

Rapportnr 2018:0450, ISBN 978-82-14-6887-0 - Åpen

Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved CO₂-håndtering i Norge

Forfattere: Sigmund Ø. Størset, Grethe Tangen, Ove Wolfgang og Gunnar Sand

Spesialrådgivere:

Johan E. Hustad, NTNU, Direktør NTNU Energi og Nils A. Røkke, Direktør bærekraft SINTEF

Oppdragsgivere:

NHO, LO, Fellesforbundet, Norsk Industri, Norsk olje og gass og Industri Energi

SINTEF

2018-04-20

Forord

Rapporten *Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge*, er skrevet av SINTEF med rådgiving fra NTNU på oppdrag fra NHO, LO, Fellesforbundet, Norsk Industri, Norsk Olje og gass, og Industri Energi. Målet med dette arbeidet er å vise hva som kan bli de industrielle mulighetene knyttet til en realisering av fullskala CO₂-håndtering i Norge.

Arbeidet er gjennomført innenfor gitte tids- og kostnadsrammer, med de begrensinger det gir. Det er lagt vekt på å innhente innspill fra norske aktører. Til tross for det har det ikke vært mulig å finne godt dokumenterte tall for alt vi hadde ønsket. Dette innebærer blant annet at der man har manglet referanser, er det gjort anslag. Vi har lagt vekt på å angi dette i rapporten.

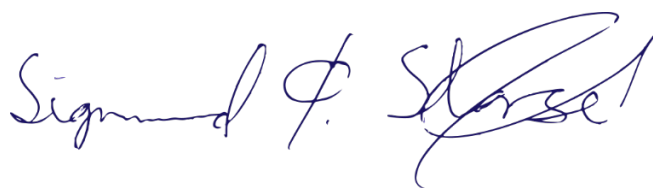
Våre studier viser at det er mulig å styrke konkurransekraften til eksisterende arbeidsplasser, og skape nye arbeidsplasser ved å satse på fullskala CO₂-håndtering. Hvor store effektene blir, er avhengig av i hvor stor grad man antar at CO₂-håndtering vil bli tatt i bruk i Norge og Europa. For å vise utfallsrommet for en satsing i Norge på CO₂-håndtering har vi undersøkt mulighetene knyttet til tre ulike scenarioer for hvordan CO₂-markedet i Europa utvikles; et lavt scenario hvor CO₂-håndtering kun tas i bruk for kraftkrevende industri i Europa, et moderat scenario som er basert på IEA sitt 2-graders scenario, og et høyt scenario som er basert på IPCC sitt 2-graders scenario hvor CO₂-håndtering får en viktig rolle.



Nils A. Røkke
Direktør bærekraft SINTEF



Johan E. Hustad
Direktør NTNU Energi



Sigmund Ø. Størset
Prosjektleder, SINTEF

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG	3
2	FULLSKALA CO₂-HÅNDTERING I NORGE KAN BANE VEI FOR GRØNN OMSTILLING.....	5
2.1	CCS er en viktig del av klimaløsningen.....	5
2.2	Det norske fullskalaprojektet for CO ₂ -håndtering.....	5
3	CCS FOR ØKT VERDISKAPING OG SYSSELSETTING I NORGE.....	10
3.1	Industrielle muligheter som følge av satsing på CCS i Norge	10
3.2	Markedet for CO ₂ -håndtering i Europa kan bli stort.....	17
3.3	Industrielle muligheter ved realisering av det norske fullskalaprojektet	25
4	SAMFUNNSØKONOMISK LØNNSOMHET FOR CO₂-HÅNDTERING.....	28
	VEDLEGG A: FULLSKALA CO₂-HÅNDTERING I NORGE – UNDERLAG	32
A1.	CCS som klimatiltak.....	32
A2.	Status for CCS i Norge i 2018	33
A3.	Klimamål og politiske avveininger	37
	VEDLEGG B: BEREGNING AV SYSSELSETNINGSEFFEKTER FOR CCS.....	38

1 Sammendrag

Verden trenger CO₂-håndtering (CCS – Carbon Capture and Storage) for å nå ambisjonene i Paris-avtalen. Andelen av utslippsreduksjoner som må tas ved hjelp av CO₂-håndtering varierer mellom de ulike analysene, men ligger ifølge Det internasjonale energibyrået (IEA) og FNs Klimapanel (IPCC) på mellom 12 % og 20 %. Og den øker når vi går fra 2-gradersmålet til 1,5-gradersmålet. Alternative veier til de samme utslippsreduksjonene er jevnt over dyrere, i den grad de finnes. En del industrielle utslipp kan ikke reduseres på annen måte enn ved hjelp av CO₂-håndtering.

De globale utslippene av klimagasser økte med 1,4 % i 2017, og flere store land vil ikke nå utslippstoppen før etter 2020. Det vil gjøre oppgaven ekstra krevende, og vil kreve et politisk pådriv som er avgjørende for å lykkes. Norge har sluttet seg til Paris-avtalen, vi er en del av EUs kvotesystem, og har forpliktet oss til å oppfylle klimamålene for 2030 sammen med EU. Det betyr at norske utslipp av klimagasser må reduseres med minst 40 % innen 2030. Forpliktelsen overfor EU, som også er lovfestet i klimaloven, vil være premisssettende for norsk politikk i årene som kommer. De langsiktige og enda høyere ambisjonene for utslippskutt i EUs veikart for 2050 blir spesielt viktige knyttet til behovet for CCS.

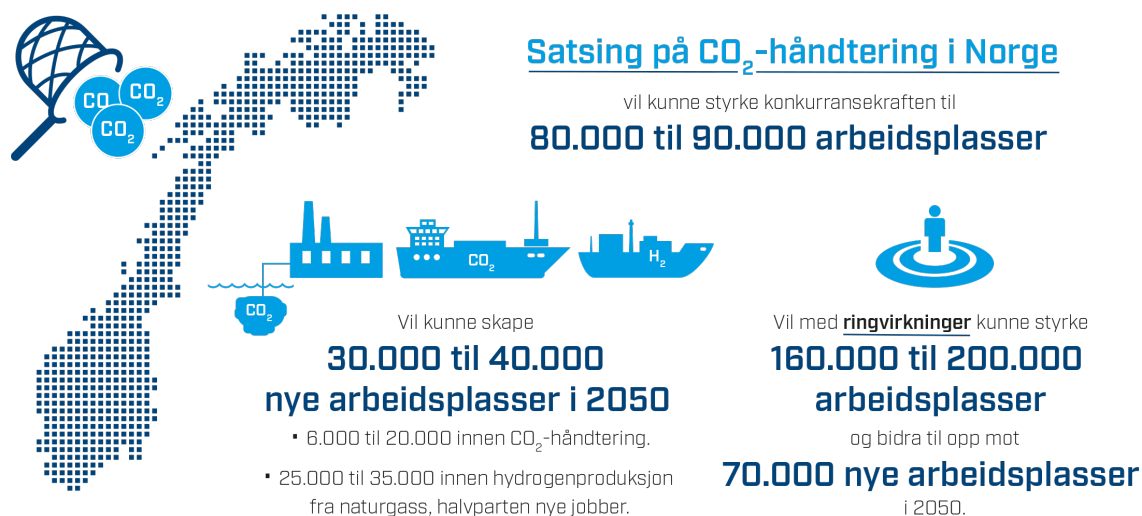
Det norske fullskalaprojektet for CO₂-håndtering planlegges for å lagre inntil 1,4 millioner tonn CO₂ per år og er unikt globalt. Det vil være det første prosjektet som fanger CO₂ fra prosessindustri og avfallshåndtering, knytter sammen flere utslippskilder, og bruker skip for transport for å forbinde utslippskilde og CO₂-lager. Prosjektet vil også kunne være et første skritt mot etablering av norsk sokkel som storskala sentrallager for CO₂ fra Europa. Dette kan i seg selv bli et betydelig forretningsområde. I fremtidige CCS prosjekter kan løsninger utviklet for fullskalaprojektet dupliseres og settes sammen på nye måter.

Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten i fullskalaprojektet vil kunne påvirkes av en rekke faktorer, blant annet kostnader for alternative klimatiltak, skala- og læringseffekter. CO₂-håndtering kan også bidra til å forlenge markedet for norsk naturgass, gjennom å skape rammebetingelser for å realisere ren og storskala produksjon av hydrogen. I denne mulighetsstudien søker vi å kvantifisere de industrielle muligheter som en satsing på CO₂-håndtering i Norge kan gi, under forutsetning av at Norge, Europa og verden når ambisjonene i Paris-avtalen og at CCS blir en del av klimaløsningen, slik som beskrevet av IPCC og IEA. Dette er gjort gjennom å definere tre scenarier for utviklingen av CCS i Europa og studere mulighetsrommet for norske aktører innen disse scenariene. Mulighetene vil være knyttet til:

- ❖ **Den norske prosessindustrien**, som har mål om nullutslipp i 2050, samtidig som produksjonen skal doubles. CO₂-håndtering i Norge er en forutsetning for å nå målet. Realisering av en slik ambisjon vil styrke konkurransekraften til mer enn 30.000 eksisterende jobber i Norge. Det vil også kunne bidra til økning av indirekte sysselsatte, fra om lag 60.000 i dag.
- ❖ **Norge som vertsnasjon for internasjonal industri**. Med nærhet til en infrastruktur for CO₂-håndtering kan Norge være en attraktiv vertsnasjon for industri, fordi muligheten til å produsere utslippsfrie produkter styrkes. Sammen med tilgang på rimelig og fornybar kraft, vil dette kunne danne grunnlaget for nye industrietableringer i Norge i en tid hvor arbeidskraftens andel av kostnadene går ned.
- ❖ **Hydrogenproduksjon fra naturgass med CCS**. En satsing i Norge på hydrogen fra naturgass med CCS kan gi en omsetning på 220 milliarder NOK i 2050, og mellom 25.000 og 35.000 sysselsatte i Norge. En forutsetning for realisering av en hydrogen verdikjede er blant annet at det etableres tilstrekkelig lagerkapasitet for CO₂ i Nordsjøen.
- ❖ **Et marked for CO₂-håndtering i Europa**, som vil kunne omfatte mellom 30.000 og 40.000 arbeidsplasser i 2030 og mellom 80.000 og 90.000 arbeidsplasser i 2050, direkte knyttet til CO₂-håndtering. Norske aktører står godt rustet til å øke sin verdiskaping i et slikt marked.

- ❖ **Et sentrallager for CO₂ i Nordsjøen** bestående av flere lagringslokasjoner, som kan bidra vesentlig i olje- og gasssektoren hvor Norge allerede har investert mye, hatt store inntekter og det er behov for satsing for å opprettholde verdiskaping etter hvert som oljeproduksjonen faller. I 2050 kan Norge ha over 10.000 sysselsatte direkte knyttet til CO₂-lagring i Nordsjøen, mens ringvirkningene av industrien vil kunne sysselsette 5.000 til 10.000 flere i Norge.
- ❖ **Transport av CO₂ på skip**, hvor det i 2050 kan være behov for en flåte på over 600 skip, som kan sysselsette 8.000 til 10.000 mennesker. Norske verft, rederier og tilliggende tjenestevirksomhet er godt posisjonert til å ta andeler i dette markedet.
- ❖ **Markedet for CO₂-fangstteknologi og -anlegg**, som kan nå et omfang på over 450 milliarder NOK i Europa i 2050, og sysselsette over 40.000 mennesker. Norsk utviklet teknologi vil kunne konkurrere i dette markedet, og har også spredningspotensial globalt.
- ❖ **Verdiskapingen i selve fullskalaprojektet**. I tillegg til ringvirkningseffekter vil det norske fullskala-prosjektet i seg selv kunne sysselsette opp mot 5.000 årsverk, i hovedsak arbeidsplasser i Norge. Teknologitvilling og -kvalifisering gjennom fullskalaprojektet vil kunne posisjonere norske aktører for det internasjonale markedet og gi dem konkurransefortrinn sammenliknet med aktører i land som ikke har et hjemmemarked. Potensialet for spredning av teknologi og kunnskap fra fullskalaprojektet er stort, og kan gi avgjørende læring for utvikling av neste generasjons CO₂-håndteringsprosjekter.

I det store og hele fremstår CCS som en nødvendig forutsetning for å sikre verdiskaping og arbeidsplasser i Norge i en tid hvor verdenssamfunnet har forpliktet seg til å begrense den globale oppvarmingen til 2 grader, eller helst mindre. En tidlig satsing på CO₂-håndtering i Norge vil være en investering i infrastruktur for industriutvikling inn i et lavutslippssamfunn, og vil kunne bygge fremtidig konkurransekraft for norsk industri. Norge har naturgitte fortrinn gjennom geologiske strukturer i Nordsjøen som kan ta imot en stor del av Europas CO₂, industrielle fortrinn gjennom en sterk maritim- og offshore-rettet industri, og kompetansemessige fortrinn gjennom at vi er ledende innenfor flere ledd i verdikjeden for CO₂-håndtering.



2 Fullskala CO₂-håndtering i Norge kan bane vei for grønn omstilling

2.1 CCS er en viktig del av klimaløsningen

FNs Klimapanel (IPCC) slår fast at verden etter all sannsynlighet må ha en rask og omfattende utbygging av CCS (Carbon Capture and Storage) for å ha mulighet til å unngå at jorden varmes opp med mere enn 2 grader (2- gradersmålet)¹. En stor andel av utslippskuttene må gjøres i industrien, hvor løsningen er ny prosess teknologi og bruk av CCS.

Norge har vært en pioner innen CO₂-håndtering, og har mer enn 20 års erfaring med fangst og lagring av CO₂ i industriell skala gjennom Sleipner og Snøhvit (Vedlegg A2). Myndighetene har sammen med industrien tatt en ledende rolle i kunnskaps- og teknologiutvikling gjennom blant annet Test Centre Mongstad (TCM) og CLIMIT-programmet for forskning og innovasjon, administrert av Forskningsrådet og Gassnova (Vedlegg A2).

En solid kunnskapsbase kombinert med betydelig lagringskapasitet for CO₂ på norsk sokkel og en petroleumsindustri med infrastruktur og kompetanse direkte anvendbar for CCS, setter Norge i posisjon til å utvikle nye løsninger for fangst og lagring av CO₂. Dette er viktig for reduksjon av klimagassutslipp i Norge og internasjonalt. I tillegg har Norge en industri som er klar for en nødvendig omstilling til utslippsfrie produkter, det være seg sement, gjødsel eller energi². CCS kan være avgjørende for å styrke konkurransekraften til norsk industri i et lavutslippssamfunn.

2.2 Det norske fullskalaprojektet for CO₂-håndtering

Den norske regjeringen har ambisjon om å realisere minst ett fullskala demonstrasjonsanlegg for CO₂ håndtering, ref. Sundvollen-erklæringen. Mulighetsstudien som ble lagt frem av OED i 2016 anbefaler en løsning som skal gi robusthet og fleksibilitet; fangst av CO₂ fra tre industrikilder, skipstransport fra kilder til knutepunkt, mellomlagring på Kollsnes og rørtransport til offshore lagringslokasjon i Nordsjøen³, se Figur 1.



Figur 1. Illustrasjon av det norske fullskalaprojektet for CO₂-håndtering (kilde: Gassnova).

¹ [IPCC Fifth Assessment Report](#), IPCC. 2014.

² [Veikart for prosessindustrien](#), Norsk Industri. Mai 2016.

³ [Mulighetsstudier av fullskala CO₂-håndtering i Norge](#), OED. 2016.

Det norske fullskalaprojektet er verdens første CCS-prosjekt som skal håndtere CO₂ fra flere uavhengige kilder, til sammen inntil 1,4 millioner tonn CO₂ hvert år. I tillegg har prosjektet flere andre elementer som gjør det unikt:

Verdens første sementfabrikk med CCS med potensial for nullutslippsprodukter

Norcem (Norcem Brevik/Heidelberg Cement) er i gang med et fullskalaprojekt for årlig å fange 400.000 tonn CO₂ fra sementproduksjonen ved fabrikk i Brevik⁴. Dette utgjør ca. 50 % av utslippene. Prosjektet har pågått siden 2010. Norcem gjennomførte i perioden 2013 -2017 et stort testprosjekt med støtte fra Gassnova/CLIMIT hvor fire ulike teknologier ble testet på reell røykgass fra sementproduksjonen. Visjonen er null utslipp fra betongprodukter over produktenes levetid innen 2030. Basert på resultatene fra CLIMIT-prosjektet har Norcem valgt å gå videre med en løsning basert på aminteknologi for CO₂-fangst fra røykgassen. Teknologien er utviklet av Aker Solutions og testet i mer enn 8.000 timer ved fabrikk i Brevik. Utnyttelse av overskuddsvarme fra produksjonsprosessen gir et energieffektivt fangstanlegg. Norcem har i mange år benyttet betydelige mengder biobasert brensel. Dersom bruken av biobasert brensel i produksjonen økes ytterligere, er Norcems mål om null CO₂-utslipp fra produktene innen rekkevidde.



Figur 2. Klemetsrudanlegget er en av tre industrikilder for CO₂ i det norske fullskalaprojektet (Kilde: Fortum Oslo Varme)

Første energigjenvinningsanlegg for avfall med fullskala CCS og bidrag til negative CO₂-utslipp

CCS-prosjektet på Klemetsrud (Fortum Oslo Varme) planlegger å fjerne 90 % av CO₂ utslippene fra forbrenning av biologisk (58 %) og fossilt materiale⁵. Kapasiteten er 400.000 tonn/år, med potensial for økning. Klemetsrud vurderte i mulighetsstudien to fangstteknologier testet i industriskala ved TCM; aminrensing og rensing med nedkjølt ammoniakk. Begge inkluderer varmegjenvinning for opprettholdelse eller økning av leveranser til fjernvarmenettet og energiintegrasjon for optimal energibruk. CO₂ fangst fra forbrenning av avfall gir netto reduksjon av CO₂, og bidrar med negative utslipp i regnskapet. Globalt produseres 1,3 milliarder tonn husholdningsavfall per år, og mengden er økende. Det er derfor et betydelig potensial for negative bidrag til de samlede utslipp globalt gjennom CCS for avfallsforbrenning. Videre vil klimavennlig håndtering av restavfall kunne være en nøkkel til å løse utfordringene knyttet til urbanisering globalt, fordi alle byer vil måtte finne løsninger for dette.

⁴ Presentasjon ved Per Brevik, Norcem, Karbonfangstseminar ved Norsk Industri. 19. mars 2018.

⁵ Presentasjon ved Pål Mikkelsen, Fortum Varme Oslo, Karbonfangstseminar ved Norsk Industri. 19. mars 2018.

Bærekraftig gjødselproduksjon avgjørende for å produsere mat til en voksende befolkning

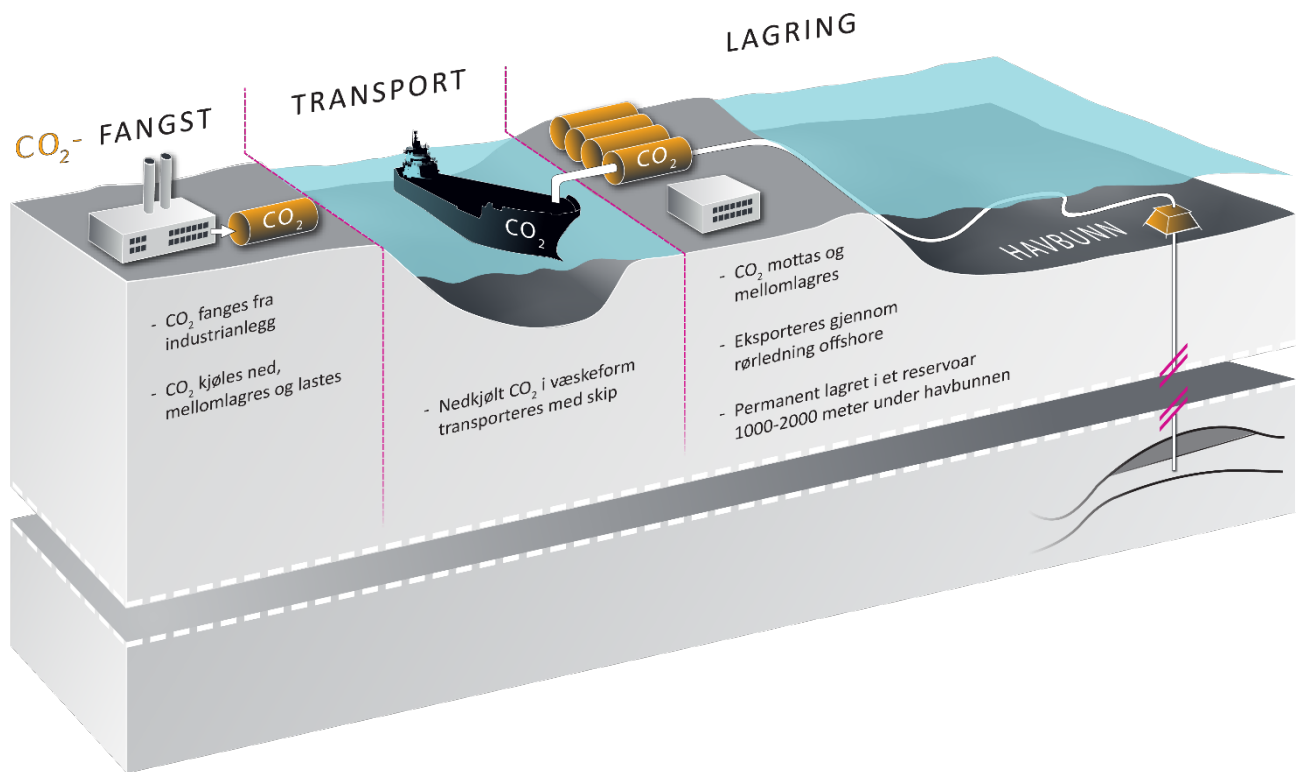
Yara er et internasjonalt selskap som produserer gjødsel, og som har produsert ammoniakk i Porsgrunn i 50 år. Råstoffet etan omdannes til hydrogen, som er virkestoffet som inngår i ammoniakk (NH_3). I tillegg brennes en del etan for å tilføre reaksjonsvarme. Til sammen produseres drøyt 800.000 tonn CO_2 per år fra to punktkilder, henholdsvis røykgass og prosessgass. Av dette gjenvinnes ca. 200.000 tonn, som renses og selges til industrielle formål, bl.a. næringsmidler. Konseptstudiene har vist at ca. 300.000 tonn kan gjenvinnes til CCS-formål. Fangstanleggene blir meget store og må integreres tett i eksisterende fabrikk mens produksjonen går. Man har derfor vurdert at bare én av de to punktkildene kan bygges ut innenfor rammen av fullskalaprojektet. Prosessgasskilden kan gjenvinnes med kjent teknologi. Røykgasskilden kan gjenvinnes ved absorpsjon med kjølt ammoniakk, men anlegget må oppskaleres i forhold til tidligere bygde anlegg. Konseptstudiene for prosjektet viser at anleggene for å produsere CO_2 i flytende form og CO_2 -tanker for mellomlager medfører nesten like store investeringskostnader som selve CO_2 -fangstanlegget.



Figur 3. Transport av CO_2 med skip gir fleksibilitet (Kilde: Larvik Shipping).

Fleksibel infrastruktur med verdens første nettverk for skipstransport av CO_2

For fullskalaprojektet vil CO_2 fraktes på skip ved mellomtrykk i flytende form (15 bar trykk og $-26\text{ }^\circ\text{C}$) fra utslippskildene og til en CO_2 -hub ved Kollsnes, vest for Bergen. Herfra vil CO_2 'en bli mellomlagret, og transportert i rør frem til reservoaret hvor den injiseres. Norcem og Yara sine anlegg ligger nær kai. På hvert anlegg vil det bli etablert et prosessanlegg for å kjøle CO_2 ned til flytende form. I tillegg vil det være lagertanker som oppbevarer flytende CO_2 mellom hvert skipsanløp. Tilsvarende infrastruktur vil bli etablert i Oslo, for å håndtere CO_2 fra Klemetsrudanlegget. Her vil CO_2 bli fraktet på nullutslipps tankbiler eller i rør frem til kai. Det vil også kreves et mellomlager på Klemetsrudanlegget.



Figur 4. Illustrasjon av CO₂-fangst, transport og lagring i Norge (Kilde: Statoil).

Første skritt mot etablering av sentrallager for CO₂ på norsk sokkel

Lagringsdelen av fullskalaprojektet skal utvikles av Statoil sammen med Shell og Total⁶. Smeaheia, øst for Trollfeltet, er et område med porøse, vannfylte sedimentære bergarter, såkalte saline akviferer, som er egnet for permanent lagring av CO₂. Over de permeable formasjonene ligger hardere bergarter som fungerer som takbergart. Det vil sannsynligvis søkes om utnyttelse av dette reservoaret i henhold til bestemmelsene i lagringsforskriften, men det vurderes også andre lokasjoner i nærheten. Mulighetsstudien fra 2016 indikerer at Smeaheia kan lagre opp mot 100 millioner tonn CO₂, men forventet produksjon i Trollfeltet kan medføre lavere lagringskapasitet.

Muligheten for europeiske kunder vil være et viktig suksess-kriterium for et norsk lagringsprosjekt. Statoil har nylig også fått godkjent en søknad i EU om et Project of Common Interest (PCI) på CO₂ transport med skip mellom UK, Nederland og Nordsjøen⁷. PCI er et instrument for å støtte etablering av europeiske infrastrukturprosjekter innen energiområdet som strekker seg over flere land (se Kapittel 4, Europeiske finansieringsmekanismer).

For valgt lagringslokasjon vil det bores en eller flere brønner med nødvendig utstyr og undervannsanlegg for injeksjon av flytende CO₂. Mellomlagret CO₂ må transporteres i rørledning fra landanlegget til injeksjonsbrønnen og flere mulige trasekorridorer vurderes. Rørledningen designes for en teknisk levetid på 25 år og aktuell dimensjon ligger i området 8" til 14".

⁶ [Northern Lights - Mottak og permanent lagring av CO₂](#), Shell, TOTAL, Statoil. Januar 2018.

⁷ [Projects of Common Interest](#), Global CCS Institute. September 2017.

Det planlegges for en faset utbygging av lagringsprosjektet, inklusive et landanlegg med mellomlager og rørtransport. Mottaks- og håndteringskapasitet i fase 1 er 1,5 millioner tonn CO₂ per år, med mulighet for utvidelse i en fase 2 til 4 millioner tonn. Tilgjengelig infrastruktur med ekstra kapasitet kan åpne for mottak av CO₂ fra andre land, utbygging av eksisterende industri og etablering av ny industri i Norge. Lagring av 4 millioner tonn CO₂ per år innebærer drift i nesten 25 år dersom kapasiteten er opp mot 100 millioner tonn CO₂. Til sammenligning lagres det årlig 1 og 0,7 millioner tonn CO₂ i henholdsvis Sleipner og Snøhvit, og så langt er det lagret mer enn 20 millioner tonn CO₂ i disse prosjektene.

I et langsiktig perspektiv kan mengden CO₂ fanget fra norske og etterhvert europeiske kilder overstige 4 millioner tonn per år. Dette vil kreve en ytterligere utvidelse av mottaks- og håndteringskapasiteten. Oljedirektoratet har dokumentert at spesielt Nordsjøen er godt egnet for lagring av store mengder CO₂⁸. Lagerkapasiteten kan utvides ved å utvikle flere lagringslokasjoner som sammen vil utgjøre et sentrallager for CO₂ på norsk sokkel.

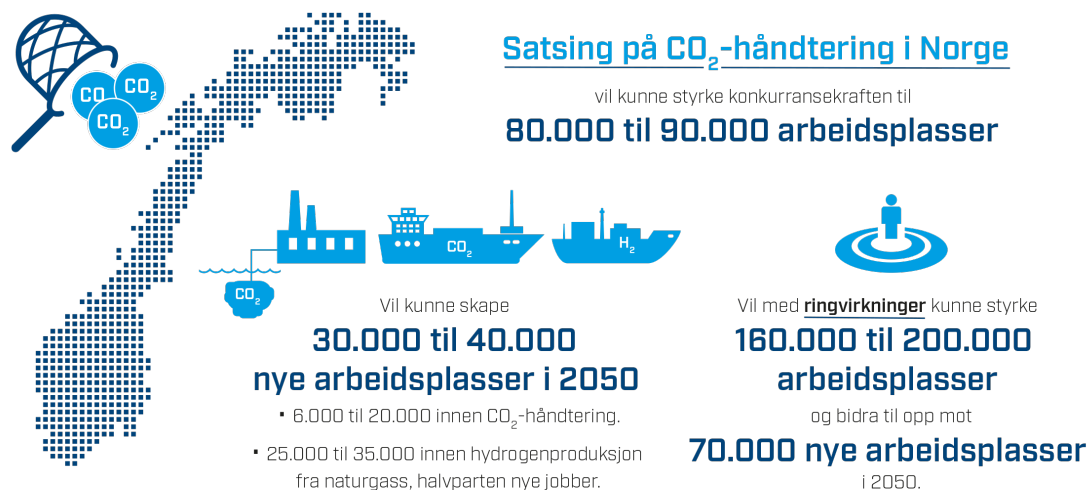
Status for fullskalaprojektet

Mulighetsstudien fra 2016 viser at CO₂-fangst er teknisk mulig ved de tre industrikildene. Høsten 2017 leverte fangstaktørene sine konseptstudier for fangst, mens Gassco leverte en studie for skipstransport. Statoil fikk i juni 2017 i oppdrag å utrede mulige lokasjoner for et mottaksanlegg, samt mellomlagring og rørtransport av CO₂ til permanent lagring under havbunnen. Høsten 2017 ble oppdraget utvidet til å omfatte skipstransport av flytende CO₂ fra lokalt mellomlager hos fangstaktørene. Samarbeidsavtalen mellom Statoil, Shell og Total for gjennomføring av planleggingsprosjektet ble signert i oktober 2017.

I forbindelse med statsbudsjettet for 2018 ble det besluttet at regjeringen skal legge frem fullskala-prosjektet i et helhetlig fremlegg for Stortinget, senest i forbindelse med revidert nasjonalbudsjett i mai 2018. Da skal det tas stilling til hvordan prosjektet skal videreføres. Den opprinnelige prosjektplanen legger til grunn at beslutningsunderlagene for fangst, transport og lagring skal være ferdig høsten 2018, slik at Stortinget kan fatte en investeringsbeslutning våren 2019. Anlegget skal da etter planen settes i drift i 2022.

⁸ [CO₂ samleatlas for Norsk kontinentalsokkel](#), Oljedirektoratet. Mai 2014.

3 CCS for økt verdiskaping og sysselsetting i Norge



En satsing på CO₂-håndtering i Norge vil kunne styrke konkurransekraften til mellom 80.000 og 90.000 eksisterende arbeidsplasser i Norge innen prosessindustri, naturgassvirksomhet og sjøfart. Om vi inkluderer indirekte arbeidsplasser knyttet til disse næringene, kan satsingen styrke totalt mellom 160.000 og 200.000 arbeidsplasser (direkte og indirekte). Satsingen vil kunne skape mellom 30.000 og 40.000 nye arbeidsplasser fram mot 2050. Mellom 6.000 og 20.000 av disse vil kunne være knyttet til CO₂-håndteringsindustri og -teknologi blant norske aktører. Mellom 25.000 og 35.000 vil kunne være knyttet til produksjon av hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering. Av disse vil halvparten av jobbene kunne være knyttet til naturgassvirksomhet, mens halvparten vil være nye jobber knyttet til produksjon av hydrogen og CO₂-håndtering. Summen av direkte og indirekte sysselsatte knyttet til disse nye næringene vil kunne være opp mot 70.000 i 2050.

3.1 Industrielle muligheter som følge av satsing på CCS i Norge

CO₂-håndtering for økt industriproduksjon og nullutslipp i prosessindustrien

Den norske prosessindustrien har mål om nullutslipp i 2050, samtidig som produksjonen skal doubles. CO₂-håndtering i Norge er en forutsetning for å nå målet. Realisering av en slik ambisjon vil styrke konkurransekraften til mer enn 30.000 eksisterende jobber i Norge. Det vil også kunne bidra til økning av indirekte sysselsatte, fra om lag 60.000 i dag.

Norsk prosessindustri er i verdensklasse. Siden 1990 har norsk prosessindustri kuttet sine utslipp med 40 %, samtidig som produksjonen har økt med 37 %⁹. I samme periode har samlede utslipp av klimagasser økt i Norge. Dette viser evnen til omstilling og konkurransekraft i prosessindustrien. Næringen yter et stort samfunnsøkonomisk bidrag til Norge: Den norske prosessindustrien står for om lag 1,7 % av Norges bruttonasjonalprodukt (BNP) og sysselsetter i overkant av 30.000 mennesker, eller 1,2 % av den norske arbeidsstokken – mange av disse gjennom hjørnesteinsbedrifter i lokalsamfunnene.

⁹ [Veikart for prosessindustrien](#), Norsk Industri. Mai 2016.



I dag står norsk prosessindustri for om lag 20 % av samlede norske klimagassutslipp, totalt i overkant av 11 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (2014)¹⁰. En arbeidsgruppe nedsatt av Norsk industri leverte i mai 2016 et "Veikart for prosessindustrien" som ga innspill til ekspertutvalget for Grønn konkurransekraft⁹. I følge veikartet har industrien mål om nullutslipp i 2050, samtidig som produksjonen økes opp mot det dobbelte av dagens nivå. CO₂-håndtering er en forutsetning for å nå disse målene; 60 % av utslippsreduksjonen skal ifølge veikartet skje ved hjelp av CCS, og blir en forutsetning for fortsatt vekst i prosessindustrien.

Vesentlige deler av CO₂-utslippene stammer ikke fra kraft- og varmeproduksjon, og kan derfor ikke fjernes gjennom fornybar kraft eller biobrensler. Et eksempel er sementproduksjon, hvor nesten 2/3 av utslippene kommer fra spaltingen av råmaterialet kalkstein. Tilsvarende gjelder for forbrenning av sortert restavfall som ikke kan eller bør materialgjenvinnes. Fangst av CO₂ fra produksjonsprosessen er eneste teknologi som kan eliminere slike utslipp. Dersom Norge etablerer en infrastruktur for CO₂-håndtering som prosessindustrien kan benytte, vil det gi helt nye muligheter for konkurransedyktige produkter i et klimaperspektiv.

CO₂-håndtering i Norge kan derfor bidra til at 30.000 arbeidsplasser i prosessindustrien opprettholdes. En vekst i næringen til opp mot doblet produksjon i 2050 kan i tillegg bidra til å skape nye arbeidsplasser i industrien. Samtidig vil doblet produksjon kunne medføre om lag doblet omsetning, som både vil gi større inntekter til den norske stat via skatter og avgifter, og bidra til økt omsetning og sysselsetting i tilknyttede næringer. I dag sysselsetter den norske prosessindustrien indirekte om lag 60.000 mennesker i Norge gjennom kjøp og salg av varer og tjenester i andre bransjer¹¹.

Prosessindustrien har over de siste tiårene demonstrert sin evne til omstilling og til å hevde seg i en bransje med tøff internasjonal konkurranse. Nå viser aktørene at de også vil omstille seg mot nullutslipp. I tillegg til Norcem, Fortum Oslo Varme og Yara, vurderer flere andre aktører mulighetene for å knytte seg til CO₂-infrastrukturen i fullskalaprojektet. Dette er industriselskaper som Eramet, Eyde-klyngen (som representerer nesten 50 bedrifter hvor 15 er i prosessindustrien), Elkem, CCS-klynga på Øra og CO₂-hub Nordland¹², koordinert av Mo Industripark (med 7 medlemmer fra prosessindustrien som Alcoa og Celsa).

¹⁰ Rapport fra Regjeringens ekspertutvalg for [Grønn konkurransekraft](#). Oktober 2016.

¹¹ Indirekte sysselsatte er beregnet vha. estimat for ringvirkningsmultiplikatorer basert på kryssløpsregnskapet fra Nasjonalregnskapet som publiseres av SSB, med data fra 2016. Sysselsettingsmultiplikator for næringer innen norsk prosessindustri ligger på om lag 2, dvs. 2 indirekte sysselsatte per direkte sysselsatt i industrien.

¹² [Prosessindustri i regionalt CO₂-prosjekt](#), Mo Industripark AS. Oktober 2017.

Også aktører i våre naboland, som Preem-raffineriet i Lysekil i Sverige, utreder muligheten for å koble seg på en norsk CO₂-infrastruktur¹³. Den brede interessen viser at aktørene mener CO₂-håndtering er nødvendig for å opprettholde en konkurransedyktig industri.

Selv om prisen på produktene fra prosessindustrien vil kunne øke vesentlig på grunn av CO₂-håndtering, vil effekten på prisen for sluttproduktene være mer begrenset. For eksempel kan prisen for en bygning som benytter utslippsfri sement (sement produsert på et anlegg hvor CO₂-utslipp fanges og lagres) øke med ca. 0,5 % sammenliknet med en bygning som bygges av konvensjonell sement¹⁴. Tilsvarende vil være tilfelle for en bil som produseres av utslippsfritt stål (under 0,5 % prisøkning for bilen¹⁴). Med andre ord er det en beskjeden investering som må til i sluttbrukerleddet for å få produkter som baseres seg på utslippsfrie materialer. Dersom Norge som første land i verden realiserer en infrastruktur for CO₂-håndtering fra industrien, vil den norske prosessindustrien få et konkurransefortrinn gjennom å være første tilbyder av utslippsfrie produkter. Her vil offentlige innkjøp, regler og standarder være et viktig redskap for å skape et marked for lavutslippsmaterialer til bruk i bygninger og annen infrastruktur. Med klimapolitikken som føres i mange norske byer i 2018, kan en slik omstilling være attraktiv også fordi utslippsfrie produkter kan bli en forutsetning for salg i næringer og regioner.

Norge som attraktiv vertsnasjon for internasjonal industri



Med nærhet til en infrastruktur for CO₂-håndtering kan Norge være en attraktiv vertsnasjon for industri, fordi det styrker muligheten til å produsere utslippsfrie produkter. Dette, sammen med tilgangen på rimelig og fornybar kraft, vil kunne danne grunnlaget for nye industrietableringer i Norge i en tid hvor arbeidskraftens andel av kostnadene går ned.

Tilgang til rimelig vannkraft har vært et konkurransefortrinn for Norge sammenliknet med andre land, og har gjort Norge til en attraktiv vertsnasjon for energikrevende industri. Etablering av en infrastruktur for CO₂-håndtering kan gi tilsvarende konkurransefortrinn gjennom muligheten for å produsere produkter uten utslipp av CO₂. Dette kan være attraktivt også for internasjonal industri som ser etter muligheter for utslippsfrie produkter. Kombinasjonen av stabil tilgang på fornybar kraft og muligheten for håndtering av

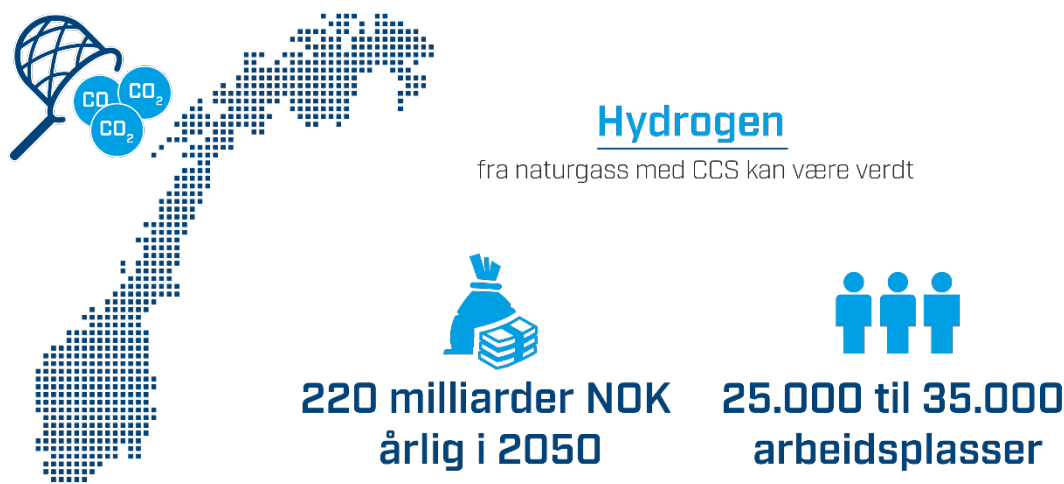
¹³ [Preem vurderer karbonfangst fra Lysekil-raffineriet](#), Gassnova. Februar 2018.

¹⁴ J. Rootzén, F. Johnsson: [Technologies and policies for GHG emission reductions along the supply chains for the Swedish construction industry](#), ECEEE. Mai 2017.

CO₂, vil være unik i verden. Et konkret eksempel er aktører som ønsker å produsere hydrogen fra naturgass i Norge, gitt at CO₂ kan fanges og lagres fra prosessen¹⁵.

Tilgang på CO₂ og infrastruktur for å håndtere denne vil også kunne skape nye muligheter for næringsutvikling i regionene. Naturgassparken Vest AS, som er eier av tomten hvor CO₂-huben på Kollsnes er planlagt, rapporterer alt interesse fra lokale aktører som ser muligheter knyttet til tilgangen til CO₂. Mulighetene kan være knyttet til produksjon av karbonmaterialer, drift av reduksjon av CO₂ fra råstoffer til smelteverksindustrien, eller dyrking av alger som kan brukes til fiskefôr. Naturgassparken Vest beskriver også stor interesse fra Øygarden kommune og lokalsamfunnet. Om for eksempel en liten andel ren CO₂ kan brukes til algeproduksjon, som igjen brukes som fôr ved et nærliggende oppdrettsanlegg¹⁶, vil dette kunne gi opphav til ny næringsutvikling og nye arbeidsplasser som styrker lokalsamfunnene. Slik kan et CO₂-fangstprosjekt ikke bare styrke hjørnesteinsbedriften, men også gi grunnlag for ny virksomhet, ofte i stedet for å belage seg på import av produkter. Det er likevel viktig å påpeke at slik bruk av fanget CO₂ ikke vil gi en klimagevinst, da bruk av CO₂ til produkter før eller senere medfører at CO₂en slippes ut til atmosfæren, og ikke tas ut av karbonkretsløpet, slik det gjør når CO₂ det lagres permanent.

Hydrogenproduksjon fra naturgass med CCS kan bli et industrieventyr for Norge



En satsing i Norge på hydrogen fra naturgass med CCS kan gi en omsetning på 220 milliarder NOK i 2050, og mellom 25.000 og 35.000 sysselsatte i Norge. En forutsetning for dette er blant annet at det etableres tilstrekkelig lagerkapasitet for CO₂ i Nordsjøen.

Hydrogen som lavkarbon energibærer kan bli et viktig supplement til den rollen naturgass har i dag, og vil være komplementær til variabel fornybar energi. Hydrogen kan brukes til kraftproduksjon, varme og kjøling, som drivstoff særlig i marin sektor, og som innsatsfaktor i energikrevende industrier, som stålproduksjon. Flere store prosjekter utredes: I Nederland utreder Statoil, Vattenfall og Gasunie muligheten for å ombygge Magnum-kraftverket til et hydrogengass-kraftverk som vil levere 1.200 MW ren kraft til markedet¹⁷. I Leeds i England ser man på muligheten for å erstatte naturgass med hydrogen i gassdistribusjonssystemet¹⁸ for utslippsfri oppvarming. Et CO₂-lager i Nordsjøen, som er en forutsetning for satsing på hydrogen fra naturgass med CCS, kan åpne for interessante muligheter og kan bidra til å forlenge

¹⁵ [Hydrogenvei til Japan](#), Energi og klima. Juni 2016.

¹⁶ [Nytt forskningssenter vil utnytte CO₂ til fiskefôr](#), UiB. Juni 2014.

¹⁷ [Intensjonsavtale for å konvertere naturgass til hydrogen](#), Statoil. Juli 2017.

¹⁸ [H21 Leeds City Gate](#), Northern Gas Networks. Juli 2016.

markedet for norske naturgassressurser, spesielt i et 2050 perspektiv, der EU har satt seg klimamål som i praksis betyr null CO₂ utslipp fra energisektoren.

The Hydrogen Councils veikart anslår at hydrogen kan dekke 18 % av verdens endelige energibehov i 2050, og bidra til 30 millioner arbeidsplasser¹⁹. I dag dekker naturgass om lag 22 % av energibehovet²⁰. Basert på dette kan et tenkt scenario for Europa i 2050 være at hydrogen dekker et energibehov på ca. 80 % av det naturgass gjør i dag. Markedsprisen er usikker, men prisen for hydrogen produsert fra naturgass med CCS vil være høyere enn prisen for naturgass, siden det krever energi og prosessering å produsere hydrogenet. Om vi antar en markedspris lik to ganger dagens naturgasspris, tilsvarer dette en markedsstørrelse for hydrogen til kraft, varme og industri i Europa på opp mot 1.200 milliarder NOK²¹ i 2050.

Her må legges til at en realisering av verdikjeder basert på hydrogen vil kreve mer enn et CO₂-lager. Investeringene vil bli store, og kundene må ønske å betale en høyere pris enn for naturgass. Alternativt må myndighetene stimulere til bruk av hydrogen gjennom målrettede insentiver/rammebetingelser.

Om Norge i 2050 har samme produksjonsvolum for naturgass som i 2017 (122 milliarder Sm³, eller om lag 1.350 TWh²²), men hvor 80 % omgjøres til hydrogen for å møte utviklingen som beskrevet over, vil dette tilsvare hydrogenproduksjon og -eksport på om lag 750 TWh²³. Markedsverdien vil være opp mot 220 milliarder NOK. Til sammenlikning var eksportverdien av all norsk naturgass i 2017 ca. 200 milliarder NOK. Opprettholdelse av produksjonsvolumet av naturgass i 2050 kan være et for høyt estimat, men brukes i det følgende som et illustrerende eksempel.

I 2016 var det om lag 148.000 direkte sysselsatte i norsk olje- og gassvirksomhet²⁴. Dette inkluderer ansatte i operatørselskaper og leverandører med direkte leveranser i olje og gass-verdikjeden²⁵. Av disse er flere arbeidsplasser tilknyttet olje enn gass, fordi olje krever større arbeidsinnsats og gass typisk produseres fra få og store anlegg. Om vi antar at naturgassvirksomheten på norsk sokkel omfatter mellom 20 % og 30 % av arbeidsplassene²⁶, gir dette i størrelsesorden 30.000 til 40.000 arbeidsplasser. Dersom 80 % av norsk gass blir omdannet til hydrogen i 2050, kan vi tilskrive et sted mellom 25.000 og 35.000 arbeidsplasser innen naturgass til hydrogenmarkedet. Siden gassen må omdannes til hydrogen og CO₂ må skilles ut og lagres, vil hydrogen kreve større arbeidsinnsats per enhet enn naturgass. Dette er også en medvirkende årsak til at hydrogenprisen er høyere enn naturgassprisen. Basert på en antagelse om dobling i pris på hydrogen i forhold til naturgass vil hydrogen kreve dobbelt så mange jobber som produksjon av naturgass gjør i dag.

Eksemplet tar foreløpig ikke høyde for effekten effektivisering og automatisering i gassnæringen vil ha på behovet for arbeidskraft fram mot 2050, som sannsynligvis vil være vesentlig. Prosessindustrien i Norge er et godt eksempel på dette. Produksjonen har økt nesten 40 % siden 1990, mens tallene for sysselsatte har gått vesentlig ned. Om vi antar en tilsvarende utvikling innen gassnæringen fram mot 2050, for eksempel

¹⁹ [Hydrogen, scaling up](#), Hydrogen Council. November 2017.

²⁰ [IEA](#). 2017.

²¹ Gitt en naturgasspris på 1,6 NOK per Sm³ og dobbel pris for hydrogen per energiinnhold.

²² Eksportmengder og markedsverdi for norsk naturgass, gitt av [Norsk Petroleum](#).

²³ Antatt virkningsgrad på reformering av naturgass til hydrogen inklusive CO₂-håndtering på 70 %.

²⁴ [Utvikling i direkte petroleumsrelatert sysselsetting 2014 – 2020](#), IRIS. Mars 2016.

²⁵ I henhold til kilde 24): "Petroleumsrelatert virksomhet kan deles i «direkte» og «indirekte». «Direkte» virksomhet kan defineres som leveranser av varer/tjenester med direkte anvendelser i petroleumsvirksomhetens verdikjede (seismikk, boring, vedlikehold osv.), mens «indirekte» vil være all øvrig aktivitet (hotell, restaurant, revisjon osv.)."

²⁶ Fordelingen av sysselsatte er basert på beste estimat. Det har ikke lyktes oss å finne en referanse for dette.

en effektivisering på 50 % knyttet til antall arbeidere, vil det i dette scenariet kunne være rundt 25.000 til 35.000 sysselsatte direkte knyttet til produksjon av hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering i Norge.

IRIS har beregnet at summen av direkte og indirekte sysselsatte i olje- og gassnæringen i Norge er 1,8 ganger så mange som de direkte sysselsatte²⁷ (se Vedlegg B). Totalt antall sysselsatte i Norge knyttet til eksport av hydrogen fra naturgass kan derfor i 2050 være mellom 50.000 og 60.000. Dette tilsvarer drøyt 2 % av den norske arbeidsstokken i 2017.

Hittil er vel en tredel av det estimerte potensialet for naturgass fra norsk sokkel produsert²⁸. En satsing på hydrogen fra naturgass i Norge vil kunne sikre verdien av gassreservene i en fremtid med store begrensninger på CO₂-utslipp. Tilrettelegging for hydrogenproduksjon kan bevare arbeidsplasser i den norske olje- og gassnæringen samtidig som et stort antall nye arbeidsplasser etableres. Videre har Norge kommersielle aktører innen hydrogenteknologi, som NEL Hydrogen og Hexagon. Om hydrogen produseres i store volumer fra naturgass, vil dette styrke deres markeder og muligheter for salg av hydrogenteknologi.

En norsk satsing på hydrogen vil også kunne styrke hele næringer, som trenger løsning for lavutslippenergibærere. Den norske maritime næringen er et godt eksempel, hvor hydrogen er aktuelt som drivstoff på skip²⁹. FNs Internasjonale Maritime Organisasjon, IMO, har nylig vedtatt en ambisjon om å redusere utslipp fra verdens skipsfart med 50 % innen 2050³⁰. En satsing som gir tilgang på store volumer hydrogen vil kunne bidra til å styrke konkurransekraften til norsk maritim- og sjøfartsnæring i omstillingen til nullutslipps transport. Dette vil kunne være sammenliknbart med måten tilgang på LNG (liquefied natural gas) har hjulpet norsk sjøfart til å være verdensledende gjennom omstillingen til LNG som drivstoff. I dag sysselsetter maritim næring i Norge om lag 110.000 personer³¹, hvorav sjøfartsnæringen sysselsetter om lag 15.000³².

Økt oljeutvinning med CO₂-EOR



Økt oljeutvinning

gjennom CO₂-EOR, en mulighet for å forlenge levetiden på oljefeltene i Nordsjøen, og å utnytte infrastruktur og investeringer bedre



Gjennomsnittlig økt produksjon kan ligge rundt 4 %, noe som tilsvarer en årlig økt eksportverdi for norsk olje på

8 milliarder NOK

gitt 2017 volumer og priser

²⁷ Basert på sysselsettingstall fra [Industribyggerne](#), IRIS. Mars 2015.

²⁸ I følge tall fra [Norsk Petroleum](#), 2017.

²⁹ [World's First Hydrogen-Powered Cruise Ship Scheduled](#), The Maritime Executive. Oktober 2017.

³⁰ [UN body adopts climate change strategy for shipping](#), United Nations International Maritime Organization. April 2018.

³¹ I henhold til tall fra [Regjeringen.no](#). 2018.

³² Tall fra [SSB](#). Mai 2017.

Det er en politisk føring om økt utvinning og god ressursforvaltning av feltene på norsk sokkel. Tilgang på CO₂ åpner for økt oljeutvinning gjennom EOR (Enhanced Oil Recovery). CO₂-EOR kan være en mulighet for å forlenge levetiden på oljefeltene i Nordsjøen, utnytte etablert infrastruktur bedre, og dermed gi større avkastning på investeringene som er gjort på sokkelen. Gjennomsnittlig økt produksjon kan ligge rundt 4 %, noe som tilsvarer en årlig økt eksportverdi for norsk olje på 8 milliarder NOK gitt 2017 volumer og priser. CO₂-EOR kan i tillegg representere et økonomisk insentiv for etablering av en CO₂ infrastruktur i Europa.

Den norske delen av Nordsjøen er en moden petroleumspolstovns, og en del oljefelt har fallende produksjon. Utvinningsgraden på norsk sokkel er 46 %, som er høyt sammenlignet med verdensgjennomsnittet. Likevel kan den økes ytterligere med ulike metoder for økt utvinning. Den vanligste metoden er å injisere vann for trykkstøtte. I USA er EOR med CO₂ på land brukt for økt oljeutvinning gjennom 40 år, men så langt er ikke offshore CO₂-EOR prøvd på norsk sokkel. Et viktig hinder er at CO₂ ikke har vært tilgjengelig i tilstrekkelig mengde for aktuelle felt. Dersom man gjennom en etablert CCS kjede får CO₂ tilgjengelig i rett tid i forhold til oljefeltets levetid, kan CO₂ til EOR styrke lønnsomheten til CCS-prosjektet, i tillegg til at CO₂ deponeres.

Etablering av en kombinert CCS/CO₂-EOR-kjede vil gi en fleksibilitet der CO₂ er tilgjengelig for EOR ved behov og ellers injiseres for permanent lagring. På den måten kan CO₂-EOR i Nordsjøen stimulere utbygging av en infrastruktur for CO₂-håndtering og dermed akselerere realisering av CCS fra europeiske kilder.

En studie gjennomført av Oljedirektoratet (OD) viser CO₂-EOR beregninger for 23 felt i den norske delen av Nordsjøen over 40 år³³. Over 300 million Sm³ ekstra olje kan bli produsert. Samlet oljeproduksjon på norsk sokkel i 2017 var ca. 92 million Sm³, med en eksportverdi på 209 milliarder NOK, så studien indikerer et betydelig potensial for økt utvinning. Samlet gir økt produksjon på 300 Sm³ en verdi på 680 milliarder NOK, basert på eksportverdien av norsk olje i 2017. En annen mer detaljert analyse i samme studie tyder på at CO₂-EOR kan gi gjennomsnittlig 4 % økt produksjon i tillegg til å lagre 70-100 % av injisert CO₂. I 2017 ville økt produksjon på 4 % tilsvare en årlig økt eksport på drøyt 8 milliarder NOK. Analysen antok tilgang på 1-3 millioner tonn CO₂ årlig og viste at CO₂ er mer effektiv enn for eksempel metan som også benyttes for EOR i noen felt.

Lønnsomheten for CO₂-EOR vil i stor grad avhenge av oljepris, kostnader for å få tilgang til CO₂ og ekstra kostnader knyttet til modifikasjon av infrastruktur, spesielt hvis det trengs nye brønner og stans i produksjonen i forbindelse med ombygging. En alternativ strategi for optimal utnyttelse av infrastrukturen kan være å injisere CO₂ for EOR de første årene og når potensialet for mer oljeproduksjon er tatt ut, stenge oljeproduksjonen og bruke oljereservoaret kun for lagring av CO₂. Aker Solutions har utviklet og er i ferd med å kvalifisere en subsea teknologi for CO₂-EOR³⁴. En pilot for uttesting av CO₂-EOR offshore kan være en mulig utvidelse av det norske fullskalaprojektet, og vil være den første i sitt slag i verden³⁵.

³³ V.Pharm, E.Halland: [Perspective of CO₂ for Storage and Enhanced Oil Recovery \(EOR\) in Norw. North Sea](#), GHGT-13. November 2016.

³⁴ P.H. Nøkleby: [Taking CO₂-EOR offshore](#). Workshop "Driving CCS forward in Norway". 2015.

³⁵ Presentasjon ved Oscar Graff, Aker Solutions, Karbonfangstseminar ved Norsk Industri. 19. mars 2018.

3.2 Markedet for CO₂-håndtering i Europa kan bli stort



Et marked for CO₂-håndtering i Europa vil kunne omfatte mellom 30.000 og 40.000 arbeidsplasser i 2030 og mellom 80.000 og 90.000 arbeidsplasser i 2050, direkte knyttet til CO₂-håndtering. Norske aktører står godt rustet til å øke sin verdiskaping i et slikt marked.

FNs Klimapanel (IPCC) 5 hovedrapport fra 2014 analyserer 1200 scenarier for utslipp av klimagasser, og angir at i 114 av 120 scenarier hvor global oppvarming begrenses til 0,9-2,3° C, spiller CCS en avgjørende rolle³⁶. IEAs scenario for å begrense den globale oppvarmingen til 2 grader bekrefter dette og anslår at CCS må bidra med 12 % av kumulative utslippsreduksjoner frem til 2050. Dette representerer 95 milliarder tonn CO₂ fanget og lagret i denne tidsperioden. Om vi skal øke sjansen for å begrense oppvarmingen med 2 grader ytterligere, må enda større andeler av CO₂-utslippene elimineres. Dette gjenspeiles i flere av IPCCs 2-gradersscenarier der mengdene CO₂ som elimineres gjennom CCS er langt høyere, over 20 milliarder tonn per år i 2050. De samlede utslippene i Europa i 2015 var på 4.450 millioner tonn CO₂-ekvivalenter³⁷, som er 20 % lavere enn i 1990. EUs mål om 80% reduksjon i utslippene sammenliknet med 1990-nivå innen 2050 (se Vedlegg A3), tilsier ytterligere reduksjon av om lag 3.300 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Om vi skal begrense den globale oppvarmingen til 2 grader og CCS skal spille den rollen teknologien gis i scenariene som beskrevet over, vil det bli et stort marked for CO₂-håndtering i Europa og verden for øvrig. For å synliggjøre dette mulighetsrommet har vi definert tre scenarier for hvordan CO₂-markedet i Europa kan se ut i 2030 og 2050; Lav CCS, Moderat CCS og Høy CCS. Disse scenariene er vist i Figur 5. De to første er baserte på IEAs 2-graders scenario³⁸. Moderat CCS representerer det fullstendige IEA-scenariet hvor man med 50 % sannsynlighet vil begrense oppvarmingen til 2 grader³⁹. Lav CCS tar utgangspunkt i det samme IEA-scenariet, men inkluderer kun utslipp som forventes fanget og lagret fra industri (Lav CCS inkluderer

³⁶ [IPCC Fifth Assessment Report](#), IPCC. 2014.

³⁷ [Total greenhouse gas emissions by countries](#), Eurostat. 2016.

³⁸ 2 graders scenario beregnet av IEA, gitt med mengder lagret CO₂ per verdensdel. Her brukes de volumer som er gitt for OECD-landene i Europa, som basis for å beregne europeisk markedsstørrelse. Moderat CCS er likt det fullstendige IEA-scenariet, mens Lav CCS kun inkluderer de volumer CO₂ som forventes fanget og lagret fra prosessindustri i Europa i 2030 og 2050. Gjengitt i [20 years of carbon capture and storage](#), IEA. November 2016.

³⁹ Dette scenarioet er basert på et utvalg av de IPCC-scenariene hvor oppvarmingen begrenses til 2 grader, og hvor CCS tilskrives stor viktighet. Samme relative andel CCS i Europa er lagt til grunn i dette scenarioet som gitt i IEAs scenario. Dataene er hentet fra [AR5 Scenario Database](#), som inneholder dataene som gir grunnlaget for [IPCC Fifth Assessment Report](#), IPCC. 2014.

ikke CO₂-håndtering fra kraftproduksjon). Scenariet Høy CCS er basert på utvalgte IPCC 2-graders scenarier som tilskriver CCS stor viktighet, og dermed gir større volumer fanget og lagret CO₂ per år frem mot 2050.

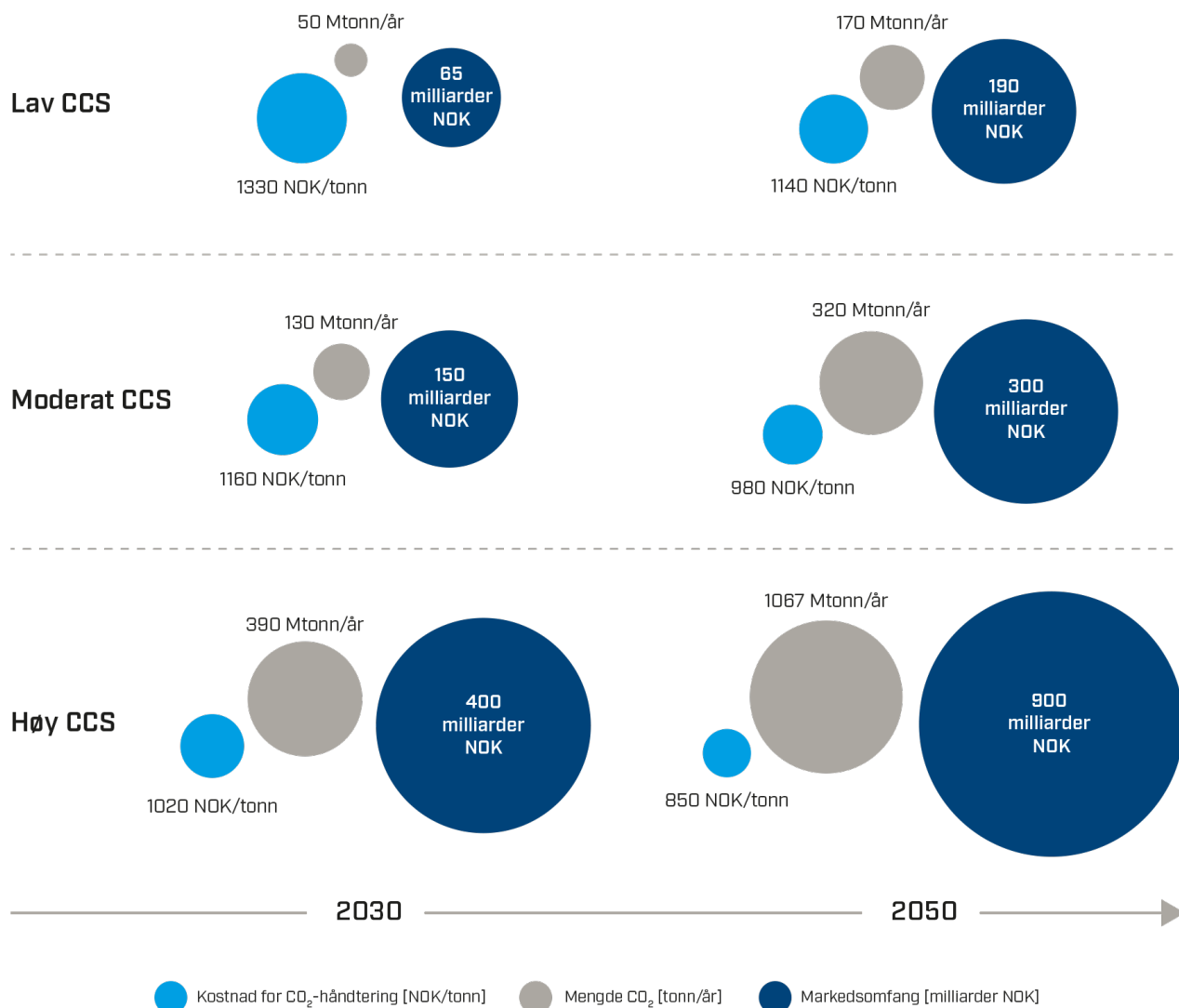
Figur 5 viser hvor store volumer CO₂ som må fanges og lagres i Europa i 2030 og 2050 for de tre scenariene. Figuren viser også antatt kostnadsutvikling for CO₂-håndtering gitt ved NOK/tonn CO₂, og estimert omfang av totale kostnader knyttet til CO₂-håndtering i Europa i scenariene. Disse størrelsene har vi brukt som utgangspunkt for å kunne gi et estimat for arbeidsplasser i Europa direkte knyttet til CO₂-håndtering. Vår metode for sysselsettingsberegninger tar utgangspunkt i kostnads- og sysselsettingsestimater for fullskalaprojektet, gitt at alle tre fangstprosjekter blir realisert, dvs. inntil 1,4 millioner tonn CO₂ lagret hvert år, til en kostnad på om lag 1.400 NOK/tonn CO₂⁴⁰. Med dette som utgangspunkt skalerer vi opp sysselsettingstallene proporsjonalt med omfanget av CO₂-håndtering i fremtiden. Så skalerer vi sysselsettingstallene ned proporsjonalt etter forventninger om synkende kostnader for CO₂-håndtering i fremtiden (som blir diskutert i Kapittel 4). Synkende kostnader i fremtiden vil delvis være drevet av redusert behov for arbeidskraft på grunn av automatisering og effektivisering, og blir dermed tatt hensyn til i modellen. Fullstendig metode og antagelser for beregningene er gitt i Vedlegg B.

Med grunnlag i denne metoden viser vårt estimat at det er et potensial for mellom 80.000 og 90.000 nye arbeidsplasser i Europa i 2050 direkte knyttet til en fremvekst av et marked for CO₂-håndtering. Summen av direkte og indirekte arbeidsplasser kan bli opp mot 150.000 i 2050, gitt en antagelse om samme forholdstall mellom direkte og indirekte arbeidsplasser i CO₂-håndteringsindustrien som for olje- og gassindustrien. Figur 6 viser våre anslag for sysselsetting i Europa for de tre scenariene. Figuren viser også sysselsatte innen henholdsvis CO₂-fangst, -transport og -lagring, basert på anslått fordeling av kostnader mellom disse industriene (se vedlegg B).

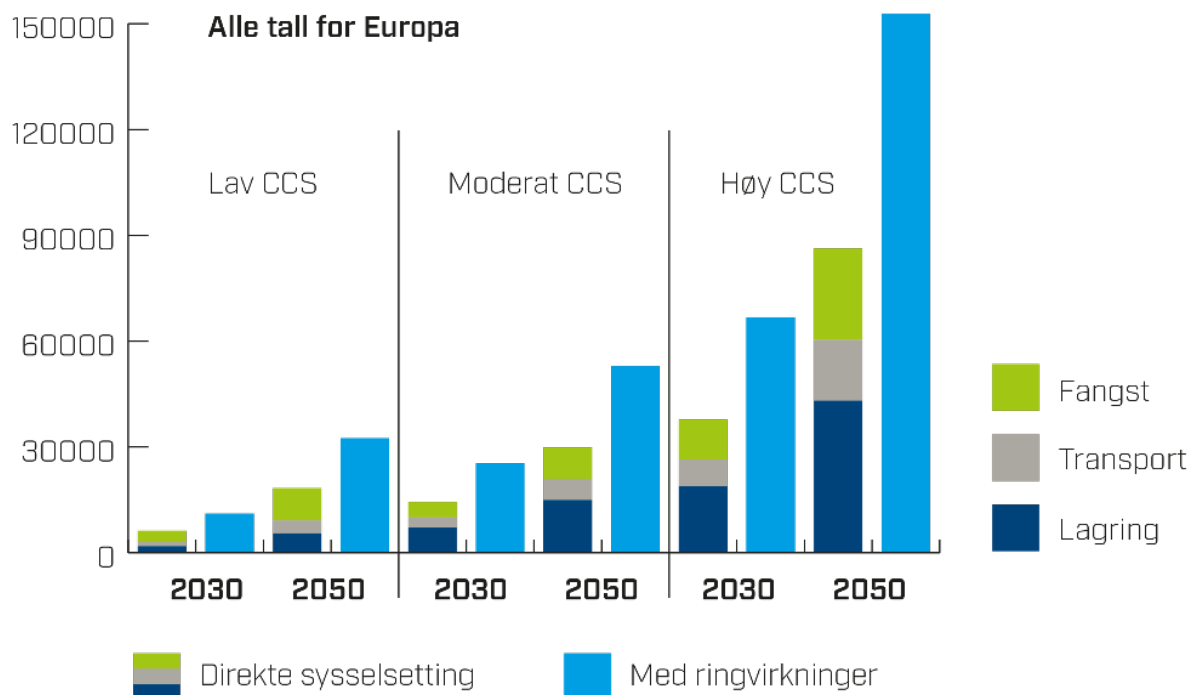
Om det norske fullskalaprojektet blir realisert, vil norske aktører kunne stå godt rustet i konkurransen i et fremtidig marked for CO₂-håndtering i Europa. Som vist i Figur 5, vil omsetningen *kun knyttet til kostnadene for CO₂-håndtering* kunne være mellom 65 og 400 milliarder NOK i 2030 og mellom 190 og 900 milliarder NOK i 2050. Til sammenlikning eksporterte Norge olje og gass til en verdi av 414 milliarder NOK i 2017⁴¹. Det reelle markedspotensialet for CO₂ vil kunne være større, da disse tallene for eksempel ikke tar høyde for eventuell profitt i markedet, gitt av en høy CO₂-kvotepris, eller høyere priser i fremtiden for produkter med lavere CO₂-fotavtrykk, men her er det flere variabler. Et slikt marked vil kunne gi grunnlag for økt verdiskaping for norsk industri i et europeisk marked. Figur 7 viser anslåtte sysselsettingstall for norske aktører i et europeisk marked for CO₂-håndtering. Disse tallene diskuteres i det følgende.

⁴⁰ [Kvalitetssikring \(KS1\) av KVM om demonstrasjon av fullskala fangst, transport og lagring av CO₂](#), Oslo Economics og Atkins. 2016.

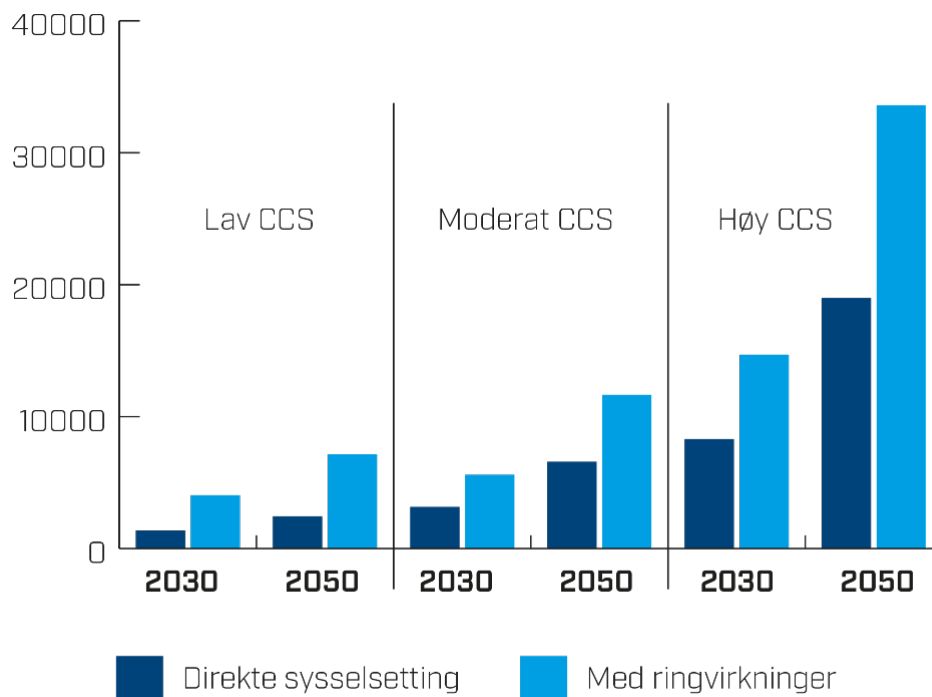
⁴¹ Norsk olje- og gasseksport, gitt av [Norsk Petroleum](#).



Figur 5. Tre scenarier for CO₂-håndtering i Europa: Lav CCS³⁸, Moderat CCS³⁸ og Høy CCS³⁹. Kostnad for CO₂-håndtering [NOK/tonn], mengde CO₂ fanget og lagret [Mtonn/år] og markedsomfang [milliarder NOK] 2030 og 2050.

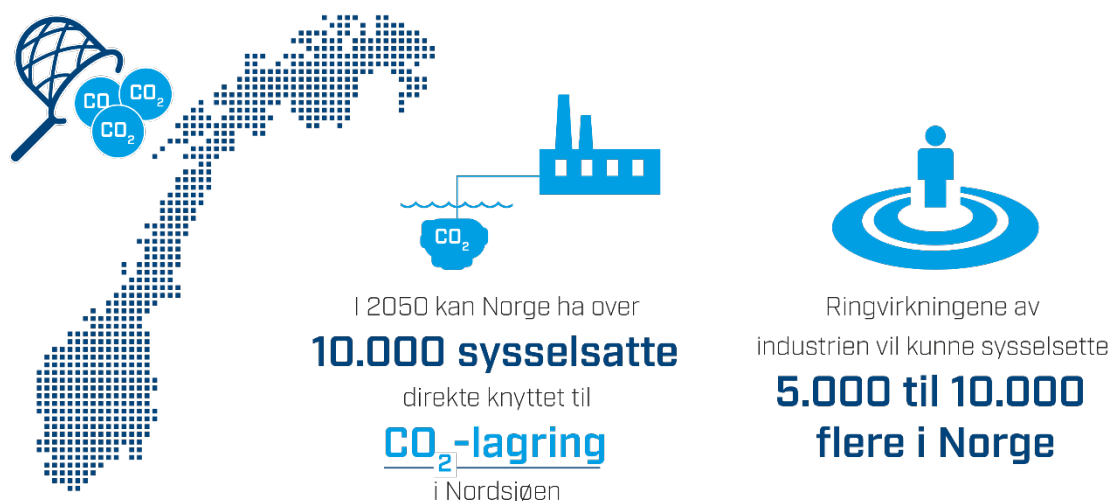


Figur 6. Estimerte sysselsettingstall for direkte og totalt antall (direkte og indirekte) arbeidsplasser innen CO₂-håndtering i Europa i 2030 og 2050 for scenariene Lav CCS³⁸, Moderat CCS³⁸ og Høy CCS³⁹.



Figur 7. Anslåtte sysselsettingstall for direkte og totalt antall (direkte og indirekte) arbeidsplasser innen CO₂-håndtering i Norge i 2030 og 2050 for scenariene Lav CCS³⁸, Moderat CCS³⁸ og Høy CCS³⁹.

En CO₂-lagringsindustri i Nordsjøen



Et sentrallager i Nordsjøen bestående av flere lagringslokasjoner for CO₂ kan bidra vesentlig i olje- og gasssektoren, hvor Norge allerede har investert mye, hatt store inntekter og det er behov for satsing for å opprettholde verdiskaping etter hvert som oljeproduksjonen faller. I 2050 vil Norge kunne ha over 10.000 sysselsatte direkte knyttet til CO₂-lagring i Nordsjøen, mens ringvirkningene kan sysselsette ytterligere 5.000 til 10.000.

CO₂-lagring har mange fellestrekk med petroleumsvirksomhet. Kartlegging av lagringssteder likner leting etter petroleumsvirksomhet, og CO₂ som skal lagres pumpes gjennom brønner ned til porøse bergarter som til nå har lagret olje, gass eller vann. Oljedirektoratet har kartlagt lagringspotensialet på norsk sokkel og deres CO₂ Atlas viser at det er teoretisk mulig å lagre 80 Gtonn CO₂. Mesteparten er i Nordsjøen hvor kapasiteten i såkalte akviferer (vannfylte sandsteinsformasjoner) er 48 Gtonn, og i tømte olje- og gassfelt 24 Gtonn.⁴² Geologiske formasjoner på norsk sokkel kan altså lagre CO₂ i et omfang som monner internasjonalt. Dersom 100 millioner tonn injiseres hvert år i 50 år, innebærer det lagring av 5 Gtonn CO₂.

Som vist i Figur 6 har vi anslått at antall arbeidsplasser knyttet til CO₂-lagring kan variere fra omkring 2.000 i 2030 for scenario Lav CCS til om lag 25.000 i 2050 for scenario Høy CCS. Storbritannia har estimert en lagringskapasitet på 78 Gtonn⁴³, Danmark 18 Gtonn, Sverige 15 Gtonn⁴⁴, og Nederland 2.5 Gtonn⁴⁵, så for enkelhets skyld kan vi anta at Norge besitter ca 40% av lagringskapasiteten i nordlig del av Europa. Det kan derfor være rimelig å anta at Norge kan ta en tilsvarende del av markedet for CO₂ lagring i Europa. Det innebærer mellom 2.000 og 2.500 arbeidsplasser tilknyttet CO₂-lagring i 2050 i scenario Lav CCS, og drøye 10.000 arbeidsplasser i scenario Høy CCS. Dette vil gi ringvirkninger knyttet til indirekte sysselsetting, slik at summen av direkte og indirekte sysselsatte knyttet til CO₂-lagring i Norge vil kunne være mellom 15.000 og 20.000 i 2050, ifølge scenario Høy CCS. Ved å ta en ledende rolle i tidlig fase - være en "early mover" - gjennom fullskalaprojektet, vil Norge ha mulighet til å kunne ta en enda større del av markedet.

Flere land i Europa ser til Nordsjøen for mulig lagring av CO₂⁴⁶. Nederland, Tyskland, Frankrike og Storbritannia har alle store CO₂ utslipp og de har vedtatt ambisiøse klimamål som blir krevende å oppfylle

⁴² [CO₂ samleatlas for Norsk kontinentalsokkel](#), Oljedirektoratet. Mai 2014.

⁴³ M. Bentham et.al.: CO₂ Storage evaluation Database. The UKs online storage atlas (2014) GHGT-12. [Lenke](#)

⁴⁴ K.L. Anthonsen et.al: CO₂ storage potential in the Nordic region (2012). NORDICCS conference [Lenke](#)

⁴⁵ F.Neele et al: Independent assessment of high-capacity offshore CO₂ storage options. Report (2012) [Lenke](#)

⁴⁶ [North Sea to the Rescue: The commercial and industrial opportunities of CO₂ storage in the North Sea](#), Bellona. Desember 2015.

uten CCS (Se Vedlegg A3). Bortsett fra Storbritannia og til en viss grad Nederland, er det lite egen lagringskapasitet, og landene er avhengige av lagring i andre områder, i første rekke Norge og Storbritannia dersom de skal inkludere CCS som tiltak. Sverige har netto nullutslipp av klimagasser i 2045 som mål, og selv om Sverige har identifisert noe lagringskapasitet, kan tilknytning til en norsk CCS kjede være attraktiv for raskere realisering av Sveriges ambisjon. The Global CCS Institute rapporterer stor interesse fra mange av deres internasjonale medlemmer knyttet til det norske fullskalaprojektet, og spesielt muligheten for å kunne ta imot CO₂ fra internasjonale aktører i Nordsjøen⁴⁷. Denne muligheten vil senke barrierene for andre europeiske land, og spesielt åpne muligheter for byer eller regioner som ønsker å legge til rette for CCS uavhengig av tilgang på nasjonal infrastruktur for CO₂-håndtering. Konkrete prosjekter som vil kunne koble seg på et norsk lager i Nordsjøen på kortere sikt, er Eemshaven⁴⁸ og Teeside-prosjektene⁴⁹.

Storbritannia har som Norge et stort potensial for lagring av CO₂ på sokkelen. En studie av forretningsmuligheter knyttet til CO₂-håndtering i Storbritannia⁵⁰, anslår at den britiske handelsbalansen har et negativt utslag på om lag 100 milliarder pund i perioden 2020 til 2060 om Storbritannia skulle levere sin CO₂ for lagring i et annet land, heller enn å la britiske aktører ta hånd om denne industrien. På den annen side styrkes den britiske handelsbalansen om Storbritannia selv kan tilby lagringskapasitet, siden de da kan motta CO₂ fra andre land som må betale for å levere CO₂'en fra seg. I sum konkluderer studien med at det vil være positivt for britisk økonomi å etablere et CO₂-lager i Storbritannia, sammenliknet med å levere til et annet lands lager. Disse resultatene vil også kunne være gjeldende i Norge, om Norge er først ute med å tilby sentrallager for CO₂ i Nordsjøen med stor nok kapasitet til å kunne motta CO₂ fra andre.

Med en olje- og gassindustri i verdensfronten hva gjelder kostnadseffektivitet, har Norge en unik posisjon til å bygge en konkurransedyktig offshore CCS industri. Kompetanse, teknologi og infrastruktur nødvendig for å etablere en kjede for CO₂-lagring finnes allerede, herunder kartlegging og detaljert karakterisering av undergrunnen, boring av brønner, bygging av infrastruktur, injeksjon av gass, overvåking av fluider i undergrunnen og nedstenging av brønner. Ved å satse på utvikling av en CO₂-lagringsindustri kan man for hver arbeidsplass opprettholde et antall tilsvarende det man ville tape ved en reduksjon innen olje og gass. Dermed kan sysselsettingen opprettholdes i regioner som rammes hardest av reduksjoner. I tillegg vil horisonten trolig være lenger enn dagens olje og gassindustri, siden lagring vil strekke seg betydelig lengre enn de tiårene man ser for seg med fortsatt oljeproduksjon. Utvikling av CO₂ lagring som industri kan også ha betydning for utnyttelse av infrastruktur som ellers må rives og fjernes.

I tillegg kommer muligheter knyttet til eksport av subsea utstyr, overvåkingsteknologi, materialer som er bestandig mot CO₂, brønnteknologi, instrumenter for lekkasjedeteksjon, verktøy for trykkontroll, med mer.

Norsk maritim industri kan transportere Europas CO₂

I 2050 vil det kunne være behov for en flåte på over 600 skip for transport av CO₂ i Europa, som vil kunne sysselsette 8.000 til 10.000 mennesker. Norske verft, rederier og tilliggende tjenestevirksomhet er godt posisjonert til å ta andeler i dette markedet.

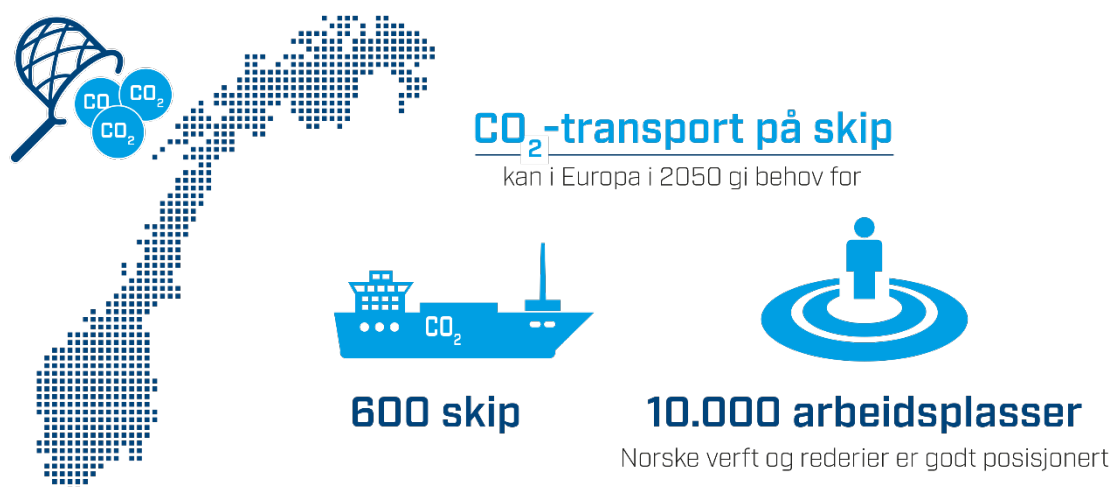
Norske aktører er i en særstilling knyttet til CO₂ transportert på skip. Larvik Shipping har over 30-års erfaring, som er uten sidestykke i Europa. Erfaringen er unik både knyttet til skipene som transporterer CO₂, og rederiets og mannskapets erfaring med frakt av CO₂-gass. Videre har frakt av CO₂ på skip klare paralleller til frakt av flytende naturgass (LNG), hvor både norske rederier og verft har helt sentrale posisjoner. Norge

⁴⁷ Basert på personlig kommunikasjon med [Global CCS Institute](#).

⁴⁸ [Projects of Common Interest](#), Global CCS Institute. September 2017.

⁴⁹ [Teeside Collective](#).

⁵⁰ [Clean Air, Clean Industry, Clean Growth: How Carbon Capture Will Boost the UK Economy](#), CCS Association. Oktober 2017.



som sjøfartsnasjon vil stille sterkt i konkurransen om CO₂-transportmarkedet i Europa, særlig om det realiseres et sentrallager i Nordsjøen, som er hjemmeområdet for norsk skipsfart.

Rederi- og verftsnæringen har tidligere vist evne til å være med å skape nye markeder, og vil kunne øke sin verdiskaping gjennom et fremvoksende marked for transport av CO₂ i Europa. Norske verftsmiljøer har vist stor konkurransekraft, spesielt innenfor segmenter med krevende teknologi og løsninger. De maritime miljøene har også vist stor evne til å vri seg mot nye markeder. Norske rederier har i mange tilfeller valgt å bygge sine skip på norske verft⁵¹, noe som også vil kunne være tilfellet i et kommende CO₂-marked. I tillegg vil det norske fullskalaprojektet bidra til å kvalifisere og posisjonere flere norske aktører for CO₂-markedet, og dermed bidra til et konkurransefortrinn sammenliknet med internasjonale konkurrenter. Som et eksempel på norske aktørers interesse, så har Larvik Shipping og Knutsen OAS Shipping samarbeidet med Gassco for å utrede mulige skipsløsninger som vil være aktuelle for det norske fullskalaprojektet⁵².

I fullskalaprojektet er flere skipstyper utredet, hvor det største har kapasitet på 9.000 tonn flytende CO₂. Det vil koste om lag 900 millioner NOK, om det bygges på verft i Vest-Europa⁵³. Fullskalaprojektet vil i seg selv kreve flere slike skip. Om halvparten av all CO₂ i Europa i henhold til scenario Høy CCS i 2050 fraktes med skip, vil det kreve en flåte på over 600 skip (antatt gjennomsnittlig rundreisetid på fire dager⁵⁴). Alt i 2030 ville det være behov for over 200 skip, med de samme antagelser. Til sammenlikning seilte det 50 gasstankere (LNG-skip) under norsk flagg i 2016⁵⁵.

Det samlede markedet for transport av CO₂ i Europa kan i henhold til vår modell ha et volum på mellom 15 og 80 milliarder NOK i 2030 og mellom 40 og 180 milliarder NOK i 2050. Til sammenlikning var norske rederiers samlede omsetning om lag 300 milliarder NOK i 2015⁵⁵. Om vi antar at CO₂ transportert på skip utgjør halvparten av det totale transportmarkedet for CO₂ i 2050 (den andre halvparten transporteres i rør), vil dette kunne gi grunnlag for mellom 1.500 og 8.000 til 10.000 sysselsatte i henholdsvis scenario Moderat CCS i 2030 og Høy CCS i Europa i 2050.

⁵¹ [Hurtigruten to Build Up To Four New Explorer Vessels](#), Hurtigruten. April 2016.

⁵² [Gassco tildeler studiekontrakter for CO₂-transport](#), Gassco. Februar 2016.

⁵³ Fullskala CO₂-transport med skip, rapportnummer PG23-NR.RF-17.138360, Gassco. November 2017

⁵⁴ Som beskrevet i referanse 53): I fullskalaprojektet er optimal rundreisetid estimert til fire dager, som innebærer én rundreise fra Oslo og langs kysten til Kollsnes og tilbake.

⁵⁵ [Maritim verdiskaping](#), Maritimt Forum. Mars 2016.

I perioder med stor investering og bygging av skip, vil sysselsettingstallet kunne være langt høyere, da vår modell belager seg på gjennomsnittlig sysselsatte over hele driftsperioden til hvert CCS-prosjekt (se Vedlegg B). I 2017 var det sysselsatt om lag 110.000 i den samlede maritime næringen i Norge⁵⁶. Av disse var om lag 15.000 sysselsatt innen sjøfart⁵⁷. Dette viser at om norske rederier og verft greier å etablere seg med signifikante andeler i det fremvoksende markedet, vil det kunne gi mulighet for vekst i flere bransjer. Som for lagringsindustrien, vil det også innen transport være ringvirkninger av det fremvoksende markedet knyttet til indirekte sysselsatte, som vil kunne utgjøre opp mot en dobling av sysselsatte²⁷.

Norske leverandører kan selge teknologi for fangst av CO₂ i et internasjonalt marked



Markedet for CO₂-fangstteknologi og -anlegg kan nå et omfang på over 450 milliarder NOK i Europa i 2050, og sysselsette over 40.000 mennesker. Norskutviklet teknologi vil kunne konkurrere i dette markedet, og har også spredningspotensial globalt.

I 2030 vil markedet for CO₂-fangst i Europa kunne ha et omfang på mellom 75 og 200 milliarder NOK. Det kan stige til mellom 155 og 450 milliarder NOK i 2050. Globalt vil markedet kunne ha et omfang på 8.500 milliarder NOK i 2050 i henhold til vår modell. Sysselsatte direkte knyttet til bygging og drift og CO₂-fangstanlegg i Europa vil kunne overstige 40.000 i 2050.

Norske aktører, særlig Aker Solutions, men også andre, har egenutviklede teknologier som vil kunne stille sterkt i konkurransen om det europeiske markedet. Akers teknologi er testet og validert på industriell skala ved blant annet Test Centre Mongstad og Norcem's sementfabrikk, og vil kunne bli kvalifisert for verdensmarkedet gjennom fullskalaprojektet. Hydrogen Mem-Tech er et annet norsk selskap som utvikler membranteknologi for å separere CO₂ og hydrogen fra naturgass, som er testet og demonstrert ved Statoils metanolproduksjonsanlegg på Tjeldbergodden. Andre norske leverandører viser også interesse for CO₂-fangst markedet, som Air Products Kristiansand og Compact Carbon Capture AS.

For norske aktører i dette markedet vil konkurransen fra utenfor Europa likevel være stor, med for eksempel Fluor og Mitsubishi som allerede etablerte kommersielle leverandører på verdensmarkedet. Om norske leverandører likevel greier å etablere en markedsandel på 10 % av det europeiske markedet, vil

⁵⁶ I henhold til tall fra Regjeringen.no. 2018.

⁵⁷ Tall fra SSB. Mai 2017.

dette kunne tilsvare over 4.000 arbeidsplasser i 2050, og et markedsvolum på omkring 45 milliarder NOK per år i henhold til scenario Høy CCS.

Prosjektutvikling og prosjektgjennomføring av CCS

Gjennom realisering av en fullskala kjede for CO₂-håndtering er det ventet at de involverte aktørene bygger erfaring som er relevant for fremtidige anlegg. For alle deler av kjeden gjennomføres konseptstudier. Omfattende teoretisk arbeid ledsages av testing av teknologiske løsninger fra laboratorie- til industriskala for å validere valgte konsepter og redusere usikkerhet i økonomiske anslag. Gjennomføring av prosjektene forutsetter nært samspill mellom industriaktører, leverandører og serviceselskaper. Slik kan norske aktører få erfaring gjennom fullskalaprojektet som kvalifiserer til å selge tjenester i kommende prosjekter i Europa, med basis i ekspertise innen planlegging, gjennomføring og styring av komplekse CCS-prosjekter.

Fullskalaprojektet vil gi industrien erfaring fra de tekniske løsningene og kostnad for fangst, transport og lagring. Det vil også kunne være en viktig "show case" for involverte aktører i forbindelse med utvikling av fremtidige prosjekter. Samspillet mellom industri og myndigheter gir nyttig læring for planlegging og gjennomføring av tilsvarende utbygginger, som kontraktsutforming, driftsfilosofi og operasjonelle avtaler. Som den første CCS kjeden i verden med fangst fra ulike industrikilder, fleksible skipstransportløsning og permanent lagring offshore, vil prosjektet gi unik erfaring med realisering av en hel CCS kjede.

3.3 Industrielle muligheter ved realisering av det norske fullskalaprojektet



Det norske fullskalaprojektet vil kunne gi opp mot 5.000 årsverk direkte knyttet til prosjektet, i hovedsak arbeidsplasser i Norge. Teknologiutvikling og -kvalifisering gjennom prosjektet vil kunne posisjonere norske aktører og gi konkurransefortrinn i det internasjonale markedet. Potensialet for spredning av teknologi og kunnskap er stort og kan gi avgjørende læring for utvikling av neste generasjons CO₂-håndteringsprosjekter.

Sysselsetting, teknologiutvikling og teknologikvalifisering

Det norske fullskalaprojektet vil kunne gi opp mot 5.000 årsverk, fordelt mellom rundt 650 årsverk per år over 4 år i byggeperioden, og i underkant av 100 årsverk per år over 25 år i driftsperioden, gitt at alle tre fangstprosjekter gjennomføres (se vedlegg B). Umiddelbare ringvirkninger vil forekomme knyttet til indirekte sysselsetting, som vil øke sysselsettingstallet med en faktor på litt under 2, og øke summen av

årsverk til mellom 8.000 og 9.000²⁷. På grunn av nærheten til det norske markedet er det rimelig å anta at de fleste av disse årsverkene vil tilfalle norske bedrifter.

For Norge vil likevel det viktigste med fullskalaprojektet, i tillegg til bidraget til å begrense utslipp av CO₂ fra norsk industri, være den erfaring og kompetanseutvikling norske aktører får. Norske leverandører og kompetansmiljøer vil være aktivt representert i alle deler av fullskalaprojektet, knyttet til fangst (norsk fangstteknologi), transport (rederier som drifter CO₂-skip, og eventuelt bygging av CO₂-skip ved norske verft), lagring (Statoil i samarbeid med Shell og Total, og en rekke leverandører) og håndtering av hele CO₂-kjeden (entreprenører og engineering-selskaper). Fullskalaprojektet vil gi disse aktørene unik erfaring gjennom bidrag til planlegging, gjennomføring og drift av en CO₂-infrastruktur. I tillegg vil de tre industriaktørene Norcem, Fortum og Yara besitte unik kompetanse og erfaring knyttet til rensing fra sine industrier. Samlet vil fullskalaprojektet bidra til å posisjonere norske aktører for det europeiske og globale markedet, som diskutert i Kapittel 0.

Spredningspotensial



Fullskalaprojektet inkluderer fangst fra tre ulike industrikilder og basert på utbredelsen av lignende prosessindustriplanlegg i verden, er det grunn til å tro at de valgte løsningene kan ha et betydelig spredningspotensial gjennom fremtidige prosjekter. To eksempler fra fullskalaprojektet er:

- **Sement:** Sementindustrien står for 5-6 % av de globale utslippene av CO₂⁵⁸ og det er derfor stort potensial for reduserte utslipp ved fangst og lagring. HeidelbergCement er i Belgia i gang med testing av andre teknologier for CO₂ fangst enn de som er testet hos Norcem⁵⁹. Selskapet er verdens nest største sement- og byggevarekonsern og har 80 sementfabrikker bare i Europa.
- **Avfallsforbrenning:** Globalt produseres 1,3 milliarder tonn husholdningsavfall per år, og mengden er økende. En stor andel er biologisk materiale, som gir et betydelig potensial for negative bidrag til samlede utslipp globalt, altså at man fjerner mer CO₂ enn det som slippes ut. I Sverige er utslippene fra biomasse store, slik at storskala realisering av CO₂ fangst og lagring kan gi betydelige bidrag til negative

⁵⁸ [Bigger Climate Action Emerging in Cement Industry](#), United Nations Climate Change. Oktober 2017.

⁵⁹ [HeidelbergCement hosts ground breaking ceremony for Calix carbon capture pilot project at Lixhe cement plant](#), Global cement. Februar 2018.

utslipp. Fortum som med sitt energigjenvinningsanlegg på Klemetsrud i Oslo er deltaker i fullskalaprojektet, har til sammen 23 kraft-varmeverk og 4 av dem i Sverige.

Eksemplene illustrerer at det norske fullskalaprojektet kan bidra med kvalifisert teknologi, løsninger og erfaring som kan monne i en global målestokk. Forutsetningen er at det finnes nok kvalifisert lagringsplass. Også her kan fullskalaprojektet spille en viktig rolle. Karakterisering og kvalifisering av et CO₂ lager på norsk sokkel vil gi ny innsikt om undergrunnen som kan være avgjørende for utviklingen av et europeisk sentrallager. Det er begrenset kunnskap tilgjengelig om offshoreformasjoner som ikke har vært utnyttet for petroleumsproduksjon, og kartlegging gjøres i stor grad med seismiske metoder og noen få letebrønner. Kunnskap samlet fra boring av injeksjons- og eventuelle overvåkingsbrønner gir ytterligere kunnskap om formasjonene og danner grunnlag for sikrere anslag på lagringskapasitet og optimale strategier for utnyttelse av lageret. I tillegg vil data som samles underveis i prosjektet, før, under og etter injeksjon, være relevant. Innsamlede data fra Sleipner og Snøhvit har i stor grad vært delt med industri- og forskningsmiljøer og har spilt en avgjørende rolle for internasjonal kunnskapsbygging de siste 20 årene⁶⁰.

Deling av kunnskap er et sentralt element i planen for gevinstrealisering i fullskalaprojektet og aktørene må gjøre dette for alle deler av kjeden. Kunnskap ervervet i prosjektet vil være verdifullt for aktører i fremtidige prosjekter, akademiske miljøer som arbeider sammen med industri for å utvikle neste generasjons teknologier, og myndigheter som skal beslutte mulig offentlig støtte.

Samtidig som denne rapporten skrives, konkretiseres det ambisjoner om CO₂-håndtering i vårt naboland, Sverige. Store deler av svensk industri vil 25. april 2018 overlevere et veikart for grønn konkurransekraft til den svenske statsministeren. I ni såkalte "färdplaner" beskriver man konkret hvordan omstillingen til fossilfrihet og økt konkurransekraft skal gå til. Flere av de svenske veikartene peker på viktigheten av å utvikle CCS-løsninger, f.eks. gruveindustrien: Den svenske gruveindustrien er EU's største, og står for 8 % av Sveriges CO₂-utslipp⁶¹. Som en av tre sentrale forventninger til politikerne ønsker de "Satsning på forskning och utveckling för fossilfria produktionsprocesser och CCS, inklusive testanläggningar och uppskalning".

Den svenske industriens interesse for CCS deles av regjeringen. I sin skrivelse "En klimatstrategi för Sverige" som regjeringen leverte til Riksdagen 12. april 2018, beskrives hensikten om å analysere CCS som mulig tiltak i en foreslått utredning om hvordan Sverige skal nå negative utslipp etter 2045⁶². Fokus er på industrier som jern og stål, sement og raffinerier, samt på biogene utslipp fra forbrenning av biomasse, som søppel-forbrenningsanlegg. Om en utvikling skjer i Sverige som beskrevet, vil det kunne være stor overføringsverdi fra det norske fullskalaprojektet. Spredning av erfaring, kompetanse og teknologi vil være meget relevant.

Norsk infrastruktur for CO₂-håndtering: et konkurransefortrinn for norsk industri

Infrastruktur binder landet sammen og gir næringsmuligheter i distriktene. Aktuelle eksempler er kraftnettet som gir strøm til landet, eller fergefri E39⁶³ som binder regionene sammen og senker terskelen for næringsutvikling i distriktene. En infrastruktur for CO₂-håndtering vil også kunne gi muligheter for næringsutvikling. CO₂-håndteringskjeden som planlegges i fullskalaprojektet dekker norskekysten fra Oslo til Kollsnes, og vil kunne utvides til resten av landet. Dette vil være en viktig infrastrukturinvestering som kan gi omfattende ringvirkninger i form av ny og videreutvikling av eksisterende næringsvirksomhet.

⁶⁰ Eksempel på deling av kunnskap. S.Hagen: [Sleipner: Knowledge sharing in CCS projects](#). 2012.

⁶¹ [LKAB, mfl: Nu gör vi gruvan fossilfri](#), Di. April 2018.

⁶² [En klimatstrategi för Sverige](#), Regjeringens skrivelse. April 2018.

⁶³ [Fergefri E39](#) har en estimert kostnad på 340 milliarder NOK, eller om lag 15 ganger mere enn det norske fullskalaprojektet.

Et viktig spørsmål i denne sammenheng er hvorvidt det vil gi økt konkurransekraft for norsk industri at CO₂-infrastrukturen etableres i Norge, sammenliknet med om norsk industri må levere sine klimagasser til andre land. En opplagt effekt er at den geografiske nærheten vil gi lavere transportkostnader. En norsk satsing på infrastruktur vil også bidra til å utvikle norske leverandørers produkter, slik at industrien kan benytte norske tilbydere når de skal etablere egne fangstprosjekter. Operatørene av en norsk CO₂-infrastruktur vil sannsynligvis i utstrakt grad være norske.

At norsk industri kan samarbeide med andre norske bedrifter knyttet til CO₂-håndtering, vil kunne være et konkurransefortrinn i seg selv. Dette er begrunnet i at den norske arbeidslivsmodellen karakteriseres av høy produktivitet og tillit på både virksomhets- og samfunnsnivå⁶⁴. Tillit mellom bedrifter senker transaksjonskostnadene på grunn av et mer effektivt samarbeid. Dette vil norsk industri nyte godt av, og det vil bidra til å senke barrierer for norsk industri knyttet til CO₂-håndtering, sammenliknet med om andre land ble første tilbydere av en CO₂-infrastruktur.

4 Samfunnsøkonomisk lønnsomhet for CO₂-håndtering

CO₂-håndtering er nødvendig for å begrense den globale oppvarmingen i henhold til målsettingene i Parisavtalen. Det er imidlertid mange usikkerhetsfaktorer ved beregning av samfunnsøkonomisk lønnsomhet for ett spesifikt prosjekt: Vil verdenssamfunnet overholde Parisavtalen og kutte utslippene nok til at en når målene i Parisavtalen? Hva blir i så fall fremtidig kvotepris? Bidrar demonstrasjon av fullskala CCS i Norge til at andre fullskalaanlegg blir bygget? Hvordan vil kostnadene for fullskala CCS utvikle seg? Mange usikre faktorer påvirker slike lønnsomhetsberegninger.

Kvalitetssikring av konseptvalgsutredningen om fullskalaprojektet

For å sikre effektiv bruk av fellesskapets ressurser, gjennomføres eksterne utredninger for kvalitetssikring av konseptvalg for statlige investeringer. To utredninger er gjennomført for kvalitetssikring av det norske fullskalaprojektet for CO₂-håndtering^{65,66}. Ifølge beregninger i utredningene er ikke fullskalaprojektet samfunnsøkonomisk lønnsomt. I et "basisscenario" er underskuddet 20.7 milliarder kroner, og det gir en kostnad på ca. 1.400 NOK per tonn lagret CO₂.

Viktige premisser som er utslagsgivende for de samfunnsøkonomiske vurderingene i kvalitetssikringen er:

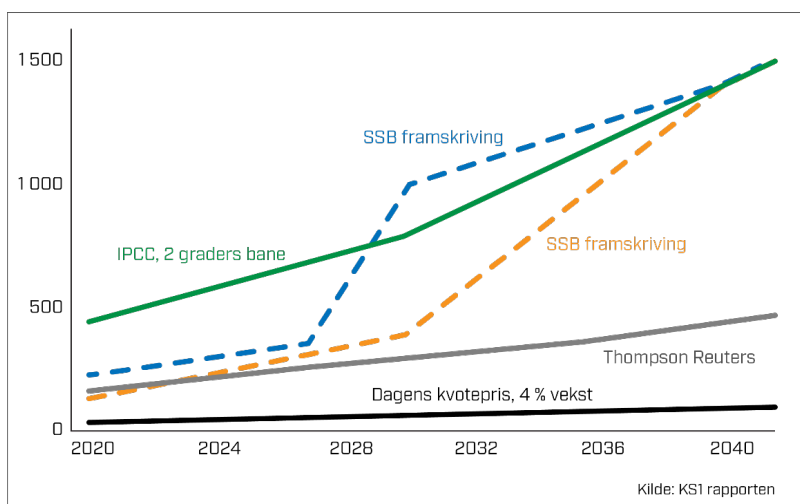
- En lineært fremskrevet kvotepris (jf. kurven Thompson Reuters i Figur 8), som gir en mye lavere kvotepris enn det IPCC sier må til for å nå 2-raders målet (jf. IPCC, 2 graders bane i Figur 8).
- Fullskalaprojektet er det første og siste i sitt slag.

I et alternativt 2-graders scenario, med høyere kvotepris og hvor vi får en gevinst av teknologisk læring fordi fullskalaprojektet etterfølges av flere CCS-prosjekter, reduseres underskuddet fra 20.7 til 1.8 milliarder kroner. Videre diskuteres flere ikke-prissatte virkninger i utredningene. Det nevnes spesielt at fullskalaprojektet vil øke internasjonal kunnskap om at CO₂-håndtering er et mulig og trygt klimatiltak ("demonstrasjonseffekten").

⁶⁴ Rapport nr. 37-2016 på oppdrag fra Kunnskapsdepartementet, Samfunnsøkonomisk analyse. 2016.

⁶⁵ Kvalitetssikring (KS1) av KVVU om demonstrasjon av fullskala fangst, transport og lagring av CO₂, Oslo Economics og Atkins. 2016.

⁶⁶ Kvalitetssikring (KS2) av demonstrasjon av fullskala fangst, transport og lagring av CO₂ Rapport fase 1 og 2, Oslo Economics og Atkins. Februar 2018.



Figur 8. Framskrivninger for kvotepriser (NOK/tonn) i KS1⁶⁵ (Kilde: Oslo Economics).

Flere andre forutsetninger vil kunne påvirke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten:

Det blir dyrere å oppnå 2-gradersmålet uten CCS

Kostnaden ved andre klimatiltak enn CCS vil bli langt høyere enn kostnaden ved å redusere utslippene av klimagasser. IPCCs analyser viser at det blir 140 % dyrere å nå 2-gradersmålet uten CO₂-håndtering. Flere studier, herunder IEA, sier at det ikke blir mulig å nå 2 graders målet uten CCS. En del industriutslipp kan ikke håndteres på andre måter, fordi CO₂ følger som en naturlig del av den industrielle prosessen. Det vil også bli behov for negative utslipp frem i tid slik at CO₂ kan trekkes ut av kretsløpet. Eneste kjente mulighet for dette er Bio-CCS, som innebærer fangst av CO₂ fra forbrenning av biomasse. Et vellykket fullskalaprojekt kan være et steg på veien også mot Bio-CCS.

Det viktigste miljømessige motivet for fullskalaanlegget er at prosjektet kan bidra til at tilsvarende anlegg blir bygget, gjennom demonstrasjonseffekten. Hvis en lykkes med fullskalaprojektet, kan det i et slikt perspektiv bli samfunnsøkonomisk lønnsomt, selv om de prissatte virkningene av prosjektet skulle være negative.

Forventninger om fallende kostnader

I et 2 graders scenario med betydelig utbygging av CCS, angir kvalitetssikringsrapportene at teknologisk læring fra fullskalaprojektet i sum gir en kostnadsreduksjon for alle fremtidige prosjekter på 3.5 milliarder kroner, dvs. ca. 14 % av kostnadene for fullskalaprojektet.

Dersom det blir realisert, vil prosjektet være det tredje offshore lagringsprosjektet, etter Sleipner og Snøhvit. Men det finnes i dag ingen andre eksempler på fangstprosjekter fra flere uavhengige industrikilder med fleksibel infrastruktur og geologisk lagring av CO₂ uten EOR. Fullskalaprojektet vil derfor være det første i sitt slag. Andre prosjekter med fangst av CO₂ fra industri er Quest i Canada som fanger CO₂ fra hydrogenproduksjon og prosjektet Illinois Industrial CCS som fanger CO₂ fra etanolproduksjon. Men begge prosjektene har én kilde og lagring skjer onshore. Det samme gjelder for Gorgon prosjektet under bygging i Australia, hvor 3,5-4 million tonn CO₂ fra naturgassprosessering skal lagres uten EOR onshore.

Prosjektet Boundary Dam med CO₂-fangst fra kullfyrt kraftproduksjon er også det første i sitt slag. Her anslås læringseffekten som høy, og at kostnaden for neste anlegg vil være 20-30 % lavere enn det som nå

er bygget⁶⁷. Dette er altså vurdert læring ved Boundary Dam fra prosjekt 1 til prosjekt 2. Erfaringer fra utvikling av teknologier for fornybar energi peker i samme retning. Dagens solcellepaneler koster en brøkdel av hva de gjorde for 20 år siden. Utviklingen innenfor batteriteknologi har ført til at kostnadene har sunket med 7 % per år siden 2010, og de forventes å synke med ytterligere 6 % per år frem til 2025.

Skalaeffekter

Utbygging av infrastrukturen for transport og lagring av CO₂ er en vesentlig del av kostnaden for fullskalaprojektet. Med noen justeringer kan denne infrastrukturen brukes til å lagre CO₂ fra flere kilder. NORDICCS-prosjektet⁶⁸, som studerte implementering av CCS i et nordisk perspektiv, fant at kostnaden per anlegg for å etablere en infrastruktur av skip og lager i Nordsjøen, går kraftig ned når tallet på anlegg stiger, i forhold til om et fåtall prosjekter skal bære denne kostnaden alene.

Europeiske finansieringsmekanismer

Europeiske finansieringsmuligheter påvirker ikke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av prosjektet fra et globalt eller europeisk perspektiv, men det kan gjøre prosjektet mer attraktivt fra et norsk perspektiv. I 2017 ble fire CCS-prosjekter lagt til den europeiske listen over kvalifiserte "Projects of Common Interest" (PCI). Tre av de fire PCI-ene, har tilknytning til et norsk CO₂-lager i Nordsjøen. Når et prosjekt er kvalifisert, kan det søke om finansiering fra "Connecting Europe Facility" (CEF), et infrastrukturfond på 30 milliarder euro⁶⁹. Av disse er 5,35 milliarder euro tilgjengelige for prosjekter innen energi, deriblant CCS.

EU har nylig vedtatt en revisjon av sitt kvotehandelssystem (ETS), som skal være gjeldende fra 2021⁷⁰. Her vurderes det å opprette et innovasjonsfond som skal finansieres gjennom salg av klimakvoter⁷¹. Størrelsen på fondet vil avhenge av kvoteprisen, men kan ifølge beregninger overstige 40 milliarder NOK⁷². Fondet skal bidra til å kommersialisere klimateknologier gjennom bidrag til etablering og storskala demonstrasjon, og vil dekke tre hovedkategorier teknologi: fornybar energi, lavutslippsteknologier i energiintensiv industri, og CO₂-håndtering. Fondet vil kunne få stor betydning for finansiering av CCS-prosjekter i Europa.

Bedre ressursutnyttelse i utbygde felt

Petroleumsvirksomhet er kapitalintensiv, og det er viktig å få god ressursutnyttelse i åpne felt. Bruk av CO₂ til å få mer ut av et eksisterende felt gjennom CO₂-EOR, kan gi inntekter til et CO₂-håndteringsprosjekt. Petrobras sitt prosjekt ved Lula oljefelt i Brasil er eneste offshore CO₂-EOR i verden og lagrer 700.000 tonn CO₂ per år. Det norske fullskalaprojektet med tre industrikilder vil gi opptil 1,4 Mtonn CO₂/år. Tidligere studier viser at dette sannsynligvis er for lite til at EOR kan bli en inntektsmulighet på norsk sokkel på kort sikt, fordi EOR for oljefelt i Nordsjøen vil kreve stabil tilførsel av flere millioner tonn per år^{73,74}.

Verdien av norsk gass

CCS kan bidra til å øke verdien av norsk naturgass i en fremtid hvor Europa i mindre grad vil bruke fossile energikilder. To mekanismer gjør dette spesielt relevant, sett fra et norsk perspektiv:

⁶⁷ [Carbon Capture and Sequestration Technologies program at MIT](#), MIT. September 2016.

⁶⁸ Marit Mazzetti, Nils Røkke og Nils Eldrup, [NORDIC CCS Roadmap](#). Desember 2015.

⁶⁹ [Connecting Europe Facility](#), INEA. April 2018.

⁷⁰ [Kvotehandelsdirektivet](#), Europalov. April 2018.

⁷¹ [Public Consultation on the Establishment of the Innovation Fund](#), European Commission. Januar 2018.

⁷² [Høringssvaret fra den danske regjeringen](#), Den danske regjeringen. Mars 2018.

⁷³ Oljedirektoratet: [Muligheter for gjennomføring av CO₂ injeksjonsprosjekt for økt utvinning på norsk sokkel](#). 2005.

⁷⁴ Willie Reid: [A Selective Literature Review of CO₂ EOR in the UK North Sea Continental Shelf](#). 2015.

- Dersom CO₂ innholdet i naturgassen ikke håndteres med CCS kan det ha betydning for strategiske beslutninger både på politisk nivå og blant store industriaktører i EU, som igjen kan bidra til redusert etterspørsel og dermed lavere pris på naturgass.
- Uten CCS vil sannsynligvis fremtidig kvotepris bli meget høy dersom kvotetaket settes i henhold til et 2 graders scenario. Isolert sett bidrar dette til redusert lønnsomhet for naturgass på grunn av CO₂-innholdet.⁷⁵ Med CCS vil kvoteprisen reduseres.⁷⁶

Hydrogen produsert fra naturgass med CO₂-håndtering vil være en energibærer med et lavt CO₂-fotavtrykk. Den kan brukes i hydrogenkraftverk, til varmeproduksjon, som innsatsfaktor i prosessindustrien, og som drivstoff for marin og landbasert transportsektor, som erstatning for naturgass eller andre fossile brensler.

⁷⁵ Et kompliserende element her er relativ lønnsomhet mellom ulike fossile brensler

⁷⁶ Med CCS er det pris på CCS-tjenesten som er viktig for lønnsomheten, men prisen på en CCS tjeneste vil sannsynligvis forankres i kvoteprisen dersom en lar markedsmechanismene virke og ikke regulerer ved påbud. Et kompliserende element er relativ lønnsomhet mellom ulike fossile brensler

Vedlegg A: Fullskala CO₂-håndtering i Norge – underlag

A1. CCS som klimatiltak

Hva er CO₂-fangst og lagring?

CCS (Carbon Capture and Storage) er fellesbetegnelsen for teknologier som reduserer utslipp av CO₂ fra industrielle anlegg til atmosfæren. Teknologiene omfatter fangst, transport og lagring. Fangst foregår ved at CO₂ skilles fra andre gasser i utslippsstrømmen gjennom en kjemisk eller fysisk prosess. Gassen komprimeres til en væskelignende tilstand som transporteres i rørledninger eller skip/tankbiler til et egnet sted for lagring. Her blir CO₂ injisert ned i porøse, geologiske formasjoner i undergrunnen, dekket av tette bergarter som hindrer at CO₂ lekker ut. CCS-teknologier er aktuelle for å få ned utslipp fra kraftverk basert på kull, olje og gass, fra stålverk, sementfabrikker eller andre industribedrifter.

Tre anvendelsesområder for CO₂-fangst

Tradisjonelt er CO₂-fangst blitt studert som en løsning for kull- og gasskraftverk, for å kunne produsere elektrisk kraft med vesentlig reduserte utslipp. I Norge vil dette være aktuelt for kraftproduksjon på oljeplattformer, som omtrent utelukkende baserer seg på gassturbiner.

I den senere tid har CO₂-fangst fra energikrevende prosessindustri fått større oppmerksomhet. I slike industrier, som for eksempel sement, stammer CO₂ både fra brensler som skaper nødvendig varme for prosessen, og fra foredling av råstoffet, som for sement er kalkstein. Sementanlegget kan ikke bli utslippsfritt uten CO₂-fangst, selv om energibehovet blir dekket av fornybar kraft og biobrensler.

De to CCS-prosjektene i Norge, Sleipner og Snøhvit, har til felles at CO₂'en som fanges kommer opp sammen med naturgassen fra reservoaret, såkalt assosiert CO₂. For å selge naturgassen må CO₂ fjernes. På Sleipner og Snøhvit transporteres og injiseres CO₂ i undergrunnen for permanent lagring. I andre anlegg slippes den assosierte CO₂'en ut etter at den er separert fra naturgassen.

Status for CCS internasjonalt

Antall fullskala CCS-prosjekter globalt har økt de senere år. Totalt er 17 anlegg i drift, mens 5 er under bygging^{77,78}. Til sammen vil disse prosjektene bidra til lagring av ca. 38 millioner tonn CO₂ per år. Prosjektene er spredt over store deler av kloden og porteføljen inkluderer prosesser som fanger CO₂ fra et vidt spekter av kilder. Blant dem er CO₂ fra kullfyrt kraftproduksjon ved Boundary Dam i Canada, fra jern- og stålproduksjon i Abu Dhabi, hydrogenproduksjon i Quest i Canada, gjødselproduksjon flere steder i USA, produksjon av bioetanol i Illinois i USA, i tillegg til naturgassprosessering i de norske prosjektene Sleipner og Snøhvit. Blant prosjekter under bygging finner vi CCS for et oljeraffineri i Alberta i Canada og to anlegg for kjemisk produksjon fra kull med CCS i Kina.

15 prosjekter er under planlegging og 8 av disse kommer i Kina eller Sør-Korea. I tillegg til det norske fullskalaprojektet er de resterende prosjektene i USA (2), Australia (2) og UK (2). For anlegg under planlegging er det en større andel med CCS for kraftproduksjon enn for industri, men prosjektene inkluderer også industriprosesser, som produksjon av kjemikalier og gjødsel. Samlet lagringspotensial for prosjektene under planlegging er ca. 27 millioner tonn CO₂ per år.

⁷⁷ [Large-scale CCS facilities](#), Global CCS Institute. April 2018.

⁷⁸ GCCSI sin definisjon av fullskalaprojekt: For kullkraft >800 millioner tonn CO₂ per år, for industri >400 millioner tonn CO₂ per år, forutsetter injeksjon av CO₂ i dedikert lager og/eller som trykkstøtte for økt utvinning (CO₂ EOR), og det må dokumenteres permanent lagring. Mangel på tilstrekkelig monitorering for CO₂ lagring gjør at mange CO₂-EOR prosjekter ikke er inkludert i database.

I Europa er to norske CCS-prosjekter i drift; Sleipner og Snøhvit. I tillegg til det norske fullskalaprojektet er to britiske prosjekter for CO₂ håndtering under planlegging:

- Teesside Collective: Fangst av 800.000 tonn per år fra industri fra starten, men med en ambisjon om å øke til 10 millioner tonn per år, lagring offshore i Nordsjøen med indikert oppstart i 2025.
- Caledonia Clean Energy Project: Fangst fra 3 millioner tonn CO₂ fra gasskraftproduksjon, og lagring i skotsk del av Nordsjøen, indikert oppstart 2024.

Det gjennomføres også mulighetsstudier for fullskala CCS-kjeder i Storbritannia, Irland og Nederland ⁷⁹. I 2012 etablerte EU-kommisjonen et program for å støtte utvikling av nøkkelprosjekter for energiinfrastruktur for medlemslandene; Projects of common interest (PCI)⁸⁰. Etablering av infrastruktur for CO₂-transport over landegrensene inngår i ordningen. I 2017 inkluderte EU fire CO₂ prosjekter på listen over PCI prosjekter som er kvalifisert for støtte og som støtter opp under flere av mulighetsstudiene. Et av PCI prosjektene ledes av Statoil og adresserer transport av CO₂ fra Teesside Industry Cluster og Eemshaven i Nederland (Nuons Magnum prosjekt) og lagring på norsk sokkel. I alle PCI-prosjektene er CO₂ tenkt lagret i ulike deler av Nordsjøen.

GCCSIs database inkluderer også 85 pilot- og demonstrasjonsprosjekter over hele verden. 23 er i drift, 15 er under planlegging eller konstruksjon, og resten er avsluttet. Disse prosjektene har vært viktige for teknologivalidering og -demonstrasjon for å få operasjonell erfaring med design og utbygging av fullskalaprosjekter. Et norsk eksempel er fasiliteter for uttesting av fangstteknologi ved Norcems sementfabrikk ved Brevik. Et omfattende testprogram er gjennomført fra 2013 til 2017, og danner grunnlag for konseptvalg i fullskalaprojektet. Det er etablert en rekke testsentre hvor forskningsinstitusjoner og industri jobber sammen for utvikling og utprøving av ny teknologi. Norske eksempler er Testsenter Mongstad for fangstteknologi som kan bidra til kostnadsreduksjon og CO₂ feltlaboratorium på Svelvik (CO₂FieldLAB) for utvikling av teknologi for overvåking⁸¹.

A2. Status for CCS i Norge i 2018

Eksisterende prosjekter

Norge har vært en pioner innen kommersiell CO₂ lagring gjennom Sleipner- og Snøhvit-prosjektene. Innføringen av CO₂ skatt og ønsket om å prøve ut ny teknologi var viktige drivkrefter bak investeringsbeslutningene. Utviklingen av CCS i Norge, kommersielt, teknologisk og i forhold til regulatorisk rammeverk, er resultat av et nært samarbeid mellom myndigheter, industri og forsknings-miljøer. Begge prosjekter er gjennomført som planlagt og ingen lekkasjer av CO₂ er observert.

⁷⁹ [Norges bidrag til et europeisk nettverk for CO₂-fangst og -lagring](#), Bellona. Mars 2018.

⁸⁰ [Projects of Common Interest](#), Global CCS Institute. September 2017.

⁸¹ Barrio, M. et al.: [CO₂ Migration Monitoring Methodology in the Shallow Subsurface: Lessons Learned From the CO₂FIELDLAB Project](#), TCCS-7. Juni 2013.

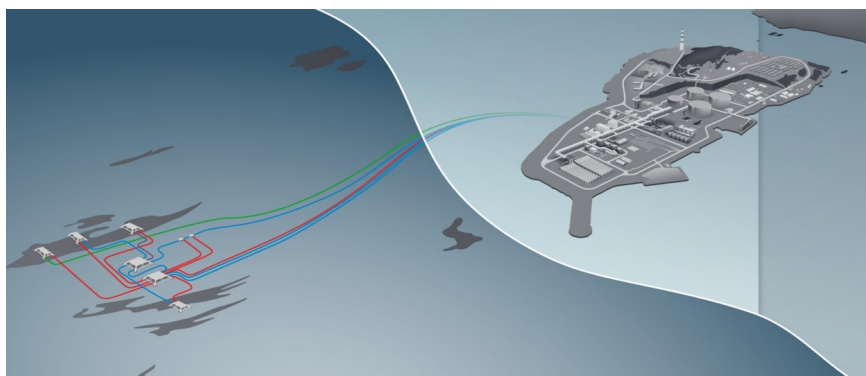


Figur 9. Sleipnerplattformen med CO₂ separasjon i sentrum (Kilde: Statoil)

Sleipner CO₂ fangst og lagring

Sleipner, med oppstart i 1996, er verdens første kommersielle CO₂ lagringsprosjekt. Naturgassen fra Sleipner Vest-feltet inneholdt opp mot 9 % CO₂. For å møte salgsspesifikasjonene måtte mengden reduseres til 2.5 %. CO₂'en ble skilt fra naturgassen offshore på plattformen, komprimert og injisert gjennom en brønn i sandsteinsformasjonen Utsira. Siden 2014 har CO₂ fra gassfeltet Gudrun blitt lagret i samme formasjon. Årlig injiseres ca. 850 000 tonn CO₂ på Sleipner, og totalt er det lagret 17 millioner tonn. Dersom Statoil som operatør for Sleipner hadde valgt å slippe ut CO₂ i stedet for å lagre, ville det medført en årlig kostnad på 481 MNOK med dagens CO₂ skatt⁸².

Sleipner-prosjektet dokumenterte at CO₂ lagring er teknisk mulig. Det har gitt omfattende kunnskap om fullskala lagring, spesielt knyttet til overvåking av reservoaret. Kunnskap og data fra Sleipner er i stor grad delt med nasjonale og internasjonale aktører og er en referanse for forskning og utvikling.



Figur 10. Konsept for Snøhvit med CO₂-fangst fra naturgass transportert til land på Melkøya. CO₂ transporteres i rør ut til feltet og injiseres under havbunnen (Kilde: Statoil).

⁸² [Stortingsvedtak om CO₂-avgift i petroleumsvirksomheten på kontinentalsokkelen for budsjettåret 2018](#), Lovdata. Desember 2017.

Snøhvit CO₂ fangst og lagring

Produksjon av flytende gass (LNG) basert på naturgass fra Snøhvitfeltet i Barentshavet, startet på Melkøya nær Hammerfest i 2007. Gassen inneholder 5-8 % CO₂, som separeres ut ved hjelp av aminteknologi, etter at gassen er fraktet i rør til land. Fra Melkøya transporteres CO₂'en tilbake til feltet i verdens første offshore CO₂ transportrør (150 km), og injiseres mer enn 2000 meter under havbunnen i sandsteinsformasjonen Tubåen, og etter 2011 i Støformasjonen. Ved normal drift injiseres 1800 tonn CO₂ per dag, årlig 700 000 tonn. Totalt er mer enn 4 millioner tonn CO₂ fra Snøhvit lagret.

Snøhvitprosjektet baserte seg i stor grad på kunnskap og erfaringer fra Sleipner. En viktig læring fra prosjektet har vært integrasjon av avanserte geofysiske metoder og kunnskap om injektivitet for optimal utnyttelse av lagerkapasiteten



Figur 11. Test Centre Mongstad (Kilde: Statoil).

Technology Centre Mongstad (TCM)

Gjennom Technology Center Mongstad (TCM) har Norge tatt en ledende rolle i teknologiutvikling knyttet til CO₂ fangst. TCM ble etablert i 2012 som et samarbeidsprosjekt mellom den norske stat, Statoil, Shell og Total. Anlegget inkluderer to enheter for fangst av CO₂ etter forbrenning; en designet for aminbaserte solventer og en for nedkjølt ammoniakk. TCM har kapasitet til å fange 100 000 tonn CO₂ pr. år og er dermed verdens største anlegg for utvikling og testing av fangstteknologier. Anlegget ligger ved oljeraffineriet Mongstad nordøst for Bergen, og tilbyr realistiske betingelser. TCMs fleksible design muliggjør utprøvinger for en rekke industrielle prosesser i tillegg til gass- og kullfyrte kraftverk.

TCM samarbeider med norske og internasjonale teknologileverandører. Blant teknologiene som er testet er en aminprosess fra Aker Solutions (tidligere Aker Clean Carbon). Aker spesialiserte seg på utvikling og salg av teknologi for CO₂ fangst. I tillegg til testkampanjer for en rekke leverandører, har TCM gjennomført egne kampanjer i samarbeid med ulike aktører.

Norsk kompetanse innen CO₂-håndtering

Norske industri- og teknologiaktører

Norske aktører har erfaring og kompetanse som gir konkurransefortrinn i et fremtidig marked for transport og lagring av CO₂. Statoil har lagret CO₂ offshore trygt i mer enn 20 år og står i en særklasse internasjonalt. Statoils rørledning til Snøhvit er verdens første offshore rørledning for CO₂. Trygg transport av CO₂ over land har også en lang historie, særlig i Nord-Amerika. Larvik Shipping har transportert CO₂ i flytende form på skip fra Yaras ammoniakfabrikk på Herøya til det europeiske markedet siden 1988 og har dermed 30 års erfaring som Europas omtrent eneste tilbyder av tjenesten.

Aker Solutions står i en særstilling blant norske aktører innen CO₂-fangst. De har utviklet sin amin-baserte teknologi over mange år, blant annet gjennom samarbeid med SINTEF i SOLVit-programmet, finansiert blant annet av Gassnova. Akers fangstteknologi er testet på TCM og på Norcems sement-fabrikk på Brevik. Aker Solutions er aktuell som leverandør av fangstteknologi for aktørene i fullskalaprojektet. Det finnes også andre, mindre selskaper på CO₂-markedet. Hydrogen Mem-Tech AS (datterselskap av Reinertsen New Energy) og CoorsTek Membrane Sciences utvikler membranteknologier i Norge for separasjon av CO₂ fra hydrogen. Begge samarbeider med norske forskningsmiljøer. Hydrogen Mem-Tech har testet teknologien i pilotskala ved Statoils metanol-fabrikk på Tjeldbergodden. OCTIO AS er et teknologiselskap innen geofysisk overvåking, som tilbyr tjenester knyttet til seismikk, 4D gravimetri og innsyningsdata til olje- og gassindustrien. Teknologien har vært benyttet i tilknytning til CO₂ lagring.



Figur 12. Aker Solutions har designet og konstruert en mobil testenhet for aminrensing som er utprøvd i USA, Skottland og Norge (Kilde: Aker Solutions).

Forsknings- og kompetansemiljøer

Forskningsrådet og Gassnovas program CLIMIT har støttet forskning og utvikling innen CO₂-håndtering siden 2005, med bevilgninger fra 50 til 200 MNOK årlig til forskning og pilotering. I tillegg støttet Forskningsrådet i perioden 2009 til 2016 to Forskningscentre for Miljøvennlig Energi (FME); BIGCCS, ledet av SINTEF, som dekket hele CCS-verdikjeden, og SUCCESS, ledet av Christian Michelsen Research, som fokuserte på CO₂ lagring. I 2016 ble FME NCCS (2017-2024) innvilget, også dette er støttet av Forskningsrådet. Budsjett for hvert av sentrene er i størrelsesorden 300-500 millioner NOK.

Norske forskningsmiljøer ligger langt fremme og er attraktive samarbeidspartnere internasjonalt. Aktørene har et solid inngrep i EUs rammeprogram for forskning (nå Horisont 2020). På den største vitenskapelige konferansen om CO₂-håndtering (GHGT, sist avholdt i Lausanne i 2016) var norske forskere medforfattere på 16 % av alle bidrag. På verdensbasis har norske forskere stått for om lag 5 % av alle vitenskapelige publikasjoner over de siste ti årene. Norske forskningsmiljøer er derfor godt rustet til å bidra til teknologiutvikling og forskningsfremskritt ut over det norske fullskalaprojektet.

A3. Klimamål og politiske avveininger

Nasjonale og internasjonale klimaavtaler

På FNs klimatoppmøte i Paris i desember 2015 ble 195 land enige om kutt i utslipp av klimagasser for å begrense den globale oppvarmingen til mellom 1,5 og 2 grader innen utgangen av vårt århundre. Alle land som slutter seg til avtalen forplikter seg til å lage nasjonale planer for hvordan de skal kutte i sine utslipp, og det skal rapporteres på utslippskuttene hvert femte år fra og med 2023. Land som fortsatt øker sine utslipp skal nå toppen så raskt som mulig, og senest i 2030. Der etter skal mengden utslipp gå ned. I andre del av århundret, en gang mellom 2050 og 2100, skal landene være klimanøytrale.

Norge er blant landene som har sluttet seg til Paris-avtalen. I tillegg har norske politikere gjennom klimaforlikene i Stortinget vedtatt egne mål for norske klimatiltak, og blitt enige om hvordan målene skal nås. Avtalen inneholder mål for utslippsreduksjoner i 2020 og et langsiktig mål om å omstille Norge til et lavutslippssamfunn. Konkret skal Norge kutte utslippene av klimagasser tilsvarende 30 % av utslippene i 1990, innen 2020. Norge skal være karbonnøytralt i 2050.

Store deler av EUs miljø- og klimapolitikk er innlemmet i norsk lovgivning som følge av EØS-avtalen. EU har satt et mål om å redusere utslippene av klimagasser med 80 % innen 2050, målt i forhold til 1990. 40 % av utslippsreduksjonene skal tas innen 2030. Norge er tilsluttet EUs kvotesystem, som omfatter rundt halvparten av Norges utslipp, og vi har en intensjon om å oppfylle klimamålet for 2030 sammen med EU. I ikke-kvotepiktig sektor skal hvert land redusere utslippene i forhold til nivået i 2005, beregnet ut fra BNP per innbygger. Norge har fått et foreløpig måltall på 40 %. EU ligger an til å nå målet om 20 % reduksjon av klimagassutslipp i forhold til 1990-nivå innen 2020.

Kraftforsyning pekes ut som sektoren med det største potensialet for utslippskutt i EU, og EU har målsatt ren kraftforsyning innen 2050. Fornybar energi og CCS trekkes frem som to av de viktigste virkemidlene for å nå målet. IEA og IPCC fastholder at utstrakt bruk av CCS er en nøkkel for å nå klimamålene. Verdenssamfunnet klarer ikke å fase ut fossile brensler i det omfang som kreves innenfor det korte tidsperspektivet som er til rådighet uten CCS.

Konsekvenser av en ambisiøs klimapolitikk

Hvordan skal Norge nå utslippsmålene i Parisavtalen og klimaforliket? Dette blir et helt sentralt spørsmål, også i en norsk CCS-strategi. IEA og IPCC er klare på at verdenssamfunnet ikke klarer å nå klimamålene uten CCS. Andelen av utslippsreduksjoner som må tas ved hjelp av CCS varierer mellom de ulike framskrivningene, men ligger stort sett på mellom 14 % og 20 % av totalen. Og den øker når vi går fra 2 gradersmålet til 1,5 gradersmålet. Også i Norge er CCS en nødvendig del av tiltakspakken for å nå utslippsmålene. Det er vanskelig å se hvordan vi skal nå målene på annen måte innenfor de tidsperspektivene vi her snakker om.

Vedlegg B: Beregning av sysselsetningseffekter for CCS

Om beregningene

I det følgende beskrives hvilken metode vi har brukt for å beregne norske og europeiske sysselsetningseffekter av CCS i ulike fremtidsscenarier. Med tanke på flere typer usikkerhet om hvordan fremtiden blir er det vanskelig å gi presise estimat på antall sysselsatte. Formålet vårt er derfor noe mer beskjedent, nemlig å gi en indikasjon på hva som kan være en realistisk størrelsesorden i ulike scenarier.

Det norske fullskalaprojektet

Vi beregner antall sysselsatte i fullskalaprojektet ("Tre kilder" i KS1⁸³) ved å dele beregnet lønnsutgift i fullskalaprojektet på forutsatt lønnsutgift per sysselsatt. Tabell A.1 viser tallgrunnlag og utregningen av totalt antall sysselsatte i fullskalaprojektet. Kostnadstallene (se fotnote 1 og 2 til tabell) og andel av dette som går til lønn (fotnote 3) er hentet fra KS1 rapporten. Forutsatt lønnskostnad per årsverk er en skjønsmessig vurdering. Grunnlaget for dette er beskrevet i fotnote 4 og 5.

Det kostnadsbaserte anslaget for antall ansatte gir 89 ansatte per år for driftsfasen, og 2560 totalt i investeringsfasen. Disse estimatene vil være sensitive spesielt mht. estimert lønnsandel.

Tabell B.1: Kostnadsbasert estimering av antall årsverk og sysselsatte i fullskalaprojekt for CO₂

	Drift	Investering
Kostnad	893 M NOK per år ¹⁾	12 800 M NOK ²⁾
Andel lønn ³⁾	10 %	20%
Lønnskostnad ^{4), 5)}	89 M NOK	2 560 M NOK
Pris per årsverk	1 M NOK	1 M NOK
Antall årsverk	89 per år (2233 totalt over 25 år)	2 560 årsverk

1) tabell 9-3 side 57 [KS1](#).

2) tabell 10-5 side 73 [KS1](#).

3) Side 64 [KS1](#): "Aktørene har meddelt at andelen ... som er arbeidskraft tilsvarer et sted mellom 10-20 prosent av totale kostnader. Vi har lagt til grunn at 20 prosent av investerings-, gjennomførings- og planleggingskostnader er lønnet arbeid og at 10 prosent av totale driftskostnader er lønnet arbeid."

4) [SSB](#): "Gjennomsnittlig kostnad for et årsverk i olje- og gassutvinning og bergverksdrift var 1,2 millioner kroner i 2012".

5) For industri, samme nettside som i 4), er arbeidskraftskostnaden for industri ca. 650 000 per årsverk. Verdikjeden for CO₂ inneholder sannsynligvis elementer av begge deler. Lønnsveksten har vært begrenset de siste årene. Vi forutsetter en gjennomsnittspris på 1 million per årsverk.

Siden vi skal bruke estimat for sysselsetning til å skalere opp fra fullskalaprojektet til en situasjon med mange CCS prosjekter, beregner vi antall sysselsatte i gjennomsnitt over 25 år. Fra tabell B.1 ser vi at gjennomsnittlig antall sysselsatte over 25 år er: $89 + 2560/25 = 191$.

Beregnet antall årsverk totalt i CCS verdikjede (191 per år) fordeles på de ulike delene av en slik verdikjede etter andeler som er basert på en kort litteraturgjennomgang, jf. Tabell B.2. Merk at kostnadene i Tabell B.2. fordeler seg annerledes mellom elementene enn de gjør for det norske fullskalaprojektet. Dette er begrunnet i at kostnadsandelen for fangst er forventet å gå ned over tid (resultat fra litteraturgjennomgang).

⁸³ [Kvalitetssikring \(KS1\) av KVU om demonstrasjon av fullskala fangst, transport og lagring av CO₂](#), Oslo Economics og Atkins. Oktober 2016.

Tabell B.2: Fordeling av antall sysselsatte i gjennomsnitt per år over 25 år

	Andel	Sysselsatte
Fangst	50 %	96
Transport	20 %	38
Lagring	30 %	57
Totalt	100 %	191

Fremtidige CCS kvantum

Verdiene i tabell B.3 er tall fra IEA⁸⁴ og IPCC⁸⁵, og er formulert som tre scenarier, hhv. Lav CCS, Moderat CCS og Høy CCS. De to første er baserte på IEAs 2-graders scenario⁸⁶. Moderat CCS representerer det fullstendige IEA-scenariet hvor man med 50 % sannsynlighet vil begrense oppvarmingen til 2 grader⁸⁷. Lav CCS tar utgangspunkt i det samme IEA-scenariet, men inkluderer kun utslipp som forventes fanget og lagret fra industri (lav CCS inkluderer ikke CO₂-håndtering fra kraftproduksjon). Scenariet Høy CCS er basert på utvalgte IPCC 2-graders scenarier som tilskriver CCS stor viktighet, og dermed gir større volumer fanget og lagret CO₂ per år frem mot 2050.

Tabell B.3: CCS kvantum i verden og Europa

		2030	2050
Lav CCS	Verden	500	1.800
	Europa	50	170
Moderat CCS	Verden	1.500	6.000
	Europa	130	320
Høy CCS	Verden	4.500	20.000
	Europa ¹⁾	390	1.067

1) IPCC inneholder ikke spesifikke verdier for Europa. Her har vi brukt samme andel som i IEA sitt 2 graders scenario for 2050 (vårt *Moderat CCS*), dvs. 8,7% i 2030 og 5,3% i 2050.

⁸⁴ [20 years of carbon capture and storage](#), IEA. November 2016.

⁸⁵ Dataene er hentet fra [AR5 Scenario Database](#), som inneholder dataene som gir grunnlaget for [IPCC Fifth Assessment Report](#), IPCC. 2014.

⁸⁶ 2 graders scenario beregnet av IEA, gitt med mengder lagret CO₂ per verdensdel. Her brukes de volumer som er gitt for OECD-landene i Europa, som basis for å beregne europeisk markedsstørrelse. Moderat CCS er likt det fullstendige IEA-scenariet, mens Lav CCS kun inkluderer de volumer CO₂ som forventes fanget og lagret fra prosessindustri i Europa i 2030 og 2050. Gjengitt i [20 years of carbon capture and storage](#), IEA. November 2016.

⁸⁷ Dette scenariet er basert på et utvalg av de IPCC-scenariene hvor oppvarmingen begrenses til 2 grader, og hvor CCS tilskrives stor viktighet. Samme relative andel CCS i Europa er lagt til grunn i dette scenariet som gitt i IEAs scenario. Dataene er hentet fra [AR5 Scenario Database](#), som inneholder dataene som gir grunnlaget for [IPCC Fifth Assessment Report](#), IPCC. 2014.

CCS kostnad

Rapportene knyttet til kvalitetssikring av fullskalaprojektet⁸³ (KS1 og KS2) bruker en metodikk for å bestemme kostnaden for CCS i fremtiden der kostnadene reduseres med 8 % for hver doubling av samlet kapasitet for CO₂-fangst og lagring i verden. Videre er det estimert kostnad ved samlet installert CCS-kapasitet i verden på 1.800 milliarder tonn CO₂ til 1000 NOK/tonn. Dette samsvarer godt med estimert kostnad for fullskalaprojektet på 1.400 NOK/tonn. Vi bruker dette som forutsetninger for vår modell, slik at:

$$P_E = 1000 \cdot \left(\frac{T_V}{1800} \right)^{\frac{\ln(1-8\%)}{\ln(2)}} = 2458 \cdot T_V^{-0.12} \quad (1)$$

$$P_{GE} = \frac{1}{T_V} \int_{u=0}^{T_V} (2458 \cdot u^{-0.12}) du = \frac{P_E}{0.88} \quad (2)$$

Her er:

P_E : CCS kostnad i Europa for nye prosjekt (NOK/tonn, nåverdi)

P_{GE} : Gjennomsnittlig CCS kostnad i Europa (NOK/tonn, nåverdi)

T_V : Lagret CO₂ i verdien (Mt per år)

Verdiene for T_V har vi fra Tabell B.3.

På ethvert tidspunkt vil det i de vurderte fremtidsscenarioene være i drift anlegg som er etablert i ulike år. Vi forutsetter en lineær innfasing fra 2020 til 2030, og videre fra 2030 til 2050. Kostnaden for nye anlegg og gjennomsnittskostnaden for etablerte anlegg for ulike år og scenario vises i Tabell B.4.

Tabell B.4: CCS kostnader for ulike scenario (NOK/tonn)

	Nye anlegg, iht. likning 2	Gjennomsnitt iht. likning 3
Lav CCS	2030	1.167
	2050	1.000
Moderat CCS	2030	1.022
	2050	865
Høy CCS	2030	896
	2050	749

Fremtidig sysselsetning i Europeisk CCS industri

Vi bruker estimatet for sysselsetning i fullskalaprojektet som utgangspunkt for å beregne sysselsetting i CCS, dersom dette blir en stor industri i Europa. Vi oppskalerer antall sysselsatte totalt, proporsjonalt med antall tonn lagret, men så reduserer vi antall sysselsatte iht. forventet kostnadsreduksjon for CCS i et 2 graders scenario:

$$S_E = S_F \frac{P_E T_E}{P_F T_F} \quad (3)$$

Her er:

- S_E : Totalt antall sysselsatte innenfor CCS i Europa (antall personer)
- S_F : Totalt antall sysselsatte innenfor i fullskalaprojektet (antall personer)
- P_E : CCS kostnad i Europa (NOK/tonn, nåverdi)
- P_F : CCS kostnad i fullskalaprojektet (NOK/tonn, nåverdi)
- T_E : Lagret CO₂ i Europa (Mt per år)
- T_F : Lagret CO₂ i fullskalaprojektet (Mt per år)

Antall sysselsatte i fullskalaprojektet er beregnet i Tabell B.2, fremtidige kvantum CO₂ for våre scenarier er spesifisert i Tabell B.3, mens gjennomsnittlig CCS kostnad for disse scenariene er spesifisert i Tabell B.4. Dermed kan vi beregne likning (3) for ulike scenarier, jf. tabell B.5.

Tabell B.5: Sysselsatte i ulike fremtidsscenario

Scenario	År	CCS i Europa (Mt. per år)	Snitt CCS kostnad (NOK/tonn)	Sysselsatte i Europa iht. likning (1)
Fullskalaprojekt		1,4	1.400	191
Lav CCS	2030	50	1.326	6.304
Lav CCS	2050	170	1.136	18.364
Moderat CCS	2030	130	1.162	14.364
Moderat CCS	2050	320	983	29.911
Høy CCS	2030	390	1.018	37.752
Høy CCS	2050	1.067	851	86.316

Sysselsetting i Norge

Forutsetningene om norsk andel av den Europeiske sysselsetningen innenfor hver av disse kategoriene er våre, jf. Tabell B.6. For lagring antas samme markedsandel som norsk andel av den totale lagringskapasiteten i Europa. For fangst og transport er andelene antagelser gjort av oss. Andelen innen transport er høyere enn for lagring, gitt en implisitt antagelse om realisering av et norsk sentrallager i Nordsjøen, og at en vesentlig andel (om lag halvparten) av dette vil bli transport med skip. Dette vil bety en stor mengde CO₂ transportert på skip i Nordsjøen, hvor norsk sjøfartsnæring vil kunne spille en viktig rolle. Ut fra Tabell B.5 og B.6 beregner vi antall sysselsatte i Norge innenfor fangst, transport og lagring.

Tabell B.6: Andeler for sysselsetning

	Andel for CCS kjede	Norsk andel av Europeisk andel
Fangst	50 %	10 %
Transport ¹⁾	20 %	25 %
Lagring	30 %	40 %

¹⁾ Inkluderer både transport på skip og i rør.

Tabell B.7: Norsk sysselsetning i ulike fremtidsscenario for CCS

Scenario	År	Fangst	Transport ¹⁾	Lagring	Totalt
Lav CCS	2030	315	315	757	1.387
Lav CCS	2050	981	981	2.204	4.040
Moderat CCS	2030	718	718	1.724	3.160
Moderat CCS	2050	1.496	1.496	3.589	6.580
Høy CCS	2030	1.888	1.888	4.530	8.306
Høy CCS	2050	4.316	4.316	10.358	18.989

¹⁾ Inkluderer både transport på skip og i rør.

Ringvirkninger

Med ringvirkninger av CCS mener vi sysselsetting som er knyttet / kan tilskrives CCS aktiviteten uten at den er en del av CCS kjeden (fangst, transport, og lagring) direkte. Dette kan være underleveranser til virksomheter som er en del av CCS kjeden, underleveranser til disse igjen, etc. Til slike beregninger brukes ofte kryssløpsanalyser som følger næringskjeden steg for steg. I dette prosjektet har vi ikke hatt mulighet til å kunne anvende slike modeller for petroleumsnæringen. Vi tar derfor utgangspunkt i åpen informasjon om dette ifht. petroleumsaktiviteten.

Ifølge analyser gjort av IRIS i rapporten *Industribyggerne* var antall direkte og indirekte sysselsatte i petroleumsnæringen 330.000 i 2014⁸⁸. Antall direkte sysselsatte var 186.000 det samme året. Dvs. at det var et forholdstall på 1,8 mellom direkte sysselsatte og summen av direkte og indirekte sysselsatte.

Siden offshore CCS har mange fellestrekk med petroleumsnæringen så bruker vi den samme faktoren for å estimere ringvirkninger av CCS, jf. tabell B.8.

Tabell B.8: Norsk sysselsetning i ulike fremtidsscenario for CCS, direkte og totalt

Scenario	År	Direkte sysselsetning	Med ringvirkninger
Lav CCS	2030	1.387	2.455
Lav CCS	2050	4.040	7.151
Moderat CCS	2030	3.160	5.593
Moderat CCS	2050	6.580	11.647
Høy CCS	2030	8.306	14.701
Høy CCS	2050	18.989	33.611

En må være oppmerksom på at den beregnede ringvirkningen er antall sysselsatte som er direkte eller indirekte knyttet til CCS. Dette kan også kalles for "bruttoeffekt."⁸⁹ Det betyr ikke nødvendigvis at antall sysselsatte i Norge øker med dette anslaget (evt. at arbeidsledigheten reduseres tilsvarende). For eksempel kan det tenkes at mange av de som hadde blitt ansatt innenfor CCS hadde fått andre jobber dersom CCS ikke ble noe av. Det vi kan kalle for "nettoeffekten" er derfor lavere. Det kan også tenkes at den faktoren

⁸⁸ [Industribyggerne](#), IRIS. Mars 2015.

⁸⁹ Greaker og Rosendahl: [Petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst – om klima, økonomi og sysselsetting](#), Energi og klima. August 2017.

som gjelder for petroleumsaktivitet er et noe høyt estimat for CCS, pga. høy lønnsomhet i petroleumsaktiviteten. På den annen side er vårt estimat med 1 MNOK per direkte sysselsatte estimert bl.a. med utgangspunkt i kostnadstall for petroleumsnæringen.

