

**RAPPORT 1007**

Oddmund Oterhals, Arild Hervik, Roar Tobro og  
Lasse Bræin

**MARKEDSKARAKTERISTIKA OG  
LOGISTIKKUTFORDRINGER VED  
OFFSHORE VINDKRAFTUTBYGGING**

Oddmund Oterhals, Arild Hervik, Roar Tobro og Lasse Bræin

Markedskarakteristika og logistikkutfordringer ved offshore  
vindkraftutbygging

Rapport 1007

ISSN: 0806-0789  
ISBN: 978-82-7830-149-4

Møreforskning Molde AS  
Juli 2010

---

Tittel	Markedskarakteristika og logistikkutfordringer ved offshore vindkraftutbygging
Forfatter(e)	Oddmund Oterhals, Arild Hervik, Roar Tobro og Lasse Bræin
Rapport nr	1006
Prosjektnr.	2274
Prosjektnavn:	Vindkraft og logistikkutfordringer
Prosjektleder	Oddmund Oterhals
Finansieringskilde	VRI-programmet for Møre og Romsdal, samt 9 maritime bedrifter i Møre og Romsdal via Maritimt Forum Nordvest
Rapporten kan bestilles fra:	Høgskolen i Molde, biblioteket, Boks 2110, 6402 MOLDE: Tlf.: 71 21 41 61, Faks: 71 21 41 60, e-post: <a href="mailto:biblioteket@himolde.no">biblioteket@himolde.no</a> – <a href="http://www.himolde.no">www.himolde.no</a>
Sider:	35
Pris:	Kr 50,-
ISSN	0806-0789
ISBN	978-82-7830-149-4

### **Sammendrag**

I løpet av de siste årene har land som Danmark, Nederland, Tyskland og Storbritannia bygget pilotanlegg for vindkraftproduksjon til havs. Framdrevet av EU sitt fornybar-direktiv og 20-20-20-målsetningen, har disse landene lansert formidable planer om videre utbygging av offshore vindkraft i søndre deler av Nordsjøen. Kjente offisielle planer fram til 2020 summerer seg opp til en årlig kapasitet på 40 GW. Offshoreanleggene som pr juli 2010 er bygget ut har en kapasitet på 2,4 GW. Med dagens kostnadsnivå vil kjente utbyggingsplaner i Nord-Europa medføre investeringer på anslagsvis 1200-1500 mrd NOK. En betydelig industri for produksjon og installasjon av slike vindkraftparker er under utvikling, med utstyr tilpasset havklima.

Første del av rapporten beskriver en del karaktertrekk ved dette spesielle energimarkedet. Kostnadsnivået i produksjon av offshore vindkraft krever at det gis omfattende offentlige subsidier for å dekke gapet mellom produksjonskost og markedspris for energi. Det framforhandles og etableres subsidieavtaler mellom utbygger og vedkommende lands myndighet for hvert enkelt felt. For noen av feltene som er bygget ut utgjør disse subsidiene mer enn 1 kr pr produsert kWh, med varighet fra 12 til 20 år etter oppstart. Både Statkraft og Statoil er betydelige aktører på utbyggerensiden i det europeiske markedet for offshore vindkraft.

Andre del av rapporten beskriver logistikkutfordringer og markedsmuligheter for den maritime klyngen i Møre og Romsdal og offshoreindustrien i Norge. For den maritime klyngen vil offshore vindkraftutbygging bety store markedsprosensialer. Utbyggingsprosjektene så langt viser at så mye som 15-20 % av utbyggingskostnadene er knyttet til marine operasjoner i forbindelse med bunnpreparering, kabellegging og installasjoner for elektrisk infrastruktur, plassering av møllefundamenter og installasjon av selve vindmøllene, samt vedlikeholdstjenester i driftsfasen.

Vår maritime industri bør kunne bidra med innovative løsninger som gjør det mulig å flytte arbeidskrevende montage- og installasjonsarbeid fra offshore til montasjebaser på land. Ved god planlegging av repetitive operasjoner i hele verdikjeden fra komponentproduksjon via montasjebaser til offshore installasjon av ferdige vindmøller bør slike verdikjedeforbedringer kunne gi store kostnadsreduksjoner. Dette vil være en forutsetning for at utbygging av offshore vindkraft i det formatet som er planlagt kan bli realisert.

---

## Forord

Maritimt Forum Nordvest, ved daglig leder Arnfinn Ingjerd, tok i desember 2009 initiativ til et prosjekt som fikk tittelen *Maritim omstilling*. Bakgrunnen for dette initiativet var den synkende ordretilgangen fra tradisjonelle oppdragsgivere til den maritime industrien i regionen. Ganske snart ble fornybar energiproduksjon til havs valgt som fokusområde, fordi det der allerede var i ferd med å utvikle seg et marked med spennende potensialer.

Ledende maritime bedrifter i regionen ble invitert inn i prosjektet, sammen med støtteinstitusjoner som NCE Maritime, Møre og Romsdal Fylke og Innovasjon Norge. Prosjektet skulle *Synliggjøre nye mulige forretningsområder for den maritime klyngen*, og det ble utformet to analyseoppdrag knyttet til muligheter innenfor offshore vindkraftutbygging. SINTEF MRB fikk i oppdrag å analysere konkrete markedsmuligheter på 3-5 års sikt (egen resultatrapport), mens Møreforskning Molde fikk i oppdrag å analysere markeds-karakteristika og logistikkutfordringer som grunnlag for at vår maritime industri kan posisjonere seg som deltakere i denne nye næringen med en lengre tidshorisont. Møreforskning Molde sitt oppdrag er finansiert gjennom tilskudd fra VRI-programmet, samt delfinansiering fra bedriftene bak *Maritim omstilling*-prosjektet.

Møreforskning Molde etablerte en prosjektgruppe som har bestått av forskningsleder Oddmund Oterhals (prosjektleder), professor Arild Hervik (fagansvarlig) og forskerne Roar Tobro og Lasse Bræin. I tillegg ble daglig leder Morten Bygland i Navitas Network og adm.dir. Peter Tennfjord, Midsund Bruk (eid av Aker Solutions), invitert inn på grunnlag av sine betydelige kunnskaper, koblinger og kontakter i forhold til denne nye næringen.

Rapporten gir et sammendrag av innhentet informasjon og analyse av temaet i løpet av første halvår 2010, og spesielt INTPOW sin konferanse i Oslo 23. mars, med søkelys på utviklingen på britisk sektor, samt Navitas Network sin konferanse i Bergen 4. mai, med fokus på utviklingen i Tyskland, ga verdifulle bidrag. I tillegg er det gjennomført besøk til og intervju med norske bedrifter og nøkkelpersoner som har erfaring både på utbygger- og leverandørsida. Rapporten er ført i pennen av Oddmund Oterhals og Roar Tobro.

Molde, juli 2010

Oddmund Oterhals  
prosjektleder

Arild Hervik  
fagansvarlig

Roar Tobro

Lasse Bræin

# Innhold

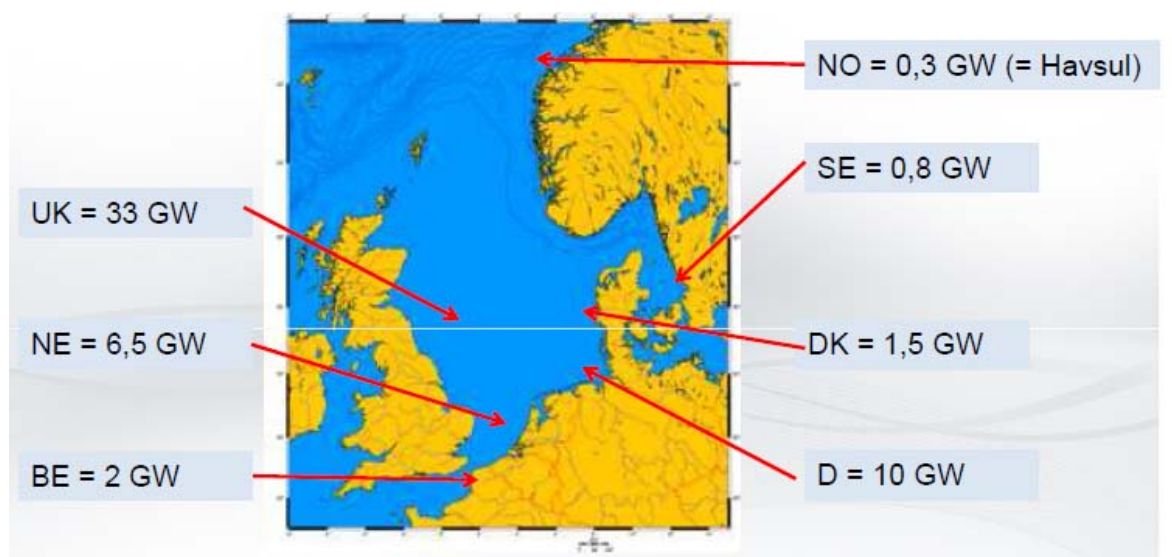
<b>1. OFFSHORE VINDKRAFT .....</b>	<b>4</b>
1.1 Store utbyggingsplaner.....	4
1.2 Alternative utbyggingskonsept.....	5
1.3 Noen signalprosjekt .....	6
1.4 Norske industrinettverk og FoU-prosjekter .....	8
1.5 Muligheter for maritim klynge .....	10
<b>2. MARKEDSKARAKTERISTIKA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Offshore vindkraft .....	11
2.2 Ambisjonene og planene er politisk drevet .....	11
2.3 Vindkraft sin rolle i energimarkedet er usikker.....	12
2.4 Overnasjonale løsninger kan forventes.....	14
2.5 Offshore vindkraft krever store subsidier .....	14
2.6 Offshore vindkraft er en ny næring.....	17
2.7 Utviklingen av næringen vil være internasjonalt drevet.....	17
2.8 Produsenter, leverandører og relaterte næringer .....	17
2.9 De viktigste utfordringene framover.....	19
<b>3. LOGISTIKKUTFORDRINGER .....</b>	<b>20</b>
3.1 Verdikjede for realisering av offshore vindkraftanlegg.....	20
3.2 Typisk kontraktsstruktur – hovedelement i utbyggingsprosjekt.....	21
3.3 Alternative installasjons- og logistikk-løsninger .....	23
3.4 Leverandørutvikling – Supply Chain Development .....	24
3.5 Vurdering av dagens løsninger .....	27
3.6 Nye løsninger - innovasjoner.....	29
3.7 Trinnvis utvikling av nye løsninger .....	31
3.8 Logistikkmodeller – logistikkanalyse .....	32
3.9 Videreføring - aktuelle FoU-initiativ .....	33
<b>Kilder.....</b>	<b>35</b>

# 1. OFFSHORE VINDKRAFT

## 1.1 Store utbyggingsplaner

Det foreligger i dag omfattende planer i en rekke land både i Europa, Nord-Amerika og Asia om å øke produksjonen av fornybar energi gjennom å satse på offshore vindkraft. Land som leder an i denne utviklingen er Danmark, Nederland, Tyskland og Storbritannia, som alle har bygget anlegg for vindkraftproduksjon til havs. *Pr juli 2010 er 43 offshore felt med til sammen 948 turbiner i Europa i produksjon, med en samlet kapasitet på 2,4 GW.* Flertallet av disse må karakteriseres som pilotanlegg. Områdene i søndre deler av Nordsjøen/Den engelske kanal er i dag kjerneområde for utviklingen av offshore vindkraft internasjonalt. Det er under utvikling en betydelig industri for bygging og installasjon av slike vindkraftparker med utstyr tilpasset havklima. Nye anlegg som er under bygging er fordelt på 16 ulike felt, og vil tilføre ytterligere 3,9 GW.

Kjente nasjonale planer<sup>1</sup> for utbygging av offshore vindkraftproduksjon for landene som sokner til søndre deler av Nordsjøen summerer seg opp til formidable 40 GW fram til 2020. Utbyggernes egne ambisjoner for de samme feltene er på 50 GW. Dette tilsvarer ca 50 gjennomsnitts atomkraftverk. Til sammenligning er den samlede norske vannkraftproduksjonen 33 GW. Samlet installert vindkraftkapasitet i Norge er på 0,4 GW.



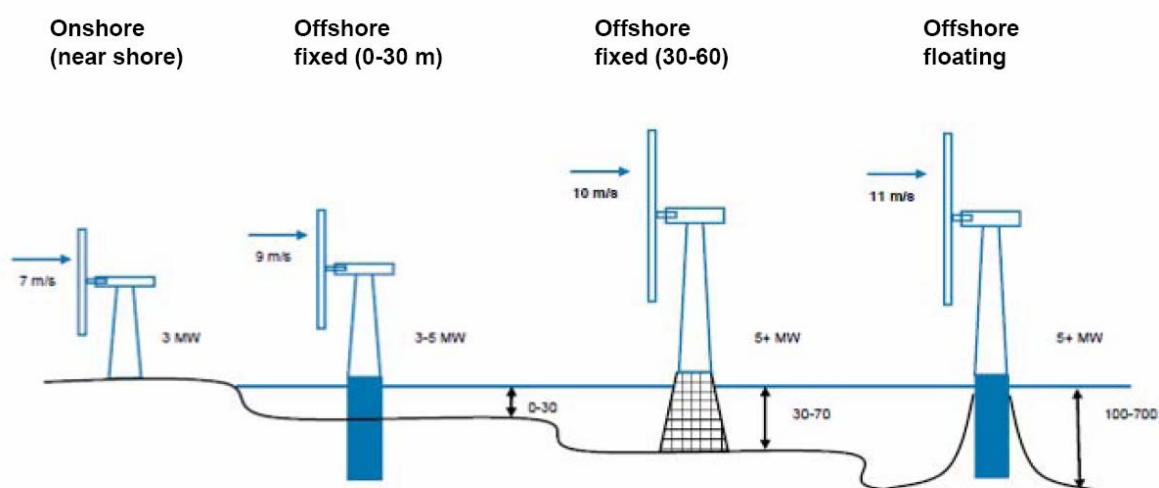
Figur 1.1 Utbyggernes ambisjoner for offshore vindkraftproduksjon i Nordsjøen  
(Kilde: European Energy Review)

<sup>1</sup> Bransjeorganisasjonen EWEA (European Wind Energy Association) opererer med et mål for offshore vindkraftproduksjon i Europa i 2020 på 40 GW. Utbyggernes egne planer angir et ambisjonsnivå som summerer seg til 50 GW.

Basert på kostnadene fra gjennomførte utbygginger representerer de planene som foreligger investeringer på anslagsvis 1200 – 1500 mrd NOK<sup>2</sup>. Dette gjør planene for offshore vindkraft til et av verdenshistoriens største utbyggingsprosjekter.

## 1.2 Alternative utbyggingskonsept

Utbyggingene av offshore vindkraftanlegg organiseres i **felt**, og et typisk anlegg består av 70-90 møller med en møllestørrelse på 3,0 - 5 MW<sup>3</sup>. Alle installasjoner som så langt er bygget er bunnfaste og står på sedimentbunn. Møllene plasseres i et innbyrdes mønster med et internt, lavspent overføringsnett (grid) til en sentral transformatorstasjon, for omforming til høyspent strøm som overføres via sjøkabel til fastlandet. Vindkraft er "ferskvare" og må kombineres med andre energikilder for å gi stabil elektrisitetsforsyning.



Figur 1.2 Alternative løsninger for vindkraftinstallasjoner (illustrasjon: Aker Solutions).

Figur 1.2 illustrerer typiske løsninger, kapasiteter og dimensjoner for vindmøller til lands og til havs. Mens landinstallasjonene, som begynner å bli en betydelig andel av energiproduksjonen i mange land, kan være 70 meter høye med turbinkapasitet på 2-3 MW, satses det for offshoreløsningene på større enheter for å høste skalafordeler både energimessig og økonomisk. De fleste offshoreinstallasjonene så langt (i grunne farvann) er basert på monopilarfundament som er pelet ned i havbunnen. Typisk turbinkapasitet er 3-5 MW, høyden opp til turbinhuset (nacellen) kan være over 100 meter, med rotordiameter på mer enn 100 meter. For større dybder trengs større fundament basert på rørkonstruksjoner, som igjen er pelet fast til bunnen.

<sup>2</sup> Basert på erfaringstall fra det tyske feltet Alpha Ventus tilsvarer dette installasjon av minimum 10000 vindmøller, og innebærer transport og utplassering av en samlet tonnasje på i størrelsesorden 10 mill tonn, alt vesentlig stål.

<sup>3</sup> Gjennomsnittlig turbinstørrelse på utbygde offshore vindkraftanlegg er 2,9 GW. Standard turbinstørrelse på nyere anlegg er gjerne 3,5 MW, mens det pågår en rekke prosjekter for å utvikl større turbiner. Framtidige standardturbiner for bunnfaste installasjoner forventes å bli på 5 MW.

Eksisterende kommersiell teknologi er basert på bunnfaste installasjoner, og forventes å kunne benyttes på dybder på opptil 55-60 meter. Dette avgrenser mulighetsområdet for offshorevindkraft til forholdsvis grunne havområder. Tilsvarende gjelder i forhold til gjennomsnittlig styrke og stabilitet på vind ( $>8$  m/s). Disse forutsetningene gjør søndre deler av Nordsjøen til de best egnede og mest aktuelle områdene for offshore vindkraftproduksjon i Europa fram til 2020. Totalt sjøareal i Nordsjøen med dybde  $<40$  m og vindstyrke  $> 8$  m/s er på 336.000 km<sup>2</sup>. Alle kjente felter og utbyggingsplaner som foreligger i Storbritannia, Tyskland, Nederland, Danmark og Belgia er basert på bunnfaste installasjoner innenfor dette området.

På lengre sikt forventes det en utvikling i retning av flytende installasjoner. I Norge har Statoil under uttesting et pilotanlegg (Hywind) som veier 6000 tonn og har dypgang på 110 meter. Et teknologisk og kommersielt gjennombrudd for flytende installasjoner vil kunne utvide mulighetsområdet for offshore vindkraft vesentlig.

### 1.3 Noen signalprosjekt

#### Horns Rev II - Danmark

Danmark har vært tidlig ute med vindkraftutbygging både til lands og offshore, og har bygget opp en betydelig leverandørindustri. Det største signalprosjektet så langt, Horns rev II, ligger 30 km fra land vest for Blåvandshuk på Jyllands vestkyst.

Hoveddata for dette anlegget er:

- Eier og utbygger: DONG Energy (dansk energiprodusent)
- 200 MW kapasitet fordelt på 95 vindmøller a 2,3 MW (+ 3 testmøller à 5 MW)
- 9-17 meter vannndybde – monopilarfundament
- Ca. 12 hovedleverandører
- Ferdigstilt november 2009

#### Alpha Ventus – Tyskland

Dette var Tysklands første storskala offshoreinstallasjon, og ble bygget som et pilotanlegg med flere relaterte forskningsprosjekt. Anlegget ligger 45 km nord for øya Borkum på Tysklands vestkyst. De norske selskapene NorWind og Aker Solutions Verdal, leverte fundamenter til prosjektet. Prosjektet bar preg av å være et pilotprosjekt, og den opprinnelige kostnadsrammen ble betydelig overskredet.

- Eier og utbygger: DOTI (konsortium eid av EWE, E.ON og Vattenfall)
- 60 MW kapasitet fordelt på 12 turbiner a 5 MW
- 30 meter vannndybde – fundament basert på rørkonstruksjoner à 700 tonn som er pelet fast i bunnen
- Total stålvekt pr mølle: 1000 tonn (vekt nacelle: 300 tonn)
- Høyde til HUB: 92 meter – rotordiameter: 126 meter
- Ferdigstilt november 2009



### Sheringham Shoal – England

Dette er det største prosjektet som er igangsatt så langt i Nordsjøen, med en total kostnadsramme på 10 mrd NOK. Feltet ligger 20 km utenfor sørøstkysten av England. Dette er i stor grad et norsk utbyggingsprosjekt, med Statkraft og Statoil som eiere av feltet. De har sammen dannet utbyggingselskapet SCIRA. Blant de 10-12 hovedkontraktene er det også to norske: Nexans som har ansvar for sjøkabling og Master Marine som har installasjonskontrakten offshore.

- Utbyggerelskap Scira - Prosjektets utvikling kan følges på <http://www.4coffshore.com/windfarms/sheringham-shoal-united-kingdom-uk27.html#statistics>
- 317 MW fordelt på 88 turbiner a 3,6 MW
- 18-23 meters dyp
- Monopilar fundament pelet mer enn 30 meter ned i grunnen
- Planlagt ferdigstilt: Desember 2011

### Doggerbank – England

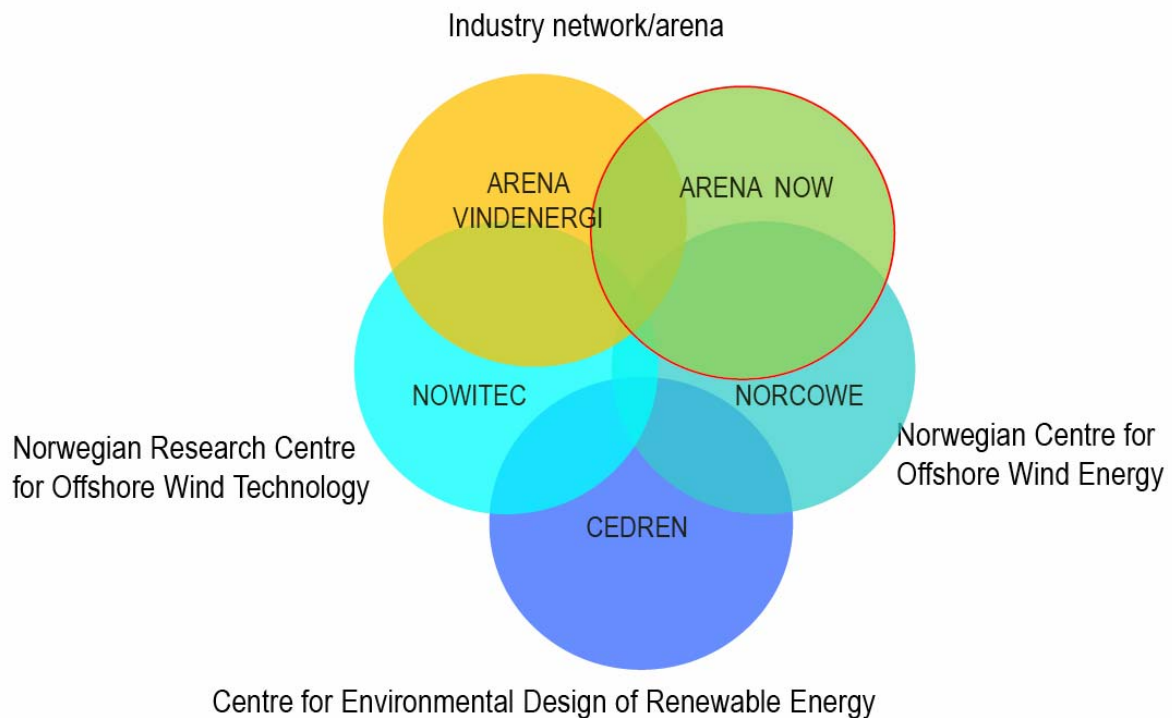
Doggerbank er et gigantprosjekt og er lansert som "kronjuvelen" i Storbritannias Round 3-program. Doggerbank vil ha en produksjonskapasitet og kostnad som er 30 ganger større enn Sheringham Shoal-prosjektet. Feltet, som har en utstrekning på størrelse med Rogaland fylke og havdybder på omkring 50 meter, vil etter planen få en produksjonskapasitet på 10 GW med ca 2000 vindmøller, og utbyggingskostnadene kan komme til å bli på 300 mrd NOK. Konsortiet som er tildelt konsesjon for utbygging av Doggerbank består av Statkraft og Statoil sammen med det britiske selskapet SSE og den britiske delen av RWE, med 25 % eierandel hver. Konsortiet har etablert utbyggingselskapet Forewind sammen. De første utbyggingsbeslutningene er forventet i 2014, og selve utbyggingen er planlagt i perioden 2015-2023.



Figur 1.3 Kart som viser plasseringen av vindkraftfeltene Sheringham Shoal og Dogger Bank.

## 1.4 Norske industrinettverk og FoU-prosjekter

I tillegg til de norske selskapene som er direkte involvert i offshore vindkraftprosjekt i Nordsjøen som utbyggere eller leverandører, er det etablert enkelte norske industrinettverk og FoU-prosjekter som organiserer viktige samarbeidsinitiativ og utviklingsprosjekt innen offshore vindkraft.



*Figur 1.4 Illustrasjon av norske industrinettverk og FoU-prosjekt for fornybar energi og vindkraft.*

I det følgende vil vi kort forklare innhold og arbeidsfelt for forskjellige norske FoU-aktører som arbeider målbevisst med utvikling av teknologi og leveranser til vindkraftmarkedet:

### CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy)

Forskningscenter for miljøvennlig energi ved SINTEF. Et av til sammen 8 norske nasjonale forskningscenter for miljøvennlig energi (FME). CEDREN skal bidra til å utvikle og formidle gode designløsninger for fornybar energiproduksjon, der det blir tatt hensyn til miljømessige og sosiale utfordringer i lokal og global skala. Senteret har en rekke eksterne samarbeidspartnere – både forskningsenheter og industriaktører.

### NOWITECH (Norwegian Research Centre for Offshore Wind Technology)

Dette er også en FME – med fokus på utvikling av offshore vindkraftteknologi. Senteret omfatter SINTEF, NTNU og IFE som sentrale forskningspartnere, totalt 14 industripartnere og internasjonalt samarbeid med Risø DTU, Fraunhofer, NREL, MIT og University of Strathclyde.

### NORCOWE (Norwegian Centre for Offshore Wind Technology)

Tverrfaglig kompetanse- og ressurscenter med base ved CMI (Chr, Michelsens Institutt) i Bergen, som skal bidra til å realisere industrielle muligheter for Norge og norsk industri. Senteret samarbeider med flere universitet og industrielle partnere.

### ARENA NOW (Norwegian Offshore Wind)

Bedriftsklynge med ca 20 medlemsbedrifter og basis i industri- og forskningsmiljø i Hordaland og Rogaland, som etter hvert kan vise til gode referanseprosjekt med leveranser til bl.a. det tyske Alpha Ventus-prosjektet.

### ARENA VINDENERGI

Midtnorsk industriell klynge med mer enn førti medlemsbedrifter. Programmet har base på Verdal med Aker Solutions Verdal som en sentral industriaktør. Regionale kraftselskaper og industri er initiativtakere, og klyngen inngår i et nettverk sammen med de andre norske vindkraftaktørene. Aktørene i denne klyngen har betydelige erfaringer fra landbasert vindkraftutbygging, og også noen leveranser til offshoreutbygging (for eksempel stålfundamenter fra Aker Verdal).

Vi har forøvrig gjennom arbeidet med dette prosjektet kommet over et interessant nederlandsk FoU-initiativ kalt FLOW (Far and Large Offshore Wind Innovation) – med et konsortium som dekker en komplett verdikjede for vindkraftutbygging offshore – inklusive skip og skipsutstyr (IHC Merwede). I de norske FoU-konsortiene er det så langt liten deltakelse fra den gruppen vi benevner maritim klynge (med noen hederlige unntak).

Til slutt i dette avsnittet skal vi nevne et par nettverksorganisasjoner som arbeider målbevisst med å samordne de forskjellige FoU-initiativene:

### Navitas Network

Navitas Network har inntatt en posisjon som det ledende norske industrielle nettverket innen offshore vindkraft. Selskapet er forankret i olje- og energibransjen, og startet som et leverandørnettverk for leverandører til Ormen Lange-prosjektet i utbyggingsperioden fra 2004-08. Deretter ble arbeidsfeltet utvidet og navnet endret til LOG (Leverandørnett Olje og Gass), før det i 2009 også innlemmet arbeid med fornybar energi og skiftet navn til Navitas Network.

Navitas Network samarbeider med tilsvarende nettverk i utlandet – spesielt i Tyskland.

### INTPOW (Norwegian Renewable Energy Partners)

Dette er en organisasjon som OED (Olje- og Energidepartementet) har opprettet i samarbeid med næringslivet, etter samme mønster som INTSOK, med formål å samarbeide om internasjonalisering av norske selskaper som arbeider med fornybar energi.

## 1.5 Muligheter for maritim klynge

Videre i denne rapporten vil vi beskrive utfordringer og muligheter for den maritime klyngen på Møre i forhold til denne nye markedssektoren. Vi skal etter hvert dele de viktigste maritime aktivitetene inn i

- Kartlegging, bunnpreparering og kabellegging offshore
- Installasjon av fundamenter på havbunnen
- Installasjon av vindmøller på fundament offshore
- Generell forsyning og offshore service, både i utbyggingsfasen og i driftsfasen

Vi tror at rasjonell industriell deleproduksjon til flere parallelle utbyggingsprosjekt og innovative logistikkløsninger som flytter mer av jobben fra sjø til land, samt smarte "lette" løsninger offshore er kjerneutfordringene. Her kan erfaring og kompetanse opparbeidet gjennom mange år med utvikling av rasjonelle fartøy og tjenester for petroleumsprosjekter offshore gjøre maritim klynge godt kvalifiserte til å delta i håndteringen av disse utfordringene.

Dette arbeidet vil også inkludere utvikling av effektive landbaser som leverer til utbyggingsprosjektene offshore, og vi registrerer at den største norske baseoperatøren for petroleumsvirksomheten, NorSea Group, har definert baseoperasjoner for offshore vindkraft som strategisk satsingsområde.

På hvilken måte kan så maritim klynge bidra? Dette kan skje ved deltakelse i utvikling av logistikk og fartøy både for operasjoner i utbyggingsfasen og drifts-/vedlikeholdsfasen. Det bør skje involvering allerede på konseptstadiet for utbyggingsprosjektene, og det bør søkes å utvikle standardiserte løsninger som kan benyttes for flere utbyggingsprosjekt for å dele på investeringskostnadene.

## 2. MARKEDSKARAKTERISTIKA

### 2.1 Offshore vindkraft

Gjennom oppbremsing og spredning av frie vindstrømmer kan vindmøller utnyttes til fornybar energiproduksjon. Landbaserte vindkraftanlegg har eksistert lenge, men det siste tiåret har det vokst fram en sterk interesse også for offshore vindkraftproduksjon, spesielt i Nord-Europa. De viktigste fordelene med å etablere slike anlegg offshore er kraftigere og mer stabile vindressurser som kan gi større og mer jevn energiproduksjon, i tillegg til at det forventes færre konflikter med andre brukerinteresser enn det som er tilfelle for landbaserte vindkraftanlegg.

Samlet installert kapasitet for vindkraftproduksjon globalt var i 2009 160 GW, som tilsvarer om lag 2 % av verdens elektrisitetsproduksjon. Europa har lenge vært ledende i utviklingen av vindkraft og står for om lag halvparten av installert kapasitet. Samtidig er USA og Kina i ferd med å trappe opp sine investeringer i vindkraft, og stod for 60% av den nye kapasiteten som kom i produksjon i 2009.

Det ble i 2009 installert 454 MW i ny kapasitet fra offshore vindkraft, og den samlede kapasiteten på offshoreanlegg er 2 GW.

Offshore vindkraft utgjør fortsatt en liten del av både installert og tilført ny kapasitet, og *bare 1,2 % av den globale vindkraftproduksjon skjer offshore.*

Potensialet for å øke landbasert vindkraftproduksjon begrenses av tilgang på egnede arealer og konflikter med andre interesser. Ved å flytte vindkraftproduksjonen offshore åpnes store nye arealer, samtidig som konfliktpotensialet er mindre. Videre er de fysiske forutsetningene bedre offshore; gjennom mere stabile vindforhold, mindre turbulens og flere produksjonsdøgn. Dette gir muligheter for en jevnere og mer forutsigbar energiproduksjon enn landbaserte anlegg. Samtidig innebærer offshore vindkraftproduksjon mer krevende værforhold, mer kompliserte installasjons- og vedlikeholdsoperasjoner og dermed også høyere investerings- og vedlikeholdskostnader.

### 2.2 Ambisjonene og planene er politisk drevet

Den europeiske bransjeorganisasjonen for vindkraft EWEA (European Wind Energy Association) oppjusterte i mars 2009 *ambisjonene for offshore vindkraftproduksjon i Europa til 40 GW*. Dette vil kreve at installasjonen av ny kapasitet økes fra gjennomsnittlig 366 MW i 2008 til 6900 MW i 2020, tilsvarende en vekst i årlig installasjon av ny kapasitet på 28%. Til sammenligning økte installert kapasitet for landbasert vindkraft med 32% pr år i perioden 1992-2004.

Landene som sokner til Nordsjøen er i dag ledende både teknologisk og industrielt i utviklingen av offshore vindkraft, der Storbritannia har det klart største ambisjonsnivået. Samtidig har også bl.a. USA og Kina store arealer med grunne havområder som egner seg for offshore vindkraftproduksjon, nært store befolkningskonsentrasjoner, og er i ferd med å trappe opp forskning og investeringer i teknologiutvikling. USA er i dag ledende innen landbasert vindkraft, og flere delstater på østkysten og rundt Great Lakes er i ferd med å etablere planer for offshore vindkraftanlegg. China har installert et første offshore pilotanlegg ved Shanghai Donghai Bridge, og myndighetenes mål for offshore vindkraft-

produksjon er 30 GW i 2020. Landene i Asia og Nord-Amerika regnes imidlertid å ligge noen år etter Europa både i planlegging og gjennomføring.

*Utviklingen av offshore vindkraft er i all hovedsak politisk drevet.* Til grunn for de omfattende planene i Europa ligger EU's 20-20-20 målsetting<sup>4</sup> og Fornybar-direktivet<sup>5</sup> som pålegger medlemslandene å øke sin produksjon av fornybar energi. Med 38% av den nye kapasiteten i elektrisitetsproduksjon i 2009, er vindkraft i dag den viktigste kilden for tilførsel av ny kapasitet for elektrisitetsproduksjon i Europa. Skal det være mulig å nå målene i EU's energi- og klimapolitikk kreves omfattende investeringer i nye energikilder, og vindkraft er i dag en av de mest aktuelle kildene for fornybar energi, både teknologisk og kommersielt.

Den politiske interessen for økt produksjon av fornybar energi har også andre motiver enn de rent miljøpolitiske. Nedbyggingen av kullkraftproduksjon gjør at mange europeiske land blir mer avhengige av eksterne energileveranser. Tilsvarende innebærer også økt avhengighet av kjernekraft og gasskraft en potensiell sikkerhetspolitisk risiko, og nasjonal sikkerhet for framtidig energiforsyning blir mer vektlagt i mange europeiske land. Dette tilsier en energipolitikk som baserer framtidig energiforsyning på flere kilder, og en minimumsandel innenlands energiproduksjon.

Behovet for en mer bærekraftig energiforsyning for Europa gjør at det er stor politiske interesse for og vilje til å investere i nye energikilder, og dette er den viktigste driveren også for utviklingen av offshore vindkraft. Dette innebærer samtidig at utviklingen er sårbar for endringer i politiske rammebetingelser og prioriteringer.

### **2.3 Vindkraft sin rolle i energimarkedet er usikker**

De viktigste kildene for produksjon av elektrisitet til europeiske energimarkeder<sup>6</sup> er kull, gasskraft, atomkraft og vannkraft. Vindkraft spiller i dag med sine snaut 60 GW, som andre fornybare energikilder, en forholdsvis marginal rolle i energiforsyningen i Europa.

Samtidig skjer det en konvergens mellom ulike energibærere i produksjonen av elektrisitet, som sammen med utbygging av overføringsnett gjør at de europeiske energimarkedene blir mer integrerte. En sterkere internasjonalisering av selskapene som driver energiproduksjon forsterker denne utviklingen, ved at stadig flere av de ledende nasjonale energileverandørene engasjerer seg i internasjonale prosjekter og blir aktører i et felles europeisk energimarked. Statkraft sin utvikling de senere årene illustrerer denne utviklingen, ved at selskapet både trapper opp sine investeringer i utlandet og sin aktivitet i utviklingen av fornybar energiproduksjon.

---

<sup>4</sup> Angir EU's klimamålsettinger om at EU-landene samlet innen år 2020 skal oppnå 20% reduksjon i utslipp av klimagasser, at fornybar energi skal utgjøre 20% av energiproduksjonen og at energiforbruket skal reduseres 20% gjennom energieffektivisering .

<sup>5</sup> Formålet i EU's fornybar-direktiv er at andelen fornybar elektrisitet av EU-landenes totale el-konsum skal øke og utgjøre 22,1 % i 2010, mot 13,9 % i referanseåret 1997. Direktivet definerer hvilke energikilder som er fornybare og angir hvordan de enkelte medlemsland skal fastsette nasjonale mål for økt produksjon av fornybar energi. Regjeringen har tilkjennegitt at Norge vil slutte seg til Direktivet, men hvordan det vil bli implementert er foreløpig ikke avklart.

<sup>6</sup> Kapasiteten i EU-landenes kraftproduksjon var i 2007 i flg. tall fra IEA for kull 200 GW, gasskraft 175 GW, atomkraft 130 GW, vannkraft 140 GW, vindkraft 60 GW, mens andre fornybare energikilder utgjorde til sammen 25 GW.

Vindkraft er "ferskvare" som ikke kan lagres, og som krever samordning og samkjøring med andre energikilder for å kunne gi stabil og sikker elektrisitetsproduksjon. Planene for utbygging av offshore vindkraft i Nordsjøen vil bety at kraftproduksjonen vil bli liggende langt unna tyngdepunktet for kraftforbruket Europa og *innebærer implisitt behov for stor overføringskapasitet*. Produksjonen av vindkraft vil være styrt av værforhold, noe som øker behovet for transport av kraft mellom regioner og land fra områder med midlertidig overskudd til områder med midlertidig underskudd. Siden produksjonen av vindkraft er ustabil og væravhengig vil overføringskapasitet også være viktig for forsyningssikkerheten, og begrense behovet for reservekapasitet fra andre energikilder.

En av de viktigste flaskehalsene for oppbyggingen av offshore vindkraftproduksjon i Nordsjøen er mangelen på en tilstrekkelig infrastruktur i form av et offshore overføringsnett for kraft. Ansvarsforholdene, arbeidsdelingen og finansieringsmodellene for utbygging av slik infrastruktur mellom myndigheter og utbyggere er uklare. Ni av landene som sogner til Nordsjøen (Sverige, Danmark, Storbritannia, Irland, Frankrike, Tyskland, Belgia, Luxembourg og Nederland) lanserte i 2009 et felles politisk initiativ om å utrede en "supergrid" i Nordsjøen - "North sea offshore grid initiative" – som *et felles distribusjonsnett som kan transportere kraft produsert i Nordsjøen*. Norge har senere besluttet å knytte seg til dette utredningsarbeidet.

Et slikt overføringsnett er viktig både for å koble offshore produksjonsanlegg til det europeiske kraftnettet og for å kunne utnytte vindkraftressursene bedre gjennom å dekke et større havområde. Et slikt overføringsnett er nødvendig for å samkjøre vindkraftproduksjon med andre energikilder, der gasskraft og vannkraft er de mest aktuelle energikildene. Norge har alene ca 50% av magasinkapasiteten for vannkraft i Europa og kan fungere som "batteri" for europeisk vindkraftproduksjon ved å redusere vannkraftproduksjonen i perioder med stor vindkraftproduksjon. Tilsvarende rolle kan norsk naturgass kunne ha i en slik samordning med vindkraftproduksjon.

Formatet på framtidige produksjon av fornybar energi avhenger av ambisjonsnivået i framtidige klimaavtaler og prisutviklingen for CO<sub>2</sub>-utslipp. Utvikling av fornybar energi-produksjon i større skala vil kreve omfattende støtteordninger både nasjonalt og internasjonalt. I tillegg er det til dels store avvik mellom politiske ønsker og faktiske markedsmessige tilpasninger i ulike deler av energibransjen. Integrasjon mellom ulike (del)markeder og flaskehals i overføringsnettet skaper ytterligere begrensninger for den praktiske realiseringen.

Den framtidige betydningen som offshore vindkraft, og andre fornybare energikilder, vil få i europeiske energimarkedet er i dag usikker og uklar, både når det gjelder *størrelse og den rollen som vindkraft kan ha i mix'en av ulike energikilder*. Hvilket realiseringsnivå som kan forventes, vil avhenge av ambisjonsnivået i framtidige klimaavtaler, prisutviklingen for CO<sub>2</sub>-kvoter og hvordan de markedsmessige utfordringene blir håndtert. Utbygging av et felles overføringsnett mellom Nordsjølandene vil være en forutsetning for at planene om offshore vindkraftproduksjon i stor skala skal kunne realiseres.

## 2.4 Overnasjonale løsninger kan forventes

Flere ulike forhold tilsier at det kreves et sterkere internasjonalt samarbeid og felles rammebetingelser hvis offshore vindkraft skal få en viktig rolle i den framtidige energiforsyningen i Europa. En tung satsing på vindenergiproduksjon i Nordsjøen utenfor det enkelte lands territorialgrense (12 nautiske mil) vil kreve samordning og sameksistens med en rekke andre brukere av de samme havområdene (skipstrafikk, fiskeri, olje- og gassproduksjon mv), også innenfor det enkelte lands økonomiske sone. Det er lang tradisjon for internasjonalt samarbeid og overnasjonale reguleringer i bruken av havområder, og mange forhold tilsier at dette også vil komme i forhold til offshore vindkraft.

Utformingen og implementeringen av energi- og klimapolitikken i Europa skjer i dag nasjonalt, og målene og planene for satsing på fornybar energi blir i utgangspunktet fastsatt i det enkelte land. Dette gjør at både landene og de kommersielle aktørene pr i dag har svake incitament for å realisere et felles overføringsnett, en samordnet arealdisponering og andre rammebetingelser som vil være viktige for offshore vindkraftproduksjon. EU-kommisjonen har kunngjort lansering av en slik "Infrastructure package" høsten 2010.

## 2.5 Offshore vindkraft krever store subsidier

Vindkraft er ved siden av vannkraft den viktigste fornybare energikilden som utnyttes kommersielt. Produksjonskostnadene for nye landbaserte vindkraftanlegg ligger i størrelsesorden 60-80 øre pr kWh. Produksjonskostnadene for offshorevindkraft ligger vesentlig høyere.

Land	Euro pr MWh	NOK pr kWh
Belgia	173	1,36
Tyskland/Nederland	180	1,41
UK	182	1,43

Tabell 2.1 Anslåtte produksjonskostnader for nye felt

Kilde: European Energy Review

Prisene på elektrisk kraft som oppnås for langtidskontrakter på Nordpool for levering i 2015 ligger i dag på 38 øre, mens produksjonskostnad for ny offshore vindkraft ligger opp mot NOK 1,40 pr kWh. Produksjonskostnadene for nye installasjoner av offshore vindkraft ligger m.a.o. i dag om lag 3,5 ganger høyere enn markedsprisen for elektrisk kraft, noe som betyr at det kreves *omfattende offentlige subsidier for at investeringer i vindkraftproduksjon skal bli bedriftsøkonomisk lønnsomme for utbyggerne.*

De vanligste støtteordningene som benyttes er:

- *Grønne sertifikater*, som forenklet fungerer slik at produsenter av fornybar energi tildeles et sertifikat tilsvarende energimengden de produserer. Det skapes et marked for dette sertifikatet gjennom at forbrukerne pålegges å kjøpe sertifikater i et visst forhold til forbruket av ordinær energi. De grønne produsentene selger



kraften som produseres i det ordinære energimarkedet og sertifikatet i det finansielle markedet. Samlet skal verdien av energien og verdien av sertifikatet tilsvare kostnaden ved å produsere grønn energi på marginen.

- *Feed-in tariff* innebærer forenklet at myndighetene gir en fast produksjonsstøtte for hver kwh som produseres av fornybar energi. Støtten finansieres ved avgift på annen energiproduksjon.
- *Investeringsstøtte* benyttes i tillegg i enkelte land, bl.a. Norge, for å redusere investeringskostnadene for utbygger. Støtten er vanligvis begrenset til en viss andel av kostnadsoverslaget for utbygginger som er godkjent av myndighetene.

Støtten kommer i tillegg til de inntektene som kan hentes fra markedet gjennom kraftsalg til enhver tid gjeldende markedspriser. For å redusere risikoen for utbygger opereres det for noen land og felter med garanterte kraftpriser til utbygger, og oppnådde markedsinntekter kommer til fradrag.

Rammeverket for de nasjonale støtteordningene til utvikling av fornybar energi er fastlagt i EU's statsstøttedirektiv. De enkelte lands ordninger skal samtidig notifiseres og godkjennes av EU. Støtteordningene for vindkraft er i utgangspunktet nasjonale, og den detaljerte utformingen, sammensetningen og varigheten av ulike ordninger varierer mellom land. Dette forhindrer ikke at formatet på støtten pr produsert kWh i dag er om lag på samme nivå i Storbritannia, Tyskland, Nederland og Belgia, mens støttenivået i Danmark ligger en god del lavere.

Som en del av EU's tiltakspakke etter finanskrisen ga EU-kommisjonen i 2009 255 mill euro i direkte, engangs investeringsstøtte til 5 utvalgte vindkraftprosjekter.

Operativt blir de detaljerte vilkårene framforhandlet og fastsatt for det enkelte felt som skal bygges ut. Dette gjør at det faktiske støttenivået vil variere også innen det enkelte land og mellom felter, slik tabell 2.2 viser:

FELT	LAND	SUBSIDIE EURO PR MWh	VARIGHET	OMREGNET TIL NOK <sup>7</sup> pr kWh
SHERINGHAM SHOAL	UK	148 <sup>8</sup>	20 ÅR	1,17
HORNS REV 2	DK	69,90	12 ÅR	0,55
Nystedt II	DK	69,60	50000 driftstimer, dvs ca 14 år	
RØDSAND 2	DK	84,50	12 år	0,67
Alpha Ventus	Tyskland	150	12 år	1,18
Nye prosjekt >2015	Tyskland	130	12 år <sup>9</sup>	1,02

Tabell 2.2 Statsstøtte til utvalgte offshore vindkraftprosjekter

Kilde: European Energy Review

Utbygging av 40 GW offshore vindkraft i Europa innen 2020 vil i følge nederlandske anslag kreve opptil 80 mrd euro i årlige subsidier, og representerer i seg selv en betydelig statsfinansiell utfordring for mange av landene. Dette gjelder spesielt for Storbritannia, både ut fra formatet på planene og den økonomiske situasjonen som Storbritannia er inne i.

Formatet på investeringene, sammen med at kontraktsrett og juridiske forhold er lite utviklet, gjør at det er krevende å etablere ordinære, kommersielle finansieringspakker for offshore vindkraftanlegg. Finanskrisen har bidratt til å forsterke dette, og EIB (European Investment Bank), KfW Bankengruppe, danske Eksport Kredit Fonden og tilsvarende myndighetsinstitusjoner har derfor vært mobilisert for å etablere egnede finansielle virkemidler for sektoren. Tilsvarende har norske GIEK fått utvidet anledningen til å gi eksportgarantier for leveranser til vindkraftbransjen.

Kombinasjonen av nasjonale mål for produksjonen av fornybare energi og implementering av fornybardirektivet, nasjonale støtteordninger og mangelen på et effektivt overføringsnett for kraft bidrar i sum til å svekke mulighetene for en felles europeisk satsing på offshore vindkraft. EUs ambisjoner om å øke produksjonen av fornybar energi, sammen med en økt integrasjon av energimarkedene og internasjonalisering av energiselskapene kan peke i retning av en sterkere harmonisering av rammevilkårene og støtteordningene for offshore vindkraft i Europa. Indirekte vil dette på sikt kunne endre forutsetningene for satsing på offshore vindkraft også i Norge.

<sup>7</sup> 1 EURO = 7,87 NOK

<sup>8</sup> Tilsvarende verdien av 2 stk Renewable Obligation Certificates a 50 Euro + 1 LEC 4 Euro + 44 Euro garantert pris

<sup>9</sup> Varigheten forlenges med 0,5 mnd ekstra pr naut mil for felter som ligger >12 naut mil fra land, og 1,7 mnd pr m for dybder > 20 m

## 2.6 Offshore vindkraft er en ny næring

Ut fra formatet og alderen på feltene som er i produksjon, må *offshore vindkraft i dag karakteriseres som en ung, liten og umoden næring*. De feltene som er utbygd har vært i produksjon en kort periode og preges av mange "barnesykdommer" rent driftsmessig. Så langt ligger nesten alle feltene forholdsvis nært land (maks 20 km), alle er plassert på sedimentbunn, i områder med liten dybde (max 20 meter) og i forholdsvis smule farvann. Dette har sammenheng med at konseptene og teknologien primært er utviklet for landbaserte installasjoner, som siden er utplassert i sjø.

Konseptene som så langt er benyttet har utgangspunkt i landbaserte løsninger og teknologi, og er *i liten grad tilpasset for maritime forhold*. Dette gjelder også valg av utbyggingsløsninger og gjennomføringen av ulike maritime operasjoner for å installere fundamenter og møller. En rekke av innkjøringsproblemene for offshore vindkraftanlegg har også sammenheng med at aktørene (både utbyggere og underleverandører) kommer fra landbasert vindkraftindustri, og mangler erfaringer med å operere i maritime miljøer.

Det er først helt nylig at det er igangsatt teknologiutviklingsprosjekter og utvikling av utbyggingskonsepter som tar utgangspunkt i at feltene skal ligge offshore. Ut fra dette kan vi forvente at det vil skje en spesialisering i vindkraftindustrien med utvikling av teknologi, aktører og utbyggingsløsninger for offshore vindkraft. De fleste turbinprodusentene er i ferd med å utvikle turbinløsninger, fundamenteringsløsninger og designløsninger for øvrig som er spesialiserte for offshore. Tilsvarende må forventes å skje også i utviklingen av installasjons- og vedlikeholdskonsepter, herunder tilknyttede maritime operasjoner.

## 2.7 Utviklingen av næringen vil være internasjonalt drevet

Flere av landene som har annonsert store ambisjoner innen offshore vindkraft, med Storbritannia i spissen, begrunner dette også med mulighetene dette vil gi for industriutvikling og nye arbeidsplasser. Både energimarkedene, de kommersielle aktørene i energibransjen, teknologileverandørene og kunnskapsutviklingen som skjer innen offshore vindkraft er samtidig preget av internasjonalisering.

Myndigheter, kraftprodusenter og utbyggere vil ha ønske om å spre risiko, utveksle teknologi, lære underveis og begrense finansiell eksponering. Dette gjør at vi kan forvente at utviklingen av offshore vindkraft vil være internasjonalt drevet, og industrielt bli en utpreget global næring. Formatet på investeringene som planlegges peker i samme retning. Det kan ut fra dette forventes relativt likeverdige konkurransevilkår og støtteordninger for landene rundt Nordsjøen.

## 2.8 Produsenter, leverandører og relaterte næringer

Selskapene Dong Energy, RWE og E.On er i dag de ledende *produsentene* i det europeiske markedet for offshore vindkraft. Danske Dong Energy stod for 55 % av den nye kapasiteten som ble installert i 2009 og dominerer aktivitetene i Danmark og UK. RWE har en tilsvarende posisjon i utviklingen av offshore vindkraft i Tyskland. Fra norsk side har Statoil og Statkraft engasjert seg i offshore vindkraft, i første rekke i Storbritannia som eiere av Scira (med 50 % hver), som står for utbyggingen av Sheeringsham Shoal og som

deltakere i Forewind (med 25 % hver) som har rettighetene til utbyggingen av Doggerbank.

Antallet aktører som engasjerer seg i offshore vindkraft er økende, og det er en tendens i retning av at nasjonale energiselskaper går inn i konsortier som planlegger utbygging av nye felt. For å spre risikoen organiseres utbyggingen av nye felter gjerne i konsortier der flere energiselskaper deltar.

*Produksjonen av turbiner* har lenge vært den viktigste flaskehalsen på leverandørsiden. Med 90% av levert turbinkapasitet har Siemens og Vestas vært helt dominerende i turbinmarkedet fram til i dag. Turbiner utgjør den klart største komponenten rent kostnadmessig, med 50 – 60 % av investeringskostnaden for offshore vindkraftfelt. Typisk turbinstørrelse er i dag ca 3 MW, men ventes å øke framover til 3-5 MW. Behovet for nye turbintyper gjør at det i løpet av de siste årene dukket opp en rekke nye turbinleverandører.

Det finnes 7-8 ulike prinsipper for *fundamentering*. Fundamentering står for 25 % av kostnadene. I praksis dominerer monopæler som metode og 65 % av møllene som er installert har slikt fundament. De viktigste leverandørene av fundamenter er MT Højgård, Smulders, Bilfinger Berger, Per Aarsleft, Bladt, BiFab, Aker og Bard.

På *installasjonssiden* er det i dag en rekke, mer eller mindre spesialiserte, aktører på markedet med A2Sea (eid av Dong) som den ledende. Installasjonskostnadene utgjør 15 % av utbyggingskostnaden, mens nett-tilknytning står for 10 %.

Utbyggerne kan i utgangspunktet forventes å ønske færrest mulig leverandører og å organisere utbyggingene i totalkontrakter. *Risiko, egenkapitalkrav og finansieringsmuligheter tilsier imidlertid at bransjen vil vegre seg for dette og heller strukturere gjennomføringen av utbygginger av nye, større felt i konsortier*. Slike konsortier kan bli etablert både på utbyggerensiden og leverandørsiden for de ulike feltene. Slike konsortiedannelser kan virke strukturere (typisk 10 – 15 multikontrakter på leverandørsiden), og er mer sannsynlig for avgrensede deler av verdikjeden og leveranser enn framveksten av en bransje med få, dominerende totalleverandører. Vi forventer samtidig at turbinprodusentene vil forsøke å opprettholde sin posisjon, dels gjennom oppkjøp av nye inntrengere i dette markedet og dels gjennom en integrasjon med installasjonsselskapene.

Utbygging av offshore vindkraft er i dag preget av skreddersydde løsninger for det enkelte felt både leveransemessig og gjennomføringsmessig. Utbyggingene er basert på sammenstilling og installasjon av enkeltkomponenter heller enn integrerte systemløsninger. Dette innebærer *liten grad av standardisering og effektiv utnyttelse av stordriftsfordeler i bransjen*, både i komponentproduksjon og installasjon på feltene. De enkelte felt legger hver for seg beslag på store deler av kapasiteten i bransjen, både i komponentproduksjon og utbygging. Samtidig er det lite samordning av utbyggingsplanene på tvers av land og felter. I og med at utbyggingen av feltene innebærer gjennomføring av en serie likeartede (repetitive) operasjoner, ligger forholdene godt til rette en slik standardisering for å redusere kostnader.

## 2.9 De viktigste utfordringene framover

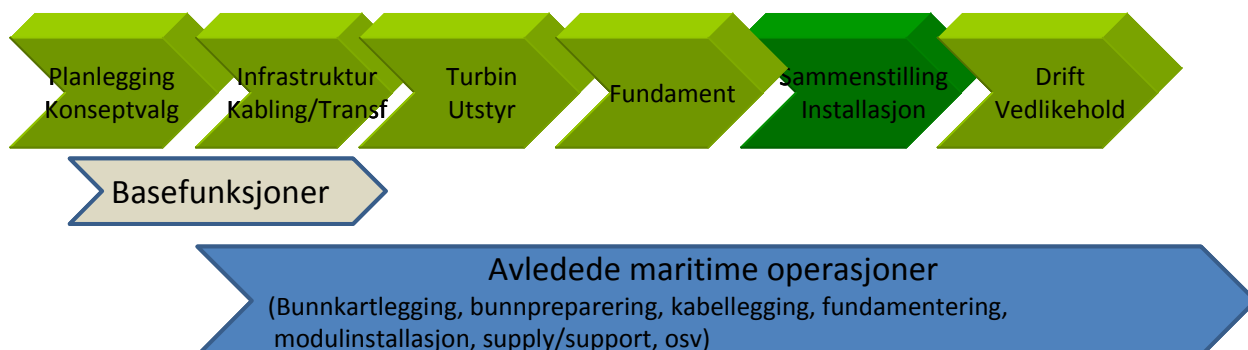
Den framtidige utviklingen av offshore vindkraft i Europa avhenger av to fundamentale forutsetninger; For det første bransjens evne til å *reducere produksjonskostnadene vesentlig i forhold til dagens nivå*, og for det andre *myndighetenes evne og vilje til å subsidiere og støtte oppunder utviklingen av bransjen* på andre måter. Pr i dag er avstanden mellom produksjonskostnader for offshore vindkraft og markedsprisen for elektrisk kraft så stor at det vil kreve svært store subsidier og stor vilje både hos politikere og forbrukere å satse på offshore vindkraft i større skala.

Dagens produksjonskostnader for offshore vindkraft ligger 3-4 ganger høyere enn markedsprisen for kraft i de landene som satser tungt. Uten at det skjer en dramatisk reduksjon i kostnadsnivået vil neppe de omfattende planene som foreligger for å etablere nye felter for offshore vindkraft være realistiske eller gjennomførbare rent finansielt. Det er derfor behov for "massive" kostnadsreduksjoner som må skje gjennom teknologisk utvikling, infrastrukturinvesteringer, standardisering og mer effektive utbyggingsløsninger. Selve gjennomføringen av utbyggingene, både operasjonelt og logistikkmessig, spiller en nøkkelrolle for kostnadsnivået. Både myndigheter og utbyggere vil ha hovedfokus på kostnader og vil velge anbuds- og kontraktstrukturer som driver fram innovasjon og kostnadsutt.

Norsk maritim industri har gjennom utviklingen av offshore olje- og gassproduksjon bygget opp betydelige erfaringer og kunnskaper med krevende maritime operasjoner, som kan ha stor overføringsverdi til offshore vindkraft både i utbyggings- og driftsfasen. Den repetitive karakteren på utbyggingsoperasjonene er en av de aller viktigste forskjellene mellom offshore vindkraft og offshore olje/gassproduksjon, og en av de viktigste premissene for utviklingen av effektive logistikk-løsninger for både utbygging og drift av nye felt. De mest kritiske utfordringene for bransjen rent kostnadsmessig er samtidig de feltene der norsk maritim næring har best forutsetninger for å bidra med nye løsninger.

### 3. LOGISTIKKUTFORDRINGER

#### 3.1 Verdikjede for realisering av offshore vindkraftanlegg



Figur 3.1 Illustrasjon av verdikjede for utbygging og drift av offshore vindkraftanlegg, med tilhørende basefunksjoner og maritime operasjoner.

Proseduren for planlegging, utbygging og drift av offshore vindkraftanlegg ligner mye på prosedyrene vi kjenner fra petroleumssektoren, med konsesjonstildeling, planlegging og godkjenning av utbygging, selve utbyggingsprosjektet og til slutt en drifts- og vedlikeholdsfase. Figur 3.1 illustrerer en slik verdikjede, der hovedelementene er:

- Planlegging av tekniske løsninger og gjennomføring av alle godkjenningsprosedyrer
- Etablering av elektrisk infrastruktur, med kabelnettverk, transformatorstasjoner og ikke minst tilkobling til nettverk på land
- Produksjon av vindmøllekomponenter, der turbin, turbinhus og søyle for vindmølle er hovedbestanddelene
- Fundamentproduksjon
- Sammenstilling og installasjon offshore
- Driftsfase

For maritime aktører vil det underveis i slike prosjekt være mange oppdragsmuligheter, som for eksempel:

- Bunnkartlegging, bunnpreparering, inspeksjon og overvåking av bunninstallasjoner
- Kabellegging og montasje av transformatorplattformer osv.
- Fundamentering og installasjon av vindmøllefundament
- Utfrakting av sammenstilte vindmølledeleer og utstyr, som preges av store dimensjoner og store vekter
- Maritime operasjoner knyttet til selve vindmølleinstallasjonen
- Forsyning til offshoreinstallasjonene, både i utbyggings- og driftsfasen
- Vedlikeholdsoperasjoner i driftsfasen

Det er mange forhold som vil påvirke både valg av tekniske løsninger og ikke minst planleggingen av selve utbyggingen:

- Havdybde og topografiske forhold påvirker valg av fundamentløsninger og kabelnettverk
- Avstand til landbase og arbeidsdelingen mellom sammenstilling ved landbase og sluttinstallasjon offshore, det vil si logistikk-løsningen for komponentsammenstilling og installasjon offshore, blir viktige parametere for utbyggingskostnadene. I avsnitt 3.3 kommer vi tilbake til alternative prinsipp-løsninger
- Samarbeid og synkronisering av mange delleveranser som til slutt inngår i en felles installasjon offshore blir en sentral og kostnadskritisk oppgave

Slike installasjoner vil på samme måte som offshoreinstallasjoner for olje- og gassutvinning få vesentlige maritime aktiviteter også i drifts- og vedlikeholdsfasen. Det spesielle med vindkraftanleggene blir at oppgavene får repetitiv karakter – det vil si at det vil være mye å hente på standardisering av både utstyr og arbeidsprosedyrer som kan gjentas effektivt for like installasjoner. I ennå større grad enn for petroleumsvirksomheten gjelder det å finne fram til rasjonelle løsninger for repetitive oppgaver.

### 3.2 Typisk kontraktsstruktur – hovedelement i utbyggingsprosjekt

## Overall Procurement Strategy

Recommended contract structure:

Components / Activities	Project Mgm	Lead Interface Coord.	Detail Engineering and Procurem.	Manufact./ Fabrication	Assembly and testing at fabrication yard	Transp. to field site	Field work / Installation	Field hook-up and testing assistance		
WTGs and Towers (EPCI)	Scira		WTG EPCI					Installation Contract		
WTG installation vessel										
Electrical System Infrastructure (ESI) incl. Offshore substations topside and Onshore Substation Salle			Electrical System Infrastructure EPCI							
Installation of Offshore Substations topside								Installation Contract		
Offsh. foundation structures			Foundations EPCI							
Infield cables			Infield Cables EPC			Infield Cables Installation				
Subm. export cables			Subm. export Cables EPC			Subm. Export Cables Installation				
Onshore cables insallation			Onshore Cables EPCI							
Regional grid updating			EDFE							
National grid updating			NGT							

Figur 3.2 Kontraktsstruktur for Sheringham Shoal-utbyggingen (Kilde: Statoil-Scira-presentasjon).

Fra starten av etterlyste utbygger-selskapene for offshore vindkraft totalleverandører som kunne levere ferdige "turnkey" løsninger. Ganske fort landet aktørene på kontraktsmodeller med et sett hovedleverandører - med et mønster som vi kjenner til fra petroleumssektoren - som gir risikofordeling i verdikjeden, men som også gir utfordringer for utbygger-selskapet som skal planlegge og synkronisere alle delleveransene. Ikke minst blir det mye grensesnittproblematikk mellom de forskjellige delkontraktene.

Eierne av Sheringham Shoal-feltet – Statkraft og Statoil – har sammen etablert utbyggingselskapet Scira. Figur 3.2 illustrerer den kontraktsstrukturen som Scira har etablert for utbyggingen av Sheringham Shoal-feltet, og denne inneholder mange typiske delkontrakter. Vi skal kommentere noen av disse, med fokus på logistikkutfordringer.

### Elektrisk fordelingsnettverk

Det elektriske nettverket, med både kabelproduksjon og bygging av elektriske kabelnettverk offshore og på land, inklusive integrasjon med eksisterende kabelnettverk på land, samt bygging og installasjon av transformatorstasjoner, gir grunnlag for mange delkontrakter i dette eksemplet. Den norske delen av Nexans har ansvar for produksjon og legging av sjøkabler. Kabelleggingsskipet C/S Nexans Skagerrak er bygget om for formålet.

I forhold til maritime operasjoner blir selve kabelleggingen og installasjon av transformatorstasjoner (plattformer) offshore de viktigste oppgavene. Bunnkartlegging og inspeksjon av undervannsinstallasjoner vil også måtte inngå.

### Vindmøllfundament

I Sciraprojektet er det etablert en egen EPCI-kontrakt (Engineering, Procurement, Construction and Installation) for leveranse av 88 ferdig installerte vindmøllfundament. Danske MT Højgaard har ansvar for totalleveransen. Produksjonen av fundamentene er satt bort til Sif Group B.V. Nederland og installasjonsarbeidet offshore skal utføres av tungløftsriggen Svanen fra Ballast Nedam Offshore, Nederland.

### Vindmølleproduksjon og offshoreinstallasjon

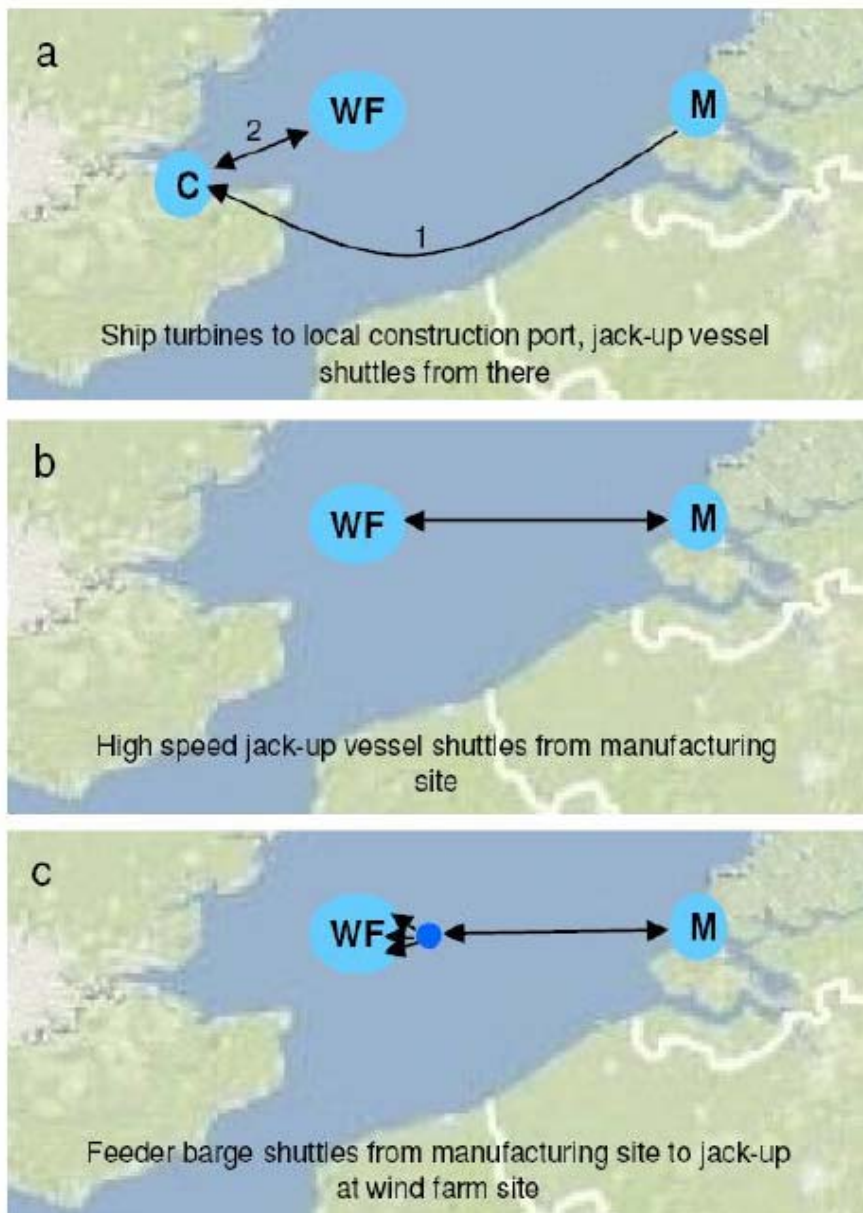
MT Højgaard har en EPC-kontrakt på planlegging, innkjøp og bygging av selve vindmølleparken offshore. Det skal etableres en sammenstillingsbase i Esbjerg. Der samles komponenter for delmontasje før skiping til Sheringham-feltet. Turbinene, som kommer fra Siemens i Tyskland, kjøres inn med spesialbygde, store kjøretøy som har spesiell kjøretillatelse for denne transporten, som gjennomføres om natten.

Selve installasjonsoppgaven offshore (inklusive montasje av to transformatorstasjoner) utgjør en egen kontrakt som skal utføres av norske Master Marine, som skal bruke jack-upriggen Service Jack 2. Denne riggen skal leveres fra Batam-verftet i Indonesia høsten 2010, og selve installasjonsarbeidet skal gjennomføres i løpet av 2011.

I dette prosjektet er det planlagt å frakte moduler til vindmøllesøylene, naceller og vinger med frakteskute fra Esbjerg til montasjeriggen på feltet (ca. 180 nautiske mil). Installasjonsriggen skal ved hjelp av to 750 tonn kraner foreta sammenstilling og installasjon av ca. i gjennomsnitt to vindmøller pr. uke i løpet av 2011.



### 3.3 Alternative installasjons- og logistikkløsninger



Figur 3.3 Alternative logistikkløsninger for installasjon av vindpark offshore.

I forbindelse med planlegging av konsesjonsrunde nr. 3 i Storbritannia, lanserte Supply Chain Manager Adrian Fox fra The Crown Estate alternative muligheter for framføring og installasjon av vindturbiner offshore, illustrert i figur 3.3.

Første alternativ er logistisk sett det mest rasjonelle – med en montasjestasjon i land med kort avstand til feltet. Problemet i dette tilfellet er at Storbritannia har få egnede lokaliteter for slike formål – mest på grunn av topografi, med grunne og værutsatte kyster med stor tidevannsforskjell – men også på grunn av at dette blir svært arealkrevende anlegg. Dette alternativet medfører også et fartøyvalg som har begrensninger: En oppjekkbar rigg som selv skal frakte vindmøllekomponenter fra land.

Andre alternativ er basert på at montasjestasjonen ligger lenger unna – en av grunnene kan være kortere avstand til de som leverer komponentene. Dette alternativet er igjen basert på et fartøy som kombinerer utfrakting av deler og selve installasjonsoppgaven på feltet. Det kan stilles spørsmål ved om et "high speed jack-up vessel" er en rasjonell og hensiktsmessig teknisk løsning.

I alternativ C er det foreslått å bruke to forskjellige fartøy til frakting av vindmøllemoduler ut til feltet og til selve installasjonsarbeidet. For Sheringham Shoal-utbyggingen skal den norske leverandøren Master Marine basere sitt installasjonsoppdrag på frakting av moduler fra Esbjerg til feltet med ett fartøy, mens installasjonsriggen skal forflytte seg fra 88 ganger i løpet av 2011 mens den installerer de 88 vindmøllene ved hjelp av to 750 tonns kraner – se illustrasjonen av riggen i figur 3.4.

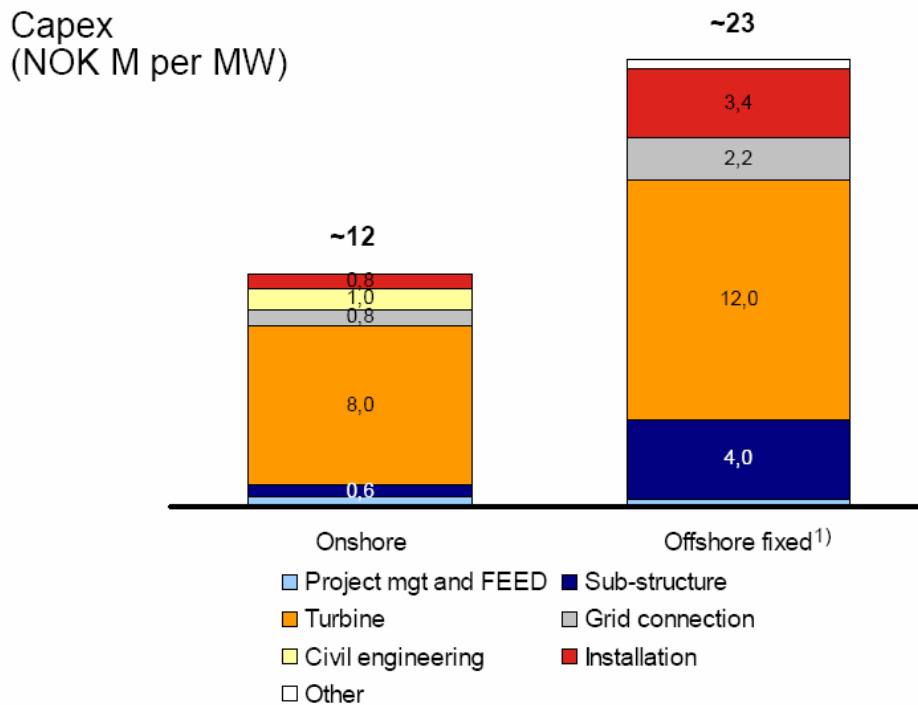


Figur 3.4 Illustrasjon av Master Marine sin jack-up rig Service Jack 2 for installasjon av vindmøller på Sheringham Shoal-feltet.

### 3.4 Leverandørutvikling – Supply Chain Development

I denne bransjen er det nå stor fokus på leverandørutvikling og utvikling av løsningsmetoder for industriell produksjon av vindmøllekomponenter og installasjonsoppgaver. Dette har naturlig nok sin basis i at utbyggingsprosjektene til nå har medført et kostnadsnivå som krever for store subsidier. I sin analyse av forretningsmuligheter i denne nye industrien fant Aker Solutions ut at gjennomsnittlig kostnadsnivå for offshoreutbygginger fram til 2009 medførte utbygging av en kapasitet på 1 MW offshore kostet ca. 23 MNOK, mens tilsvarende kostnad på land var 12 MNOK. Vi ser av figur 3.5 at det ved utbygging offshore kommer til nye, vesentlige kostnadskomponenter knyttet til spesielt fundamentering, nettverkstilslutning og installasjon. Selve turbinproduksjonen, som for landanlegg utgjør 70 % av kostnaden ved utbygging, blir også vesentlig dyrere for offshore-

installasjoner, på grunn av krav som oppstår når elproduksjonen skal skje på havoverflaten.

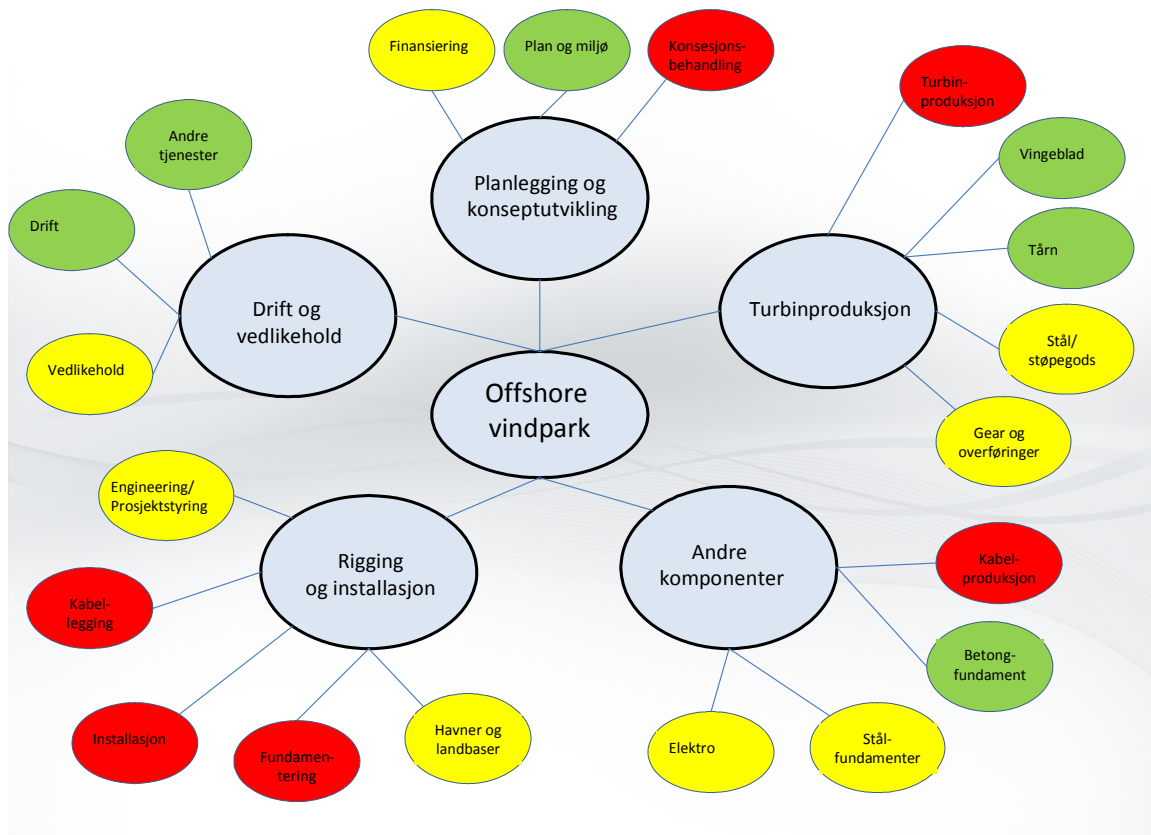


Figur 3.5 Sammenligning av gjennomsnittlig investeringsbehov ved utbygging av vindkraft på land og offshore (kilde: Aker Solutions).

Når vi i tillegg ser at kostnadsestimatene og målet for produksjonskapasitet for for eksempel Sheringham Shoal-utbyggingen medfører et investeringsbehov på mer enn 30 MNOK/MW så vil dette medføre en så stor kostnadsforskjell mellom det markedet er villig til å betale for og den inntjeningen utbygger er avhengig av at utbyggernasjonene får problem med å dekke subsidiebehovet. Her er det også interessant å merke seg at selve installasjonsarbeidet utgjør ca. 15 % av totalkostnadene i offshoreprosjektene – overført til Sheringham Shoal-prosjektet snakker vi altså om installasjonsarbeider for 1,5 mrd NOK. Det blir spesielt i denne delen av disse prosjektene mulighetene for vår maritime industri ligger.

Derfor arbeides det nå intenst med å utvikle mer rasjonelle verdikjeder. Det blir nødvendig å søke nye produkt- og produksjonsløsninger som kan få kostnadene pr. installert kapasitet ned. Gjennom det britiske Round 3-programmet er det arbeidet systematisk med kartlegging av rasjonaliseringspotensialer og leverandørutvikling. Figur 3.6 viser hvordan britiske myndigheter i forbindelse med Round 3-programmet har analysert leverandørstatus i forhold til de oppgavene som skal løses. Det er brukt en illustrasjonsmetodikk som baseres på at "godt utviklet leverandørnettverk" har fått grønn farge, mens "manglende leverandører eller løsninger" har fått rødt lys. De gule feltene betyr at det finnes rom for forbedring. På denne måten ønsker britiske myndigheter å

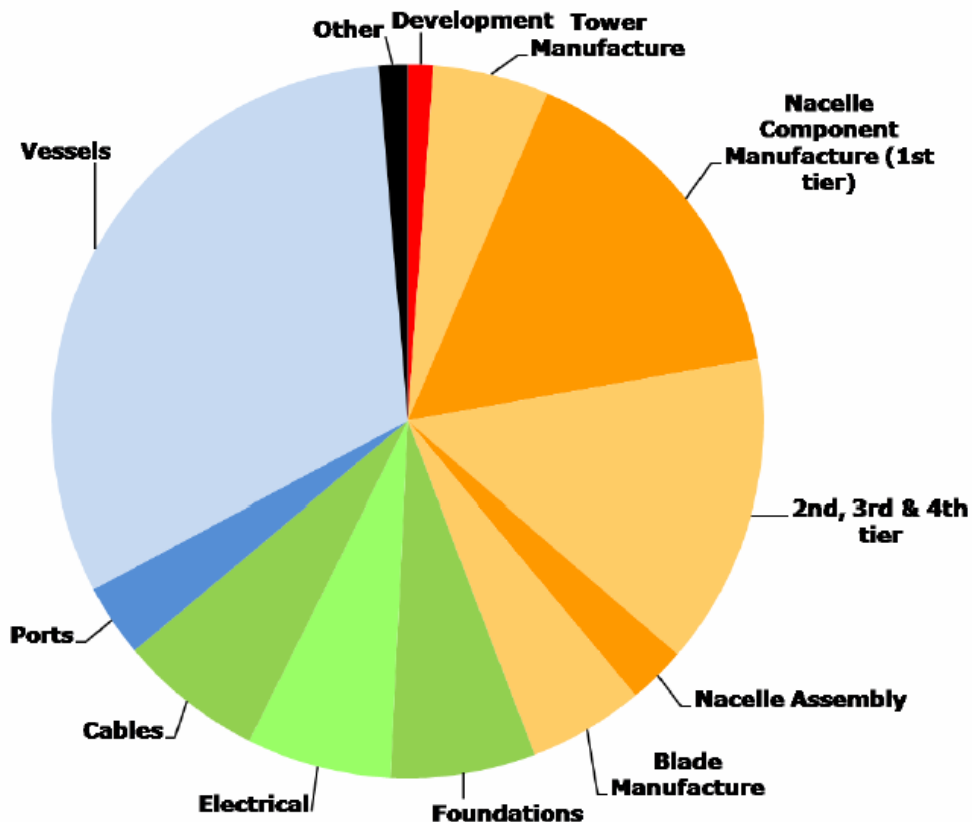
sette søkelys på nødvendig utvikling av både prosjektplanlegging, tekniske løsninger og prosjektgjennomføring for å få kostnadene ned.



Figur 3.6 Britisk vurdering av status for leverandører og gjennomføringsprosedyrer for offshore vindkraftutbygging (kilde: Britiske Department of Energy & Climate Change - DECC).

I forhold til figur 3.6 er illustrasjonen av verdikjedefelementet "Rigging og installasjon" særlig interessant, og det på disse feltene det nå utvises stor interesse fra norske aktører med erfaringer fra offshoreutbygginger i petroleumssektoren.

Til slutt i dette avsnittet om satsing på utvikling av en effektiv leverandørindustri og verdikjede for gjennomføring av offshore vindkraftutbygging skal vi se på en figur som illustrerer satsingsnivå på britisk side. Den store Round 3-utbyggingen som er omtalt i tidligere, har en oppgitt investeringsramme på omkring 700 mrd NOK (€ 90 bn). Av dette vurderes det at omkring 50 mrd NOK (€ 6+ bn) skal brukes til "Supply Chain Investments". I figur 3.7 er det illustrert hvordan britiske myndigheter ser for seg fordelingen av denne satsingen. Her går det fram at det største "bløtkakestykket" på omkring 40 % er knyttet til utvikling av "Vessels". Vi snakker altså om investeringer i installasjonsfartøy og alle andre kategorier "vessels" på formidable 20 mrd NOK. Og disse fartøyene skal være klare for operasjon i utbyggingsfasen for Round 3 – det vil si for tidsperioden 2015-2023. Dermed er vi allerede nå kommet til den tidsfasen der denne fartøysutviklingen må forseres. Et av dilemmaene blir at mens fartøyene må utvikles nå så vil ikke de store kontraktene kunne tildeles før framover mot 2014. Dermed blir aktørene tvunget til å satse store utviklingskostnader før det blir avklart om prosjektene skal realiseres.



Figur 3.7 Vurdert investeringsbehov for utvikling av leverandører og en effektiv verdikjede for utbygging av den britiske Round 3 (kilde: Britiske DECC).

### 3.5 Vurdering av dagens løsninger

Vi ser flere forhold ved utbyggingsprosjektene så langt som ikke inneholder kjennetegn for optimal logistikk – spesielt når det gjelder sammenstilling og installasjon av fundament og ferdige vindmøller. Dette går spesielt på to forhold:

- Mangel på standardiserte løsninger gir dyr "one-of-a-kind-produksjon" der det kunne spares arbeidsinnsats ved effektiv produksjon av standardiserte komponenter og økt sammenstillingsgrad tidligere i verdikjeden.
- Mangel på tekniske løsninger for uttransport installasjon av ferdigstilte fundament og vindmøller.

Dermed får vi lite gjenbruk og industriell produksjon, og vi får unødig dyre prosjektspesifikke installasjonsløsninger.

Videre kan det se ut som at manglende konkurranse i noen ledd i verdikjeden (typisk turbinproduksjon) og tildels mangel på tilpassede effektive løsninger for produksjon og montasje. Vi har for eksempel så langt ikke sett kombinasjoner av effektive montasjebaser og utstyr som kan frakte ut ferdige vindmølleenheter.



Det arbeides nå med å etablere mer anlegg for fundamentproduksjon og turbinproduksjon for flere samtidige utbyggingsprosjekt. Med skreddersydde produksjonslinjer med god metodeplanlegging og utnyttelse av prinsippene for balansert linjeproduksjon kan det spares mye arbeidstid. Høgskolen i Molde er som et eksempel involvert i Aker Solutions Verdal sin satsing på en effektiv fabrikk for fundamentproduksjon.



*Figur 3.8 Vindmøllefundament til Alpha Ventus-prosjektet levert fra Aker Solutions Verdal.*

Ut fra de presentasjonene vi har sett fra gjennomførte utbyggingsprosjekt, så er det så langt lite deling av utstyr, produksjonsfasiliteter og for eksempel installasjonsfartøy mellom de forskjellige prosjektene, selv om dette er industrielle løsninger som burde kunne samordnes både når det gjelder standardiserte komponenter og parallell utbygging der prosjektene deler på utstyr.

Et viktig mål bør være å redusere arbeidstid offshore, og dermed også kunne fjerne dyrt utstyr og folk fra installasjonsfartøyene. Når en installasjonsløsning baseres på installasjonsrigg med to 750 tonn kraner og et spesialfartøy som koster 2 mrd NOK og skal ha 250 arbeidere om bord (ref. den presenterte Sheringham Shoal-utbyggingen) så gir dette betydelige kostnader som kunne vært redusert dersom mer av sammenstillingsarbeidet kunne utføres på landbasen.

Det er nok slike argumenter som ligger bak når utbyggerorganisasjonene etterlyser både nye tekniske innovasjoner og "Supply Chain Improvement".

### 3.6 Nye løsninger - innovasjoner

Det arbeides for tiden med mange nye konsept for å forenkle og rasjonalisere installasjonsarbeidet offshore – både når det gjelder fundamentinstallasjon og vindmølleinstallasjon. De nyeste løsningene streber etter enklere installasjonsfartøy som kan installere mest mulig ferdige enheter ute på feltet, uten for eksempel dyrt håndteringsutstyr/kraner. Et problem så langt har vært at installasjonsarbeidene har krevd de største kranlekterne fra petroleumsindustrien. Sammen med arbeidskrevende montasjearbeid ute på feltene har dette gitt store kostnader knyttet til sluttmontasje og installasjon av fundamenter og vindmøller.

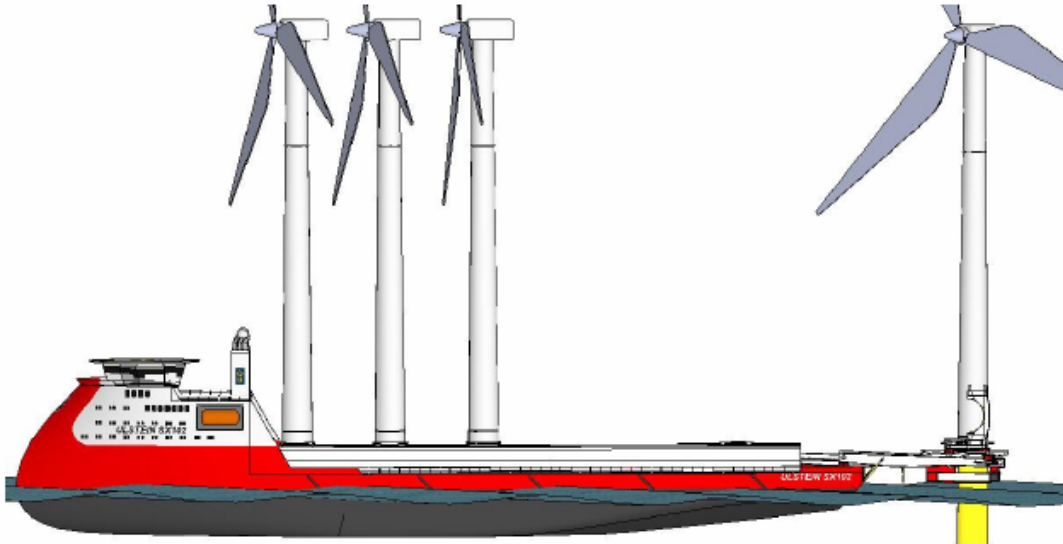
Nye løsningskonsept må ta utgangspunkt i en verdikjede der flere arbeidsoperasjoner kan skje i land, fordi arbeid offshore er vesentlig mer arbeidskrevende og utsatt for avbrudd på grunn av værforhold. Dermed tvinger det seg fram en nødvendig nytenking som ser hele verdikjeden i sammenheng, og det fundamentale spørsmålet blir hvilken totallogistikk som blir mest effektiv – det vil si hva blir den optimale arbeidsfordelingen mellom aktørene i verdikjeden fra komponentproduksjon, via montasjestasjoner til utfrakting og installasjon offshore. Mye taler for at "endelig løsning" vil bestå av utfrakting av ferdige vindmøller som plasseres på fundamenter på feltet med minimum arbeidsinnsats og med enklest mulig fartøyløsninger offshore.

Figur 3.9 viser hvordan NorWind-miljøet i Bergen ser for seg sin fartøyløsning for utfrakting og installasjon av møllefundament som er komplett prefabrikkert i land. Samme fartøy vil ha utstyr for peling av fundamentfester på havbunn. Komplette, prefabrikkerte fundament skyves ("skiddes") om bord og senkes ned på bunnfestene uten kraner – som fordyrer installasjonsfartøyene vesentlig.



*Figur 3.9 NorWind arbeider med utvikling av et skreddersydd fartøy for peling av bunnfester og installasjon av fundament.*

Neste figur 3.10 viser hvordan Ulsteingruppens enhet for "heavy offshore" – tidligere Sea of Solutions i Nederland – ser for seg et skip som kan frakte ut og installere komplette vindmøller på toppen av allerede installerte fundament.



*Figur 3.10 Innenfor Ulsteingruppen arbeides det med utvikling av nye fartøyskonsept for utfrakting og montasje av komplette vindmøller.*

Det går fram av disse eksemplene at det nå arbeides ganske intenst med å få fram nye tekniske løsninger som legger til rette for mer prefabrikasjon på land før installasjon offshore – selvfølgelig fordi arbeid offshore blir mange ganger dyrere enn tilsvarende arbeid i tilpassede landanlegg. Fra petroleumssektoren har vi mange prosjekterfaringer og kostnadsanalyser som viser at restarbeid som ikke blir utført på en plattform i land ("carry over work") blir mange ganger dyrere når folk og forsyninger skal sendes ut på feltet, tilkomst skal arrangeres osv. så blir kostnadene mangedoblet.





*Figur 3.11 Statoil sin testinstallasjon av den flytende Hywind-vindmøllen.*

Det mest radikale konseptet vi har kommet over så langt er det den tyske entreprenørbedriften Strabag som står bak. De har skissert en løsning basert på at en vindmølle med betongunderstell fraktes ut som en enhet og settes på havbunnen ved hjelp av et såkalt gravitasjonsfundament (som står oppå havbunnen).

Mye tyder for øvrig på at "endelig løsning" innebærer vindmøller som fraktes ut komplett, og som også om nødvendig kan hentes inn igjen. Da snakker vi gjerne om flytende vindmøller, som til nå er på forskningsstadiet. Det mest kjente eksemplet her er Statoil sitt Hywind-prosjekt – se bilde i figur 3.11, som nå testes utenfor Karmøy. Dette er så langt den eneste fullskala flytende vindmøllen som er etablert. En overgang til flytende møller åpner også muligheter for å utvikle kombinerte vind- og bølgekraftanlegg.

### **3.7 Trinnvis utvikling av nye løsninger**

Ved å vurdere dagens løsninger opp mot nye innovasjoner som vi vet det arbeides med, kan vi se for oss en gradvis utvikling mot nye og mer kostnadseffektive utbyggingsløsninger:

#### **2010-status    MODULINSTALLASJON OFFSHORE**

Offshorefeltene som er bygget ut til nå har basert installasjonsarbeidet på oppjekkbare rigger som får moduler fraktet ut, og som ved hjelp av kraner monterer vindmøller på ferdigmonterte fundament. Dette gir vesentlige arbeidsmengder offshore, og arbeidet offshore blir følsomt i forhold til vind og bølger. Installasjonsriggene er kostbare og det kreves innkvartering av personell ute.

### 2015-2020    **INSTALLASJON AV KOMPLETT MØLLE**

Det arbeides allerede med utvikling av nye montasjekonsept, basert på at komplette vindmøller monteres i land og fraktes ut og monteres på fundament med spesialfartøy. Dette vil redusere arbeidet offshore vesentlig, og installasjon offshore kan skje uten krav til komplisert kranutrustning. Dette medfører imidlertid krevende ingeniørløsninger for frakting og installasjon av stående møller – se eksempeltegning i figur 3.10.

### 2020-2030    **UTTAUING AV FLYTENDE VINDMØLLE**

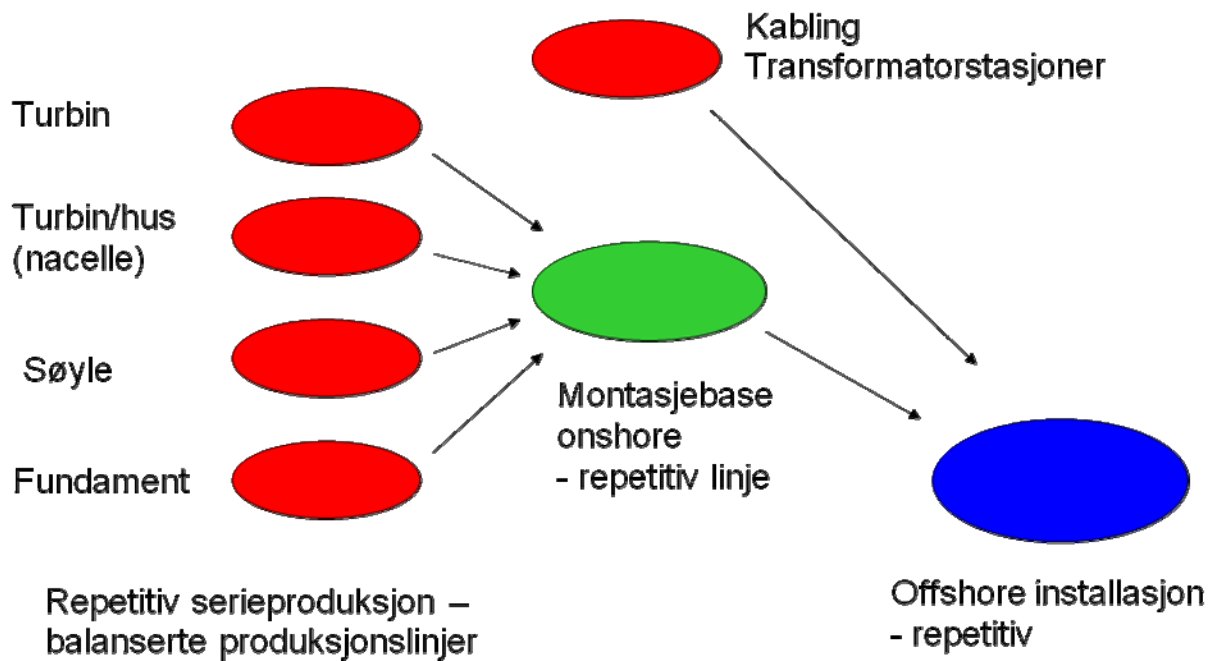
Det forskes i øyeblikket på vindmøller som kan taes ut og forankres – Statoil sitt Hywindprosjekt (figur 3.11) er et eksempel. Slike anlegg kan legges på dypt vann lengre fra land, og kan hentes inn for vedlikehold. Kanskje vi kan kalle dette ”endelig løsning”?

Faren er at introduksjon av nye løsningsprinsipp vil ta lenger tid enn vi har anslått, og at de nødvendige kostnadsbesparelsene dermed kommer for sent til å skape den nødvendige drivverdigheten for denne typen energiproduksjon. Derfor blir det nødvendig å sette inn stor innsats på nødvendig FoU, der man samtidig høster erfaringer fra prosjekt som allerede er gjennomført, eller som er i gjennomføringsfasen.

## **3.8      Logistikkmodeller – logistikkanalyse**

For å kunne regne på optimale logistikk-løsninger er det nødvendig å modellere verdikjeden fra komponentproduksjon til ferdig installert vindkraftanlegg, og det vil da være rimelig å modellere flyten og ressursinnsatsen i forhold til en aktivitetsinndeling som er illustrert i figur 3.12. Slike modeller kan brukes til å løse optimaliseringsoppgaver eller simulering av flyt og ressursutnyttelse.

For komponentproduksjon (venstre kolonne) vil en kvantitativ modell for planlegging av linjeproduksjon kunne optimalisere tilpassede produksjonslinjer, der det gjelder å standardisere løsninger for mange vindkraftprosjekt. Målfunksjonen som optimaliseres blir en klassisk kostnadsfunksjon som optimaliserer produksjonslinjens ytelse i forhold til ressursinnsats, med jevn takt i leveranser til montasjestasjonene.



Figur 3.12 Logistikkmodell for offshore vindkraftutbygging.

Neste steg i modellen blir å etablere effektive montasjestasjoner som tar mot en flyt av komponenter og setter disse sammen til moduler eller komplette vindmøller for utskipping offshore. Her snakker vi om komponenter og moduler som har både store dimensjoner og til dels store vekter, slik at areal- og løftbegrensninger blir tilleggsparametere i en optimaliseringsmodell. Igjen blir takten i repetitive oppgaver avgjørende, og det ville vært en stor fordel om slike montasjestasjoner kunne levere til flere vindkraftprosjekt for å dele investeringer og produksjonskostnader.

Til slutt kommer modellering og optimalisering av offshoreoperasjoner, der kapital- og driftskostnader knyttet til produksjonsutstyr og fartøy blir avgjørende parametere. Som tidligere nevnt så utgjør denne delen av utbyggingsprosjektene omkring 15 % av totalkostnadene. Ved å ta i bruk slike modeller til optimaliseringsanalyser allerede i konseptfasen vil utbyggingsprosjektene kunne minimalisere sine totale utbyggingskostnader. Her blir det også viktig å kunne dele på investeringskostnader og operasjonskostnader mellom forskjellige utbyggingsprosjekt. Dermed vil flere utbyggingsprosjekt kunne dele på felles innsatsfaktorer, og det gjelder å utnytte mulighetene som ligger i repetitive operasjoner og tekniske løsninger som kan gjentas for flere utbyggingsprosjekt.

### 3.9 Videreføring - aktuelle FoU-initiativ

Forprosjektet har hatt som hensikt å avdekke logistikkutfordringene ved utbygging av offshore vindkraftanlegg. Kartleggingen har vist at logistikkostnadene veier tungt i den totale prosjektøkonomien, og det går klart fram at verdikjedeforbedring og senking av totale utbyggingskostnader blir nødvendig for å gjøre denne energiproduksjonen konkurransedyktig.

### Erfaringsseminar

For å kunne modellere den totale prosjektlogistikken fra komponentproduksjon hos underleverandørene til utbyggerens avsluttende installasjonsoppgaver blir det nødvendig å bruke tallgrunnlag fra både leverandører og utbyggere, med involvering fra logistikkforskere. Det logistikkfaglige miljøet fra Møreforskning Molde og Høgskolen i Molde vil etter avslutningen av dette forprosjektet ta kontakt med aktuelle miljø for i første omgang å foreslå et erfaringsseminar med presentasjoner og diskusjoner knyttet til gjennomførte utbyggingsprosjekt.

På grunnlag av input fra en slik erfaringsutveksling vil det kunne startes arbeid med modellering og optimalisering av den totale prosjektlogistikken fra komponentproduksjon via montasjebaser til installasjon offshore.

### Forskningsprosjekt

Det vi har sett gjennom denne analysen av markedskarakteristika og logistikkutfordringer er at verdikjedene varierer fra prosjekt til prosjekt, og at det gjenstår mye utviklingsarbeid før disse verdikjedene er optimale. Samtidig er det slik at det ser ut til å være lite forskning og publisering på dette feltet, og de forskningssentraene som til nå er etablert for å arbeide med offshore vindkraft har ikke logistikkfaglige tema inne så langt.

Derfor bør det utarbeides forskningsprogram, inklusive forskerutdanning/dr.grads-utdanning på feltet. Aktuelle forskningstema vil være:

- Logistikkmodeller og eventuelt simuleringsmodeller for offshore vindkraft-utbygging på overordnet nivå
- Optimaliseringsmodeller for serieproduksjon av komponentproduksjon i samspill med base for vindmøllemontering
- Optimalisering av logistikksamspill mellom montasjebase på land og repetitiv installasjon offshore

Alternative løsninger for offshoreoperasjoner – inklusive fartøy- og håndteringsløsninger – bør testes ut i teoretiske modeller før endelig valg av løsningskonsept. Derfor vil det være nyttigst å sette i gang denne type forskning allerede i planleggingsfasen – i tett forbindelse med basis design.

Møreforskning Molde vil starte et arbeid med å utvikle slike forskningsprosjekt, og vil ta kontakt med industripartnere og andre relevante fagmiljø som kan være samarbeidspartnere. Det vil være hensiktsmessig å tilpasse et slikt forskningsprosjekt til Forskningsrådets søknadstype for KMB-prosjekt (Kompetanseprosjekt med brukermedvirkning), med en kombinasjon av forskerutdanning og dr.gradsutdanning. Vanlig gjennomføringstid for slike prosjekt er 4-5 år.

## KILDER

Beckman, Karel (2010): A critical time for offshore wind. European Energy Review  
31.05.10

DOTI GmbH & Co (2010): Alpha Ventus fact sheet

European Wind Energy Association - EWEA (2009): Oceans of Opportunity.

European Wind Energy Association - EWEA (2009): Wind energy – The facts. Part III: The economics of wind power.

European Wind Energy Association - EWEA (2010): The European offshore wind industry – key trends and statistics 2009.

European Wind Energy Association - EWEA (2010): The European offshore wind industry – key trends and statistics 1<sup>st</sup> half 2010.

NVE (2010): Vindkraft – Produksjonsstatistikk 2009

OECD/IEA (2009): How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen – World Energy Outlook 2009.

The Windenergie-Agentur Bremerhaven (2009): Offshore Wind Energy

© Forfatter/Møreforskning Molde AS

Forskriftene i åndsverkloven gjelder for materialet i denne publikasjonen. Materialet er publisert for at du skal kunne lese det på skjermen eller fremstille eksemplar til privat bruk. Uten spesielle avtaler med forfatter/Møreforskning Molde AS er all annen eksemplarframstilling og tilgjengelighetsgjøring bare tillatt så lenge det har hjemmel i lov eller avtale med Kopinor, interesseorgan for rettshavere til åndsverk.