

HAVVIND

– en industriell mulighet



HAVVIND

– en industriell mulighet >>



BIDRAGSYTERE:

Per Ivar Karstad (redaktør), Director Industry Relations, NTNU Energy Transition Initiative
Asgeir Tomasgard (redaktør), Professor, NTNU, Direktør NTNU Energy Transition Initiative og FME NTRANS
Erin Bachynski, Førsteamanuensis, NTNU
Øyvind Bjørgum, Førsteamanuensis, NTNU
Hans Christian Bolstad, Senior prosjektleder, SINTEF
Pedro Crespo del Granado, Seniorforsker, NTNU
Marius Korsnes, Postdoktor, NTNU
Hector Marañón-Ledesma, Stipendiat, NTNU
Eirik Gjelsvik Medbø, Innovasjonsleder NTNU
Håkon Endresen Normann, Post.doc ved TIK-senteret, UiO
Christian Skar, Førsteamanuensis II, NTNU
Markus Steen, Seniorforsker, SINTEF
John Olav Tande, Sjefforsker, SINTEF Energi

SAMMENDRAG

Havvind er en voksende næring globalt og en viktig del av et fremtidig bærekraftig energisystem. Studier gjort av forskningscenteret FME CenSES viser at norsk sokkel har et betydelig potensial for havvind og at det i et europeisk perspektiv lønner seg å bygge ut norsk vindkraft (til havs og på land).

I denne første rapporten fra FME NTRANS (Norwegian Centre for Energy Transition Strategies) har vi oppsummert CenSES-forskningen videre og gjort nye studier som viser at Norge har et større havvindpotensial hvis vi samarbeider med de andre nordsjølandene. I denne rapporten legger vi fram hovedfunnene og kommer med anbefalinger for hvordan Norge kan bli en del av den europeiske havvindsatsingen. Vi ser både på potensialet for krafteksport og teknologiekspert.

Tidligere CenSES-studier har vist at Norge kan ha over 40 GW vindkraft i 2050, hvor en stor andel kan være offshore. Nye modellstudier viser at potensialet er mye større, hvis nordsjølandene samarbeider og etablerer en egen Nordsjøregion for havvind.

De ferske analysene viser et betydelig vekstpotensial, under den forutsetningen at nordsjølandene samarbeider og gjør økonomisk rasjonelle valg.

Noen hovedfunn:

- I baselinescenarioet investeres i en betydelig kapasitet i havvind i Nordsjøregionen med ca. 42 GW installert kapasitet og 217 TWh produksjon i 2050. Denne felles investeringen i en Nordsjøregion foretrekkes av modellen framfor nasjonale investeringer i Norge, Tyskland, Danmark, Storbritannia, Belgia og Nederland.
- I scenarioet med ytterligere 30% kostnadsreduksjon sammenlignet med baseline, økes installert kapasitet i Nordsjøregionen til 143 GW, noe som resulterer i en forventet produksjon på 718 TWh.

- En felles satsing på infrastruktur i Nordsjøen med forgrening til landene rundt gir større fleksibilitet. Det betyr at strømmen kan selges der prisen er høyest og gi økt fortjeneste.
- Alternativet vil være å bygge ut tilsvarende volum på land i Europa.

SATSINGSOMRÅDE: Havvind har vært et satsingsområde innen klimavennlig teknologi i Norge siden 2008, spesielt på bakgrunn av mulighetene for å «gjenbruke» kompetanse og ressurser fra norsk maritim/offshore sektor. Et uttrykt mål fra norsk næringsliv er en markedsandel på 10% for norske selskaper i det globale havvindmarkedet innen 2030. Dette tilsvarer å tidoble norsk eksport innen havvind fra 5 milliarder til 50 milliarder. Dette ansees realistisk, men krever en industriell satsning og en opptrapping av både grunnleggende og anvendt forskning på området.

FLYTENDE TURBINER: Mens det ved årsskiftet 2018/19 var installert ca. 4500 havvind-turbiner i Europa, så var det kun 11 flytende havvind-turbiner globalt, hvorav seks av disse er Equinors Hywind. Flere norske olje og gass selskaper har vist interesse for havvind. Likheter mellom havvind og offshore olje og gass skulle tilsi at norsk industri har teknologiske fortrinn for å kunne konkurrere innenfor havvind, og kanskje spesielt innen flytende havvind som er på et tidligere stadium i utviklingen og hvor Norge har hatt en pionerrolle gjennom utviklingen av det flytende vindkraftkonseptet Hywind. Studier viser derimot at de markedsmessige utfordringene for mange bedrifter er vel så store som de teknologiske. Det er ressurskrevende å bli kjent med nye markeder.

Mange selskaper vil derfor ha stor nytte av at det etableres pilot- og demonstrasjonsprosjekter. Det vil i tillegg til å demonstrere kompetanse og nye løsninger gi havvindreferanser, skape verdifull erfaring og bidra til å utvikle en norsk leverandør industri.

FORSKNING: Norges nåværende fortrinn innen havvind er kunnskapsbasert. For å bevare dette fortrinnet må norsk industri utvikle smartere og bedre løsninger, noe som krever godt samspill mellom industri, utdanning, forskning og innovasjon.

Dette er teknologiske områder hvor norske FoU-miljø har sterk kompetanse og hvor norsk industri har mulighet til å oppnå vesentlige fordeler:

- understell, materialer og marine operasjoner
- nettilkobling, systemintegrasjon og energilager
- digitalisering, drift og vedlikehold og styringssystem for havvindparker

ANBEFALINGER

En storstilt utbygging over en 30-års periode vil kreve at man bygger industriell kapasitet fra en tidlig fase hvor teknologien er umoden til den blir en storskala kostnadseffektiv ressurs i Europas kraftforsyning. Dette vil kreve koordinert handling mellom næringsliv, politikk, forskning og utdanning og økt samarbeid om utbygging i utvalgte regioner. Dette må det politisk legges til rette for. Gevinsten for Norge kan ligge i både krafteksport og teknologiekspert.

Vi anbefaler:

- At Norge tar en aktiv rolle i Nordsjø samarbeidet og utnytter norske ressurser og kompetanse i en felles satsing.
- Utredning av regulering og juridiske aspekt ved storskala utvikling av Nordsjøregionen som og tar hensyn til hvordan landene skal dele kostnad, inntekt og risiko ved en slik utbygging.
- Koordinert forskningsinnsats mellom de samarbeidende landene i Nordsjøregionen.
- Koordinert demonstrasjon av umodne teknologier for å gradvis bygge kapasitet og lønnsomhet.
- Å etablere pilot og demonstrasjonsprosjekter for å utvikle et hjemmemarked som kan bidra til å utvikle kompetanse, erfaring og markedskunnskap.
- Å etablere et langsiktig program for utbygging av havvindparker i Norge.
- At dette kombineres med et ambisiøst forsknings- og utviklingsprogram.
- Å skalere av kompetanseutvikling og utdanning i tråd med ambisjonene.

En norsk satsing på havvind med FoU og et program for utbygging vil bidra til å redusere kostnaden for havvind. Det vil gi en større utbygging globalt, mer ren energi og bidra vesentlig til oppnåelse av klimamål. Norsk eksport av teknologi og elektrisitet vil både gi verdiskaping og nye arbeidsplasser.

INNLEDNING

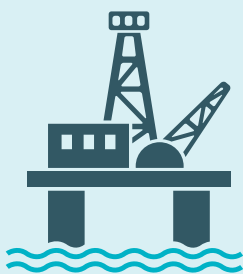
Havvind er en viktig del av et fremtidig bærekraftig energisystem. IEA forventer i sitt Sustainable Development Scenario at vindkraft i 2040 globalt vil være nest størst målt i installert kapasitet og størst målt i levert energi (1). IEA forventer at landvind stadig vil dominere, men med kraftig vekst i havvind fra dagens nivå på 16 GW til over 350 GW (1200 TWh) i 2040 (2). Det tekniske potensialet for havvind er mer enn hundre ganger større. NREL angir i en studie (3) at havvind potensielt kan levere 192 800 TWh/år, tilsvarende 8 ganger verdens elforsyning i 2014.

I dagens energisystem er havvind fremdeles en nisje, og til tross for betydelig vekst er bransjen på mange måter umoden. Havvind har i første rekke vært bygd ut i Europa, men i de siste årene har også Asia og USA trappet opp en satsning på havvind. I andre deler av verden er utviklingen innen havvind kommet kortere, men med tydelige signaler om å satse framover.

Helt siden det første Klimaforliket og Energi21 publiserte sin første rapport i 2008 har havvind vært definert som et satsingsområde innen klimavennlig teknologi, spesielt på bakgrunn av mulighetene for å gjenbruke kompetanse og ressurser fra den norske maritime/offshore klyngen.

Med unntak av Hywind, verdens første flytende turbin, er det ikke blitt bygd havvind i Norge. Den positive utviklingen av kostnadsnivået for havvind gjør imidlertid at havvind kan være en attraktiv teknologi for den norske energiforsyningen i framtiden.

I denne rapporten har vi fokusert på havvind i et europeisk perspektiv, og Norge sin rolle i Europa sin omstilling. Vi har et spesielt fokus på Nordsjøen.



Helt siden det første Klimaforliket og Energi21 publiserte sin første rapport i 2008 har

havvind

vært definert som et satsingsområde innen klimavennlig teknologi, spesielt på bakgrunn av mulighetene

for å videreføre kompetanse og ressurser fra den norske maritime/offshore-klyngen

- Europa kommer til å trenge store mengder fornybar energi for å omstille samfunnet. Nordsjøen er et svært interessant område for produksjon av denne energien
- Havvind er et mulig satsingsområde for Norge med fokus på industriutvikling og teknologiekspert

Rapporten skal belyse problemstillinger som:

- Hvilken rolle vil havvind spille i omstillingen av Europas kraftsystem, og hvilken rolle kan Norge spille i denne omstillingen?
- Hva er samspillet mellom havvind og andre teknologier som naturgass med og uten CCS, solkraft og landbasert vind?

- Hva er status på norsk havvind-industri og hva skal til for at potensialet for industriell utvikling kan tas ut?
- Hvilke virkemiddel og rammevilkår trenger vi for å utvikle norsk havvind i dette perspektivet, både når det gjelder energieksport og teknologiutvikling?
- Hva er kompetansegapet og forskningsbehovet som må adresseres for å lykkes?

Rapporten er delt i følgende kapitler:

- Rollen til havvind i Europas kraftforsyning
- Potensialet for havvind i Nordsjøen
- Norsk leverandørindustri - status og potensiale
- Virkemidler for Innovasjon og industri
- Behovet for kompetanseutvikling og ny forskning

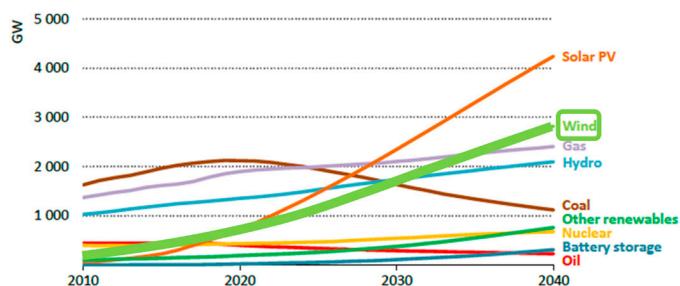


Europa kommer til å trenge store mengder fornybar energi for å omstille samfunnet. Nordsjøen er et svært interessant område for produksjon av denne energien. Vi ser derfor på rollen til havvind i det europeiske kraftsystemet med et spesielt fokus på Nordsjøen.

EUROPAS KRAFTFORSYNING

En av de store utfordringene for bærekraftig omstilling er å redusere utslippene i energisektoren. Figur 1 viser IEA sitt Sustainable Development Scenario som viser at framveksten av fornybar energi må akselerere fra 2020 om vi skal lykkes i omstillingen. Havvind er en viktig del av et fremtidig bærekraftig energisystem.

EU sin Energy Roadmap 2050 skisserer europeiske ambisjoner mot 2050. Basert på 2011 versjonen av veikartet er ambisjonen å redusere klimagassutslippene med 80–95% sammenlignet med 1990 nivå i 2050 (4). Det betyr i praksis at kraftsektoren må nærme seg nullutslipp i 2050. Samtidig forventes det at kraftteterspørselen vil øke som en konsekvens av elektrifisering av samfunnet. EU sitt referansescenario fra 2016 estimerer ca. 25% økning i kraftteterspørselen frem mot 2050 (5).



FIGUR 1 Globalt installert kapasitet for forskjellige energiteknologier i henhold til IEA Sustainable Development Scenario.



NREL angir i en studie at havvind potensielt kan levere 192 800 TWh/år, tilsvarende

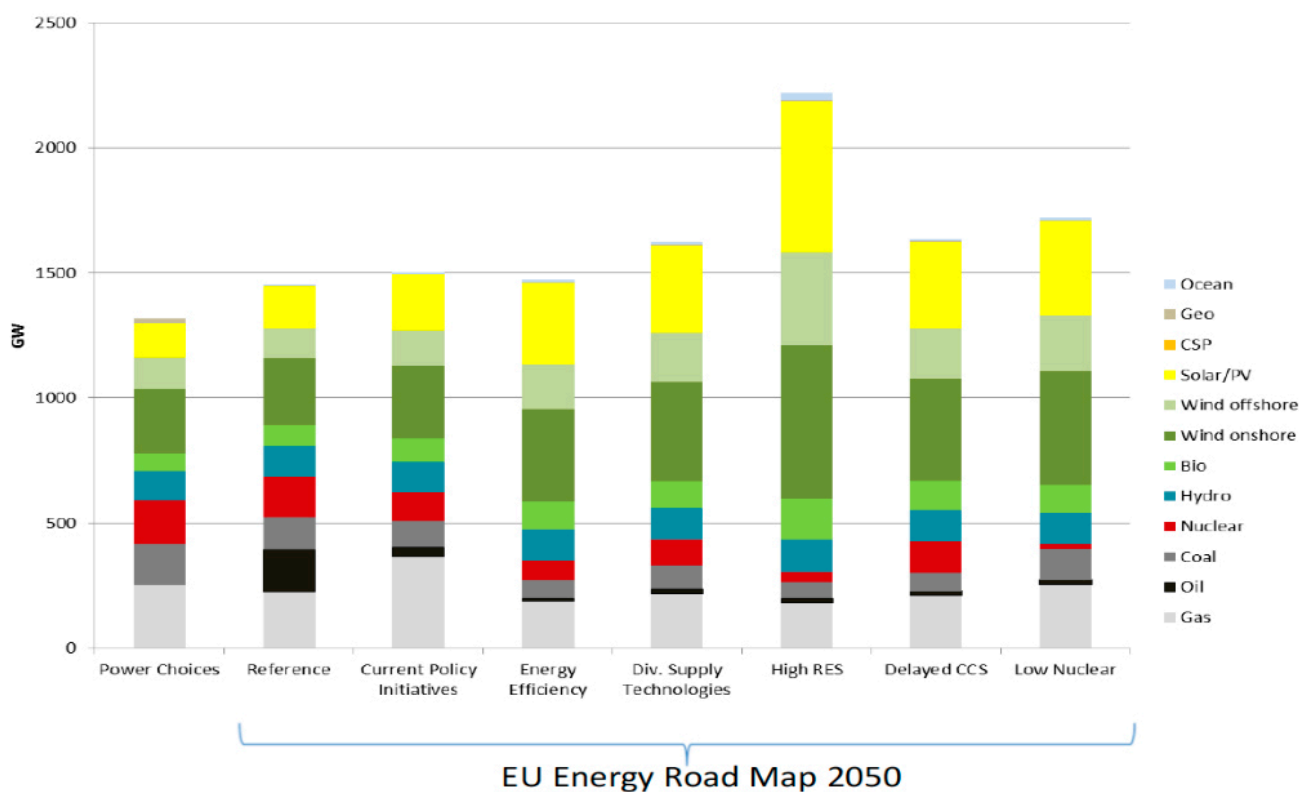
8 ganger verdens elforsyning i 2014

NTRANS 
Norwegian Centre for
Energy Transition Strategies

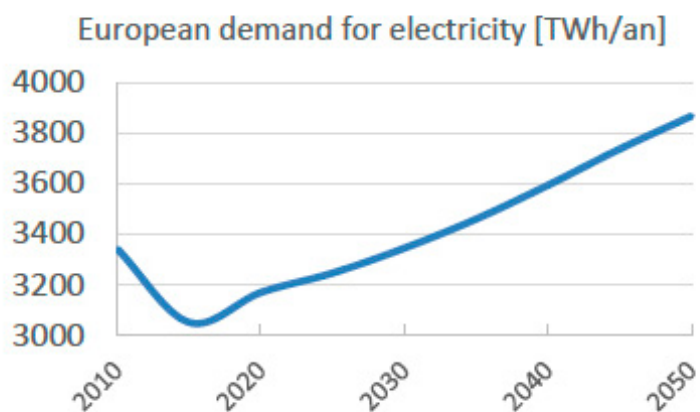
HAVVIND – en industriell mulighet for Norge, juni 2019

Figur 2 viser teknologimiksen i ulike framtidsscenarioer for hele energisektoren. Vi ser her at vindkraft både til land og til havs spiller en rolle i de fleste scenarioer. Særlig er denne trenden tydelig når fornybarandelen blir høy, når CCS blir forsinket, når atomkraft fases ut og når produksjonsteknologiene blir diversifisert.

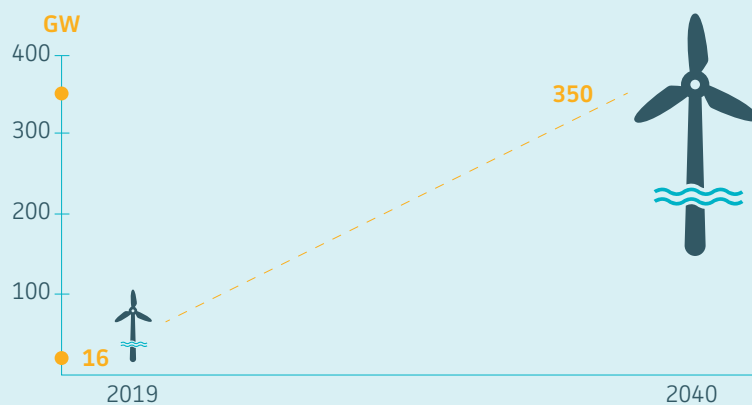
Figur 3 viser estimert krafttetterspørsmål i EU sitt referansescenario fra 2016. Figuren viser en moderat økning og er antagelig et forsiktig estimat med tanke på at det er sannsynlig med en storstilt elektrifisering av andre sektorer som transport, varme og industri.



FIGUR 2 Fremskrivning av installert produksjonskapasitet i gigawatt for Europa i 2050 basert på EU Energy Road Map 2050 og Eurelectric's 'Power Choices' (GW) (4).



FIGUR 3 Kraftteterspørsel i Europa i EU reference scenario i Terrawattimer/år for perioden 2010 til 2050 (5).



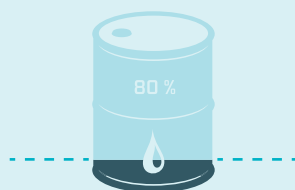
Havvind vil være viktig dersom vi skal lykkes med å redusere utslippene fra energisektoren. IEA forventer i sitt Sustainable Development Scenario at havvind vil ha en kraftig vekst i produksjonskapasiteten fra

dagens nivå, 16GW, til over 350 GW i 2040

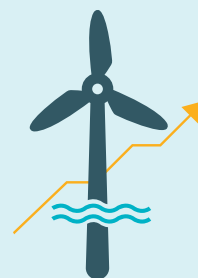
2050



Kraftetterspørselen
vil øke med
25 %



Klimagassutslippene i energisektoren
må kuttes med minst
80%



Det vil føre til økt etterspørsel
etter fornybar energi som havvind

NTRANS
Norwegian Centre for
Energy Transition Strategies



HAVVIND – en industriell mulighet for Norge, juni 2019

OPPSUMMERING

Behovet for elektrisitet er forventet å vokse med minst 25% frem mot 2050, samtidig som klimagassutslippene skal reduseres med minst 80%. Dette vil kreve en betydelig utbygging av fornybar energi i Europa.

POTENSIALET FOR HAVVIND I NORDSJØEN

De naturgitte forholdene sør i Nordsjøbassenget, og ellers rundt Danmark og Storbritannia, er gode med tanke på tilgang til gode vindressurser, vanndybde, bunnforhold, samt nærhet til havneinfrastruktur. Kombinasjonen av gode naturgitte forhold, rammebetingelser som har oppmuntret til investeringer både i teknologi, fabrikkutstyr og energiproduksjon samt en eksisterende industri å bygge videre på (kraftproduksjon, landbasert vindkraft, maritim sektor, offshore petroleum m.fl.) har gitt Europa gode forutsetninger for etablering av havvindindustri og energiproduksjon. Vi ønsker spesielt å se på potensialet i Nordsjøområdet, men inkluderer også resten av Europa.

FME CenSES har utarbeidet detaljerte studier av teknologimiksen i framtidens europeiske kraftmarked, både i installert kapasitet og i faktisk produsert strøm i 2050 (7). Målet med CenSES rapporten var å belyse rollen til norske fornybarressurser og norsk naturgass i det framtidige europeiske kraftsystemet. Fokus var på verdien av fleksibiliteten som er tilgjengelig både i regulerbar vannkraft og i verdikjeder for naturgass.

Vi har for denne rapporten oppdatert analysene fra CenSES med fokus på havvind og på samarbeid om utbygginger i Nordsjøen. Analysen som presenteres her er et sammendrag av Maraño-Ledesma, Skar, Crespo del Granado og Tomasgard (8). Studien bygger på arbeidet i CenSES, men går i mer detalj på viktige områder:

- Vi ser spesielt på hvor sensitiv en satsing på havvind i Norge vil være i forhold til kostnadsutviklingen til teknologien
- CenSES rapporten peker på behovet for samarbeid i Nordsjøregionen, for å redusere politisk risiko og etterspørselsrisiko siden havvind vil bygges for krafteksport. Et naturlig spørsmål er da: Hvordan påvirkes teknologimiksen dersom man etablerer en

Nordsjøregion med koordinert utbygging av havvind, sammenlignet med kun nasjonale initiativ?

- Optimal lokalisering av havvind i Europa med tanke på samspillet med resten av kraftsystemet

Underlag for analysen

I analysene i denne rapporten er teknologiantakelsene (kostnader, læringskurver, potensial for utbygging av fornybar energi) de samme som i CenSES (7).

I tillegg har vi her brukt de samme antakelsene om fremtidig etterspørsel etter kraft (hentet fra EC (5)), og brenselpriser (hentet fra ETP (10)). De viktigste kildene for kostnadsantakelser er:

- 1 for sol: Fraunhofer ISE (11)
- 2 for vind (havvind og landbasert): Gerbaulet & Lorenz (12)
- 3 for storskala batterier: Cole et al. (13)
- 4 teknologier for forbrukerfleksibilitet: H. C. Gils (14)
- 5 karbonfangst og lagring: ZEP (9)

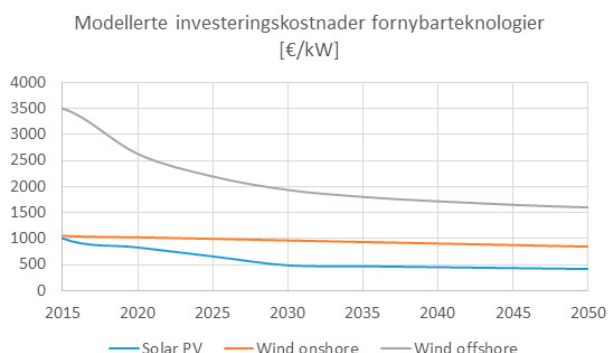
En viktig oppdatering av datagrunnlaget sammenlignet med det fra CenSES (7) er at vi her har tatt i bruk tidsserier for produksjon fra fornybart (vind og sol) fra www.renewables.ninja (se Pfenninger & Staffell (15) og Staffell & Pfenninger (16)). Overgangen til denne datakilden har også muliggjort å legge til en ekstra geografisk lokasjon i EMPIRE modellen i denne analysen, en node i Nordsjøen med tilhørende vindprofil for havvind.

Vi presenterer her to hovedscenarier for kostnads-effektiv omstilling av Europeisk kraftsektor. Et baseline-scenario basert på kostnadsutviklingen som beskrevet nedenfor, og et scenario med ytterligere 30% kostnadsreduksjon.

Kostnadskurver

En av de viktigste antagelsene, som påvirker hvor attraktiv havvind er i teknologimiksen, er hvordan kostnaden vil utvikle seg. Under presenterer vi antagelsene vi har gjort for investeringskostnad, driftskostnad og vedlikeholdskostnader. Disse kurvene representerer læringen og effektiviseringen som vil skje over tid og er høyst usikre. Vi presenterer derfor «baseline» læringskurver for disse, samt sensitiviteter.

Kostnaden for bunnfast havvind har falt kraftig de siste årene. For eksempel klarte Equinor å kutte kostnadene med ca. 70% fra Hywind-piloten utenfor Karmøy (2009) til Hywind Scotland (2017) (6). De billigste utbyggingsprosjektene planlegges nå å realiseres uten subsidier (17), selv om mer gjennomsnittlige havvindutbygginger stadig krever noe støtte for å kunne realiseres. Havvind på grunt til mellomdypt vann (-50 m) med bunnfast fundament er nå billigere enn flytende havvind på større dyp (100-300 m), men dette kan endre seg med utvikling av marked og teknologi.



FIGUR 4 Kurver for utvikling av havvindkostnader slik de er brukt i modellen sammenlignet med landbasert vind og sol. Kostnadsantakelser for sol kommer fra Fraunhofer ISE (11). For vind er antakelsene fra Gerbaulet & Lorenz (12).

Et strategisk mål for havvind i EU's SET-plan er at havvind på sikt skal kunne bygges og driftes uten subsidier (18). Fra 2013 til 2018 falt prisen per MW med 44,5% (fra €4.41 til €2.45 millioner/MW) (19). Dette skyldes en kombinasjon av ulike faktorer, som utvikling av større og mer driftssikre vindturbiner, teknologiutvikling forøvrig, skalafordeler, rimelig finansiering og økt konkurranse både om produksjonslisenser og i verdikjeden.

Representasjon av havvind i EMPIRE

EMPIRE studien skiller mellom to kategorier havvind: Havvind i Nordsjøregionen og nasjonal havvind.

Nasjonal havvind brukes for å beskrive installasjoner som kobles direkte til et nasjonalt kraftsystem. Her vil kraften tas til land og inngå i energibalansen til ett enkelt land. Alle land kan både importere og eksportere kraft, så også denne teknologien kan bygges ut for eksport.

Havvind i Nordsjøregionen: Her etableres en egen Nordsjø-region i modellen. Denne regionen kan knytte import/eksportforbindelser til alle landene rundt (Belgia, Tyskland, Danmark, Storbritannia, Nederland og Norge). I praksis kan en slik region etableres ved å bygge en eller flere vindkraft-huber til havs som så knyttes sammen med hverandre gjennom et offshore grid. Disse havvind-installasjonene kobles så på resten av det europeiske kraftmarkedet ved å bygge kabler fra regionen til de enkelte land.¹ I EMPIRE er dette representert ved to typer investeringskategorier:

¹ Flere studier har sett på teknologiske løsninger for en slik vindregion. Et eksempel fra juni 2019 er en rapport fra The North Sea Wind Power Hub consortium: "Modular Hub-and-Spoke: Specific solution options - Case studies have demonstrated technical feasibility"

- a) Installert kapasitet for havvind på ulike lokaliteter i Nordsjøregionen. Disse er representert med sine respektive historiske vindprofiler.
- b) Kabler mellom Nordsjøregionen og de enkelte land rundt. Kabelkapasiteter for hver av disse forbindelsene er et valg i modellen.

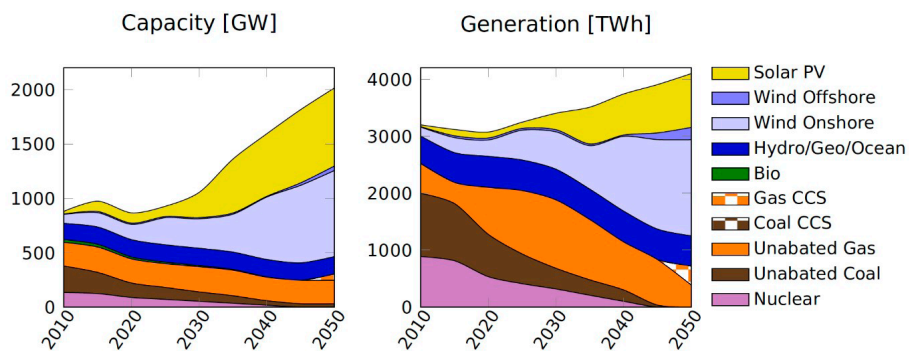
To tilleggsmoment som følger av dette er:

- Interne kabelforbindelser mellom hubene i Nordsjøen er tatt med i kostnaden for havvind og antas å ikke være begrensende. Dette er en forenkling.

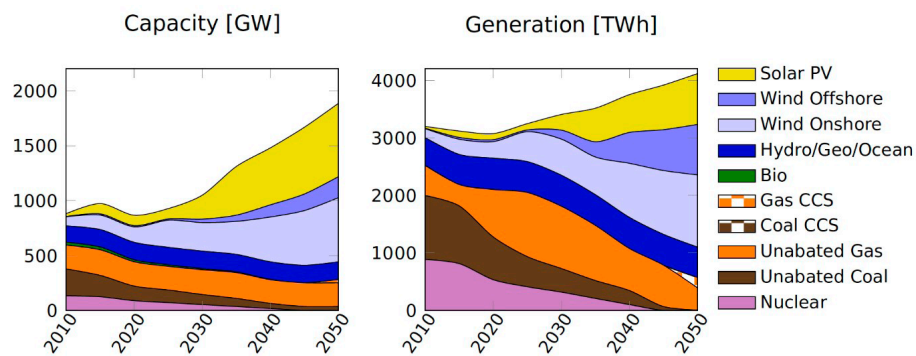
- I prinsippet kan EMPIRE modellen velge å bare investere i kabler, uten havvind. Dette skyldes at denne type knutepunkt i Nordsjøen kan ha en verdi i seg selv.

Resultat

I det følgende presenteres analyseresultatene fra EMPIRE med oppdaterte vinddata og med Nordsjøregionen som et lokaliseringsalternativ for havvind i tillegg til nasjonal havvind. Vi har skilt ut Nordsjøen som en egen region. Her presenterer vi først i Figur 5 baseline scenarioet, og deretter i Figur 6 et scenario med 30% kostnadsreduksjon sammenlignet med baseline.



FIGUR 5 Baseline scenario i EMPIRE: Kapasiteter og produksjon.

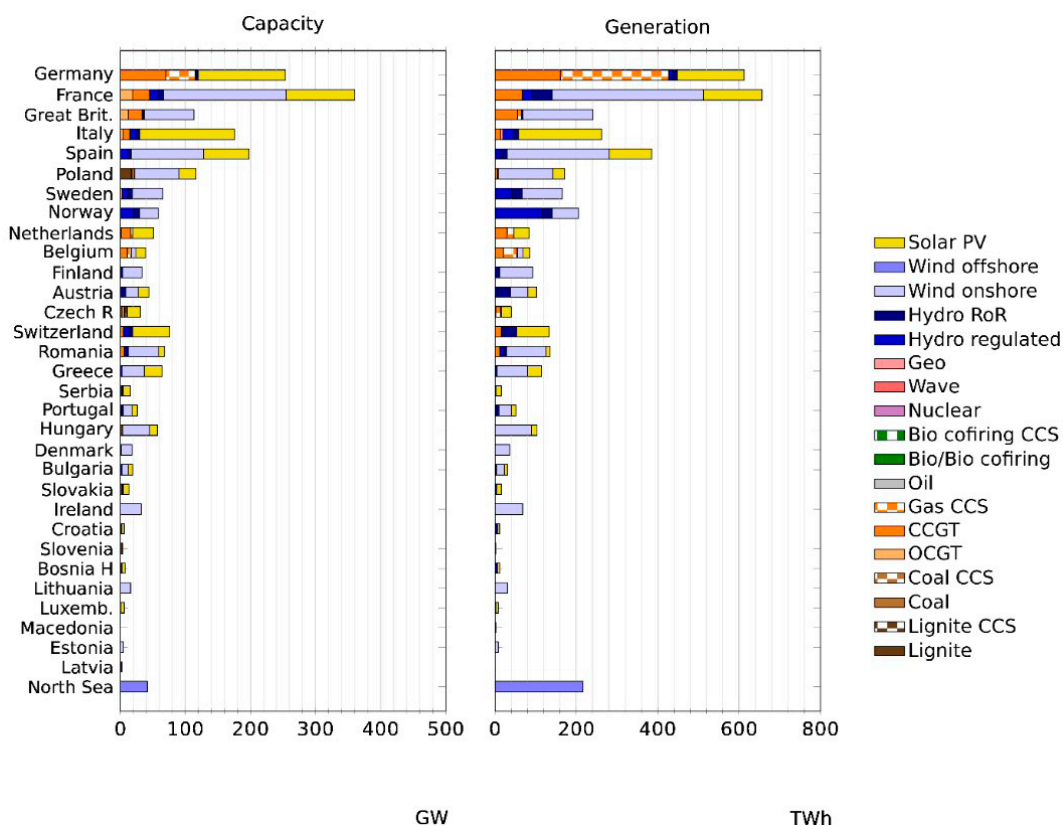


FIGUR 6 Scenario i EMPIRE med kostnadsreduksjon på 30% for havvind: Kapasiteter og produksjon.

For Europa samlet spiller vindkraft en sentral rolle. Sammenlignet med analysen fra CenSES (7) blir CCS for kraftsektoren både redusert og utsatt i tid. Dette skyldes de oppdaterte data for vind som er lagt inn i analysen og viser at vindkraft og fossil kraft med CCS i noen grad er substitutter. Når det gjelder havvind spiller teknologien en økende rolle fra 2020 og i 2050 er 5.3% av produksjonen i Europa fra havvind. Dersom kostnaden kan reduseres med 30% øker produksjonsandelen til 21.3%. Dette viser tydelig at potensialet til havvind er svært avhengig av at en lykkes med industrialisering og tilhørende kostnadsreduksjoner.

Videre ser vi på geografisk lokalisering. Vi ser i Figur 7 og 8 at det i baseline scenarioet investeres i en betydelig kapasitet i havvind i Nordsjøregionen med ca. 42 GW installert kapasitet og 217 TWh produksjon i 2050. Denne felles investeringen i en Nordsjøregion foretrekkes av modellen framfor nasjonale investeringer i Norge, Tyskland, Danmark, Storbritannia, Belgia og Nederland.

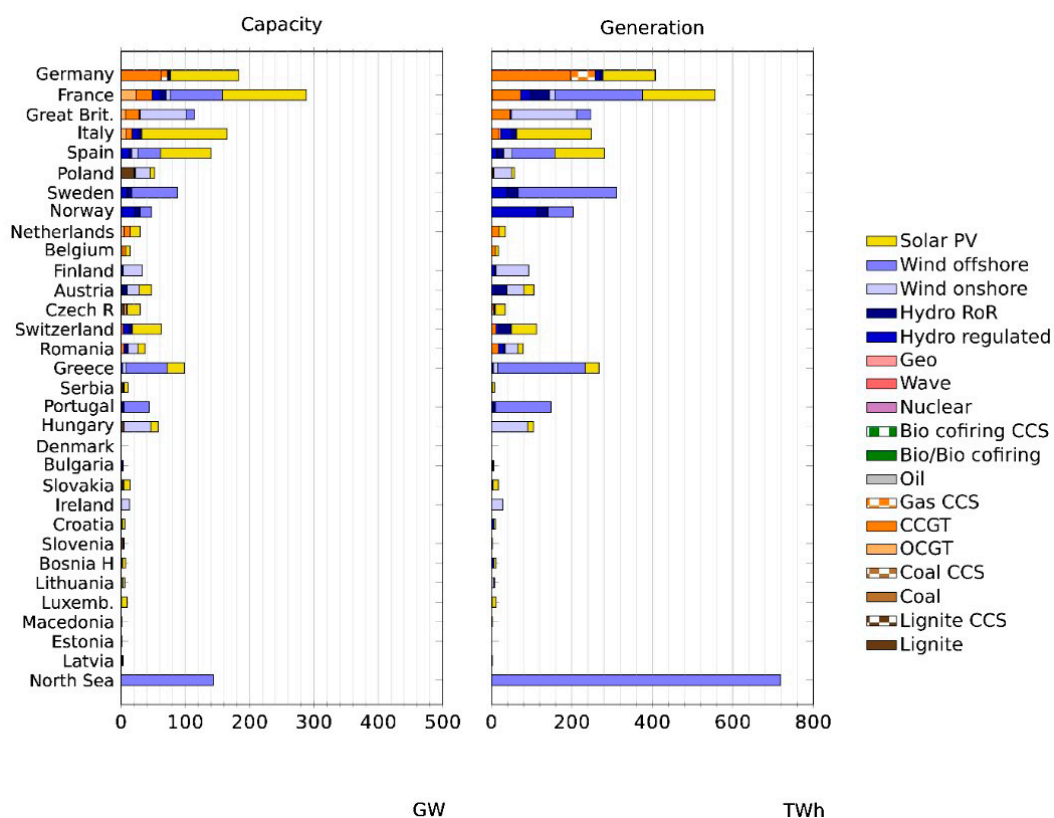
I scenarioriet med ytterligere 30% kostnadsreduksjon sammenlignet med baseline, økes installert kapasitet i Nordsjøregionen til 143 GW noe som resulterer i en



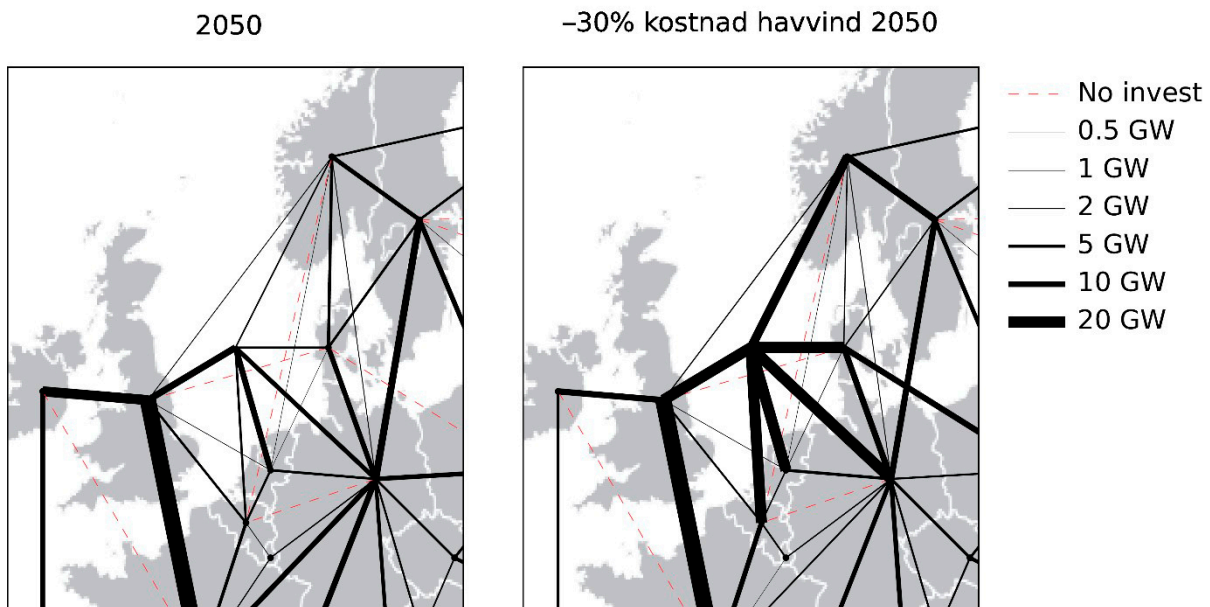
FIGUR 7 Baseline scenario i EMPIRE: Kapasiteter og produksjon.

forventet produksjon på 718 TWh. Det er interessant at når kostnaden ligger på dette lave nivået, ser vi også investeringer nasjonalt i andre regioner. Landene i Nordsjøregionen foretrekker fortsatt å investere tilknyttet denne felles infrastrukturen. Dette skyldes antagelig både bedre vindforhold og at regionen deler infrastruktur for å knyttes opp mot landene rundt. Det gir en fleksibilitet til å sende kraft dit prisen er høyest. Alternativet vil være å investere betydelig i landbasert fornybar kraftproduksjon i Europa.

Når det gjelder infrastruktur i Nordsjøen foreslår modellen å bygge forbindelse til Norge, Danmark, Tyskland, Nederland, Storbritannia og Belgia (se Figur 9) fordi kostnadene går ned. Merk at overføringskapasiteten også kan benyttes til kraftutveksling mellom landene. Flexibiliteten som følger med et forgreningspunkt i Nordsjøen er svært verdifull også for andre ressurser. Dette blir enda viktigere når CCS ikke kan benyttes til å tilby fleksibilitet.



FIGUR 8 Scenario med 30% kostnadsreduksjon: Kapasitet og produksjon per land.



FIGUR 9 Baseline scenario og 30% kostnadsreduksjon: Overføringskapasitet mellom land i nordsjøregionen 2050.

Teknologi	Baseline		Baseline og 30% kostnadsreduksjon	
	Kap. [GW]	Prod [TWh]	Kap. [GW]	Prod [TWh]
Sol	180	218	128	153
Landvind	128	289	72	162
Havvind	0	0	30	98
Nordsjø havvind	42	217	143	718
Reg. vannkraft	24	127	24	127
Ureg vannkraft	13	37	13	37
Gasskraft	132	266	112	272
Gasskraft CCS	56	327	10	62

TABELL 1 Oppsummering av de ulike scenariene med aggregerte tall for Norge og de andre Nordsjølandene.

OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER

Analysene i EMPIRE viser at når Europa skal omstille kraftsystemet kan Nordsjøområdet være en svært verdifull ressurs for fornybar energi. De viktigste elementene i dette er:

- Landene rundt Nordsjøen kan bygge en felles infrastruktur som gjør havvind mer fleksibel
- Analysene foreslår i begge scenarier utbygging av store mengder havvind i regionen. Mengden varierer med kostnad og ved bruk av andre teknologier, men i alle disse tilfelle foretrekkes en felles Nordsjøinfrastruktur
- Kostnadsreduksjoner og læring gir betydelig økning i volumet havvind som en attraktiv energiressurs for Europa
- Området har gunstig lokalisering med tanke på samspill mellom fornybarproduksjon og etterspørsel i Europa. En felles infrastruktur som kan sende strøm i mange retninger gjør ressursen ekstra verdifull
- For et land som Norge som ikke trenger energien selv, men bygger primært for eksport, kan samarbeid med andre land redusere risiko:
 - Ved å sikre at det finnes etterspørsel fra flere markeder
 - Ved å øke gjennomsnittsprisen på krafteksport, siden strømmen kan selges til flere land når flere kabler er tilgjengelig

En storstilt utbygging over en 30-års periode vil kreve at man bygger industriell kapasitet fra en tidlig fase hvor teknologien er umoden til den blir en storskala kostnadseffektiv ressurs i Europas kraftforsyning. Dette vil kreve både koordinert handling mellom næringsliv, politikk, forskning og utdanning og økt samarbeid om utbygging i regionen. Dette må det legges politisk til rette for.

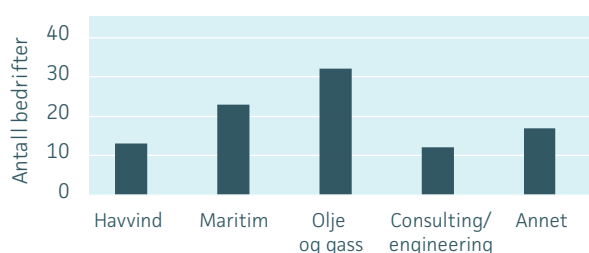
Vi anbefaler:

- At Norge tar en aktiv rolle i Nordsjø samarbeidet og utnytter både norske ressurser og kompetanse
- Utredning av regulering og juridiske aspekt ved storskala utvikling av Nordsjøregionen som og tar hensyn til hvordan landene skal dele kostnad, inntekt og risiko ved en slik utbygging
- Skalering av kompetanseutvikling og utdanning i tråd med ambisjonene
- Koordinert forskningsinnsats mellom de samarbeidende landene
- Koordinert demonstrasjon av umodne teknologier for å gradvis bygge kapasitet og lønnsomhet

De følgende kapitler tar for seg behov for skalering og utvikling av industri, samt teknologi og kunnskapsgapet som må fylles.

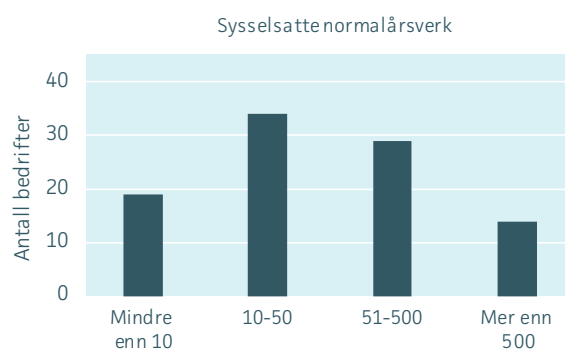
NORSK LEVERANDØRINDUSTRI - STATUS OG POTENSIALE

Dagens norske leverandørindustri til havvind består av omlag 150 selskaper. De aller fleste av disse har hovedaktiviteten sin i andre industrier (se figur 10), spesielt olje og gass samt maritim. En kartlegging i 2018 (20) viste at 50 av 94 undersøkte selskaper hadde under 5 % av sine totale inntekter innen havvind.

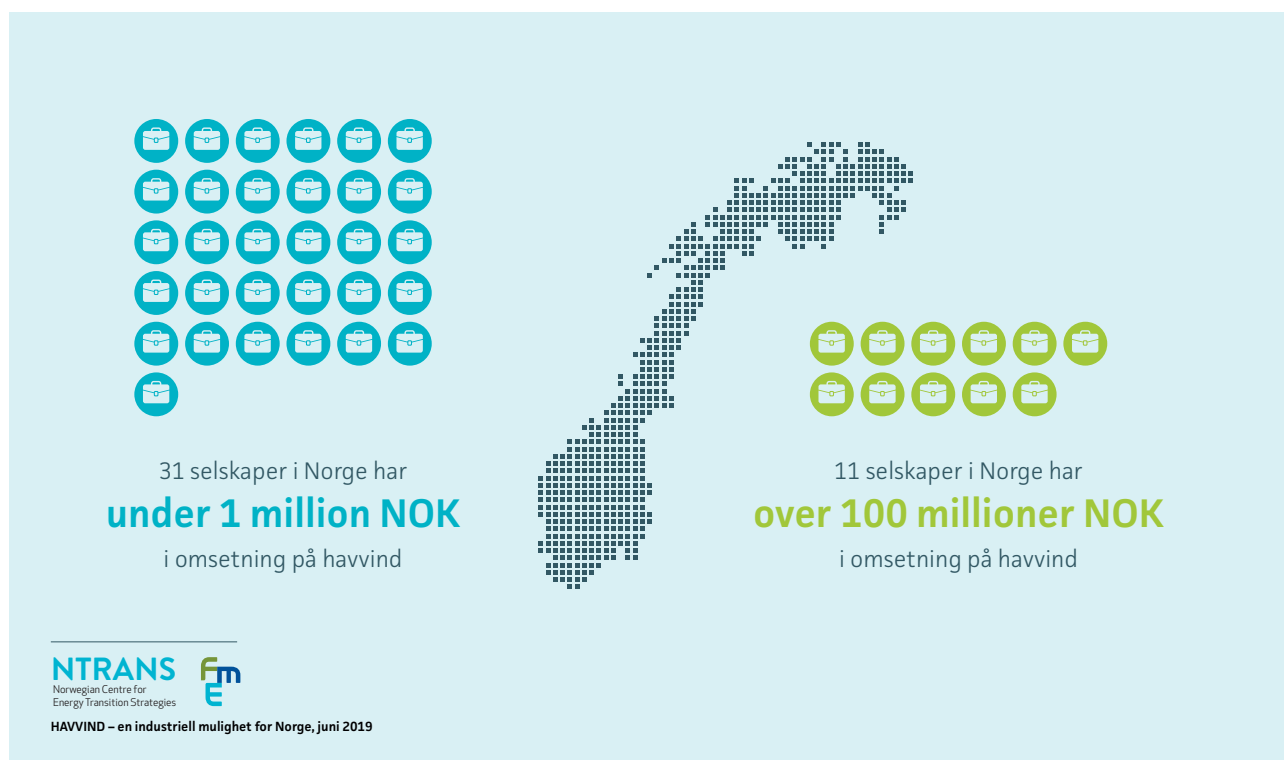


FIGUR 10 Hovedaktivitet til selskaper som er leverandører til havvind utbygginger.

I samme kartlegging hadde også over halvparten (54 %) under 50 ansatte mens bare 15% hadde mer enn 500 ansatte (figur 11). Selskapenes årlige inntekter fra havvind varierer også veldig, fra under 1 million NOK i 31 selskaper, til over 100 millioner NOK i 11 selskaper.



FIGUR 11 Antall fulltidsansatte i selskaper som er leverandører til havvind utbygginger.



Det betyr at mange av de norske leverandørbedriftene innen havvind har begrensede ressurser de kan bruke til å gjennomføre satsninger, som å utvikle kapitalkrevende nye løsninger eller opprette nye salgskontor for å nå kunder i internasjonale markeder. Ifølge estimer utarbeidet av Eksportkreditt (21), var årlig omsetning blant norske leverandørbedrifter til havvind (inkludert utenlandske datterselskaper) ca. 5,4 mrd NOK i 2017. Det tilsier en markedsandel på 3-5 % av det globale markedet innen havvind.

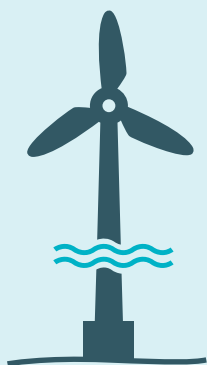
Bunnfast vs flytende havvind

Mens det ved årsskiftet 2018/19 var installert ca. 4500 havvind-turbiner i Europa, så var det kun 11 flytende havvind turbiner globalt, hvorav seks av disse er Equinors Hywind. De flytende turbinene har større likhet med olje & gass-plattformer enn hva bunnfaste

turbiner har. Dette har medført interesse for flytende havvind-teknologier også fra andre norske olje & gass selskaper. De fremste eksemplene er: Aker Solutions investering i WindFloat-teknologien i 2018 og Siem Offshore Contracting sin investering i franske Ideol i 2017. I motsetning til den globale markedsandelen på 3-5 % i bunnfast havvind, så hadde norsk leverandørindustri omlag 30-40 % av kontraktene på Equinors Hywind Scotland demopark på 30 MW. Det kan bety at potensialet for norske leverandørbedrifter er større innen flytende havvind.

Marked, ikke bare teknologi

Et tilbakevendende argument for norsk satsning på havvind er at norsk industri er ledende innen olje & gass, maritim bransje samt fornybar energi, og at havvind er et område hvor alle disse kompetansene



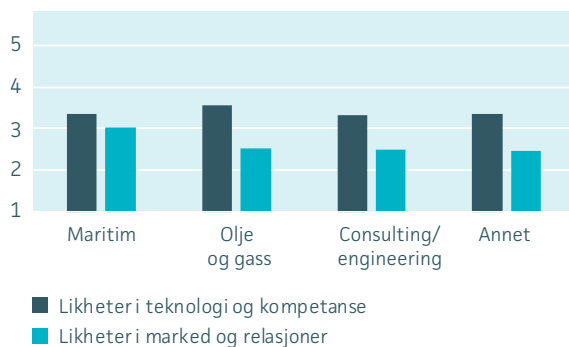
Norge har

3-5 % markedsandel
(primært bunnfast havvind)



30-40 %

av Hywind Scotland
(flytende havvind)
var norske leverandører



FIGUR 12 Grad av teknologisk og markedsmessig relevant konkurransevne.

til en viss grad møtes. Dette argumentet er i hovedsak basert på bedriftenes teknologiske kompetanse innenfor disse områdene, og at disse industriene har en likhet som gjør disse kompetansene lettere å overføre mellom industriene. Figur 12 illustrerer og sammenligner både teknologiske og markedsmessige likheter mellom havvind og andre bransjer. Figuren viser at det for de etablerte bedriftene er en noe høyere likhet når det gjelder teknologi enn på markedssiden, særlig er forskjellen stor for bedrifter innen olje & gass. For mange leverandørbidrifter er det ikke så store forskjeller på de produktene og løsningene de selger til havvind når det kommer til teknologi, produksjonsprosess eller kompetansebehov, men de må ofte gjøre større endringer (og investeringer) når det kommer til salg og markedsføring av sine produkter og tjenester. Markedet for havvind har spesifikke karakteristikk som er ulike fra markedene hvor selskapene tidligere har erfaring fra. Eksempler her er: Ulik prosjektgjennomføring, tilgang på kapital, utarbeidelse av kontrakter, samarbeid med partnere, kontraktsutforming, salgsprosess eller kunderelasjoner. Derfor har markedserfaring og ressurser fra andre bransjer som olje og gass begrenset nytte. Dette, samt at de i tillegg må operere i internasjonale markeder, representerer viktige barrierer for norske leverandørbidrifter til havvind. Undersøkelsen fra 2018 (20)

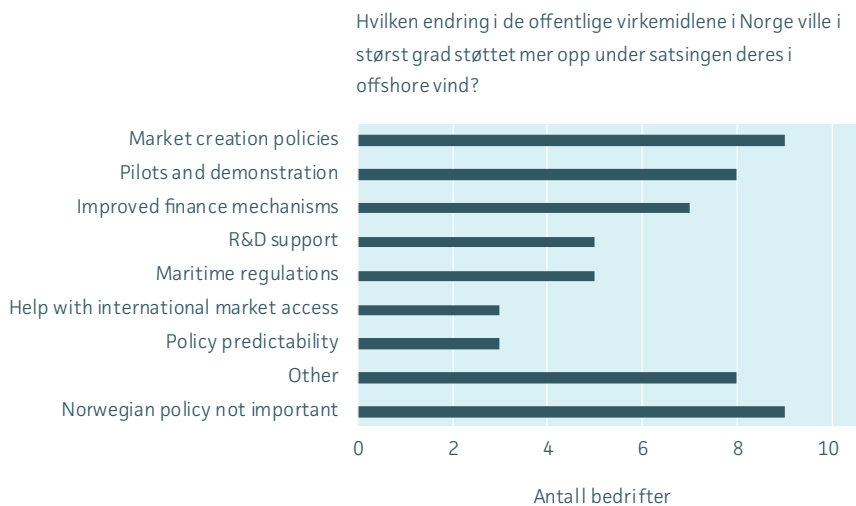
finner også en positiv sammenheng mellom opplevd suksess i havvind og markedslighet; men denne sammenhengen ble ikke funnet mellom opplevd suksess og teknologisk likhet. Mange selskaper peker også på at markedstilgang er meget ressurskrevende, da det er viktig å ha spesialiserte salgsteam samt opprette lokale salgskontor eller lokale ansatte i de internasjonale havvindmarkedene. Dette kan tyde på at det er de som har høyest markedslighet som gjør det best. Med andre ord er de markedsmessige utfordringene for mange bedrifter, vel så store som de teknologiske.

Politiske virkemidler

Selskapene er i det store og hele fornøyde med virkemidler når det gjelder FoU og teknologiutvikling. Men en rekke selskaper som etterlyser virkemidler som kan hjelpe dem med markedsadgang. Pilotprosjekter og demonstrasjonsparker er eksempler på virkemidler, som kan gi selskapene erfaring fra havvindindustrien og bli viktige referanser. Videre påpeker mange behovet for å teste ut og demonstrere ny teknologi og nye løsninger. Siden de fleste leverandørselskapene inn mot havvind er relative små, har de begrenset med ressurser til å gjennomføre dette på egenhånd.

Mange selskaper vil ha stor nytte av å kunne etablere pilot og demonstrasjonsprosjekter. Et hjemmemarked kan bidra til følgende:

- Demonstrere kompetanse og nye løsninger
- Få referanser innenfor havvind
- Gi verdifulle erfaringer
- Bidra til å utvikle en norsk leverandørkjede



FIGUR 13 Betydning av virkemiddel for aktører i havvind næringen.

OPPSUMMERING OG ANBEFALING

- Majoriteten av norske havvindselskaper er små med under 50 ansatte
- Den norske havvindindustrien er tett knyttet til olje & gass samt maritim industri
- Selskapene opplever markedsadgang som mer krevende enn teknologiske krav
- Det er behov for virkemidler som understøtter markedsutvikling

Vi anbefaler:

- Å etablere pilot og demonstrasjonsprosjekter for å utvikle et hjemmemarked som kan bidra til å utvikle kompetanse, erfaring og markedskunnskap

VIRKEMIDLER FOR INNOVASJON OG INDUSTRI

Den internasjonale veksten i havvind må ses i sammenheng med gunstige rammebetingelser og virkemidler som er brukt av ulike land, for å stimulere teknologi- og markedsutvikling.

Ny teknologi (og nye industrier) oppstår ikke av seg selv, men gjerne i et samspill mellom ulike aktører (næringsliv, utdanning, forsknings og utvikling, myndigheter) i et innovasjonssystem. Ulike former for virkemidler/støtte og forutsigbare rammevilkår bidrar positivt til å redusere risiko og øke investeringsvilje.

Havvind var i 2016 Norges største fornybare eksportnæring (22), og norske aktører har gode forutsetninger til å forsterke sine posisjoner i det sterkt voksende markedet. I dag er de største aktørene Equinor, Fred Olsen Windcarrier, Aibel, Nexans, Kværner, DNV GL og Kongsberg. Equinor er internasjonalt ledende på utviklingen av flytende havvind. Her har Norge hatt en pionerrolle med installasjon av HyWind i 2009 utenfor Karmøy som verdens første flytende turbin i full skala.

Havvind representerer en god mulighet for industriell verdiskaping i Norge, og norske myndigheter har gjentatte ganger pekt på mulighetene for å skape ny industri basert eksisterende maritim kompetanse. Vi ser derimot to utfordringer for å lykkes med å bygge opp en norsk eksportindustri:

Utfordring I: Mens utviklingen i de ledende havvindnasjonene i Nord-Europa (Tyskland, Storbritannia, Danmark, Nederland, Belgia) har vært preget av nokså tydelige målsettinger – som for eksempel en viss andel havvind i energimiksen innen et gitt årstall – har de politiske signalene over tid i Norge vært svake og uklare. Dette har sammenheng med at den politiske interessen for å stimulere til omstilling av norsk næringsliv har variert i takt med forventet olje- og gassaktivitet på norsk sokkel. Fraværet av en langsiktig politisk satsing på havvind har dempet investerings-

lysten i norsk næringsliv – spesielt for de aktørene som primært har vært opptatt av et (mulig) hjemmemarked (32 og 33).

Havvind er basert på «kompleks teknologi», i den forstand at havvindparker er svært sammensatte. Det er mange komponenter og tjenester som inngår. Vi vet at for slike industrier er hjemmemarked viktig, fordi det er behov for «læringsarenaer» for praktisk uttesting og problemløsning. Her kan ulike aktører lære på tvers.

Anbefaling: Dette tilsier behov for virkemidler som kan støtte utviklingen av et hjemmemarked for havvind. Det vil være formålstjenlig å støtte pilot- og demonstrasjonsanlegg samt kommersielle prosjekter, da spesielt for nye nisjer innen havvind som flytende vindkraft.

Utfordring II: Myndighetenes hovedstrategi for å støtte en norsk havvindnæring har vært gjennom å stimulere til forsknings og utvikling (FoU). Forskningsrådet har gitt betydelig støtte til FoU og innovasjonsarbeid, blant annet gjennom de to teknologi FMEene NOWITECH og NORCOWE. Dette har vært viktig, men ikke tilstrekkelig.

Enkelte norske virksomheter har lyktes godt i det europeiske markedet. Et kjennetegn ved de fleste av disse er at de har bakgrunn fra petro-maritim bransje, og at de gjør i havvind har sterke likheter med det de gjør i sin «hjemmesektor». Forskning (23) viser imidlertid at norske bedrifter etterlyser støtte på markedssiden for å lykkes bedre internasjonalt. I havvind møter andre kunder og betingelser enn i for eksempel petroleum.

Forventet nedgang i petroleumsaktivitet i tiårene framover aktualiserer behovet for en tydeligere politikk for å støtte norsk havvindnæring. Gitt at en

svært stor andel av de norske bedriftene som har havvind på agendaen stammer fra petro-maritim sektor er det i et diversifiseringsperspektiv – omstilling bort fra en oljeavhengig økonomi – grunn til å etterlyse tydeligere og mer støtte til et hjemmemarked for havvind i Norge (34).

Anbefaling: Norsk kompetanse fra maritim og olje og gass sektorene er svært attraktiv og overførbar til havvindsektoren. Vi anbefaler at det legges til rette for at dette kan bli et betydelig konkurransefortrinn for norsk industri.

OPPSUMMERING

- Den sterke internasjonale veksten i havvind er i stor grad resultat av en villet politikk
- Virkemidlene i ledende land omfatter både forskning og teknologiutvikling («technology push») og subsidier og god forvaltning («market pull»)
- Norge har brukt betydelige summer på FoU, mens støtte på markedssiden har vært fraværende

ANBEFALINGER

- I et diversifiserings-perspektiv vil støtte til et hjemmemarked for havvind være gunstig
- Utnytte kompetansefortrinnene Norge har basert på maritim og olje og gass næringene

BEHOVET FOR KOMPETANSE-UTVIKLING OG NY FORSKNING

Utdanningsbehov

God teknisk kompetanse i alle ledd er en forutsetning for at Norge skal lykkes med utvikling av offshore vind. Utdanning og videreutdanning av teknikere og sivilingeniører innenfor feltet bør prioriteres. Den forventede utbygging av vindkraft i Europa vil gi mange nye arbeidsplasser og skape behov for flere ansatte innenfor sektoren.

I 2015 ble det estimert at vindkraft i Europa kommer til å ha et udekt behov for 15 000 medarbeidere innen 2030, med mindre det blir utdannet mange flere ingeniører og teknikere enn i dag (24). Spesielt er det behov for kompetanse innenfor operasjoner og vedlikehold. Danmark og Tyskland har derfor utviklet spesielle kurs for å utdanne og videreutdanne faglærte innenfor viktige fagområder for vedlikehold av turbiner (elektro, mekanisk, hydraulikk).

På universitetsnivå har blant annet Nederland (ved TU Delft) satset ekstra for å bygge opp flere siv.ing. utdanningsløp (26). En fokusert 5-årig utdanning på vindkraft er nå utviklet. NTNU er også en partner på en 2-årig mastergradsprogram sammen med TU Delft, DTU, og universitetet i Oldenburg. Det er tidligere estimert at 16% av jobbene innenfor vindindustrien er relatert til prosjektering og design (27). Det tyder på at det blir behov for flere mastergradsutdannede innenfor teknologifagene i den voksende industrien.

Forskning

Norges fortrinn innen havvind er kunnskapsbasert. Det dreier seg om å utvikle smartere og bedre løsninger. Her spiller utdanning, forskning og innovasjon en nøkkelrolle.

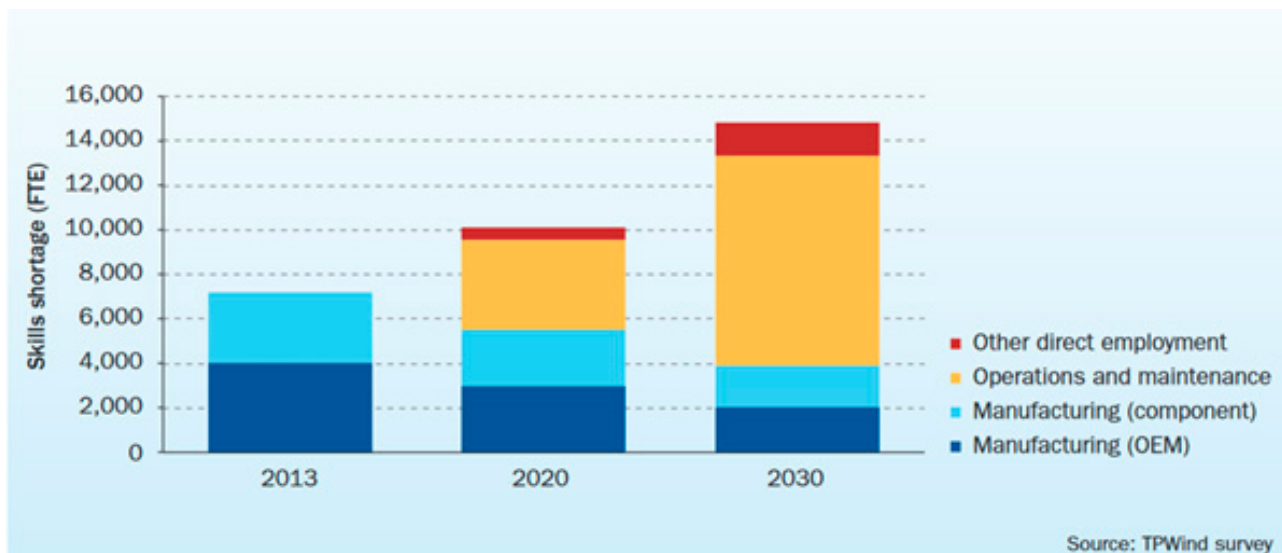


Dersom man ikke utdanner flere ingeniører og teknikere enn i dag vil Europa ha

**et udekt behov for 15.000 medarbeidere
i vindsektoren innen 2030**

NTRANS fm
Norwegian Centre for
Energy Transition Strategies

HAVVIND – en industriell mulighet for Norge, juni 2019



FIGUR 14 Kompetansegap for vindindustrien i Europa, estimert i 2013. FTE: full time equivalent (25).

Havvind trekkes fram som et prioritert forskningsområde både nasjonalt, for eksempel av Energi21 (29), i Europa av EU SET-plan (30), og internasjonal, for eksempel IEA (31). Det er store muligheter knyttet til en videre satsing på havvind i Norge (28). Det dreier seg i første rekke om å bidra til at norsk næringsliv innen havvind er teknologisk ledende og attraktive i et internasjonalt marked. En satsing på havvind vil også bidra til å utnytte havvindressursene i Norge med forsyning til norsk offshore petroleumsvirksomhet, forbruk på land og på sikt med forsyning til det internasjonale markedet.

Forskningsmiljøer i Norge må videreutvikles og bidra til at industrien klarer seg i et krevende marked. Norske forskningsmiljø har vært sentrale i utviklingen av Hywind. Det er behov for en videre kraftfull satsing på forskning og innovasjon. Et overordnet mål for forskningen er å bidra til å få ned kostnaden per kWh over levetiden til anlegget.

Innenfor disse tre teknologiområdene har norske FoU-miljø en sterk kompetanse, som kan gi norsk industri et konkurransefortrinn i et voksende internasjonalt marked:

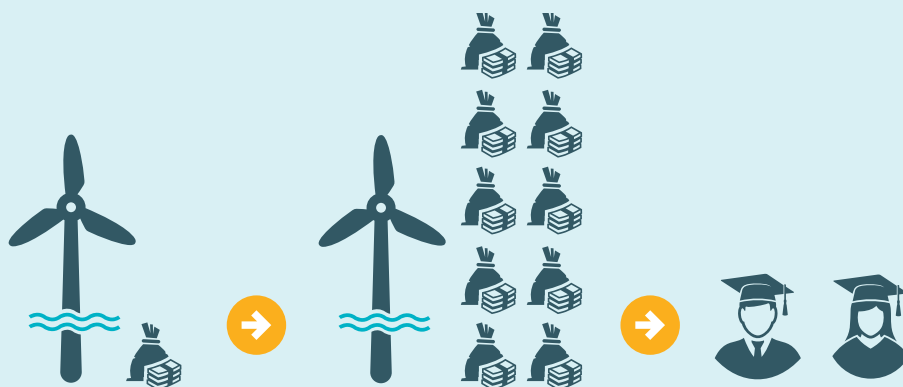
- understell, materialer og marine operasjoner,
- nettilkobling, systemintegrasjon og energilagring
- digitalisering, drift og vedlikehold og styringssystem for havvindparker.

I tillegg til FoU innen disse teknologiområdene er samfunnsfaglig forskning vesentlig, som for eksempel i FME CENSES og det nye FME NTRANS som ble tildelt i 2019. Da særlig med fokus på rollen havvind spiller i omstillingen, markedsdesign, verdiskaping og risikohåndtering, industrialisering og innovasjon.

Dette er områder med betydelig potensiale for verdiskaping gjennom forskning og innovasjon. Et uttrykt mål fra norsk næringsliv er en markedsandel på 10%

for norske selskaper i det globale havvindmarkedet innen 2030. Dette tilsvarer å tidoble norsk eksport innen havvind fra 5 milliarder NOK til 50 milliarder NOK. Dette ansees realistisk, men krever en kraftig opptopping av både grunnleggende forskning med PhD-utdanning og mer anvendt forskning som grunnlag for innovasjon. I tillegg kommer verdien av en potensiell utbygging i Nordsjøen og lokal bruk eller salg av denne energien.

Det må legges til rette for at resultatene fra forskningen kan tas videre for å realisere verdiskapningen. Dette krever aktiv deltagelse fra industrien og program for å ta forskningen videre til produktutvikling og introduksjon på markedet.



I 2017 eksporterte Norge for
5,4 milliarder NOK
i det globale havvindmarkedet

Markedet er beregnet tidoblet
i 2030 og vil da utgjøre
50 milliarder NOK

Vi må satse på forskning
og utvikling for å videreføre
kompetansen fra offshore-
industrien

NTRANS 
Norwegian Centre for
Energy Transition Strategies

HAVVIND – en industriell mulighet for Norge, juni 2019

OPPSUMMERING OG ANBEFALING

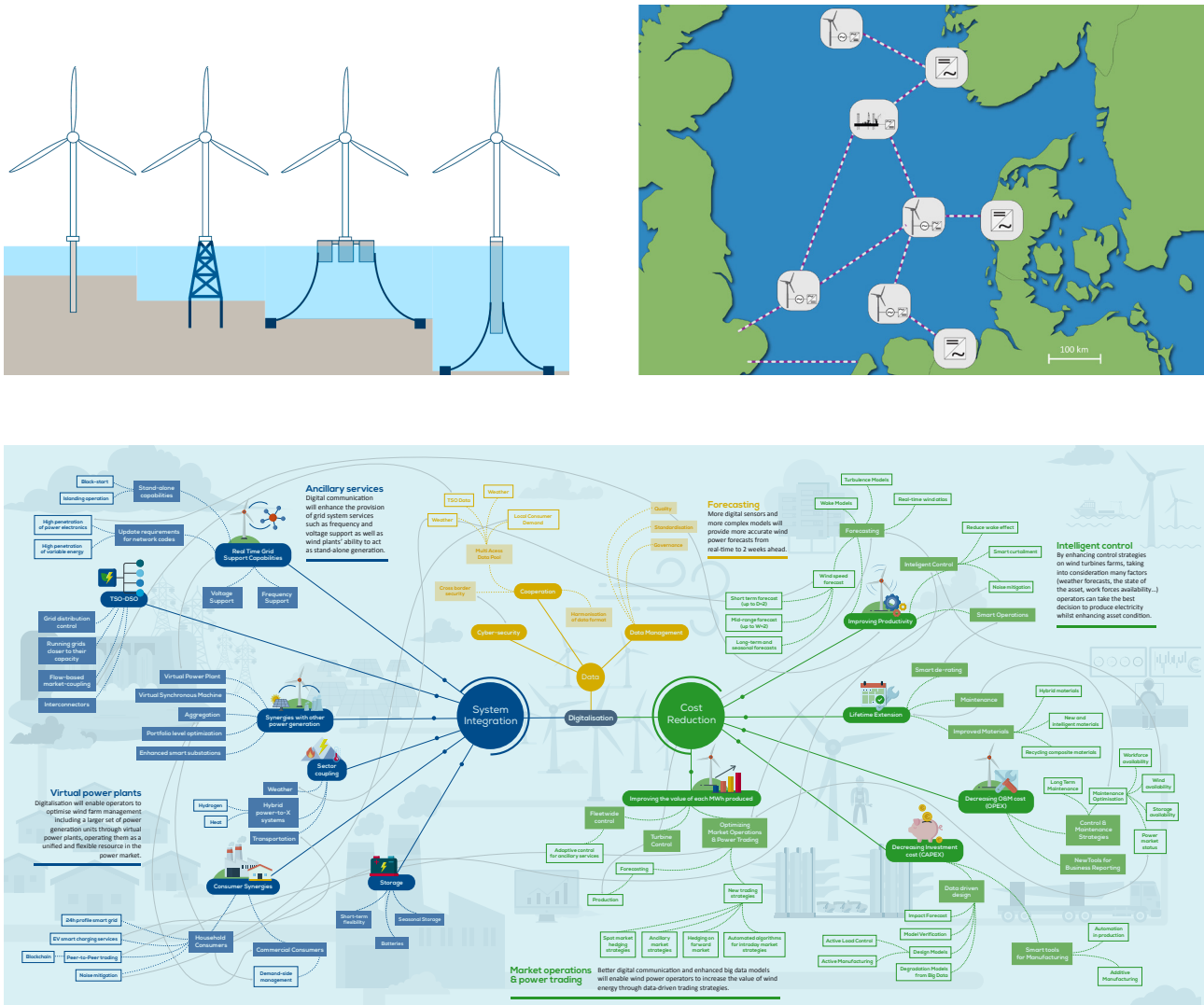
En norsk satsing på utdanning og forskning innenfor havvind og et program for utbygging vil bidra til å få ned kostnaden for havvind. Vår anbefaling, for å posisjonere Norge til å oppnå betydelig verdiskaping som en internasjonal leverandør av teknologi og tjenester innen havvind, er at det etableres et program for utbygging av et antall havvindparker i Norge. Dette bør kombinert med et ambisiøst forsknings og utviklingsprogram.

Det vil være et effektivt virkemiddel for å kommersialisere teknologien, bygge kompetanse hos leverandørindustrien og redusere kostnadene for havvind.

Fokus for teknologisk forskning og utdanning bør være på:

- Understell, materialer og marine operasjoner
- Nettkobling, systemintegrasjon og energilager
- Digitalisering, drift og vedlikehold og styringssystem for havvindparker

Det vil gi en større utbygging globalt, gi mer ren energi samt bidra vesentlig til oppnåelse av klimamål som vil gi norsk verdiskaping og arbeidsplasser.



FIGUR 15 Prioriterte forskningsområder for en norsk satsing på havvind er a) understell, materialer og marine operasjoner, b) nettilkobling, systemintegrasjon og energilagrer og c) digitalisering, drift og vedlikehold og styresystem for havvindparker. Tankekart er hentet fra ETIPwind.

Referanser

- 1 IEA World Energy Outlook, 2018, <https://www.iea.org/weo2018/>
- 2 IEA Offshore Energy Outlook, 2018, <https://www.iea.org/weo/offshore/>
- 3 Arent, D. et al (2012) Improved Offshore Wind Resource Assessment in Global Climate Stabilization Scenarios. Technical Report. NREL/TP-6A20-55049
- 4 EU Energy Roadmap 2011 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0885&from=EN>
- 5 EC 2016: Capros P, De Vita A, Tasios N, Siskos P, Kannavou M, Petropoulos A, Evangelopoulou S, Zampara M, et al. (2016). *EU Reference Scenario 2016 - Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050*. European Commission Directorate - General for Energy, Directorate - General for Climate Action and Directorate - General for Mobility and Transport, Luxembourg.
- 6 Presentation by Henriette Undrum, Equinor, NTNU Ocean Week 2019, <https://www.ntnu.edu/ocean-week>
- 7 CenSES 2018: Christian Skar, Stefan Jaehnert, Asgeir Tomasgard, Kjetil Midthun, Marte Fodstad, **Norway's role as a flexibility provider in a renewable Europe**, CenSES position paper, NTNU.
- 8 Héctor Marañón-Ledesma, Christian Skar, Pedro Crespo del Granado, Asgeir Tomasgard, "Analysing the potential of offshore wind in the North-sea area using a stochastic power market model", NTRANS workingpaper, NTNU, Trondheim, August, 2019.
- 9 ZEP (2013). CO2 Capture and Storage (CCS) - Recommendations for transitional measures to drive deployment in Europe. Zero Emission Platform, 2013.
- 10 ETP 2016: Energy Technology Perspectives 2016 - Towards Sustainable Urban Energy Systems, IEA.
- 11 Fraunhofer ISE. (2015). Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Agora Energiewende.
- 12 Gerbaulet, C., & Lorenz, C. (2017). DynELMOD: A dynamic investment and dispatch model for the future European electricity market. *DIW Data Documentation*. Vol. 88, Berlin.
- 13 Cole, W. J., Marcy, C., Krishnan, V. K., & Margolis, R. (2016). Utility-scale lithium-ion storage cost projections for use in capacity expansion models. In: *2016 North American Power Symposium (NAPS)* doi: 10.1109/NAPS.2016.7747866
- 14 H. C. Gils (2016), Economic potential for future demand response in Germany modeling approach and case study, *Applied Energy* 162 401–415. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.083.
- 15 Pfenninger, Stefan and Staffell, Iain (2016). Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. *Energy* 114, pp. 1251-1265. doi: 10.1016/j.energy.2016.08.060
- 16 Staffell, Iain and Pfenninger, Stefan (2016). Using Bias-Corrected Reanalysis to Simulate Current and Future Wind Power Output. *Energy* 114, pp. 1224-1239. doi: 10.1016/j.energy.2016.08.068
- 17 <https://ocean-energyresources.com/2018/04/29/orsted-zero-subsidy-success-in-germanys-second-round-offshore-wind-auction/>
- 18 SET-Plan. Offshore Wind Implementation Plan. 2018. https://setis.ec.europa.eu/system/files/setplan_wind_implementationplan_0.pdf
- 19 <https://www.windpoweroffshore.com/article/1525362/europes-offshore-wind-costs-falling-steeply>
- 20 <https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/CenSES-Offshore-wind-report-v9-digital.pdf/749a6503-d342-46f2-973e-eb9714572931>
- 21 <https://rederi.no/globalassets/dokumenter/alle/rapporter/eksterne/2017/havvind---et-nytt-norsk-industrieventyr-2017.pdf>
- 22 <https://www.energi21.no/siteassets/energi21strategi2018lr.pdf>
- 23 <https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/CenSES-Offshore-wind-report-v9-digital.pdf/749a6503-d342-46f2-973e-eb9714572931>
- 24 https://skillwind.com/wp-content/uploads/2017/11/IO1_Wind-Energy-sector-skills.pdf
- 25 http://www.windplatform.eu/fileadmin/ewetp_docs/Documents/reports/Workers_Wanted_TPwind.pdf
- 26 https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/windskill_training_future_professionals.pdf
- 27 EWEA (2009) Wind at Work
- 28 <https://gemini.no/kronikker/dra-til-sjos-for-noen-muligheter-dette-er-vind-vinn/>
- 29 <https://www.energi21.no/siteassets/energi21strategi2018lr.pdf>

- 30 https://setis.ec.europa.eu/system/files/setplan_wind_implementationplan_0.pdf
- 31 <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/offshorewind/>
- 32 Steen, Markus. and Gard Hansen (2018). "Barriers to path creation: the case of offshore wind power in Norway." *Economic Geography* 94(2): 188-210. DOI: 10.1080/00130095.2017.1416953
- 33 Normann, Håkon. E. (2015). "The role of politics in sustainable transitions: The rise and decline of offshore wind in Norway." *Environmental Innovation and Societal Transitions* 15(0): 180-193. DOI: 10.1016/j.eist.2014.11.002
- 34 Steen, M., & Hansen, G. H. (2018). Barriers to Path Creation: The Case of Offshore Wind Power in Norway. *Economic Geography*, 94(2), 188-210.

