub>2</sub>-transport. Da transport af CO<sub>2</sub> i starten forventes at

bygge på lange kontrakter, som modsvarer afskrivning af skibe og infrastruktur, vil det kræve fælles udbud eller fleksible kontrakter at udnytte større skibsstørrelser, medmindre risici dækkes af tredjepart.



Figur 8: Illustration af CO<sub>2</sub>-tankskib, Evergas

I den nuværende offentlige finansieringsform til CO<sub>2</sub>-fangstprojekter står fangstoperatøren for hele værdikæden. Hermed vil hvert projekt lave egne aftaler om skibstransport tilpasset den mængde CO<sub>2</sub>, der fanges. Da fangstprojekter konkurrerer mod hinanden om midler, og da der ikke er tidsmæssig sammenhæng mellem etableringen af fangstprojekter, vil det af konkurrencemæssige årsager ikke være muligt for dem at samarbejde om fælles skibstransport.

## CO<sub>2</sub> lagres eller anvendes på Sjælland

Selvom det er muligt at reducere de samlede omkostninger ved at øge skibsstørrelserne, udgør skibstransport en betydelig andel af de samlede omkostninger til CO<sub>2</sub>-transport.

Hvis skibstransport helt eller delvist kan undgås, vil det derfor reducere de samlede omkostninger betydeligt. Dels vil det fjerne omkostningerne til skibstransport (jf. tabel 2), og dels vil det reducere behovet for fordråbning, rensning og midlertidig lagring i tanke. CO<sub>2</sub> kan enten anvendes til produktion af grønne brændstoffer (PtX) eller lagres i undergrunden under Sjælland.

### Produktion af grønne brændstoffer

Ørsted A/S har offentliggjort projektet Green Fuels for Danmark, der forventer at anvende ca. 1 mio. ton CO<sub>2</sub> om året i 2035 til at producere grønne brændstoffer til fly og skibe. Også andre projekter er i støbeskeen i hovedstadsområdet. Samlet forventes, at 1-2 mio. ton CO<sub>2</sub> årligt vil blive anvendt til at producere grønne brændstoffer i hovedstadsområdet i 2035.

### Underjordisk CO<sub>2</sub>-lager, fx ved Havnsø

GEUS – Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelser er i efteråret 2022 ved at undersøge muligheden for at etablere et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø på Vestsjælland. Lageret forventes at have en kapacitet på ca. 300 mio. ton CO<sub>2</sub>, og GEUS vurderede i sommeren 2022, at der var en sandsynlighed på ca. 80 % for, at lageret teknisk kan etableres. Det er dog stadig usikkert, og hertil indgår ikke procesrisici samt politiske vurderinger af projektet.

Hvis der etableres et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø eller et andet sted på Sjælland med en kapacitet på flere hundrede millioner ton CO<sub>2</sub>, vil det reducere omkostningerne til CO<sub>2</sub>-lagring betydeligt. Det skyldes bl.a., at det er mere omkostningseffektivt at drive et lager fra land end fra vand, men især at transporten hertil er billigere, både for lokale CO<sub>2</sub>-udledere på Sjælland og for andre CO<sub>2</sub>-udledere i Østersøområdet.

Hvis der etableres et underjordisk lager ved Havnsø, har Rambøll vurderet, at der kan forventes at blive importeret ca. 2 mio. ton CO<sub>2</sub> om året fra Østersøregionen i 2030, stigende til over 20 mio. ton om året i 2050, såfremt der er kapacitet til at modtage disse mængder.<sup>2</sup> Hermed kan importeret CO<sub>2</sub> være med til

at finansiere CO<sub>2</sub>-infrastrukturen og reducere enhedsomkostningerne.

### Hvis CO<sub>2</sub> ikke behøver at blive udskibet, falder enhedsomkostningerne

Hvis der etableres betydelig produktion af grønne brændsler i hovedstadsområdet og/eller etableres et lokalt underjordisk CO<sub>2</sub>-lager, vil det være muligt at undgå skibstransport, reducere størrelsen af fordråbningsanlæg samt behovet for rensning og midlertidig opbevaring af CO<sub>2</sub>. Desuden vil det være muligt at importere CO<sub>2</sub>, hvis der etableres et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø, hvilket øger CO<sub>2</sub>-mængderne i infrastrukturen og reducerer enhedsomkostningerne pr. ton CO<sub>2</sub> til transport af CO<sub>2</sub>. Mindre anvendelse af fordråbning, rensning og mellemlagring vil reducere de gennemsnitlige omkostninger til at transportere CO<sub>2</sub>.

### Scenarier for opnåelse af klyngefordele

Som det fremgår af ovenstående, reduceres omkostningerne til transport af CO<sub>2</sub> ud fra følgende elementer:



<sup>2</sup> Bilag 1: Tekniske og Økonomiske analyser – International Oversigt.

1. Fælles infrastruktur og kun én havn kr./ton.
2. Større skibe (forudsætter fælles infrastruktur).
3. Lokal anvendelse af CO<sub>2</sub> (undgå skibstransport).
4. Import af CO<sub>2</sub>, så flere finansierer rørinfrastruktur.

Opnåelse af klyngefordele er således især betinget af, at CO<sub>2</sub> enten konsolideres i større skibe (pkt. 1 og 2), eller at det er muligt helt eller delvist at undgå skibstransport fra Sjælland (pkt. 3 og 4).

Klyngesamarbejdet for CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur i hovedstadsområdet vurderer, at det kun er muligt at opnå klyngefordelene jf. pkt. 3 og 4, hvis der etableres et lokalt CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø. Da det pt. er usikkert, om sådan et lager kan etableres, er det en præmis for opnåelse af disse effekter, at der først træffes beslutning om etablering af et sådant CO<sub>2</sub>-lager.

På den baggrund er der udarbejdet tre scenarier til at belyse mulighederne for at opnå klyngefordele:

- Punkt til punkt – ingen særlige klyngefordele.
- Konsolidering i én havn, jf. pkt. 1 og 2 ovenfor.
- Hovedstadsområdet som international CO<sub>2</sub>-hub, jf. pkt. 3 og 4 ovenfor.

### Scenarie 1: Punkt til punkt

I dette scenarie bygges videre på den nuværende politik, hvor CO<sub>2</sub>-fangst og lagring udbydes af regeringen et projekt ad gangen med fuldt ansvar for den samlede værdikæde.

CO<sub>2</sub>-infrastruktur vil blive etableret på privatretslige vilkår baseret på de enkelte fangstoperatørers ønsker<sup>3</sup>. Overkapacitet i infrastruktur etableres kun, hvis enkelte fangstoperatører forventer at kunne få en fordel ved at have ekstra kapacitet, fx for at videresælge kapaciteten til andre aktører. Alle fangstoperatører vil som udgangspunkt etablere egne fordråbningsanlæg.

I scenarie 1 vil de fangstoperatører, der ligger ved en havn, etablere egne mellemlagre og udskibningsfaciliteter, hvilket reducerer disse operatørers risici. Øvrige aktører vil som udgangspunkt anvende lastbil til at transportere CO<sub>2</sub> til udskibningsterminaler i de havne, som de laver en aftale med.

Hver fangstoperatør vil have styr på egne CO<sub>2</sub>-specifikationer og ikke være bundet af fælles regler for indholdsstoffer. De vil således kunne tilpasse CO<sub>2</sub>-indholdsstoffer efter endeligt bestemmelsessted for CO<sub>2</sub>.

### Scenarie 2: Konsolidering i én havn

I dette scenarie transporteres al CO<sub>2</sub> i fælles infrastruktur. Der etableres én fælles havn i hovedstadsområdet, fx ved Prøvestenen. Til fangstanlæggene er der etableret rørinfrastruktur med tilstrækkelig kapacitet og ved havnen etableres fælles fordråbningsanlæg, midlertidigt tankanlæg samt øvrige havnefaciliteter. Når der etableres nye fangstanlæg, kobles de på infrastrukturen og kapacitet til fordråbning mv. øges.

I scenarie 2 transporteres al CO<sub>2</sub> med skib<sup>4</sup>, da lageret ved Havnsø ikke forudsættes udviklet. I 2030 er der ligeledes ikke etableret carbonbaseret PtX-produktion i hovedstadsområdet. Når der i ca. 2035 etableres PtX-produktion, vil den blive koblet på infrastrukturen og aftage noget af CO<sub>2</sub>'en.

De samlede omkostninger til CO<sub>2</sub>-transport reduceres i forhold til scenarie 1, da:

- Omkostningerne til fordråbning og havnefaciliteter reduceres.
- CO<sub>2</sub> konsolideres i færre større skibe.
- Transport i lastbil undgås.

For at opnå klyngefordelene i scenarie 2 skal der etableres fælles rørledninger og et fælles udskibningssted med tilhørende fælles lagertanke. Det øger den organisatoriske og tekniske kompleksitet samt den samlede økonomiske risiko, særligt i forhold til potentiel over- eller underdimensionering af anlæg, og om det er praktisk og kontraktuelt muligt at konsolidere CO<sub>2</sub> i større skibe til den videre transport.

### Scenarie 3: Hovedstadsområdet som international CO<sub>2</sub>-hub

Hvis det er muligt at etablere CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø, vil det helt eller delvist være muligt at undgå, at CO<sub>2</sub> transporteres med skib fra hovedstadsområdet til CO<sub>2</sub>-lagre eller PtX-produktion andre steder. Til gengæld vil det være muligt at tiltrække CO<sub>2</sub> til hovedstadsområdet, da lagring på land er billigere end på vand.

<sup>3</sup> Privatretslige vilkår er i dette tilfælde en aftale mellem to parter, uanset om disse parter er kommunalt, statsligt eller privat ejede.

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>-lagring ved Stenlille anvendes eventuelt i nogle år af en enkelt fangstoperatør, indtil rammen på 2,5 mio. ton er opbrugt.

I dette scenarie transporteres al CO<sub>2</sub> i fælles infrastruktur. Til fangstanlæggene er der etableret rørinfrastruktur med tilstrækkelig kapacitet. Når der etableres nye fangstanlæg, kobles de på infrastrukturen.

Rambøll har vurderet, at det i ca. 2030 er muligt at tiltrække i størrelsesordenen 2 mio. ton CO<sub>2</sub> om året fra landene i Østersøområdet til et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø. Ved en havn i hovedstadsområdet vil der i scenarie 3 derfor være etableret faciliteter til både at modtage og udskibe CO<sub>2</sub>, herunder fælles fordråbningsanlæg, mellemlager samt øvrige havnefaciliteter. Fordråbningsanlæg dimensioneres dog betydeligt mindre end i scenarie 2, da kun en mindre del af CO<sub>2</sub>-en forventes udskibet fra hovedstadsområdet.

Med import af i størrelsesordenen 2 mio. ton CO<sub>2</sub> om året, falder enhedsomkostningerne til transport af CO<sub>2</sub>, da der er flere om at finansiere omkostningerne.

I forhold til scenarie 2 er kompleksiteten yderligere forøget. For at opnå klyngefordelene i scenarie 3 skal der ligesom i scenarie 2 etableres fælles rørledninger og et fælles udskibningssted med tilhørende fælles lagertanke. De økonomiske risici er dog mindre, da anlæggene og de fælles skibe skal anvendes mindre. Til gengæld er der i scenarie 3 øget risiko i forhold til, om der kan opnås de forventede CO<sub>2</sub>-mængder, da der kan forventes konkurrence om at tiltrække CO<sub>2</sub> til onshore- og offshore-lagre.

## CO<sub>2</sub>-transport på længere sigt

Internationalt pågår udarbejdelsen af flere forskellige CO<sub>2</sub>-infrastrukturprojekter med relevans for hovedstadens CO<sub>2</sub>-klynge. Således har Equinor (Norge), Fluxys (Belgien) og Wintershall Dea (Tyskland) igangsat et samarbejde om CO<sub>2</sub>-infrastruktur mellem Tyskland/Belgien og de norske lagringsfelter. Ligeledes påtænker TotalEnergies i Bifrost-projektet at anvende eksisterende og ny infrastruktur til at sammenkæde Tyskland og Danmark med et eventuelt kommende CO<sub>2</sub>-lager i Nordsøen.

I Danmark undersøges flere lagringsfelter, herunder Havnsø, Rødby og flere felter i Jylland. Desuden etableres CO<sub>2</sub>-lagring i Nordsøen, fx i forbindelse med Greensand-projektet ved Siri-feltet. Fælles infrastruktur på tværs af både onshore- og offshore-lagringsfelter vil øge fleksibiliteten i tilfælde af driftsstop og vedligeholdelse, øge konkurrencen om både lagring, fangst og anvendelse af CO<sub>2</sub> samt give mulighed for at bruge andre lagre, hvis et lokalt lager på Sjælland fyldes op.

På sigt vil tværgående national og international CO<sub>2</sub>-infrastruktur kunne forventes at blive etableret med et transmissionsnetværk, som binder de etablerede CO<sub>2</sub>-fangstklynger og -lagre sammen. Transmissionsnetværk vil formentlig blive etableret med højt tryk (over 100 bar).

## Opnåelse af klyngefordele

De tre scenarier udspænder mulighederne for etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur i hovedstadsområdet.

I det første scenarie vil der være risiko for suboptimering, og at infrastruktur underdimensioneres i forhold til fremtidige behov. Det vil gøre CO<sub>2</sub>-transport unødigt dyrt og gøre det dyrere for Danmark at opnå klimamålsætningerne. Regulering bør implementeres, så de samfundsøkonomisk bedste løsninger opnås.

Scenarie 2 og 3 er udarbejdet ud fra, at det er usikkert, om CO<sub>2</sub>-lageret ved Havnsø kan udvikles. Såfremt CO<sub>2</sub>-lagret ved Havnsø kan udvikles, bør der etableres fælles infrastruktur, der understøtter dette med tilstrækkelig kapacitet mellem København og Havnsø og på sigt videre mod punktkilderne ved Kalundborg. Hvis det ikke forventes muligt at udvikle CO<sub>2</sub>-lageret ved Havnsø, bør der i stedet fokuseres på fælles infrastruktur, som muliggør konsolidering i en havn i hovedstadsområdet, fx Prøvestenen, hvorfra CO<sub>2</sub> kan udskibes<sup>5</sup>.

Potentialer, klyngefordele mv. uddybes i kapitel 5 og 6.

Tabel 3: – Nøgletal for tre scenarier, 2030-2035

	Punkt-til-punkt	Konsolidering i én havn	CO <sub>2</sub> -hub
Transporteret CO <sub>2</sub> pr. år	1,5 mio. ton	2,5 mio. ton	5 mio. ton
Rørinfrastruktur	0 km	40 km	151 km
Fordråbningskapacitet	400 ton/time	510 ton/time	200 ton/time
Mellemlagerkapacitet	22.500 m <sup>3</sup>	33.750 m <sup>3</sup>	33.750 m <sup>3</sup>
Skibsstørrelse	7.500 m <sup>3</sup>	22.500 m <sup>3</sup>	22.500 m <sup>3</sup>
Transportomkostninger	655-705 kr./ton	Ca. 524 kr./ton	159-409 kr./ton

<sup>5</sup> Rambøll (Bilag 3) har undersøgt, hvor CO<sub>2</sub>-udskibning bedst placeres, og der opnås bedst effekt, hvis den anvendte havn placeres tæt på de største og første punktkilder, så omkostningerne til rørinfrastruktur kan minimeres.

## 4. Strategiske anbefalinger

Det er evidenter, at der er fordele ved at etablere fælles infrastruktur. Fordelene er størst, hvis:

- CO<sub>2</sub>-mængderne er store.
- Hvis der ikke er lang tid, fra infrastruktur etableres, til størstedelen af kapaciteten udnyttes (samtidig med etablering og brug).
- Fangstoperatørerne ikke bindes af lange individuelle kontrakter i forhold til skibstransport og lagring.

Hvis det er muligt at opnå disse elementer, vil man kunne udnytte infrastrukturen mest muligt, anvende store skibe til videre transport med skib samt sikre jævn tilgang af CO<sub>2</sub> til fabrikker, som producerer grønne brændstoffer.

### Potentialet skal høstes

Der er betydelige samfundsøkonomiske og private økonomiske skalafordele ved at etablere en samlet, sammenhængende infrastruktur i hovedstadsområdet. De scenariebaserede beregninger, som er gennemført i klyngesamarbejdet, peger på, at transportomkostningerne i en sammenhængende klynge kan reduceres med ca. 25 % fra fangstoperatør til et offshore-lager sammenlignet med enkeltprojekter.

Hvis der etableres et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø, er det muligt at reducere transportomkostningerne fra 705 kr./ton i en situation, hvor CO<sub>2</sub> transporteres med

lastbil og skib til et offshore-lager til 159 kr./ton, hvis CO<sub>2</sub>'en transporteres med rør til et onshore-lager ved Havnsø (75 % reduktion). Dette skyldes hovedsageligt, at skibs- og lastbiltransport undgås, herunder omkostninger til fordråbning.

Uanset om det er muligt at etablere lager ved Havnsø, vil der være betydelige omkostningsreduktioner ved at etablere fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur, samtidig med at det muliggør andre afledte effekter. Klyngesamarbejdet ønsker, at der etableres fælles rammer, så disse fordele kan høstes.

Etablering af fælles infrastruktur vil give adgang til arealer og ledningstracéer og er en forudsætning for en fuld udnyttelse af punktkildepotentialet, da der ellers er risiko for, at adgangen til tracéer blokeres af de tidligst etablerede projekter. Reel, gennemsigtig og lige adgang til den infrastruktur, der bliver etableret, er afgørende for, at man kan opnå de økonomiske og praktiske fordele, der er i fælles infrastruktur. En fælles infrastruktur har også den fordel, at den i højere grad kan sammentænkes med fælles brintinfrastruktur og dermed sikre en forsimplet adgang til forsyning af CO<sub>2</sub> og brint til fremtidens produktion af grønne brændstoffer, kemikalier, plastik mv.

Etableringen af fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur i en klynge vil have såvel stordrifts- som kvalitative fordele sammenlignet med isolerede værdikæder. Bl.a. vil en fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur kunne bidrage til mere sikker og kontinuerlig drift af fordråbningsanlæg længere nede i værdikæden, mere stabil PtX-produktion og bedre



udnyttelse af lager. Det skyldes, at de større CO<sub>2</sub>-mængder reducerer omkostningerne, modvirker sæsonvariation samt sikrer fortsat CO<sub>2</sub>-leverance selv hvis en leverandør har et nedbrud. Etableringen af en klynge (med store udledere fra start) vil således kunne bane vejen for, at CO<sub>2</sub>-fangst også bliver teknisk og økonomisk relevant for mindre punktkilder.

En væsentlig risiko ved en gradvis udvikling af CO<sub>2</sub>-infrastruktur er, at anlæggene underdimensioneres i forhold til fremtidige behov. Særligt for rørinfrastruktur gælder, at den marginale omkostning ved at øge rørdimensionen eller til at forberede røret til større tryk og dermed kapacitet er begrænset (se kapitel 6). Dette gælder i særdeleshed i byområder, hvor omkostningerne til etablering af tracé og reetablering af overflader er høje uafhængigt af rørdimension. Omkostningerne ved at overdimensionere infrastrukturen er marginale i forhold til omkostningerne ved at underdimensionere.

Det er muligt at etablere CO<sub>2</sub>-infrastrukturen trinvist med de overordnede målsætninger for øje. Således vil fordråbning, tryksætning og mellemlagrang til en vis grad kunne etableres i takt med behovet, mens rørinfrastruktur skal etableres med ekstra kapacitet de steder, hvor den etableres.

Midlertidig anvendelse af Stenlille-gaslager til lager af få millioner ton CO<sub>2</sub> medvirker til at udsætte beslutningen om fokus og sigtepunkt for

hovedstadsområdet CO<sub>2</sub>-klynge. Hermed kan beslutningen om konsolidering i større skibe og fælles skibstransport fra klyngen udsættes nogle år, hvorved flere fangstoperatører kan indgå i et samarbejde om eventuel fælles skibstransport.

Hvis potentialet ved at etablere fælles infrastruktur skal høstes, kræver det bl.a.:

1. At der sættes et sigtepunkt for klyngen.
2. At overkapacitet finansieres i perioden, indtil flere punktkilder leverer CO<sub>2</sub>.
3. At støtte til CCUS udformes, så den understøtter synergi mellem projekterne.
4. At fjernvarme og CCUS samtænkes.
5. At regulering og rammer kommer på plads hurtigt.

Nedenfor gennemgås de fem strategiske anbefalinger:

### 1. Der skal sættes et sigtepunkt for udvikling af klyngen

Der skal sættes et sigtepunkt for udvikling af klyngen og for omfanget af fælles løsninger i klyngen. Uden et sigtepunkt er der risiko for, at der bygges for småt eller usammenhængende, at individuelle projekter dimensioneres ud fra eget transportbehov, og at arealer og tracéer optages af anlæg, som ikke har kapacitet til at understøtte det samlede fangstpotentiale i hovedstadsområdet. På samme måde er der risiko for overinvestering, hvis der ikke er formuleret et sigtepunkt. En infrastrukturejer kan overdimensionere anlæg ud fra forventede mængder, som ikke understøttes af rammevilkår og støtte, og hvis potentiale derfor ikke er realiseret.

Med "sigtepunkt" menes en overordnet ambition og strategi for udviklingen af CO<sub>2</sub>-mængder, rammevilkår, ejerstrategier, støtte- og garantiordninger, som sikrer, at disse understøtter hinanden, og at markedsaktørerne kan tilrettelægge deres investeringer ud fra disse forventede rammer. Der menes ikke en planstyring af de enkelte aktørers investeringer eller beslutninger om ikke at investere i CCS. Sigtepunktet skal også afgøre behovet for risikodækning ved investering forud for efterspørgsel, som vurderes at være et afgørende virkemiddel til at opnå en sammenhængende infrastruktur, se anbefaling 2.

Det er muligt, at projekter eller infrastrukturejere vil dimensionere anlæg til at håndtere et større, fremtidigt transportbehov, men langt fra givet, at det vil ske uden et sigtepunkt og understøttende tiltag til at realisere sigtepunktet.

Analyserne, som er gennemført af klynge-samarbejdet, viser, at der er et stort udfaldsrum for størrelsen



af hovedstadsklyngen: Der kan opnå skalafordele ved en koordineret udbygning af infrastrukturen selv med få punktkilder, og skalafordelene fortsætter ved en udvidelse af klyngen til at omfatte Sjælland og Sydøstsvrige.

Potentialet for CO<sub>2</sub>-transport i hovedstadsområdet er på længere sigt over 20 millioner ton CO<sub>2</sub> pr. år, hvis der importeres CO<sub>2</sub> fra udlandet til lagring ved Havnsø. Da kapaciteten i Havnsø-lageret vurderes at udgøre i alt ca. 300 millioner ton CO<sub>2</sub>, vurderes det, at en dimensionering til 10 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år vil være tilstrækkelig<sup>6</sup>. Klyngesamarbejdet anbefaler følgende sigt punkter:

- Hvis et CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø eller en stor aftager af CO<sub>2</sub> til anvendelse forventes etableret i ca. 2030, anbefales, at der sigtes efter rørkapacitet svarende til den forventede transport, fx 10 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år, kombineret med ind- og udskibningsmulighed i hovedstadsområdet.
- Hvis det ikke forventes muligt at etablere CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø i ca. 2030, anbefales, at der sigtes på mindre rørinfrastruktur svarende til 3-5 mio. ton CO<sub>2</sub> om året kombineret med en fælles udskibningshavn i hovedstadsområdet, fx Prøvestenen.
- Anvendelse af CO<sub>2</sub> til PtX forventes at udgøre 1-2 mio. ton om året i hovedstadsområdet efter 2035.

Konkretisering af et sigt punkt skal konkretiseres i tæt dialog med markedsaktørerne i klyngen.

På længere sigt må det forventes, at CO<sub>2</sub>-klyngerne i Danmark og resten af Europa kan sammenkædes med fælles rørinfrastruktur. Infrastrukturen bør således kunne samtænkes med andre CO<sub>2</sub>-lagre og PtX-producenter. Det øger konkurrencen og reducerer potentielt omkostningerne til at lagre og anvende CO<sub>2</sub>.

## 2. Robust finansieringsmodel, der sikrer tilstrækkelig kapacitet og skalafordele i klyngerne

Klyngesamarbejdet om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur anbefaler, at der etableres infrastruktur, som har tilstrækkelig kapacitet til at opnå klyngefordelene samt på længere sigt skaber grundlag for et fælles marked for CO<sub>2</sub>. Hermed bliver det muligt for fangst-, lager- og PtX-aktørerne at indgå i et marked med køb og salg af CO<sub>2</sub>. Der er behov for at få fastsat, hvilke aktører der er ansvarlige for etablering af CO<sub>2</sub>-

infrastruktur, herunder rør, fordråbning, midlertidig lagring mv.

En af udfordringerne i forbindelse med udvikling af fælles infrastruktur er, at der er lille incitament til at investere "forud for efterspørgsel". De tilskudsdrivne CCS-projekter har i dag et stærkt incitament til at optimere deres værdikæde til deres eget projekt. Hvis private eller statsejede selskaber påtager sig opgaven med at bygge infrastruktur til disse projekter, vil det ske på markedsvilkår, igen med incitament til at begrænse omkostningerne til det nødvendige. Der kan dog opstå tilfælde, hvor aktørerne kan optimere deres businesscase ved at forberede infrastrukturen til kommende, sandsynlige brugere, men det kan ikke forventes at ske systematisk.

Klyngesamarbejdet anbefaler:

- At der gives koncession til et privat og/eller offentligt selskab, som skal etablere CO<sub>2</sub>-infrastruktur til gavn for fangst-, lager-, havne- og PtX-operatørerne i strategisk udvalgte områder af Danmark.
- At der etableres en statslig risikopulje, som kan finansiere midlertidig overkapacitet med henblik på senere tilbagebetaling.

Koncession til at etablere CO<sub>2</sub>-infrastruktur vil i nogen grad give incitament til at investere forud for efterspørgsel, men det er usikkert, i hvor høj grad det vil være tilfældet, da koncessionerede selskaber fortsat skal drives på markedsvilkår, der alt efter indretning af koncessionen kan medføre suboptimering i forhold til de samfundsøkonomiske og politiske interesser.

Som en del af støtten til udvikling af en CO<sub>2</sub>-økonomi anbefales derfor, at koncessionsaftalerne kombineres med en statslig risikopulje, som skal finansiere ekstra kapacitet i rør, fordråbning og mellemlagring, så klyngefordele og skalafordele understøttes i tråd med det fastsatte sigt punkt. Denne pulje kunne søges af infrastruktur-operatører og dække risikoen i forbindelse med de marginale merinvesteringer i infrastrukturprojekter, som er nødvendige for at forberede infrastrukturen til et større transportbehov og for at sikre fremtidige skalafordele. Risikopuljen kan delvist finansieres af midler, der allerede er afsat til CO<sub>2</sub>-fangstaktiviteter gennem CCUS-puljen, biogaspuljen og grøn skattereform, fx hvis afløbet bliver mindre end de afsatte beløb.

---

<sup>6</sup> Hermed vil der være plads til ca. 30 års CO<sub>2</sub>-fangst, hvorefter CO<sub>2</sub>-lagre skal forsegles og nedlægges.

### 3. Fremtidig støtte til CCUS skal understøtte synergi mellem projekterne

De nuværende tilskudsordninger til etablering af CCS-projekter er designet, så de understøtter enkeltprojekter. Dette skaber et incitament til at optimere lukkede værdikæder. De vil formentlig kun indeholde fælles infrastruktur, hvis det direkte kan forbedre businesscasen for det enkelte projekt uden at medføre væsentlig risiko for overinvestering. Denne støtteform kan være sund i en pionerfase, men bør ikke videreføres i en fase, hvor CCUS skal udvikles bredt. I stedet anbefales, at en del af fremtidige støtteordninger målrettes fælles infrastruktur (fx via en statslig risikopulje samt koncession til at anlægge og drive fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur), mens andre dele af støtten kan målrettes fangstaktiviteter, som ikke omfatter transportinfrastruktur.

Der er i dag et incitament for at reducere fossile udledninger gennem kvotesystemet. Med stigende CO<sub>2</sub>-kvotepriser øges dette incitament over tid.

For biogen CO<sub>2</sub> er der i dag ikke et incitament for at reducere udledningerne og at lagre eller genanvende CO<sub>2</sub>. Det skyldes, at biogen CO<sub>2</sub> ikke indgår i kvotesystemet og hermed giver biogent CO<sub>2</sub>, der fanges og lagres, ikke en tilsvarende indtægt for CO<sub>2</sub>-udlejerne. Det forventes ikke, at EU indfører et kvotesystem for biogen CO<sub>2</sub> frem mod 2030, og derfor er der behov for et nationalt system for at opnå negative emissioner.

Det anbefales ikke at diskriminere mellem biogene og fossile kilder til CO<sub>2</sub>-udledning. Da udledt CO<sub>2</sub> har samme klimateffekt uanset oprindelse, er det uhenigtsmæssigt, at der er forskellige incitamenter for fangst af den biogene og fossile CO<sub>2</sub>. Det er således uhenigtsmæssigt, at biogent CO<sub>2</sub> alene fanges, hvis der kan findes projektfinsiering, fx gennem statslige eller internationale puljer eller PtX-projekter. Rammevilkår for negative emissioner (lagring af biogen CO<sub>2</sub>) er uklare og skaber en betydelig usikkerhed ved udvikling af businesscases for CCS-projekter.

Det anbefales at skabe størst mulig sikkerhed om værdien af negative CO<sub>2</sub>-emissioner. Dette anbefales konkret udført ved, at der sættes en fast betaling for CO<sub>2</sub>-lagring fra biogene kilder. Det foreslås, at denne betaling lægger sig op ad omkostningerne ved at udlede fossil CO<sub>2</sub> (EU-kvotepriisen + tillæg fra Grøn skattereform) med fradrag af eventuelle andre støtteordninger<sup>7</sup>. Hermed opnås fair og lige konkurrence mellem CO<sub>2</sub>-udlejerne og åbenhed om priserne.

Med åbenhed om støttesystemet og gennemskuelig finansiering gennem lagring af biogen CO<sub>2</sub> får fangstoperatørerne mulighed for at koordinere CO<sub>2</sub>-fangstprojekter, så de kan anvende fælles skibstransport og sikre god økonomi i fælles infrastruktur grundet samtidighed i etableringen. Det er ikke muligt med nuværende regulering, hvor der tildeles midler til ét projekt ad gangen.

Støtte til CO<sub>2</sub>-værdikæderne bør fokusere på:

- Markedsgørelse af hele støttesystemet til CO<sub>2</sub>-fangst, så der ikke tildeles midler til enkelte fangstprojekter, men derimod sikres fokus på robuste fælles værdikæder.
- Nationale rammevilkår, så prisen for biogent CO<sub>2</sub> til lagring er kendt og nogenlunde modsvarende omkostningerne ved at udlede fossil CO<sub>2</sub>. Konkret foreslås en pris svarende til EU-kvotesystemet samt tillægget i Grøn skattereform.

Det frarådes, at værdien af negative emissioner i fremtiden skal afgøres gennem støttetildeling til enkeltprojekter eller omvendte auktioner, da tab ved suboptimering og de omfattende administrative omkostninger ikke står mål med de økonomiske gevinster. Desuden vil sådanne processer forsinke etableringen af CO<sub>2</sub>-fangst betydeligt.

### 4. Tænk udbygning af fjernvarmenet sammen med CO<sub>2</sub>-klynger. Det reducerer efterspørgsel efter naturgas og forbedrer økonomien i CCUS

Når man fanger og transporterer CO<sub>2</sub>, er varme et spilprodukt. Da hovedstadsområdet er tæt befolket, vil overskudsvarme fra CO<sub>2</sub>-fangst i princippet kunne anvendes til, at over 100.000 naturgasopvarmede parcelhuse kan skifte til CO<sub>2</sub>-neutral fjernvarme, hvilket reducerer CO<sub>2</sub>-udledningen med yderligere op til 350.000 ton pr. år. Samtidig vil salg af ekstra fjernvarme kunne medvirke til at finansiere CO<sub>2</sub>-fangst og reducere de samlede samfundsmæssige omkostninger til at nå klimamålene. Det kræver dog, at det sammenhængende fjernvarmenet i hovedstadsområdet udbygges simultant med CO<sub>2</sub>-fangstprojekterne, herunder fælles infrastruktur.

Det sammenhængende fjernvarmenet i hovedstadsområdet er med til at gøre hovedstadsområdet til et oplagt sted at fange CO<sub>2</sub> i Danmark. Det er derfor væsentligt, at udbygningen af fjernvarmenettene samtænkes med etablering af CO<sub>2</sub>-fangst i den grad,

<sup>7</sup> Der kan eventuelt sættes et loft over den CO<sub>2</sub>, der kan opnå denne betaling. Hermed sikres adgang til CO<sub>2</sub> til PtX uanset CO<sub>2</sub>-kvotepriisen.

det er muligt, og giver mening for CO<sub>2</sub>-fangstprojekterne.

Tryksætning og fordråbning af CO<sub>2</sub> er energiforbrugende processer og medfører et stort varmetab, som kan udnyttes til fjernvarmeproduktion. Placering af anlæg bør derfor ske, så der er mulighed for tilslutning til fjernvarmenettet. El til disse anlæg kan eventuelt fritages for elafgift mv., uanset om de fysisk placeres indenfor eller uden for energiselskabernes matrikler.

Det anbefales:

- At energikrævende elementer af CO<sub>2</sub>-fangst og -transport så vidt muligt placeres, hvor det er muligt at anvende overskudsvarme i fjernvarmenettet.
- At udbygning af fjernvarmenettet samtænkes med etablering af CO<sub>2</sub>-fangst og -infrastruktur, så der sikres efterspørgsel efter den ekstra fjernvarme.
- At el til drift af CO<sub>2</sub>-infrastruktur omfattes af samme afgiftsregler, uanset om infrastrukturen er placeret inden for eller uden for energiselskabernes matrikler, så der ikke suboptimeres i forhold til fysisk placering af fælles infrastruktur.

## 5. Vi har travlt: Regulering og rammer skal på plads nu

Projektudvikling hen imod endelig investeringsbeslutning kan ske snart for de første projekter i hovedstadsområdet. Allerede ved projektering af de første anlæg er der risiko for, at der opbygges infrastruktur, som ikke understøtter skalafordele.

Der er derfor behov for en hurtig afklaring af rammerne for udvikling af klynger, også selv om den fysiske etablering af sammenhængende CO<sub>2</sub>-infrastruktur først kan forventes i anden halvdel af 2020'erne.

Det anbefales derfor, at følgende forhold afklares inden udgangen af 2023 og gerne allerede inden sommeren:

- Strategi for udvikling af CCUS-klynger ("sigtepunkt").
- Afklaring af de statslige selskabers rolle i udviklingen af CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Strategi for anvendelse af statslige støtte midler til at fremme effektiv CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Etablering af statslig risikopulje til at understøtte fremtidsorienterede infrastruktur-investeringer.
- Samlet køreplan for udvikling af regulering og rammevilkår for CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

- Regulatoriske rammer for myndighedsgodkendelse af CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

- Afklaring sammen med vinderen af CCS-udbudet af, hvordan projektet kan indgå i kommende fælles infrastruktur.

En sen afklaring af en overordnet statslig strategi for klyngeudvikling medfører en høj risiko for, at infrastrukturen udvikles på projektbasis og fastlåser en struktur med begrænset mulighed for at udnytte klyngefordele.



Ejerskab til infrastruktur skal også afklares hurtigst muligt. Hvilken ejerskabsmodel der vælges, er dog ikke væsentlig, men det er væsentligt at holde for øje, at valg af sigtepunkt har betydning for valg af ejerskabsmodel, samt at ejerskabsmodellerne har indflydelse på håndtering af finansiering, CO<sub>2</sub>-specifikationer mv. Læs videre i kapitel 7 på side 43.



## 5. Stort potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst og CO<sub>2</sub>-import

Hovedstadsområdet har et stort fysisk potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst. Potentialet kan forøges yderligere, hvis det lykkes at skabe et attraktivt omkostningsniveau, som kan tiltrække import af CO<sub>2</sub> til lagring eller PtX.

Det samlede potentiale afhænger stærkt af, hvor meget omkostningerne til fangst, transport og lagring kan nedbringes, og hvor stor efterspørgsel der opstår efter CO<sub>2</sub> til PtX-formål.

For at få indsigt i potentialet i hovedstadsområdet og på Sjælland har klyngesamarbejdet gennemført en punktkildeanalyse, som kortlægger 14 punktkilders forventning til udviklingen i udledninger. Undersøgelsen viser, at CO<sub>2</sub>-emissionerne fra Sjælland i 2025 og 2030 udgør ca. 6,6 mio. ton<sup>8</sup> om året, hvoraf størstedelen udledes af punktkilder i hovedstadsområdet.

Tabel 4: Brutto-CO<sub>2</sub>-mængder fra punktkilder på Sjælland

Mio. ton pr. år	2025	2030	2050
Forventede CO <sub>2</sub> -emissioner (brutto)	6,2 - 6,6	5,7 - 6,4	Ca. 5*

*\*) Jf. slutrapport om fremtidens fjernvarmeforsyning i hovedstadsområdet, frem mod 2050 (FFH50)<sup>9</sup> kan der forventes reduceret udnyttelsestid for kraftvarmeverkerne i hovedstadsområdet. FFH50 viser et fald på 10-26 % i anvendelsen af brændsler i 2050 sammenlignet med 2030. Der er i ovenstående anvendt en konservativ tilgang med reduktion på 24 % i 2050 i forhold til 2030.*

Som det fremgår af tabel 4, forventes bruttoudledningerne fra punktkilder på Sjælland at falde på lang sigt.

Det skyldes, at en del af de danske kraftvarmeverker formentlig vil få en faldende benyttelsestid til fordel for el-baserede varmepumper, overskudsvarme og vindmøller.

Potentialet for fangst er mindre end den samlede udledning. Det skyldes især sæsonvariationer i udledningerne, men også usikkerhed om, hvilke kraftværksblokke der vil bestå på længere sigt. Det vil ikke være rentabelt at opbygge en værdikæde dimensioneret til spidslast-udledningen. Potentialet for rentabel fangst vurderes således at være ca. 3 mio. ton CO<sub>2</sub> om året i 2030 under forudsætning af gunstige rammevilkår. Der vurderes herudover at være potentiale for import af ca. 4,5 mio. ton CO<sub>2</sub> om året i 2030, som i princippet kan vokse til 20 mio. ton CO<sub>2</sub> om året i 2050 under forudsætning af, at der er et lokalt CO<sub>2</sub>-lager koblet på CO<sub>2</sub>-infrastrukturen, fx ved Havnsø.

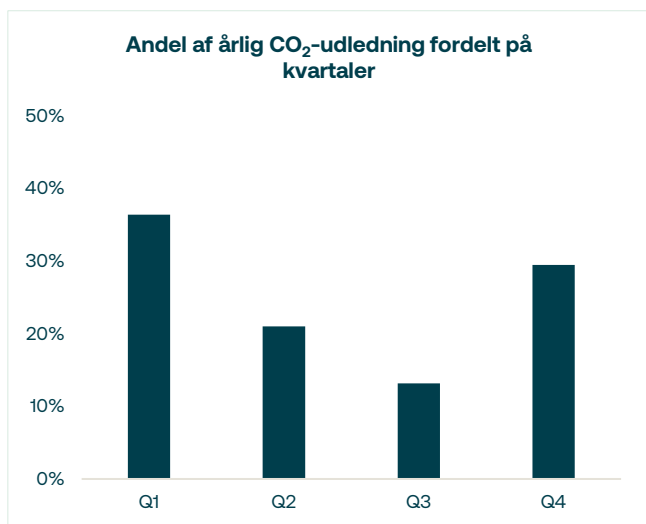
Import af CO<sub>2</sub> kan på sigt opveje reduktionen i lokal udledning, hvis det lykkes at skabe attraktive muligheder for at afsætte CO<sub>2</sub>. Dette kan være relevant, hvis der opstår efterspørgsel efter CO<sub>2</sub> til PtX-produktion, som forsynes fra en infrastruktur i hovedstadsområdet, hvis der udvikles onshore-lagring, som sænker prispunktet for lagring, eller en kombination af disse. Bemærk, at en række lande i Østersøregionen

<sup>8</sup> Se bilag 5: Spørgeskemaundersøgelse af CO<sub>2</sub>-punktkilder i hovedstadsområdet. Implement 2022.

<sup>9</sup> <https://varmeplanhovedstaden.dk/>.



ikke har gode geologiske muligheder for CO<sub>2</sub>-lagring.<sup>10</sup>



Figur 9: Kvartalsmæssige udsving i CO<sub>2</sub>-udledninger, vist som andel af samlede årlige emissioner.

I Skåne er der opstartet et klyngenetværk, Carbon Network South Sweden (CnetSS), der arbejder for at etablere fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur og understøtte etableringen af CO<sub>2</sub>-fangst og -transport. CO<sub>2</sub>-punktkilderne i Skåne forventer på baggrund af konkrete CO<sub>2</sub>-fangstprojekter at fange ca. 1,6 mio. ton CO<sub>2</sub>/år i 2030, hvoraf godt 1 mio. ton CO<sub>2</sub>/år forventes fanget i Malmø-Helsingborgområdet.

Tabel 5: Forventet potentiale for import af CO<sub>2</sub>, hvis der etableres et attraktivt prispoint.

Mio. ton pr. år	2025	2030	2050
Import fra Sverige	0	1	5
Import fra Tyskland	0	2	8
Import fra Finland	0,3	0,5	3
Import fra Polen	0	1	4
I alt	0,3	4,5	20

Som det fremgår, kan faldet i emissioner fra hovedstadsområdet mere end opvejes af, at mulighederne for import fra udlandet øges over tid, idet udenlandsk CO<sub>2</sub>-fangst især forventes implementeret efter 2030. Derfor kan etablering af en infrastruktur med udnyttelse af stordriftsfordele og udvikling af en ”hub” med kapacitetsudjævning og mulighed for gradvis overgang fra lagring til anvendelse have en høj udnyttelse af infrastrukturen igennem levetiden.

## Forventede CO<sub>2</sub>-mængder i 2030

Realisering af CO<sub>2</sub>-fangsprojekter vil afhænge af omkostningsudvikling og rammevilkår, og udnyttelsen af klyngefordele vil i sig selv bidrage til at gøre fangstprojekter mere rentable. Derudover vil etablering af et onshore-lager på Sjælland kunne bidrage til at sænke prisen på lagring, hvis der indfanges tilstrækkeligt store mængder af CO<sub>2</sub> til, at et sådant lager kan nå en rentabel størrelse.

På sigt vil efterspørgsel efter CO<sub>2</sub> til anvendelse også udgøre en drivkraft for udvikling af fangstprojekter,

<sup>10</sup> Bilag 1

men denne efterspørgsel forventes først at blive væsentlig efter 2030.

Som beskrevet i kapitel 3 har klyngesamarbejdet opstillet tre scenarier for at beskrive sammenhængen mellem udvikling af fælles infrastruktur og realisering af potentialet:

- Punkt-til-punkt.
- Konsolidering i én havn.
- Hovedstadsområdet som international CO<sub>2</sub>-hub.

Scenarierne anvendes dels som illustrationer af mulige fremtider, dels er de benyttet som udgangspunkt for analyse af stordriftsfordele ved håndtering af forskellige mængder af CO<sub>2</sub>.

Scenarierne kombinerer skalafordele og strukturelle fordele, hvor dele af infrastrukturen kan deles, frem for at de enkelte aktører etablerer egne anlæg – fx fordråbningsanlæg og havneanlæg. Der vil være en vekselvirkning mellem potentiale og infrastrukturudbygning, hvor større fangede mængder understøttes af mere sammenhængende infrastruktur, og udnyttelse af stordriftsfordele i infrastrukturen modsvarer bidrager til, at flere fangstprojekter bliver rentable. Der er ikke beregnet forudsætninger for rentabilitet af fangstprojekterne, og scenarierne skal belyse fordelene ved etablering af sammenhængende infrastruktur frem for ”punkt-til-punktløsninger” for de enkelte CCS-projekter.

De tre scenarier vil give mulighed for forskellige mængder af indfanget og transporteret<sup>11</sup> CO<sub>2</sub>:

**Punkt-til punkt.** CO<sub>2</sub>-infrastruktur vil blive optimeret til de enkelte projekter og således etableret uden ekstra kapacitet, der kan anvendes af andre fangstoperatører. Den samlede fangst og transport af CO<sub>2</sub> forventes her at udgøre i størrelsesordenen 1,5 mio. ton pr. år i 2030, og udviklingen herefter er usikker.

**Konsolidering i én havn.** CO<sub>2</sub> anvendes lokalt eller skibes væk til lagring andet sted. Den samlede fangst og transport af CO<sub>2</sub> forventes her at udgøre i størrelsesordenen 2,5 mio. ton pr. år i 2030 og herefter være uændret eller svagt faldende. Denne klynge vil samle punktkilderne i hovedstadsområdet i en sammenhængende infrastruktur og med ét udskibningssted.

**Hovedstadsområdet som international CO<sub>2</sub>-hub.** Den indfangede CO<sub>2</sub> lagres lokalt på Sjælland eller anvendes til PtX. Desuden importeres CO<sub>2</sub> fra Sverige

og Østersøområdet til anvendelse som PtX samt til lagret i Havnsø. Den samlede fangst, import og transport af CO<sub>2</sub> forventes her at udgøre i størrelsesordenen 5 mio. ton pr. år i 2030 og herefter stigende, indtil al etableret kapacitet udnyttes. En sådan klynge vil være udbredt ud over hovedstadsområdet for bl.a. at forbinde onshore-lager og/eller store PtX-fabrikker og kan også tænkes at forbinde andre store punktkilder, fx i Kalundborg.

Tabel 6: Forventede mængder CO<sub>2</sub> til transport i 2030 (mio. ton pr. år)

	Punkt-til-punkt (1,5 mio. ton)	Konsolidering i én havn (2,5 mio. ton)	CO <sub>2</sub> -hub (5 mio. ton)
<b>KILDER</b>			
Fangst fra hovedstadsområdet	1,5	2,0	2,0
Fangst fra resten af Sjælland	0,0	0,5	1,0
Import	0,0	0,0	2,0
<b>CO<sub>2</sub> i alt i 2030</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>5,0</b>
<b>DESTINATIONER</b>			
Lagret i Havnsø	0,0	0,0	4,0
Udskibes	1,5	2,5	1,0
PtX		Først efter 2030	
<b>CO<sub>2</sub> i alt i 2030</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>5,0</b>

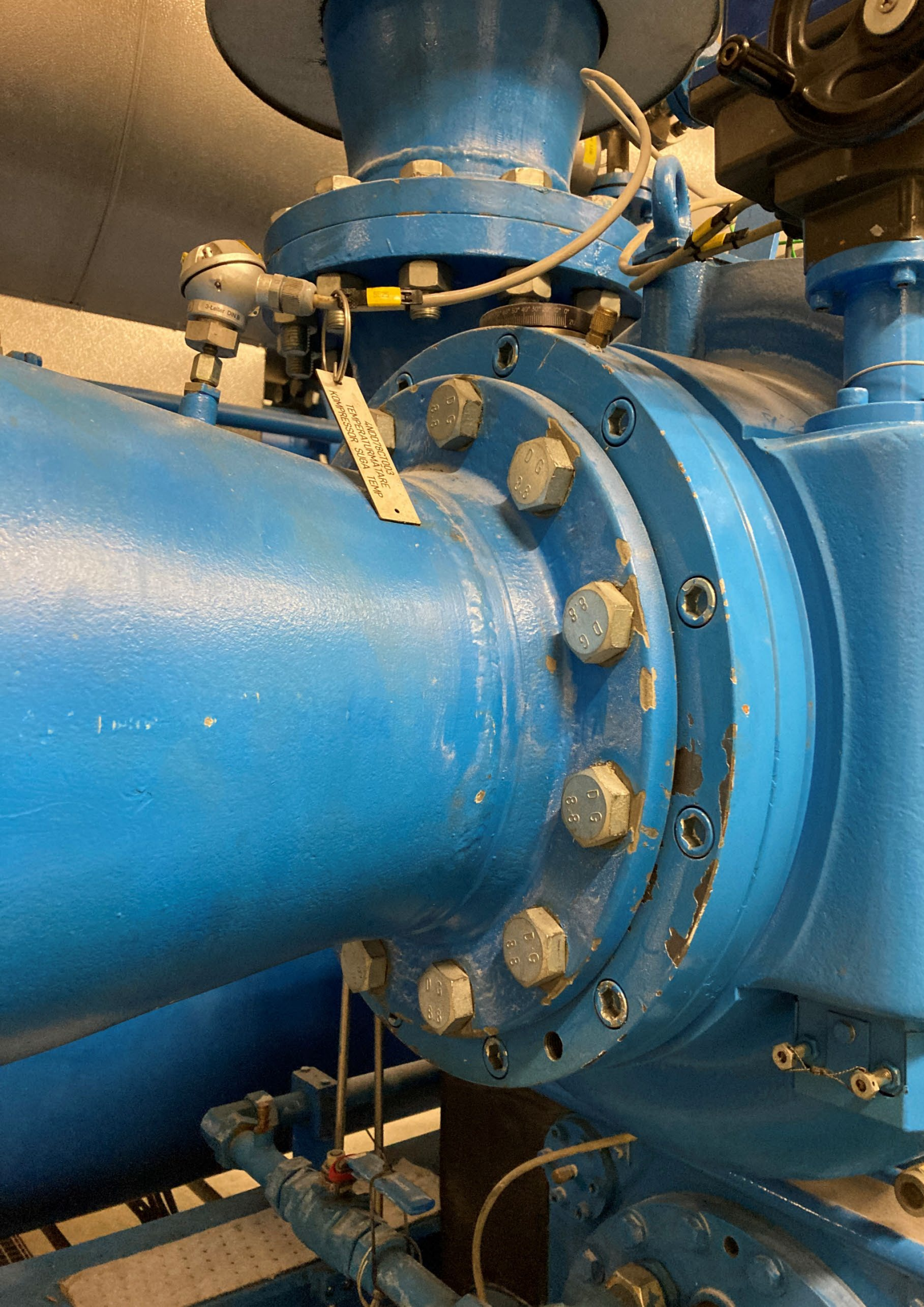
Som det fremgår af tabel 6, er CO<sub>2</sub>-mængderne størst i scenariet ’CO<sub>2</sub>-hub’. Det skyldes især, at der indgår import af 2 mio. ton CO<sub>2</sub> i scenariet.

## Forventede CO<sub>2</sub>-mængder efter 2030

Analysen ”Fremtidens fjernvarmeforsyning i hovedstadsområdet 2050” og punktkildeundersøgelsen peger på et fald i bruttoudledningen fra 2030 til 2050 på op til 25 % – en værdi, der er behæftet med stor usikkerhed på grund af omstillingen af det samlede energisystem. Faldet i fangstpotentialet vurderes dog at være mindre, da der må forventes en effektivisering af fangstprocessen, som vil gøre det rentabelt at udnytte en større del af bruttopotentialet. Et fald i nettopotentialet på 20 % svarer til et fald i CO<sub>2</sub>-fangsten på op til 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år i 2050 i de integrerede scenarier.

Hvis det lykkes at etablere attraktive vilkår for import, kan potentialet i princippet øges til over 20 mio. ton pr. år i 2050. Dette er dog under forudsætning af, at der etableres et CO<sub>2</sub>-lager på Sjælland, som kan optage disse mængder.

<sup>11</sup> Bilag 2



АНДИСОЛУТОН3  
ТЕМПЕРАТУРНА ТЕМП  
КОМПРЕССОР СИГА

3-Leiter DIN3

38

38

38

38

38

38



## 6. Transportkæden for håndtering af CO<sub>2</sub>

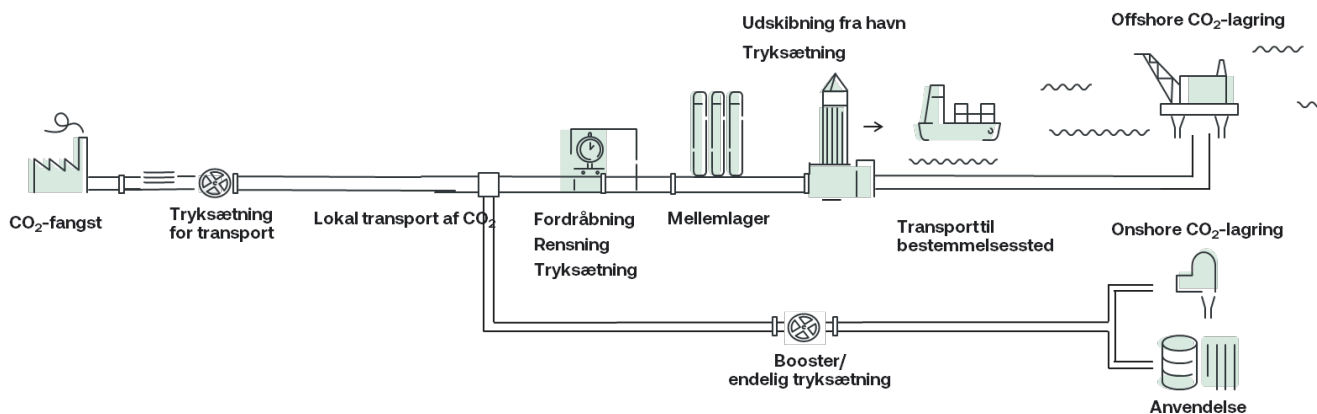
Infrastruktur til håndtering af CO<sub>2</sub> fra fangst til lagring eller anvendelse udgør en væsentlig del af den samlede omkostning i CCUS-værdikæden. Omkostningen afhænger af mængder, afstand samt mulig transportteknologi. Ved etablering af fælles infrastruktur kan omkostningerne reduceres.

Transport- og håndteringsomkostningen fra fangst til lodsnings fra skib er op til 705 DKK/ton CO<sub>2</sub> i de dyreste scenarier – en omkostning, der kan være prohibitiv for en større udbredelse af teknologien.

Værdikæden i de første CCS-projekter bygger på, at CO<sub>2</sub> fanges, renses og fordråbes og transporteres med skib til et offshore-lager, hvor den lagres permanent i undergrunden. Alternativt kan CO<sub>2</sub>'en transporteres til et lager på eller nær ved land, hvor den kan lagres i undergrunden uden behov for skibstransport og fordråbning, hvilket kan gøre den samlede transportomkostning lavere. Endelig kan CO<sub>2</sub>'en transporteres til et produktionsanlæg og kombineres med brint til brændstof eller andre kulbrinte produkter (PtX).

Der sker et spring i transportomkostninger afhængigt af, om CO<sub>2</sub>'en skal transporteres på skib eller på land.

### CO<sub>2</sub>-transportkæden



Offshore-lagerprojekter er i dag mere modne end onshore-lagring og PtX-projekter, men der foregår intens projektudvikling af alle tre teknologier. I analyserne bag nærværende anbefaling skelnes der mellem klyngeløsninger med og uden afsætningsmuligheder på land. Der er ikke medtaget løsninger kun baseret på lagring eller anvendelse på land.

## CO<sub>2</sub>-transportkæden

Transportkæden fra fangst af CO<sub>2</sub> til lagring via skib, lagring i onshore-lager eller udnyttelse i PtX-produktion kan opdeles i følgende led:

- Transport fra fangstanlægget.
- Fordråbning.
- Mellemlagring.
- Udskibning.

### Transport fra fangstanlægget

CO<sub>2</sub> produceres i gasform fra et fangstanlæg, fx et amin-anlæg. Transport fra fangstanlægget afhænger af slutanvendelsen, og af om der skal etableres fælles infrastruktur eller punkt-til-punkt-infrastruktur.

Det er muligt at transportere store mængder af CO<sub>2</sub> på lastbil. Fx planlægger Celsio (Oslos affaldsenergi-anlæg) at transportere i størrelsesordenen 500.000 ton CO<sub>2</sub>/år med lastbil. Lastbiltransport er dog dyrere end fast infrastruktur og vil øge trafikmængden. I Danmark vurderes lastbiltransport af CO<sub>2</sub> kun at være relevant som overgangsteknologi eller for små punktkilder, der ikke ligger i nærheden af rørført CO<sub>2</sub>. I alle andre situationer bør CO<sub>2</sub> transporteres i rør til en havn eller til endelig slutdestination. I hovedstadsområdet vurderes det, at CO<sub>2</sub> bør føres i rør i gasform under moderat tryk. Dette vil være økonomisk effektivt og medføre mindre sikkerhedsrisici og enklere miljøgodkendelser end højtryksledninger eller rørføring i væskeform.

Når CO<sub>2</sub> transporteres i gasform, skal CO<sub>2</sub>'en tryksættes, fx til 30 bar ved hver fangstoperater. Hvis CO<sub>2</sub> skal transporteres med lastbil fra fangstoperateren, skal CO<sub>2</sub>'en fordråbes til en væske, hvilket er betydeligt mere energikrævende.

Der er store skalafordele ved rørtransport. Dette gælder i særdeleshed i byområder, hvor gravearbejder i forbindelse med etablering og retablering af rørtracéet er en væsentlig del af den samlede omkostning. Hvis CO<sub>2</sub>'en skal lagres i et onshore-lager, kan den føres i rør til slutdestinationen.

CO<sub>2</sub>-rør vil fungere som et naturligt monopol, da initialomkostningerne til at etablere nye rør er høje, og det vil medføre betydelige samfundsøkonomiske tab

at etablere parallelle eller konkurrerende rørsystemer. Man kan således ikke forestille sig, at det giver mening at etablere to eller flere konkurrerende CO<sub>2</sub>-rørsystemer inden for en given geografi. Det sætter begrænsninger for, hvordan et marked for CO<sub>2</sub>-infrastruktur kan indrettes, og der er behov for at sikre fri og lige adgang til den infrastruktur, som etableres.

Rørtransport har en meget stærk *stiafhængighed*, hvilket vil sige, at tidlige beslutninger bliver styrende for den samlede struktur. Nedlægges der for små ledninger, vil det være omkostningsfuldt at øge kapaciteten på en strækning, mens omkostningerne til at nedlægge overstørrelse-rør er små. Ledningsnettet er også determinerende for den samlede struktur, fx kan etablering af en ledning afgøre, om der udskibes fra én eller to havne.

Ledningstracéer er en knap ressource i hovedstadsområdet. Hvis der etableres en CO<sub>2</sub>-ledning i et tracé, vil dette tracé i mange tilfælde være optaget. Hvis der opstår et behov for at transportere større mængde end ledningen er dimensioneret til, vil det i mange tilfælde være omkostningsfuldt eller umuligt at etablere mere kapacitet i tracéet.

De specifikationer, som fastlægges ved etablering af den første infrastruktur, vil have indflydelse på alle fremtidige brugere og bør optimeres ud fra det forventede, fremtidige økosystem.

Udvikling af en sammenhængende infrastruktur har betydelige omkostninger. Det anbefales derfor, at ejerskabet for udviklingen etableres hos en aktør, som har en forretningsmæssig interesse i udvikling af infrastrukturen, og som kan forrente projektudviklingen gennem senere indtægter fra infrastrukturen.

Kravene til ejerskab afhænger af ambitionen for klynge-samarbejdet. Infrastruktur til betjening af få (2-3) punktkilder kunne udvikles af havneoperatører eller lageroperatører. Fx kunne en havneoperatør etablere en rørledning for at udvikle en udskibningsløsning baseret på mere end én punktkilde og dermed udkonkurrere en suboptimal løsning med to udskibningssteder. Eller en lageroperatør kunne gennemføre udvikling af rørinfrastruktur til specifikke punktkilder for at kunne tilbyde en sammenhængende ydelse til sine kunder.

Udvikling af mere integreret infrastruktur vurderes at kræve en langsigtet og sammenhængende indsats og forventes derfor kun at kunne gennemføres af aktører med specifikt fokus på at udvikle infrastruktur-løsninger til klyngen. En aktiv infrastruktur-udvikler kunne være ét af de statslige selskaber (Evida eller Energinet), men kunne i princippet også være et privat udviklingsselskab eller et offentligt/privat partnerskab.

En aktiv ejer af infrastrukturen bør beskyttes af koncessionsrettigheder i et geografisk afgrænset område, sådan at investeringer i udvikling og udbygning af infrastruktur beskyttes imod, at der etableres parallelle løsninger, som vil udhule værdien af de afholdte investeringer. Modsat vil der være behov for regulering af koncessionshaveren, sådan at der sikres en effektiv varetagelse af udvikling, etablering og drift af infrastrukturen og adgang til infrastrukturen på ikke-diskriminerende vilkår for alle aktører.

### Fordråbning

Skal CO<sub>2</sub> transporteres på skib eller lastbil, skal den fordråbes ved lav temperatur. Fordråbningen er energikrævende og en væsentlig omkostning i den samlede værdikæde. Der er store skalafordele ved at samle fordråbningen i ét centralt anlæg frem for decentralt anlæg. Fordråbningen skaber desuden store mængder af overskudsvarme, som kan udnyttes til fjernvarme, hvis den sker i nærheden af et fjernvarmenet.

På grund af de store skalafordele er der også en stærk stiafhængighed for fordråbningsanlæg. Fordråbningsanlæg forventes ikke håndteret som et reguleret monopol. Skalafordelene kan høstes ved, at markedsaktørerne har en klar udviklingssti for CO<sub>2</sub>-økosystemet og kan optimere ud fra den forventede udvikling, evt. kombineret med statslig finansiering af midlertidig overkapacitet.

Med de gældende rammevilkår kan elforbruget ikke dækkes af egenproduktion medmindre fordråbningsanlægget placeres på samme matrikel som det elproducerende anlæg – hvis fordråbningen sker et andet sted, skal el til fordråbning transporteres på normale tarifvilkår. Dette kan medføre, at det er fordelagtigt for fangstoperatørerne at fordråbe på fangststedet og kan derfor blive bestemmende for strukturen af infrastrukturen. Denne suboptimering er samfundsmæssigt uønsket og bør modvirkes.

### Mellemlagring

Hvis CO<sub>2</sub>'en skal transporteres på skib til slutdestinationen, skal den oplagres i mellemlager, når der ikke er noget skib, der kan modtage den. Mellemlageret lagrer den fordråbede og nedkølede CO<sub>2</sub>. Mellemlageret dimensioneres ud fra skibets størrelse. Der er betydelige skalafordele i forbindelse med mellemlagring, da lageret bliver relativt mindre, hvis der er hurtigere omsætning af den lagrede CO<sub>2</sub>.

Mellemlageret er i høj grad skalerbart og kan udbygges ud fra efterspørgslen, men der skal afsættes plads til mellemlageret på forhånd.



### Udslibning

CO<sub>2</sub>'en påfyldes specialbyggede skibe, som transporterer den direkte til slutlageret eller til et mellemlager før injektion i undergrunden, afhængigt af lageroperatøren. Det forventes, at skibe de første år specialbygges til det enkelte formål og kan optimeres til havneforhold, mængder og afstande – lageroperatøren Northern Lights i Norge opererer fx med et standardkoncept for CO<sub>2</sub>-skibe, som er tilpasset egne forhold.

Design af skibe til de enkelte projekter skaber en meget stærk stiafhængighed og vil låse omkostningsstrukturen for de enkelte projekter. Da skibsstørrelsen samtidig har stor indflydelse på den samlede transportomkostning, ligger der et stort potentiale i at kunne optimere skibene til en klynge med stor CO<sub>2</sub>-omsætning, hvor produktionen kan akkumuleres og muliggøre brug af større skibe.

På samme måde, som det gælder for rørinfrastruktur, vil det eller de første projekter fastlægge en

specifikation, som bliver styrende for fremtidige brugere af fælles fordråbningsanlæg og mellemlagre. Der er risiko for, at specifikationerne fastlægges ud fra forsigtighedshensyn i de første projekter, som låser klyngen på et højt omkostningsniveau. Det er svært eller umuligt med den nuværende tilgang til statslig finansiering, hvor hvert projekt søger selvstændig finansiering i konkurrence med de øvrige CO<sub>2</sub>-fangstprojekter.

Skibstransport og offshore-lagring har ikke monopolkarakter og kan løses af markedet. Onshore-lagring har nogle monopolkarakteristika, medmindre der udvikles konkurrerende lagerprojekter i relevant afstand fra punktkilderne. Derfor kan det undersøges, om onshore-lagring reguleringsmæssigt skal håndteres som fælles infrastruktur.

## Overskudsvarme

Når der fanges og transporteres CO<sub>2</sub>, er varme et spildprodukt. Da Hovedstadsområdet er tæt befolket, vil overskudsvarme fra CO<sub>2</sub>-fangst og -transport i princippet kunne anvendes til at udvide det fælles og sammenhængende fjernvarmenet til over 100.000 naturgasopvarmede parcelhuse. Det reducerer CO<sub>2</sub>-udledningen med op til 350.000 ton pr. år ud over effekten fra at fange CO<sub>2</sub><sup>12</sup>. Det er med til at gøre hovedstadsområdet til et oplagt sted at fange CO<sub>2</sub> i Danmark. Det er derfor væsentligt, at udbygningen af fjernvarmenettene samtænkes med etablering af CO<sub>2</sub>-fangst i den grad, det er muligt og giver mening for CO<sub>2</sub>-fangstprojekterne.

## Udvikling af CCUS-økosystemet over tid

Den fælles infrastruktur bestemmes til dels af slutdestinationen. De løsninger, som er mest udviklet, er dels baseret på offshore-lagring med adskillige projekter i konkret modning og dels i udnyttelse af Stenlille-gaslager i en midlertidig periode<sup>13</sup>.

På længere sigt kan det være relevant at udvikle transport til et større onshore-lager og til PtX-fabrikker, som ikke har behov for fordråbning og mellemlagre. På Sjælland undersøger GEUS for tiden, om der kan lagres CO<sub>2</sub> i områderne ved Havnsø. Hvis

undersøgelserne giver positivt resultat, forventes det, at der vil kunne lagres omkring 300 millioner ton CO<sub>2</sub> i Havnsølageret fra 2028.

Flere aktører overvejer at etablere PtX-fabrikker på Sjælland. Fx har Ørsted udmeldt ønsket om at etablere en 1.300 MW PtX-fabrik i Avedøre, der forventes at aftage i størrelsesordenen en mio. ton CO<sub>2</sub> om året. Det forventes således, at der vil være et væsentligt aftag af CO<sub>2</sub> til PtX-produktion fra 2035, men størstedelen af den indfangede CO<sub>2</sub> vil formentlig stadig blive lagret.

I en situation med en bred udbredelse af CCUS vil et CO<sub>2</sub>-transportsystem skulle understøtte både CO<sub>2</sub>-lagring onshore, offshore samt PtX-produktion via transport, import og eksport af CO<sub>2</sub>.

## Krav til CO<sub>2</sub>-specifikationer

Den fangede, gasformige CO<sub>2</sub> indeholder fugt og urenheder, som ikke tåles af rørinfrastrukturen.

Rørinfrastrukturen er begrænset følsom over for urenheder, men tåler ikke fugt og svovl, som kan medføre fare for korrosion. Derfor skal CO<sub>2</sub>'en tørres og renses for svovlbrinter, før den indføres i rørinfrastrukturen, ligesom den skal tryksættes til rørets tryk. Kravene til renhed afhænger af stålqualiteten – højere stålqualitet kan reducere krav til rensning, men medfører højere anlægsomkostninger. Ved transport i gasform forventes, at det vil være infrastrukturejeren, der sætter kravene til renhed ud fra en samlet optimering af omkostninger til rør og brugernes omkostninger til rensning.

Transport og lagring af fordråbet CO<sub>2</sub> stiller høje krav til renhed, da selv mindre urenheder kan gøre CO<sub>2</sub>'en ustabil med betydelig risiko for skib og lager. Rensning af CO<sub>2</sub> til høj renhed er omkostningskrævende, og meget høje renhedskrav kan fordyre håndtering af CO<sub>2</sub>'en. Renhedskrav sættes af skibsrederen og af lageroperatøren.

Fastlæggelse af CO<sub>2</sub>-specifikationer er en væsentlig opgave i forbindelse med etablering af fælles infrastruktur. Specifikationer flytter omkostninger mellem aktørerne. Vilkår for adgang til rør vil fastlægge krav til tørhed og svovlindhold. Det vurderes ikke muligt at

<sup>12</sup> Ifølge Rambøll (Bilag 2) kan der produceres ca. 250 GWh fjernvarme fra fordråbning og kompression. Anvendes denne fjernvarme i stedet for naturgas, vil CO<sub>2</sub>-effekten være op til 50.000 ton. ARC vurderer, at CO<sub>2</sub>-fangst på 0,5 mio. ton pr. år vil kunne øge fjernvarmeproduktionen med i størrelsesordenen 250 GWh. Ved 3 mio. ton pr. år i hovedstadsområdet svarer det til ca. 1.500 GWh ekstra fjernvarmeproduktion fra fangst af CO<sub>2</sub>. I alt kan således forventes op til 1.750 GWh ekstra fjernvarmeproduktion fra fangst og transport af CO<sub>2</sub>, hvilket svarer til, at over 100.000 naturgaskunder kan fjernvarmeforsynes og hermed spare ca. 350.000 ton CO<sub>2</sub>-udledning fra naturgasfyr i hovedstadsområdet.

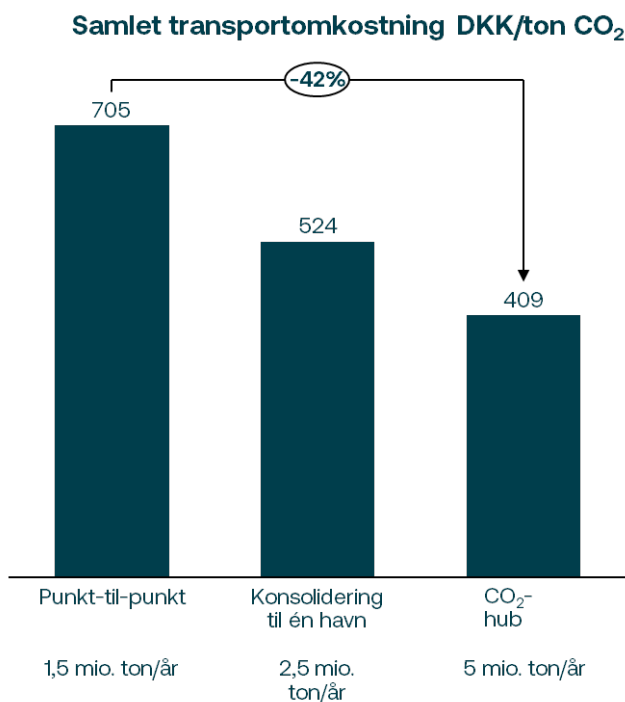
<sup>13</sup> Der er allerede beslutninger på vej, som muliggør, at der kan lagres i alt 2,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i Stenlille-gaslager fra 2025.

blande sig til renhed af CO<sub>2</sub> i rørinfrastruktur, da det også skal være muligt at anvende rørene, når en eller flere af aktørerne ikke producerer CO<sub>2</sub>. Rensning ved fordråbning kan tage udgangspunkt i den faktiske CO<sub>2</sub>-kvalitet, og således vil det i visse tilfælde være muligt at mindske behov for rensning. Levering af CO<sub>2</sub> i forskellig kvalitet skal komme til udtryk i forskellige tariffer, så omkostningerne står mål med omkostningerne til fælles oprensning.

Skalafordelene ved fordråbning og mellemlager kan kun udnyttes fuldt, hvis der kan etableres fælles krav til specifikationer for den flydende CO<sub>2</sub>. Hvis punktkilderne i klyngen betjenes af flere redere og/eller lageroperatører, vil det ofte være nødvendigt at overholde den strengeste specifikation for renhed, da CO<sub>2</sub>'en blandes. Det kan potentielt ødelægge skalafordelene, hvis én operatør stiller markant højere krav til renhed end andre, som driver omkostningerne for alle brugere op. I dette tilfælde kan etableres et mellemlager til hvert rederi.

## Omkostninger og klyngefordele

Skalafordele ved fælles infrastruktur er belyst ud fra de opstillede scenarier. Fordelene er derfor en kombination af stordriftsfordele for de enkelte elementer af infrastrukturen og strukturelle forskelle mellem scenarierne. Denne tilgang er valgt som den mest virkelighedstro belysning af klyngefordelene. Skalafordele knyttet til de enkelte dele af transportkæden belyses efterfølgende. Alle værdier bygger på Rambølls baggrundsanalyser.



Figur 10: Enhedsomkostninger ved forskellige scenarier.

Anlægsomkostningerne til etablering af en punkt-til-punktinfrastruktur til transport af 1,5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år er anslået til 2,5 mia. kr. Fælles infrastruktur til håndtering af 5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år, inklusive importfaciliteter og transport til onshore-lager og/eller onshore PtX-produktion er anslået til 5,5 mia. kr. Investeringsomkostningerne til de enkelte dele af infrastrukturen fremgår af tabel 7.

Tabel 7: Omkostninger til etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur (CAPEX, DKK).

	Punkt-til-punkt (1,5 mio. ton/år)	Konsolidering i én havn (2,5 mio. ton/år)	CO <sub>2</sub> -hub (5 mio. ton/år)
Rørinfrastruktur	0	800	2.620
Tryksætning ved fangst*	I alt 1.800	1.530	1.800
Fordråbning*		663	285
Mellemlager	550	675	675
Tilslutning til skib/havn	300	150	150
<b>CAPEX i alt</b>	<b>2.650</b>	<b>3.818</b>	<b>5.505</b>

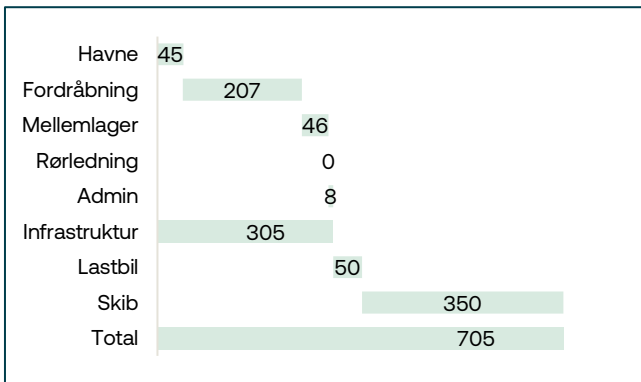
\*) i punkt-til-punktscenariet fordråbes CO<sub>2</sub> ved fangstoperatøren med henblik på videre transport i lastbil og/eller med skib. I de to øvrige scenarier tryksættes CO<sub>2</sub> til ca. 30 bar ved fangstoperatøren til transport i rør med henblik på efterfølgende fordråbning på havnen inden det transporteres videre med skib.

Tabel 8 sammenfatter omkostningsbesparelsen i infrastruktur og fordelen ved brug af større skibe, som muliggøres af, at større mængder af CO<sub>2</sub> udskibes. Større skibe kræver også, at samarbejde mellem fangstoperatører muliggøres og etableres.

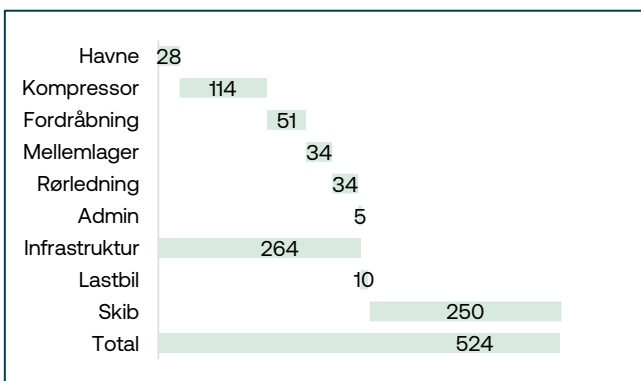
Tabel 8: Forventede infrastrukturomkostninger, DKK/ton CO<sub>2</sub>.

	Punkt-til-punkt	Konsolidering til én havn	CO <sub>2</sub> -hub
<b>Totalomkostninger, infrastruktur</b>	305	264	159
<b>Lastbiltransport</b>	(50)	(10)	
<b>Skibstransport</b>	350	250	250
<b>Totalomkostninger</b>	<b>655-705</b>	<b>514-524</b>	<b>159-409</b>

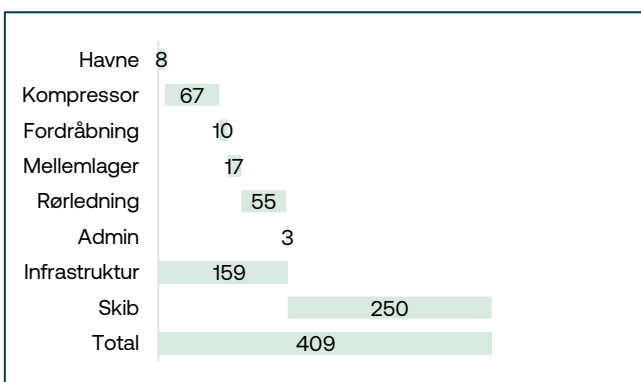
Skibstransport betragtes ikke som infrastruktur, men udgør stadig et effektiviseringspotentiale, som muliggøres af klyngen. Bemærk, at fordelen ved større skibe kan høstes, uden at operatørerne nødvendigvis benytter samme rederi og lageroperatør, men at der kræves koordinering af udnyttelsen af lageret for, at de større mængder af CO<sub>2</sub> kan omsættes til en større volumen pr. skib.



Figur 11: Enhedsomkostninger for punkt-til-punkt scenarie. Den samlede transportomkostning på 705 DKK/ton er ca. fordelt ligeligt mellem landtransport og skibstransport på mindre skibe. Individuelle enhedsomkostninger er afrundede.



Figur 12: Enhedsomkostninger for "konsolidering til  n havn"-scenariet. Transportomkostningerne er reduceret med ca. 25 % og er i høj grad drevet af, at konsolideringen muliggør større skibe. Individuelle enhedsomkostninger er afrundede.



Figur 13: Enhedsomkostninger for "CO<sub>2</sub>-hub"-scenariet. Omkostningerne er reduceret med yderligere 20 % i forhold til konsolideringsscenariet og er bl.a. drevet af, at en del CO<sub>2</sub> ikke fordråbes og transporteres på skib i scenariet. Individuelle enhedsomkostninger er afrundede.

Fangstoper t rer placeret n r en havn har mindre fordele af et klynge-samarbejde end oper t rer, som har behov for transport af CO<sub>2</sub> til havnen, men er vigtige for at realisere det samlede potentiale. I hovedstads-klyngen vil det være Ørsted, HOFOR, ARC og BIOFOS. Tabel 9 viser fordelene for de fire oper t rer ved et klynge-samarbejde. Som det fremgår, har de en vis, men ikke væsentlig, fordel af fælles infrastruktur, mens de kan have en betydelig fordel af at kunne udnytte større skibe. Der er ikke beregnet eventuelle fordele ved senere adgang til infrastruktur mod onshore-lager eller PtX-anlæg.

Tabel 9: Forventede infrastrukturuomkostninger for fangstoper t rer placeret ved havn (Ørsted, ARC, HOFOR og BIOFOS), DKK/ton CO<sub>2</sub>.

	Fangstoper�t�rer placeret ved havn, punkt-til-punkt	Fangstoper�t�rer placeret ved havn, konsolidering
<b>Totalomkostninger, infrastruktur</b>	305	*264
<b>Skibstransport</b>	350	250
<b>Totalomkostninger</b>	655	514

\*) Inkl. medfinansiering af fælles rørinfrastruktur. Tabel 9 er baseret på tabel 8, men uden omkostninger til lastbiltransport.

Nogle af de punktkilder, der ligger tæt ved en havn eller har adgang til egen havn, har betydelige CO<sub>2</sub>-mængder, der potentielt kan blive fanget. Hermed vil disse fangstoper t rer helt eller delvist selv kunne opnå nogle af skalafordele ved at indgå i et klynge-samarbejde, herunder fordråbning, rensning og transport med større skibsst relser. Det er derfor ikke sikkert, at de økonomiske fordele ved at indgå i en klynge vil modsvare øget risiko og kompleksitet. Hermed risikeres, at disse aktører ikke ønsker at indgå i en klynge, og at de samlede klyngefordele hermed mindskes for de øvrige deltagere i en CO<sub>2</sub>-klynge. Samlet set vil det være en uhenigtsmæssig suboptimering.

For at undgå uhenigtsmæssig suboptimering er det væsentligt, at der tages højde for denne problematik, når der udarbejdes tariffer for fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

## Samfundsøkonomiske fordele ved klynge-samarbejde

Der er udført en samfundsøkonomisk analyse af fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur i hovedstaden. Analysen viser, at der er betydelige samfundsøkonomiske fordele ved at etablere fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur, både på grund af lavere omkostninger til transport, men også grundet andre afledte effekter. Hovedresultaterne af den samfundsøkonomisk analyse fremgår af tabel 9 nedenfor.

Udgangspunktet for den samfundsøkonomiske analyse er, at det er en bunden opgave for samfundet at fange og lagre eller anvende al den CO<sub>2</sub> som er mulig, da alternativerne til at reducere CO<sub>2</sub>-mængden i atmosfæren vil være væsentligt dyrere, jf. figur 14<sup>14</sup>.

CCUS-løsninger er investeringstunge projekter. Det betyder, at når først man er gået i gang med at investere, så bliver den videre løsning meget stiafhængig. Sammen med ovenstående betragtning om, at CO<sub>2</sub> skal fanges for at undgå langt højere alternativomkostninger, er det derfor vigtigt, ud fra et samfundsøkonomisk synspunkt, at udbygningen af klynger styres hen imod at sikre effektiv opsamling af den CO<sub>2</sub>, der er til rådighed.

### Direkte reducerede omkostninger til transport af CO<sub>2</sub>

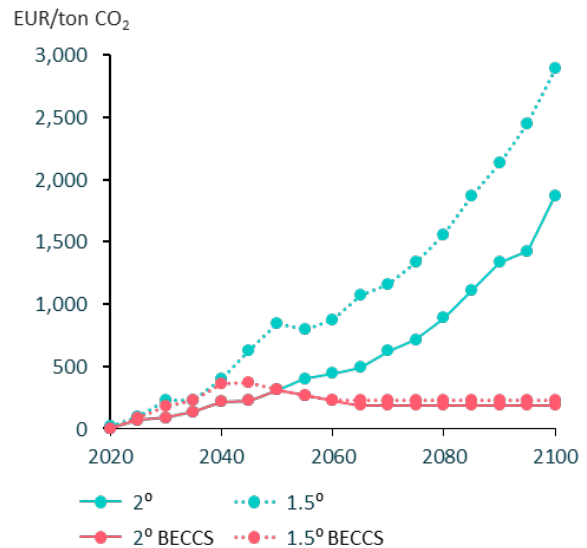
I scenariet 'Punkt-til-punkt' indfanges og lagres 1,5 mio. tons CO<sub>2</sub> med en enhedsomkostning på 709 kr. per ton. Det vurderes ikke at der opnås en samfundsøkonomisk besparelse.

Ved etablering af en klynge jf. de to andre scenarier, sænkes den marginale omkostning ved CO<sub>2</sub>-fangst. De skalafordele ved etablering af en klynge i hovedstadsområdet, som er beskrevet tidligere i dette kapitel, giver en umiddelbar, samfundsøkonomisk besparelse svarende til reduktionen i totalomkostningerne per ton ganget med den indfangede mængde.

I scenariet 'Konsolidering i én havn' indfanges og lagres 2,5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år og der opnås en reduktion af enhedsomkostningerne på 195 kr. per ton ved at

gå fra 709 til 514 kr. per ton. Det giver en total samfundsøkonomisk besparelse på 488 mio. kr.

CO<sub>2</sub>-skyggepris ved 1,5° og 2,0°-mål for menneskeskabt temperaturstigning



Figur 14: Omkostninger til reduktion af CO<sub>2</sub>-indhold i atmosfæren for biogen CCS sammenlignet med alternative tiltag.

I scenariet 'CO<sub>2</sub>-hub' indfanges i Danmark 3,0 mio. ton CO<sub>2</sub> per år og der opnås en reduktion af enhedsomkostningerne på 300 kr. per ton ved at gå fra 709 til 409 kr. per ton (sammenlignet med punkt-til-punkt-scenariet). Det giver en total samfundsøkonomisk besparelse på 900 mio. kr.

Tabel 10: Samfundsøkonomiske gevinster ved fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

Samfundsøkonomisk gevinst	Konsolidering til én havn	CO <sub>2</sub> -hub
CO <sub>2</sub> fanget, transporteret og lagret i Danmark	2,5 mio. ton årligt	3 mio. ton årligt
Reducerede omkostninger til transport af CO <sub>2</sub>	0,5 mia. kr. pr. år	0,9-1,7 mia. kr. pr. år
Øgede eksportindtægter	-	Ca. 318 mio. kr. pr. år (ved eksport af transport- og lagringsydelse)
Bidrag til det danske BNP (hele økonomien)	Ca. 1,5 mia. kr. pr. år	Ca. 1,8 mia. kr. pr. år
Jobskabelse (hele økonomien/direkte i CO <sub>2</sub> -værdikæden)	Ca. 2.500/1.000 fuldtidsjob	Ca. 3.000/1.200 fuldtidsjob
Udenlandske investeringer	Positiv effekt, ikke kvantificeret	
Reducerede omkostninger grundet konkurrence	Positiv effekt, ikke kvantificeret	
Øget lokalt vidensniveau, der fører til lavere omkostninger	Positiv effekt, ikke kvantificeret	

Note: Effekterne skal ses separat og kan ikke nødvendigvis summeres

<sup>14</sup> CO<sub>2</sub>-skyggeprisen for at nå 1,5°-målet vil være meget høj – op til ca. 1.000 EUR/ton i 2050 og op til 3.000 EUR/ton i 2100. Se for eksempel: MIT (2021): The economics of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) deployment in a 1.5°C or 2°C world // IEA (2021): Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. // Konjunkturinstitutet (2019): Årlig rapport: Miljø, økonomi och politik // UK BEIS (2021): Valuation of greenhouse gas emissions: for policy appraisal and evaluation.

Hvis de tre mio. tons CO<sub>2</sub> indfanget i Danmark ikke skal transporteres med skib, fordi der anvendes land-baseret lagring, falder enhedsomkostningen yderligere fra 409 til 159 kr. per ton. Dette øger den samfundsøkonomiske besparelse med 750 mio. kr. til i alt 1.650 mio. kr. i dette scenarie. Hertil kommer en samfundsøkonomisk effekt på i størrelsesordenen 318 mio. kr. pr år fra import af 2 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år.

Forskellen op til de meget høje skyggepriser i figur 14 indregnes ikke. Dette skyldes, at det vurderes at i en situation med så høje CO<sub>2</sub>-priser, så er alternativet til CO<sub>2</sub>-klyngen, at CCUS-projekterne vil blive realiseret på et senere tidspunkt (når CO<sub>2</sub>-prisen bliver høj nok til at det kan betale sig), hvor det ikke vil være muligt at høste gevinsterne fra en klynge pga. allerede foretagne investeringer.

### Øget BNP og jobskabelse

Når der investeres i CCS og tilføres midler til driften, understøtter det velstand, målt ved bruttonationalproduktet og beskæftigelse i Danmark. Et studie baseret på rimeligt sammenlignelige svenske forhold har estimeret disse effekter og finder, at indfangning, transport og lagring af 1 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år understøtter ca. 1.000 jobs og ca. 600 mio. kr. BNP<sup>15</sup>. Tallene inkluderer både de aktiviteter, der er en del af selve CCS-værdikæden (400 jobs og 250 mio. kr. i BNP), og den efterspørgsel, der går til de øvrige dele af økonomien. Effekterne er angivet som gennemsnit hen over anlægs- og driftsperioden (25 år). De faktiske effekter vil være størst i anlægsfasen og tilsvarende mindre i driftsfasen<sup>16</sup>.

Overføres resultaterne fra dette studie på scenarie 3 viser det at, at der understøttes 3.000 jobs og en BNP-effekt på 1,8 mia. kr.

### Afledte CO<sub>2</sub>-effekter

Ved etablering af fælles infrastruktur sænkes adgangsbARRIERER, idet det bliver enklere og sikrere for de enkelte punktkildeejere og PtX-producenter at udvikle projekter, når de har adgang til en etableret og reguleret værdikæde. Derfor vil en klynge føre til, at der realiseres flere projekter, og/eller at projekter

etableres hurtigere, hvorfor den samlede mængde af fanget CO<sub>2</sub> øges.

En række studier peger på, at brancheklynger er en stærk driver for udenlandske investeringer<sup>17</sup>. Øgede investeringer i Danmark vil i sig selv øge danske lønninger og BNP fordi arbejdskraften bliver mere produktiv. Derudover kan investeringerne i en CO<sub>2</sub>-klynge med store indfangede mængder på et lille geografisk område presse omkostningerne ved CCUS ned gennem skalagevinster og øget konkurrence hos underleverandører, fx af komponenter:

- Det skandinaviske landskab af underleverandører til CCUS-værdikæden er begrænset på nuværende tidspunkt.
- Større mængder indfanget CO<sub>2</sub> giver plads til flere underleverandører, der vil konkurrere på prisen.
- Større mængder tillader samtidig realisering af skalagevinster/specialisering hos underleverandørerne. Bemærk, at der i scenarierne kun er regnet på effekt af skalering af infrastruktur, men ikke effekt af øget konkurrence og teknologisk læring.

Ovenstående kan medføre, at endnu flere CCUS-projekter bliver rentable, og dermed yderligere vækste klyngen. Der vil være en stor samfundsøkonomisk værdi ved, at fælles infrastruktur muliggør flere rentable CO<sub>2</sub>-fangstprojekter i området. Dette vil medføre en større fangst af CO<sub>2</sub>, som vil reducere behovet for at gennemføre dyrere tiltag andre steder i samfundet.

Ud over fordelene ved fælles transportløsninger vil en CCS-klynge medføre reduktioner i omkostningerne ved øget og mere relevant læring vedr. fangsten af CO<sub>2</sub>:

- Læring fra ét projekt overføres i højere grad til andre projekter, fordi tætheden af projekter er høj.
- Flere projekter giver mere relevant læring baseret på danske forhold som fx integration med fjernvarmenettet
- Geografisk koncentration af projekter stimulerer innovationsmiljøer på universiteter og gennem cirkulation af ansatte mellem virksomheder.

<sup>15</sup> Effekterne er estimeret i en såkaldt input-output-model. Input-output-modellen bygger på OECD's Structural Analysis Database (STAN). Denne database indeholder svenske input-output-tabeller for 36 brancher sammen med data om beskæftigelse og lønindkomst. Modellen giver branchespecifikke multiplikatorer for beskæftigelse og BNP

<sup>16</sup> "The economic impact of BECCS in Sweden", Studie gennemført af Implement på opdrag af Stockholm Exergi, januar 2022.

<sup>17</sup> ESPON (2018), The World in Europe, global FDI flows towards Europe – Drivers of extra-European FDI towards Europe.



Hvis det ikke lykkes at tiltrække investeringer, opskelere underleverandørerne eller øge antallet af underleverandører, kan en CO<sub>2</sub>-klynge risikere at medvirke til at der i kortere eller længere tid opstår flaskehalse, som kan få priserne eller leveringstiderne til at stige midlertidigt.

Det ligger udenfor denne analyse at kvantificere den samfundsøkonomiske effekt af lagring og anvendelse af CO<sub>2</sub>.

## Etablering af fælles infrastruktur

I praksis vil etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur ske i etaper. Etableringen af de enkelte dele af infrastrukturen vil således først ske, når der er et behov. Omkostningerne til tryksætning er stort set 1:1-afhængig af CO<sub>2</sub>-mængderne, mens omkostninger til mellemlager og fordråbning er delvist afhængigt af mængderne, men også skibsstørrelse og kapacitet.

Rørinfrastruktur skal etableres til den fulde kapacitet, men skal kun etableres på de strækninger, hvor der er behov for at transportere CO<sub>2</sub>. Alt efter hvilke behov de første CO<sub>2</sub>-fangstoperatorer har, vil CO<sub>2</sub>-rørene således kun skulle etableres på de nødvendige delstrækninger.

Som det fremgår, er det scenarie, hvor der etableres lager ved Havnsø, betydeligt billigere end de scenarier, hvor CO<sub>2</sub> ikke vil blive lagret i Havnsø. Etablering af et lager ved Havnsø har således et væsentligt potentiale for at reducere omkostningerne til CO<sub>2</sub>-lagring, da omkostningerne til skibstransport helt eller delvist undgås, og import muliggøres. Ved etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur til onshore-lager eller PtX kombineret med import af CO<sub>2</sub> vil omkostningerne til transport af CO<sub>2</sub> kunne reduceres med op til 546 kr. pr ton i forhold til punkt-til-punkt-scenariet, hvor al CO<sub>2</sub> udskibes med skib.

## Behov for sigtepunkt

Ud fra arbejdet i klyngesamarbejdet for hovedstadsområdet vurderes det, at klyngefordele i meget begrænset omfang kan opstå spontant og markedsdrevet. Hvis der ikke sættes et mål for udvikling af fælles løsninger, og hvis dette mål ikke understøttes af incitamenter og regulering, vil infrastrukturen udvikle sig ad hoc-baseret på behov i de enkelte projekter.

Hvis klyngefordelene skal realiseres, er der derfor behov for, at der sættes et sigtepunkt for CO<sub>2</sub>-infrastrukturen, som vil være styrende for udviklingen. Et sigtepunkt bør omfatte:

1. Et mål for den samlede udvikling af CO<sub>2</sub>-infrastrukturen, der kan være styrende for,

hvornår fordelene ved fælles løsninger skal efterstræbes, og hvornår de skal fravælges på grund af risiko for overinvestering.

2. En strategi for, hvilke dele af infrastrukturen der skal reguleres eller fremmes gennem incitamenter eller andre virkemidler.
3. En plan for, hvilke virkemidler der skal udvikles for at fremme udvikling af fælles klyngefordele.

Flere projekter for CO<sub>2</sub>-fangst er allerede under udvikling i hovedstadsområdet, bl.a. drevet af udbuddet af den danske CCUS-pulje og den europæiske Innovation Fund. Høje krav til projekternes modenhed i disse udbud betyder, at løsninger for hele værdikæden fastlægges inden for ét til to år. Der er derfor behov for at sætte en ambition for udvikling af klynger og disses fælles infrastruktur på kort sigt. Klyngesamarbejdet for hovedstadsområdet anbefaler, at et pejlemærke og en køreplan for vedtagelse af virkemidler fastlægges i 2023 for at modgå suboptimale, projektdrevne løsninger. Det indbefatter bl.a., at følgende afklares i 2023:

- Strategi for udvikling af CCUS-klynger ("sigtepunkt").
- Afklaring af de statslige selskabers rolle i udvikling af CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Strategi for anvendelse af statslige støttemidler til at fremme effektiv CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Samlet køreplan for udvikling af regulering og rammevilkår for CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Regulatoriske rammer for myndighedsgodkendelse af CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Afklaring sammen med vinderen af CCS-udbuddet om, hvordan projektet kan indgå i kommende fælles infrastruktur.

Køreplanen bør sikre, at følgende udvikles i 2024 for at skabe en ramme for høst af klyngefordele:

- Overordnet koncessionsregulering og proces for ansøgning om koncession til at bygge CO<sub>2</sub>-infrastruktur.
- Statslige midler (udviklingsstøtte, garantier, anlægsstøtte eller andet) er afsat, og proces for tildeling er fastlagt.
- Rammelovgivning for regulering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur vedtaget (fx vilkår for adgang, tarifiering, fastsættelse af standarder, markedsregler).
- Udmøntning af rammelovgivning i bekendtgørelser.

Rørinfrastruktur har natur af at være et naturligt monopol. Hvis der sættes et højt sigtepunkt for udvikling af CO<sub>2</sub>-infrastruktur, vil der derfor være behov for at sikre en sammenhængende plan for udbygning af rørinfrastrukturen, som tager højde for fremtidig vækst i transportmængden og i antallet af tilsluttede punktkilder i en udbygget situation.

Der er også stordriftsfordele i forbindelse med etablering og drift af fordråbningsanlæg, midlertidige lagre og havneanlæg. Disse anlæg har dog ikke samme monopolkarakter som rørettet. Det formodes, at markedsaktørerne kan udvikle disse anlæg effektivt med økonomiske incitamenter, og uden at der indføres monopolregulering. Et sigtepunkt for udviklingen vil bidrage til, at anlæggene forberedes til et voksende transportbehov i fremtiden.

Tabel 11: Fordele og regulering ved de forskellige elementer i CO<sub>2</sub>-værdikæden.

	Skalafordel	Samtidig-hedsfordel	Regulering
<b>Rørinfrastruktur</b>	Stor	Stor	Områdemonopol
<b>Fordråbning</b>	Stor	Nogen	Incitamenter
<b>Mellemlager</b>	Lille	Stor	Incitamenter
<b>Havneanlæg</b>	Stor	Stor	Nej
<b>Skibe</b>	Stor	Nogen	Nej

## Risikopolje

Det er centralt for etableringen af CO<sub>2</sub>-infrastruktur, at der bygges tilstrækkeligt stort, når den første landbaserede CO<sub>2</sub>-infrastruktur skal etableres. Omkostningerne ved at overdimensionere CO<sub>2</sub>-rør står slet ikke mål med omkostningerne ved at skulle udvide CO<sub>2</sub>-infrastrukturen efterfølgende.

Med den nugældende regulering vil man kunne forvente, at CO<sub>2</sub>-infrastrukturen designs og etableres alene med en kapacitet, der skal imødekomme åbenlyse kortsigtede behov fra et kendt kundegrundlag.

Hvis CO<sub>2</sub>-infrastrukturen i stedet etableres med sigtepunktet for øje, vil nogen skulle tage en risiko og etablere CO<sub>2</sub>-infrastruktur forud for et potentielt behov. Denne risiko er svær at håndtere for de fleste investorer.

Hvis en statslig risikopolje stilles til rådighed, vil den imidlertid kunne bidrage til at reducere investorernes risiko ved merinvesteringen. Og efterhånden som kapaciteten i infrastrukturen i højere grad udnyttes, og risikoen for den initialt ikke-finansierede merinvestering reduceres, vil risikopoljen gradvist kunne frigives til nye infrastrukturprojekter.

En risikopolje vil hverken stille den første bruger af infrastruktur værre eller bedre, men dække risikoen ved at etablere ekstra kapacitet, som kan reducere omkostningerne, når de næste brugere kobles på.

En risikopolje vil delvist kunne finansieres af manglende afløb på CCUS-puljerne, herunder det pågående CCUS-udbud. Tilbagebetaling til puljen vil fx kunne foretages ved forlænget afskrivningstid eller ekstra finansiering fra de ekstra brugere, der efterfølgende vil anvende et givet stykke infrastruktur.

Behovet for finansiering til en risikopolje er ikke beregnet. Der er således behov for en nærmere økonomisk analyse af det forventede aftræk på en risikopolje. Baseret på de udarbejdede CAPEX-beregninger vil risikopoljen for hovedstaden maksimalt kunne få et aftræk på i størrelsesordenen 0,5-1 mia. kr. I praksis vil behovet formentlig være mindre, da det kun er de marginale meromkostninger, der vil skulle dækkes af en risikopolje, og da der kommer tilbageløb, når der kommer flere fangstprojekter.

## Delkonklusion

Fælles infrastruktur til transport af CO<sub>2</sub> reducerer enhedsomkostningerne. Særligt ved store mængder CO<sub>2</sub> reduceres omkostningerne betydeligt. De store mængder CO<sub>2</sub> opnås kun, hvis det er muligt at sænke den samlede omkostning i CO<sub>2</sub>-værdikæden. Hvis en klynge kan sænke omkostningen meget, eventuelt ved at inkludere adgang til onshore-lagring og/eller onshore PtX-produktion, kan det yderligere øge volumen ved at muliggøre import af CO<sub>2</sub> fra udlandet.

Den største udfordring ved etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur er, at ved investeringsbeslutningen kendes de fremtidige mængder ikke. Der skal således træffes investeringsbeslutning forud for beslutning om fangst, samtidig med at infrastrukturelementer såsom mellemlager og fordråbningsanlæg skal planlægges til udvidelse fra start. Det øger risikoen ved etablering af fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur, hvilket bl.a. kan modvirkes af en risikopolje.

## 7. Ejerskab og roller bør udformes, så de understøtter sigtepunktet

Etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur kræver, at ejerskab til infrastrukturen samt til selve CO<sub>2</sub>'en fastlægges. Placering af ejerskab skal understøtte, at de risici, der er forbundet med at etablere infrastruktur til fremtidige mængder, som ikke er kvantificeret i dag, håndteres bedst muligt. Der skal altså skabes mulighed for, at der investeres, før det fulde behov er kendt.

Fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur kan medvirke til, at der opstår et marked for CO<sub>2</sub> transporteret i et fælles rørsystem. Tilslutning af CO<sub>2</sub>-punktkilder og -aftagere til rørinfrastruktur vil således kunne medvirke til, at disse aktører kan konkurrere om køb og salg af CO<sub>2</sub>, der vil kunne anvendes til fx produktion af grønne brændstoffer og lagres i undergrunden.

For at der kan etableres fælles infrastruktur kræves klare definitioner for, hvad der transporteres og håndteres i infrastrukturen. Der er således behov for, at CO<sub>2</sub> specificeres, både i forhold til oprindelse (fossilt, biogent, atmosfærisk), mulighed for at undgå emissionen og i forhold til indholdsstoffer, og at krav til specifikationer og mængder håndhæves.

Fælles infrastruktur gør CO<sub>2</sub>-fangst mere robust, da der er et sted at aflevere sin CO<sub>2</sub>, uden at fangstoperatørerne skal være ansvarlige for hele værdikæden. Fælles infrastruktur gør dog også parterne mere skrøbelige, da eventuelle nedbrud umuliggør, at resten af værdikæden fungerer. Derfor er det centralt med et døgnbemandet beredskab, som hurtigt og effektivt skal kunne håndtere nedbrud, så driften med det samme kan genetableres. Et døgnberedskab er også nødvendigt for at afværge sikkerhedsrisici, hvis der sker større udslip i nærheden af beboelse.

Uanset sigtepunkt er det sandsynligt, at ejerskabet af infrastrukturen vil udvikle sig trinvis. Rammerne skal kunne håndtere hybride former, fx en situation, hvor de første investorer udbygger egne infrastrukturløsninger til deres projekter, som efterfølgende skal integreres med en fælles infrastruktur, eller hvor det viser sig hensigtsmæssigt for nogle operatører at etablere egne linjer til transport over korte afstande.

Da CO<sub>2</sub> i dag udledes til atmosfæren, vil det også i fremtiden være muligt at udlede CO<sub>2</sub>'en, hvis der sker uheld på infrastrukturen, og derfor vil CO<sub>2</sub>-infrastruktur ikke blive betragtet som kritisk for samfundet<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Atlantsammenslutningen definerer samfundskritisk infrastruktur som infrastruktur, der er så central for Danmark, at dets manglende evne eller ødelæggelse vil have en ødelæggende virkning på Danmarks folkesundhed og/eller sikkerhed.

Når der etableres store PtX-fabrikker, som producerer grønt brændstof til samfundet, bliver CO<sub>2</sub> mere kritisk. Infrastrukturen vil formentlig stadig ikke kunne betragtes som kritisk for opretholdelse af samfundet.

## Forskellige sigt punkter giver forskellige ejerskabsmodeller for CO<sub>2</sub>-rør

Klyngesamarbejdet har gennemført en workshop om ejerskabsmodeller for CO<sub>2</sub>-rør<sup>19</sup>. Workshoppen behandlede fordele og ulemper i de forskellige scenarier, der behandles i denne rapport.

Hovedkonklusionen fra workshoppen er, at ejerskab til rør-infrastruktur er afhængig af, hvor store mængder CO<sub>2</sub> der skal transporteres. Således peger resultaterne fra workshoppen på, at rørinfrastruktur kan ejes af fangstaktørerne, hvis den nuværende model for etablering og finansiering af CO<sub>2</sub>-fangst fortsættes, mens staten i større eller mindre grad skal have en rolle, hvis klyngefordelene skal høstes. (se tabel 12).

Uanset hvor store mængder CO<sub>2</sub> der skal transporteres i rør, og hvilken ejerskabsmodel der vil blive implementeret, vil staten have en betydelig rolle, enten til at regulere rammerne for rørinfrastruktur eller som ejer af infrastrukturen.

Da CO<sub>2</sub>-rør er et naturligt monopol, vil fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur kunne medvirke til, at der kan opstå et marked for CO<sub>2</sub> igennem et fælles rørsystem. Tilslutning af CO<sub>2</sub>-punktkilder og -aftagere til rørinfrastruktur vil således kunne medvirke til, at disse aktører kan konkurrere om køb og salg af CO<sub>2</sub>, der vil kunne anvendes til fx produktion af grønne brændstoffer og lagres i undergrunden.

Som det fremgår ovenfor, er der forskellige vurderinger af det mest egnede ejerskab, alt efter hvor integreret infrastruktur der sigtes efter. Det betyder også, at regulering af den naturlige monopol-aktivitet kan være forskellig alt efter sigt punkt. Der vil i de integrerede ejerskabsmodeller blive behov for statslig koncession til infrastrukturejere, som sætter rammerne for rørinfrastrukturen.

Uanset sigt punkt vil der i en statslig koncession for fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur skulle beskyttes mod dobbeltinvestering og sikres tredjepartsadgang. Desuden vil der være behov for regulering, som sikrer, at den samlede udvikling er effektiv og ikke-diskriminerende,

fx at struktur, designvalg, CO<sub>2</sub>-specifikationer med videre udvikles med henblik på samfundsøkonomisk optimal udvikling af CO<sub>2</sub>-transporten.

Tabel 12: Resultater fra workshop om ejerskab til CO<sub>2</sub>-rørinfrastruktur.

Punkt-til-punkt	Egnet ejerform: Infrastruktur ejet af aktørerne eller underleverandører i bilateralt kontraktforhold.
	<p><b>Vurdering</b> Etablering af peer-to-peerløsninger, eventuelt med delte elementer på ad hoc-basis etableres hurtigst og mest effektivt af aktørerne ud fra det konkrete behov. Infrastrukturen optimeres til de mængder, projekterne leverer.</p>
Konsolidering til én havn	<p><b>Egnet ejerform:</b> Statsligt kontrolleret ejerskab.</p> <p><b>Vurdering</b> Ejerskabet kan være et statsligt selskab eller et privat selskab på baggrund af en koncessionsaftale med staten eller et statsligt udbud. Mellemklager og fordråbning vil kunne etableres på baggrund af koncession fra havnen.</p>
CO <sub>2</sub> -hub	<p><b>Egnet ejerform:</b> Statslig, stor privat eller blandet ejerskab.</p> <p><b>Vurdering</b> De afgørende faktorer for etablering af en stor, sammenhængende CO<sub>2</sub>-hub er adgang til betydelig kapital med en vis risikovillighed (der skal bygges forud for efterspørgsel), samt at aktøren har størrelse og styrke til at udvikle og gennemføre etableringen hurtigt.</p> <p>Det vurderes, at et OPP eller rent statsligt selskab med tilstrækkeligt mandat kunne håndtere dette.</p>

Note: Workshoppen beskæftigede sig alene med rørinfrastruktur. Konsolidering til én havn er udarbejdet efter workshoppen, på baggrund af input på workshoppen.

Der skal uanset ejerskabsmodel etableres en tarifstruktur, som sikrer betaling for anvendelse af infrastrukturen. Hvis der sættes et middel til højt sigt punkt for udvikling af klynger, anbefales, at staten fastlægger en overordnet ramme for adgang til infrastrukturen. Tarifstrukturen skal tage højde for bl.a. volumen, renhed og afstand, men det kan også være relevant at tage højde for de enkelte fangstoperatørers alternativomkostninger, da det kan være samfundsøkonomisk og selskabsøkonomisk gavnligt for en CO<sub>2</sub>-klynge at medtage aktører, som i sig selv har lille eller ingen økonomisk interesse i at deltage i en CO<sub>2</sub>-klynge. Hvis dette ikke håndteres, risikeres, at nogle aktører fravælger fælles infrastruktur, hvilket øger prisen for de øvrige deltagere. Der er således behov for tarifiering, så ingen finansierer mere end alternativomkostningerne.

<sup>19</sup> Workshoppen er afrapporteret i Bilag 6: Ejerskab af infrastruktur i den storkøbenhavnske CO<sub>2</sub>-klynge.

## Ejerskabsmodeller for øvrig CO<sub>2</sub>-infrastruktur

Fordråbning, mellemlager og havneanlæg er anlæg, som med fordel kan deles for at reducere omkostningerne til transport af CO<sub>2</sub>. Som det fremgår af kapitel 4, reduceres omkostningerne ved etablering af fælles anlæg. Hertil kan lægges, at omkostningerne til transport med skib reduceres, hvis CO<sub>2</sub>'en konsolideres i færre større skibe. Ejerskab og drift af fordråbningsudstyr og mellemlager bør understøtte anvendelse af store skibe.

Fordråbning kan ske ved punktkilden eller ved mellemlager. Mellemlager placeres typisk i tilknytning til havneanlæg, hvorfra CO<sub>2</sub> kan ind- eller udskibes i flydende form på skib. Der er store skalafordele ved at samle fordråbning i et fælles anlæg. Imidlertid har disse anlæg ikke karakter af områdemonopoler.

Det vurderes, at markedsaktørerne kan etablere effektive, fælles anlæg, hvor der er væsentlige skalafordele og/eller samtidighedsfordele. Det kan fx ske gennem projektfællesskab mellem markedsaktørerne eller ved, at rørejer etablerer fordråbning som en del af sin ydelse til transportkunderne. Omkostningerne til øget fordråbningskapacitet vil kunne finansieres af en risikopulje, se side 42.

Der er identificeret tre ejerskabsformer til fordråbning og mellemlager:

- *Projektfællesskab mellem rederier og fangstoperatoer.* De fangstoperatoer og rederier, der benytter fordråbningsanlæg og mellemlager, vil i fællesskab have en interesse i at holde omkostningerne nede og etablere omkostningseffektiv infrastruktur. I et projektfællesskab skal der sikres ikke-diskriminerende tredjepartsadgang
- *Koncessionsaftale med staten, havnen eller rørejer.* En koncessionsaftale vil sikre, at driften håndteres på forretningsmæssige vilkår til gavn for brugerne. Koncessionsaftalen vil skulle indeholde krav om fri og ikke-diskriminerende adgang.
- *Rørejer.* Hvis rørejer ejer og driver mellemlager og fordråbningsanlæg sikres, at rammerne for rørinfrastrukturen, mellemlager og fordråbning fungerer sammen, og at eventuelle uklarheder løses effektivt. Adgang til infrastrukturen vil følge principperne for rørinfrastrukturen.

De tre ejerskabsformer vil alle kunne håndtere drift og anlæg af mellemlager og fordråbningsanlæg. Det er væsentligt uanset ejerskabsmodel, at der sikres fri og ikke-diskriminerende adgang til at anvende infrastrukturen.

Havneanlæg, herunder pier, lastearm og rør mellem pier og mellemlager, håndteres åbenlyst bedst af havnen efter samme model, som olie- og gasprodukter håndteres i dag.

## Håndtering af finansiering

Forskellige ejerskabsmodeller for CO<sub>2</sub>-infrastruktur giver forskellige muligheder for at finansiere infrastrukturen.

Private ejere har ofte mulighed for at finansiere store beløb, men har samtidig et højt forrentningskrav. Det betyder, at private ejere har en interesse i at udskyde investeringer til de er nødvendige og kan have en tendens til at bygge mere i etaper end statslige aktører. Desuden kan private ejere etablere projekter uden de offentlige krav til dokumentation, design/arkitektur og borgerinddragelse, hvilket kan reducere deres samlede anlægsomkostninger. CO<sub>2</sub>-infrastruktur med privat ejerskab vil formentlig skulle afskrives inden for en koncessionsperiode og vil derfor have store årlige kapitalomkostninger til afskrivning.

Staten kan have svært ved at finde finansiering til store investeringer, da de skal prioriteres på finansloven, men forrentningskravet er mindre for staten og statslige selskaber, hvilket reducerer behovet for at udskyde investeringer til, at de er nødvendige. Statslige projekter afskrives typisk over flere år end private projekter, da de etableres med lang tidshorizont for øje. Statslige projekter prioriterer derfor også arkitektur, kvalitet samt borgerinddragelse, hvilket kan være fordyrende elementer.

Offentlige private partnerskaber deler elementer fra de andre ejerformer. Den konkrete ansvarsfordeling aftales i partnerskabet, og det er derfor forskelligt, hvilke fordele og ulemper fra den private og offentlige side et givent partnerskab vil have. Typisk muliggøres billig privat finansiering af statsgaranti i et offentligt privat partnerskab og en afskrivningshorisont svarende til et offentligt anlægsarbejde, samtidig med at det er muligt at drage fordel af de private selskabers mulighed for at agere hurtigt og effektivt.

## CO<sub>2</sub>-specifikationer

CO<sub>2</sub> kan have fire tilstandsformer: fast (tøris), flydende, gas og superkritisk. Rambøll har vist, at rørført transport af CO<sub>2</sub> i tætbyggede områder af sikkerhedsmæssige årsager håndteres bedst i gasform.

Når CO<sub>2</sub> transporteres i gasform, skal vand og svovlbrinte fjernes fra CO<sub>2</sub>'en, inden den indføres i CO<sub>2</sub>-rørnettet. Det skyldes, at både vand og svovlbrinte vil ødelægge rørene, hvis de forefindes i den gas, der løber i rørene.

Når CO<sub>2</sub> skal fordråbes, så det kan opbevares i mellem-lager eller transporteres videre på skib eller i lastbil, skal alle andre indholdsstoffer end CO<sub>2</sub> også fjernes. Fjernes de andre indholdsstoffer ikke, er det ikke sikkert, at CO<sub>2</sub>'en fordråbes, og det kan hermed risikeres, at der skabes tøris, som vil ødelægge infrastrukturen.

CO<sub>2</sub> i rørinfrastruktur vil blande sig, og hermed vil CO<sub>2</sub>'en fra forskellige punktkilder blive blandet. Blandingsforholdet ændrer sig, alt efter hvilke CO<sub>2</sub>-kilder der er i drift og disse kilders brændsler. Det vil således være forskelligt, hvilke indholdsstoffer der er i den CO<sub>2</sub>, som løber i røret. Omkostningerne til at rense CO<sub>2</sub> i forbindelse med fordråbning vil være afhængig af indholdsstofferne i CO<sub>2</sub>'en. Der vil blive behov for en tarifstruktur, som sikrer, at de fangstoperører, der leverer den mest snavsede CO<sub>2</sub> til rørinfrastrukturen, også betaler for de meromkostninger, det medfører i rensningsprocessen.

---

## Krav til CO<sub>2</sub>

### Punkt-til-punkt

CO<sub>2</sub>-specifikationer håndteres på projektniveau med fokus på den endelige CO<sub>2</sub>-destination. Typisk vil ønsker fra rederiet være rammesættende for koncentrationen af andre indholdsstoffer end CO<sub>2</sub>.

Der vil kun i begrænset omfang være behov for fælles CO<sub>2</sub>-specifikationer, da hvert projekt håndteres for sig.

### Konsolidering til én havn

CO<sub>2</sub> og svovlbrinte fjernes fra CO<sub>2</sub> af fangstoperatoren. Øvrige indholdsstoffer fjernes i fælles renseanlæg i forbindelse med fordråbning

Der vil kun være behov for CO<sub>2</sub>-specifikationer for svovlbrinte og vand. Øvrige indholdsstoffer håndteres gennem tariffer, som finansierer rensning af CO<sub>2</sub>.

### CO<sub>2</sub>-hub

Fugt og svovlbrinte fjernes fra CO<sub>2</sub> af fangstoperatoren, og der vil således være behov for CO<sub>2</sub>-specifikationer for svovlbrinte og vand. Desuden vil enkelte andre indholdsstoffer eventuelt skulle fjernes af fangst- eller lageroperatoren, så det modsvarer krav fra lageret. Alternativt kan der foretages yderligere oprensning ved lageret.

Øvrige indholdsstoffer håndteres gennem tariffer, som finansierer rensning af den CO<sub>2</sub>, som udskibes fra havnen.

---

CO<sub>2</sub>, der skal leveres til et lager, skal overholde specifikationer, der er forskellige fra lager til lager. Det skyldes, at brønden og undergrunden skal kunne tage imod CO<sub>2</sub>'en uden at tage skade. Såfremt der er direkte adgang fra CO<sub>2</sub>-rørnettet til et lager ved Havnsø, vil kravene fra Havnsø CO<sub>2</sub>-lager sætte rammerne for specifikationerne for den CO<sub>2</sub>, der kan tillades i CO<sub>2</sub>-røret. Det kan enten ske ved, at der stilles kvalitetskrav til den CO<sub>2</sub>, fangstoperatoren leverer til rørnettet, eller ved, at der etableres fælles rensning af CO<sub>2</sub>'en i forbindelse med, at CO<sub>2</sub>'en overdrages til CO<sub>2</sub>-lageret. Hvilken løsning der er bedst og billigst, kommer an på kravene fra CO<sub>2</sub>-lageret, samt hvilken

kvalitet de forskellige fangstoperører kan levere CO<sub>2</sub> i.

Der findes i dag ikke en fælles international standard for CO<sub>2</sub> i rørinfrastruktur, som man kan anvende til at definere CO<sub>2</sub>-kvaliteten. Dansk Standard arbejder dog i regi af International Standard Organization (ISO) på, at der etableres rammer for CO<sub>2</sub>-standarder. Såfremt der etableres en fælles international standard for CO<sub>2</sub>-kvalitet, kan det overvejes, om man med fordel kan anvende denne i allerede etableret CO<sub>2</sub>-infrastruktur, eller om det alene skal anvendes fremadrettet. De foreslåede rammer for CO<sub>2</sub>-specifikationer fremgår af nedenstående tekstboks.

## Håndtering af CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> håndteres i dag gennem diverse regler og regulering, herunder miljøgodkendelser og ETS-kvotestystemet. Når CO<sub>2</sub> fanges, lagres og/eller anvendes, kan det medføre usikkerhed om, hvordan CO<sub>2</sub> skal håndteres i reguleringen.

Oprindelsescertifikater er nødvendigt at implementere for, at en fælles CO<sub>2</sub>-rørinfrastruktur kan blive etableret. Der skal således redegøres for oprindelsen af hvert ton CO<sub>2</sub>, der transporteres i CO<sub>2</sub>-infrastrukturen med et dertil hørende CO<sub>2</sub>-certifikat, som det kendes fra natur- og biogas. I tråd med kommende EU-regulering vil der således skulle redegøres for, om CO<sub>2</sub>'en er biogen, fossil eller atmosfærisk. Dette er nødvendigt, da CO<sub>2</sub>'en fra forskellige kilder blandes, og således vil man ikke kunne adskille de fossile og biogene molekyler bagefter.

I dag har fangstoperatoren fuldt ansvar for den CO<sub>2</sub>, der udledes til atmosfæren. Ved fossil CO<sub>2</sub> skal hvert ton CO<sub>2</sub>, der udledes, modsvares af en CO<sub>2</sub>-kvote, mens biogen CO<sub>2</sub> alene skal afrapporteres fra de store punktkilder til det nationale kvoteregister. Når CO<sub>2</sub> bliver indfanget og transporteret, er det usikkert, hvordan ejerskabet til CO<sub>2</sub>'en følger molekylerne. Således kan ejerskabet til CO<sub>2</sub> forblive hos fangstoperatoren, der kan have det fulde ansvar for CO<sub>2</sub>'en og den tilhørende kvote, eller også er det muligt, at ejerskabet følger CO<sub>2</sub>'en. Det kunne også tænkes, at de to modeller for ejerskab af CO<sub>2</sub> i infrastrukturen kunne kombineres, så fangstoperatoren selv kan vælge metode. Det ligger uden for denne analyse at belyse fordele og ulemper ved de 2-3 ejerskabsmodeller for CO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>-infrastruktur, men det bør afklares i den lovgivende proces.

I dag vil fangstoperatoren være ansvarlig for at lave en aftale med et lager eller en PtX-producent om at aftage CO<sub>2</sub>'en. Hvis der ikke etableres CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø, vil det være en løsning, der gør det svært at konsolidere CO<sub>2</sub> i større skibe, da hver fangstoperør skal have egen logistikkæde fra havn til endeligt lager.

Ligeledes vil det blive svært for mindre fangstopera-tører at håndtere, da de hverken kan kontrahere med store skibe eller offshore-lageroperatører.

## Forslag og væsentlige indsigter

En af de største udfordringer ved etablering af fælles infrastruktur er den manglende samtidighed i etableringen af CO<sub>2</sub>-fangst, og at det er nødvendigt at investere i infrastruktur forud for behovet. Der skal findes en måde at mindske risikoen for at overinvestere ud fra deisen, at det er dyrere at underinvestere end at overinvestere. Dette gælder især for rørinfrastruktu-ren, hvor graveomkostningerne er betydelige sam-menlignet med omkostninger til den faktiske infra-struktur.

---

Evida har vurderet, at etableringsomkostningerne til at transpor-tere CO<sub>2</sub> stiger med ca. 25 %, hvis kapaciteten øges fra 1 mio. ton/år til 2 mio. ton/år.

Hvis kapaciteten stiger fra 1 mio. ton/år til 3 mio. ton/år, øges etableringsomkostningerne med ca. 45 %.

---

En løsning er, at staten laver en risikopulje til at inve-sterer i ekstra CO<sub>2</sub>-infrastrukturkapacitet, så man kan etablere forud for behovet. Puljen kunne blive tilbage-betalt, når behovet for den ekstra kapacitet udnyttes, og således blive helt eller delvist tilbagebetalt over tid. Som det fremgår, er efterspørgslen efter CO<sub>2</sub>-lagring fra det nære udland betydelig, og efterspørgslen efter

CO<sub>2</sub> til grønne brændstoffer forventes at stige i takt med, at der kommer tilstrækkeligt med el fra ener-giøer mv.

Etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur kræver i visse tilfælde, at infrastrukturen etableres på private områder. Der er i dag ikke hjemmel til at ekspropriere land til CO<sub>2</sub>-in-frastruktur, hvilket både stiller grundejerne og CO<sub>2</sub>-in-frastrukturselskaberne dårligere. Der bør hurtigst mu-ligt etableres hjemmel til ekspropriation til CO<sub>2</sub>-in-frastruktur, så infrastrukturen kan etableres hurtigt. Hjemmelen kunne eventuelt indgå i den lovgivning, som også skal give hjemmel til, at infrastrukturen etableres.

For at hele CO<sub>2</sub>-værdikæden kan blive etableret, kræ-ves det, at der etableres ny lovgivning på en række områder. Meget viden eksisterer i dag, men der er også stor usikkerhed om, hvordan området udvikler sig de næste 5-10 år. Ny lovgivning kan være om-stændig at implementere, og det er derfor uhensigts-mæssigt, hvis der skal laves ny lovgivning fra Folketin-get, hver gang der skal ske ændringer i de regulatori-ske rammer af CCUS, herunder transporten af CO<sub>2</sub>. Al lovgivning på området bør således implementeres gennem rammelove, som bemyndiger ministeren til at regulere området. Når det bliver mere klart, hvordan markedet udvikler sig, vil bekendtgørelser og ramme-lovgivning eventuelt formaliseres gennem sektorlov-givningerne.







## 8. Tekniske og regulatoriske anbefalinger

I arbejdet med at kortlægge klyngefordele har klynge-samarbejdet om CO<sub>2</sub>-transport og -infrastruktur drøftet en række tekniske og regulatoriske uønskeligheder i forhold til et kommende marked for CO<sub>2</sub>, herunder etablering af infrastruktur, transport af CO<sub>2</sub> samt interface til andre dele af CO<sub>2</sub>-værdikæderne. Nedenstående tekniske og regulatoriske anbefalinger er væsentlige at adressere inden eller i forbindelse med etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

### Klare og fleksible regulatoriske rammer

De økonomiske og lovgivningsmæssige rammer skal være på plads, inden det kan forventes, at CO<sub>2</sub>-infrastruktur vil blive etableret. Nedenfor gennemgås væsentlige, og generelt ukontroversielle, rammer, som skal håndteres, for at der kan blive etableret tilstrækkelig CO<sub>2</sub>-infrastruktur.

#### **CO<sub>2</sub>-rør skal håndteres som et naturligt monopol og understøtte konkurrence i resten af værdikæden**

I hovedstadsområdet, som har en række punktkilder med potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst, vil CO<sub>2</sub>-rør have karakter af et naturligt monopol. Det betyder på den ene side, at der ikke skal være mulighed for etablering af parallel infrastruktur, da det vil medføre betydelige samfundsøkonomiske tab. Til gengæld er der behov for at sikre fri og lige adgang til den infrastruktur, som etableres, for at understøtte konkurrence i de resterende dele af CO<sub>2</sub>-værdikæderne.

Naturlige monopoler bør reguleres. Regulering skal bl.a. omfatte koncessionstildeling (som sikrer mod parallel infrastruktur) og regulering af adgang (som sikrer fri og ikke-diskriminerende adgang til infrastrukturen).

Omfanget af reguleringen vil afhænge af sigtepunktet for klyngen. Hvis der sigtes mod en begrænset klyngeudvikling, kan der udformes en enkel regulering, som beskytter mod dobbeltinvesteringer på enkelte ledningsstrækninger og arealer og sikrer en form for reguleret tredjepartsadgang. Sigtes der mod en mere omfattende klyngeudvikling, skal områdekoncessioner være mere omfattende. Der vil være behov for regulering, som sikrer, at den samlede udvikling er effektiv og ikke-diskriminerende.

Sigtepunktet forankres i en national strategi for udvikling af CCUS-infrastruktur, herunder udvikling af CO<sub>2</sub>-lagring som eksportydelse og import af CO<sub>2</sub> til anvendelsesformål. Fastlæggelse af et sigtepunkt og udformning af en køreplan for at understøtte udviklingen hen imod sigtepunktet bør ske i tæt dialog mellem staten og markedsaktørerne. Realisering af sigtepunktet afhænger i høj grad af udarbejdelse af rammebetingelser samt støtte- og garantiordninger. Derfor bør sigtepunktet have en statslig forankring.

Fælles anlæg til fordråbning og mellemlagring af CO<sub>2</sub> samt fælles udnyttelse af havneanlæg bør ikke monopolreguleres, da konkurrence i højere grad end for rørinfrastruktur er mulig. Da der er betydelige skalafordele ved fordråbning, mellemlager samt fælles havneanlæg, bør der alligevel sikres regulering, som modvirker underdimensionering og suboptimering, fx gennem incitament og adgang til en risikopulje samt regulering af fri og ikke-diskriminerende adgang

til infrastrukturen. Klyngefordele ved fælles anlæg til fordråbning af CO<sub>2</sub> og mellemlagringer, vil fx kunne opnås gennem en koncessionsaftale mellem havnen en operatør af disse anlæg.

### **Regulering skal bygge på rammelovgivning i opbygningsfasen**

Opbygning af CO<sub>2</sub>-klynger er et helt nyt område. Mange tekniske, økonomiske og reguleringsmæssige forhold er uafklarede, og der foregår en meget hurtig teknologiudvikling og forretningsinnovation. Derfor er der behov for hurtig og fleksibel udvikling af rammevilkår og behov for, at reguleringen kan justeres med inddragelse af aktørerne, efterhånden som der opstår nye indsigter og nye behov.

Detaillovgivning kan udgøre en forhindring for udviklingen på grund af tidsforløbet i udvikling, vedtagelse og implementering af ny lovgivning.

Derfor anbefales det, at reguleringen af fælles infrastruktur i størst muligt omfang gennemføres med rammelovgivning, som efterfølgende detaljeres i bekendtgørelser, som hurtigere kan tilpasses til behovet. I en mere stabil fase kan den detaljerede regulering eventuelt føres ind i lovgivningen, hvis der er behov for dette.

Der skal sikres mandat og ressourcer hos de relevante myndigheder, herunder Energistyrelsen og eventuelt Forsyningstilsynet, Sikkerhedsstyrelsen og Arbejdstilsynet, til at gennemføre nødvendige forarbejder, lovudkast, bekendtgørelser og håndhævelse af relevant monopolregulering.

### **Statslige og/eller koncessionerede selskaber skal spille en aktiv rolle, hvis klyngepotentialet skal realiseres**

Udvikling af en sammenhængende klyngeinfrastruktur er en stor teknisk og kommerciel opgave. Ud over udvikling af tekniske løsninger, forretnings- og finansieringsmodel, reguleringsgrundlag mv. kræver opgaven tæt koordinering med et stort antal interessenter. Med andre ord kræver udviklingen fokus, ressourcer og kompetencer.

Klyngesamarbejdet vurderer, at denne udvikling ikke vil ske uden en dedikeret ejer af opgaven. Fx vil et udviklingsforum med deltagelse af interessenterne næppe være i stand til at opbygge den nødvendige kapacitet og skabe den nødvendige fremdrift i udviklingen.

En af de statsejede virksomheder, som har erfaring med gastransport (Evida eller Energinet) kunne være koncessioneret infrastruktur-operatør. Dette ville

kræve et klart mandat til det valgte selskab til at investere i udviklingen og efterfølgende til at investere i at bygge infrastruktur til de første CCS-projekter, som er forberedt til at høste klyngefordelen i takt med en vækst i CCUS-aktiviteter i hovedstadsområdet.

Private aktører eller offentligt/private partnerskaber kunne også spille rollen som aktiv udvikler. Fordelen ved at involvere private aktører kunne være adgang til andre finansieringskilder, kommercielt fokus på klyngeudviklingen og lettere adgang til at gennemføre investeringer ud fra forventede, fremtidige transportbehov. En ulempe vil være, at der typisk er behov for en mere udviklet regulering, hvis en privat monopolvirksomhed skal løse en opgave, end hvis opgaven gives til et statsligt selskab.

En privat lageroperatør af et eventuelt CO<sub>2</sub>-lager ved Havnsø vil have en stor interesse i at etablere en CO<sub>2</sub>-infrastruktur, som kunne understøtte, at CO<sub>2</sub> transporteres fra de lokale punktkilder på Sjælland til lageret. For at en lageroperatør kan etablere CO<sub>2</sub>-infrastruktur med fri og lige adgang, vil det skulle indgå i koncessionsaftalen om drift af lageret. Det er i den forbindelse væsentligt, at der sikres, at konkurrerende CO<sub>2</sub>-aftagere i PtX-fabrikkerne kobles på infrastrukturen efter samme principper som CO<sub>2</sub>-punktkilderne.

Uanset ejerskabet bør tildeling af koncession til etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur følges af en udviklingspligt for systemet.

### **Der skal skabes hjemmel til ekspropriation i forbindelse med etablering af CO<sub>2</sub>-infrastruktur**

Udviklere af infrastruktur skal have mulighed for at sikre ekspropriation til etablering af den fælles klyngeopløsning. Dette vurderes at være en afgørende forudsætning for den praktiske udførelse og kan vise sig at være en forudsætning for at undgå, at CO<sub>2</sub>-transport i hovedstadsområdet kommer til at ske på lastbiler. Samtidig vil hjemmel til ekspropriation stille de private lodsejere, hvor CO<sub>2</sub>-rørene forventes at gå igennem, bedre.

## **Tekniske CO<sub>2</sub>-specifikke rammevilkår skal afklares**

En række rammevilkår er ikke direkte knyttet til klyngeudviklingen, men skal fastlægges for at understøtte udviklingen af CCUS-projekter i klyngen.

### **CO<sub>2</sub>-specifikationer skal fastlægges af henholdsvis rør-, skibs- og lageroperatør**

Etablering af fælles infrastruktur kræver, at der er fælles specifikationer for den CO<sub>2</sub>, der skal transporteres. Generelt er der forskellige behov alt efter typen af infrastruktur, og hvad CO<sub>2</sub>'en skal anvendes til.

Som det fremgår af kapitel 6, har fastlæggelse af CO<sub>2</sub>-specifikationer konsekvenser for omkostningerne på tværs af værdikæden af en række årsager:

- Der er høje omkostninger knyttet til at opfylde høje renhedskrav. Sættes renhedskravene ud fra den mest krævende modtager, kan det drive omkostningerne op for de øvrige klyngedeltagere og ødelægge klyngefordelene for disse.
- Det er omkostningstungt at ændre tryk, temperatur og tilstandsform for CO<sub>2</sub>.
- Der er et økonomisk optimum for hvert led af værdikæden, men også et økonomisk optimum for den samlede værdikæde. Ved at placere oprensning og tryksætning så sent som muligt i værdikæden muliggøres flest klyngefordele.

Det anbefales, at røroperatøren er ansvarlig for at opstille specifikationer for CO<sub>2</sub>, der transporteres i rørene, herunder eventuelt differentierede tariffer, som afspejler renheden af den CO<sub>2</sub>, der indføres i rør-infrastructuren. På samme måde vil skibs- og lageroperatøren være ansvarlig for at opstille specifikationer for den CO<sub>2</sub>, som lastes på skib, til et givent offshore-lager. Onshore-operatører (lager og PtX) kan stille krav, der afspejler deres behov, eller kan stille lavere krav og selv foretage endelig oprensning. Ud fra de foreløbige analyser vil det føre til, at CO<sub>2</sub> leveres i gasform med krav til tørhed og svovlindhold til et fælles rørledningsnet, og at fordråbning og eventuelt yderligere oprensning sker ved havneanlæg forud for mellem-lagring og udslibning samt ved et eventuelt CO<sub>2</sub>-lager og PtX-fabrikker.

Optimering af CO<sub>2</sub>-specifikationer er et kompleks samspil mellem krav og optima i de forskellige dele af værdikæden. Der er betydelig risiko for suboptimering (fx ved sammenblanding af CO<sub>2</sub> med høj og lav renhed) og for etablering af tekniske adgangsbarrierer til den fælles infrastruktur. Tariffer skal etableres, så der sikres adgang for alle CO<sub>2</sub>-leverandører med betaling baseret på volumen, renhed, afstand og alternativomkostninger. Ellers risikeres, at nogle aktører fravælger fælles infrastruktur, hvilket kan øge prisen for de

øvrige deltagere. Der bør etableres et reguleringsgrundlag, som sikrer ikke-diskriminerende adgang til fælles infrastrukturanlæg, fx håndhævet af Forsyningstilsynet. Det anbefales, at ejerne af infrastrukturen inddrager punktkilder, CO<sub>2</sub>-aftagere og øvrige infrastrukturoperatører i udarbejdelse af konkrete CO<sub>2</sub>-specifikationer for hvert enkelt led i værdikæden, så det undgås at enkelte led suboptimerer i forhold til den samlede værdikæde<sup>20</sup>.

### **Der skal sikres tredjepartsadgang**

Selv hvis der vælges et sigtepunkt med begrænsede ambitioner for sammenhængende infrastruktur, skal der etableres tredjepartsadgang til fælles infrastruktur på regulerede vilkår.

Tredjepartsadgangen kan fx reguleres i forbindelse med tilladelser til etablering af ledninger, lagre, fordråbningsanlæg og terminaler.

Det bør undersøges, om reguleringen også skal indeholde krav om kapacitet eller skaleringsmulighed, som sikrer fremtidige CCUS-aktører mod at blive forhindret i at få adgang til infrastrukturen.

### **Der skal sikres tilstrækkelig elkapacitet til CCUS i 2026 og frem**

Udviklingen af et CCUS-økosystem i hovedstadsområdet medfører en betydelig stigning i elforbruget og et fald i elproduktionen. Elforbruget drives både i fangstledet, i PtX-produktion og i fordråbning og tryksætning i infrastrukturen.

Amager Ressourcecenter har i forbindelse med udarbejdelsen af et projektforslag for CO<sub>2</sub>-fangst vurderet, at til fangst af ca. ½ mio. ton CO<sub>2</sub> vil der skulle anvendes 150 GWh elektricitet i hele værdikæden. Hvis der i hovedstadsområdet fanges 2,5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år, svarer det således til, at der årligt produceres 750 GWh elektricitet mindre til nettet end i dag.

Det er afgørende for udvikling af CCUS-økosystemet i hovedstadsområdet, at der sikres tilstrækkelig elkapacitet til CCUS-aktiviteterne, samtidig med at der forventes en omfattende elektrificering af resten af økonomien.

<sup>20</sup> Udvikling af adgangskrav er en omfattende teknisk/økonomisk øvelse, se fx adgangskrav i Porthos-samarbejdet: <https://www.porthosco2.nl/wp-content/uploads/2022/03/Porthos-standard-CO2-Transport-and-Storage-Conditions.pdf>. Porthos-samarbejdet vurderes umiddelbart at have en lavere kompleksitet end hovedstadsklyngen, for så vidt angår netadgang.

### **Rammevilkår for grønne certifikater skal fastlægges**

Salg af grønne certifikater (carbon offset) i forbindelse med negative emissioner kan være med til at finansiere CO<sub>2</sub>-fangstprojekter fra biogene kilder. De grønne certifikater er dog ikke reguleret i dag, og det er derfor usikkert for fangstoperatørerne, om de må anvende de grønne certifikater som finansiering til CO<sub>2</sub>-fangstanlæg. Der er behov for tydelig regulering, så alle fangstoperatører, uanset om de er kommunalt, statsligt eller privat ejet, har de samme muligheder for at indgå i dette marked.

Bilaterale, uregulerede aftaler skaber usikkerhed i markedet, bl.a. på grund af risiko for ”dobbelttælling” af klimaeffekter ved lagring af biogen CO<sub>2</sub>. Det er en opgave for EU og FN at regulere dette marked, men den danske stat bør sikre, at når der foreligger internationale aftaler på området, bliver de hurtigt indpasset i dansk lovgivning.

### **Rammevilkår for oprindelsescertifikater skal fastlægges**

Fælles infrastruktur vil medføre, at fossil og biogen CO<sub>2</sub> sammenblandes. Der er behov for etablering af

et certifikatbaseret system, som kan sikre, at biogen CO<sub>2</sub>, som leveres til det fælles system, også kan ”tages ud” af systemet som biogen til CCU-formål. Alternativet vil være etablering af parallel infrastruktur til transport af biogen og fossil CO<sub>2</sub>. Bemærk, at et certifikatsystem formentlig også kan skabe mulighed for, at den biogene del af CO<sub>2</sub> fra blandede kilder, fx affaldsforbrænding, på sigt kan nyttiggøres til CCU-formål.

### **Ejerskab af CO<sub>2</sub> gennem værdikæden**

Ejerskabet til fanget CO<sub>2</sub>, imens den bevæger sig i en værdikæde, eventuelt på tværs af landegrænser, er i dag uklart. Der er behov for, at der udarbejdes rammer for, hvem der ejer CO<sub>2</sub>'en i de forskellige led, herunder om det er fangstoperatøren, infrastrukturoperatøren eller modtageren af CO<sub>2</sub>'en, der har ejerskabet, herunder ansvar for den tilhørende CO<sub>2</sub>-kvote.

Klyngesamarbejdet har ikke belyst fordele og ulemper ved forskellige ejerskabsmodeller til CO<sub>2</sub>, men konstaterer, at der er behov for, at det afklares i reguleringen af området.



## 9. Bilag

---

Bilag 1	Klyngesamarbejde – international oversigt
Bilag 2	Konkretisering af scenarier
Bilag 3	CO <sub>2</sub> -standarder og -specifikationer
Bilag 4	Klimapåvirkning fra transport af CO <sub>2</sub>
Bilag 5	Spørgeskemaundersøgelse af CO <sub>2</sub> -punktkilder i hovedstadsområdet
Bilag 6	Ejerskab af infrastruktur i den storkøbenhavnske CO <sub>2</sub> -klynge
Bilag 7	Samfundsøkonomiske gevinster ved etablering af en CO <sub>2</sub> -klynge i hovedstadsområdet

---



Udgivet af

**C4 - Carbon Capture Cluster Copenhagen**  
Ørestads Boulevard 35  
2300 København S  
+45 5137 2764  
[www.c4cph.dk](http://www.c4cph.dk)  
[mkn@c4cph.dk](mailto:mkn@c4cph.dk)