



# Nordsjøen

som plattform for  
grønn omstilling





NTNU og SINTEF har en viktig rolle i den norske samfunnsdebatten. De store forskningssentrene LowEmission, NCCS, NorthWind og NTRANS har også en oppgave i å bidra til kunnskapsbaserte politiske beslutninger. Denne kunnskapsoppsummeringen er skrevet i forbindelse med Arendalsuka 2021, og er grunnlaget for tre råd til politikere for grønn omstilling av Nordsjøen.

#### Bidragstere:

- Mona Mølnvik, leder FME NCCS, forskningssjef, SINTEF
- John Olav Tande, leder FME NorthWind, sjeforsker, SINTEF
- Asgeir Tomasgard, leder FME NTRANS, professor, NTNU
- Malin Torsæter, leder LowEmission, forskningsleder, SINTEF
- Stefania Gardarsdottir, forskningsleder, SINTEF
- Magnus Korpås, professor, NTNU
- Tomas Moe Skjølvold, professor, NTNU
- Sara Heidenreich, forsker, NTNU
- Marius Korsnes, forsker, NTNU
- Grethe Tangen, seniorforsker, SINTEF
- Asbjørn Karlsen, professor, NTNU
- Arild Aspelund, professor, NTNU
- Øyvind Bjørgum, førsteamanuensis, NTNU

#### Redaksjon:

- Daniel Albert, kommunikasjonsrådgiver, SINTEF
- Annika Bremvåg, kommunikasjonsansvarlig, NTNU Energi, NTNU
- Anne Steenstrup-Duch, kommunikasjonsjef, SINTEF Energi, SINTEF
- Vibeke Ann Pettersen, kommunikasjonskoordinator, FME NTRANS, NTNU



NCCS er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) innen CO<sub>2</sub>-fangst, -transport og -lagring (CCS). Senterets hovedoppgave er å realisere rask implementering av CCS gjennom industri- og forskningsdrevet innovasjon. NCCS skal også sikre at Norge forblir en internasjonalt ledende aktør innen CCS-området og bidra til at storskala CO<sub>2</sub>-lagring i Nordsjøen blir mulig.



Northwind er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) på vindkraft. Senteret vil gjennom forskning og innovasjon bidra til å redusere kostnadene for vindenergi, legge til rette for en bærekraftig utvikling, skape arbeidsplasser og øke eksporten.



NTRANS er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) rundt energi- og klimaomstilling i Norge. NTRANS jobber med å forstå hvordan omstillingen kan gjøres rettferdig og demokratisk, samtidig som den gir næringslivet muligheter for innovasjon og verdiskaping.



LowEmission jobber med neste generasjons lavutslippsteknologi for å hjelpe industrien å nå nullutslipp på norsk sokkel.

Alle forskningssentrene er finansiert av Norges forskningsråd og av partnere i sentrene.

Juni 2021



# Nordsjøen som plattform for **grønn** omstilling

Norge har under Parisavtalen forpliktet seg til å kutte sine klimagassutslipp med 50 til 55 prosent innen 2030 – sammenlignet med utslippsnivået i 1990<sup>1</sup>. Mye må skje for å nå disse ambisiøse målene, og tiden er knapp. Heldigvis gjør norske forskere og industri framskritt hver dag i viktige områder som karbonfangst, vindkraft, elektrifisering og nullutslippsdrivstoff som hydrogen og ammoniakk. Hvert forskningsresultat er et lite skritt mot målstreken. I tillegg har Norge et vinnerkort i hånda: Vi ligger ved Nordsjøen.

## **Nordsjøen: et hav av muligheter**

Norge er en havnasjon<sup>2</sup>. Historisk sett har Nordsjøen vært viktig som handelsrute, for fiske, og senere for olje- og gassvirksomhet. Derfor har norsk industri og norske forskere rikelig med detaljert kunnskap om Nordsjøen, havbunnen og det som ligger under den. Denne kunnskapen kommer til å være nyttig når Norge snart bygger havvindparker for å forsyne oss med fornybar energi som er avgjørende for den grønne omstillingen – og for videre vekst i norsk industri. Kunnskapen vi har plasserer også Nordsjøen på toppen av lista over verdens best egnede steder for CO<sub>2</sub>-lagring.

Med både ny fornybar energi og CO<sub>2</sub>-fangst på plass, er produksjon

og distribusjon av nullutslippsdrivstoff (hydrogen og ammoniakk) det neste naturlige steg å ta. Dette vil blant annet hjelpe med avkarboniseringen av sjøfartsindustrien i et av verdens mest trafikkerte havområder.

Koblingen mellom alle disse installasjonene – med strømkabler og rør eller skip for å transportere CO<sub>2</sub> og nullutslippsdrivstoff – vil kunne integreres med et fremtidig Nordsjønett som transporterer strøm mellom landene i Nordsjøen.

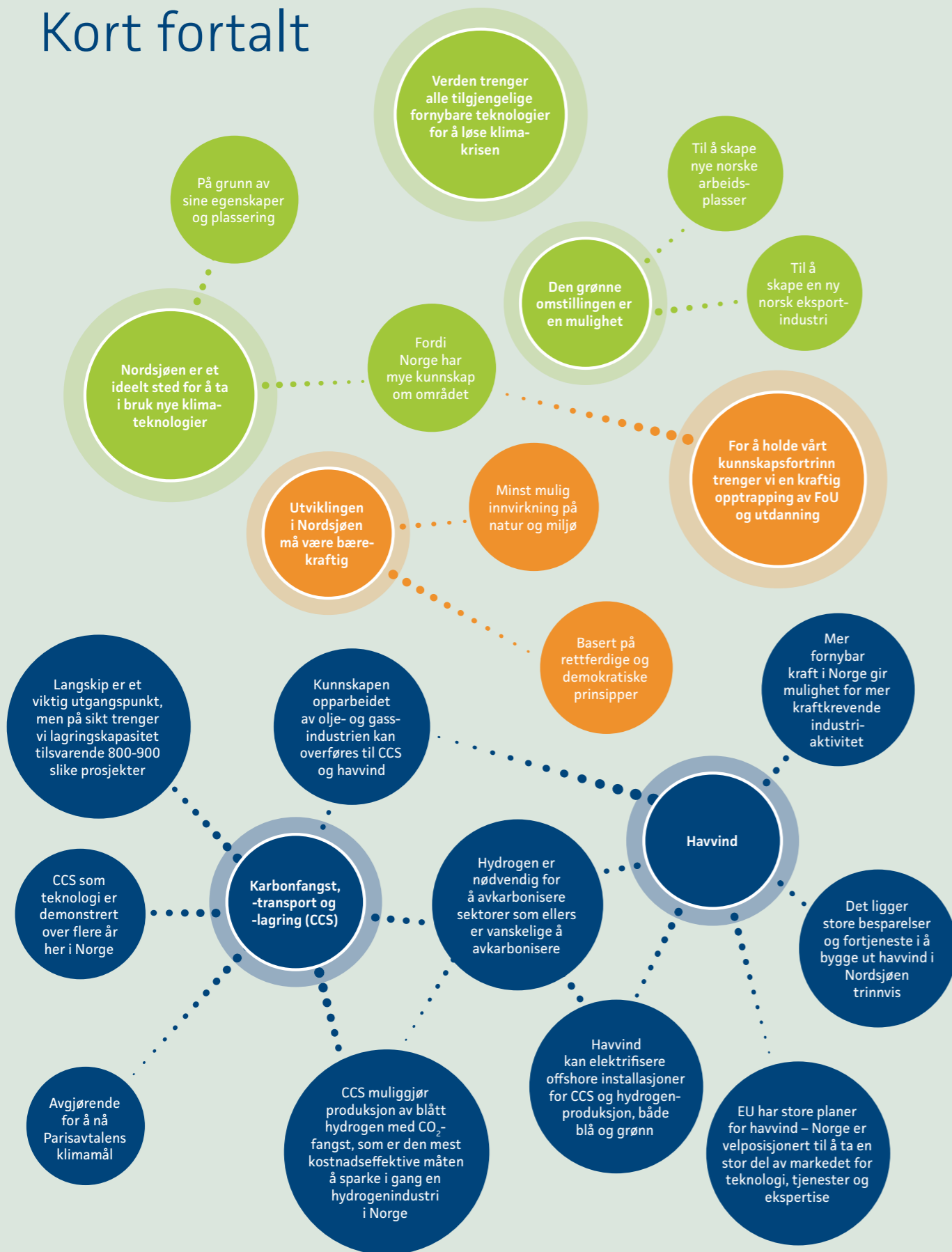
Norges ekspertise i havindustriene og lett tilgang til Nordsjøen gir oss et forsprang som er viktig å ta vare på. Les videre og bli med på en oppdagelsesreise om Nordsjøens nøkkelrolle i Norges grønne omstilling.

## **Klimamål eller nye arbeidsplasser? Ja takk, begge deler!**

For å komme i mål må Norge prioritere tiltak som får ned utslippene raskest mulig, til lavest mulig kostnad og med høyest mulig verdiskapning. Fordelen med å handle raskt på forsknings- og innovasjonsfronten, utover at dette er avgjørende for at Norge skal kunne nå sine mål, er at dette gir et forsprang for norsk industri og skaper nye arbeidsplasser. Andre land har også klimamål og dette betyr et stort marked for teknologi og ekspertise innen klimaløsninger fremover. I tillegg til å agere raskt må vi handle klokt. Tiltakene må ha minst mulig innvirkning på natur og miljø og være baserte på rettfærdige og demokratiske prinsipper<sup>3</sup>.



# Kort fortalt



# CO<sub>2</sub>-fangst og lagring

CO<sub>2</sub>-fangst, transport og lagring (CCS) er avgjørende for å nå null-utslipp innen 2050, selv med stor framgang innen fornybar energi og energieffektivisering.

Nordsjøen byr på perfekte forhold til å lagre CO<sub>2</sub> trygt og effektivt. Lagringspotensialet er enormt: Det er stort nok til at Norge kan skape en ny eksportindustri ved å tilby trygge lagringssteder til andre land som vil håndtere sine CO<sub>2</sub>-utslipp. En SINTEF-studie fra 2018 fant at i 2050 kan det europeiske markedspotensialet for CCS være 450 milliarder NOK og sysselsette 40 000 mennesker. Norge kan ta store markedsandeler her.<sup>4</sup>

I tillegg muliggjør CCS produksjon av blått hydrogen som er nødvendig for å oppskalere Norges (og Europas) hydrogeninfrastruktur i tiårene som kommer. Samme studie som nevnt over fant at en satsing på hydrogen fra naturgass med CCS i Norge kan gi en omsetning på 220 milliarder NOK i 2050, og mellom 25.000 og 35.000 sysselsatte i Norge<sup>4</sup>. Erfaringer fra permanent CO<sub>2</sub>-lagring kan også anvendes

Hundrevis av klimascenarier har blitt modellert, og CCS spiller en avgjørende rolle i nesten alle av dem som viser en vellykket oppnåelse av Parisavtalens klimamål.

for midlertidig hydrogenlagring; et viktig steg på vei til Norges hydrogenframtid.

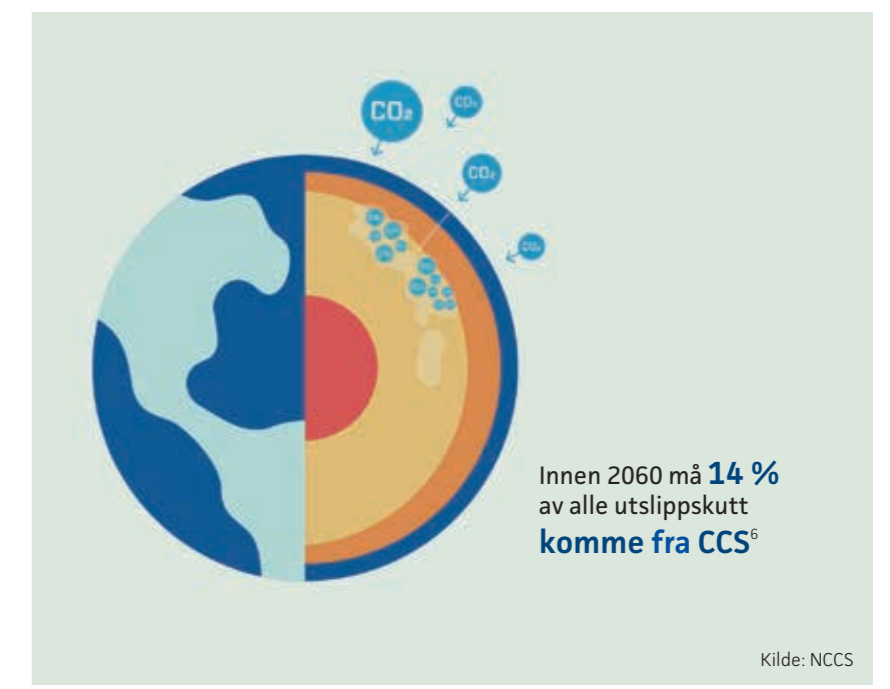
## Hva er CCS – og hvorfor er det viktig?

CO<sub>2</sub>-fangst, transport og lagring CCS, som står for Carbon Capture, Transport & Storage består av en rekke teknologier og prosesser som gjør det mulig å gjennomføre store kutt i CO<sub>2</sub>-utslipp. Dette gjøres ved å fange og konsentrere CO<sub>2</sub>-avgass fra industrien (istedenfor å slippe den ut i atmosfæren) for så å transportere den og injisere den dypt under havbunnen.

I Norge gjøres slike injiseringer under havbunnen, i saltvanns-akviferer (porøse geologiske formasjoner som inneholder saltvann) og forseglede reservoarer som en gang i tiden inneholdt

fossile brensler. CCS-teknologier gir oss også grunnlaget som kreves for å støtte CO<sub>2</sub>-fangstløsninger fra for eksempel biobaserte prosesser eller direkte fangst fra atmosfæren (også kjent som Direct Air Capture/DAC).

Det har vært stor framgang innen fornybar energi og energieffektivisering – som er avgjørende i klimakampen – men verdens energibehov fortsetter å øke. Før koronapandemien startet anslo det internasjonale energibyrået (IEA) en økning på 12 prosent i verdens energibehov mellom 2019 til 2030<sup>5</sup>. CCS kan spille en viktig rolle i avkarboniseringen av den ikke-fornybare delen av denne energiproduksjonen. CCS er også den eneste teknologien som kan avkarbonisere enkelte industrier, som sementproduksjon, metallproduksjon og avfallsforbrenning.



## Springbrettet Langskip

CO<sub>2</sub>-lagring har foregått i Nordsjøen siden 1996<sup>7</sup>. Equinor og deres partnere på Sleipnerfeltet i Nordsjøen har injisert rundt én million tonn CO<sub>2</sub> hvert år i Utsira-formasjonen. CO<sub>2</sub>-lagring har også foregått ved Snøhvitfeltet siden 2008.

Alle som er involvert i CCS-teknologi feirer fortsatt fjorårets kunngjøring fra den norske regjeringen om finansieringen av Langskip, Norges fullskala CO<sub>2</sub>-fangst- og lagringsprosjekt.

En del av Langskip, Northern Lights-prosjektet<sup>8</sup>, handler om å transportere og lagre opptil 1,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>-utslipp fra forskjellige anlegg, blant annet fra en sementfabrikk på fastlandet. Gassen vil bli gjort flytende og transportert fra fabrikk til en offshore-rigg. Her vil den bli komprimert ved høyt trykk og sprøytet inn dypt under jorden, i et permanent lagringssted.

Northern Lights blir Europas første CO<sub>2</sub>-lagringsknutepunkt, og har som mål å lagre 5 millioner tonn

CO<sub>2</sub> under havbunnen hvert år, med mulighet til å lagre enda mer CO<sub>2</sub> i nærliggende geologiske formasjoner. En rekke industribedrifter har meldt sin interesse.

Realiseringen av et fullskalaprojekt som kan lagre opptil 5 millioner tonn CO<sub>2</sub> fra norsk industri hvert år er et stort skritt framover.

Tidligere i år viste Hydrogen for Europe-studien<sup>9</sup> at permanent lagring av CO<sub>2</sub> er en viktig del av overgangen til hydrogensamfunnet, hvis den skal gjøres på en kostnads-



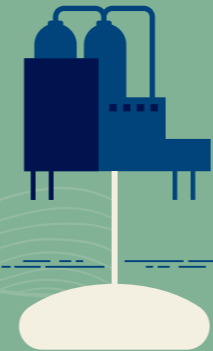
## EKSPORT- MULIGHETER MOT 2050



Havvindteknologi, ekspertise og tjenester  
**130 milliarder kroner<sup>10</sup> \***  
**50 000 arbeidsplasser<sup>40</sup>**



Hydrogen  
**220 milliarder kroner<sup>4</sup> \***  
**25 000 - 35 000 arbeidsplasser<sup>4</sup>**



CO<sub>2</sub>-lagringskapasitet  
**450 milliarder kroner<sup>4</sup> \*\***  
**40 000 arbeidsplasser<sup>4</sup> \*\***



\* Eksportpotensial for Norge \*\* Totalomfang av EU-marked i 2050

SINTEF NTNU



Siden 1996 har man injisert CO<sub>2</sub> i verdens første CO<sub>2</sub>-lager ved Sleipner-feltet i Nordsjøen



Rundt en million tonn CO<sub>2</sub> lagres der hvert år



40 steder i verden er, eller har vært, involvert i trygg injisering av CO<sub>2</sub> i undergrunnslager

Kilde: NCCS



effektiv måte. For å oppnå maksimal kostnadseffektivitet er det anslått et behov for 400 millioner til 500 millioner tonn årlig CO<sub>2</sub>-lagringskapasitet. Et slikt behov tilsvarer cirka 300 Langskip-prosjekter. Mot 2050 øker lagringsbehovet til 800-900 Langskip-prosjekter, for begge scenariene undersøkt i studien.

Når man tar i betraktning det store bildet – vårt mål om nullutslipp innen 2050 – er Langskip et viktig springbrett for grønn omstilling.

### Nordsjøen er ideell for trygg CO<sub>2</sub>-lagring

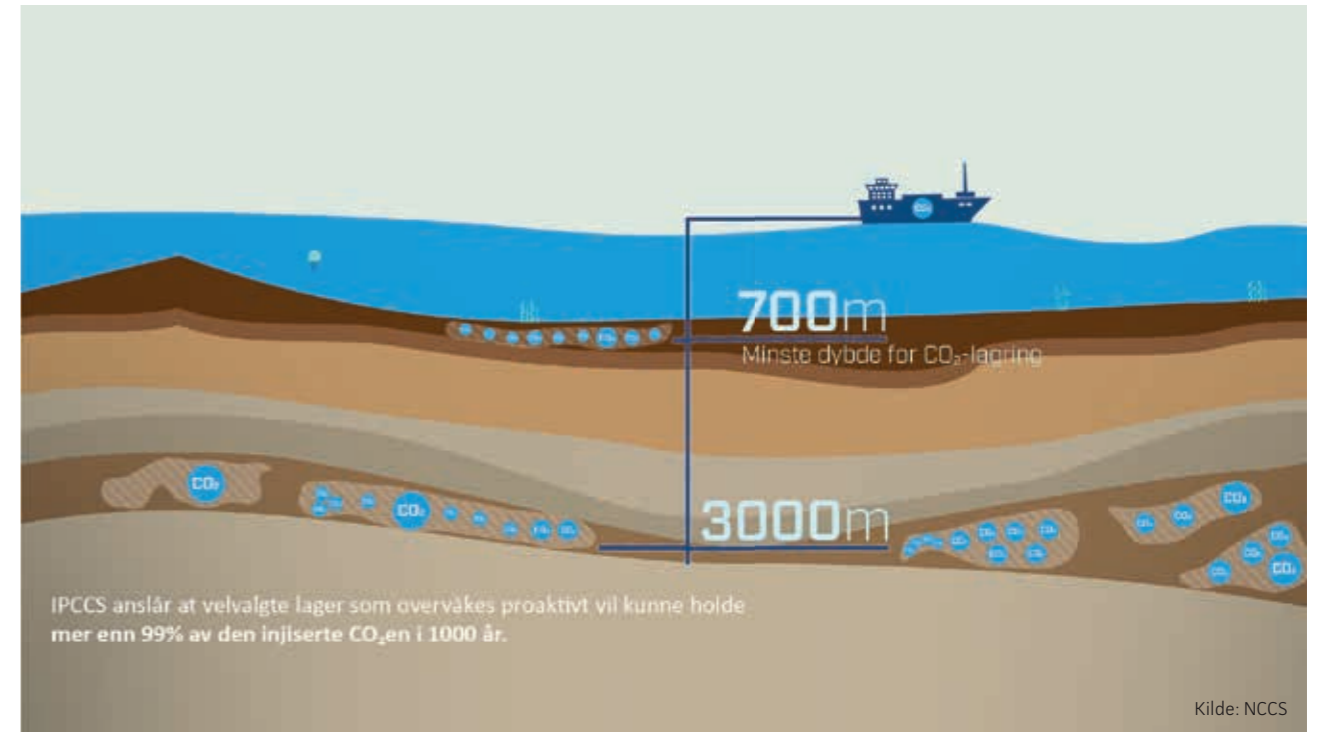
Dypt under Nordsjøen ligger geologiske formasjoner som vil gi permanent lagring av CO<sub>2</sub> i de enorme mengdene som trengs for å dekke behovet. Sikker CO<sub>2</sub>-lagring under Nordsjøen er demonstrert i flere tiår<sup>6</sup>. Forskningscenteret FME NCCS og andre bruker data hentet fra disse prosjektene for å forbedre modeller, øke effektiviteten og redusere kostnadene. Data fra Sleipner er delt åpent på nett, via CO<sub>2</sub> DataShare-portalen<sup>11</sup>.

Mange lagringssteder, inkludert Northern Lights, er så dype som 2600 meter under havbunnen. Dette oppfyller mer enn tre ganger minimumskravet som sørger for høy

nok temperatur og nok trykk til å holde CO<sub>2</sub> i flytende tilstand. Flere forskjellige berglag (vanligvis tette skiferlag) gir en ugjennomtrengelig barriere mellom CO<sub>2</sub>-lagringsreservoaret og havbunnen.

En av de viktigste grunnene til at Nordsjøen er så godt egnet til CO<sub>2</sub>-lagring er vår enorme kunnskap om området. Bedrifter knyttet til olje- og gassindustrien har utforsket den norske kontinentalsokkelen i mer enn 50 år, bygget detaljerte modeller og samlet stor kunnskap om, og forståelse av området.

Oljedirektoratet har gjort en omfattende kartlegging av områder som er egnet for langsiktig, sikker lagring og gitt ut dataene via sitt offentlige CO<sub>2</sub> Atlas-nettsted<sup>12</sup>. Dette arbeidet posisjonerer Nordsjøen langt foran andre undersjøiske lagringsalternativer.



### CCS muliggjør blått hydrogen

Hydrogen laget fra fornybare energikilder (også kalt grønt hydrogen) kommer til å bli avgjørende for Norge – og Europas – fremtidige energisystem. Men det vil ta tid å utvikle infrastrukturen som trengs for å lage grønt hydrogen. I tillegg kommer tidkrevende oppbygging av den nødvendige kapasiteten i fornybar-sektoren.

Vi trenger overgangsløsninger allerede nå for å bygge fremtidens hydrogeninfrastruktur. Rask tilfredsstillelse av EUs hydrogenbehov under energiomstillingen oppnås enklest og mest kostnadseffektivt ved å lage blått hydrogen, ifølge studien «Hydrogen for Europe»<sup>9</sup>. Samtidig som vi investerer i en langsiktig opptrapping av fornybar-kapasiteten, kan en mer kortsiktig investering i hydrogenproduksjon

### To metoder for fremstilling av hydrogen<sup>13</sup>

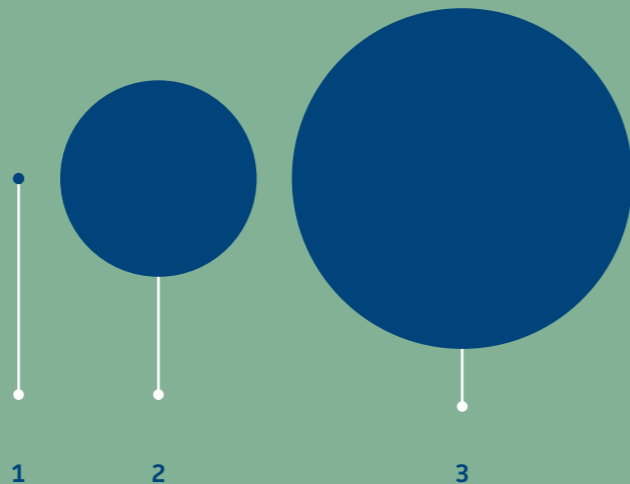
Hydrogen kan produseres ved å bruke strøm for å dele opp vannmolekyler i hydrogen- og oksygenkomponenter. Denne prosessen kalles **elektrolyse**. Siden den krever fornybar energi tilsier modelleringen at den vil skaleres opp over tid, ettersom mer fornybar energi blir tilgjengelig. Vi kaller hydrogen produsert på denne måten **grønt hydrogen**.

Hydrogen kan også fremstilles fra naturgass. Denne prosessen kalles for **dampreforming** og er per nå den billigste (og mest vanlige) kilden til industrielt hydrogen. Ulempen med denne metoden er at den slipper ut CO<sub>2</sub>, men rundt 90 prosent av disse utslippene kan fanges for lagring på en relativt enkel måte. Hydrogen produsert av naturgass med CO<sub>2</sub>-fangst og -lagring kalles ofte for **blått hydrogen**.

fra naturgass hjelpe oss med å avkarbonisere flere industrier, raskere. En forutsetning er at CO<sub>2</sub>-utslippene fra blått hydrogen fanges og lagres<sup>14</sup>.

Etterspørselen etter blått hydrogen kommer fra industrier som ellers er vanskelige å avkarbonisere, som sementproduksjon og prosessindustrier. Etter hvert som strengere miljøregler trer i kraft og

### VI TRENGER HUNDREVIS AV LANGSKIP-PROSJEKTER MOT 2050<sup>9</sup>



1. Langskips lagringskapasitet
2. Kostnadseffektiv overgang til hydrogensamfunnet
3. Behovet mot 2050



tiltak som CO<sub>2</sub>-avgift blir dyrere, må disse industriene finne nye løsninger. Siden NCCS startet opp i 2016 har nye industripartnere knyttet seg til senteret, med ønske om å bedre forstå løsningene og delta i utviklingen.

### Potensialet for hydrogenlagring

Kunnskapen vi opparbeider oss for permanent CO<sub>2</sub>-lagring kan også overføres til midlertidig lagring av overskuddshydrogen. Permanente anlegg på land for hydrogenapplikasjoner som oppvarming er vanskelige å rettfærdiggjøre siden etterspørselen varierer kraftig fra sesong til sesong. Men midlertidig lagring under Nordsjøen kan bidra til å løse problemet.

Store huler i underjordiske saltlag kan brukes som forseglede lagringskamre for hydrogen. De kan fylles med hydrogen i sommermånedene når produksjonen overstiger etterspørselen og brukes i vintermånedene når etterspørsel er høy.

Dette er ikke en vanlig prosess ennå, men det er ikke nytt. Gasselskaper i Texas bruker slik lagring som en strategisk reserve for raffinerier, og nordøst i England har den vært i bruk siden 1972.

### Ekspertise og kunnskap fra olje- og gassindustrien

Å etablere helt nye industrier innen hydrogen og CCS kan virke som en overveldende oppgave, men mye av ferdigheten og kompetansen begge industrier trenger finnes allerede. Norske bedrifter og ingeniører har flere tiårs erfaring innen olje og gass offshore. Det er en av de viktigste årsakene til at Norge er

verdensledende innen forskning og implementering av CCS.

Etter hvert som både leting og produksjon av olje og gass trappes ned i tiårene som kommer, vil det være relativt lett å overføre kompetansen til CCS- og hydrogenindustriene. Store selskaper som er spesialister på leting etter olje og gass er i ferd med å skifte fokus. De som er først ute vil være godt posisjonert til både å beholde de mest erfarne ingeniørene og tiltrekke seg neste generasjon problemløsere, som ser på klimateknologier som et attraktivt yrkesvalg.

### Storskala CO<sub>2</sub>-lagring er avgjørende

Hydrogen for Europe-studien konkluderte med at «endringer uten sidestykke» kreves for å nå nullutslipp innen 2050. Vi trenger alle tilgjengelige virkemidler for å redusere klimagassutslippene. Dette inkluderer storskala elektrifisering av samfunnet, med mye av strømprduksjonen fra sol og vind, deriblant havvind. Men vi må i tillegg utvikle et hydrogenmarked som muliggjør omsetning av hydrogen basert på alle tilgjengelige produksjonsmetoder – også fra naturgass. Storskala CO<sub>2</sub>-lagring under nordsjøbunnen kan dermed sparke i gang hydrogeninfrastrukturen vi trenger for en fornybar fremtid.

Selv uten produksjon av blått hydrogen trengs stor lagringskapasitet og nødvendig infrastruktur til å fange CO<sub>2</sub> der den produseres i Norge og Europa, og transportere den til lagringssteder. Det forutsetter at industrien er



**På grunn av regelverket nå må offshore installasjoner som ikke er i bruk demonteres innen relativt kort tid. Gjenbruk av slike installasjoner vil bli enklere hvis regelverket oppdateres for å muliggjøre og oppmuntre til det<sup>15</sup>.**

dypt engasjert i forskningsprosjekter som utvikler de praktiske løsningene som trengs.

Overgangen krever også at nye forretningsmodeller utvikles for å sikre at den skjer så raskt som overhodet mulig<sup>16</sup>. Verken verdens stater eller bedrifter kan løse klimakrisen alene. EU-taksonomien<sup>17</sup> gir oss en bred oversikt over frem-

tidens økonomiske aktivitet, mens Langskip gir oss en mal for hvordan partnerskap mellom offentlige og private kan fungere for å lukke gapet mellom pilotprosjekter og fullskala implementering. Offentlige investeringer på dette stadiet vil gjøre det mulig for bedrifter å bli med på CCS-omstillingen tidligere enn de ellers kunne, noe som vil redusere totalkostnaden i det lange løp.

### Gjenbruk av infrastruktur fra olje- og gassindustrien

Offshore installasjoner består av kompleks og kostbar infrastruktur. Ikke bare selve plattformene, men rørledningene som forbinder dem, og ikke minst brønnene, som er den vanskeligste og mest kostbare delen å bygge. Etter hvert som disse installasjonene tas ut av drift, bør vi se om det er mulig å gjenbruke dem slik at de spiller en rolle i den grønne omstillingen.

Installasjonene kan gjenbrukes på flere måter. Plattformen kan få et nytt liv som energiknutepunkt, der fornybar energi brukes til å skape nullutslippsbrensel som hydrogen eller ammoniakk. Videre kan disse drivstoffene distribueres fra plattformen til forbi-passerende skip, eller sendes til fastlandet gjennom eksisterende rørledninger. Plattformen kan også huse transformatorstasjonene som havvindparkene trenger, eller brukes som knutepunkt for sjømatnæringen. En annen mulighet er produksjon av blått hydrogen, laget fra naturgass med CO<sub>2</sub>-fangst. Fanget CO<sub>2</sub> kan så injiseres i undergrunnen gjennom gjenbrukte oljebrønner.



# Havvind

Nullutslipp vil kreve storskala elektrifisering (for eksempel av industri- og transportsektorene), noe som vil øke etterspørselen etter fornybar energi enda mer. EU har planer om å dekke en del av denne etterspørselen ved å installere en vindkapasitet på 300 gigawatt (GW) til havs innen 2050<sup>19</sup>. Havnasjonen Norge<sup>2</sup>, med sin industriekspertise på sokkelen, kan innta en sterk posisjon i havvindindustrien. En rapport laget på vegne av Olje- og energidepartementet i fjor høst anslo at potensialet for norske leverandører av havvind er opp mot 12,9 milliarder euro i omsetning i 2050<sup>10</sup> (over 130 milliarder kroner etter dagens kurs).

## Hvor mye kraft trenger egentlig Norge?

Tilgang til rimelig energi uten utslipp er viktig for kraftkrevende industri. I 2020 leverte det norske kraftsystemet 153 terawatt-timer (TWh) elektrisitet. Til sammenligning var elforbruket i Norge i samme periode 133 TWh. Vi hadde da en periode med kraftoverskudd

som ble solgt til utlandet. Om lag 90 prosent av elektrisitetsproduksjonen i Norge kommer fra vannkraft, og resten er i hovedsak fra vindkraft. Produksjonsevnen er derfor avhengig av nedbør og vindforhold som varierer fra år til år. I et tørrår kan produksjonspotensialet fra vannkraft bli opp til 30 prosent mindre enn i et normalår, og i et våttår kan det bli opp til 30 prosent høyere. Det samme gjelder for vindkraften. Derfor kan vi noen år ha et stort kraftoverskudd og andre år er vi avhengig av import fra utlandet.

Utviklingen av elforbruket i Norge framover er prognosert av NVE. I

det som betegnes referansebanen forventes forbruket vårt å stige til 154 TWh i 2040. Samtidig forventes oppgradering av vannkraftverk og ferdigstilling av allerede godkjente vindkraftverk på land å gi økt produksjonskapasitet slik at balansen mellom produksjonskapasitet og forbruk forblir om lag som i dag<sup>18</sup>. En økt elektrifisering av transport, industri og olje- og gassnæringen i tråd med den grønne omstillingen vil imidlertid øke elbehovet med 23 TWh i 2040<sup>18</sup>. Dette kan dekkes ved installasjon av omtrent 5 GW havvindkapasitet. Men hvor mye vindkraft utgjør egentlig 5 GW? I juni 2020 åpnet



**Økt elektrifisering av transport, olje- og gassvirksomhet og annen industri betyr et økt norsk kraftbehov på 23 TWh i 2040<sup>18</sup>. Dette kan dekkes ved å installere ca 5 GW havvindkapasitet.**

### Utsira Nord

Beliggenhet: vest for Haugesund  
Areal: 1010 km<sup>2</sup>  
Avstand fra land: 22 km  
Havdybde: 267 m  
Passer for: flytende turbiner  
Teoretisk kapasitet: 10 GW

### Sørliche Nordsjø II

Beliggenhet: sørvest for Kristiansand  
Areal: 2591 km<sup>2</sup>  
Avstand fra land: 140 km  
Havdybde: 53-70 m  
Passer for: både bunnfaste og flytende turbiner  
Teoretisk kapasitet: 25 GW

regjeringen to områder for søknader om fornybar energi-produksjon til havs<sup>20</sup>. Det minste av disse områdene, *Utsira Nord*, har et areal på 1010 km<sup>2</sup>, noe som med full utnyttelse kan bygges ut med ca 10 GW havvindkapasitet. Det større området, *Sørliche Nordsjø II*, har et areal på 2591 km<sup>2</sup> tilsvarende et teoretisk potensial på 25 GW. Faktorer som havbunnsforhold og hensyn til andre brukere av området gjør at det praktisk utnyttbare potensialet er mindre, men med stor sikkerhet større enn 5 GW.

Disse områdene utgjør bare en liten brøkdel av havvindpotensialet i norske farvann.

Analyser gjort med EMPIRE-modellen for europeiske kraftmarkeder viser at norske farvann er svært attraktive for havvindutvikling på grunn av vindforhold, beliggenhet og store tilgjengelige områder, og på grunn av Norges solide vannkraftsystem, som havvindparker kan spille på lag med<sup>21</sup>.

## Mer kraft betyr mer industri

Anslag for ethvert lands kraftbehov i fremtiden må tas for det de er: estimater. Ingen vet nøyaktig hvor mye strøm Norge kommer til å trenge om 20 år. Men det er én ting vi vet med sikkerhet: rimelig kraft tiltrekker seg industri. Det å ha store mengder med billig fornybar kraft i Norge vil tiltrekke kraftkrevende industri og skape arbeidsplasser. Hvis Norge blir verdensledende innen havvind, vil havvindindustrien i seg selv være en stor bidragsyter til økonomien, med eksport av havvindteknologi, utstyr og tjenester til nabolandene og resten av verden. På toppen av det vil Norge tjene på eksport av grønn energi til resten av Europa, og dermed fortsette i sin rolle som storleverandør av energi på det internasjonale markedet.

## Elektrifisering av sokkelen

Olje- og gass er Norges største industri, både når det gjelder inntekt og klimagassutslipp. Mesteparten av utslippene fra offshore olje- og gassutvinning kommer fra gassturbinene som brukes til å generere strøm til plattformene. Så lenge Norge fortsetter sin olje- og gassproduksjon, er elektrifisering av plattformer med fornybar kraft en rask måte å oppnå store utslippskutt på.

Elektrifisering kan gjøres ved å koble plattformene til kraftnettet på land, enten med dedikerte linjer fra land og ut til plattformene, eller ved at de kobles til et havnett. Det er også mulig å koble havvindparker direkte til plattformene i



**Visste du?**  
Mange norske offshore-installasjoner er allerede drevet med strøm fra fastlandet. Dette gjør at de kan unngå årlige utslipp beregnet til omkring 3,2 millioner tonn CO<sub>2</sub><sup>23</sup>.

Olje- og gassutvinning ga utslipp av 13.3 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2020 tilsvarende 27 prosent av Norges totale klimautslipp<sup>22</sup>

et elektrisk isolert system slik som HyWind Tampen. Det består av en 88 megawatt (MW) flytende flytende havvindpark som forsyner de fem plattformene Snorre A og B og Gullfaks A, B og C og vil spare 200 000 tonn årlige CO<sub>2</sub>-utslipp<sup>23</sup>.

Elektrifisering av offshore olje- og gassinstallasjoner er ikke det eneste vi kan gjøre for å redusere denne industriens klimaavtrykk, men det er absolutt et tiltak som kan gi betydelige resultater. I runde tall vil 1 TWh utslippsfri kraft til elektrifisering av sokkelen gi et utslippskutt på om lag en halv million CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Til sammenligning hadde Norge i 2020 et kraftoverskudd på 20 TWh.





I kombinasjon kan hydrogen og ammoniakk etterligne mange av dagens fossile brenslere. Her justerer sjefforsker Mario Ditaranto måleinstrumenter for å fange flammens utslippspekter fra en hydrogen - ammoniakk - nitrogenflamme.

## Havvind og nullutslippsdrivstoff

Havvind muliggjør produksjon av fremtidens nullutslippsdrivstoff. Blått hydrogen (laget med naturgass der CO<sub>2</sub>-en blir fanget og lagret) er nødvendig i en overgangsperiode. På sikt vil grønt hydrogen (fremstilt av vann med fornybar kraft) ta en større andel. I Norge vil stadig mer av den fornybare strømmen komme fra havvind. Ammoniakk, et annet nullutslippsdrivstoff, kan også lages med fornybar energi. I kombinasjon kan hydrogen og ammoniakk ta over funksjonen til mange av

dagens fossile brenslere. Derfor utgjør hydrogen og ammoniakk den mest lovende løsningen for å avkarbonisere sektorer som ellers er vanskelige å avkarbonisere (som skipsfart).

## Hvor mye koster vindkraft?

Vindkraft har hatt et rykte på seg for å være dyrt og avhengig av subsidier. Det er ikke lenger tilfellet. Kostnaden for vindkraft har falt kraftig de siste tiårene. Vindkraft på land er i dag konkurransedyktig uten subsidier, med en kostnad i størrelse rundt 0,30 NOK/kWh<sup>25</sup>. Til havs er kostnaden noe høyere, men der observerer vi også et kraftig prisfall som minner om den landbasert vindkraft hadde. Dogger Bank Offshore Development Zone (Storbritannia)<sup>26</sup> er nå under utvikling med bunnfaste vindturbiner til en kostnad på ca

0,50 NOK/kWh. Flytende havvind er ennå i en tidlig utviklingsfase med en kostnad i dag på et sted rundt 1 NOK/kWh, men forskning ledet av forskningssenteret FME NorthWind ([www.northwindresearch.no](http://www.northwindresearch.no)) har som mål å halvere denne kostnaden innen 2030.

## Veien til kostnadsreduksjoner

Kostnadsreduksjon for havvind kan oppnås gjennom en kombinasjon av utbygging, forskning og innovasjon. Utbyggingen må gjøres i stort nok volum så industri og leverandørkjeder kan utvikles. Utbygging alene gir imidlertid begrenset utvikling. Det er fortsatt forskningsutfordringer som må løses for å kutte kostnader og legge grunnlag for innovasjon og verdiskapning. I FME Northwind (2021-2029) vil Sintef, NTNU, UiO, NGI, NINA og

## Digitale tvillinger

Vi ser for oss at kombinert bruk av fysikkbaserte og datadrevne (maskinlærings) modeller, her kalt hybrid analyse og modellering (HAM), vil kunne gi helt nye muligheter for etablering av digitale tvillinger (DT) av vindturbiner og vindparker med vesentlig økt grad av fysisk realisme og evne til predikasjon av oppførsel fremover i tid. Dette kan brukes til mer effektive rutiner for prediktivt vedlikehold og levetidsberegninger som er helt nødvendig for å redusere kostnadene for havvind. Videre vil en med slike digitale tvillinger kunne optimere driften av vindparker og oppnå økt inntjening i milliardklassen for hver vindpark over dens levetid.

## Robuste understell

En helt grunnleggende forutsetning for å lykkes med vindkraft er at turbinene er godt fundamentert og at strukturen tåler både mekanisk last og miljøbelastningen de blir utsatt for.

For å holde kostnadene nede stilles det krav til effektiv fabrikasjon. Vindturbinene blir stadig større, og et viktig element for å kunne lage robuste, innovative, og samtidig kostnads- effektive konstruksjoner er at man forstår hvilke belastninger konstruksjonene blir utsatt for og at disse kan modelleres med tilstrekkelig nøyaktighet.

For å ha god kontroll over effektivitet i driften på vindanleggene og restlevetiden til de ulike komponentene, trenger vi gode prediksjonsmodeller. Dette krever at modellene bygger på en grunnleggende forståelse av miljølast- og skademekanismer, som eksempelvis korrosjon, slitasje og utmatting. Av og til kan sprekker oppstå og vokse under overflaten, og da må vi forbedre overvåkningssystemene for å fange opp dette i god tid før komponenter må skiftes.

For å oppnå kostnadseffektiv produksjon må vi masseprodusere. Dette kan vi gjøre ved hjelp av automatisering og effektive sveisemetoder, som automatisert buesveising, laser-sveising og robotisert håndtering av komponenter. Dette kan utføres både i lab-skala (som eksempelvis ved Manulab på SINTEF/NTNU) og i industriell skala. Vi skal også optimalisere design og redusere vekt i de delene av strukturen som ikke er lastbærende. Det kan vi gjøre ved bruk av nye materialer som for eksempel høyfast stål, aluminium og multimaterialer.

## Marine operasjoner

Som følge av EUs ambisiøse mål for økt havvindkapasitet kan så mye som 20 000 vindturbiner bli produsert og installert bare i Europa de neste tiårene. Med trendene vi ser nå, vil det dreie seg om gigantiske installasjoner høye som Eiffeltårnet med sine 324m.

Det finnes i dag ingen bærekraftige løsninger for installasjon og vedlikehold av 15 MW+ vindturbiner på dypere vann. Dette utgjør et uforløst markedspotensial som norsk leverandørindustri står i en særstilling for å kunne løse. Utbygging av en kommersiell park med et stort antall turbiner innebærer en serie tunge løft av komponenter og moduler med strenge operasjonsgrenser for å håndtere risiko for tap og skade. I feltets levetid vil det være behov for regelmessig vedlikehold og inspeksjoner.

I FME NorthWind vil vi utvikle teknologi som muliggjør operasjon i grovere sjø- og vindtilstander, samt å kunne planlegge aktiviteter slik at værvinduer utnyttes maksimalt.

industripartnere adresserer fem viktige utfordringer:

- Digitale løsninger og modeller for mer effektiv drift og vedlikehold. Dette inkluderer styring av vindparker for å optimere energituttbyttet, samt bruk av «digital tvilling»-metoder for estimering av vedlikeholdsbehov.
- Robuste understell som på kostnadseffektivt vis må tåle å bære svære turbiner.
- Maritime operasjoner for sikker og effektiv installasjon og vedlikehold av havvindparker.
- Subsea kraftnett, både teknologi og løsninger, som muliggjør store havvindparker langt til havs. Dette omfatter utvikling av marked og regulatoriske forhold for havnett, interoperabilitet av HVDC-omformerstasjoner, nye blyfrie transmisjonskabler (se egen boks) og ny teknologi for tilkobling av flytende havvindparker med subsea koblingsstasjoner.
- Bærekraftig utvikling, med forskning som skal bidra til at vindparker kan bygges ut og drives med respekt for natur og mennesker.

Dette er områder der norsk industri har gode muligheter for å levere produkter til det internasjonale markedet.

### Sjøkabler: en viktig del av subsea kraftnettet

Kraftsystemet i Norge er forbundet til Europa med sjøkabler. Sjøkabler er avgjørende for å transportere elektrisitetsproduksjonen fra havvindparker til land. Og de er nødvendige for å kunne forsyne olje- og gassinstallasjoner på sokkelen med kraft fra land.

Kostnaden er betydelig: industriens tommelfingerregel er at en kilometer med høyspent sjøkabel koster rundt én million USD (8,4 millioner kroner). Høyspenningssjøkabler er vanligvis utstyrt med en ekstrudert blykappe for å forhindre vanninntrengning. Dette er et design som fungerer bra, men som har noen ulemper: blykappen er kostbar å påføre, reduserer kabelens fleksibilitet og tilfører mye ekstra vekt – noe som igjen gjør kabelen dyrere å installere. Bly er også giftig, og EU vil sannsynligvis forby denne bruken i nær fremtid.

Derfor ser forskningssentrene LowEmission og FME NorthWind på kabler av såkalt «våt design». Disse kablene inneholder ingen metallisk beskyttelsesbarriere, og er dermed lettere og mer fleksible. Siden de er lettere kan lengre seksjoner transporteres på én gang, noe som reduserer installasjonskostnadene. De er også enklere å produsere. De har imidlertid ett problem: fordi de er mindre beskyttet mot vanninfiltrasjon, vil de i utgangspunktet brytes raskere ned. LowEmission og NorthWind prøver å finne måter å løse denne nedbrytningsutfordringen på, uten å miste alle fordelene med våt design.



**Miljødesign** er et konsept utviklet i forsknings-senteret FME CEDREN. Det går ut på å koble kunnskap om teknologi, natur, økonomi og samfunn for å finne gode løsninger for kraftproduksjon som også tar hensyn til natur og mennesker.

## En bærekraftig utbygging av havvind

### Miljø- og naturdimensjonen

Som all industriaktivitet vil havvind og resten av aktiviteten i Nordsjøen ha konsekvenser for miljøet. Med målrettet forskning kan vi sørge for å minske disse konsekvensene mest mulig. En viktig nøkkel er å ta hensyn til naturens egenverdi i samfunnsøkonomiske kalkyler<sup>27</sup>. Med riktig kunnskap om de artene som finnes i utbyggingsområder kan tekniske innovasjoner redusere konsekvensene havvindutbygging får

for fiske- og fugleliv. Noen ganger kan enkle grep utgjøre en stor forskjell. Norsk institutt for naturforskning (NINA) har ved et forsøk på Smøla funnet ut at å male vindturbinenes rotorblader svart førte til 70 prosent mindre fugle-dødelighet<sup>28</sup>. Ved hjelp av miljødesign<sup>29</sup> kan de nødvendige fornybar- energiprojektene settes i gang samtidig som naturen tas vare på. I miljødesign bør også livssyklus-analyse inngå. Der tas det hensyn til miljøbelastning gjennom hele livsforløpet, fra krybbe til grav, med mål om minst mulig belastning og mest mulig sirkularitet.

### Den sosiale dimensjonen

Utvikling av havvind må være en rettferdig og demokratisk prosess som involverer alle relevante samfunnsaktører, inkludert befolkningen. Vindkraftutvikling på land har skapt mye debatt – til tider protest og konflikt – ikke bare her i landet, men i Europa og resten av verden. Selv om konfliktene sannsynligvis vil involvere andre interessegrupper enn på land, har også havvind konfliktpotensial. Fiskeriorganisasjoner, for eksempel, har vært bekymret for at havvind-installasjoner i Nordsjøen først og

fremst bygges på grunt vann (av tekniske og økonomiske årsaker) og dermed i de beste fiskeområdene<sup>30</sup>.

Internasjonal forskning antyder at konfliktene kan eskalere, særlig dersom vindkraften bygges på grunt vann: mangelen på positive lokale ringvirkninger, visuell og lydmessig forurensning, negative effekter på turisme og konflikter med urfolksinteresser har alle blitt trukket frem som problemer<sup>31</sup>. Her trengs det mer erfaring for å si noe om situasjonen i Norge, men det er tydelig at interessekonflikter mellom ulike grupper og aktører vil gjøre seg gjeldende også til havs.

å sikre at det tas reelle hensyn til deres behov.

### Den økonomiske dimensjonen

Historisk sett har olje- og gass-bedrifter i Norge investert i havvind i perioder med forventet lavere avkastning<sup>32</sup>. De har på den andre siden vendt tilbake til petroleumsmarkedet i perioder der den har bedret seg. Denne situasjonen kalles for dobbel markedssvikt, og er ødeleggende for kontinuitet og forutsigbarhet i havvindsektoren; to faktorer som er avgjørende for industriens langsiktige utvikling.

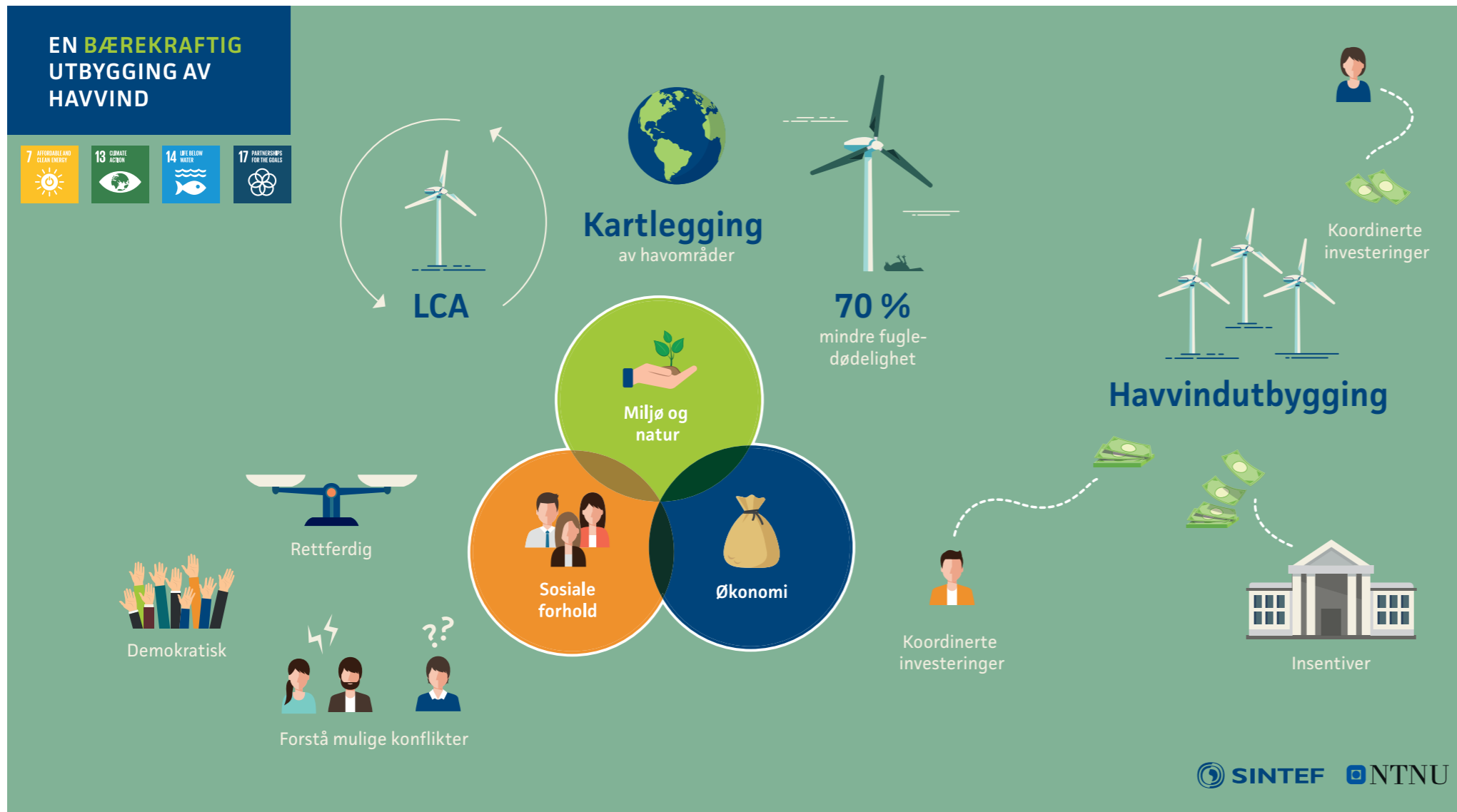
Myndighetenes tradisjonelle løsning på dobbel markedssvikt er å gi subsidier som enten reduserer kostnader og risiko ved overgangen til den nye næringen, eller som øker den potensielle inntjeningen i den nye næringen. Slike insentiver burde også rettes mot olje- og gassnæringen, og insentivene bør være kraftfulle nok til å forhindre at de vender tilbake så snart det er opptur i olje- og gassmarkedet.

På den andre siden kan man se et press fra blant annet Industriaksjonen og andre fagforenings- og industriaktører som ønsker en opptrapping av havvind. De vektlegger behovet for å elektrifisere det norske samfunnet, inkludert norsk sokkel, og krever samtidig at kraftkrevende industri skal opprettholdes og utvikles.

Forskningscenteret FME NTRANS har forsket på problematikken og har følgende anbefalinger for å unngå konflikter i forbindelse med utbygging av havvind:

- Å styrke samfunnsvitenskapelig forskning på havvind, for å forstå mulige interessekonflikter før de eskalerer;
- Å sørge for oppdatert og grundig kartlegging av eksisterende bruk av havområder, inkludert kunnskap om viktige områder for fisk og fugleliv; og
- Å involvere eksisterende næringer og samfunnsaktører som bruker havarealene tidlig i prosessen, for

Men subsidier er ikke nok. En studie<sup>33</sup> viser at flere aktører i verdikjeden må investere samtidig og koordinert i en ny grønn næring for å sikre en effektiv overgang. Kort forklart er en aktørs suksess i den nye næringen avhengig av at andre aktører også går inn samtidig. Konklusjonen er at for å skape en havvindindustri i Norge må vi ha subsidier som kompenserer for finansiell risiko, og som også bidrar til en samtidig og koordinert satsing fra et bredt spekter av aktører langs verdikjeden for havvind.



Åpningen av Utsira og Sørliche Nordsjø for utbygging av havvind er derfor svært viktig for utviklingen av en havvindindustri i Norge. Det er et skritt i riktig retning for å løse både markedsproblemet (siden det finnes kunder) og koordinasjonsproblemet (siden investeringene i verdikjeden gjøres samtidig). Utbyggingen vil bidra til et norsk hjemmemarked for havvind og har allerede fått betydelig interesse fra store aktører.<sup>34</sup>

### Kompetanseutvikling og utdanning

Den forventede utbyggingen av vindkraft i Europa vil gi mange nye arbeidsplasser og skape behov for flere ansatte innenfor sektoren. For at Norge skal lykkes med utvikling av havvind, er god teknisk kompetanse i alle ledd en forutsetning. Det er behov for utdanning og videreutdanning av teknikere og sivilingeniører innenfor feltet. En annen forutsetning er at havvindutbyggingen skjer på en rettferdig, demokratisk og bære-

kraftig måte. For å oppnå dette må samfunnsvitenskapelig og økologisk kompetanse i havvindsektoren styrkes.

I tillegg må smartere og bedre løsninger utvikles. Vår anbefaling er å kombinere ovennevnte utbygging av havvindparker med en opptrapping av utdanning, forskning og innovasjon innen havvindområdet. Det bør satses med utgangspunkt i de etablerte forskningsmiljøene rundt FME-er som NorthWind og NTRANS, for å styrke forskning

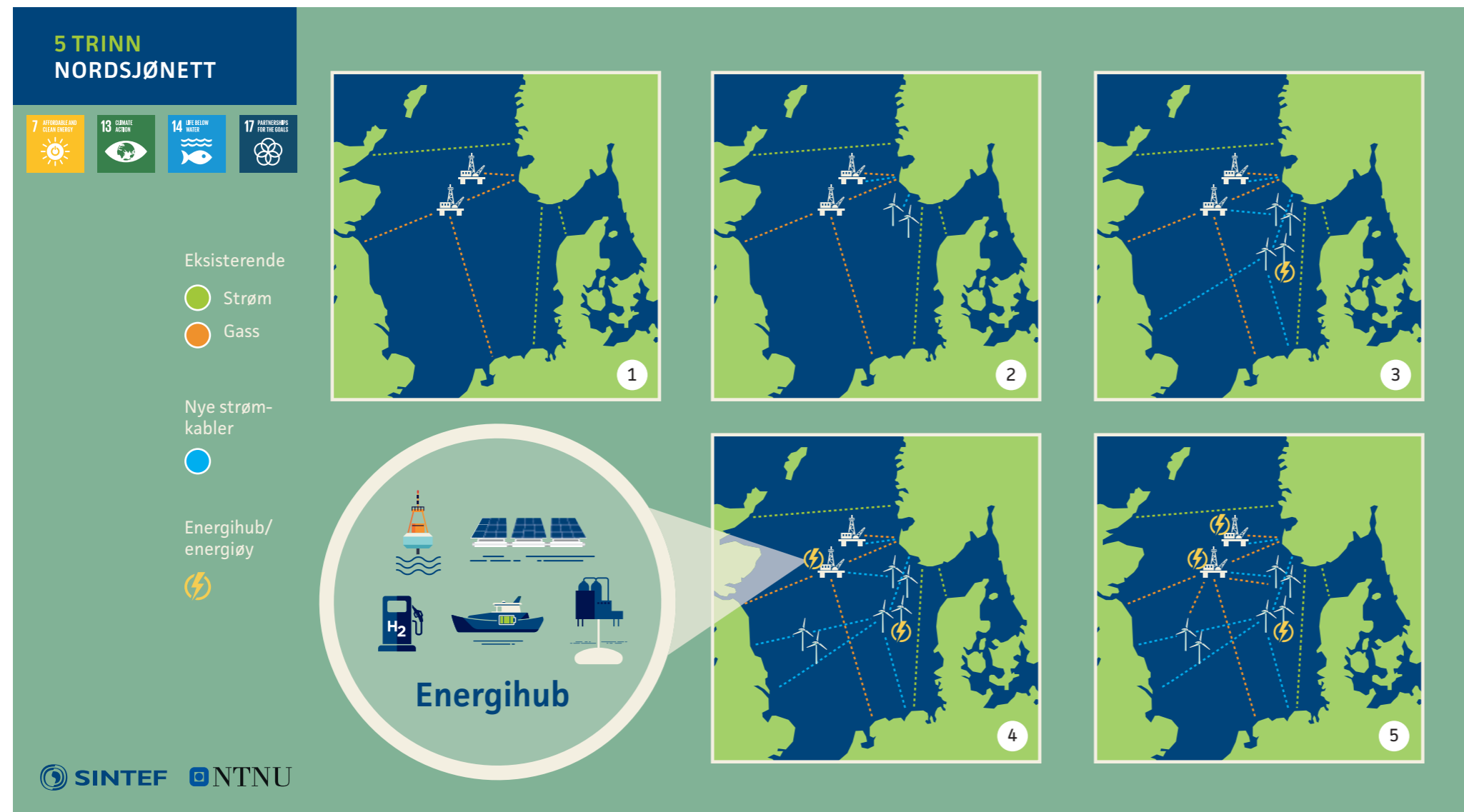
på tema som bidrar til å styrke norsk industris internasjonale konkurransevne. Deltagelse i europeiske forskningsprogram bør prioriteres, og det bør etableres program for økt forsknings-samarbeid på havvind i viktige markeder som USA og Kina i tillegg til Storbritannia og EU. I samspill med et kraftfullt utdannings-, forsknings- og innovasjonsprogram vil havvindparkene være et effektivt virkemiddel for å videreutvikle og kommersialisere teknologien, bygge kompetanse hos leverandør-

industrien og redusere kostnadene for havvind.

### Nordsjønett: utbyggingen må skje trinnvis

Store havvindparker bygges ikke i en fei. Hvis utbyggingen skjer stegvis og koordinert, kan det bety store besparelser for industrien og staten.

1. Først må en nettinfrastruktur bygges. Her er en trinnvis utbygging sett i forbindelse med elektrifisering av Nordsjøen meget gunstig. Store kostnadsbesparelser kan oppnås ved å legge til rette for et Nordsjønett, sammenlignet med små enkeltprosjekter som ikke lar seg koble sammen. Det er rett og slett milliarder å spare på smart offshore nettutbygging<sup>35</sup>.
2. Ved hjelp av et Nordsjønett, elektrifisering av sokkelen og utbygging av havvind kan offshore energiproduksjonsanlegg eller «energihubber» (se side 26) gå fra å være netto importør til netto eksportør av kraft<sup>36</sup>.
3. Hubbene videreutvikles til store energiøyer med opptil 30 GW tilkoblet vindkraft. Energiøyene kan gi store kostnadsbesparelser og samtidig muliggjøre transport av vindenergi i form av hydrogen<sup>37</sup>.
4. Det kan tenkes at energiøyer eller energihubber i framtiden kan produsere hydrogen fra både elektrolyse og gass med CCS. Med rørinfrastrukturen for gass rett i nærheten, kan innblanding av hydrogen i naturgass være et effektivt klimatiltak der hydrogen produseres når det er kraftoverskudd. I tillegg er strømproduksjon med hjelp av bølgekraft og flytende solcelleanlegg mulig. Man kan installere hydrogen-fyllstasjoner for skips-transport og tilby CO<sub>2</sub>-lagring og tjenester for offshore akvakultur og utvinning av mineraler på havbunnen.
5. Videre oppkobling av energi- hubber og energiøyer til andre energihubber i et multinasjonalt offshore kraftnett, åpner for mer havvindutbygging enn hva enkeltprosjekter vil gjøre.<sup>38</sup>. Til dette behøves et sterkt samarbeid mellom nordsjølandene, hvor man deler risiko og gevinst. Analyser gjort med EMPIRE-modellen for europeiske kraftmarkeder viser at havvindressursen blir mer verdert dersom den kobles til et offshore nettverk av strømkabler som kobler sammen Norge med hubber i Nordsjøen og andre europeiske land. Dersom man ser elektrifisering av sokkelen som en integrert del av slike nett mellom energihubber, kan potensialet være betydelig.







# Ocean Space Centre

Verden trenger mat, mineraler og energi. Løsningen på dette finnes i havrommet. Ocean Space Center (OSC) gir unike muligheter for ny kunnskap, kompetanse og forskning. Fasiliteter og høyteknologiske laboratorier i verdensklasse vil bidra til utviklingen og omstillingen av havnæringen lokalt, nasjonalt og globalt. Fremtidige generasjoner får økt kunnskap om og forståelse av havrommet, til det beste for en bærekraftig verden.

Om Ocean Space Centre vedtas bygd i Stortinget senhøsten 2021, vil det på Tyholt i Trondheim komme 49.000 kvadratmeter med undervisningslokaler, kontor- og møtelokaler, og ikke minst: våte og tørre laboratorier. Fysiske laboratorier og digitale verktøy i verdensklasse skal sammen med norske fagmiljøer brukes for å realisere morgendagens løsninger.

OSC blir et av verdens mest avanserte anlegg for forskning og undervisning på hav og mulighetene som ligger i havrommet. Senteret skal bli det nasjonale kunnskapssenteret for havromsteknologi. OSC vil bli svært viktig for både verdiskapingen og for å videreutvikle kompetansen i havnæringene.

Formålet med Ocean Space Centre er å sikre Norges posisjon som ledende havnasjon og bidra til den grønne omstillingen av Norge. Senteret skal:

- Utdanne fremtidens spesialister innenfor havromsteknologi.
- Sikre næringsliv og myndigheter tilgang til ledende kompetanse og infrastruktur knyttet til høsting og forvaltning av havrommet.
- Bidra til effektiv utnyttelse av nasjonal kompetanse og økt kunnskap gjennom samarbeid med norske og utenlandske institusjoner og virksomheter.
- Aktivt medvirke til økt innovasjonstakt innen havromsteknologi.
- Bidra til omstilling og utvikling av havnæringene.



# Danmarks energiøyer

Danmark planlegger å etablere to «energihubber»<sup>39</sup>. I Nordsjøen planlegges en kunstig øy som knutepunkt for 3 GW havvind som på sikt kan utvides til 10 GW, og i Østersjøen planlegges øya Bornholm som knutepunkt for 2 GW havvind. Norge kan gjøre noe lignende.

«Sørlige Nordsjø II» -området, som ble åpnet for vindkraftprosjekter i fjor, har en ideell beliggenhet for etablering av et slikt knutepunkt. Det trenger ikke være en kunstig øy, men kan bestå av flere plattformer. Dette vil kunne gi mindre fotavtrykk men samme funksjonalitet som en energihub.

Den vil kunne fungere som knutepunkt for tilkobling av havvindparker, utenlandsforbindelser og for elektrifisering av olje- og gassanlegg. Den kan også benyttes til produksjon av hydrogen og ammoniakk fra både fornybar kraft og naturgass (med karbonfangst og lagringsanlegg), og som fyllstasjon for skip som trenger drivstoff, eller til tankskip for transport til land.

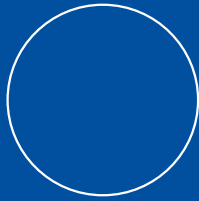
Energihubben vil også kunne benyttes som lager og oppholdssted i forbindelse med installasjon og service av havvindparker, og andre offshore-installasjoner, og som ladestasjon for batteridrevne skip.

## Referanser

- 1 «Miljøstatus.» Miljødirektoratet, [Internett]. Se: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/>
- 2 «Havnasjonen Norge.» [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/tema/hav/innsiktsartikler/havnasjonen-norge/id2605291/>
- 3 «FME NTRANS.» [Internett]. Se: <https://www.ntnu.no/ntrans>
- 4 «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved CO<sub>2</sub>-håndtering i Norge.» Sigmund Ø. Størset, Grethe Tangen, Ove Wolfgang og Gunnar Sand, 2018 [Internett]. Se: <https://www.nho.no/contentassets/c7516d8d47b84af9b174c803964b6e75/industrielle-muligheter-og-arbeidsplasser-ved-storskala-co2-handtering-i-norge.pdf>
- 5 «World Energy Outlook 2020.» IEA, [Internett]. Se: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- 6 «Derfor er CO<sub>2</sub>-lagring sikkert.» SINTEF Blog, [Internett]. Se: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/ccs-n/derfor-er-co2-lagring-sikkert/>
- 7 «Sleipner area.» Equinor, [Internett]. Se: <https://www.equinor.com/en/what-we-do/norwegian-continental-shelf-platforms/sleipner.html>
- 8 «Northern Lights.» [Internett]. Se: <https://northernlightsccs.com/>
- 9 «Hydrogen4EU: A 6 minute snapshot of the study.» SINTEF Blogg, Gunhild Reigstad, [Internett]. Se: <https://blogg.sintef.com/sintefenergy/hydrogen4eu/>
- 10 «Offshore Wind – Opportunities for the Norwegian Industry.» Thema Consulting Group, 2020, [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/contentassets/07635c56b2824103909fab5f31f81469/offshore-wind-opportunities-for-the-norwegian-industry.pdf>
- 11 «CO<sub>2</sub> Datashare.» [Internett]. Se: <https://co2datashare.org/>
- 12 «CO<sub>2</sub> atlas for the Norwegian Continental Shelf.» Olje- og Energi departementet, [Internett]. Se: <https://www.npd.no/en/facts/publications/co2-atlases/co2-atlas-for-the-norwegian-continental-shelf/>
- 13 «Fossil hjelp til grønt skifte.» SINTEF, Petter Nekså, [Internett]. Se: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2018/fossil-hjelp-til-gront-skifte/>
- 14 «CertifyHy.» [Internett]. Se: <https://www.certifyhy.eu/>
- 15 «Regulating the reuse and repurposing of oil and gas installations.» SINTEF Blog, Catherine Banet, [Internett]. Se: <https://blogg.sintef.com/sintefenergy/regulating-the-reuse-and-repurposing-of-oil-and-gas-installations/>
- 16 «Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target.» Dan Tong, Qiang Zhang, Yixuan Zheng, Ken Caldeira, Christine Shearer, Chaopeng Hong, Yue Qin & Steven J. Davis, 2019 [Internett]. Se: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1364-3>
- 17 «EU taxonomy for sustainable activities.» [Internett]. Se: [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en)
- 18 «ELEKTRIFISERINGSTILTAK I NORGE.» Norges vassdrags- og energidirektorat, Ingrid Endresen Haukeli et al., 2020 [Internett]. Se: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020\\_36.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_36.pdf)
- 19 «Boosting Offshore Renewable Energy for a Climate Neutral Europe.» [Internett]. Available: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_2096](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_2096)
- 20 «Opner områder for havvind i Noreg.» [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/opner-omrader/id2705986/>
- 21 «HAVVIND - en industriell mulighet.» NTRANS, Per Ivar Karstad et al., 2019 [Internett]. Se: <https://www.ntnu.no/documents/1284688443/1285504199/Havvind+-+en+-+industriell+mulighet+-+NTRANS-rapport.pdf>
- 22 SSB [Internett]. Se: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>
- 23 «4 - Felt og innretninger med kraft fra land.» Olje- og energi-departementet, [Internett]. Se: <https://www.npd.no/fakta/publikasjoner/rapporter/rapportarkiv/kraft-fra-land-til-norsk-sokkel/4---felt-og-innretninger-med-kraft-fra-land/>
- 24 «Hywind Tampen: verdens første fornybare kraftkilde for olje- og gassvirksomhet til havs Equinor, » [Internett]. Available: <https://www.equinor.com/no/what-we-do/hywind-tampen.html>
- 25 «NVE: landbasert vindkraft blir snart billigere enn vannkraft.» Enerwe, [Internett]. Se: <https://enerwe.no/nve-landbasert-vindkraft-blir-snart-billigere-enn-vannkraft/313388>
- 26 «Building the world's largest offshore wind farm,» Doggerbank Wind Farm, [Internett]. Se: <https://doggerbank.com/>
- 27 «Tre råd for bærekraftig utbygging av vindkraft i Norge.» SINTEF, Christina Benjaminsen, 2019 [Internett]. Se: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/tre-rad-for-barekraftig-utbygging-av-vindkraft-i-norge/>
- 28 «How efficient are mitigation measures for bird-friendly wind power?.» NINA, 2020 [Internett]. Se: <https://www.nina.no/Aktuelt/Nyhetsartikkel/ArticleId/5037/S-229-effektive-er-tiltakene-for-fuglevennlig-vindkraft>
- 29 «Hvordan tilpasse inngrep i naturen gjennom miljødesign?.» Teknisk Ukeblad, Merethe Ruud, 2016 [Internett]. Se: <https://www.tu.no/artikler/hvordan-tilpasse-inngrep-i-naturen-gjennom-miljodesign/366375>
- 30 «Norske fiskere sier nei til havvind.» E24, [Internett]. Se: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/mBd8wq/norske-fiskeresier-nei-til-havvind>
- 31 «Bird killer, industrial intruder or clean energy? Perceiving risks to ecosystem services due to an offshore wind farm.» Ecological Economics, Klain, S. C., Satterfield, T., Sinner, J., Ellis, J. I., & Chan, K. M., 2018
- 32 «The green flings: Norwegian oil and gas industry's engagement in offshore wind power.» Energy Policy, Mäkitie, Tuukka, Håkon E. Normann, Taran M. Thune, and Jakoba Sraml Gonzalez, 2019
- 33 «Simultaneous Adoption of Circular Innovations – A challenge for rapid growth of the circular economy.» A. M. O. & O. M. Aspelund, (Forthcoming in 2021).
- 34 «Enorm interesse for norske havvindutbygginger,» E24, Anders Fjellberg, 2021 [Internett]. Se: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/Ep6VQ3/enorm-interesse-for-norske-havvindutbygginger>
- 35 «The Potential of Integrating Wind Power with Offshore Oil and Gas Platforms,» Sage Journals, Wei He et al., 2010, [Internett]. Se: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/0309-524X.34.2.125>
- 36 «Electrification of offshore petroleum installations with offshore wind integration.» Renewable Energy, Jorun I. Marvik et al., 2013 [Internett]. Se: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112004363>
- 37 «Towards a fully integrated North Sea offshore grid: An engineering-economic assessment of a power link island,» Martin Kristiansen et al., 2018 [Internett]. Se: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wene.296>
- 38 «Multinational transmission expansion planning: Exploring engineering-economic decision support for a future North Sea Offshore Grid,» NTNU, Martin Kristiansen, 2019 [Internett]. Se: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2601704>
- 39 «Danmarks energiøyer.» Energistyrelsen, [Internett]. Se: <https://ens.dk/ansvarsomraader/vindenergi/udbud-paa-havvindmoelleomraadet/energieoer>
- 40 «Visjon 50 GW i 2050: Ambisjonen om en stor norsk havvind-industri,» Thema Consulting Group, [Internett]. Se: <https://www.ae.no/contentassets/5f7d089fe4d24a7f-9030bc0d909db2ca/visjon-50-gw-i-2050---ambisjonen-om-en-stor-norsk-havvindindustri.pdf>



 NTNU



 SINTEF