

Fra laber bris til stiv kuling

Veikart for forskning, innovasjon og utdanning innen havvind

Hovedrapport

16/12-2024

Et veikart for forskning, innovasjon og utdanning, som fundament for å utvikle en bærekraftig kraftproduksjon fra havvind i Norge og en kraftfull eksportindustri.

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse	2
Forord	3
1 Anbefalte tiltak	5
2 Havvind er en industriell mulighet	7
3 Behov for helhetlig satsing på forskning, innovasjon og utdanning	10
3.1 Nødvendig å oppskalere utdanningssystemet	10
4 Sentrale temaer for forskning, innovasjon og utdanning	14
4.1 Markedsdesign, regulering og juridiske forhold.....	14
4.2 Bærekraft, miljødesign og sambruk	19
4.3 Havvindteknologi og elektrisk infrastruktur	22
4.3.1 Bunnfast havvindteknologi.....	24
4.3.2 Flytende havvindteknologi	25
4.3.3 Elektrisk infrastruktur til havs.....	27
4.4 Marine operasjoner, drift og vedlikehold	27
4.5 Digitale løsninger og sikkerhet	30
4.6 Storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet.....	34
5 Internasjonalt samarbeid	38
6 Veikart for forskning, innovasjon og utdanning	40
7 Forkortelser	45
8 Bidragsyttere til rapporten	46

Kilde forside: AdobeStock

Forord

Samarbeidsforum for havvind ble opprettet av Energidepartementet i 2021. Formålet med samarbeidsforumet for havvind er å samle, styrke og synliggjøre næringen rundt havvind. Et systematisk samarbeid vil kunne heve kompetansen, styrke konkurransekraften og bidra til økt verdiskaping både fra eksport av teknologi og tjenester, samt utvikling av egne havvindressurser.

Samarbeidsforumet er delt inn i tre arbeidsgrupper:

- Sameksistens
- Industri- og teknologiutvikling
- Infrastruktur og nett

Arbeidsgruppen «Industri- og teknologiutvikling» er delt i tre temagrupper; «Industriutvikling og leverandørkjeder» (TG1), «Internasjonalisering og eksport» (TG2) og «Forskning, teknologiutvikling og kompetanse» (TG3). Temagruppen «Forskning, teknologiutvikling og kompetanse» representerer et viktig fokusområde og har medlemmer med bred bakgrunn. Temagruppen har representanter fra næringslivet, forskning og andre relevante interessenter innen havvind og er ledet av Finn Gunnar Nielsen, professor emeritus UiB og Bergen Offshore Wind Centre.

Foreliggende rapport fra TG3 er utarbeidet av denne gruppen, med Finn Gunnar Nielsen (UiB, Bergen Offshore Wind Centre), Lene Mostue (Energi21) og John Olav Tande (SINTEF, fra 1.11.2024 Statnett) i rolle som redaktører, og med bidrag fra utvalgte eksperter.

Rapporten tar utgangspunkt i Norges ambisjon om å bli en global havvindaktør:

- utbygging av 3 GW havvind innen 2030 og 30 GW innen 2050¹
- norsk leverandørindustri med 10 % andel av det globale havvindmarkedet innen 2030

Rapporten beskriver nødvendig forskning, innovasjon og utdanning, som fundamentet for å lykkes med en storstilt, bærekraftig havvindutbygging i Norge og utvikling av en leverandørindustri med stor eksport til Europa og resten av verden.

Anbefalingene i denne rapporten om økt forskningsinnsats innen havvindområdet er i tråd med den norske energiforskningsstrategien Energi21², men gir flere detaljer og et konkret veikart for forskning, innovasjon og utdanning skrittvis fram mot 2050. Anbefalingene er også i tråd med de europeiske forskningsprioriteringene beskrevet av ETIP Wind [SRIA 2025-2027](#)³ og EERA JP Wind [NeWindEERA 2050](#)⁴, om enn disse inkluderer både landbasert vindkraft og havvind.

Rapportens anbefalinger har solid forankring hos samarbeidsforumets medlemmer, og henvender seg til beslutningstakere innen politikk, offentlig forvaltning, industri, utdanning og forskning. Bidragsyterne er listet i Kapittel 8.

¹ Norge skal tildele areal for 30 GW innen 2040 (se NFD (2022) [Veikart for grønt industriløft](#)), og ha utbygd 30 GW innen 2050 (se [Ostende-deklarasjonen](#))

² www.energi21.no

³ ETIPWind (2023) Strategic Research & Innovation Agenda 2025-2027 November 2023. <https://etipwind.eu/files/file/agendas/230061-Etipwind-SRIA-final-web.pdf>

⁴ EERA (2024) NeWindEERA A New Research Programme for the European Wind Energy Sector. <https://www.eera-wind.eu/component/attachments/attachments.html?task=attachment&id=1754>

Rapporten er en detaljering av sammendragsrapporten som ble presentert 14. mars 2024. ⁵

⁵ Veikart for forskning, innovasjon og utdanning innen havvind: <https://www.norskindustri.no/dette-jobber-vi-med/energi-og-klima/norsk-industri-om-vindkraft/samarbeidsforum-for-havvind/veikart-for-forskning-innovasjon-og-utdanning-innen-havvind/>

1 Anbefalte tiltak

Nedenfor er våre anbefalte tiltak listet. Bakgrunn og begrunnelse for disse tiltakene er gitt i de følgende kapitler.

Landene med best vilkår for industribygging vil vinne de beste posisjonene og lykkes i fremtidens havvindmarkeder. Teknologi- og markedsutviklingen går raskt. Det gjelder for Norge å holde følge og helst ta ledelse i denne utviklingen. Vi må planlegge og starte utvikling av fremtidens kompetanse og arbeidskraft nå. Det er behov for å styrke dagens forsknings- og innovasjonsinnsats og utdanningskapasitet. Forskning og innovasjon er helt essensielt for kunne realisere en bærekraftig havvindutbygging og en internasjonalt konkurransedyktig leverandørindustri. Innsatsen må dekke hele bredden fra grunnleggende langsiktig forskning til anvendt og industrielt rettet forskning og innovasjon, herunder også investering i infrastruktur for forskning, test og demonstrasjon.

Følgende tiltak anbefales for å sikre en helhetlig satsing på forskning, innovasjon og utdanning innen havvind:

- Utarbeide en helhetlig, samordnet og offensiv nasjonal strategi for forskning, innovasjon og utdanning, innen havvind med klare ambisjoner for 2025, 2030, 2035, osv. frem til 2050.
- Skalere opp finansiering av forskning, innovasjon og utdanning for å sikre havvindaktørene relevant kompetanse og arbeidskraft. Et rimelig volum vil være 2 % av investeringene i norske utbygginger, som vil tilsvare om lag 1 milliard NOK per år over 20 år⁶. Alternativt kunne det være 2 % av omsetningen for norsk havvindindustri, som ville bety 2 milliarder NOK årlig, gitt at omsetningen i 2030 forventes å være 100 milliarder NOK.
- Å realisere ambisiøse mål innen havvind vil kreve en nasjonal målrettet finansiell satsing utover det som normalt tildeles gjennom virkemiddelapparatet. Flere departementer bør stå bak denne satsingen. Erfaringene fra oppbyggingen av olje- og gassindustrien kan være en læringsplattform for hvordan finansieringen kan struktureres.
- Styrke internasjonalt samarbeid på forskning, innovasjon og utdanning, med mål om å forsterke nasjonal kompetanse, utvikle norsk havvindindustri og vinne posisjoner i det internasjonale markedet, se også eget kapittel om internasjonalt samarbeid og anbefalingene fra Nasjonalt eksportråds forslag til eksportsatsning⁷.
- Etablere gode samarbeidsarenaer hvor næringsliv, myndigheter, og utdanningsmiljøer designer programmer for ordinære studier, og etter- og videreutdanning som sikrer tilgang til arbeidskraft med relevant kompetanse for havvindindustrien. Dette vil innebære samarbeid mellom det offentlige og private både når det gjelder faglig profil og finansiering.
- Det må snarest allokere offentlige midler til oppskalering og videreutvikling av relevant utdanning, fra yrkesutdanning til ph.d. -nivå, samt etterutdanningstilbud. Det tar tid å utdanne personell/kandidater med relevant kompetanse, som næringslivet vil trenge for å realisere regjeringens havvindstrategi.

⁶ CAPEX for 30 GW havvind vil være omkring 1000 milliarder NOK, tilsvarende 50 milliarder NOK årlig i 20 år.

⁷ Nasjonalt Eksportråd (2022). "Havvind som strategisk satsingsområde for økt eksport"

<https://files.nettsteder.regjeringen.no/wpuploads01/sites/502/2022/11/Nasjonalt-Eksportrad-Forslag-til-eksportsatsing-havvind-vvv.pdf>

- Ved tildeling av lisenser og offentlig støtte til utbygging av havvinnanlegg, herunder både kommersielle parker og demonstrasjonsanlegg, bør følgende tas med for å sikre mest mulig nytte fra anleggene:
 - Utbygger må investere i forskning og innovasjon (etter modell fra olje og gass). Forskningen må rettes både mot kostnadsreduksjoner, nettintegrasjon og minimalisering av miljø og sameksistenskonflikter.
 - Det må stilles krav til innsamling og tilgjengeliggjøring av relevante måledata etter FAIR prinsippet (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).
 - Data fra havvindparkene må tilgjengeliggjøres for FoU.

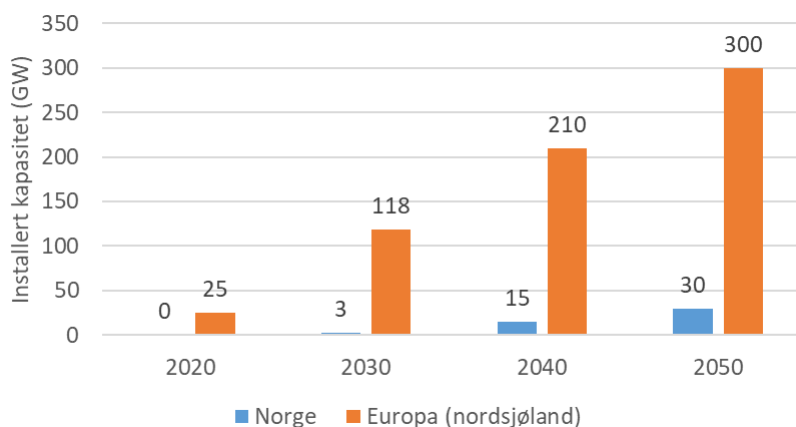
2 Havvind er en industriell mulighet

Norge står ved en unik korsvei, der havvindutvikling ikke bare kan møte økt etterspørsel etter ren energi, men også danne grunnlaget for en stor og konkurransedyktig leverandørindustri. For å realisere dette potensialet må det investeres i forskning, innovasjon og utdanning.

Norge og Europa har store ambisjoner for utvikling av havvind. De neste 20-30 årene skal havvind bygges ut fra å være en ganske marginal energikilde til å levere store mengder ren og rimelig energi til kraftsystemet. I Europa, for nordsjølandene alene, er målet å ha installert 300 GW havvind innen 2050⁸. Det vil kreve investeringer på om lag 1000 milliarder EUR og vil gi kraft nok til å dekke omkring 1/3 av det europeiske elektrisitetsforbruket i 2050. Norge har mål om å tildele areal for 30 GW havvind innen 2040, og realistisk sett, tidligst i 2050 ha ferdig utbygd 30 GW havvind, se også Figur 1.

Realisering av 30 GW havvind i 2050 innebærer nær en dobling av det norske kraftsystemet med tilgang til store mengder fornybar energi som muliggjør ny grønn industri, og kutt av utslipp gjennom elektrifisering.

De norske havvindambisjonene representerer både store muligheter og utfordringer. Det landbaserte kraftsystemet har blitt bygd opp i løpet av mer enn 100 år. Det nye kraftsystemet som skal bygges til havs, skal være ferdigstilt på under 30 år. Utbyggingen av kraftsystemet i Nordsjøen må sikre lønnsomhet i alle ledd og stabil og sikker kraftforsyning til en akseptabel kostnad. Samtidig må utbyggingen være sosialt og miljømessig bærekraftig og skje i positiv sameksistens med alle aktørene som opererer på havet.



Figur 1: Havvindmål for Norge og europeiske nordsjøland. Graf er basert på tall fra Ostende deklarasjonen⁸. 2040 er estimert for nordsjølandene basert på lineær framskriving, og for Norge, basert på Statnetts plan for utvikling av havnett⁹.

⁸ OSTEND DECLARATION OF ENERGY MINISTERS ON THE NORTH SEAS AS A GREEN POWER PLANT OF EUROPE, (2022). <https://www.regjeringen.no/contentassets/78bfc87bb04044c0933002ad7dd6e0f1/erklaring-energiministere.pdf>

⁹ Statnett (2023), Utvikling av nett til havs. <https://www.statnett.no/globalassets/havvind/temarapport---utvikling-av-nett-til-havs-2023.pdf>

I løpet av 2023 ble det globalt installert havvindturbiner med en samlet kapasitet på 10.8 GW. Dette brakte den samlede globale havvindkapasiteten opp til 75 GW ved utgangen av 2023. Av dette er 34 GW i Europa, 38 GW i Kina og resten (3 GW) hovedsakelig i Taiwan, Vietnam, Sør-Korea og Japan¹⁰. Kina har nå vesentlig høyere installasjonshastighet enn Europa. GWEC (2024) anslår at i 2028 vil det årlig installeres tre ganger så mye havvind som i 2023.

Våren 2024 ble det gjennomført en vellykket auksjon i Norge for bygging en bunnfast havvindpark på 1,5 GW i området Sørlige Nordsjø II.¹¹ Dette blir Norges første bunnfaste havvindpark. Fra før har Norge en flytende havvindpark på 88 MW (Hywind Tampen) og neste år (2025) er det planlagt gjennomføring av en konkurranse for utbygging av flytende havvindparker utenfor Utsira (Vestavind F) med kapasitet opptil 3x750 MW¹².

Globalt er så godt som alle havvindparkene som er utbygd bunnfaste, det vil si at vindturbinene er festet på et fundament på relativt grunt vann. Ved utbygging på dypt vann, typisk dypere enn 60-70 meter, vil det imidlertid være mer rasjonelt å benytte flytende fundamenter. Globalt er til nå kun bygd 0,2 GW flytende havvindturbiner, men potensialet er svært stort. En kartlegging utført for det internasjonale energibyrået, IEA, viser at 80 % av det globale havvindpotensialet er på havdyp større enn 60 m, og kan alene dekke 14 ganger verdens elektrisitetsbehov¹³. Om Norge skal lykkes med å nå målsetningen for utbygging av havvindenergi, er det avgjørende at vi lykkes teknisk og økonomisk å bygge flytende havvindturbiner i stort antall. I EU er det også stor satsning på flytende turbiner for å nå sine mål¹⁴.

Til den norske flytende havvindparken Hywind Tampen kom totalt 60 % av leveransene fra norske leverandører¹⁵. Norge og norske leverandører er internasjonalt ledende innen flytende havvindteknologi. Havvind er en unik industriell mulighet¹⁶ og et solid utgangspunkt for verdiskaping. Norge har allerede en betydelig havvindindustri, som i 2022 hadde en omsetning på 34 milliarder NOK¹⁷. Nasjonalt eksportråd¹⁸ angir et mål om en markedsandel på 10 % av det globale havvindmarkedet i 2030. Dette tilsvarer en omsetning på omkring 100 milliarder kr/år¹⁹. GWEC angir i sin markedsanalyse en forventning om at det i løpet av 2030 globalt vil bli installert 50 GW ny havvindkapasitet, hvorav 15 GW i Kina og 26 GW i Europa. Norske leveranser vil i hovedsak gå til Europa, men også USA, Japan, Sør-Korea og Brasil er viktige markeder. Omsetningen har til nå i hovedsak vært knyttet til leveranser av kraftkabler, omformerstasjoner, installasjon av fundamenter

¹⁰ Global Offshore Wind Report. GWEC (2024), <https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2024/>

¹¹ Regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ventyr-nordsjo-ii-har-vunnet-auksjonen-om-tildeling-av-prosjektomrade-for-havvind-i-sorlige-nordsjo-ii/id3030559/>

¹² NVE, Strategisk konsekvensutredning av vindkraft til havs. (2024).

<https://veiledere.nve.no/havvind/strategisk-konsekvensutredning-av-vindkraft-til-havs/nves-vurderinger-og-innspill/vestavind-f/>

¹³ IEA [Offshore Wind Outlook 2019](#),

¹⁴ European Energy Research Alliance (EERA) (2024). NeWindEERA. A New Research Programme for the European Wind Energy Sector. [EERA JP Programme Wind Energy - News & Resources \(eera-wind.eu\)](https://www.eera-wind.eu/)

¹⁵ E24, 2023, [Nå åpnes Norges første havvindpark](#)

¹⁶ NTNU / NTRANS, 2020, [Havvind – en industriell mulighet](#)

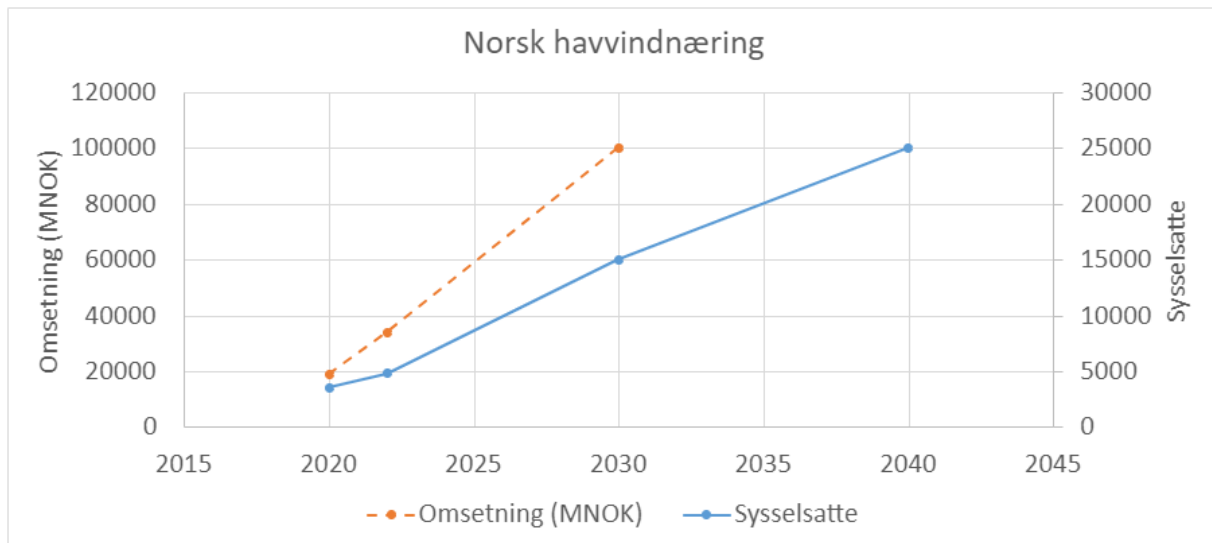
¹⁷ Multiconsult, 2023, [Kartlegging av de norske baserte næringene for fornybar energi og hydrogen i 2022](#)

¹⁸ Nasjonalt eksportråd, 2022, [Havvind som strategisk satsingsområde for økt eksport](#)

¹⁹ GWEC, 2023, [Global offshore wind report](#)

og turbiner, samt bygging og drift av servicefartøy. Norske selskap har også sterk og ettertraktet kompetanse på helse, miljø og sikkerhet, prosjektering, marine installasjoner og operasjoner. I tillegg kan norske havner bli viktige logistikk-knutepunkt for sammenstilling av flytende havvindturbiner, med mulighet for lokal produksjon av understell og eventuelt andre komponenter.

Antall sysselsatte innen havvind vil vokse i takt med økt omsetning innen næringen. Analyser²⁰ viser at antall sysselsatte direkte i havvindnæringen vil kunne vokse fra ca. 5 300 i 2023 til nærmere 15 000 sysselsatte i 2030, 25 000 i 2040 og 30 000 i 2050, se også Figur 2.



Figur 2: Vekst i omsetning og antall ansatte i norsk havvindindustri. Graf er basert på tall fra Multiconsult²¹, Menon²⁰, GWEC¹⁰ og Nasjonalt eksportråd.

²⁰ Foseid, H. M. et al. (2023) Gigawatt krever Megaløft. Kompetansebehov i den norske havvindnæringen frem mot 2035. Menon Economics Rapport 96 / 2023. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2023-96-Kompetansebehov-i-norsk-havvindaering-frem-mot-2035.pdf>

²¹ Multiconsult (2021) [Kartlegging av den norskbaserte fornybarnæringen i 2020](#)

3 Behov for helhetlig satsing på forskning, innovasjon og utdanning

En helhetlig satsing på forskning, innovasjon og utdanning er helt nødvendig for å nå målene om en storstilt og bærekraftig kraftproduksjon fra havvind på norsk sokkel og utvikle en internasjonalt konkurransedyktig leverandørindustri.

Forskning og innovasjon er essensielt for å redusere kostnader, øke industriell kapasitet, og for å utvikle nye konsepter, forretningsmodeller, og bidra til en bærekraftig utnyttelse av havvindressursene. I tillegg vil satsing på FoU-I og utdanning styrke og sikre at Norge beholder sine komparative fortrinn innen havvind, og da spesielt innen flytende havvind. Norges nåværende posisjon som teknologileder innen flytende havvind er truet av internasjonale aktører. Det globale kappløpet innen flytende havvind er allerede i gang, og mange land har store ambisjoner. Tilgang til kompetanse, teknologi og arbeidskraft vil være avgjørende, og det er rekrutteringsutfordringer allerede i dag.

Manglende satsing på FoU-I og utdanning kan føre til at Norge mister muligheter for verdiskaping i det internasjonale havvindmarkedet. Våre komparative fortrinn vil forvitte og våre industrielle muligheter vil reduseres. I tillegg blir det krevende å sikre tilstrekkelig rekruttering av arbeidskraft med riktig og relevant kompetanse. Norsk leverandørindustri har et solid utgangspunkt for å innovere og videreutvikle kompetanse og teknologier fra blant annet olje- og gassaktivitetene i Nordsjøen. Det er behov for å videreutvikle eksisterende nasjonal kompetanse og industri, og i tillegg utvikle ny kunnskap og innovative forretningskonsepter. Havvind er et viktig satsingsområde i den norske forsknings- og innovasjonsstrategien, Energi21²², i EU²² og globalt, bl.a. i USA, Japan, Sør-Korea, Brasil og Kina. Forskning lønner seg. Effektstudien²³ av 48 ulike energiforskningsprosjekter viser en realisert økonomisk effekt som er fire ganger større enn selve investeringene, og potensielt 25 ganger større.

Sterke nasjonale forsknings – og innovasjonsmiljøer vil være attraktive samarbeidspartnere for europeiske aktører, og gi tilgang til både markeder og resultater med betydning for norsk industri, næringsliv og forvaltning.

3.1 Nødvendig å oppskalere utdanningssystemet

Skal Norge lykkes med å utvikle havvind på norsk sokkel, er det helt nødvendig å oppskalere utdanningssystemet innen flere fagdisipliner. Grunn-, etter- og videreutdanningene må styrkes og tilpasses fremtidens behov for kompetanse og kapasitet.

Nasjonalt kompetansesenter for havvind har gjennom prosjektet Vindkomp²⁴ kartlagt kompetansebehovet i Norge gitt de planlagte utbygginger på Sørilige Nordsjø II og Utsira Nord, samt målet om å tilrettelegge for 30 GW innen 2040. De finner at i tiåret 2030 – 2040 vil vi trenge mellom

²² Offshore Renewable Energy, EU (2024). https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en

²³ Impello Management og Menon Economics, F. Iglebæk, (2019), [Effekter av energiforskningen](#)

²⁴ Havvind.no, Nasjonalt kompetansesenter for havvind (2024) *Hvilken kompetanse og kapasitet trengs for å realisere den norske ambisjonen for havvind?* <https://havvind.no/tema/vindkomp>

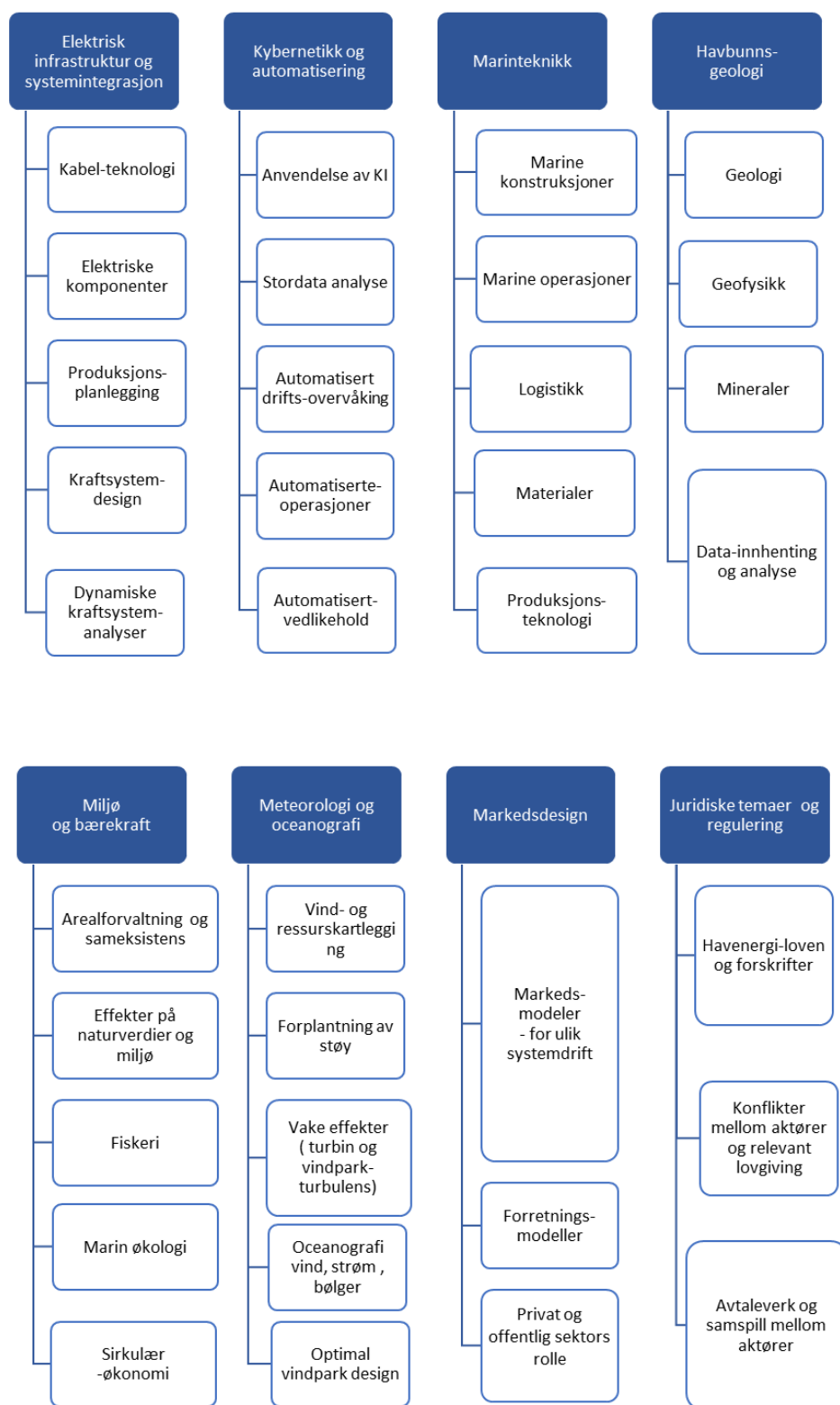
10 000 og 16 000 årsverk/år i Norge. I tillegg kommer behovet for arbeidskraft knyttet til den havvindrelaterte eksportindustrien. Menon anslår at norskbasert havvindnæring vil ha 15 000 sysselsatte i 2030, 25 000 i 2040 og hele 30 000 i 2050.²⁵ Det er behov for alt fra yrkesfaglig utdanning til kompetanse på master og doktorgradsnivå, men det største behovet kommer innen yrkesfaglig utdanning. Nasjonalt kompetansesenter for havvind finner at de viktigste kompetansekategoriene for utbyggingene på norsk sokkel vil være operatører/teknikere (65 prosent av alle årsverk i perioden 2022-40), ingeniører (18 prosent av alle årsverk) og maritimt mannskap (10 prosent).²⁶ Menon²⁰ finner av det et behov for å øke antall studieplasser innen ingeniør og teknologiske fag med ca. 380 hvert år frem mot 2028.

Eksempler på grunnleggende kunnskap som kreves er vist i Figur 3.

²⁵ Menon publikasjon nr 149 (2024) Markedsutvikling for flytende og bunnfast havvind.

https://www.menon.no/wp-content/uploads/2024-149-Havvind_markedsutvikling-og-potensial-2024.pdf

²⁶ Havvind.no, Nasjonalt kompetansesenter for havvind (2024) *Hvilken kompetanse og kapasitet trengs for å realisere den norske ambisjonen for havvind?* <https://havvind.no/tema/vindkomp> s.



Figur 3: Eksempler på grunnleggende kunnskap som kreves for å utvikle en helhetlig verdikjede innen havvind for kraftproduksjon og industrialisering.

Norge har et solid fundament å bygge videre på for utdanning av kandidater til havvindindustrien. Store deler av dagens utdanningstilbud og fagretninger er relevante til å videreutvikle verdikjeden. Verdikjeden til havvind er både sammensatt og kompleks, som gir behov for arbeidskraft med ulik type kompetanse. Dette bør reflekteres i satsingen og videreutviklingen av utdanningsprogrammene.

Satsingen på forsknings- og innovasjon bør sees i sammenheng med utdanningstilbudet og fremtidig rekruttering av arbeidskraft til havvindindustrien. Næringsrettet forsknings- og innovasjonsinnsats vil styrke kvaliteten og attraktiviteten til studieprogrammene og kandidatene som uteksamineres.

Personell som skal jobbe direkte med vindturbinene offshore må ha fagutdannelse samt en form for sertifisering fra turbinleverandørene. For å jobbe offshore må en i tillegg ha diverse sikkerhetskurs, blant annet for arbeid i høyde, førstehjelp, brann og sjøoverlevelse. For å utvikle sikkerhetskurs og sertifisere kursleverandører, har den internasjonale havvindindustrien opprettet den ikke-kommersielle bransjeforeningen Global Wind Organization (GWO)²⁷. Sikkerhetskurs tilbys av GWO-sertifiserte kursleverandører som eksempelvis Maersk Training Services, RelyOn Nutec og Energy Innovation, hvorav sistnevnte er største aktør i Norge. De siste årene har GWO også opprettet standarder for teknisk opplæring. Når norske videregående skoler og høyere yrkesfaglig utdanning («fagskoler») skal utdanne personell for arbeid direkte med turbiner, må det undersøkes hvorvidt det er nødvendig med en form for sertifisering tilsvarende det en har innen eksempelvis flyfag.²⁸ Satsingen på forsknings- og innovasjon bør sees i sammenheng med utdanningstilbudet og fremtidig rekruttering av arbeidskraft til havvindindustrien.

Den internasjonale- og nasjonale energiomstillingen medfører skjerpet konkurranse om kandidater med relevant kompetanse. Det er allerede utfordringer i Norge knyttet til rekruttering av arbeidskraft innenfor energi. Det er derfor viktig med tidlig og helhetlig satsing på studietilbudet innenfor havvind, for å øke utdanningskapasiteten. Et av flere tiltak er å jobbe aktivt med å øke andel elever på videregående skole som tar fordypning i realfag.

²⁷ <https://www.globalwindsafety.org/about/company>

²⁸ [Velkommen til flyfag - Sola videregående skole](#)

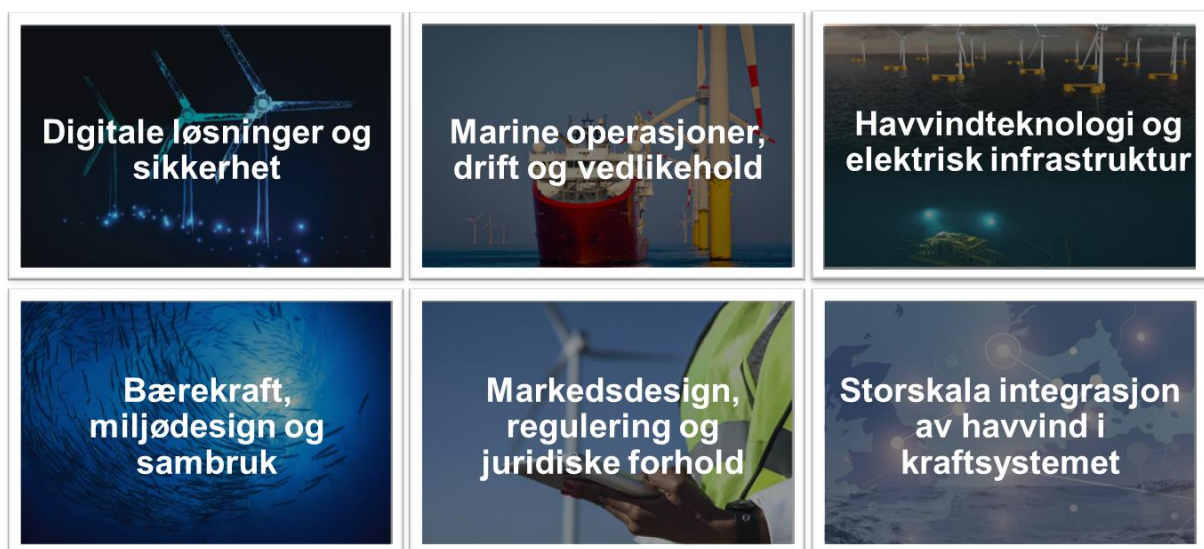
4 Sentrale temaer for forskning, innovasjon og utdanning

Det er behov for en helhetlig og prioritert satsing på utdanning, forskning og innovasjon innen havvind, med kombinasjon av tekniske, juridiske, samfunnsvitenskapelige og naturvitenskapelige temaer.

Arbeidsgruppen har strukturert behovet i seks temaer, se Figur 4, som er knyttet til kunnskaps- og teknologibehovet til aktører langs hele verdikjeden for havvind som grunnlag for å lykkes med en **bærekraftig utbygging og drift av havvind i Norge** og utvikling av en **kraftfull norsk leverandørindustri** med stor eksport til Europa og resten av verden. Temaene er gjenkjennbare fra den europeiske forskningsagendaen²⁹ og internasjonalt³⁰, men med vekt på områder av særlig viktighet for Norge.

Temaene er tett koblet sammen og avhengig av hverandre. Det betyr at forsknings- og innovasjonsinnsatsen innenfor disse vil være omfattende og flerfaglige.

Viktige mål med forsknings- og innovasjonsinnsatsen er *kostnadsreduksjoner, oppskalering av industriell kapasitet, konkurransedyktige løsninger, og effektiv, sikker, miljøvennlig og rettferdig utbygging og drift av havvindparker som en sentral del av fremtidens bærekraftige energisystem.*



Figur 4: Sentrale tema for forskning, innovasjon og utdanning. Illustrasjon øverst til høyre er fra [Aker Offshore Wind](#).

4.1 Markedsdesign, regulering og juridiske forhold

Det er behov for kunnskap og forståelse om fremtidens markedsdesign, regulering, forretningsmodeller og juridiske forhold knyttet til store infrastrukturprosjekter innen havvind.

²⁹ ETIP wind (2023) [Strategic Research & Innovation Agenda, 2025-2027](#) og [EERA JP wind](#).

³⁰ Paul Veers et al. (2019) [Grand challenges in the science of wind energy](#). Science.

Markedsdesign og forretningsmodeller som bidrar til sikker, rimelig og ren energi

Dagens energimarked er i utgangspunktet designet for drift av et europeisk kraftsystem dominert av termisk kraftproduksjon og andre kraftkilder med stabil produksjon. Vind og sol – og andre fornybare energikilder har historisk sett utgjort en mindre andel av den totale energiforsyningen. I fremtidens energisystem vil derimot vind og sol dominere, og det knyttes betydelig usikkerhet til hvordan energimarkedet bør utvikles for å gi best mulig utbygging og drift av kraftsystemet, med sikker, rimelig og ren energiforsyning. De store variasjoner i kraftprisene vi har opplevd i de siste par årene illustrerer noe av utfordringen. Eksempler på viktige spørsmål som må besvares er:

- Hvordan sikre en rettferdig fordeling av lønnsomhet og kostnader i utbyggingen og drift av kraftsystemet (i Nordsjøen og på land?)
- Hvordan best ivareta energiforsyningsikkerheten i et system med mye væravhengig og volatil kraftproduksjon.
- Hvordan sikre ren energi til alle – pålitelig, bærekraftig og moderne energi til alle (Bærekraftsmål 7)

Det er behov for økt kunnskap og forståelse for hvordan markedet bør designes for å styrke forsyningsikkerheten og sikre kostnadseffektiv drift med rimelig og ren energiforsyning. En solid norsk satsing på FoU-I og utdanning innen fremtidens markedsdesign kan gi betydelig norsk verdiskapning og posisjon i det europeiske energimarkedet.

Regelverk som sikrer tempo og helhetlig oppskalering av havvindutbyggingen

Regelverket som styrer både konsesjonsprosessen og næringene innen havvind er under utvikling. Rettslig usikkerhet kan bremse utviklingen, gi økte kostnader og skape usikkerhet blant aktørene. Forskning på juridiske problemstillinger er derfor avgjørende for å sikre kunnskapsbasert utvikling av regelverket, forutsigbarhet og tempo i utbyggingen.

En sentral forutsetning for vellykket industrialisering, er regelverk som gir helhetlige løsninger på hvordan vi skalerer opp havvindutbyggingen for å nå mål og ambisjoner som er satt. Havvind reiser både offentlig- og privatrettslige problemstillinger, som krever særlig oppmerksomhet i norsk rett og i EØS-retten. I den norske forvaltningsretten er det forsket mye på ulike typer konsesjonsprosesser, men det er til nå lite litteratur som fokuserer på havvind.³¹ Hvordan konsesjonsprosessene kan bli mer effektive, samtidig som de ivaretar alle berørte interesser på havet, er et sentralt juridisk forskningsspørsmål. Når det gjelder privatrettslige spørsmål, er regler om organisering av konsortier, havvindrelaterte kontrakter og forhold rundt prosjektfinansiering, områder der juridisk forskning og regelverksutvikling er nødvendig.³² Videre følger en nærmere beskrivelse av sentrale forsknings- og innovasjonstemaer innenfor regulering, juridiske forhold og markedsdesign:

³¹ Eksempler på relevant litteratur: E. Finserås and S. Eskeland Schütz, "Offshore Wind Licensing in Norway," i *Offshore Wind Licensing*, Elgar, 2023; Banet Catherine. "Legal Framework to Develop Offshore Wind Power in Norway." *The Development of a Comprehensive Legal Framework for the Promotion of Offshore Wind Power- The Lessons from Europe and Pacific Asia*, Anton Ming-Zhi Gao & Chien-Te Fan (eds.) Chapter 5 (2017): 103-141.

³² Se f.eks: Gibson, Emma og Peter Howsam. "The legal framework for offshore wind farms: A critical analysis of the consents process." *Energy Policy* 38, no. 8 (2010): 4692-4702; Long, Ronán. "Harnessing offshore wind energy: legal challenges and policy conundrums in the European Union." *The International Journal of Marine and Coastal Law* 29, no. 4 (2014): 690-715; das Neves, Maria Madalena. "Offshore Renewable Energy and the Law of the Sea." *The Law of the Sea and Climate Change: Solutions and Constraints*; Cambridge University Press: Cambridge, UK (2020): 206.

Effektivisering av konsesjonsprosessen

Den norske konsesjonsprosessen er i dag tidkrevende. NVE har gitt innspill til Energidepartementets arbeid med å vurdere forvaltnings- og konsesjonsregimet for fornybar energiproduksjon til havs. De har vurdert og gir råd om hvordan prosessen for havvind bør foregå fra åpning av nye arealer til utbyggingsstart.³³ Samtidig hjemler havenergiloven flere unntak fra alminnelig prosess, som det til nå er til dels uklart hvordan departementet vil bruke i praksis: Det kan gis unntak fra prosessen i havenergiloven der havvindanlegget kan behandles etter petroleumsloven. Videre kan det gis unntak fra kravet til åpningsvedtak i «særskilte tilfelle», og det kan i «særlege tilfelle» gis unntak fra kravet om utlysning og konkurranse ved tildeling av areal³⁴. Forskning på juridiske problemstillinger knyttet til de ulike leddene i konsesjonsprosessen i havenergiloven, og på forholdet mellom ulike regelverk som kan komme til anvendelse, er nødvendig for utvikling av en optimalisert prosess. En sammenligning med regelverket for konsesjonsprosesser i andre europeiske land vil gi oss et bredere *referansegrunnlag*^{35,36}

Regulering av vake-effekter og andre grenseoverskridende problemstillinger

Planer om storstilt utbygging av havvind i Nordsjøen reiser spørsmål om hvordan ulike havvindparker vil påvirke hverandre. Vake-effekter kan påvirke andre vindparker 30 til 55 km unna, og redusere kapasitetsfaktoren med opptil 20 prosent. Hvilken plikt statene har til å konsultere hverandre og ta hensyn til hverandre i planleggingen av vindkraft, er likevel usikkert, og det er behov for regelverksutvikling. Problemet er adressert av forskere knyttet til Bergen Offshore Wind Center (BOW)³⁷ og har fått oppmerksomhet internasjonalt.³⁸

Regelverk om finansiering, sikkerhetsstillelse og skatt

I senere tid har flere havvindparker fått store finansielle utfordringer, noe som kan skyldes aggressiv budgivning og urealistiske antagelser om kostnader og inntekter.³⁹ Det norske regelverket må søke å

³³ [NVE anbefaler en ny prosess for utvikling av havvind og strømmnett til havs - NVE](#)

³⁴ Se om dette i Siv Elén Årskog Vedvik, Hurtigløp for elektrifisering av sokkelen med havvind? - Mogleigheter og hindringer i dagens regelverk (KARNOV 2024-1); Maria Koch Haugane, 'Havenergilovas og petroleumslovens regler om tildeling av konsesjon for kraftleveranser til petroleumsanlegg' [2023] 572 Marlus.

³⁵ Det finnes noe litteratur som inkluderer komparative perspektiver, se f.eks: Herrera Anchustegui, Ignacio and Hunter, Tina Soliman (Eds), *Offshore Wind Licensing*, Elgar Energy Law and Practice series (March 2024). I et pågående doktorgradsprosjekt ved UiB gjør Eirik Finserås en komparativ studie av konsesjonsprosessen i Norge, Storbritannia og Danmark.

³⁶ [Revidert fornybardirektiv - regjeringen.no](#)

³⁷ Se E. Finserås, I. Herrera Anchustegui, E. Cheynet, C.G. Gebhardt og J. Reuder, *Gone with the wind? Wind farm-induced wakes and regulatory gaps*, i *Marine Policy*, Volume 159.

³⁸ Se artikkel i The Guardian, [Talks needed over density of offshore windfarms in Europe, warn experts | Wind power | The Guardian](#)

³⁹ <https://www.iaee.org/energyjournal/article/4129>; World Forum Offshore Wind e.V. (WFO), *Financing Offshore Wind* (2022).

motvirke at slike situasjoner skal oppstå og utvikle regler for finansiering av havvindprosjekter, og spesielt for muligheten for å stille sikkerhet⁴⁰.

Forskning på selskapsrettslige modeller, inkludert bruken av "Special Purpose Vehicles" (SPV), «joint ventures» og konsortiumsformer, er viktig for å forstå selskapsrettslige konsekvenser. Det er også viktig å se nærmere på hvordan finansielle garantier (pant) kan gis ved bruk av både strukturer (flytende og ikke-flytende turbiner) og havvindkonsesjonen i seg selv som sikkerhet.

I tillegg er det også uklart hvordan skattereglene vil være for havvinnanlegg. Det er for eksempel nødvendig å se nærmere på anvendelsesområdet for merverdiavgiften, men også på konsekvenser av en mulig grunnrenteskattmodell, som foreslått for landbasert vindkraft.⁴¹

Regulering av komplekse infrastrukturprosjekter

Det er behov for å se nærmere på den rettslige reguleringen av komplekse infrastrukturprosjekter. Koblingen vil påvirke utformingen av prosjekter, men vil også måtte påvirke lovverket. Vindparker på tvers av landegrenser er ennå ikke bygget, men hybride prosjekter som inkluderer havvind og har tilknytning til flere land er underveis.⁴² Disse reiser utfordringer knyttet til grenseoverskridende koordinering, og krever forskning innen havrett, EU/EØS-lovgivning, maritim planlegging og på fordeling av naturressurser.

Norge er en pionér nasjon når det gjelder integrasjon av havvindparker og petroleumsinstallasjoner. Dette har trigget utviklingen av viktige aspekter vedrørende prosjekt-design, prosjektgodkjenning og statsstøtte. Det er imidlertid fremdeles usikkerhet om eksisterende regelverk er tilpasset disse prosjektene.⁴³

Reguleringen av havvindprosjekter som skal brukes til å produsere grønt hydrogen eller ammoniakk er også begrenset, og må forskes nærmere på for å fremme det store potensialet som ligger i dette for Norge.⁴⁴

EUs markedsdesign – betydningen for havvindprosjekter og det norske energimarkedet

Den pågående reformen av kraftmarkedene, og innføringen av tiltak for å sikre ytterligere pristabilitet i Europa, vil få konsekvenser for det norske markedet som er vanskelige å forutse. Samspillet mellom

⁴⁰ Se f.eks. Finansavisen, 30.03.23, *Pantetrobbe for havvind*
<https://www.finansavisen.no/energi/2023/03/30/7997493/pantetrobbe-for-havvind>, og Dagens Næringsliv, 04.11.19, *Havvindsatsing krever nye panteregler*,

<https://www.dn.no/kreditt/kreditt/energi/havvind/havvindsatsing-krever-nye-panteregler/2-1-698277>

⁴¹ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/prosjekt-pm/id2997403/>

⁴² Eksempel er Kriegers Flak, og ELWIND-prosjektet i Latvia og Estland som ble foreslått i 2023:
<https://powerplants.vattenfall.com/kriegers-flak/>; <https://balticwind.eu/elwind-offshore-wind-project-receives-eur-18-7-million-in-funding-from-the-eu/>.

⁴³ Eirik Finne, Havvindproduksjon som "tilbehør" til petroleumsinstallasjoner (2022); Ignacio Herrera Anchustegui and Rudiger Tscherning, 'Offshore Oil and Gas Infrastructure Electrification and Offshore Wind: A Legal Exploration', *Journal of World Energy Law & Business* [2024].

⁴⁴ Calado, Gonçalo, and Rui Castro. "Hydrogen production from offshore wind parks: Current situation and future perspectives." *Applied Sciences* 11, no. 12 (2021): 5561.

de europeiske markedene, nye kontraktsformer med utbredt bruk av CfD og PPA, og større forskjeller mellom markedsdesign i EU- og EØS-pilarene, må analyseres for å sikre forutberegnelighet og unngå både private og offentlige kontraktstvister.

Betydningen av samspill mellom land og hav i utbygging av store infrastrukturprosjekt

Betydningen av samspill mellom land og hav i forbindelse med havvindutbygging, er lite forsket på og kanskje også undervurdert. Utbyggingen av havvind vil føre med seg en infrastrukturutbygging som vi ikke har sett maken til, hverken i omfang eller hastighet. Dette vil ha en direkte virkning på nettinfrastrukturen og tilknyttet utbygging på land – og føre med seg problemstillinger knyttet til eierskap og adskillelse kombinert med problemstillinger knyttet til arealbruk, kompetansedeling mellom myndigheter og ivaretagning av både privat eiendomsrett og miljøet.

Handlingsrom og begrensninger for krav om lokalt innhold/lokale fordeler

Ett mål i den norske havvindstrategien er å bygge en ny norsk eksportnæring. Et virkemiddel for å nå dette målet, er bruk av kontroversielle “nasjonale innholdsregler” (krav om lokale fordeler/ringvirkninger) i konkurranser om energiprosjekter. Bruk av slike krav er relativt vanlig i petroleumsindustrien, men har vært omtvistet i saker for WTO og EU-kommisjonen om fornybar energi.⁴⁵ Det er derfor nødvendig å se nærmere på hvilket handlingsrom Norge, og andre EØS-land, har i bruken av vilkår om lokale fordeler/lokalt innhold.^{46, 47}

Regulering av arbeidsmiljø og sikkerhet i offshore havvindoperasjoner

Krav til arbeidsmiljø og sikkerhet tilknyttet havvindvirksomhet vil reguleres av Forskrift om sikkerhet og arbeidsmiljø ved produksjon av fornybar energiproduksjon til havs som for tiden er på høring.⁴⁸ Forskning på dette området er nødvendig for å forstå implikasjonene av den foreslåtte forskriften, og evaluere den i lys av løsninger som er valgt for andre sektorer og i andre land.

Regelverket for avvikling og nedlegging av havvindparker

Regelverket her er svakt og uklart, og må avklares før vi kommer så langt at problemstillingene blir aktuelle i praksis.⁴⁹

⁴⁵ Gilbert, Daniel, and Geoffrey Wood. "The Issue of Local Content in Offshore Renewables: Aspirational, Legally-Binding or Missing the Mark? A Comparative Analysis of the UK and Poland." *Global Energy Law and Sustainability* 3, no. 1 (2022): 100-111.

⁴⁶ www.offshorewind.biz/2020/01/16/scotland-to-impose-local-content-requirements-for-offshore-wind-projects/;

⁴⁷ <https://balticwind.eu/will-the-polish-offshore-wind-sector-deal-be-the-driver-of-polish-local-content/>

⁴⁸ <https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/fagartikler/2023/ny-forskrift-om--sikkerhet-og-arbeidsmiljo-ved-produksjon-av-fornybar-energi-til-havs/>

⁴⁹ Herrera Anchustegui, Ignacio and Eskeland, Gunnar S. and Skjeret, Frode and Melnychenko, Mariia and Lødøen, Jonas William Eikenes and Brown, Henrik Holmen and Lund, Lasse Erik Christian, Understanding Decommissioning of Offshore Infrastructures: A Legal and Economic Appetizer (July 1, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3882821>

4.2 Bærekraft, miljødesign og sambruk

En bærekraftig utvikling av havvind innebærer å minimalisere de negative miljøeffektene og samtidig møte de samfunnsmessige behov og krav. Tap av natur er en like stor utfordring som klimaendringene, og de to henger tett sammen.

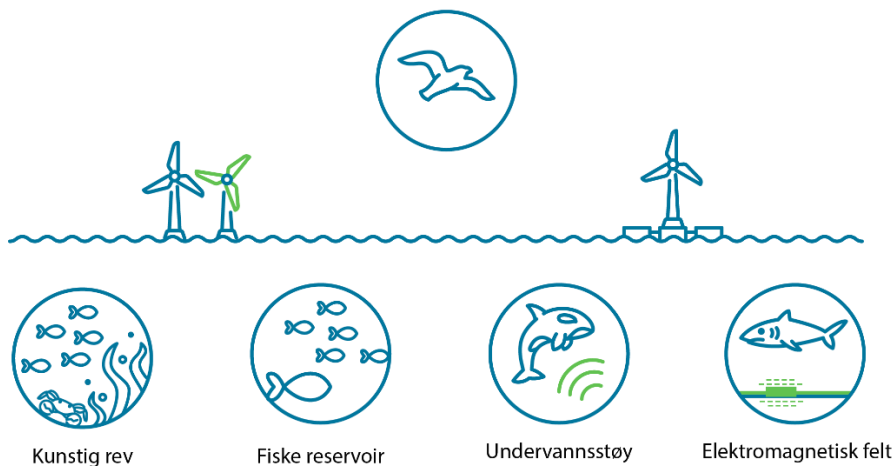
Norge har store arealer som er egnet til utbygging av havvindparker, men vi har også ambisjoner om å verne store deler av våre havarealer⁵⁰ og fiske foregår i alle havområdene. Avhengig av installert effekt-tetthet på norske havvindparker vil størrelsesorden 1 % av norsk eksklusiv økonomisk sone trenes for å bygge ut 30 GW.

En systemisk tilnærming er nødvendig for å avdekke både positive og negative ringvirkninger av storskala utbygging. Det er et stort behov for forskning for å tette kunnskapshull, bedre forstå konsekvens av utbygging og utvikle løsninger som sikrer bærekraft, med godt miljødesign og positiv sameksistens med andre brukere av havet. Å lykkes med dette kan gi et betydelig konkurransefortrinn i et internasjonalt marked.

Det finnes mye litteratur om miljøpåvirkningen av havvind, men forskningen er i hovedsak knyttet til bunnfaste installasjoner og effekter på enkelte arter, og fra enkeltstressorer. Forskningen er også knyttet til områder med andre økosystemer enn det vi finner i norske områder. Det trengs mer kunnskap om hvordan effektene av flere stressorer ved en havvindutbygging akkumuleres og hvordan den samlede effekten på økosystemet vil være. Det mangler langtidsmålinger av effekter på det marine miljøet fra både utbygging og drift av havvindparker.

Bærekraft innebærer en livssyklustilnærming, hvor det er behov for å utvikle havvindteknologi som gir minimale negative samfunns- og miljøkonsekvenser hensyntatt materialbruk gjennom hele verdikjeden og hele levetiden til installasjonene, inklusiv demontering. Det må utvikles effektive verktøy for arealplanlegging, både for havvindparker og tilknyttede anlegg på land, og det må utvikles løsninger som gir positiv sameksistens med berørte brukere. Nye løsninger kan gi mulighet for fiskeri i havvindparker, sambruk med havbruk, eller for kombinasjoner med annen energi-produksjon eller lagring.

⁵⁰ Regjeringen (2024) Høring av ny lov om vern av marin natur utenfor territorialfarvannet <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-av-ny-lov-om-vern-av-marin-natur-utenfor-territorialfarvannet/id3038669/>



Figur 5: Eksempler på hvordan havvindparker kan påvirke miljøet.

Disse overordnede utfordringene gir et stort behov for forskning, innovasjon og utdanning innen en stor bredde av fagfelt som må sees i sammenheng. Det er vesentlig å se på de samlede effekter av den storskala utbygging som er planlagt i Nordsjøen og Norskehavet. Kunnskapsoppbygging som gjøres gjennom forskning og innovasjon må videreformidles gjennom utdanning av personell på alle nivåer. Utdanningsystemet vil også være en sentral bidragsyter til forskningen.

Stikkordsmessig kan forskningsbehovene beskrives som følger. Prioritering av forskningsinnsatsen på de ulike tema bør gjøres ut fra en risikovurdering og de erfaringer som gjøres ettersom havvindparker bygges ut. Mange av spørsmålene som kan stilles omkring miljøpåvirkning, vil en ikke få svar på uten å studere vindparker i drift.

Hvordan påvirkes det marine liv?

Havvindparker kan påvirke det marine liv på ulike måter, både positivt og negativt. Virkningene vil være ulike på ulike arter. Sentrale temaer som krever videre forskning er blant annet:

- Betydningen av endret vannsirkulasjon i og bak vindparker på grunn av endringer i vindfeltet. Endring i vannsirkulasjon vil påvirke fordeling av næringsstoffer og organisk materiale som igjen vil kunne påvirke artssammensetningen.
- Vindturbinene vil kunne bidra til utslipp av olje, kjemikalier, partikkelforurensning (f.eks. fra turbinblader), etc. Den samlede belastning på økosystemet fra slik forurensning må forstås og minimeres.
- Akustisk støy er et kjent problem i installasjonsfasen av bunnfaste vindturbiner, men virkningen på det marine liv av den konstante, lavfrekvente støy i driftsfasen er mer ukjent. Støyens karakteristikk og nivå må kartlegges og virkningen på ulike marine arter forstås.
- De elektromagnetiske feltet rundt kablene i en vindpark kan påvirke enkelte bunnarter. Kunnskapen om dette er begrenset og må bedres, mulige kompenserende tiltak må vurderes.
- Turbinenes bærekonstruksjon vil fungere som kunstige rev. Virkningen på artssammensetningen må forstås bedre.

- Fravær av bunntåling innenfor vindparkene er positivt for det marine økosystemet. Virkning på arts mangfoldet må forstås bedre.
- Økt havtemperatur medfører en forflytning av arter nordover. I de langsiktige miljøvurderingene må en derfor se på konsekvensene av at artssammensetningen i en vindpark vil kunne endre seg i vindparkens levetid⁵¹.
- For havvindparker langt fra kysten er konflikten med fugler særlig knyttet til trekkruiter, men kan også påvirke beiteområdene. Forståelse av ulike arters trekkruiter og evne til å unngå vindparker må forstås bedre, samtidig som strategier for å hindre kollisjon mellom fugl og vindturbin må utvikles.

Hvordan kan miljøeffekter måles?

Felles for de fleste problemstillingene over er at det trengs målinger og observasjoner over lang tid for å kartlegge effektene. Det er derfor sentralt at krav til måle- og observasjonsprogrammer bygges inn i konsesjonsvilkårene og at data samles inn og lagres på et enhetlig format, FAIR-prinsippet (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Data må gjøres tilgjengelig for forskning og utdanning og vil i sin tur gi grunnlag for reviderte prinsipper for utbygging av havvindparker.

- Miljøovervåking til havs er kostbart, samordning av forskningsprogrammer nasjonalt og internasjonalt er derfor sentralt.
- Det er behov for nyutvikling av teknikker, autonome fartøyer og nye sensortyper.
- Utvikling av høykvalitet måle- og observasjonsmetoder vil i seg selv være grunnlag for ny industriell virksomhet.

Havvindparker må bygges med i et livsløpsperspektiv.

Utbygging av havvind krever store mengder materialer, tjenester og folk. Materialinnsatsen til produksjonen av vindturbiner har konsekvenser for utslippene og miljøeffektene i et livsløpsperspektiv og kan begrense mulighetene for storskala utbygging. Noen materialer er svært sjeldne og har en knapphet, slik som sjeldne jordartsmetaller, andre materialer trengs i store mengder av, for eksempel stål.

- Metoder for å vurdere og minimalisere negative konsekvenser av havvindparker i et livsløpsperspektiv må utvikles.
- Verdikjeden for materialfremstilling, bruk og gjenvinning må gjøres mest mulig bærekraftig, også i et samfunnsperspektiv.
- For kritiske materialer må det forskes for å finne alternativer.

Hvordan sikre god sameksistens med andre brukere av havet?

De store arealene som trengs for utbygging av havvindparker (0,15 – 0,3 km²/MW) innebærer at en må tilstrebe løsninger som gir minst mulig konflikt med andre brukere av havet og fortrinnsvis stimulerer til sambruk av arealene. Arealene som kreves er lite avhengig av turbinstørrelsen, men avstanden mellom turbinene vil øke ettersom rotorstørrelsen øker. For 15 MW turbiner vil avstanden mellom turbinene gjerne være 1,5 – 2,5 km.

⁵¹ NVE. 2023. Identifisering av utredningsområder for havvind. <https://veiledere.nve.no/havvind/identifisering-av-utredningsomrader-for-havvind/nye-omrader-for-havvind/>

- Metoder for best mulig plassering av vindparker må videreutvikles. Slike metoder må hensynta vindressurser, økonomi, miljøforhold, brukerkonflikter, nett-tilknytning, drift etc. Se f.eks. Solbrekke og Sorteberg (2024)⁵².
- Konsekvenser for fiskeriaktivitetene må forstås bedre. Her vil konsekvensene både være artsavhengig (bunn-nære arter i forhold til pelagiske arter) og redskapsavhengig (passive, f.eks. garn og aktive, f.eks. trål). Muligheter for sambruk av arealer må studeres. Muligheten vil være forskjellig i vindparker basert på bunnfaste turbiner og vindparker med flytende turbiner⁵³.
- Mulighet for sambruk av areal med annen industri, som energiproduksjon og havbruk må utvikles videre.
- Utviklingen av havvindparker, med alle sine ringvirkninger til havs og på land, må foregå bærekraftig i sosial forstand. Det må sikres at ikke belastningen på enkelte samfunnsgrupper blir urimelig.
- Det må utvikles metodikk som kan bidra til å beskytte sårbare anlegg mot sabotasje.

En sammenligning mellom miljøregelverkene for havvinnanlegg i Danmark og Norge er utarbeidet av Offshore Norge⁵⁴.

4.3 Havvindteknologi og elektrisk infrastruktur

Norge har som ambisjon å tildele områder for utbygging av 30 GW havvind innen 2040. Med dagens turbinstørrelse på 15 MW svarer dette til 2000 vindturbiner. Nedenfor presenteres de viktigste behovene for forskning og innovasjon innen bunnfast og flytende havvindteknologi, sett i lys av Norges ambisjon. Fokus er på teknologiområder hvor Norge allerede er sterke eller hvor Norge må bygge opp for å kunne lykkes.

Dette betyr fundamentet for bunnfast havvind, understell for flytende havvind, forankring og elektrisk infrastruktur, i tillegg til fabrikkasjon og installasjon med tilhørende behov for teknologi og infrastruktur (verft, havner og ulike typer fartøy). Norge har ingen store fabrikanter av vindturbiner, og turbinteknologi diskuteres derfor i liten grad. Særlig på kort sikt forventes hovedtyngden av internasjonale leveranser fra norsk industri å gå til utbygging av bunnfaste havvindparker.

Forskning, innovasjon og utdanning er viktig for utvikling av konkurransedyktige leveranser og tjenester, og helt sentralt for å sikre fortsatt vekst og større markedsandeler for norsk industri. Det trengs et stort løft i den nasjonale innsatsen på området, med en forsterkning av de områdene hvor vi

⁵² Solbrekke, Ida Marie, and Asgeir Sorteberg. 2024. "Norwegian Offshore Wind Power—Spatial Planning Using Multi-Criteria Decision Analysis." *Wind Energy* 27 (1): 5–32. <https://doi.org/10.1002/we.2871>

⁵³ Palm, Anne Christine Utne, Nils Roar Hareide, Karen de Jong, Maria Tenningen, and L. Dankel, Dorothy (2023). KUNNSKAPSINNHEITING FOR SAMEKSISTENS MELLOM FISKERI- OG HAVVINDSNÆRING. Rapport Havforskningsinstituttet Nr. 2023-40. Bergen.

⁵⁴ Offshore Norge (2023). Miljøregelverket for havvind: En komparativ studie av miljøregelverket for havvind i Norge, Danmark og UK (offshorenorge.no)

allerede har sterk kompetanse og betydelig industriell virksomhet, men også midler til forskning og utvikling innen nye områder av typen «stor risiko, stor gevinst».

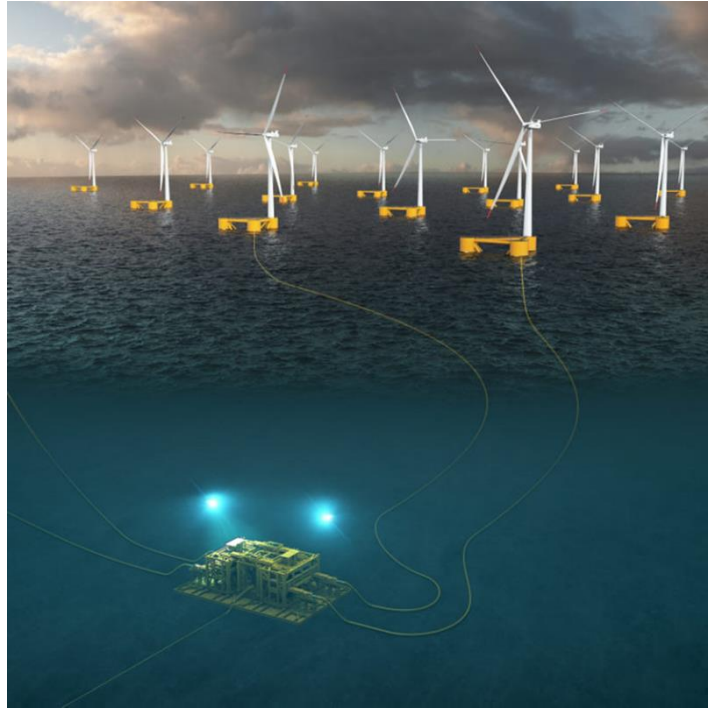
De fleste av de 20 identifiserte områdene for havvind langs norskekysten har vanddyb fra 200 til 350 m⁵⁵. Disse vil måtte bygges ut med flytende havvindteknologi og hovedsatsingen innen forskning, innovasjon og utdanning må skje her. Områdene Sørvest A – F har derimot dybder på 60 til 80 m, noe som er dypere enn det som er bygget ut med bunnfast havvind til nå (Seagreen i Skottland – 59 m), men det er likevel mest aktuelt med bunnfast havvind i disse områdene. På mellomdypt vann (80-150 m) er det mindre opplagt om man skal velge bunnfast eller flytende havvindteknologi, da bunnfast blir forholdsvis dyrt og forankring av flytende havvind på slike vanddyb er mer teknisk utfordrende enn på dypere vann. Gitt vanddybdene langs Norskekysten er teknologi for mellomdypt vann imidlertid lite aktuell.

Flere detaljer knyttet til bunnfaste turbiner, flytende turbiner og elektrisk infrastruktur er diskutert i det under, men på et overordnet nivå er viktige tema for FoU følgende:

- utfordringer knyttet til oppskalering og bruk av større turbiner. Disse omfatter vindkrefter på rotor, fundamenter for bunnfast havvind, understell for flytende havvind, forankringssystemer og elektrisk infrastruktur.
- Fabrikasjon og installasjon med tilhørende behov for teknologi og infrastruktur som verft, havner og ulike typer fartøy. Dette krever helhetlig tilnærming for design, produksjon, transport og installasjon av store havvindskonstruksjoner.
- Effektiv og automatisert masseproduksjon av flytende og bunnfaste fundamenter, som kan være i stål, betong eller andre materialer.
- Utvikling av nye materialer som kan gi lengre strukturell levetid, mindre vedlikehold og som kan resirkuleres.
- Utvikling av metoder og verktøy for design av store havvindparker, og analyse- og datasimuleringsmodeller for vindvariasjoner og vaker, bølger, bunnforhold og det marine miljøet.
- Ny kabelteknologi og undervannsteknologi for tilkobling av store flytende havvindparker, og kostnadsreducerende løsninger med HVDC eller annen teknologi for overføring av kraft fra store havvindparker langt til havs.

Teknologien må være robust og miljøvennlig. Det er behov for industrialisering og standardisering, med teknologi som muliggjør effektiv fabrikasjon, sammenstilling og installasjon i store volum, men også nytenkning og innovasjon med utvikling av nye konsepter, både på komponent og systemnivå.

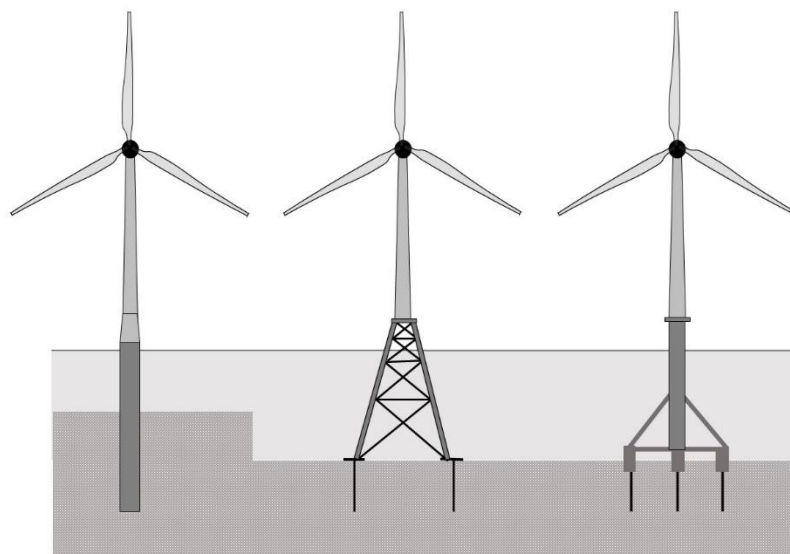
⁵⁵ <https://veiledere.nve.no/havvind/identifisering-av-utredningsomrader-for-havvind/>



Figur 5: Illustrasjon av flytende havvindpark med undervannstransformatorstasjon. Illustrasjon fra [Aker Offshore Wind](#).

4.3.1 Bunnfast havvindteknologi

Bunnfast havvind bygges ut kommersielt i stor skala flere steder i verden, spesielt i Nord-Europa og i Øst-Asia. Hoveddelen av utbyggingene er med monopelfundament, men også jacketfundament brukes, særlig på større vanddyb, se Figur 7. Det er imidlertid fremdeles behov for forskning og innovasjon for å redusere energikostnad over levetiden. Utbygginger av bunnfast havvind i Norge vil, som beskrevet over, være på forholdsvis dypt vann (60-80 m) og det vil være behov for understell som er egnet for slike dyp. Både jackets, monopæler og betongunderstell kan være aktuelle og det vil være nødvendig å utvikle teknologi for effektiv produksjon. Havvind på dypere vann utfordrer bruken av tradisjonelle oppjekkbare fartøy og krever innovative metoder for installasjon, for eksempel flytende fartøy. Store halvt neddykkbare (semisub) kranfartøyer brukt i olje og gass-industrien anvendes også til installasjon av havvind, men de er få, har høye dagrater og utfordres på løftehøyde. Videre vil det være behov for å øke værvinduer for transport og installasjon slik at større deler av året kan brukes til installasjonsarbeid. Størrelsen på turbinene har økt kraftig de siste årene og man vurderer nå turbiner helt opp til 25 MW. Disse turbinene er svært tunge og utfordrer både kran-teknologi og løftemetodikk, men også de globale dynamiske egenskapene til vindturbin, tårn og fundament. Egenperiodene øker og gjør konstruksjonene mer utsatt for sykliske vind- og bølgelaster og utmatting. Det er behov for å videreutvikle bærekraftsaspekter ved bunnfast havvindteknologi gjennom sirkulære løsninger og materialer med lavt karbonfotavtrykk, se også kapittel 4.2.



Figur 6: Eksempler på bunnfaste fundamenter for havvindturbiner. Fra venstre: Monopel, fagverksplattform (Jacket) og tripod. Nielsen (2024)⁵⁶. Kopiert med tillatelse fra Cambridge University Press.

4.3.2 Flytende havvindteknologi

Det finnes flere demonstrasjonsparker for flytende havvind (blant annet i Norge og Storbritannia), men flytende havvind er foreløpig ikke bygd ut i større vindparker på kommersielle vilkår. Industrialisering vil være viktig for å få til store kostnadsreduksjoner. Industrialisering av flytende havvind innebærer at man må utvikle og bygge opp metodikk, teknologi og infrastruktur for masseproduksjon og installasjon, da produksjons- og sammenstillingsprosessene for flytende havvind skiller seg vesentlig fra tilsvarende prosesser for bunnfast havvind. For å utnytte lokale leverandørkjeder og for å maksimere utbyggingshastighet, vil det være behov for understell i både stål og betong. Verfts- og havnekapasitet må økes, slik at man gjør det mulig å øke produksjonen fra noen få flytere per år til serieproduksjon. Produksjon og sammenstilling må strømlinjeformes gjennom økt bruk av automatisering, robotisering, nye eller forbedrede sammenføyningsmetoder og standardisering av komponenter.

Eksempler på flytende fundamenter er vist i Figur 7.

⁵⁶ Nielsen, F. G. (2024) *Offshore Wind Energy. Environmental Conditions and Dynamics of Fixed and Floating Turbines*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009341455.



Figur 7: Eksempler på flytende fundamenter, Halvt nedsenkbare (semisubmersibles) til venstre og i midten, spar plattform til høyre. Nielsen (2024). Kopiert med tillatelse fra Cambridge University Press.

For flytende havvind sammenstilles i dag flyter, tårn og turbin ved egnet kai eller annen lokasjon skjermet for bølger før konstruksjonen slepes ut til feltet og kobles opp. Dagens metoder og teknologi for sleping av offshorekonstruksjoner er utviklet innen olje- og gasssektoren. Selv om denne erfaringen overføres til havvindsindustrien, er det viktige forskjeller som må løses: nye typer konstruksjoner, mye større antall enheter og krav til redusert kostnadsnivå. Det må utvikles nye «grønne skip» optimale for havvindsindustrien, en FoU-oppgave som krever samarbeid på tvers av hele verdikjeden over tid.

Selv om fasene fabrikasjon og installasjon er svært viktige for å bygge ut raskt og få ned kostnader, er det nødvendig å ha et helhetlig perspektiv i designprosessen, slik at også drifts- og avhendingsfasene blir godt ivarettatt. For å dimensjonere riktig er det behov for gode data for bølger, vind og strøm, i tillegg til sjøbunnssegenskaper. Videre trengs det numeriske verktøy som kan simulere last og respons for flytende turbiner enkeltvis og med samvirke i vindpark. Kompleks interaksjon mellom turbin og flyter gjør at det fremdeles er forskningsbehov innen modellering av bølge-, strøm- og vindlast. Her er det behov for både forbedring av lastmodeller og metodikk for modellforsøk. Kontrollsystemene i vindturbinen påvirker de dynamiske egenskapene til flytende vindturbiner og er et viktig grensesnitt mellom turbinprodusenter og designere av understell og forankring. Materialbruk og produksjonsegnethet av understell, samt nye forankringsløsninger som reduserer fotavtrykk på sjøbunnen, antall forankringslinjer eller ankere er eksempler på teknologi som bør videreutvikles for å bidra til kostnadsreduksjon.

Vindparkparkdesign og arealbruk vil være sentralt for å få til god sameksistens med andre næringer og for å minimere miljøpåvirkning, og det trengs ny kunnskap om flere forhold. Dette gjelder både plassering av turbiner internt i en park og plassering av parker relativt til hverandre. Vinden endres gjennom vindparker og mellom vindparker, og har påvirkning på både kraftproduksjon, konstruksjonsdesign og økosystem. Vindparker bør bygges ut slik at interessekonflikter med andre aktører som fiskeri og maritim transport minimeres, samtidig som man i størst mulig grad utnytter synergier knyttet til for eksempel infrastruktur og beredskap. Parkene bør også designes slik at uønsket miljøbelastning blir så lav som mulig, se også kap. 4.2.

4.3.3 Elektrisk infrastruktur til havs

Storskala kraftproduksjon og transmisjon til havs stiller nye krav til elkraftteknologien og hvordan vi løser disse utfordringene vil ha stor påvirkning på lønnsomheten til fremtidige havvindprosjekter. Når vindparkene blir større og avstanden til land blir lengre må koblings- og transformatorstasjonene flyttes til havs, og høyspent eksportkabler sørge for kraftoverføring til land. Dagens industristandard for internkabler i vindparker er 66 kV. En økning til 132 kV vil redusere kostnader betydelig for større vindturbiner. Transformatorstasjoner fra 36 kV opp til 145 kV finnes allerede i olje- og gassindustrien og kan overføres til havvindparker, men det er behov for å kvalifisere elkraftkomponenter for transmisjonsspenninger. Når avstanden fra vindpark til land overstiger 100-150 km vil kraftoverføringen skje med likestrøm (HVDC) i motsetning til vekselstrøm (HVAC) for å begrense store overføringstap. Et HVDC-transmisjonsnett i Nordsjøen forutsetter teknologisk utvikling av interoperabilitet mellom utstyr fra forskjellige leverandører, og høyspent effektbrytere for likestrøm (DC). Flytende havvindturbiner langt fra land vil være avhengig av flytende og/eller undervanns HVDC-anlegg. Begge deler forutsetter omfattende forskning og utvikling.

Kabelteknologi er svært viktig for å lykkes med havvind. Under installasjonen utsettes strømkabelen for fartøyets bevegelser og krefter fra bølger. For å redusere installasjonskostnadene er det nødvendig å utforske kabeloppførsel mer detaljert samt utvikle forbedrede metoder og installasjonsfartøy med større operabilitet enn dagens løsninger. Forbedrede overvåkningssystemer for kabel kombinert med økt kunnskap om aldrings- og feilmekanismer vil bidra til lengre levetid og bedre utnyttelse av nye kabelsystemer. Forskning på aldringsmekanismer, nye materialer og fabrikkasjonsmetoder er kritisk for alle typer kabel som trengs i havvindindustrien. For flytende vindturbiner og øvrige flytende høyspentinstallasjoner er man avhengige av dynamiske kabler⁵⁷. Dynamiske kabler for intern bruk i vindparker er kvalifisert for 132 kV, men driftserfaringene er begrensede. Alternative løsninger for vanntetting i dynamiske eksportkabler må utvikles. Flytende omformer/transformatorstasjoner vil kreve dynamiske eksportkabler ≥ 245 kV.

Undervanns transformatorstasjoner på mellomspenningsnivå 36-145 kV har vært i drift siden årtusenskiftet og de jobbes nå med å kvalifisere komponenter opp til 72,5 kV sekundært og 245 kV primært, med transformatorer på 300 MVA. Den største tekniske utfordringen er tilkoblingene mellom kabel og transformatorstasjoner som utføres under vann. Superledere kan være en aktuell teknologi for eksportkabler.

4.4 Marine operasjoner, drift og vedlikehold

Drift- og vedlikeholdskostnader utgjør om lag 30 % av livssyklus kostnadene innen havvind⁵⁸, men kan reduseres ved utvikling av bedre metoder og strategier. Kostnadene utgjøres av nedetid og tap i produksjon, kostnad for utstyr, personell og marine operasjoner.

⁵⁷ Kabler mellom flyter og sjøbunn. Disse kablene er utsatt for dynamiske laster p.g.a. konstruksjonens bevegelser og direkte påvirkning fra bølger og strøm.

⁵⁸ BVG Associates (2017), "Oil & Gas seize the opportunity series: Offshore Wind," BV Associates.

Reduksjon av nedetid og vedlikeholdskostnader krever kunnskap om feilårsaker, laster og kapasitet til materialer og konstruksjoner. Reduksjon av nedetid krever helhetlig planlegging og design av drift- og vedlikeholdsfasen allerede fra starten av prosjektet.

Havvindturbiner er ubemannede installasjoner og en viktig forutsetning for inspeksjon og regelmessig vedlikehold av disse er sikker overføring av personell og utstyr fra fartøyer. Ettersom et av hovedmotivene for utbygging av havvindparker er reduksjon av utslipp, må det rettes en vesentlig innsats mot å nå nær null utslipp fra fartøyer og utstyr som anvendes i installasjon og driftsfasen.

De fleste av områdene som er identifisert som aktuelle for utbygging av havvindparker i Norge vil kreve flytende vindturbiner. Dette gir en fordel i installasjonsfasen ettersom de fleste konseptene for flytende havvindturbiner forutsetter stor grad av ferdigstilling ved kai eller i skjermet farvann. Større marine operasjon til havs kan derfor unngås, unntaket er installasjon av forankringssystem og kraftkabler. De flytende vindturbinene gir imidlertid en del nye utfordringer knyttet til marine operasjoner i driftsfasen.



Figur 9: Marine operasjoner for installasjon og vedlikehold. Illustrasjon fra Ulstein⁵⁹.

Ved installasjon og vedlikehold av vindturbiner må arbeidsmiljø og sikkerhet ivaretas. Som omtalt i kapittel 4.1 vil krav til arbeidsmiljø og sikkerhet for havvindvirksomhet reguleres av Forskrift om sikkerhet og arbeidsmiljø ved produksjon av fornybar energiproduksjon til havs.⁶⁰ Når denne trer i kraft, vil det være behov for å utvikle standarder og retningslinjer basert på forskriften og å få kunnskap om forskriftens virkninger. Det er i denne sammenhengen også relevant å få kunnskap om hvordan arbeidsmiljø og sikkerhet påvirkes av at selskaper som opererer i flere land med ulike regelverk. Det er behov for å identifisere hvilke lærdommer som kan overføres fra for eksempel olje- og gassindustrien

⁵⁹ <https://ulstein.com/news/covering-the-entire-life-span-of-offshore-wind-farms>

⁶⁰ <https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/fagartikler/2023/ny-forskrift-om--sikkerhet-og-arbeidsmiljo-ved-produksjon-av-fornybar-energi-til-havs/>

til havvindindustrien. Samtidig er det behov for å få kunnskap om hvilke risikoer, eller kombinasjoner av risikoer, som er unike for havvindindustrien. Her er det viktig å undersøke mulige forskjeller mellom faste og flytende installasjoner.

Inspeksjon og tilstandsvurdering

For å sikre høy oppetid for turbinene og optimal bruk av ressursene for vedlikehold, er det vesentlig til enhver tid å ha god forståelse av systemenes tilstand. Det kan være krevende å komme om bord i en havvind turbin for å løse akutte problemstillinger, selv om problemet i seg selv har en enkel løsning. Det er derfor behov for:

- Bedre metoder for etablering av værvinduer som inkluderer fartøyrespons og pålitelighet av værvarsel
- Å videreutvikle planleggingsmetoder for optimal bruk av ressurser (personell og utstyr) i drift og vedlikehold, gitt værvinduer
- Utvikle metoder som kan forbedre personalsikkerheten («Walk to Work, (W2W)» etc.)
- Bedre metoder for kontinuerlig overvåkning og tilstandsvurdering av kritiske komponenter, inklusive utvikling av digitale tvillinger. (Predikativt vedlikehold)
- Å utvikle droner (i luft og sjø) til bruk i inspeksjon og måleoppdrag. For flytere er det et spesielt behov knyttet til effektive metoder for inspeksjon av ankerliner og dynamiske kraftkabler
- Å etablere databaser og fortrinnsvis deling av data knyttet til tilstandsvurdering av sentrale komponenter
- Bruke moderne KI-baserte metoder for å identifisere vedlikeholdsbehov og planlegge arbeidet

Lett vedlikehold

Lett vedlikehold innebærer arbeid på vindturbinen som kan gjøres av personell som bringer med seg nødvendig utstyr, enten ved å bære det selv eller får det løftet om bord på vindturbinen med en mindre kran. Det er vesentlig å redusere behovet for vedlikehold ved god design, og samtidig ha effektive prosedyrer når vedlikeholdsbehovet oppstår. Dette kan oppnås ved å:

- Forbedre systemene for overføring av personell og utstyr mellom fartøy og vindturbin, inklusive forbedret personellsikkerhet.
- Målsetningen er å kunne operere i høyere bølger enn i dag, med rimelige fartøyer og ivareta sikkerheten personell
- Videreutvikle systemer for bevegelseskompensering ved overføring av last mellom fartøy og (flytende) vindturbin
- Utvikle robotteknologi for enklere vedlikeholdsoppgaver

Tungt vedlikehold

Tungt vedlikehold omfatter for eksempel skifte av girbokser, turbinblader og generatorer. Dette er vedlikeholdsoppgaver som helst skal unngås i turbinens levetid. Erfaringen tilsier imidlertid at behov for slike tynger vedlikeholdsoppgaver kan oppstå. Effektive metoder må derfor være tilgjengelige. Det bør derfor:

- Utvikles metoder som kan anvendes for flytere, slik at slep til land kan unngås

- Lære fra olje- og gassindustrien vedrørende vedlikehold av blant annet forankring og dynamiske kabler, samtidig som prosedyrene forenkles og tilpasses store vindparker
- Etableres baser på land som kan bidra til effektivt vedlikehold.

4.5 Digitale løsninger og sikkerhet

Bruk av kunstig intelligens, stordatahåndtering og «Internet of Things» er avgjørende for å effektivisere overvåking, drift og styring av vindkraftanleggene. I tillegg vil bruk av digitale teknologier sikre interoperabiliteten mellom produksjonseenhetene og resten av energisystemet til havs og på land. Digitalisering og digital samhandling mellom aktørene vil være nødvendige premisser for å opprettholde forsyningssikkerheten, kostnadseffektiv drift og overvåking av miljøeffekter.

Effektiv digital infrastruktur krever anvendelse og kombinasjon av IKT- og domenekunnskap, og erfaringer fra vindkraftanlegg på land. Kunnskapsutveksling mellom industriaktører vil være et viktig kriterium for vellykket systemdesign for bruk av digitale muliggjørende teknologier. Norges teknologi- og kompetansebase innen automatisert drift- og vedlikehold inn offshore virksomhet, kan være et internasjonalt konkurransefortrinn i utviklingen av digital samhandling og automatiserte operasjoner innen havvind. Denne muligheten og dette potensialet bør utnyttes. Sentrale tiltak i den sammenheng er å:

- Etablere et omforent *digitalt veikart* for hele livssyklusen til havvindinstallasjonene.
- Stille krav til kunnskap hos beslutningstakere på alle nivåer i havvindindustrien om mulighetene som ligger i standardisering av eksisterende programvare og prosesser.
- Bidra til forståelse hos aktørene for nødvendigheten av å utvikle nye informasjonsstrukturer og informasjonsmodeller.

Digitalt overvåkings- og beslutningssystem

Formålet med et digitalt overvåkings- og beslutningssystem er å vurdere sikkerheten og redusere risikoen ved installasjon, drift, vedlikehold og dekommisjonering av havvindparker. Et slikt digitalt overvåkings- og beslutningssystem vil også bidra til å sikre det marine økosystemet. Et eksempel på bruk av *digital prediktiv tvilling* av økosystemet i havet. Den digitale prediktive tvillingen kan gi informasjon om hvordan havvindparken bør driftes for å gi færrest mulig negative konsekvenser for biologisk mangfold i havet. Digitale verktøy kan også benyttes for å gi best mulig estimat av produksjonen fram i tid, og dermed gi mer viktige bidrag for effektiv drift av kraftsystemet og forsyningssikkerheten. Cybersikkerheten må samtidig ivaretas, og det må utvikles metoder og system som er robuste ovenfor cyberangrep og hacking.

Noen av de viktigste *digitale satsingsområdene* for norsk havvind vil være:

Standardisering av digitale løsninger

Formålet med standardisering er å gjøre det enklere å kommunisere mellom ulike disipliner, team og leverandører. Standardisering av digitale løsninger innen havvind vil kreve kombinasjon av kunnskap innen utbygging og operasjon av vindturbiner, flytere, ankersystemer, substasjoner, kontrollsystemer og distribusjonsnett. Det er behov for:

- Kostnadseffektive arbeidsprosesser med klare grensesnitt mellom de forskjellige fasene til livsløpet av vindparken.
- Industrialisering og standardisering for å sikre både volum og kvalitet i utbyggingen. En forutsetning er at industrien definerer (og aksepterer) standardiserte konsepter for komponenter, system beskrivelser, arbeidsprosesser, akseptkriterier og verktøy.
- *Utvikling av en Digital Referanse Arkitektur (DRA)* for havvind på norsk sokkel. I denne sammenhengen defineres referansearkitekturen som et system for strukturering av tekniske objekter og informasjon. Dette systemet er kjent som *Reference Designation System (RDS)*, og anvendes i mange sektorer som f.eks. kraftproduksjon, industri, olje og gass, og bygg. Arkitekturen gir et helhetlig rammeverk for strukturering av tekniske objekter og informasjon, og hjelper med å forbedre kommunikasjon, prosessflyt og interoperabilitet. Denne arkitekturen med en *Reference Data Model (RDM)* og en tilhørende *Referanse Designasjon System (RDS⁶¹)* basert på anerkjente internasjonale standarder som ISO 81346, ISO 15926, etc. bør omfatte hele havvindparken, landbasert infrastruktur og transmisjonsnettverket, med plassering, turbiner, flytere, forankring, lagring og ilandføring.

Digital Referanse Arkitektur (DRA): Et konsept eller rammeverk som beskriver en standardisert tilnærming til å bygge og utvikle IT-systemer. Hovedmålet med DRA er:

- Fremme samhandling og gjenbruk
- Støtte effektiv utvikling
- Tilrettelegge for sikkerhet og personvern
- Tilpasning til nasjonale og internasjonale standarder

DRA inneholder retningslinjer, maler og standarder for en rekke teknologiske aspekter som API-er, skyplattformer, datalagring, sikkerhet, og autentisering. I praksis kan DRA derfor hjelpe offentlige og private aktører med å bygge systemer som er interoperable, skalerbare og i samsvar med gjeldende regelverk.

Systemtankegang - med «system engineering»

Havvindparker består av mange teknologier og systemer som er integrert med hverandre, for å optimalisere driften. Et mål for design av havvindanleggene bør være sømløse integrasjoner av systemene og teknologiene. *System engineering* er en disiplin som kan bidra sterkt til hurtigere havvindutbygging fordi den fremhever sammenhengen mellom krav, funksjoner og løsninger, noe som muliggjør mer effektivt samarbeid mellom nødvendige aktører.

System engineering: Hjelper organisasjoner med å utvikle komplekse systemer på en kontrollert og strukturert måte, og det vektlegger samarbeid mellom ulike fagområder, noe som bidrar til å redusere risiko og forbedre kvaliteten på systemet som bygges.

⁶¹ TIM Wind RDS Wind guideline Available: <https://TIMWind.org>.

Stor-datahåndtering: Analyse og bruk av sensor data

En havvindpark produserer store mengder data fra forskjellige sensorer og systemer knyttet til den digitale referanse arkitekturen (DRA). Dataene kan brukes til kontinuerlig forbedring av ytelsen og effektiviteten av parken. Dette vil øke ytterlig i verdi hvis myndigheter, industriaktører og forskningsmiljøer knyttes opp mot Referanse Arkitekturen og bidrar til kontinuerlig læring og forbedring. Slik «flerbruk» av data bør tilstrebes i all utbygging av havvind. Denne typen data bør tilgjengeliggjøres under kontrollerte former for FoU-I hos vitenskapelige institusjoner. Datamengden er så stor at strategier for databehandling for nødvendig og kvalitetssikret dataoverføring må utvikles videre. Digitale systemer skal kunne forutse produksjonsbehovene og forutsi mulige utstørs- og anleggsfeil basert på analyse av sensordata i sanntid, noe som muliggjør proaktivt risikostyrt vedlikehold. Denne tilnærmingen skal optimalisere nedetid med hensyn på produksjon (styrt reduksjon), reduserer vedlikeholdskostnader og beholde levetiden til anleggene. Det er behov for å:

- Etablere kunnskap og systemer for effektiv bruk av sensordata som bidrar til kontinuerlig forbedring av ytelsen og effektiviteten til havvindparken
- Utvikle strategier for overføring av kvalitetssikrede data mellom aktørene (akademia, FoU-institutter, næringsliv og myndigheter)

Cybersikkerhet

Med stadig mer komplekse digitale systemer og økende mengder data, er cybersikkerhet en kritisk faktor for å opprettholde effektivitet, forsyningssikkerhet og automatisering av energisystemet. Truslene mot havvindparker inkluderer både teknologiske sårbarheter og risiko for angrep fra cyberkriminelle eller statssponsede aktører. Her er noen sentrale deler av verdikjeden som kan bli angrepet:

- SCADA⁶²-systemer
- Kommunikasjonsnettverk
- Forsyningskjeden

Det er derfor nødvendig å beskytte systemene og infrastrukturen mot angrep og uautorisert tilgang. Det er nødvendig med samarbeid mellom operatører, teknologileverandører og myndigheter i utviklingen av systemer som skal beskytte mot Cyber-angrep. Kunnskap om KI-drevet trusselovervåking og sikker programvareutvikling kan bl.a. bidra til å beskytte sektoren. Det er behov for å:

- Utvikle robuste sikkerhetsprotokoller som en integrert del av den digitale referanse arkitekturen som bidrar til å beskytte havvindparkene mot trusler og Cyber-angrep.

Designanalyser⁶³

⁶² SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

⁶³ 21549 IPN ImproveFLOW - Improved accuracy, security and efficiency for floating offshore wind analysis
Available: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/>

God design og nøyaktige analyser for best mulige operasjoner er nødvendig for å få til bærekraftig utbygging med akseptabel miljøpåvirkning og ressursforbruk. Felles for all design og analysevirksomhet er bruk av god programvare og IT løsninger. Dagens løsninger har oppstått i og for eksisterende markeder og konstruksjoner, med applikasjoner for *Computer Aided Design* (CAD), *Computer Aided Engineering* (CAE) og *Product Data Management* (PDM). Norge har blant annet vært en av pionerne i utvikling av CAE for styrkeberegning av flytende konstruksjoner. Oppgradering av funksjonalitet og tilpasning av bruk bør gis prioritet, for å forsterke hastigheten til det grønne skiftet gjennom bedre design og analyse.

Det er et stort potensial å kombinere eksisterende fysikkbaserte metoder med datadrevne metoder basert på maskinlæring av målte sensordata - *Hybrid Analysis and Modeling* (HAM). Et viktig forskningsfelt i denne forbindelse er *Reduced Order Methods* (ROM), dvs. metoder for å gjøre de eksisterende fysikkbaserte modellene som brukes i designfasen effektive nok til å kunne brukes som beslutningstøtte i operasjonell drift. Lykkes man med å utvikle gode HAM og ROM programverktøy vil det muliggjøre nyttige prediktive digitale tvillinger og optimalisert drift som vil gi vesentlige kostnadsreduksjoner og økt produksjon i hele levetiden. Det er behov for å:

- Oppgradere funksjonaliteten til dagens metoder og løsninger for design, drift og analyser av havvindparker

Måling og modellforsøk

Spesielt innen flytende vindturbiner har Norge et sterkt forskningsmiljø og er unikt posisjonert for å lære fra tidsserier med måledata (vær og havmiljø) og tester i modellskala (krefter og konstruksjonsrespons). I tillegg er risikomodellering (normal operasjon og skader) og data simuleringer av havnettet (både DSO og TSO helt til forbruker) et sentralt forskningstema. Alle disse dataene kan og burde knyttes til en digital infrastruktur som et verdifullt numerisk verktøy for å etablere forståelse av energisystemets kompleksitet og avhengigheter. Skal digitale tvillinger kunne understøtte hele industrien må denne infrastrukturen benytte den Digital Referanse Arkitekturen. Det er behov for å:

- Videreutvikle kunnskap og teknologi innen risikomodellering av havnettet. En risikomodellering av havnettet inkluderer både fysiske, økonomiske, sikkerhetsmessige og miljømessige aspekter.

Automatisering og kontroll⁶⁴

Digitale systemer inklusive digitale tvillinger⁶⁵ muliggjør automatisering og kontroll av hele og alle delementene i verdikjeden til havvindparkene. Formålet med automatisert drift og kontroll er mer effektiv kraftproduksjon, sikre optimal ytelse til vindturbinen, reduserer menneskelige feil og gi mulighet for sanntidsjusteringer for å møte varierende etterspørsels- og tilbudsforhold. Det er behov for å:

⁶⁴ UK Research and Innovation, "HOME-Offshore: Holistic Operation and Maintenance for Energy from Offshore Wind Farms," 11 2020. [Online]. Available: <https://gtr.ukri.org/projects?ref=EP%2FP009743%2F1>.

⁶⁵ NorthWind annual report, Available: [Annual report – FME NorthWind \(northwindresearch.no\)](https://www.northwindresearch.no/annual-report)

- Utvikle og designe digitale systemer og løsninger for automatisering og kontroll av havvindparkene. Samtlige delelementer i verdikjeden bør inngå og være sentrale premisser i utviklingen.

Fjernovervåking - og fjernbetjening

Digitale teknologier muliggjør fjernovervåking og styring av anleggene under drift og derav redusere behovet for fysisk tilstedeværelse på stedet, samt lar operatører administrere flere anlegg fra sentraliserte lokasjoner, noe som sparer tid og ressurser. Det er behov for å:

- Utvikle systemer som bidrar til fjernovervåking og fjernbetjening av havvindinstallasjonene. Et viktig element i denne sammenheng er god dialog og samarbeid mellom operatør- og leverandørbedriftene. Et langsiktig mål bør være autonom drift av havvindparkene

Kunstig intelligens

Kunstig intelligens (KI) kan spille en betydelig rolle i utviklingen av en bærekraftig norsk havvindindustri på flere måter. Det er behov for å øke kunnskapen om hvordan KI kan anvendes for å:

- *Optimalisere drift og vedlikehold:* KI kan analysere store mengder data fra sensorer på vindturbiner for å forutsi vedlikeholdsbehov og forhindre feil før de oppstår. Dette kan redusere nedetid og vedlikeholdskostnader
- *Forbedre ressursutnyttelsen:* Ved å bruke KI til å modellere og simulere vindmønstre, kan man optimalisere plasseringen av vindturbiner for å maksimere energiproduksjonen og minimere miljøpåvirkningen
- *Forbedre energistyringen:* KI kan bidra til bedre styring av energiproduksjon og -distribusjon ved å balansere energiforsyningen med etterspørselen i sanntid. Dette kan bidra til å integrere havvindenergi mer effektivt i det nasjonale strømmettet.
- *Styrke innovasjon og forskningsaktivitetene.* KI kan akselerere forskning og utvikling ved å analysere og identifisere løsninger for å forbedre teknologi og prosesser innen havvindindustrien

4.6 Storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet

Kraftsystemet i Norge er i starten av en gjennomgripende endring, drevet av økt kraftetterspørsel til grønn omstilling og nytt forbruk, og skal innen 2050 tilrettelegges for å håndtere 30 GW havvind, samt annen ny fornybar energiproduksjon. Dette tilsvarer nær en dobling av dagens produksjonskapasitet, en kapasitet det har tatt over 100 år å bygge ut.

Dagens vannkraftdominerte system har iboende stabiliserende egenskaper, og stor evne for lagring av energi og regulering av produksjonen etter behov. Vindkraft har ikke de samme egenskapene, og derfor vil en storstilt integrasjon av havvind gjøre det nødvendig å designe kraftsystemet på nytt. Den enorme endringen i produksjonssammensetning vil gjøre fremtidens kraftsystem til et mye mer komplekst system, både når det gjelder teknologiske løsninger og i samspillet mellom aktørene. For å gjennomføre denne omstillingen må vi finne nye løsninger og bygge kompetanse innen et bredt spekter av disipliner som støtter opp om det overordnede systemperspektivet – kraftsystemet må

fungere, hele tiden. Det er en gjennomgripende samfunnsendring vi står ovenfor, og for å skape bevissthet og samfunnsaksept for det, blir det viktig å bygge et kunnskapsgrunnlag som deles og skaper trygghet. Viktige tema er:

- Holistisk systemdesign mht. nettplanlegging, og drift av et energisystem på tvers av sektorer, med fokus på balansering og regulering
- Endrede fysiske egenskaper i et omformerdominert kraftsystem som utfordrer stabiliteten
- Nye utfordringer i drift av HVDC-nett, og i samspillet mellom AC og DC-nett

Det foregår mye utviklingsarbeid i ulike fora i Norden og Europa om disse temaene, og dette samarbeidet er viktig for å tilegne seg kunnskap og bygge kompetanse. Tilgang til personell med tilstrekkelig og relevant kompetanse er en kritisk faktor for å kunne gjennomføre det grønne skiftet. Både Norden og Europa står overfor de samme utfordringene, og må utvikle teknologi og løsninger som kan gjøre det mulig å gjennomføre omstillingen. Samarbeid over landegrensene og felles innsats med relevante aktører er helt nødvendig for å oppnå målet.



Figur 8: Illustrasjon av havvind tilkoblet kraftsystemet. Illustrasjon fra SINTEF.

Holistisk systemdesign

Det er viktig å forstå hvordan utvikling av havvind må skje i en integrert prosess med utviklingen av kraftsystemet på land.

For å oppnå optimal systemintegrasjon må nettet til havs og på land planlegges og dimensjoneres som ett felles transmisjonsnett. Videre planlegging av transmisjonsnettet må ta høyde for massive investeringer i kraftproduksjon til havs i hele Nordsjøbassenget.

Samtidig som havvindutbyggingen pågår, vil det norske forbruket være under stor endring, med elektrifisering av dagens industri og utvikling av ny industri. Eksisterende og ny industri, sammen med alminnelig forbruk, vil få en mer sentral og aktiv rolle i fremtidens kraftsystem. Kompetansen til å se på tvers av sektorer i det sammenkoblede energisystemet blir viktig i fremtidens systemdesign.

Elektrisitet er ferskvare og kraftproduksjonen må til enhver tid tilsvare forbruket. Vindkraft medfører større, hurtigere og mindre predikerbar variasjon i produksjonen, og har normalt kun nedreguleringsevne. Et kraftsystem som i større grad baseres på vindkraft vil få utfordringer med balanseringen, både i planfasen og i driftsfasen, sammenlignet med dagens system dominert av regulerbar vannkraft. Det må derfor utvikles nye metoder for balansering av produksjon og forbruk,

og kraftsystemet trenger nye kilder til fleksibilitet, energilagring og stabil kraftproduksjon. Forbruket må sannsynligvis i større grad følge produksjon, og forbruk med evne til fleksibilitet vil ha konkurransefortrinn og forretningsmuligheter ved å tilpasse seg prisvariasjonen, og som leverandør av tjenester som kraftsystemet trenger. Pumpekraft, batterier og hydrogen er eksempler på lagringsmetoder som vil bli viktige, om ikke helt nødvendige metoder, for å håndtere variasjon og for å opprettholde balansen. Det må utvikles nye system- og balansetjenester med korte og lengre reaksjonstider tilpasset behovet for regulering for å opprettholde balansen i kraftsystemet. Utfordringene er komplekse og omfatter tekniske, markedsmessige og regulatoriske problemstillinger.

Omformerdominert kraftsystem

Stabil og sikker drift av kraftsystemet er tradisjonelt i basert på de tekniske egenskapene i synkrontilkoblede generatorer, for eksempel vannkraftverk, gasskraftverk osv. Disse egenskapene, blant annet treghetsmoment og kortslutningsytelse, hjelper til med å stabilisere frekvensen og gjøre nettet elektrisk sett stivt nok til å fungere slik det skal i normaldrift og ved feilsituasjoner. Ny, fornybar kraftproduksjon, som vind- og solkraft, er tilknyttet via kraftelektronikkomformere med andre egenskaper enn synkrontilkoblede generatorer. Når slik det kommer en stor andel av slik produksjon, kan kraftsystemets stabiliserende egenskaper komme under press med lavere treghetsmoment og kortslutningsytelse. Utvikling av vindkraftverk og kraftelektronikk som kan bidra til sikker og stabil drift av kraftsystemet er derfor et viktig forskningstema.

Mengden omformere i kraftsystemet øker, og i tillegg til ny produksjon tilknyttet med omformere, brukes omformere også i HVDC-forbindelser, i batterilagringsanlegg og hos sluttbrukere i kraftkrevende industri. Vi beveger oss mot et omformerdominert kraftsystem. For å håndtere denne utviklingen er det nødvendig med en konkret og spisset satsing på flere avanserte tekniske områder som i dag er relativt umodne, og nødvendige tiltak må fattes på et kunnskapsbasert grunnlag. Med mer kraftelektronikk vil det oppstå nye elektriske og elektromekaniske fenomener som må overvåkes og håndteres for å opprettholde stabilitet og dermed forsyningssikkerhet. De nye fenomenene er hurtigere, og det er nødvendig med nye sensorer for overvåkning og mer automatisert kontroll i sanntid i et omformerdominert kraftsystem.

Drift av HVDC-nett, og i samspillet mellom AC og DC-nett

Med mange omformere både i DC-nettet og AC-nettet må det sikres interoperabilitet mellom omformere; både i hvert av nettene separat og i samspillet mellom nettene. For å analysere disse utfordringene må det utvikles nye simuleringsverktøy som gjør oss i stand til å undersøke transiente forløp med høyere tidsoppløsning enn tradisjonelle dynamiske modeller. Det kreves også ny kompetanse hos fagpersoner, bl.a. når det gjelder analyse på de nye fenomenene, og operatørene av sammenkoblede AC og DC nett må opparbeide kunnskap om virkemåte og hvordan det integrerte nettet skal driftes.

Dersom nettilkobling av havvind i fremtiden utvikles mot et masket HVDC-nett vil et viktig kompetanseområde være overvåkning, kontroll og vern i masket DC-nett og i koblede AC/DC-nett. Maskede DC-nett har helt andre fysiske egenskaper enn AC nett, og det finnes i dag få eller ingen eksempler på maskede DC-nett.

Et overordnet tema er nødvendigheten av omfattende IT-utvikling for å ivareta sikker drift av et slikt kraftsystem. Når væravhengig kraftproduksjon til tider er dominerende vil kvaliteten på prognoser være avgjørende for evnen til å balansere systemet, både i markedet og i driften. Dette gir også behov for mer avanserte modelleringsverktøy, og det settes høyere krav til overvåking og styring av systemet som må bli raskere og med høyere oppløsning enn i dag og med høy robusthet.

Med regulerbarheten og lagringsmuligheten i vannkraften så har Norge gode forutsetninger til å kunne håndtere tilknytning av store mengder havvind i kraftsystemet. For å lykkes er det viktig å prioritere kompetanseheving, forskning og utvikling på en rekke fagområder, fra den overordnede systemforståelsen til avanserte, elektrotekniske fenomen. Det er fortsatt behov for utredninger, men fokuset er nå mer enn noensinne rettet mot konkrete løsninger for å få opp innovasjonstakten mot det grønne skifte. Kraftsystemet må designes på nytt og reflekteres både i planlegging og drift, og støttes av tilknytningskrav og markedsløsninger. Raskere dynamiske hendelser i et omformerdominert kraftsystem (med store mengder havvind) gjør det nødvendig med ny teknologi og nye løsninger for systemdrift. Økt målrettet satsing på innovasjon og teknologiutvikling er helt avgjørende for å kunne møte fremtidens behov.

5 Internasjonalt samarbeid

Internasjonalt samarbeid er en absolutt nødvendighet for å lykkes med de norske havvindambisjonene. Dette gjelder for å lykkes med utviklingen av havvindparker i Norge, og for å lykkes med å etablere en leverandørindustri med stor eksport av varer og tjenester.

Europa er det nærmeste og viktigste markedet for norsk havvindindustri, og for samarbeid innen forskning, innovasjon og utdanning og kompetanseoppbygging. Norske myndigheter har inngått avtale om samarbeid for utvikling av havvind i Nordsjøen, se [Ostende-deklarasjonen](#)⁸, og ledende norske aktører er aktive i EUs rammeprogram for forskning, og i utviklingen av forskningsagendaen, bl.a. gjennom engasjement i den industristyrte europeiske teknologi og innovasjonsplattformen [ETIP wind](#) og den europeiske energiforskningsalliansen [EERA JP wind](#)³. Disse (ETIP wind og EERA JP wind) utfyller hverandre; ETIP wind adresser i hovedsak det umiddelbare forsknings og innovasjonsbehovet (typisk 5 år fram i tid, se forskningsagendaen ETIP wind [SRIA 2025-2027](#))³, mens EERA JP wind adresserer det mer langsiktige bildet og har nylig lansert rapporten [NeWindEERA](#)⁴ som angir forskningsbehovet fram mot 2050. Prioriteringene i begge agendaene (SRIA og NeWindEERA) følger samme hovedlinjer og er samstemte med anbefalingene i denne rapporten, om enn SRIA og NeWindEERA inkluderer både landbasert vindkraft og havvind.

[ETIP wind](#) og [EERA JP wind](#) samarbeider nå for å få på plass et europeisk partnerskap for vindkraft forskning og innovasjon. Målet er å ha et operativt partnerskap for perioden 2028-2034 hvor industrien bidrar med 1 milliard EUR som matches med tilsvarende finansiering fra EU kommisjonen forskning og innovasjon. Dette vil bety en tredobling av EU finansieringen i forhold til programmet for 2021-2027. Det vil være en kraftfull forsterkning av forskning og innovasjonsinnsatsen som er helt nødvendig for å kunne møte den internasjonale konkurransen, spesielt fra USA og Kina, og for å kunne lykkes med den grønne energiomstillingen, se også Draghi rapporten "[The future of European competitiveness](#)"⁶⁶.

Partnerskapet vil sikre finansiering til havvind forskning og innovasjon. Det vil stadig være åpne utlysninger, men utlysningene vil styres av partnerskapet og sikre en sterkere koordinering i tråd med partnerskapets forskningsagenda.

Et vellykket partnerskap kan sees på som et grunnlag for et European Centre of Excellence (ECoE). Det vil fremme et mer effektivt internasjonalt samarbeid om forskning og innovasjon, og dermed spare kostnader og akselerere utviklingen. [Nasjonalt eksportråd](#)⁷ anbefaler i sin eksportstrategi for havvind at Norge tar en lederrolle i et slikt ECoE.

Land-til-land-samarbeid med prioriterte land for eksport utenfor EU bør også forsterkes, for eksempel med Japan, USA, Brasil, og Sør-Korea. Viktige tema er utvikling av flytende havvind for å få ned kostnaden, storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet, miljødesign, vindparkdesign og sambruk.

Partnerskapet vil først og fremst være innrettet for å styrke anvendt forskning og innovasjon. Samarbeid innen utdanning er et annet viktig felt for europeisk samarbeid, hvor det allerede er etablert

⁶⁶ [EU competitiveness: Looking ahead - European Commission](#),

https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en

program for PhD og post doc samarbeid (Marie Skłodowska-Curie Actions)⁶⁷, Erasmus Mundus programmet⁶⁸ for master studenter og Erasmus+ program for yrkesfaglig utdanning European Centres of Vocational Excellence (CoVE)⁶⁹. Et eksempel på slikt samarbeid innen utdanning med norsk deltagelse er Erasmus+ CoVE-prosjektet T-shore⁷⁰, hvor det er opprettet et nasjonalt nettverk mellom tilbydere av utdanning og sertifisering på den ene siden og operatørselskap og leverandørindustri innen havvind på den andre. Prosjektets norske partnere er Energy Innovation og Fagskolen Rogaland. Gjennom å etablere nasjonale CoVE-nettverk sammen med bransjen, skapes det møtested og dialog om kompetansebehov nasjonalt, samt økt harmonisering og samhandling mellom utdanningstilbydere på europeisk nivå. Dette kan styrke kvaliteten i norske utdanninger og øke mobilitet på tvers av landegrensener.

⁶⁷ <https://marie-skłodowska-curie-actions.ec.europa.eu/>

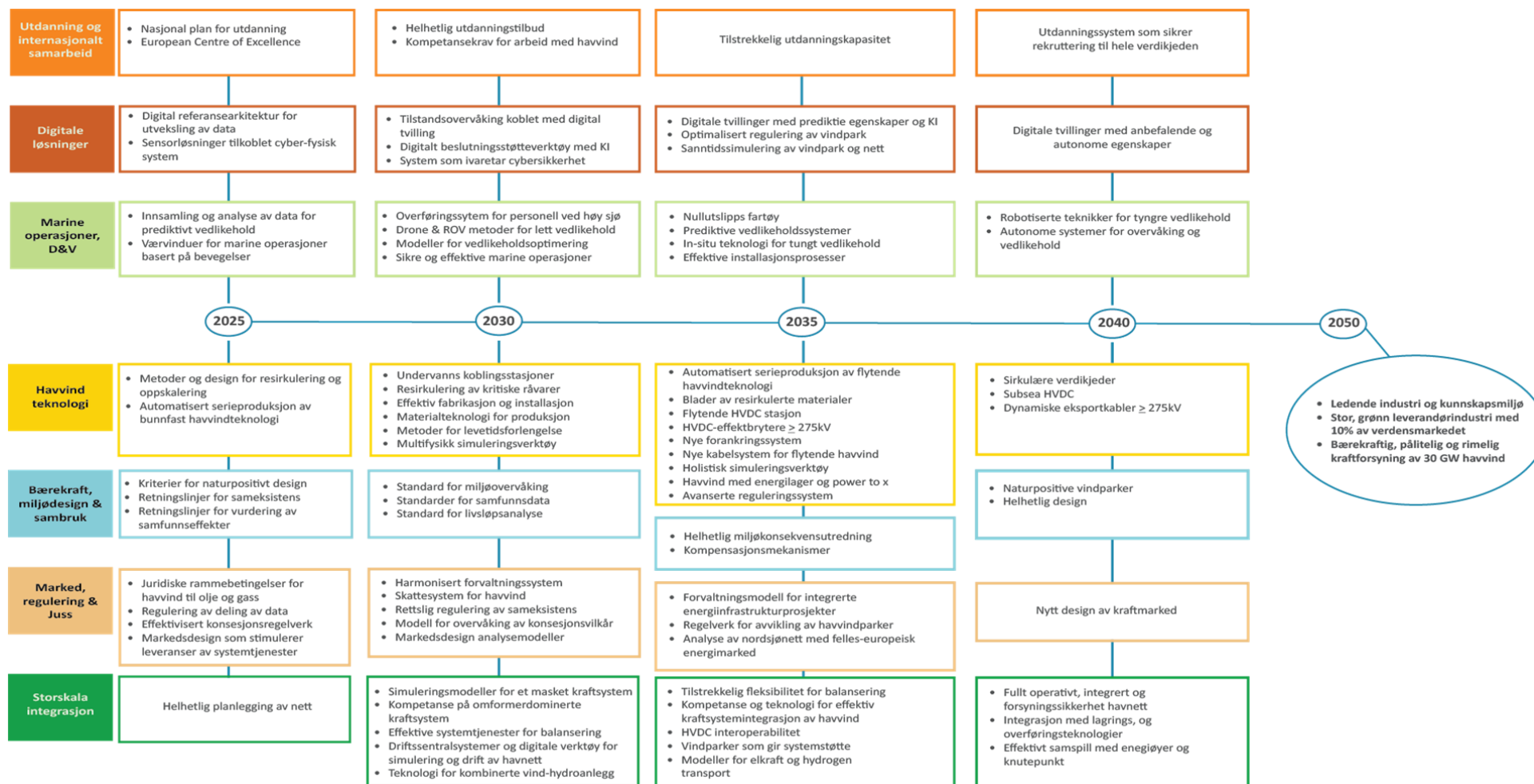
⁶⁸ https://www.eacea.ec.europa.eu/scholarships/erasmus-mundus-catalogue_en

⁶⁹ <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/programme-guide/part-b/key-action-2/centres-vocational-excellence>

⁷⁰ <https://t-shore.eu/>

6 Veikart for forskning, innovasjon og utdanning

Behov for forskning, innovasjon og utdanning er summert opp i veikartet som vises på neste side. Veikartet er delt inn i fem tidsperioder fram mot 2050 og viser når ulike løsninger innenfor de enkelte temaområdene må være ferdig utviklet for å nå de overordnede målene.



Figur 9: Veikart for forskning, innovasjon og utdanning frem mot 2050 for industrialiseringen og realisering av helhetlige, bærekraftige verdikjeder for havvind i Norge. Tidsaksen angir når hvert enkelt tema må være ferdig utviklet.

Fra labor bris til stiv kuling: Veikart for forskning, innovasjon og utdanning innen havvind

Tabell 1: Veikart for forskning, innovasjon og utdanning frem mot 2050 for industrialiseringen og realisering av helhetlige, bærekraftige verdikjeder for havvind i Norge. Tidsaksen angir når hvert enkelt tema må være ferdig utviklet.

	2025	2030	2035	2040
Utdanning og internasjonalt samarbeid	<ul style="list-style-type: none"> • Nasjonal plan for oppskalering av utdanningssystemet • Etablert European Centre of Excellence på havvind forskning, innovasjon og utdanning med norske aktører i ledende posisjoner 	<ul style="list-style-type: none"> • Helhetlig utdanningstilbud – innen alle relevante fagdisipliner • Kompetansekrav for arbeid med havvind på norsk sokkel 	<ul style="list-style-type: none"> • Tilstrekkelig utdanningskapasitet for master, bachelor og yrkesfag som dekker utbygging, drift og eksport 	<ul style="list-style-type: none"> • Solid utdanningssystem som sikrer rekruttering til hele verdikjeden
Digitale løsninger	<ul style="list-style-type: none"> • Digital referansearkitektur for utveksling av data • Sensorløsninger tilkoblet cyber-fysisk system 	<ul style="list-style-type: none"> • Tilstandsovervåkning koblet med digital tvilling • Digitalt beslutningsstøtteverktøy med KI for planlegging, bygging og drift • System som ivaretar cybersikkerhet 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale tvillinger med prediktive egenskaper og KI for komponenter, enheter og felt • Optimalisert styring og regulering av vindpark • Modeller for sanntidssimulering av interaksjon mellom vindfelt, vindpark, og nett 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale tvillinger med anbefalende & autonome egenskaper basert på KI, ML, ROM og HAM
Marine operasjoner, D&V	<ul style="list-style-type: none"> • Prosedyrer for innsamling og analyse av data for prediktivt vedlikehold. • Værvinduer for marine operasjoner basert på bevegelser og krefter (i stedet for bølgehøyde) 	<ul style="list-style-type: none"> • Overføringssystem for personell og utstyr for høy sjø. • Drone & ROV metoder for inspeksjon og lett vedlikehold • Modeller for vedlikeholdsoptimering • Modeller og teknologi for sikre og effektive marine operasjoner 	<ul style="list-style-type: none"> • Nullutslippsfartøy for personell og utstyr • Prediktive vedlikeholdssystemer • In-situ teknologi for tungt vedlikehold av flytende turbiner • Effektive installasjons- og dekommisjoneringsprosesser 	<ul style="list-style-type: none"> • Robotisert teknikker for tyngre vedlikehold • Autonome systemer for inspeksjon, tilstandsovervåking, reparasjon og vedlikehold

	2025	2030	2035	2040
Havvind- teknologi	<ul style="list-style-type: none"> • Metoder og design for resirkulering og oppskalering • Automatisert serieproduksjon av bunnfast havvindteknologi 	<ul style="list-style-type: none"> • Undervanns koblingsstasjoner og våte høyspentkoblere for 145kV • Metoder for resirkulering av kritiske råvarer • Effektiv og miljøvennlig fabrikasjon, transport og installasjon • Materialteknologi for bærekraftig produksjon og distribusjon. • Metoder og standarder for levetidsforlengelse av monopæl, jacket og betongunderstell • Multifisikk og multiskala simuleringsverktøy for design havvindparker 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisert serieproduksjon av flytende havvindteknologi • Havvindblader laget av 100 % resirkulerte materialer • Flytende HVDC stasjon • HVDC-effektbrytere $\geq 275\text{kV}$ • Nye forankringssystem for flytende havvind • Nye kabelsystem for flytende havvind • Holistisk simulerings- og designverktøy for utvikling og realisering av havvindparker • Integrasjon av havvind med energilager og power to x • Avanserte reguleringssystem for optimering av drift 	<ul style="list-style-type: none"> • Sirkulære verdikjeder for materialer i alle deler av systemet • Subsea HVDC omformerstasjoner med våte koblere for kabler • Dynamiske eksportkabler $\geq 275\text{kV}$
Bærekraft, miljødesign og sambruk	<ul style="list-style-type: none"> • Kriterier for naturpositivt design i anbudskriterier • Retningslinjer for sameksistens med natur, lokalsamfunn og andre næringer • Retningslinjer for vurdering av samfunnseffekter på lokalt og nasjonalt nivå 	<ul style="list-style-type: none"> • Standard for metoder/sensorer/teknologi er miljøovervåking • Standarder for innsamling av samfunnsdata • Standard for livsløpsanalyse av vindparker 	<ul style="list-style-type: none"> • Beste-praksis for helhetlig miljøkonsekvensutredning. • Kompensasjonsmekanismer: Standard for å gjøre analyser av og mekanismer for kompensasjon (natur, samfunn, og økonomi) 	<ul style="list-style-type: none"> • Naturpositive vindparker i drift. • Helhetlig design av vindparker hensyntatt teknologi, natur, samfunn og økonomi
Marked, regulering og juss	<ul style="list-style-type: none"> • Juridiske rammebetingelser for havvind til olje og gass • Rettslig regulering av innsamling og deling av data fra havvindparker og omkringliggende miljø 	<ul style="list-style-type: none"> • Harmonisert forvaltningssystem • Skattesystem for havvind • Rettslig regulering av sameksistens 	<ul style="list-style-type: none"> • Forvaltningsmodell for integrerte energiinfrastrukturprosjekter • Regelverk for avvikling av havvindparker 	<ul style="list-style-type: none"> • Nytt design av kraftmarked som ivaretar effektiv utvikling og drift av fremtidens energisystem med store mengder havvind

	2025	2030	2035	2040
	<ul style="list-style-type: none"> • Effektivisert finansierings og konsesjonsregelverk • Markedsdesign som stimulerer leveranser av systemtjenester og reduserer behovet for balansering 	<ul style="list-style-type: none"> • Modell for overvåkning av konsesjonsvilkår mht miljødesign og sambruk • Markedsdesign analysemodeller for utvikling og drift av fremtidens energisystem med store mengder havvind og andre fornybare energikilder 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse av nordsjønett med felles-europeisk energimarked for deling av kostnader og inntekter 	<p>og andre fornybare energikilder</p>
Storskala integrasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Helhetlig planlegging av nett til havs og på land som ett kraftsystem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avanserte Simuleringsmodeller for et masket kraftsystem med mye havvind, bla optimering, forsyningsikkerhet, stabilitet og interaksjoner. • Kritisk Kompetanse på omformerdominerte kraftsystem er oppnådd. • Effektive systemtjenester for å ivareta balansering og stabilitet i kraftsystemet er utviklet. • Driftssentralsystemer og digitale verktøy for simulering og drift av hybride forbindelser og masket havnett. • Teknologi for kombinerte vind-hydrogenanlegg 	<ul style="list-style-type: none"> • Tilstrekkelig fleksibilitet for balansering og stabil drift av kraftsystemet er utviklet, og tilgjengelig gjennom fungerende markeder og digitale løsninger. • Kompetanse og teknologi for effektiv integrasjon av havvind med landbaserte kraftsystem. • Pilotert interoperabilitet fra ulike leverandører til et masket HVDC-nett til havs, samt standardiserte digitale løsninger for et interoperatibelt energisystem. • Vindparker som gir systemstøtte, med nøyaktig prediksjon av produksjon, og VSM-egenskaper • Modeller for optimering av elkraft og hydrogen transmisjon 	<ul style="list-style-type: none"> • Fullt operativt, integrert, forsyningsikkert havnett og landnett. • Løsninger for integrasjon med lagrings- og produksjons- og overføringsteknologier. • Effektivt samspill med energiøyer og andre knutepunkt.

7 Forkortelser

- CAD: *Computer Aided Design*, dataassistert design
CAE: *Computer Aided Engineering*, dataassistert engineering.
CAPEX: Capital expenditure, investeringer
CfD: Contract for Difference, differansekontrakt
DRA: Digital referanse arkitektur
FoU-I: Forskning, utvikling og innovasjon
GWEC: Global Wind Energy Council, <https://gwec.net/>
GW: Gigawatt = 1000 kW
HAM: Hybrid Analysis and Modelling, kombinasjon av fysiske og ML-modeller
HVAC: High Voltage Alternating Current, høyspent vekselstrøm
HVDC: High Voltage Direct Current, høyspent likestrøm
KI: Kunstig Intelligens
ML: Maskin Læring
PDM: Product Data Management,
PPA: Power Purchase Agreement, kraftprisavtale
ROM: Reduced Order Models, forenkla modeller
RDM: *Reference Data Model*
RDS: *Reference Designation System*
OPEX: Operating expenditures, driftskostnader
SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, system for overvåking og datainnsamling i vindturbiner.
TWh: Terawatt-timer = 1 million kWh
VSM: Virtual Synchronous Machine, virtuell synkronmaskin
WTO: World Trade Organization, verdens handelsorganisasjon, <https://www.wto.org/>

8 Bidragsyttere til rapporten:

- Anngjerd Pleym, NTNU
- Asgeir Tomasgard, NTNU
- Atle Blomgren, NORCE
- Bjørn Henrik Hansen, SINTEF
- Catherine Banet, UiO
- Christopher Harman, Norwegian Offshore Wind
- Cristian Guillermo Gebhardt, UiB, Bergen Offshore Wind Centre
- Einar Frøhaug, Norconsult
- Elling Rishoff, DNV
- Finn Gunnar Nielsen, UiB, Bergen Offshore Wind Centre
- Geir Grasmø, UIA
- Geir Owren, NTNU
- Grete Møgster, Utsira Offshore Wind Center
- Hanne Wigum, Equinor
- Henning Braaten, SINTEF Ocean
- Henning Wehde, Havforskningsinstituttet
- Ignacio Herrera Anchustegui, UiB, Bergen Offshore Wind Centre
- Inger Marie Malvik, SINTEF Energi
- John Olav Tande, Statnett (til 1.11. 24 SINTEF Energi)
- Knut Erik Steen, Norsk Industri
- Knut Styve Hornnes, Statnett
- Kristin Guldbrandsen Frøysa, UiB
- Lene Mostue, Energi21
- Magnus Eriksson, SINTEF Industri
- Marte Gammelsæter, SINTEF Energi
- Muk Chen Ong, UiS
- Pål Kristian Vormedal, Statnett
- Rita Vasconcellos L. d'Oliveira Bouman, SINTEF Ocean
- Siv-Elén Årskog Vedvik, UiB
- Stein Erik Skilhagen, Norconsult
- Trond Kvamsdal, NTNU
- Vibeke Stærkebye Nørstebø, SINTEF Ocean
- Xiaobo Ren, SINTEF Industri
- Yngve Børstad, Norsk Industri