



Nordsjøen

som løsning på klima-
og energikrisen





NTNU og SINTEF har en viktig rolle i den norske samfunnsdebatten. De nasjonale forskingssentrene NorthWind, LowEmission, HYDROGENi, NCCS og NTRANS har også en oppgave i å bidra til kunnskapsbaserte politiske beslutninger. Denne kunnskapsoppsummeringen fra forskingssentrene er skrevet i forbindelse med Arendalsuka 2022, og er grunnlaget for «Nordsjøen som løsning på klima- og energikrisen: 3 råd til politikere».

Bidragstere

- Ellen Krohn Aasgård, forskningsleder, SINTEF
- Stefania Gardarsdottir, leder LowEmission, forskningsleder, SINTEF
- Magnus Korpås, professor, NTNU
- Trond Kvamsdal, professor, NTNU
- Mona Mølsvik, leder FME NCCS, forskningssjef, SINTEF
- Nils Anders Røkke, leder FME HYDROGENi, direktør bærekraft, SINTEF
- Petter Støa, forskningsdirektør, SINTEF
- John Olav Tande, leder FME NorthWind, sjeforsker, SINTEF
- Grethe Tangen, seniorforsker, SINTEF
- Asgeir Tomasgard, leder FME NTRANS, professor, NTNU

Redaksjon

- Daniel Albert, kommunikasjonsrådgiver, SINTEF
- Annika Bremvåg, kommunikasjonsansvarlig, NTNU Energi, NTNU
- Anne Steenstrup-Duch, kommunikasjonsjef, SINTEF Energi, SINTEF
- Jessica Scott, kommunikasjonskonsulent, SINTEF



Innhold

Nordsjøen: Veien til raske norske utslippskutt	6
Havvind	8
Norges energisystem har en europeisk framtid	18
Hydrogen	22
CO₂-fangst, transport og lagring (CCS)	26
Ekspertise og kompetansebygging	32



NCCS er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) innen CO₂-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 CO₂-lagring i Nordsjøen blir mulig.

nccs.no



HYDROGENi er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) som utvikler kunnskap og teknologiske løsninger for å realisere visjonen om hydrogen som en av hoveddriverne for det grønne skiftet. Hydrogen og ammoniakk har potensialet til å fungere som rene alternative drivstoff i varme- og elektrisetsproduksjon, og kan erstatte fossilt brennstoff i industrielle prosesser som er vanskelige å avkarbonisere samt spille en viktig rolle i det totale energi og elektrisets-systemet som energilagringsmedium og fleksibilitet.

hydrogeni.no



NorthWind er et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) på vindkraft. Gjennom forskning og innovasjon bidrar senteret til å redusere kostnadene for vindenergi, legger til rette for en bærekraftig utvikling, skaper arbeidsplasser og øker eksporten.

northwindresearch.no



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.

ntnu.no/ntrans



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

lowemission.no

Disse forskningssentrene er finansiert av Norges forskningsråd og av partnere i sentrene. Sentrene skal fremme samarbeid mellom forskningsinstitusjoner og industri, samt å utdanne masterstudentene og doktorgradsstudentene som vil bli fremtidens eksperter på grønne teknologier. Siden sentrene jobber med forskningsutfordringer av internasjonal interesse, samarbeider de også med internasjonale forskningspartnere.





Nordsjøen: Veien til raske norske utslippskutt

FNs klimapanel presenterte i begynnelsen av april ny kunnskap om hva som må til for å bremse global oppvarming. Rapporten understreker at raske utslippskutt er nødvendige for å sikre en levelig framtid. Under Parisavtalen har Norge forpliktet seg til å kutte sine klimagassutslipp med 50 til 55 prosent innen 2030 – sammenlignet med utslippsnivået i 1990¹. I 2021 var nedgangen 4,5 prosent², og nedgangen i 2021 var kun 0,3 prosent sammenlignet med 2020.³ Det betyr at mye må skje i løpet av få år.

Mye har skjedd siden vi under Arendalsuka i fjor la fram rapporten: Nordsjøen som plattform for grønn omstilling⁵.

- Norske strømkunder ble rammet av uvanlig høye priser⁶. Ifølge en rapport fra NVE i mai i år kan Norge slite med å levere nok strøm i årene fremover med dagens kapasitet, som vil gi høye priser.⁷
- Russlands invasjon av Ukraina har motivert EU til å øke farten på den grønne omstillingen⁸. EU har dermed tatt en global lederrolle i det grønne skiftet, og akselerer omstillingen for å bli uavhengig av fossil energi grunnet energisikkerhetshensyn. Med den «sense of urgency» EU nå uttrykker knyttet til forsyningsikkerhet og invasjonen i Ukraina fremskyndes viljen til endring.

- Norge har forpliktet seg til å tildele områder for 30 GW havvindkapasitet innen 2040⁹. Dette innebærer at Norge i løpet av de kommende 18 årene skal bygge et like omfattende energisystem til havs som vi har brukt mer enn ett århundre på å realisere i fastlands-Norge.

For å lykkes med å nå klimamålene, og samtidig ivareta forsyningsikkerhet til en akseptabel kostnad, må vi bruke teknologier som er tilgjengelig nå, samtidig som vi forsker for å få frem løsningene som skal ta oss til et kostnads-effektivt, robust, klima- og naturvennlig energisystem innen 2050. Løsningene er mange: Vindkraft, oppgradering av vannkraft, elektrifisering, solkraft, energi-effektivisering, CO₂-fangst og lagring og nullutslippsdrivstoff som hydrogen og ammoniakk.

Nordsjøen enda viktigere som plattform for grønn omstilling

I alle år har Nordsjøen vært viktig for Norge, som handelsrute, for fiske og i nyere tid, for olje- og gassvirksomhet. Gjennom industriaktiviteten har Norge opparbeidet seg enorm kunnskap om Nordsjøen, havbunnen og det som ligger under den. I tillegg har olje- og gassindustrien, sammen med forskningsmiljøer, utviklet teknologiske løsninger og kompetanse som anvendes på sokkelen og som kan overføres til klimaløsninger.

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 og varme 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. Dette kan gjøres med havvind. I tillegg til store utslippskutt vil dette gi et testmiljø for videre utvikling av havvind. Med denne kunnskapen kan havvind forsyne Norge med fornybar energi som er avgjørende for den grønne omstillingen – og for videre vekst i norsk industri.

Samtidig som vi oppnår store utslippskutt innen 2030, må vi forberede veien til et nullutslipps-samfunn. Utbygging av vindressurser vil sikre tilgang til fornybar kraft, men siden vindkraft er variabel blir også lagring av denne energien et stort nytt behov. Her kan batterier, vannkraftmagasiner og pumpekraft bistå, og nullutslippsdrivstoff (hydrogen og ammoniakk) kommer også til å spille en stor rolle. Dette vil blant annet hjelpe med grønn omstilling for industrier som er vanskelige å avkarbonisere. CO₂-fangst og -lagring vil være avgjørende for å sikre norsk prosessindustri sin konkurransekraft og ren produksjon av hydrogen fra naturgass.

Vi går i søvne mot en klimakatastrofe

– António Guterres, FN generalsekretær, 21. mars 2022⁴

Norges ekspertise i havindustriene og lett tilgang til Nordsjøen kan gi oss et forsprang, men vi må handle klokt og raskt for å ta vare på det. Våre naboland har også skjønnet viktigheten av Nordsjøen for energiomstillingen¹⁰. Med de riktige grepene kan Norge både nå klimamålene og skape nye industrielle muligheter.

En populær idé

I fjor presenterte SINTEF og NTNU dokumentet *Nordsjøen som plattform for grønn omstilling* på Arendalsuka. Vi lanserte en tilpasset engelsk versjon, der vi fikk innspill fra våre forskningspartnere rundt Nordsjøen, på FNs klimatoppmøte i Glasgow, COP26. I Glasgow var vårt hovedbudskap at Nordsjølandene må samarbeide for å lykkes. Siden det har idéen blitt adoptert av flere. Fire Nordsjøland (Danmark, Tyskland, Nederland og Belgia) forplikter seg i Esbjerg-deklarasjonen¹⁰ til å bygge ut 150 GW havvind i Nordsjøen innen 2050.



Klimaløsninger = økonomiske bærebjelker

Hva skal Norge leve av etter oljen? Klimaløsningene er nødvendige for at fremtidige generasjoner skal ha levelige vilkår, men de kan også skape industriene som skal bære den norske økonomien videre. Den grønne omstillingen vil skape store industrielle muligheter både i Norge og utenlands. Om vi spiller kortene våre riktig, kan vi skape nye eksportindustrier som kan sikre landets økonomiske fremtid. I tillegg til å handle raskt, må vi handle klokt. Omstillingen må ha minst mulig innvirkning på natur og miljø og være basert på rettfærdige og demokratiske prinsipper¹¹.



Foto: Daniel Albert/SINTEF

De flytende vindturbinene som skal tilhøre Hywind Tampen settes sammen ved Gulen.

Havvind

Regjeringen annonserte i mai planer om å tildele områder for 30 GW havvindproduksjon i Norge innen 2040. Det jobbes nå med utlysning av de første områdene for utbygging, nemlig Sørlige Nordsjø II (SNII) og Utsira Nord (UN). Disse er i første omgang planlagt utbygd med 1.5 GW bunnfast havvind i SNII og med 1.5 GW flytende havvind i UN.

Utbygging av 30 GW havvind vil gi ca 150 TWh årlig, altså om lag like

mye energi som vi får fra vannkraften vår i dag. Dette betyr en radikal endring av kraftsystemet, og krever utvikling av løsninger for effektiv og robust drift av kraftsystemet med store mengder vindkraft. Vi må også utvikle teknologi og løsninger for å realisere en mest mulig optimal utbygging av havnett og havvind.

Tidsmessig er vi nå i en perfekt situasjon for å gjøre forskningen

som skal til for å lykkes med dette. Vi trenger imidlertid mer enn forskning: Vi trenger prosjekt som stimulerer utviklingen av industrien med oppskalering av produksjonskapasiteten og fremmer effektive leverandørkjeder, og vi trenger prosjekt som gir flere industriaktører erfaring i å bygge og drifte havvindparker. Utbyggingen av SNII og UN vil bidra til dette. Samtidig representerer elektrifisering av norsk sokkel en gylden mulighet til

å ytterligere akselerere utbygging av havvind. Vi får da kutt av norske utslipp, akselerert utvikling av havvind og økt kraftproduksjon, og dette kan gjøres relativt raskt.

Elektrifisering av sokkelen med havvind

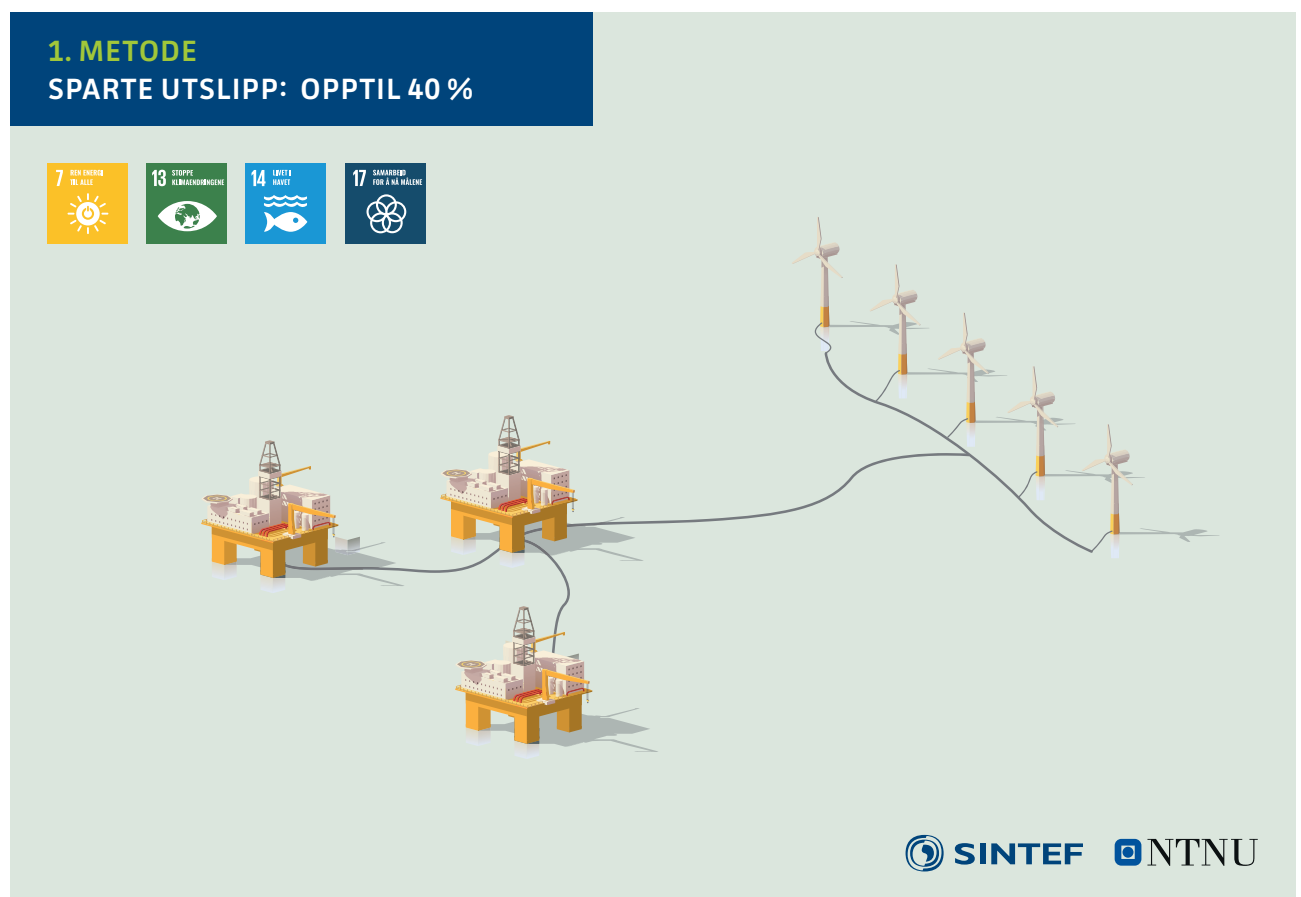
Olje- og gassutvinning er en energikrevende prosess. På norsk sokkel blir mesteparten av denne energien produsert av gassturbiner. Elektrifisering av plattformene med ny fornybar kraft utgjør derfor en

reel mulighet til å oppnå store innenlands utslippskutt innen 2030. Arbeidet er allerede i gang. Det som skal bli verdens største flytende havvindpark er nå under bygging for å forsyne fem plattformene i Nordsjøen med elektrisk kraft¹². Havvindparken Hywind Tampen har en kapasitet på 88 MW, og vil bestå av 11 flytende turbiner. Havvindparken vil settes i drift i år og spare 200 000 tonn CO₂-utslipp hvert år.

Om olje- og gassindustrien skal nå målet om 50 prosent utslippskutt innen 2030 er bruk av havvind til å erstatte kraft fra gassturbinene et effektivt alternativ. En slik utbygging vil akselerere utviklingen av kunnskap og leverandørindustri og vil gi billigere og bedre flytende havvindparker.

Tre fremgangsmåter

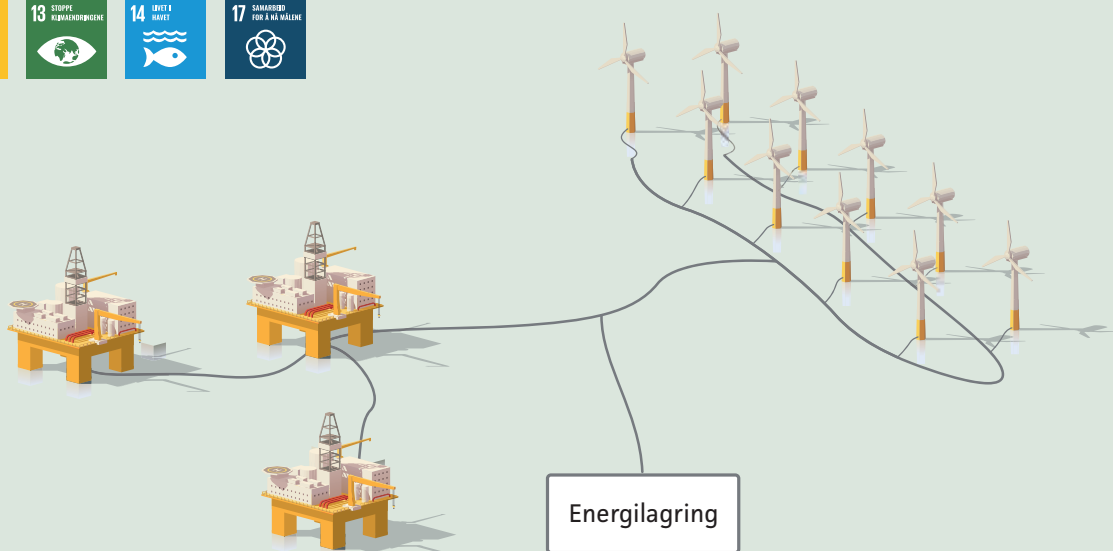
Man kan elektrifisere olje- og gassplattformer med flytende vind på tre måter¹³.



Figur 1: Olje- og gassplattformene er koblet til en flytende vindpark i et lukket system, uten videre forbindelser. En havvindpark med kapasitet på 100 MW som leverer 450 GWh tilkoblet en olje- og gassklynge med 150 MW elektrisk last (1200 GWh) vil redusere CO₂ utslippene fra gassturbinene på Hywind Tampen med ca 35 %.

2. METODE

SPARTE UTSLIPP: OPPTIL 50–60 %

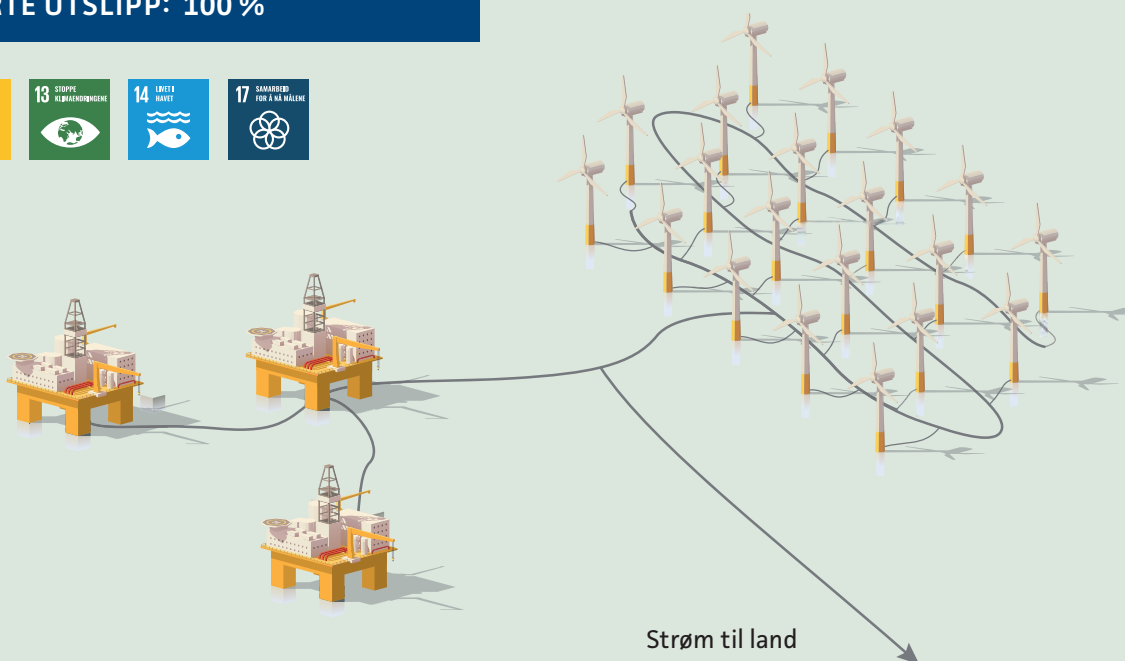


 SINTEF  NTNU

Figur 2: Olje- og gassplattformene er koblet til en noe større flytende vindpark, og til et energilagringssystem. En havvindpark med kapasitet på 150 MW som leverer 675 GWh tilkoblet en olje- og gassklynge med 150 MW last og et energilager som muliggjør å stoppe gassturbinene i noen perioder vil redusere CO₂ utslippene fra gassturbinene med ca 50–60 %.

3. METODE

SPARTE UTSLIPP: 100 %



 SINTEF  NTNU

Figur 3: Olje- og gassplattformene er koblet til en enda større flytende vindpark, som er i tillegg koblet til land. En havvindpark med kapasitet på 600 MW som leverer 2700 GWh tilkoblet en olje- og gassklynge med 150 MW last og en kabel til land gjør at gassturbinene kan kuttes helt. Det oppnås dermed 100 % utslippskutt, men også en netto kraftforsyning til land på 1500 GWh som kan bidra til lavere kraftpriser på land. Dette er modellen som er foreslått av Equinor for Troll- og Oseberg feltene, der selskapet håper å ha 1 GW installert flytende havvindkapasitet innen 2027.¹⁴

En akselerator for en ny industri

Den grønne omstillingen kommer til å kreve mye fornybar energi. Havvind kan gi oss en stor del av denne energien, men først må kostnaden reduseres. Dette kan oppnås med en kombinasjon av utbygging, forskning og innovasjon. Elektrifisering av offshore olje- og gassinstallasjoner med havvind er en gyllen mulighet til å sparke i gang en slik utbygging og akselerere utviklingen av teknologien og norsk leverandør-industri.

Samtidig som havvindparker bygges ut, vil forskere jobbe med å løse en rekke utfordringer knyttet til selve produksjonen av både turbiner og understell, vedlikehold, kobling til et subsea kraftnett, bruk av datamodeller for mer effektiv drift og nye løsninger for å hindre

negative konsekvenser på naturen og mennesker. Slik forskning er allerede i gang i FME NorthWind¹⁵ (2021-2029), SFI BLUES (2020-2028)¹⁶ og i Grønn Plattform prosjektet Ocean Grid¹⁷ (2021-2024), blant annet. Prosjektene samler forskningspartnere og industriselskaper for å utvikle nye løsninger på områder der norsk industri har gode muligheter for å levere produkter og tjenester til det internasjonale markedet.

Hvor mye koster vindkraft?

FME NorthWind har som mål å halvere kostnaden for flytende havvind gjennom utbygging, forskning og innovasjon. Men hva er kostnaden?

Landbasert vindkraft er nå konkurransedyktig uten subsidier, med en kostnad for levert energi på rundt 0,30 kr/kWh¹⁸. Dette

kostnadsnivået er et resultat av en kombinasjon av utbygging, forskning og utvikling over flere år. Et lignende prisfall er i ferd med å skje for bunnfast havvind. Dogger Bank Offshore Development Zone¹⁹ (Storbritannia) er nå under utvikling med bunnfaste turbiner til en kostnad på cirka 0,50 kr/kWh. For ti år siden var kostnaden over 1 kr/kWh for bunnfast havvind. Flytende havvind er ennå i en tidlig utviklingsfase med en kostnad i dag på et sted rundt 1kr/kWh, men utbygging, forskning og utvikling vil føre til store kostnadsreduksjoner fremover. En kostnad på 0,50 kr/kWh for flytende havvind er realistisk innen ti år, og på sikt enda lavere.

Enorme muligheter for industriell vekst

Elektrifisering av sokkelen med havvind kan sparke i gang en enorm

OFFSHORE VIND KAPASITET I EUROPA



2021
28 GW



2050
300 GW (kun EU)
450 GW (inkl. Norge og UK)

økning i industriaktivitet i Norge, på flere måter.

Europa er et viktig marked for norsk industri

Hvis Norge skal bli en verdensledende aktør 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.

EU har et mål om å installere 300 GW med havvind kapasitet innen 2050²⁰. Om vi regner med Norge og Storbritannia, blir totalkapasiteten

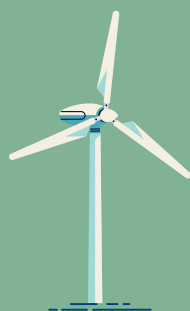
i nærheten av 450 GW i 2050²¹. Til sammenligning er det per 2021 installert 28 GW havvind i Europa (inkludert Storbritannia)²².

Den massive utbyggingen som kommer i Europa – og påfølgende drift av havvindparkene – er en mulighet for norsk leverandørindustri. Allerede nå eksporterer Norge varer og tjenester knyttet til havvind for over 10 milliarder kroner årlig, ifølge en rapport fra Thema Consulting Group²³. I samme rapport er det beregnet at denne eksporten vil tidobles til over 100 milliarder kroner årlig i 2050. Andre rapporter

(fra NHO og Norsk Industri for eksempel) kommer med lignende prognoser, men alle forutsetter at Norge satser. Elektrifisering av sokkelen med havvind kan være starten på denne satsingen.

Analyser gjort for europeiske kraftmarkeder, viser at norske farvann er svært attraktive for havvindindustrien på grunn av vindforhold, beliggenhet og store tilgjengelige områder, og på grunn av Norges solide vannkraftsystem, som havvindparker kan spille på lag med²⁷.

EKSPORTMULIGHETER MOT 2050



Havvindteknologi, ekspertise og tjenester
130 milliarder kroner¹⁰² *
50 000 arbeidsplasser¹⁰³



* Eksportpotensial for Norge

Mer kraft gir industrielle muligheter

Økt produksjon av elektrisitet vil, om alt annet er likt, føre til lavere strømpriser. Mesteparten av strømmen i Norge er produsert av vannkraft²⁴. I 2021 hadde vi høye strømpriser forårsaket av høye gasspriser og usikkerhet rundt gassleveranser til Europa samt lav vannstand i vannmagasinene på grunn av uvanlig lite nedbør²⁵. Om vi har rikelig tilgang til vindkraft, kan vi spare på vannkraften og heller bruke vind når det blåser. Det vil gjøre oss mindre sårbare for variasjon i nedbørmengder²⁶.

Rimelig, ren og sikker tilgang på kraft tiltrekker seg industri. Det å ha store mengder med billig fornybar kraft i Norge kan tiltrekke kraftkrevende industri og skape arbeidsplasser. Dette gjelder både tradisjonelle industrier som allerede

eksisterer i Norge (for eksempel metallproduksjon) og nye industrier

knyttet til den grønne omstillingen (som batterifabrikker).

Internasjonal enighet om behov for forskning og innovasjon

Ledende europeiske forskningsinstitusjoner har i samarbeid med store industriselskaper identifisert behov for en kraftfull satsing på forskning innen havvind³³. To områder er pekt på som særlig viktige, nemlig flytende havvind og storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet. Visjonen er at havvind vil være en bærebjelke for det fremtidige energisystemet, utviklet med respekt for naturen og samfunnet, og for å gi velstand med ren og rimelig energi for alle.



Nils Røkke, Asgeir Tomasgard, Espen Barth Eide og Edel Sheridan på FNs klimatoppmøte COP26 i Glasgow. COP26 i Glasgow, der SINTEF og NTNU presenterte rapporten «The North Sea as a springboard for the green transition».

Prinsipper for gode deltakelsesprosesser i utvikling av havvind

En god deltakelse av berørte aktører vil bidra til å dempe konfliktpotensialet i utbygging av havvind. FME NTRANS anbefaler i sin policy brief 05/2022³² noen prinsipper for gode deltakelsesprosesser i utvikling av havvind. Her er et utdrag:



Gode deltakelsesprosesser tar hensyn til økologisk og sosial bærekraft og sikrer sameksistens mellom interesser som berøres av havvind. Det bør stilles krav til at prosjektene måles på bærekraft og sameksistens allerede i auksjonsfasen.



Gode deltakelsesprosesser er kunnskapsbaserte og tar i bruk kompetanse på medvirkningsprosesser. Den er åpen for kunnskap som underbygger både negative og positive konsekvenser av havvind. Prosesser bør også ta i bruk kompetanse på medvirkningsprosesser som tilrettelegger for kommunikasjon mellom ulike fag- og samfunnsfelt for å skape en god dialog mellom ulike grupper.



Gode deltakelsesprosesser starter tidlig og gjennomføres kontinuerlig. En god prosess er en kontinuerlig prosess som tilrettelegger for god dialog og bygging av tillitt mellom aktørene, som ivaretar langtidsperspektivet og muliggjør læring fra andre vindkraftprosjekter nasjonalt og internasjonalt.



Gode deltakelsesprosesser er transparente og inkluderende. Deltakelsesprosesser bør være åpne og informasjon om hvem som har deltatt og hva slags avveininger som ble gjort underveis bør være tilgjengelig for å sikre legitimitet. Prosesser bør også være inkluderende og åpne for at alle relevante aktører kan delta. Det kan bety at man bruker ulike deltakelsesmetoder som er tilpasset ulike grupper aktører, for eksempel marginaliserte grupper.



Gode deltakelsesprosesser sikrer reell innflytelse på resultatet. Det er viktig at deltakerne ikke bare blir invitert, men også hørt i prosessen og har påvirkning på resultatet. Deltakelse bør betraktes som en integrert del av energiomstillingen og ikke oppleves som en rent symbolsk pliktøvelse.



Gode deltakelsesprosesser må planlegges og styres. Noen, enten enkeltpersoner eller institusjoner/avdelinger, må være ansvarlig for å planlegge og gjennomføre gode deltakelsesprosesser. Ansvarliggjøring vil minske risikoen for at deltakelse blir en ettertanke og gjøre deltakelse til en prioritet i havvindsutvikling.

Viktig for olje- og gassindustrien

For den norske olje- og gassindustrien handler utslippskutt ikke bare om å nå klimamålene, men også om å sikre et marked for sine produkter³⁵. Elektrifisering av offshore plattformer er et stort og avgjørende tiltak, spesielt for å nå 2030 målet med 50 prosent utslippskutt. I runde tall vil 1 TWh utslippsfri kraft til elektrifisering av sokkelen gi et utslippskutt på

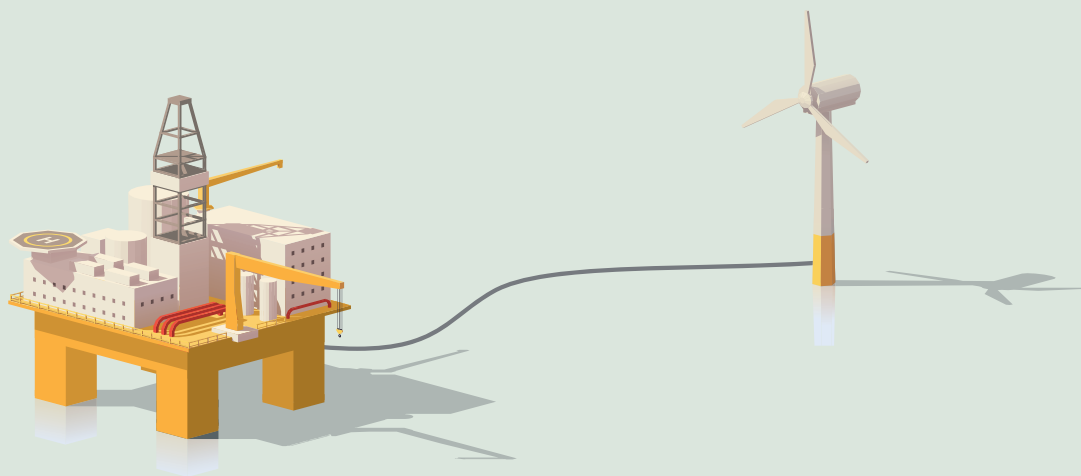
om lag en halv million tonn i CO₂-ekvivalenter. Til sammenligning hadde Norge i 2020 et kraftoverskudd på 20 TWh³⁶.

Bransjen, sammen med forskere i Petrosenteret LowEmission³⁷ ser også på andre løsninger for å kutte utslipp på sokkelen, som økt energieffektivitet, utslippsfrie drivstoff for plattformenes gass-turbiner, billigere undervannskabler og komponenter, brenselceller,

digitale løsninger og forbedringer i logistikk. Noen av disse løsningene vil kunne benyttes før 2030, mens andre vil spille en viktig rolle i etterkant, for å nå målet om netto-nullutslipp olje- og gassproduksjon på sokkelen innen 2050.

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 CO₂³⁴.



I runde tall vil 1 TWh utslippsfri kraft til elektrifisering av sokkelen gi et utslippskutt på om lag en halv million tonn i CO₂-ekvivalenter.

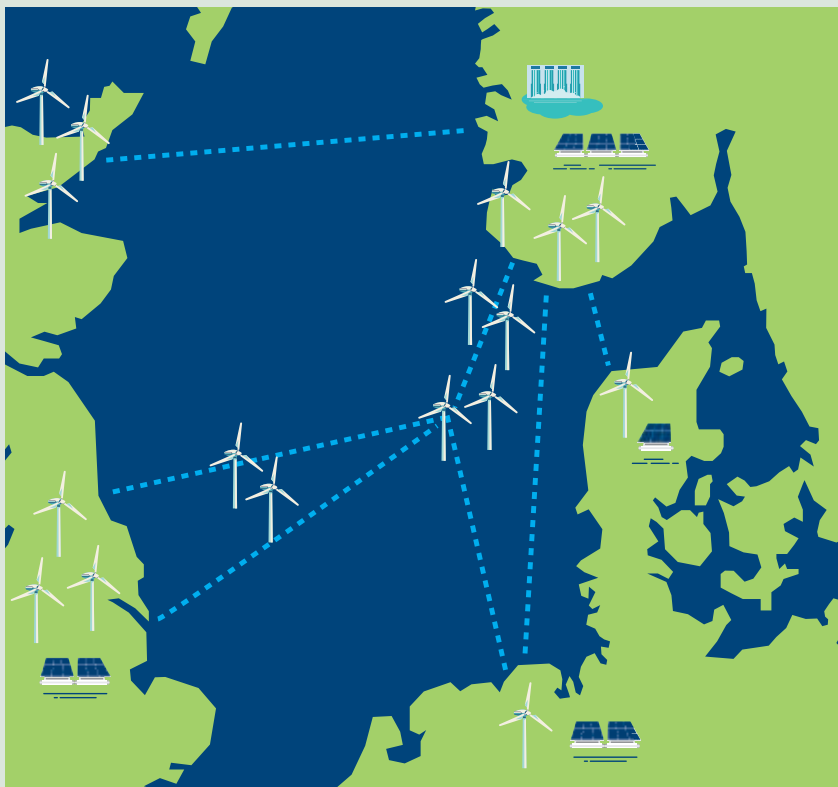


Norges energisystem har en europeisk framtid

REPowerEU-planen innebærer en økt ambisjon for andelen fornybar energi fra 40% til 45% innenfor Fit for 55-pakken. En del av planen er å øke installasjon av solkraft til 600 GW før 2030 og bygge ut mer vindkraft. Dette vil øke behovet for fleksibilitet i kraftmarkedene for å håndtere variabilitet, og samspillet med land som Norge med fleksibel vannkraft blir viktigere enn før.

Utbygging av overføringskabler mellom land vil være sentral for å utnytte forskjeller i fornybarproduksjon som varierer med geografisk plassering og at solkraften vil lede til lokalt energioverskudd deler av dagen og underskudd i andre perioder. For Norge vil dette kunne bety økt mulighet for å skape verdier gjennom å utnytte og videreutvikle fleksibiliteten i vannkraft, ved å bygge mer effektkapasitet og pumpekapasitet.

Det kan være økonomisk gunstig å sikre tilgang til kraft gjennom import heller enn å bygge ut stor overkapasitet nasjonalt



Landforbindelser + fornybar kraft til land og til havs + et framtidig Nordsjønett = stort potensial for verdiskaping.

Hvordan får vi fart i overgangen til et klimavennlig energisystem? Anbefalinger fra EU-kommisjonen

Med REPowerEU⁴¹ har EU-kommisjonen lansert en ekstraordinært viktig og ambisiøs plan for å redusere EUs avhengighet av russisk gass og olje. For å oppnå dette anbefaler kommisjonen å akselerere overgangen til et rent og klimavennlig energisystem gjennom et sett med nye tiltak basert på Fit for 55⁴²:

- energisparing;
- diversifisere energiforsyning;
- erstatte fossilt brensel. Eksempel: Målsetting for vindkraft i Fit for 55 er 430 GW i 2030, dette ønsker EU nå å øke med 20 %.
- nye måter å kombinere investeringer og reformer på.

For å fullt ut utnytte dette er det nødvendig å bygge ut mer fornybar kraft i Norge parallelt med overføringskapasitet, slik at det ikke oppstår situasjoner med knapphet i Norge kombinert med høye priser i Europa som vi har observert mot slutten av 2021 og starten av 2022. Studier viser^{38,39,40} at å integrere landforbindelser og fornybar kraft til land og til havs med et framtidig Nordsjønett vil gi stor fleksibilitet og verdiskaping.

Et av virkemidlene som blir fremhevet i REPowerEU-planen er å bygge mer overføringskapasitet mellom land for elektrisitet og gass. Fordelene med å øke handelen av elektrisitet mellom land er mange:

- Vi får utnyttet de fornybare energikildene bedre ved at værvariasjonene glatter hverandre ut over større områder⁴³;
- Vi får utnyttet den billigste fleksible enheten (vannkraft, batterier, flyttbart forbruk) til enhver tid, og gjør systemet mindre avhengig av fossil termisk energi som variabel kraftkilde⁴⁴;
- Vi får mindre behov for å holde igjen kraftproduksjon fra markedet til bruk som reserver (såkalt "back-up kapasitet")^{45,46}.

Mer kraft gjør at vi kan utveksle strøm

Økt produksjon av strøm vil gjøre det mulig for Norge å tjene på utveksling av grønn energi med resten av Europa. Da kan vi beholde vår rolle som leverandør av energi på det internasjonale markedet og importør når strømprisene i Europa er lave.

Høye strømpriser i løpet av vinteren 2021-2022 førte til diskusjon om å «kutte eksportkablene». Problemet med denne idéen, er at kablene ikke brukes bare til eksport, men også til import.

Norge har som regel et netto kraftoverskudd hvis man ser over hele år. Det betyr at det er mer strømeksport fra landet enn det er strøimport til landet. Men selv om vi har netto kraftoverskudd, kan vi ha kortere perioder med stor etterspørsel der vi er avhengige av kraftimport²⁸ for å håndtere «toppene». Med andre ord, hvis man «kutter eksportkablene» skaper det ikke bare problemer for de som kjøper strøm av oss, men også for oss selv på de dagene eller timene der vi selv ikke klarer å produsere nok. Slike dager og timer er det allerede en del av i dag og det er også forventet at slike situasjoner vil skje oftere i nær fremtid, fordi vi går mot en strammere effektbalanse i det norske og nordiske systemet, som påpekt blant annet i NVE sin rapport om norsk og nordisk effektbalanse frem mot 2030^{29,30,31}.

Forsyningsikkerhet må ivaretas i det fremtidige energisystemet,

og på veien dit. Utbygging av mer produksjonskapasitet i Norge samt mer fleksibilitet på forbruks- eller produksjonssiden vil kunne bidra til dette, men utveksling av kraft med våre naboland er også viktig siden det kan være mer samfunnsøkonomisk gunstig å sikre tilgang til kraft gjennom import enn å bygge ut stor overkapasitet nasjonalt. Tilgang på effekt i fremtidens kraftsystem kan ses både i en nasjonal, nordisk og nordeuropeisk kontekst. Det krever samarbeid mellom land slik at vi kan dele på ressurser og risiko gjennom kraftmarkedet.

Norge kan bidra sterkt inn i en europeisk hydrogenindustri

REPowerEU-planen løfter frem hydrogen som en av hovedpilarene i strategien, og den anbefaler å bygge "an EU-wide hydrogen backbone". Målet er å produsere 10 millioner tonn fornybart hydrogen innad i EU og legge til like mye importert fornybart hydrogen innen 2030. Dette målet er svært ambisiøst og vil være utfordrende å nå ettersom global elektrolytisk hydrogenproduksjon for tiden kun er ca. 0,03 millioner tonn per år ifølge IEA⁴⁷.

Vi må se utviklingen av nye gassressurser på norsk sokkel, ny fornybar satsing i Norge, Nordsjønett, CCS og hydrogenproduksjon i sammenheng.

Dette betyr i praksis at EU vil være avhengig av blått hydrogen om en miljøeffekt skal oppnås og skaleringen skal gå så raskt som planlagt. For Norge åpner dette muligheter, men det er viktig å være klar over at det kan bli et prioriteringsspørsmål.

Vi må se utviklingen av nye gassressurser på norsk sokkel, ny fornybar satsing i Norge, Nordsjønett, CCS og hydrogenproduksjon i sammenheng

Dersom russisk gass trekkes ut av EU-markedet som planlagt, vil det i en 10 års horisont være underskudd av billig rørgass og de første årene også et sterkt press på det globale LNG-markedet. Knapphet kombinert med potensielt høye priser kan gjøre det mindre attraktivt å produsere hydrogen på kort sikt. Dette åpner for muligheter for å bruke gass som ligger lenger unna markedene, som i Barentshavet, til hydrogeneksport fram mot 2030.

I alle tilfeller vil hydrogeneksport innebære store investeringer og mulig høy risiko. Det vil være sentralt å bygge ut etterspørsels-siden og tilbudssiden i parallell og håndtere volumrisiko ved lang-siktige avtaler. Norge kan spille en sentral rolle i denne utviklingen, men det er viktig å se utviklingen av nye gassressurser på norsk sokkel, ny fornybar satsing i Norge, Nordsjønett, CCS og hydrogenproduksjon i sammenheng.

De neste ti årene vil Europa mest sannsynligvis erfare energiknapphet dersom kontinentet ønsker å forbli uavhengig av russisk energi. Optimal bruk av energiressursene vil være viktigere enn før med tanke på europeisk energisikkerhet. Det medfører en sterkere sektorkobling mellom energi, industri, transport og byggsektoren. Norsk gass, fornybar og hydrogen kan spille en nøkkelrolle, og NTNU og SINTEF gjennomfører i dag flere prosjekt (bl.a. CleanExport ledet av SINTEF

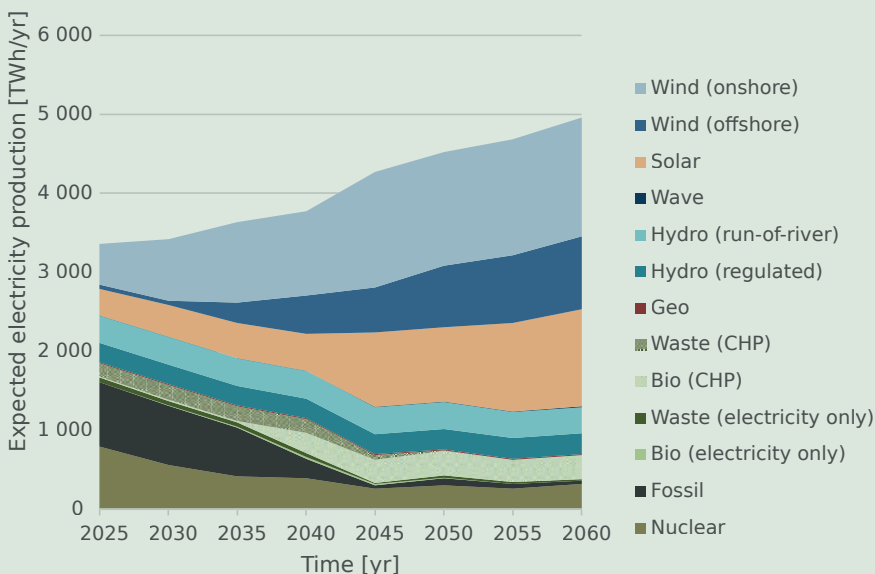
og Hydrogen Pathways 2050, ledet av IFE) som gir oss verktøyene til å analysere disse koblingene.

Umoden teknologi med stort potensiale for Norge

Mange av hydrogenløsningene som REPowerEU vil være avhengig av er ennå ikke modne, og mer forskning er nødvendig i alle deler av hydrogenkjeden. Overgangen til hydrogen som energibærer og økt bruk som industrigass vil også kreve nye ferdigheter innen industri, tjenesteyting og offentlig forvaltning. Utdanning vil spille en avgjørende rolle, og eksisterende studieprogrammer må tilpasse seg de endrede behovene og nye studieprogrammer må utvikles for hydrogen og havvind.

Europa har ambisjoner og handlekraft

Europeiske scenariestudier peker på at kraftsystemet må avkarboniseres og vil domineres av vind- og solkraft innen 2040 for å oppnå Europas klimaforpliktelser^{48,49}. Et eksempel på en mulig utviklingsbane for kraftsystemet er vist i figuren. Resultatene er hentet fra NTNU sin energisystemmodell EMPIRE47 og viser et behov for over 2000 TWh vind- og solkraft innen 2040. Og med REPowerEU skal utbyggings-takten økes ytterligere. Dette er ambisiøst og samtidig svært viktig for å gjøre EU mindre avhengig av russisk gass samtidig som klimamålene skal nås. Her har Norge mulighet til å ta en tydelig rolle, men da er det viktig at vi viser handlekraft nå. For våre naboland sitter ikke og venter på oss. Sverige for eksempel har økt vindkraftutbyggingen betydelig de seneste årene og skal ha klar en plan for



Slik kan energimiksen i et framtidig europeisk kraftsystem utvikle seg⁴⁷.

lokalisering av 120 TWh havvind allerede innen 2023⁵⁰.

Norge har noen viktige, komparative fortrinn som vi kan benytte oss av. Vi besitter store havområder med de beste vindressursene i Europa, og vi har et vannkraftsystem som spiller godt på lag med varierende vindkraft. Vi kan kombinere hydrogenproduksjon fra fornybar energi og naturgass for å oppnå en bedre utnyttelse av infrastrukturen^{51,52}. Alt dette avhenger imidlertid av at vi får muliggjort havvindpotensialet.

Regjeringens ambisjon om å bygge ut 30 GW havvind innen 2040 er et betydelig løft. Samtidig må Norges planer sees i sammenheng med andre land sine ambisjoner og handlingskraft. Ønsker vi å lede an i det grønne skiftet gjennom oppbygging av grønne industrier og eksportnæringer, kunnskap og kompetanse, må vi erkjenne at vi har det travelt. Det betyr blant annet at vi trenger forpliktende 2030-mål for havvind og tilhørende planarbeid for lokalisering av vindparkene, utbygging av offshore nett, tilrettelegging for produksjon og distribusjon av hydrogen, samt et utstrakt samarbeid med europeiske land og EU på politisk plan innen industri, forskning og innovasjon.

SUPEERA og openENTRANCE: sammen med EU på veien til nullutslipp

Energisystemet i en stor sammenkoblet region som Europa er ekstremt komplekst. Energiomstillingen som er i gang krever mye planlegging, og sjansene for å lykkes øker om vi samarbeider med våre naboland. SUPEERA⁵³ og openENTRANCE⁵⁴ er kun to eksempler på mange tilfeller av slikt samarbeid.

SUPEERA støtter koordineringen av nasjonal forskning for oppfyllelse av EUs Strategic Energy Technology Plan. OpenENTRANCE utvikler en åpen energimodelleringsplattform og analyserer mulige veier mot et nullutslippssamfunn. Begge prosjekter får støtte fra EUs Horizon 2020 forskningsprogram, og fra Forskningsrådets RES-EU ordning, som gjør det mulig for norske forskningsinstitusjoner å delta i EU forskning.

For å lykkes med 30 GW havvind innen 2040 trenger vi: forpliktende 2030-mål for havvind og tilhørende planarbeid for lokalisering av vindparkene, utbygging av offshore nett, tilrettelegging for produksjon og distribusjon av hydrogen, og et utstrakt samarbeid med europeiske land og EU på politisk plan innen industri, forskning og innovasjon.

Hydrogen



Variable, fornybare energikilder som vind og sol, utgjør per dags dato kun en brøkdel av det totale energibildet i Norge og Europa. En storskala utbygging av havvind betyr en grunnleggende endring i energisystemet, der vind går fra å være et bidrag til systemet til å være fundamentet i hele det europeiske energisystemet⁵⁵.

Dette paradigmeskiftet byr på nye utfordringer for å sikre en pålitelig energiforsyning, der vi blant annet må forske på, og ta i bruk, nye fleksibilitetsløsninger⁵⁶. Blant disse fleksibilitetsløsningene er energilagring. Her kan nullutslippsdrivstoff som hydrogen og ammoniakk spille en viktig rolle^{57,58}.

Hydrogen som klimaløsning

Hydrogen kan brukes som drivstoff i seg selv eller i form av hydrogenbærere som for eksempel ammoniakk. I en brenselcelle reagerer hydrogen med oksygen for å levere energi som kraft og varme til forskjellige fremdriftssystemer eller andre energiformål. Blant mange andre bruksområder, kan hydrogen også brukes i gassturbiner til å produsere strøm, eller i industriprosesser⁵⁹.

Dette gjør hydrogen og hydrogenbærere til en mulig nullutslippsløsning for industrier som stålproduksjon, prosessindustrier og sjøfart, som er vanskelige å avkarbonisere⁶⁰. Men for at hydrogen skal være et reelt alternativ må det produseres med

ingen eller svært lave utslipp, og det må være tilgjengelig, konkurransedyktig og sikkert⁶¹.

Hydrogen kan i prinsippet erstatte naturgassbruk og olje i mange verdikjeder og er derfor en ideell kompanjong til elektrifisering og CCS. Vi trenger både nullutslipps-elektroner og molekyler for å gjennomføre energitransisjonene sammen med en mulighet for å fjerne CO₂ via CCS

Hydrogen som energilager

Strøm er en ferskvare som må brukes i samme sekund som den produseres⁶². Med stor andel av kraft fra havvind, vil det oppstå situasjoner der det er for lite produksjon til å dekke etterspørselen, og situasjoner der det er for mye produksjon. Om man bruker den ekstra energien for å lage hydrogen når det er overskudd, og bruker hydrogenet når det er underskudd, bidrar man til å løse ubalansen.

Her også kommer vår kunnskap om Nordsjøen til nytte. Hydrogen kan potensielt lagres under havbunnen, enten i gjenbrukte oljebrønner, eller i store huler (kaverner) i underjordiske saltlag.

Metoden med å lagre i kaverner brukes allerede i dag for å lagre naturgass. Gasselskaper i Texas bruker slik lagring som en strategisk reserve for raffinerier. Nordøst i England har metoden vært i bruk siden 1972.

Endring og opptrapping av produksjonen

Det produseres relativt lite hydrogen i Norge per dags dato – kun 0,2 megatonn per år⁶³. Mesteparten brukes i industrielle prosesser innenlands (gjødsel og metanol). Dette hydrogenet produseres fra naturgass uten CO₂-fangst, noe som innebærer utslipp. Dette er ikke det hydrogenet med «ingen eller svært lave utslipp» som regjeringen nevner i sitt veikart for hydrogen. Nomenklaturen for hydrogen varierer mye og vi snakker ofte om rent hydrogen, hydrogen produsert med mye lavere utslipp enn hydrogen fremstilles på i dag. EU arbeider med å definere begrepet nærmere basert på klimaavtrykket. For å redusere utslippene til det svært lave nivået som regjeringen krever (eller fjerne utslippene helt), finnes det to metoder å fremstille hydrogen på.

Grønt hydrogen

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 for å være utslippsfri tilsier modelleringen⁶⁴ at den vil skaleres opp over tid, ettersom mer fornybar energi blir tilgjengelig. Vi kaller hydrogen produsert på denne måte *grønt hydrogen*.

Blått hydrogen

Hydrogen kan også fremstilles fra naturgass. Denne prosessen kalles for *reforming* og er per nå den billigste (og mest vanlige) kilden til

Vitenskapelig tilsvar på artikkelen «How green is blue hydrogen?»

Høsten 2021 publiserte tidsskriftet Energy Science & Engineering artikkelen «How green is blue hydrogen?» av R.W. Howarth og M.Z. Jacobson. Artikkelen som sådde tvil om hvor bærekraftig blått hydrogen er, fikk stor internasjonal oppmerksomhet. Forskere fra NTNU og SINTEF sa seg uenige i både metode og konklusjon og forfattet et vitenskapelig tilsvar⁶⁵. Intensjonen med tilsvaret var å gi et mer balansert perspektiv på blått hydrogen, som er i tråd med gjeldende *best practice* og fremtidige anleggs-spesifikasjoner som tar sikte på lave CO₂-utslipp.

Mer spesifikt viser tilsvaret at:

- den forenklede metoden som Howarth og Jacobson brukte for å beregne energibalansen til blå hydrogenanlegg fører til betydelig overestimering av CO₂-utslipp og naturgassforbruk, og
- antatt metanlekkasje er i den høye enden av de estimerte utslippene fra nåværende naturgassproduksjon i USA og kan ikke betraktes som representativ for globale verdikjeder for kun-naturgass og blått hydrogen. Ved å ta utgangspunkt i de detaljerte og nøye beregnede masse- og energibalansene til to blå hydrogenanlegg i litteraturen, viser tilsvaret innvirkningen metanlekkasjeraten har på tilsvarende CO₂-utslipp av blått hydrogen.

NTNUs og SINTEFs analyse viser at det er mulig for blått hydrogen å ha betydelig lavere ekvivalente CO₂-utslipp enn direkte bruk av naturgass, forutsatt at det implementeres hydrogenproduksjonsprosesser og CO₂-fangstteknologier som sikrer høy CO₂-fangst, minst 90 prosent, og en lavutslipps naturgass-forsyningskjede.

industrielt hydrogen. Ulempen med denne metoden er at den slipper ut CO₂, men 90-95 prosent av disse utslippene kan fanges for lagring på en relativt enkel måte. Hydrogen produsert av naturgass med CO₂-fangst og -lagring kalles ofte for *blått hydrogen*. Mer om dette kan du lese i avsnittet «CO₂-fangsts rolle i hydrogenfremtiden», på side 28.

Bygge opp en hydrogenindustri fra bunnen

For å utnytte mer hydrogen, og på flere måter enn vi gjør i dag, må vi etablere en verdikjede som er både økonomisk, sosialt og økologisk bærekraftig. En rekke rent tekniske utfordringer må løses. Vi må også undersøke hvordan denne nye industrien vil påvirke samfunnet. Det nye forskningscenteret FME

HYDROGENi har som mål å være i fronten av hydrogenforskning og -utvikling, for å støtte visjonen som regjeringen har lagt frem i sitt veikart for hydrogen³⁷.

Som alltid med teknologiske løsninger som er i en tidlig utviklingsfase, er det stort potensiale for kostnadsreduksjoner gjennom forskning, pilotering og utvikling:

Produksjon

Fremstilling av *blått hydrogen* kan bli billigere med nye og bedre produksjonsprosesser, forbedret reaktordesign og prosess-integrering^{66,67}. For *grønt hydrogen* kan små forbedringer i elektrolyse-systemene ha store positive konsekvenser på prosessens

effektivitet⁶⁸. Produksjonen av ammoniakk kan også effektiviseres – blant annet ved bruk av membraner i reaktorene.

Ikke minst må teknologien være skalerbar slik at produksjonen kan trappes opp etter hvert som hydrogen blir tatt i bruk av flere.

Transport og lagring

Store mengder hydrogen kan eksporteres i allerede eksisterende *rørledninger*, men siden infrastrukturen var utviklet for naturgass, ikke hydrogen, må det en del tilpasninger til. For eksempel må turbokompressorer som brukes til å øke trykket i gassrørssystemer utvikles for hydrogen. Man trenger også bedre kunnskap om hydrogen sin innvirkning på materialet i

rørledningene og hvordan man kan tilpasse og optimalisere disse for hydrogentransport i ulike konsentrasjoner.

Det forventes at *flytende hydrogen* vil spille en lignende rolle som flytende naturgass, som i dag fraktes i store skip til markeder med manglende rørledningskapasitet. Det er et betydelig forbedringspotensial i energikostnaden forbundet med å gjøre hydrogen flytende⁶⁹.

Lagring i underjordiske formasjoner ble nevnt som løsning tidligere. Denne løsningen vil gjøre det mulig å lagre store mengder med hydrogen som produseres offshore. Det er foreløpig ukjent nøyaktig hvor mye av hydrogenet som injiseres på denne måten det er mulig å hente opp igjen (med andre ord hvor mye av det vil gå tapt), og dette må kartlegges for hver reservoartype⁷⁰.

Hydrogen og ammoniakk har stort potensiale for å avkarbonisere sjøfart. Det vil kreve ny *lagrings- og bunkringsinfrastruktur* langs kysten. Denne infrastrukturen må være tilpasset behov og begrensninger i transport- og brukerflåten. Utbygging av infrastruktur må også ta hensyn til at etterspørselen vil vokse ettersom flere bytter til hydrogen som drivstoff⁷¹.

Bruk

Det er en ting å se for seg hydrogens potensiale for bruk i industrien, men det er en annen å utvikle løsningene til et nivå der de faktisk kan brukes. For prosessindustrien trenger vi å vite mer

om hydrogen som *energibærer for prosessvarme*. I metallproduksjon kan hydrogen også bidra til utslippskutt ved å brukes som *reduksjonsmiddel for metalloksider*⁷², men siden dette gjøres lite i dag må prosessene undersøkes nærmere.

Som nevnt tidligere kan hydrogen brukes som *drivstoff til maritimt bruk* – enten ved å brennes i en forbrenningsmotor, eller ved å omdanne hydrogenet til strøm i brenselceller. I begge tilfeller trenger vi løsninger som er effektive, slitesterke og sikre.

Sikkerhet

Over tid kan hydrogen forårsake skjørhet og nedbryting av materialer det kommer i kontakt med⁷³. Dette skjer fordi atomært hydrogen tas opp i materialet. For å

sikre *materialintegritet* i fremtidens hydrogeninfrastruktur må vi forstå denne prosessen bedre.

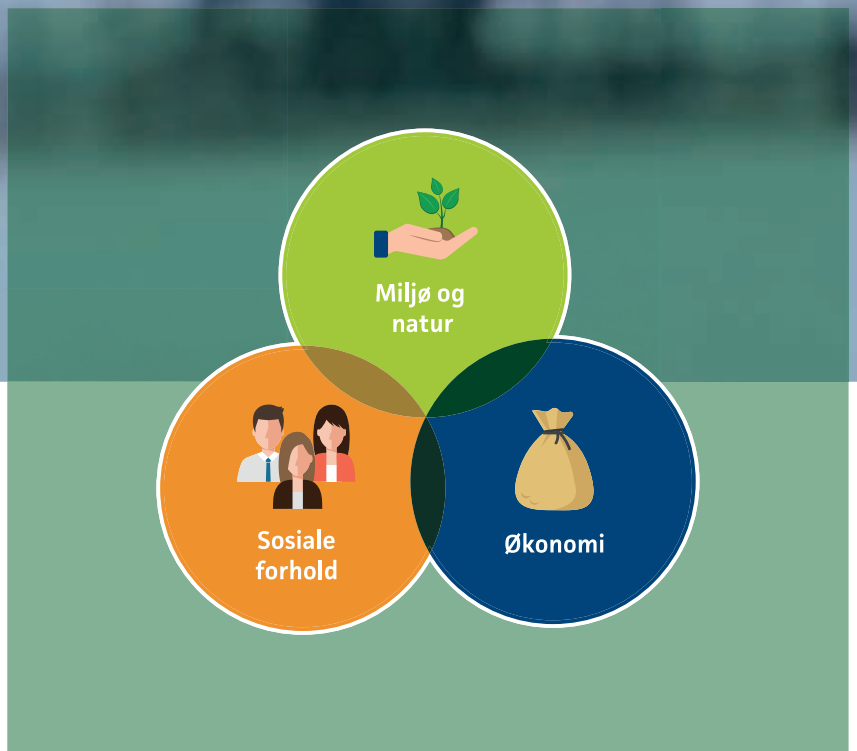
Siden hydrogen er brennbart og antennelig i veldig lave og høye konsentrasjoner, krever det at vi tar forhåndsregler når den håndteres. Vi vet allerede en del om *sikker håndtering av hydrogen* fra tidligere bruk i industrien, men vi trenger et bedre rammeverk for sikkerhetsrisikostyring. Bedre *analyseverktøy* vil utvikles for å forstå, blant annet, hvor ofte et enkelt sikkerhetsproblem kan oppstå.

Eksperimentbasert forskning vil hjelpe oss å utrede konsekvensene av hydrogen- eller ammoniakklekkasje, og hvordan man kan minske faren ved en slik lekkasje.





En studie «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved CO₂-håndtering i Norge,» Sigmund Ø. Størset, Grethe Tangen, Ove Wolfgang og Gunnar Sand viste at hydrogen kan ha store norske eksportmuligheter mot 2050⁹¹.



Verdikjeden for hydrogen må være både økonomisk, sosialt og økologisk bærekraftig.

CO₂-fangst, transport og lagring (CCS)

Det har vært stor fremgang innen fornybar energi og energi-effektivisering, 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 2030.⁷⁴

Hvis vi skal dekke verdens energibehov samt redusere CO₂-utslippene våre trenger vi CCS.

«CCS» står for CO₂-fangst, transport og lagring («*carbon capture, transport and storage*» på engelsk). Det består av en rekke teknologier og prosesser som gjør det mulig å gjennomføre store kutt i CO₂-utslipp. Dette gjøres ved å fange CO₂ i røykgass fra industrien (i stedet å slippe den ut i atmosfæren) for så å gjøre den transporterbar, transportere og injisere den dypt under havbunnen i egnede formasjoner.

I den sjette rapporten fra FNs klimapanel «Mitigation of Climate Change» publisert i mars 2022 ble CO₂-fangst, transport og lagring oppgitt som avgjørende for å nå nullutslipp innen 2050, selv med stor fremgang innen fornybar energi og energieffektivisering:

«Å fjerne CO₂ fra kilder med ingen avbøtende tiltak vurderes som nødvendig for å bidra til å nå netto negative utslipp for hele økonomien.»⁷⁵

Langskip og 30 GW havvind: To sider av samme sak

Regjeringens nye ambisjoner om 30 GW havvind og det igangsatte fullskalaprojektet for CO₂-håndtering, «Langskip» er to sider av samme sak. Det handler om å avkarbonisere energi og industri.

CO₂-lagring muliggjør produksjon av blått hydrogen som blir et viktig supplement til EUs REPowerEU plan⁷⁶ om å etablere produksjon av 10 millioner tonn fornybarhydrogen innen 2030. Med havvindsatsingen i Norge øker sjansene for å nå dette målet, da 10 millioner tonn hydrogen produsert med

elektrolyse tilsvarer 123 GW fornybar kraft.

For å sikre at fornybar kraft brukes der den gir størst positiv klimaeffekt, er det særdeles viktig å kunne tilby Europa blått hydrogen i tillegg til grønt. I skrivende stund er det enda uklart om 10 millioner tonn hydrogen som EU vil importere også får krav om være fornybarprodusert⁷⁷. I dette bildet er CO₂-lagring avgjørende. Siden Norge har både naturgass og CO₂-lagringskapasitet, i tillegg til kompetanse, må vi bidra til økt tempo i utvikling av CCS for Norge og Europa.



Langskip-prosjektet

I 2020 annonserte regjeringen finansieringen av **Langskip**, Norges fullskala CO₂-fangst-, transport- og lagringsprosjekt. Prosjektet handler om å fange CO₂ fra Norcem sin sementfabrikk i Brevik og Hafslund Oslo Celsio sitt avfallsforbrenningsanlegg i Klemetsrud, transportere CO₂ til et mellomlager i Øygarden, for så å bli transportert i rør på havbunnen ut til injeksjonspunkt for permanent lagring 2600 meter under havbunnen.

Northern Lights som er en joint venture med Equinor, Shell og TotalEnergies⁷⁸ har ansvar for transport- og lagring og er en del av Langskip.

Langskip er unikt siden det for første gang i internasjonal sammenheng bygges en full CCS-kjede. Det betyr at en industriaktør som fanger sine CO₂-utslipp tilbys en infrastruktur hvor de kan levere CO₂-en til en allerede eksisterende transport- og lagerløsning. Dette er mulig siden kjeden er basert på CO₂-transport med skip. Byggingen av denne transformative infrastrukturen⁷⁹ er nå i gang.

Northern Lights blir Europas første CO₂-lagringsknutepunkt, og har som mål å lagre 1,5 millioner tonn CO₂ i undergrunnen hvert år i fase en, og 5 millioner tonn CO₂ hvert år i fase to, med mulighet for å øke kapasiteten ytterligere i nærliggende geologiske formasjoner. En rekke industribedrifter har meldt sin interesse.

Mange lagringssteder, inkludert Northern Lights, er så dype som 2 600 meter under havbunnen. Dette oppfyller mer enn tre ganger minimumskravet som sørger for høy nok temperatur og nok trykk til å holde CO₂ i flytende tilstand. Tette skiferlag gir en ugjennomtrengelig barriere mellom CO₂-lagrings- reservoaret og havbunnen⁸⁰.

I mai 2022 inngikk Northern Lights en samarbeidsavtale med det britiske avfallsselskapet Cory om å lagre 1,5 millioner tonn CO₂ årlig fanget fra Londons avfall⁸¹.



CCS kan brukes for å avkarbonisere flere industrier

CCS kan spille en viktig rolle i avkarboniseringen av den ikke-fornybare delen av energi-produksjonen. I tillegg er CCS også den eneste teknologien som kan avkarbonisere enkelte industri-prosesser. Et eksempel er sement, der 2/3 av utslippene kommer fra kalsineringsprosessen og ikke fra forbrenning. Sementindustrien står for ca. 8 % av verdens CO₂-utslipp⁸², derfor vil CCS ha stor betydning for denne bransjen.

I Norge har Norcem satt i gang med å bygge et fullskala anlegg for karbonfangst ved sin sement-fabrikk i Brevik. Dette er en del av regjeringens Langskip-prosjekt samt selskapets mål å nå utslippsfri produksjon av betong innen 2030. Bygging er planlagt å bli ferdig i 2024⁸³.

Norcem er en del av det tyske selskapet HeidelbergCement Group som er partner i ACCESS-konsortiet, et EU-prosjekt ledet av SINTEF med mål om å gjøre gjennomføring av CCS i stor skala mer akseptert og tilgjengelig i Europa⁸⁴. I mai 2022 kunngjorde selskapet at de skal tildele ca. €1,5 milliarder til CCS-prosjekter som en del av sitt mål om å redusere CO₂-utslipp til 400 kg/t mot 2030. Dette skal representere en reduksjon på hele 47 % sammenlignet med 1990-nivået. Deres tidligere mål var en reduksjon av 33 % i den samme tidsperioden⁸⁵.

Avfallsforbrenning er en annen industri der CCS kan brukes for å kutte utslipp. I år fikk Hafslund Oslo Celsio (tidligere Fortum Oslo Varme)

midler til å realisere fullskala CO₂-fangst på sitt avfallsforbrennings-anlegg i Klemetsrud, Oslo. Anlegget står for ca. 17 % av Oslos CO₂-utslipp, og vil være et betydelig bidrag til Oslo kommune sine klimamål^{86,87}. Bygningsarbeid skal igangsettes høsten 2022, og er planlagt å stå ferdig i 2026⁸⁸. Dette arbeidet er også en del av regjeringens «Langskip»-prosjekt.

CO₂-fangstens rolle i hydrogenfremtiden

Som skrevet tidligere kan CCS også brukes for å lage såkalt «blått hydrogen».

Rent hydrogen vil være enten grønt eller blått. Grønt hydrogen, laget fra fornybare energikilder, kommer til å bli avgjørende for Norge – og Europas – fremtidige energisystem.

I tillegg kommer tidkrevende oppbygging av den nødvendige produksjonskapasiteten i fornybar-sektoren.

Vi trenger derfor overgangsløsninger for å bygge fremtidens hydrogeninfrastruktur – og her kan blått hydrogen, laget fra naturgass med CCS, bidra. Ifølge studien «Hydrogen for Europe» vil produksjon av blått hydrogen være et kostnadseffektivt supplement for å dekke EUs hydrogenbehov i perioden fram mot 2050. Samtidig som vi investerer i opptrapping av fornybarkapasiteten, vil investering i hydrogenproduksjon fra naturgass bidra til raskere avkarbonisering for flere industrier. Rett og slett fordi fornybar kraft trengs til mange formål, og først og fremst for å avkarbonisere kraftforsyningen.



Siden **1996** har man injisert CO₂ i verdens første CO₂-lager ved Sleipner-feltet i Nordsjøen



Rundt **en million tonn** CO₂ lagres der **hvert år**



40 steder i verden er, eller har vært, involvert i **trygg injisering av CO₂ i undergrunnslager**

Kilde: NCCS

Nordsjøen er ideell for trygg CO₂-lagring

Nordsjøen byr på perfekte forhold til å lagre CO₂ trygt og effektivt.

Dypt under Nordsjøen ligger geologiske formasjoner som vil gi permanent lagring av CO₂ i de enorme mengdene som trengs. Sikker CO₂-lagring under Nordsjøen er demonstrert i flere tiår⁸⁹. CO₂-lagring har foregått i Nordsjøen siden 1996⁹⁰. Equinor og deres partnere på Sleipnerfeltet i Nordsjøen har injisert rundt én million tonn CO₂ hvert år i Utsira-formasjonen. CO₂-lagring

har også foregått ved Snøhvitfeltet siden 2008.

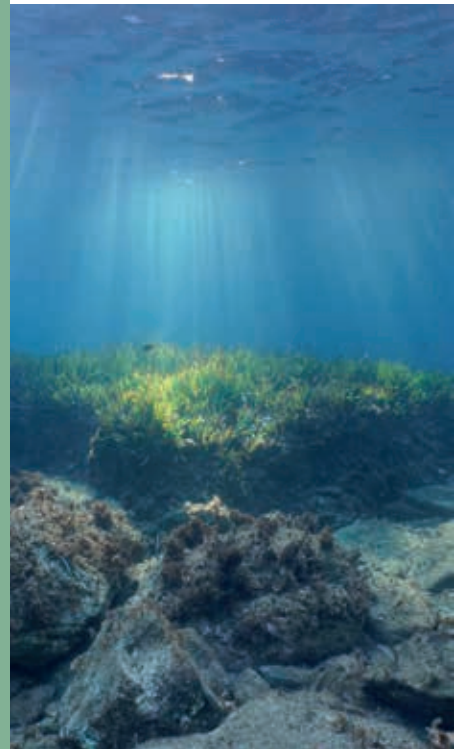
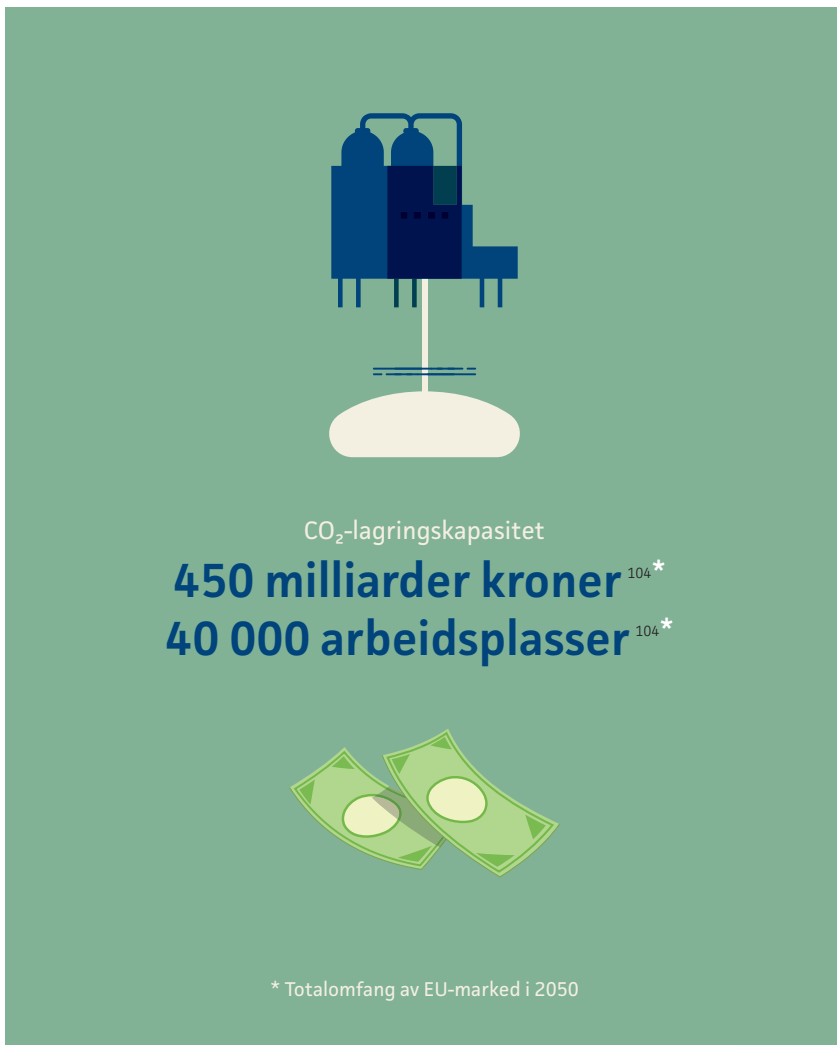
Forskningscenteret FME NCCS og andre bruker data hentet fra disse prosjektene for å forbedre modeller, øke effektiviteten og redusere kostnadene. Data fra Sleipner er delt åpent på nett, via CO₂ DataShare-portalen.

En av de viktigste grunnene til at Nordsjøen er så godt egnet til CO₂-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 CO₂ Atlas-nettsted. Dette arbeidet posisjonerer Nordsjøen langt foran andre undersjøiske lagringsalternativer.

Lagringspotensialet i Nordsjøen er stort nok til at Norge kan skape en ny eksportindustri ved å tilby trygge lagringssteder til andre land som vil håndtere sine CO₂-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.⁹¹



CCS er ikke dyrt

En gjentakende kritikk av CCS er at teknologien er for dyr til å gjennomføre. I FN sin klimapanel sin rapport «Mitigation of Climate Change» står det at selv om CCS gir økonomiske kostnader er de betydelige lavere enn de økonomiske og utviklingskostnadene forårsaket av klimaendringer hvis vi ikke gjør noe⁹².

En kronikk skrevet av Simon Roussanaly og Mona Mølnvik, begge SINTEF, i Dagens Næringsliv 12. april 2022 viste at CCS kan gi betydelig lavere klimafotavtrykk til en lav kostnad⁹³.

«I en fersk studie har vi imidlertid vist at CO₂-håndtering er mulig uten at det svir på pungen for oss forbrukere. I alle fall når vi snakker om fangst og lagring av CO₂ fra sement- og stålproduksjon – som samlet står for 14 prosent av klodens CO₂-utslipp. (...)

I casestudier vi har gjort av utvalgte infrastrukturprosjekt/bygninger, viste det seg at stål og sement kun utgjorde en liten del av total-kostnaden for sluttproduktet.

Case-studiene ble gjort i forbindelse med aktiviteter i et av Forsknings-

Innlegg: Kan oppnå dramatiske utslippskutt uten at det påvirker sluttregningen noe særlig

Broen koster til slutt bare én prosent mer selv om sementen blir dobbelt så dyr. Det viser våre beregninger av kostnadsøkningen fra karbonfangst- og lagring på et stort broprosjekt.

2 min Publisert: 12.04.22 – 19:50 Oppdatert: 2 måneder siden

Stål og sement utgjør kun en liten del av totalkostnaden for sluttproduktet i vei- og broprosjekter, ifølge artikkelforfatterne. Beregninger: I oktober 2022 skal den nye veien mellom Kristiansand og Mandal være ferdig. Ved Tysfjordens bygges det en 60 meter høy bro som skal holde fire felt. (Foto: Tor Erik Schreiber / NTB Scenex)

Energi- og klimaekspertene er krystallklare: Vi trenger CCS, altså fangst og lagring av CO₂, for å begrense temperaturøkningen til 1,5 grader. Men selv om kvoteprisene for CO₂ i det siste har steget kraftig, mangler fortsatt markedet der forbrukerne roper etter «CO₂-frie» produkter.

I en fersk studie har vi imidlertid vist at CO₂-håndtering er mulig uten at det svir på pungen for oss forbrukere. I alle fall når vi snakker om fangst og lagring av CO₂ fra sement- og stålproduksjon – som samlet står for 14 prosent av klodens CO₂-utslipp.

LINCCS – setter puslespillbrikkene på plass

I tillegg trenger vi å jobbe mer med å koble opp alle de forskjellige brikkene som trengs for å gjennomføre CCS i sin helhet. Dette har Grønn plattform-prosjektet LINCCS som sitt mål⁹⁴. Prosjektet ble tildelt midler i september 2021 og er et spin-off-prosjekt fra FMEene NCCS og LowEmission. LINCCS vil bli en sentral pådriver for det grønne skiftet ved å forene industrielle aktører som jobber på norsk sokkel for å øke implementeringstempoet av CCS, skape betydelig investeringspotensial og påvirke klima og miljø positivt. Prosjektet er ledet av Aker Solutions og finansiert av Forskningsrådet, Innovasjon Norge og SIVA.

rådets grønne «landslagssatsinger» – FME Norwegian CCS Research Centre (NCCS), et spleiselag mellom myndighetene, industri og forskningsmiljøer. En av studiene ble viet amerikanske Lake Pontchartrain Causeway fra 1969. Verdens lengste kontinuerlige bro over vann.

Dette byggverket i delstaten Louisiana består av to parallelle broer over innsjøen som har gitt konstruksjonen navn. Broene er bygget i stålarmert betong. Lengden er nær 38,5 kilometer.

I studien forutsatte vi at CO₂-håndtering med gitte fangsteknikker ble brukt ved produksjon av all sementen og stålet som inngår i broen. Beregningene våre viser at bruk av CCS ville ha redusert byggverkets samlede karbonfotavtrykk med 60 prosent – uten å øke broens prislapp med mer enn én prosent.»

Veien videre for CCS

Når man ser det store bildet – vårt mål om nullutslipp innen 2050 – er Langskip et viktig springbrett for grønn omstilling. Likevel vil det fortsatt ikke være nok. I 2021 viste Hydrogen for Europe-studien at permanent lagring av CO₂ er en viktig del av overgangen til hydrogensamfunnet.⁹⁵ For å oppnå maksimal kostnadseffektivitet er det anslått et behov for 400 millioner til 500 millioner tonn årlig CO₂-lagringskapasitet innen 2030. Et slikt behov tilsvarer cirka 300 Langskip-prosjekter. Mot 2050 øker lagringsbehovet til 800-900 Langskip-prosjekter, for begge scenariene undersøkt i studien. Forskere har undersøkt hvor mye CO₂-lagringskapasitet som er mulig å modne, utfra takten man har utviklet olje- og gass produksjonen internasjonalt og svaret er at det er mulig⁹⁶. Nå bygges det infrastruktur i Nordsjøen basert på skipstransport

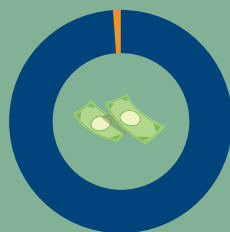
av CO₂. Man bør utvikle planer for CO₂-rørnettverk som forbinder Europa med lagringsfasiliteter på sokkelen på samme måte som vi har rørnettverk for naturgassen. For store mengder CO₂, og gitte avstander vil dette lønnes seg⁹⁷.

I tillegg må CCS utvikles til å bli en naturlig del av industri- og energisatsingene i framtiden, som et verktøy for aktører som vil utvikle sine business-case i tråd med EUs taxonomi. Uten CCS, vil det bli svært krevende, om ikke umulig å nå målene i Parisavtalen.



60 %

redusert karbonfotavtrykk



1 %

økte kostnader

Beregningene våre viser at bruk av CCS ville ha redusert byggverkets samlede karbonfotavtrykk med **60 prosent** – uten å øke broens prislapp med mer enn fattige **én prosent**.

Ekspertise og kompetansebygging

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

Etter hvert som både leting og produksjon av olje og gass trappes ned i tiårene som kommer, vil det være relativt enkelt å overføre kompetansen til havvind-, hydrogen- og CCS-industriene. 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 generasjons problemløserne, som ser på klimateknologier som et attraktivt karrierevalg.

Et stort fokus på utdanning

De nye grønne næringene vil skape tusenvis av høykvalifiserte arbeidsplasser. For å lykkes med å etablere disse industriene er det ikke nok for Norge å kun investere

i forskning og utvikling; landet må også investere i utdanning. Ved å øke investeringene i utdanningen av teknikere og ingeniører vil Norge sørge for å ha den nødvendige arbeidskraften til å etablere nye grønne industrier.

Ved å utdanne forskere og beholde et stort fokus på internasjonalt samarbeid innen forskning – ikke minst med EU – vil Norge bedre være i stand å møte forskningsutfordringene som kommer med den grønne omstillingen.

Nordsjønett, energiøyer og energihubber

I fremtiden vil et Nordsjønett gjøre energiutveksling mulig mellom landene som grenser Nordsjøen. Energiøyer, også kalt energihubber, blir en viktig brikke i denne energiinfrastrukturen. De vil fungere som knutepunkter i et Nordsjønett, med tilkobling av mellomlandsforbindelser og havvindparker. Statsminister Jonas Gahr Støre har nylig uttrykt støtte før et slikt Nordsjønett i en avisartikkel hvor han sier at havvindkraften over tid skal kobles til anlegg som gjør at andre land også får tilgang⁹⁸. I samme artikkel sier NHO-sjef Ole Erik Almlid at et Nordsjønett vil gjøre det mulig for industrien å bygge ut havvind uten subsidier.

Energiøyene kan inkludere produksjonsinfrastruktur for å produsere nullutslippsdrivstoff. Dette kan gjøres ved bruk av elektrisitet til elektrolyse av vann for å produsere grønt hydrogen, eller det kan være produksjon av blått hydrogen med CO₂-fangst og -lagring, der CO₂-gassen som er fanget injiseres under havbunnen i en nærliggende oljebrønn som er tatt ut av bruk.

I tillegg til å lage nullutslippsdrivstoff, kan disse hubbene distribuere drivstoffet til forbipasserende skip som trenger å fylle tanken, eller til transportskip som skal frakte det til fastlandet. Energihubbene kan produsere strøm og varme for olje- og gassklynger^{99,100} og de kan også brukes som baser for vedlikehold av havvindparker og ladepunkter for batteridrevne skip.

NORDSJØNETT

Eksisterende

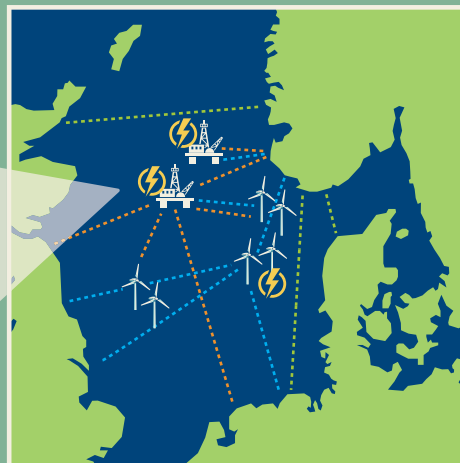
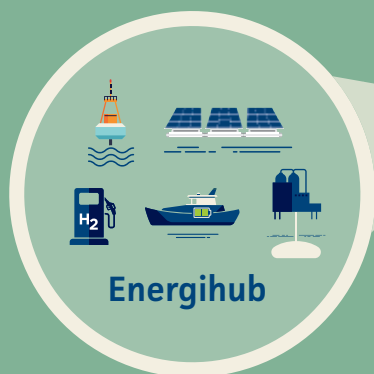
Strøm

Gass

Nye strømkabler



Energihub/
energiøy



SINTEF NTNU

Danmarks energiøyer

Danmark planlegger å etablere to «energihubber»¹⁰¹. 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 er utpekt som et utbyggingsområde for havvind i Norge, 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.

Ocean Space Centre



Illustrasjon: Statsbygg/Snøhetta

Havbassenget, Ocean Space Centre.

Ocean Space Centre blir ett av verdens mest avanserte anlegg for forskning og utdanning. Senteret gir NTNU og SINTEF tilgang til fasiliteter og lokaler i verdensklasse. Senteret inneholder våte og tørre laboratorier, verksted, undervisningslokaler, kontor og møtelokaler.

Senteret vil bidra til utviklingen og omstillingen av havnæringen lokalt, nasjonalt og globalt.

<https://www.ntnu.no/oceanspacecentre>

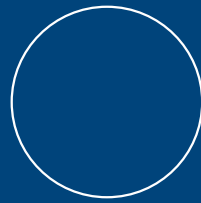
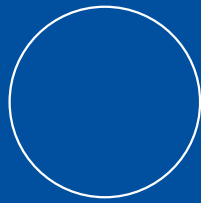
Referanser

- 1 «Norges nasjonale miljømål», Miljødirektoratet, [Internett]. Se: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/miljomaal/>
- 2 «Miljøstatus», Miljødirektoratet, [Internett]. Se: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/>
- 3 «Norges klimagassutslipp nær uendret i 2021», Energi og klima, [Internett]. Se: <https://energiogklima.no/nyhet/norges-klimagassutslipp-naer-uendret-i-2021/>
- 4 «UN chief warns against 'sleepwalking to climate catastrophe'», UN News, [Internett]. Se: <https://news.un.org/en/story/2022/03/1114322>
- 5 «Nordsjøen som plattform for grønn omstilling», SINTEF og NTNU, [Internett]. Se: <https://program.arendalsuka.no/event/user-view/15548>
- 6 «Veldig høy strømpris for husholdningene», Statistisk sentralbyrå, [Internett]. Se: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/veldig-hoy-strompris-for-husholdningene>
- 7 «Vi går mot en strammere effektbalanse for kraft», nve.no, [Internett]. Se: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/vi-gaar-mot-en-strammere-effektbalanse-for-kraft/>
- 8 «REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition», European Commission, [Internett]. Se: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131
- 9 «Kraftfull satsing på havvind», regjeringen.no, [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/kraftfull-satsing-pa-havvind/id2912297/>
- 10 «The Esbjerg Declaration on The North Sea as a Green Power Plant of Europe», Ministers of Climate/Energy Denmark, Belgium, the Netherlands and Germany, 2022. [Internett]. Se: [https://en.kefm.dk/Media/637884570050166016/Declaration%20of%20Energy%20Ministers%20\(002\).pdf](https://en.kefm.dk/Media/637884570050166016/Declaration%20of%20Energy%20Ministers%20(002).pdf)
- 11 «FME NTRANS» [Internett]. Se: <https://www.ntnu.no/ntrans>
- 12 «Hywind Tampen» [Internett]. Se: <https://www.equinor.com/no/energi/hywind-tampen>
- 13 Case A: 150 MW load ~ 1200 GWh (8000 FLH); 100 MW wind farm ~ 450 GWh (4500 FLH) ~ 37,5 % wind energy share ~ 35 % fuel saving
Case B: 150 MW load ~ 1200 GWh (8000 FLH); 150 MW wind farm ~ 675 GWh (4500 FLH) ~ 56,3 % wind energy share ~ 50 % fuel saving
Case C: 150 MW load ~ 1200 GWh (8000 FLH); 600 MW wind farm ~ 2700 GWh (4500 FLH) ~ 225 % wind energy share ~ 100 % fuel saving & 1500 GWh to shore
- 14 «Equinor og partnere utreder 1 GW havvindpark utenfor Bergen», Equinor pressemelding [Internett]. Se: <https://www.equinor.com/no/nyheter/20220617-utredning-1gw-havvindpark-utenfor-bergen>
- 15 «FME NorthWind» [Internett]. Se: <https://www.northwindresearch.no/>
- 16 «SFI BLUES» [Internett] <https://sfiblues.no/>
- 17 «Ocean Grid» [Internett]. Se: <https://oceangridproject.no/>
- 18 «NVE: landbasert vindkraft blir snart billigere enn vannkraft», Enerwe [Internett]. Se: <https://enerwe.no/nve-landbasert-vindkraft-bli-snart-billigere-enn-vannkraft/313388>
- 19 «Building the world's largest offshore wind farm», Doggerbank Wind Farm, [Internett]. Se: <https://doggerbank.com/>
- 20 «Boosting Offshore Renewable Energy for a Climate Neutral Europe», European Commission press release, IP/20/2096, 19 November 2020, [Internett]. Se: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_2096
- 21 UK har 100 GW havvind som mål for 2050. Norge har 30 GW havvind som mål for 2040. Se også «Our energy, our future; How offshore wind will help Europe go carbon-neutral», WindEurope, November 2019, [Internett]. Se: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Our-Energy-Our-Future.pdf>
- 22 «Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026», WindEurope, February 2022, [Internett]. Se: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/>
- 23 «Store muligheter for norske leverandører til havvind», regjeringen.no, november 2011 [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/dokumentarkiv/regjeringen-solberg/aktuelt-regjeringen-solberg/oed/pressemeldinger/2020/store-muligheter-for-norske-leverandorer-til-havvind/>
- 24 «Hvor kommer strømmen fra?», NVE, [Internett]. Se: <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/>
- 25 «Derfor er strømprisen uvanlig høy», Energi Norge, [Internett]. Se: <https://www.energinorge.no/fagomrader/strommarked/derfor-er-stromprisen-hoyere-i-ar-enn-i-fjor/>
- 26 «Operational Implications of Wind Power in a Hydro-Based Power System», EWEC 1999, J. O. Tande et al., 1999. Se: https://www.researchgate.net/publication/234165681_OPERATIONAL_IMPLICATIONS_OF_WIND_POWER_IN_A_HYDRO_BASED_POWER_SYSTEM
- 27 «Havvind – en industriell mulighet», NTRANS, Per Ivar Karstad et al., 2020 [Internett]. Se: <https://www.ntnu.no/documents/1284688443/1285504199/Havvind+-+en+industriell+mulighet+-+NTRANS-rapport.pdf/>
- 28 «Tall og data fra kraftsystemet», Statnett, [Internett]. Se: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#import-og-eksport>
- 29 «Statnetts Kortsiktige Markedsanalyse 2021-2026», Statnett, [Internett]. Se: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/kortsiktig-markedsanalyse/>
- 30 «Langsiktig markedsanalyse», Statnett, [Internett]. Se: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/langsiktig-markedsanalyse/>
- 31 «Vi går mot en strammere effektbalanse for kraft», NVE, mai 2022, [Internett]. Se: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/vi-gaar-mot-en-strammere-effektbalanse-for-kraft/>
- 32 «Havvind: deltakelse og involvering av interessegrupper og innbyggere», policy brief 05/2022, FME NTRANS. Se: https://www.ntnu.no/documents/1284688443/1285504199/Policybrief3_final.pdf/33aea630-0192-6402-2d98-7fa653ad-4da7?t=1653898896698
- 33 «Offshore wind: the EU needs to invest now», SINTEF blog, John Olav Giæver Tande, [Internett]. Se: <https://blog.sintef.com/sintef-energy/offshore-wind-the-eu-needs-to-invest-now/>
- 34 «4 – Felt og innretninger med kraft fra land», Olje direktoratet, [Internett]. Se: <https://www.npd.no/fakta/publikasjoner/rapporter/rapportarkiv/kraft-fra-land-til-norsk-sokkel/4--felt-og-innretninger-med-kraft-fra-land/>
- 35 «Turning the corner: Emission cuts as a precondition to oil and gas activity», LowEmission, [Internett]. Se: <https://www.sintef.no/projectweb/lowemission/turning-the-corner-emission-cuts-as-a-precondition-to-oil-and-gas-activity/>
- 36 «Det eksepjonelle kraftåret 2021» [Internett]. Se: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2022/det-eksepjonelle-kraftaret-2021/>
- 37 «LowEmission» [Internett]. Se: <https://www.sintef.no/projectweb/lowemission/>

- 38 FME NTRANS & NTNU Energy Transition Initiative, Havvind – en industriell mulighet, August 2019, <https://www.ntnu.no/documents/1284688443/1285504199/Havvind+-+en+industriell+mulighet+-+NTRANS-rapport.pdf/163a21ec-8b39-46d1-9636-19ffa5e82b2d>
- 39 Martin Kristiansen, Multinational transmission expansion planning: Exploring engineering-economic decision support for a future North Sea Offshore Grid, doktorgradsavhandling, NTNU, 2019.
- 40 Martin Kristiansen, Magnus Korpås & Hossein Farahmand, Towards a fully integrated North Sea offshore grid: An engineering-economic assessment of a power link island, Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, Vol 7(4), 2018.
- 41 European Commission, REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition, Brussels, May 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131
- 42 The European Union, Fit for 55 – The EU’s plan for a green transition, Brussels, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- 43 H. Holttinen et al. Design and operation of energy systems with large amounts of variable generation: Final summary report, Design and operation of energy systems with large amounts of variable generation: Final summary report, IEA TCP Wind Task 25, Oct. 2021. <https://www.researchgate.net/project/IEA-Task-25-Design-and-Operation-of-Power-Systems-with-Large-Amounts-of-wind-power>
- 44 M. Askeland, S. Jaehnert, M. Korpås, Equilibrium assessment of storage technologies in a power market with capacity remuneration, Sust. Energy Technologies and Assessments, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.012>
- 45 H. Farahmand, Integrated Power System Balancing in Northern Europe – Models and Case Studies, Phd Thesis, NTNU, 2012. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/257252>
- 46 S. Jaehnert, Integration of Regulating Power Markets in Northern Europe, Phd Thesis, NTNU, 2012. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/257259>
- 47 IEA, Hydrogen – More efforts needed. Tracking report, Nov. 2021. <https://www.iea.org/reports/hydrogen>
- 48 European Commission, “A Clean Planet for all”, COM/2018/773, Brussels, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>
- 49 S. Backe, D. Pinel, M. Askeland, K. B. Lindberg, M. Korpås, A. Tomasgard, Zero Emission Neighbourhoods in the European Energy System, ZEN Report 30, NTNU, 2021. <https://hdl.handle.net/11250/2725182>
- 50 <https://www.offshorewind.biz/2022/02/15/sweden-launches-major-offshore-wind-push-targets-120-twh-annually/>
- 51 E. F. Bødal, M. Korpås, Value of hydro power flexibility for hydrogen production in constrained transmission grids, Int J of Hydrogen Energy, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.037>
- 52 E. F. Bødal, D. Mallapragada, A. Botterud, M. Korpås, Decarbonization synergies from joint planning of electricity and hydrogen production: A Texas case study, Int J of Hydrogen Energy, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.127>
- 53 «SUPEERA», [Internett]. Se: <https://www.supeera.eu/>
- 54 «openENTRANCE», [Internett]. Se <https://openentrance.eu/>
- 55 «Proposal for European lighthouse initiative: Integration of large-scale offshore wind energy», SETWind, March 2022, [Internett]. Se: https://blogg.sintef.no/wp-content/uploads/2022/05/Lighthouse_SetWind_Il.pdf
- 56 «A comprehensive survey of flexibility options for supporting the low-carbon energy future», Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 97, 2018, pages 338-353, ISSN 1364-0321. [Internett] se <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.028>
- 57 «Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe», European Commission, COM(2020) 301 final, 8 July 2020.
- 58 «FOCUS – Innovate and industrialize; How Europe's offshore wind sector can maintain market leadership and meet the continent's energy goals», Roland Berger, M. de Vries et al. 2021
- 59 «Hvordan vi kan bygge en hydrogenframtid i Norge», SINTEF blog, Stefania Gardarsdottir og Kyrre Sundseth, 2021 [Internett]. Se: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/hvordan-vi-kan-bygge-en-hydrogenframtid-i-norge/>
- 60 «Nordsjøen som plattform for grønn omstilling», SINTEF og NTNU, 2021 [Internett]. Se: https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/arendalsuka/arendal_2021_sintef_lr.pdf
- 61 «Veikart for hydrogen», en del av «Meld. St. 36 (2020–2021)», Olje- og energidepartementet, 2021 [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/?ch=4#kap4-4>
- 62 «Slik fungerer kraftsystemet», Statnett [Internett]. Se: <https://www.statnett.no/om-statnett/bli-bedre-kjent-med-statnett/slik-fungerer-kraftsystemet/>
- 63 «Produksjon og bruk av hydrogen i Norge», DNV GL, 2019. 2019-0039.
- 64 «Hydrogen4EU, Charting Pathways to Enable Net Zero», Hydrogen for Europe Study, [Internett]. Se: https://www.hydrogen4eu.com/_files/ugd/2c85cf_69f4b1bd94c5439f9b1f87b55af46afd.pdf
- 65 Matteo C. Romano et al., Comment on «How green is blue hydrogen?», Energy Science & Engineering, 2022. <https://doi.org/10.1002/ese3.1126> Supert om referansen legges inn med riktig nummer.
- 66 A. Ugwu, A. Zaabout, F. Donat, G. van Diest, K. Albertsen, C. Müller, S. Amini. Combined Syngas and Hydrogen Production using Gas Switching Technology, Industrial & Engineering Chemistry Research (2021), doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04335
- 67 J. Straus, V. Skjervold, R. Anantharaman, D. Berstad. Novel approach for low CO2 intensity hydrogen from Natural Gas, Submitted to "Sustainable Energy and Fuels (2022).
- 68 M. Hujjatul Islam, O.S. Burheim, J-Y. Hihn, Bruno.G. Pollet, Sonochemical conversion of CO2 into hydrocarbons: Sabatier reactions at ambient conditions, Ultrasonics Sonochemistry (2021), [doi:https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105474](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105474)
- 69 «Economically viable large-scale hydrogen liquefaction», IOP conference series: materials science and engineering, Cardella U et al. 2017.
- 70 «Offshore Geological Storage of Hydrogen: Is This Our Best Option to Achieve Net-Zero?» ACS Energy Letters, Hassanpouryouzband A. et al. 2021;6:2181-6.
- 71 «Designing the Hydrogen Supply Chain for Maritime transportation in Norway», International Conference on Computational Logistics, Štádlerová Š. et al. 2021.
- 72 «Some carbon-free technologies for manganese ferroalloy production», Proceedings of the 16th International Ferro-Alloys Congress (INFACON XVI), Kero I. T. et al., Available at SSRN 3926069. 2021.
- 73 «Hydrogen embrittlement understood», Metallurgical and Materials Transactions B volume 46, Robertson I. M. et al. 2015;46:1085-103.
- 74 «World Energy Outlook 2020», IEA, [Internett]. Se: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- 75 IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf p. 4-41
- 76 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131
- 77 <https://www.euractiv.com/section/energy/opinion/renewable-hydrogen-rules-how-the-eu-and-industry-shot-themselves-in-the-foot/>

- 78 «Longship», Regjeringen.no, [Internett].
Se: <https://langskip.regjeringen.no/longship/>
- 79 Hva blir våre neste transformative infrastrukturer? - #SINTEFblogg
- 80 6 «Derfor er CO₂-lagring sikkert.» SINTEF Blog, [Internett]. Se: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/ccs-n/derfor-er-co2-lagring-sikkert/>
- 81 «Samarbeid om CO₂-fangst med britisk avfallsbransje», Regjeringen.no, [Internett]. Se: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/samarbeid-om-co2-fangst-med-britisk-avfallsbransje/id2913046/>
- 82 «Global CO₂ emissions from cement production», ESSD.Copernicus.org, [Internett]. Se: <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2019-152/essd-2019-152.pdf>
- 83 «Norcem og karbonfangst», Norcem.no, [Internett].
Se: <https://www.norcem.no/no/CCS>
- 84 «ACCESS», projectaccess.eu, [Internett].
Se: <https://www.projectaccess.eu/>
- 85 HeidelbergCement sets new standards for sustainability targets: By 2030, specific CO₂ emissions to be reduced by a further 30% | HeidelbergCement Group
- 86 «Om Hafslund Eco», Hafslund.no, [Internett].
Se: <https://hafslundeco.no/om-hafslund-eco/om-oss>
- 87 «Klimastrategi for Oslo mot 2030», Oslo kommune, [Internett]. Se: https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2020/09/Klimastrategi2030_langversjon_web_enkeltside.pdf
- 88 Norges største fjernvarmeaktør skifter navn til Hafslund Oslo Celsio | Hafslund Oslo Celsio (ntb.no)
- 89 «The safety of CO₂ storage», blog.sintef.no, [Internett]. Se: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/ccs/the-safety-of-co2-storage/>
- 90 «Sleipner area», Equinor, [Internett]. Se: <https://www.equinor.com/en/what-we-do/norwegiancontinental-shelf-platforms/sleipner.html>
- 91 «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved CO₂-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>
- 92 IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf p. 11-83
- 93 «Kan oppnå dramatiske utslippskutt uten at det påvirker sluttregningen noe særlig» Dagens næringsliv, [Internett].
Se: <https://www.dn.no/innlegg/klima/bygg-og-anlegg/ccs/innlegg-kan-oppna-dramatiske-utslippskutt-uten-at-det-pavirker-sluttregningen-noe-sarlig/>
- 94 «LINCCS», [Internett]. Se: <https://linccs.no/>
- 95 «Hydrogen4EU: A 6 minute snapshot of the study», SINTEF Blogg, Gunhild Reigstad, [Internett]. Se: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/hydrogen4eu/>
- 96 Ringrose, P. S., and T. A. Meckel. 2019. "Maturing Global CO₂ Storage Resources on Offshore Continental Margins to Achieve 2DS Emissions Reductions." Scientific Reports 9 (1): 17944.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-54363-z>.
- 97 Roussanaly, S.; Brunsvold, A.L.; Hognes, E.S. Benchmarking of CO₂ transport technologies: Part II—Offshore pipeline and shipping to an offshore site. Int. J. Greenh. Gas Control 2014, 28, 283–299.
- 98 «Slik blir Støres havvind-plan – vil eksportere», E24, 7 juni 2022, [Internett]. Se: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/qWoqPL/slik-bli-stoeres-havvind-plan-vil-eksportere>
- 98 «Offshore energy hubs: a useful tool to decarbonise the Norwegian continental shelf's energy system», SINTEF blog, Zhang, H. 2021, [Internett]. Se: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/offshore-energy-hubs-a-useful-tool-to-decarbonise-the-norwegian-continental-shelfs-energy-system/>
- 100 «CleanOFF Hub», SINTEF, [Internett].
Se: <https://www.sintef.no/en/projects/2021/cleanoff-hub/>
- 101 «Danmarks energijør», Energistyrelsen, [Internett].
Se: <https://ens.dk/ansvarsomraader/vindenergi/udbud-paa-havvindmoelleomraadet/danmarks-energieoer/fakta-om-energieoerne>
- 102 «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>
- 103 «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>
- 104 «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved CO₂-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>

 NTNU



 SINTEF