

## Marinøkologiske ringvirkninger av vindmølleparker til havs

### *The impact of offshore wind farms on the marine environment*

Henning Steen, Kjell T. Nilssen, Ann-Lisbeth Agnalt, John Alvsvåg, Lars Asplin, Anders Jelmert, Einar Dahl og John Dalen





# PROSJEKTRAPPORT



Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 BERGEN  
Tlf. 55 23 85 00, Faks 55 23 85 31, www.imr.no

**Tromsø**      **Flødevigen**      **Austevoll**      **Matre**  
NO-9294 TROMSØ    NO-4817 HIS    NO-5392 STOREBØ    NO-5984 MATREDAL

<b>Rapport:</b> Fisken og Havet	<b>Nr.</b> 9-2008
<b>Tittel (norsk/engelsk):</b> Marinøkologiske ringvirkninger av vindmølleparker til havs <i>The impact of offshore wind farms on the marine environment</i>	
<b>Forfatter(e):</b> Henning Steen, Kjell T. Nilssen, Ann-Lisbeth Agnalt, John Alvsvåg, Lars Asplin, Andres Jelmert, Einar Dahl og John Dalen	

<b>Distribusjon:</b> Åpen
<b>Prosjektnr.:</b> 99422
<b>Oppdragsgiver(e):</b> Havforskningsinstituttet
<b>Oppdragsgivers referanse:</b> Einar Dahl
<b>Dato:</b> 15. desember 2008
<b>Program:</b> Kyst
<b>Faggruppe:</b> 422
<b>Antall sider totalt:</b> 21

## Sammendrag (norsk):

Det er økende behov for energi. En betydelig del av dette søkes produsert på miljøvennlige måter. Produksjon av strøm ved hjelp moderne vindturbiner er av de produksjonsmåter som etter hvert har fått en betydelig, internasjonal utbredelse. Også i Norge er det etablert vindturbinparker og flere planlegges i løpet av de nærmeste årene. Foreløpig ligger de aller fleste parker på land, men av ulike årsaker er det økende interesse for å også å plassere vindturbinparker til havs.

Rapporten er noe revidert pr. 11. august 2009.

## Summary (English):

There is an increasing need for energy. Considerable efforts are being made to develop environmentally friendly energy sources. Generating electric energy using wind turbines is one of the methods that has gained widespread, international acceptance. In Norway wind turbine farms are established as well, and more farms are planned for the coming years. Most farms are land based, but from several reasons there are increasing interests in offshore wind farms.

The report is slightly revised per 1 August 2009.

<b>Emneord (norsk):</b> 1. vindturbinpark 2. marine økosystemer	<b>Subject heading (English):</b> 1. wind turbine farm 2. marine ecosystems
-----------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Prosjektleder

Faggrupeleder

## Innhold

1	Bakgrunn .....	5
2	Innledning .....	5
3	Fysiske forhold knyttet til vindturbinparker til havs.....	7
3.1	Fundamentering	7
3.2	Kabler	7
3.3	Elektromagnetiske felt	8
3.4	Vannstrøm	8
3.5	Endringer i habitat	8
4	Kunstig rev-effekter .....	9
5	Effekter på fisk .....	10
5.1	Arealokkupasjon	10
5.2	Lys	11
5.3	Lyd	12
5.4	Elektromagnetisk stråling	14
6	Effekter på marine pattedyr .....	14
6.1	Innledning	14
6.2	Habitat – arealkonflikter	15
6.3	Effekter av støy	15
6.4	Forundersøkelser	17
6.5	Tiltak for å dempe effekter på sjøpattedyr i anleggsfasen	18
7	Konsekvenser for fiskeri- og havbruksnæring.....	18
7.1	Mulig konflikt i arealbruk med havbruks- næringen	18
8	Konsekvenser for høsting av stortare .....	19
9	Referanser/References .....	20

## Contents

1	Background.....	5
2	Introduction .....	5
3	Physical issues relating to offshore wind farms.....	7
3.1	Foundations	7
3.2	Cables	7
3.3	Electromagnetic fields	8
3.4	Currents	8
3.5	Changes in habitats	8
4	Artificial reef-effects .....	9
5	Effects on fish.....	10
5.1	Space occupation	10
5.2	Light	11
5.3	Sound	12
5.4	Electromagnetic radiation	14
6	Effects on marine mammals .....	14
6.1	Introduction	14
6.2	Habitats – space conflicts	15
6.3	The effects of noise	15
6.4	Preliminary studies	17
6.5	Measures to mitigate the impact of construction work on marine mammals	18
7	Consequences for the fishing and fish farming industries.....	18
7.1	Potential conflicts over areas with the fish- farming industry	18
8	Impacts on kelp harvesting .....	19
9	Referanser/References .....	20

## 1 Bakgrunn

Det er økende behov for energi. Den søkes nå produsert på miljøvennlige måter, og produksjon av strøm ved hjelp av moderne vindturbiner er av de produksjonsmåter som etter hvert har fått en stor, internasjonal utbredelse. Også i Norge er det etablert vindturbinparker, og flere planlegges i løpet av de nærmeste årene. Foreløpig ligger de aller fleste parker på land, men av ulike årsaker er det også økende interesse for å plassere vindturbinparker på sjøbunnen. Eksempler på vindturbiner montert i sjøområder finnes allerede (bl.a. i Danmark, Sverige, og Tyskland). I Norge foreligger de første planene for vindturbinparker i stor skala på sjøbunnen utenfor Møre og Romsdal (Havsul I, II og IV). I forbindelse med konsesjonssøknadene har Havforskningsinstituttet laget en rapport om potensielle marinøkologiske effekter av vindturbinparker montert på sjøbunn.

## 2 Innledning

Ved etablering av vindturbinparker må man se på konsekvenser i både utbyggings- og driftsfase. Videre må man utrede effekter av selve vindturbinparken og av overføringskabler for kraften som vindturbinene produserer. Vindturbinparkens påvirkningsområde omfatter selve anleggsområdet og en sone rundt dette området hvor man kan forvente indirekte effekter. I utbyggingsfasen vil miljøet kunne påvirkes av forstyrrelser fra selve anleggsarbeidene (graving, sprengning, fundamentering, montering, kabling, osv.) og anleggs-trafikken. I driftsfasen vil miljøpåvirkningene kunne være i form av fysiske, akustiske, visuelle og elektromagnetiske forstyrrelser fra turbintårn, transformatorer og kabler. I tillegg kommer risiko for forurensning (uhell med utslipp av miljøgifter o.l.) fra anleggsaktiviteter i utbyggingsfasen og vedlikeholdsarbeid i driftsfasen. Sammenlignet med driftsfasen er utbyggingsfasen for vindturbinparker til havs kortvarig. Anleggsperioden for de planlagte vindparkene på Mørgekysten (Havsul I, II, IV) er for eksempel estimert til ca. 6-7 måneder, mens driftsperioden vil være på ca. 25 år før det eventuelt må søkes konsesjon for videre drift.

Vindturbinanlegg til havs oppføres hovedsakelig i kystnære gruntvannsområder som ofte huser høyproduktive, artsrike samfunn som vil være sårbare overfor miljøforstyrrelser. De planlagte vindturbinparkene i kystområdene utenfor Møre og Romsdal, vil bli verdens største vindturbinanlegg til havs og legge beslag på betydelige gruntvannsareal i denne regionen. Vindturbinparkenes utstrekning vil medføre at eventuelle marinøkologiske effekter av anleggene vil ha stor rekkevidde og kunne påvirke marint liv og ressursutnyttelse i store deler av regionen. Etableringen av vindturbinanlegg med slike dimensjoner vil derfor kreve grundige utredninger og kartlegging av anleggenes ringvirkninger på miljøet, samt erverve ny kunnskap.

## 1 Background

We are in need of increasing amounts of energy. Efforts are now being made to develop environmental friendly energy sources, and generating electricity using wind turbines is one of the methods that has gained widespread, international acceptance. Wind farms have also been built in Norway and more are planned over the coming years. Most wind farms have so far been located onshore, but for a variety of reasons there is growing interest in also placing wind farms offshore. There are already examples of offshore wind farms (e.g. in Denmark, Sweden and Germany). In Norway, plans have been made for the first major offshore wind farms to be sited off the county of Møre and Romsdal (Havsul I, II and IV). In conjunction with the licensing round, the Institute of Marine Research has prepared a brief report on the potential impacts of offshore wind farms on the marine environment.

## 2 Introduction

When assessing potential wind farms, it is necessary to look at their impacts during both the construction and operation phases. It is also necessary to investigate the impacts of both the wind farms themselves and of the transmission cables for the electricity generated by the wind turbines. The area impacted by a wind farm includes the development area itself, and a zone around it where indirect impacts can be expected. During the construction phase, the environment will be affected by disturbances caused by the building work (digging, blasting, building of foundations, erection, laying cables, etc.) and works traffic. During the operation phase, the environmental impacts may include physical, acoustic, visual and electromagnetic disturbances from wind turbine towers, substations, and cables. There is also a risk of pollution (accidents resulting in the escape of environmental contaminants, etc.) from building activities during the construction phase and maintenance work during the operation phase. Relative to the operation phase, the construction phase for offshore wind farms is short. It is estimated that the building work for the planned wind farms off the coast of Møre and Romsdal (Havsul I, II, IV) would take approx. 6-7 months, whilst the operation phase would last approx. 25 years, at which point a new licence need to be applied for continued operation.

Offshore wind farms are generally built in shallow coastal waters, which are highly productive, species-rich habitats, and vulnerable to environmental disturbances. The planned wind farms off the coast of Møre and Romsdal (Havsul I, II and IV) would be the world's largest offshore wind farm development, and would occupy a considerable amount of the region's shallow waters. The size of the wind farms means that they may affect marine life and the exploitation of resources across much of the region. Wind farms of this size must therefore only be developed after

I denne rapporten gis det en sammenfatning av kunnskap om mulige miljøeffekter av vindturbinparker til havs på biologisk mangfold, sårbare marine naturtyper og organismegrupper, samt mulige konsekvenser for fiskeri-, tare- og havbruksnæring.

thorough investigations, and if they are developed they must be extensively monitored in order to map their impact and to expand our knowledge.

This report provides a summary of what we currently know about the potential environmental impacts of offshore wind farms on biodiversity, vulnerable marine ecosystems and groups of organisms, and also sets out potential consequences for the fishing, the kelp and fish farming industries.



**Figur 1.** Fra utbyggingen av Horns Rev vindturbinpark utenfor vestkysten av Danmark i 2002. *Construction of the Horns Rev wind farm off the west coast of Denmark in 2002.*

Kilde/Source: <http://www.hornsrev.dk/>



**Figur 2.** Lokalisering av de planlagte vindturbinparkene til havs, Havsul I, II og IV (markert i rødt) utenfor kysten av Møre og Romsdal. Til sammenligning utgjør arealet av Havsul II parken alene om lag 5 ganger arealet av verdens nåværende største vindturbinpark til havs, ved Horns Rev utenfor vestkysten av Danmark. *The location of the planned offshore wind farms, Havsul I, II and IV (marked in red), off the coast of Møre og Romsdal. To get an idea of the scale, the area covered by the Havsul II farm alone is about five times bigger than what is currently the world's largest offshore wind farm: Horns Rev off the west coast of Denmark,*

Kilde/Source: <http://www.havsul.no/havsul-i/Havsul-I/presentasjon/Presentasjon.pdf>

### 3 Fysiske forhold knyttet til vindturbinparker til havs

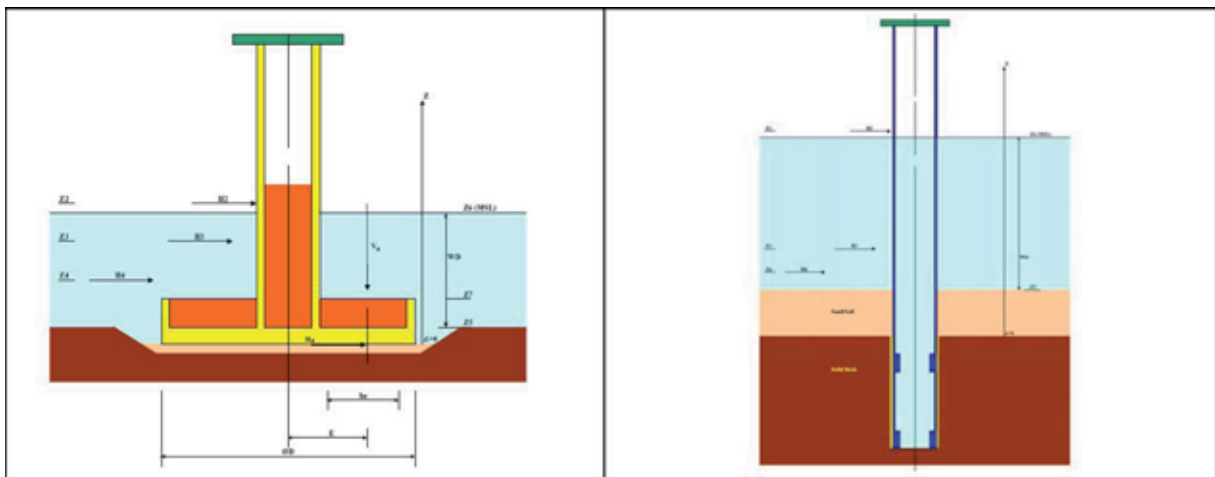
#### 3.1 Fundamentering

Med dagens teknologi kan vindturbiner til havs både monteres på hard fjellbunn der fundamentene blir festet til fjellet, og på bløtbunn der pilarene blir satt flere meter ned i sedimentene. Et tredje alternativ er å montere vindturbinne på en plattform eller pyramide som står på bunnen med pilarer. Vindturbiner kan også monteres flytende i vannet, men denne teknikken blir ikke omtalt her. Ved montering på fast fjell konstrueres en plattform på bunnen som fundament til vindturbinen, eventuelt må løsmasser fjernes. Ved montering i bløtbunn må det legges et erosjonslag rundt festepunktet. Monteringsmetodene vil legge beslag på et bunnareal, men det vil ikke bli noe vesentlig forskjell på hardbunn og på bløtbunn. Det beslaglagte arealet er avhengig av pilarens størrelse.

### 3 Physical issues relating to off-shore wind farms

#### 3.1 Foundations

Current technology allows offshore wind turbines to be erected either on a hard bottom, with their foundations resting on the rock, or on a soft bottom, with a monopile being driven several meters into the seabed. A third option is to erect the turbines on a tripod structure resting on the seabed. Wind turbines can also be installed on a floating platform, but this technique is not discussed in this report. When erecting wind turbines on solid rock, a gravity base is built on the seabed as a foundation for the turbine. Any unconsolidated material must be removed. When erecting wind turbines on a soft bottom, an erosion layer must be added around the monopile. The foundations will occupy a portion of the seabed, but there is not a significant difference between hard and soft bottoms. The size of the occupied area depends on the size of the pile.



**Figur 3.** To aktuelle fundamenteringsløsninger for vindturbiner til havs: Gravitasjonsfundament (venstre) og monopel (høyre). *Two potential types of foundation for offshore wind turbines: Gravity base foundation (left) and monopile (right).*  
Kilde/Source: Johnsen 2005 (<http://www.havsul.no/havsul-i/Havsul-I/Fagrappporter/MArin.pdf>)

#### 3.2 Kabler

De elektriske kablene vil normalt bli ført gjennom pilaren og koblet til en felles ilandføringskabel fra alle turbinene i en vindturbinpark. Slike sjøkabler blir normalt lagt direkte på sjøbunnen, men det er mulig å grave eller spyle dem ned, eventuelt dekke over dem. Slike kabler har normalt liten fysisk påvirkning på havbunnen, og på grunt vann gror de raskt til med marine organismer. I kabeltraséen vil det være de samme restriksjoner mot fiskeri og ankring som for andre områder med sjøkabler.

#### 3.2 Cables

Power cables normally run through the pile before connected to a common export cable for all of the turbines in the wind farm. These subsea cables are normally laid directly on the seabed, but it is possible to dig or jet plow a trench for the cable, or even cover it. The cables do not normally have much physical impact on the seabed, and in shallow water they will soon be covered with marine organisms. The same restrictions on fishing and anchoring will apply to the cable route as in other areas with subsea cables.

### 3.3 Elektromagnetiske felt

Forskningsresultater fra Danmark viser at en sjøkabel for 132 kW gir et magnetfelt på  $22\mu\text{T}$  like over kablelen. En meter fra kablelen er feltet redusert til  $5,5\mu\text{T}$  og  $11\mu\text{T}$  henholdsvis over og til siden for kablelen. Til sammenligning er jordens magnetfelt i størrelsesorden  $30\text{--}50\mu\text{T}$ . Det er forsket lite på hvordan marine organismer blir påvirket av magnetfelt, og vi kan derfor ikke gi noe svar om felt av denne størrelsesorden har en påvirkning eller ikke.

### 3.4 Vannstrøm

Det forutsettes at vindturbinne fundamenteres på bunnen. Avhengig av fundamentets størrelse vil vannstrømmen påvirkes i ulik grad. Dersom fundamentet er relativt beskjedent, noen meter i diameter, og vindturbinne står langt fra hverandre (over 100 m), får det sannsynligvis ingen effekt på strømmen. Om fundamentene fortsatt er relativt små, men er plassert mange side om side, kan det virke som en rist vannet skal passere, og det kan dannes virvler nedstrøms. Dette fører til mer blanding av vannmassene. Til slutt, om fundamentene er massive konstruksjoner, kan dette hindre vannstrømmen fullstendig, og det kan oppstå en bakevje nedstrøms. Forøvrig viser undersøkelser gjort ved Rødsand Havturbinpark i Danmark at strømforholdene endres lite ( $<10\text{--}15\%$ ) for et gitter med 72 vindturbiner med ca. 5 m i diameter og 480 m mellom hver turbin (SEAS Distribution 2000).

### 3.5 Endringer i habitat

Under selve anleggsfasen vil de direkte fysiske påvirkningene på bunnen ta livet av en del organismer, men det påvirkede arealet vil være svært lite sammenlignet med ikke-påvirket areal i området. Mobile organismer vil kunne rømme bort fra området under selve anleggsfasen, og reetablere seg når denne perioden er over. Installasjoner på bunnen vil over tid bli tilgrodd med marine organismer. Hastigheten for tilgroing er avhengig av hvilket materiale pilarene og plattformene er laget i, og om det er behandlet med eventuelle antigroemiddel. Ved montering på bløt bunn vil konstruksjonen bli kolonisert med typiske solitære hardbunnsorganismer som normalt trives i de aktuelle dypene. På denne måten vil det bli tilført dyregrupper som ikke naturlig finnes i nærområdet. På hardbunn vil konstruksjonen også bli kolonisert med solitære organismer. Konstruksjonen og pilarene vil her fungere som hardbunn som strekker seg opp til overflaten, men med et begrenset areal i ulike dybdeintervall sammenlignet med grunner og skvalpeskjær.

### 3.3 Electromagnetic fields

Research results from Denmark shows that a 132 kW subsea cable produces a magnetic field of  $22\mu\text{T}$  immediately above the cable. One meter away from the cable the field declines to  $5.5\mu\text{T}$  and  $11\mu\text{T}$  above and beside the cable respectively. By comparison, the earth's magnetic field is of the order of  $30\text{--}50\mu\text{T}$ . Little research has been done on how marine organisms are affected by magnetic fields, and hence we are not able to say whether or not electromagnetic fields of this magnitude have any impact.

### 3.4 Currents

We are working on the assumption that the wind turbine foundations will be built on the seabed. Depending on the size of the foundations, water currents will be affected to varying degrees. If the foundations are relatively small, e.g. a few meters in diameter, and the wind turbines stand quite far apart (over 100 meters), currents will probably not be affected. If the foundations are still relatively small, but are located close to each other, they may have the effect of a grating, causing the water to whirl downstream. This will lead to greater mixing of the water masses. Finally, if the foundations are massive structures, they may entirely block the current, creating eddies downstream. Research done at Rødsand wind farm in Denmark found that a grid of 72 wind turbines with a diameter of approx. 5 meter, spaced at 480 meter intervals, had little impact ( $<10\text{--}15\%$ ) on current patterns (SEAS Distribution 2000).

### 3.5 Changes in habitats

During the construction phase, the direct physical impact on the seabed will kill a number of organisms, but the affected area will be very small compared with the non-affected area in the region. Mobile organisms will be able to escape from the area during the construction phase, and re-establish themselves once it is over. Installations on the seabed will in due course be overgrown with marine organisms. The rate at which this happens depends on the materials used for the piles and platforms, and whether they have been treated with antifouling agents. On soft bottoms, the structure will be colonised by typical solitary hard bottom organisms that normally thrive at the relevant depth. This will bring in groups of fauna that are not naturally present in the local area. On hard bottoms, structures will also be colonised by solitary organisms. The structure and piles will act as a hard bottom reaching up to the surface of the water, but with a limited surface area in any given depth range compared with shallows and rock awashes.





**Figur 4.** Påslag av grønnalger (til venstre) og blåskjell (til høyre) på vindturbinfundamenter ved Horns Rev vindpark, utenfor Danmarks vestkyst, omtrent ett år etter at turbinfundamentene ble utplassert. *Green algae (left) and mussels (right) on wind turbine foundations at Horns Rev wind farm, off the west coast of Denmark, around one year after the foundations were installed.*Kilde/source: Leonhard & Pedersen 2004. (<http://www.hornsrev.dk/Miljoeforhold/miljoerapporter/POST-CONSTRUCTION-Annual%20Report-2003-Hardbottom.pdf>).

#### 4 Kunstig rev-effekter

Kunstige rev har vært utplassert i varierende grad og utstrekning de siste 30 år langs kysten av Europa, fra Israel til Norge (Jensen et al., 2000; Jensen, 2002). Det foreligger derfor vesentlig kunnskap på dette området, både når det gjelder utforming, hvilke materiale som fungerer bedre enn andre, og ikke minst også på dokumentasjon av effekt (Badalamenti et al., 2002). I Norge har utplasseringen av kunstige rev i Risør og Lofoten vist veldig lovende resultater på artsmangfold og tiltrekning av fisk (Christie, 2005a, b). Den generelle erfaringen er at begroing vil skje relativt raskt, men det vil også stadig skje endringer i hvilke arter som dominerer til enhver tid (Perkol-Finkel et al., 2006).

Når det gjelder økologiske påvirkninger som følge av introduksjon av en vindturbinpark, er det gjort undersøkelser i tilknytning til etableringen av Horns Rev vindturbinpark i Vest-Danmark. Vindturbinene ble plassert på et sand- og bløtbunnsområde, og representerer derved en tilføring av hardbunnssubstrat. Undersøkelsene ble gjort omtrent ett år etter den siste turbinen ble utplassert. Det viste seg at i dette området utgjorde biomassen fra turbinområdet en økning på åtte ganger i tilgjengelig fødemengde sammenlignet med sand- og bløtbunnsområdet generelt (Leonhard and Pedersen, 2004). En del skalldyrarter som taskekrabbe (*Cancer pagurus*) og fisk ble også tiltrukket revet. Det er med andre ord ingen tvil om at kunstige rev kan gi økt produksjon av flora og fauna i et gitt område. Kreativ utforming av vindturbinens base kan også gi skjul til kommersielt viktige bunndyr som for eksempel europeisk hummer (*Homarus gammarus*). Uansett, kunstige revkonstruksjoner vil kunne endre strømforhold og bunntype, som kan gi endret artssammensetning. En utredning av miljøkonsekvenser for lokaliteten er derfor nødvendig og bør utføres i hvert enkelt tilfelle.

#### 4 Artificial reef-effects

Over the past 30 years, artificial reefs have been created to a varying extent along the coast of Europe, from Israel to Norway (Jensen et al., 2000; Jensen, 2002). Therefore, we have significant knowledge about this in terms of designs, which materials work better than others, and have also documentation of the effects (Badalamenti et al., 2002). In Norway, artificial reefs in Risør and Lofoten have shown very promising results in terms of encouraging biodiversity and attracting fish (Christie, 2005a, b). The general experience is that the reefs get colonised relatively quickly, but that there are constant changes in terms of which species dominate the reef at any given time (Perkol-Finkel et al., 2006).

In terms of the environmental impact of building a wind farm, research was done in conjunction with the construction of the wind farm at Horns Rev off the west coast of Denmark. The wind turbines were erected on a sandy and soft bottom area, which means that substrate was added to an otherwise sandy and soft substrate. The research was done about a year after the final wind turbine was installed, and the results showed that the biomass was eight times higher around the wind turbines compared to what was normal for areas with a sandy and soft bottom (Leonhard and Pedersen, 2004). Various shellfish species such as the edible crab (*Cancer pagurus*) and fish were also attracted to the reef. In other words, there is no doubt that artificial reefs can increase the production of flora and fauna in a given area. Given a creative design, the base of the wind turbine can also provide shelter for commercially important benthic animals such as the European lobster (*Homarus gammarus*). However, artificial reef structures may change currents and the type of sea bottom, leading to a change in the composition of species. It is therefore necessary to assess the environmental impacts on each individual location that is being considered for an offshore wind farm.

## 5 Effekter på fisk

Vindturbiner til havs vil kunne påvirke fisk på flere måter, blant annet gjennom arealokkupasjon, lysrefleksjon og produksjon av lyd og elektromagnetiske felt. Stasjonære og vandrende fisk vil sannsynligvis påvirkes i ulik grad, og effektene vil variere i løpet av vindturbinparkenes utbyggings-, drifts- og avviklingsfaser. Sammenlignet med driftfasen, så vil utbyggings- og avviklingsfasen for vindturbinparker til havs være kortvarig. Uro og støy i utbyggingsfasen vil kunne føre til at fisk vandrer bort fra anleggsområdet. Erfaringer gjort i forbindelse med etableringen av vindturbinparker til havs på vestkysten av Danmark (Horns Rev) viste imidlertid en hurtig rekolonisering av fisk etter at anleggsaktiviteten opphørte (Hoffman et al., 2000). Ideelt sett vil en avvikling av vindturbinparkene (forutsatt at alle installasjoner fjernes) føre til en reversering av miljøtilstanden, men erfaringer på dette området er mangelfulle, av den enkle grunn at ingen vindturbinparker til havs til nå er avviklet.

### 5.1 Arealokkupasjon

Arealokkupasjon av turbintårn og tilhørende fundament vil avhenge av type fundamenterings-plattform. Et turbintårn forankret ved hjelp av gravitasjonsfundament vil kreve et areal på ca. 570 m<sup>2</sup>, mens et monopelefundament vil legge beslag på ca. 180 m<sup>2</sup> (se figur 4). For de planlagte Havsul-parkene vil vindturbintårnene, hvis samtlige regnes som gravitasjonsfundamenterte, samlet legge beslag på mindre enn 1 km<sup>2</sup> sjøbunnsareal og utgjøre godt i underkant av 1 % av vindturbinparkenes totale areal (208 km<sup>2</sup>). Vindturbinparkenes areal vil, i tillegg til selve vindturbine, for øvrig bestå av transformatorstasjoner, kabelnett og sikringssoner.

Fysiske effekter av vindturbiner på fisk kan være både positive og negative. Negative effekter kan være at strukturene i seg selv virker avskrekkende på fisk, som f.eks. kan skremmes bort fra tradisjonelle vandringsruter og gytefelt. Positive effekter vil henge sammen med såkalte FAD-effekter ("fish aggregating device"), der turbinstrukturene fungerer som en type kunstige rev som øker lokalitetens tredimensjonalitet og hardbunnsareal, og dermed habitatverdien for fisk. Økte forekomster av fisk i tilknytning til vindturbinfundamenter er observert i Kalmarsundet på den svenske Østersjøkysten (Wilhelmsson et al., 2006) og i vindparken ved Horns Rev utenfor vestkysten av Danmark (Leonhard and Pedersen, 2004). Vindturbine ved Horns Rev er imidlertid fundamentert på jevn sandbunn, slik at den relative effekten av det kunstige hardbunnssubstratet (vindturbinfundamentet) sannsynligvis vil være større enn hvis plassert på eksisterende hardbunn, som vil være mest aktuelt for tilsvarende prosjekter langs norskekysten.

## 5 Effects on fish

Offshore wind turbines may affect fish in a variety of ways, including occupying space, reflecting light and producing sound and electromagnetic fields. Stationary and migratory fish will probably be affected to different extents, and the effects will vary over the course of the construction, operation and decommissioning phases of the wind farm. In comparison with the operation phase, the construction and decommissioning phases for offshore wind farms will only last for a short time. Disturbances and noise during the construction phase may lead to fish leaving the construction site. However, the experiences from an offshore wind farm off the west coast of Denmark (Horns Rev) were that the fish rapidly recolonised the area after the completion of the building work (Hoffman et al., 2000). Ideally, the decommissioning of wind farms (assuming that all installations are removed) would lead to a reversal of the environmental situation, but we do not have any data on this, for the simple reason that no offshore wind farms have so far been decommissioned.

### 5.1 Space occupation

The space occupied by wind turbine towers and their foundations depends on the kind of foundation platform. A wind turbine tower with a gravity base foundation requires approx. 570 m<sup>2</sup>, whilst a monopile foundation requires approx. 180 m<sup>2</sup> (see fig. 4). For the planned Havsul wind farms, the wind turbine towers, if they were all on gravity base foundations, would occupy less than 1 km<sup>2</sup> of the seabed, which constitutes well under 1% of the total area covered by the wind farms (208 km<sup>2</sup>). In addition to the wind turbines themselves, the area covered by the wind farms includes substations, cable networks and safety corridors.

The physical impact of wind turbines on fish can be both positive and negative. The negative impacts include the risk that the structures themselves frighten the fish, potentially scaring them away from their traditional migration routes and spawning grounds. The positive impacts relate to so-called FAD effects ("fish aggregating device"), which means that the wind turbines act as an artificial reef, making the area more three-dimensional and adding to the hard bottom surface area, thereby enhancing the value of the habitat to fish. Increased levels of fish near wind turbine foundations have been observed in the Kalmar Sound on the Swedish Baltic coast (Wilhelmsson et al., 2006) and at the Horns Rev wind farm off the west coast of Denmark (Leonhard and Pedersen, 2004). However, the wind turbines at Horns Rev are located on an even, sandy seabed, which means that the relative impact of the artificial hard bottom substrate (the wind turbine foundations) is probably greater than if placed on an existing hard bottom, which would generally be the



## 5.2 Lys

Vindturbintårnene vil påvirke lyset gjennom skygge-kast og refleksblink fra turbintårn og rotorbladene. Frekvensen av refleksblinkene vil avhenge av vindstyrke. Refleksblinkenes styrke ved havoverflaten vil avhenge av navhøyde, rotorbladdiameter og rotorbladenes refleksjonsegenskaper (de fleste vindturbiners rotorblader er hvite), samt intensitet og vinkel av det innstrålende lys. På solrike dager vil refleksjonene være mest intense, mens den relative effekten av lysrefleksene vil reduseres av den høye bakgrunnsstrålingen på slike dager. Mye av lyset som reflekteres fra vindturbinene, vil igjen reflekteres fra havoverflaten, mens den resterende del av lyset (som trenger ned i vannmassene) raskt avtar med avstand og dyp. Eventuelle effekter av lys som reflekteres fra vindturbiner på marine organismer, vil derfor i overveiende grad være lokale. Mange fiskeslag reagerer kraftig på visuelle stimuli, bl.a. med fluktreaksjoner, og det er derfor ikke usannsynlig at refleksblink fra vindturbiner vil kunne ha en skremmeeffekt på fisk. Hvordan fisk påvirkes av refleksblinkene fra vindturbiners rotorblader, som under de fleste forhold sannsynligvis vil ha en relativ stabil frekvens, vil avhenge av fiskens tilvenningsevne for slike stimuli. Effekter av lyspåvirkning fra vindturbiner på fisk er i liten grad undersøkt.



case for equivalent projects along the Norwegian coastline.

## 5.2 Light

Wind turbine towers affect the light by casting shadows and causing flashing reflections off the towers and rotor blades. The frequency of the flashing reflections depends on the strength of the wind. The strength of the flashing reflections at sea level depends on the hub height, rotor blade diameter and how reflective the rotor blades are (most wind turbine rotor blades are white), as well as the intensity and angle of the incoming light. The reflections are most intense on sunny days, but their relative impact is reduced by the high levels of background light radiation on such days. Much of the light that is reflected off wind turbines is subsequently reflected off the surface of the sea, whilst the remaining light (which penetrates into the water) rapidly fades with distance and depth. Any effects of the light reflected off wind turbines and onto marine organisms are therefore primarily of local type. Many fish species react strongly to visual stimuli, for example by fleeing, and it is therefore not improbable that flashing reflections off wind turbines may frighten the fish. The extent to which the fish are affected by the flashing reflections from the wind turbines' rotor blades, which are generally of a relatively stable frequency, depends on the ability of the fish to habituate to such stimuli. Very little research has been done on the impact on fish of changes in light caused by wind turbines.

**Figur 5.** Eksempler på rotordiameter og navhøyde for vindturbiner til havs. *Examples of the rotor diameters and hub heights of offshore wind turbines.* Kilde/source: [www.nystedhavmoellepark.dk](http://www.nystedhavmoellepark.dk). Foto: Jan K. Winther.

### 5.3 Lyd

Vindturbinenes rotorer og generatorer vil produsere mekanisk energi i form av vibrasjoner som ledes ned gjennom vindturbin søylen til fundamentet og forplanter seg i grunnen og til vannmassene. Mesteparten av den akustiske energien som produseres av vindturbin konstruksjonen, dvs. fra søylen og fundamentet, og som avsettes i sjøen, ligger i frekvensintervallet fra under 1 Hz til 750 Hz, med målte maksimum frekvenssområder (cirka halveringsverdier fra topper) innen 0-5 Hz, 25-35 Hz, 60-75 Hz og i 175-185 Hz (Wahlberg and Westerberg, 2004). Frekvensplasseringen av maksimumsområdene og -verdiene kan variere avhengig av søylekonstruksjon og fundamentkopling til bunnen. Kildespektralnivåer på opptil 152 dB rel. 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$  ref. 1 m er estimert ut fra målinger rundt turbinfundamenter der disse nivåene ligger ca. 70 dB over bakgrunnsstøyspektralnivået (Westerberg, 1994). Ved høyere frekvenser (500 kHz–2 MHz) er intensiteten omtrent lik bakgrunnsnivået (SEAS Distribution 2000).

Vibrasjonene som avsettes i bunnen, kan forplante seg over store distanser. Spesielt interessant her er grenseflatebølger (Stonely-bølger) mellom havbunn og sjø og slik lydforplantning har ikke vært undersøkt rundt vindturbiner. Slike bølger lar seg lett generere og de har lav demping (forplanter seg som i en bølgeleder), ca. 1 dB/bølgelende. Lydhastigheten for grenseflatebølger er lav i øvre sedimenter sammenlignet med i sjøen (ca. 1500 m/s), og ligger i området 50-300 m/s, bl.a. avhengig av sedimenttype. For eksempel ved frekvens lik 1 Hz vil slike bølger i grenseflaten kun dempes ca. 10 dB over 3 km avstand. For 10 Hz vil tilsvarende avstand være 0,3 km. Frekvensinnholdet i bølgene vil gjenspeile frekvensfordelingen av vibrasjonene avsatt gjennom fundament og bunnkoplingen. Noe av lydenergien blir avsatt til sjøen både som trykkbølger og som partikkelforskyvningsbølger når bølgen går gjennom ulike bunntyper (inhomogeniteter). Den akustiske energien som avsettes til sjø vil i hovedsak addere seg til bakgrunnsstøyen.

Lydenergiproduksjonen fra en vindturbin vil avhenge av vindstyrke og rotorens hastighet, mens den relative økningen i forhold til bakgrunnsstøyen i vannmassene, som også øker med økende vindstyrke, er forholdsvist liten (Westerberg, 1994).

Vi regner med at lyd vil i størst grad påvirke fisken. Utredninger gjort i forbindelse med marine vindturbinprosjekter sier imidlertid lite om lyd og betydningen den kan ha for viktige prosesser i fiskens livssyklus. Enhver økning i bakgrunnsstøyen vil kunne påvirke evnen til kommunikasjon. Slik kommunikasjon er ikke minst viktig i forbindelse med individinteraksjoner under gyting.

### 5.3 Sound

The rotors and turbines of wind turbines produce mechanical energy as vibrations that are transmitted down through the tower of the wind turbine to the foundations, and are released into the ground and water. Most of the acoustic energy released into the sea by the wind turbine structure, i.e. by the tower and foundations, is in the frequency range 1 Hz to 750 Hz, with the peak frequency widths (to roughly half the peak values) being 0-5 Hz, 25-35 Hz, 60-75 Hz and 175-185 Hz (Wahlberg and Westerberg, 2004). The frequency location of the peak widths and the peak values may vary depending on the tower design and type of foundation. The spectral levels of the sources are estimated to be up to 152 dB rel. 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$  ref. 1 m on the basis of measurements taken around wind turbine foundations, where the levels are approx. 70 dB above the spectral level of the background noise (Westerberg, 1994). At higher frequencies (500 kHz – 2 MHz), the intensity is roughly the same as the background level (SEAS Distribution 2000).

The vibrations that are released into the seabed can be transmitted over long distances. The interface waves (Stonely waves) between the seabed and sea are of particular interest here, and this kind of sound transmission has not been explored around wind turbines. These waves are easily generated, and they are weakly attenuated (propagate as in a waveguide): approx. 1 dB per wavelength. Interface waves travel slowly through the upper sediment (roughly 50-300 m/s depending on the type of sediment) in comparison with that through the sea (approx. 1500 m/s). For example, if the frequency is 1 Hz, these interface waves will only be attenuated by approx. 10 dB over a distance of 3 km. For 10 Hz the equivalent distance is 0.3 km. The frequency of the waves will reflect the frequency distribution of the vibrations generated through the coupling of the base of the foundations and the bottom. Some of the sound energy is released into the sea both as pressure waves and particle displacement waves when the wave passes through different types of sea bottom (inhomogeneities). The acoustic energy that is released into the sea adds primarily to the background noise.

The amount of sound energy produced by a wind turbine depends on the wind strength and the speed of the rotor, whilst the relative increase over the background noise in the water, which also increases with increasing wind strength, is relatively small (Westerberg, 1994).

We assume that the sound would primarily affect the fish. However, the research done in conjunction with offshore wind farm projects does not say much about noise and the impact it may have on important processes in the life cycles of fish. Any increase in background noise levels may affect the ability of fish to

Vi mener at lydpåvirkning kan ha tre mulige typer effekter på fiskens velferd:

1. Støyen utløser fluktreaksjon og fisken forlater området.
2. Bakgrunnsstøyen øker og gjør det umulig for fisken å overdøve støyen og nå gjennom til sine artsfrender.
3. Vi mener at lavfrekvent lyd kan ha betydning for fiskens navigasjon og orienteringsevne. Med et endret lydbilde i bakgrunn kan slik orientering bli vanskeliggjort

De fleste fiskearter responderer sterkest på lyd i det lavfrekvente området - under 50 Hz. Kunnskapen om effekter av lyd på fisk er imidlertid begrenset til få arter og utviklingsstadier. Aktuelle kunnskaper om atferdsendringer ved lydstimulering av sild på ulike livsstadier er dokumentert av Blaxter et al. (1981a, b) og Blaxter and Batty (1987). Skadelige effekter av denne type lyd på f.eks. egg-, larve- og yngelstadier av fisk har i liten grad vært undersøkt (Wahlberg and Westerberg, 2004).

Tilvenningsevne hos fisk ved langtidseksponering av lavfrekvent støy, som vil være en aktuell problemstilling i forbindelse med lyd fra vindturbiner, spesielt for stasjonær fisk, dekkes i liten grad av eksisterende data. I sin oversiktsartikkel om hørselresponser hos fisk på lyd fra vindturbinparker til havs oppsummerer Wahlberg and Westerberg (2005) at fisk kan detektere lyd produsert av vindturbiner i avstander på opptil 25 km. Deteksjonsavstanden varierer med fiskeart, bakgrunnsstøynivå, vindhastighet, bunntype, dybde, størrelse og antall vindturbiner. I samme rapport pekes det også på at lyd fra vindturbiner har liten negativ effekt på hørselsevnen hos fisk, og at fisk først skremmes bort fra vindturbinene ved avstander på mindre enn 4 m og ved vindhastigheter på mer enn 13 m/s. Lavfrekvente lydkomponenter fra vindturbiner vil imidlertid i seg selv kunne maskere fiskens akustiske kommunikasjon og orienteringssignaler. Forhøyet bakgrunnsstøynivå på grunn av tilført lydenergi vil føre til det samme, men kunnskapen omkring slike effekter er ennå mangelfull. Slike effekter kan spesielt ha negativ betydning for vandrende fiskearter til og gjennom de omsøkte områdene. Her må spesielt nevnes sild, hyse, sei og torsk på vandring mot de kjente gytefelt på Møre. Disse artene er ikke bare viktige for kystøkosystemet, men er også nøkkelarter i de store oseaniske økosystemer. Konsekvensen av å påvirke deres gytesuksess kan derfor bli formidabel.



communicate. This communication is particularly important for individual interaction during spawning.

We believe that sound may have three possibly types of effects on the welfare of fish:

1. The noise induces a flight reaction and fish leave the area.
2. The background noise level increases, making it impossible for the fish to exceed the background noise level and communicate with other fish of the same species.
3. We believe that low-frequency sound may play an important role in how fish navigate and their sense of direction. Changes to background noise patterns may make it more difficult for them to navigate.

Most species of fish respond most strongly to low frequency sounds – below 50 Hz. However, our knowledge about the effects of noise on fish is limited to rather few species and stages of development. Nevertheless, relevant behavioural changes in herring when they are stimulated with sound at different stages in their life cycle have been observed by Blaxter et al. (1981a, b) and Blaxter and Batty (1987). Very little research has been done on the potential harmful effects of this type of sound during e.g. the egg, larvae and juvenile life stages of fish (Wahlberg and Westerberg, 2004).

The existing data says very little about the ability of fish, and particularly stationary fish, to adapt in the event of long-term exposure to low frequency sound, which is the noise the wind turbines would constitute. In their summary article on the responses of fish to noise from offshore wind farms, Wahlberg and Westerberg (2005) state that fish can detect sounds produced by wind turbines at distances of up to 25 km. This distance varies according to the species of fish, the background noise level, wind speed, type of sea bottom and depth, as well as the size and number of the wind turbines. In the same report, they also point out that the sound of wind turbines does not have a significant negative effect on the hearing ability of fish, and that fish are only scared away from the wind turbines at distances of less than 4 m, and at wind speeds of more than 13 m/s. However, the low frequency components of the sound of wind turbines might mask the acoustic communications and navigational signals used by fish, as could increased background noise levels caused by sound energy released into the water. We are, however, lacking knowledge about these effects. The effects may have a particularly harmful impact on species of fish migrating to and through the affected areas. Of particular importance are the herring, haddock, saithe and cod that migrating to the spawning grounds off Møre og Romsdal. These species are not just very important to the coastal ecosystem, but they are also key species in the major oceanic ecosystems. The potential

#### **5.4 Elektromagnetisk stråling**

Magnetfelt produsert av vindturbiner til havs, kabler og transformator, vil være svakere enn den geomagnetiske feltstyrken i avstander på mer enn 1 m fra disse kildene. Det er forsket lite på hvordan fisk påvirkes av magnetfelt i sjøen, og det er derfor usikkert i hvilken grad fisk påvirkes av feltstyrker av denne størrelsesorden.

Teorier går ut på at fisk, spesielt bruskfisk som besitter elektroreseptive sanseorganer, er i stand til å navigere ved hjelp av geomagnetiske felt, og at denne navigasjonsevnen muligens vil kunne forstyrres av magnetfeltet i nærheten av vindturbininstallasjonene.

## **6 Effekter på marine pattedyr**

### **6.1 Innledning**

Det har generelt vært en betydelig økning av vitenskapelige artikler angående vindturbinparker til havs i løpet av de siste 10-15 årene, men mindre enn 8 % av artiklene i perioden 1981-2003 omhandlet miljøpåvirkning i sjøen som følge av vindkraftutbygging, mens ingen var spesifikt rettet mot kystøkologi (Gill, 2005). Vindturbinparker til havs bygges i dag i gruntvannsområder med dybder ned til 30 m. I Norge inneholder grunnvannsområder ofte holmer og skjær som kan være habitat for kystselartene steinkobbe og havert. I tillegg er nise en vanlig art i slike kystnære farvann. Delfiner og større kvalarter kan forekomme i grunne områder, men kan ikke regnes som vanlige i slike områder og vil dermed sannsynligvis i liten grad kunne påvirkes av vindturbinparker. Det er åpenbart at opprettelse av vindturbinparker vil kunne komme i arealkonflikt med habitater for kystsel og nise.

Vindturbinparker til havs vil ha en planleggingsfase som inkluderer forundersøkelser, en anleggs- og en driftsfase. I tillegg må det tas hensyn til at slike vindturbiner har en viss levetid hvorefter man må anta at konstruksjonene må fjernes eller rehabiliteres (Nedwell and Howell, 2004; Gill, 2005).

Det er anleggsfasen som vil gi høyest grad av forstyrrelser i forhold til sjøpattedyr, både i form av økt trafikk (båt, helikopter, osv.) og støy både over og under vann. Valg av teknisk metode for fundamentering av vindturbinene vil avgjøre støynivået i denne fasen. Bruk av eksplosiver under vann i en anleggsfase vil kunne skade sjøpattedyr. Pæling på sedimentbunn gir høy undervannsstøy som trolig kan gi fysiske skader (hørsel) på sel og nise dersom disse befinner seg nært anleggsområdet.

consequences of affecting their successful spawning are therefore massive.

#### **5.4 Electromagnetic radiation**

The magnetic fields produced by offshore wind turbines, cables and substations are weaker than the strength of the geomagnetic field at distances of more than 1 m from these sources. Little research has been done on how fish are affected by magnetic fields in the sea, and it is therefore uncertain to what extent they are affected by fields of this order of magnitude.

There are theories that fish, and particularly cartilaginous fish that possess electro-receptive sensory organs are capable of navigating using the geomagnetic field, and that this ability might be affected by the magnetic fields near wind turbine installations.

## **6 Effects on marine mammals**

### **6.1 Introduction**

Generally there has been a significant increase in the number of scientific articles about offshore wind farms over the past 10-15 years, but less than 8 % of the articles over the period 1981-2001 dealt with the environmental impacts of wind farms at sea, whilst none dealt specifically with coastal ecosystems (Gill, 2005). Offshore wind farms are currently built in shallow waters down to a depth of 30 m. In Norway these shallow waters often contain small islands and skerries that may be home to harbour seals and grey seals, living along the Norwegian coast. Harbour porpoises are also common in these coastal waters. Dolphins and larger whales can be found in shallow waters, but are not considered common there, and are therefore unlikely to be seriously affected by the wind farms. It is obvious that building wind farms in coastal waters may interfere with the habitats of coastal seals and porpoises.

Offshore wind farms will have a planning phase that includes preliminary studies, a construction phase and an operation phase. It is also necessary to bear in mind that wind turbines have a limited lifespan, after which one will assume that the structures must be removed or rehabilitated (Nedwell and Howell, 2004; Gill, 2005).

It is the construction phase that causes most disturbances to marine mammals, both in terms of extra traffic (boats, helicopters, etc.) and noise, both above and below water. The choice of foundation design for the wind turbines determines the noise levels during this phase. The use of underwater explosives may harm marine mammals. Driving piles into the soft sea bottom may produce strong underwater noise, which

Sprengning vil også være et alternativ når (dersom) undervannskonstruksjonene skal fjernes i framtida (Dolman et al. 2004). Driftsfasen gir mindre støy, men det må antas at det vil bli mer trafikk i området i forbindelse med vedlikehold enn uten vindturbiner.

I tillegg vil det oppstå elektromagnetiske felt i forbindelse med elektriske kabler innenfor vindturbinparken og langs innføringen til land. Målinger av elektromagnetiske felt ved nedgravde høyspentkabler har vist relativt små strålingsfelt (Johnsen, 2005). Det finnes ingen viten om eventuelle påvirkninger på sjøpattedyr av slike elektromagnetiske felt i forbindelse med vindturbinparker (Gill, 2005).

## **6.2 Habitat – arealkonflikter**

Ved utbygging av vindturbinparker innenfor kystselhabitater vil den mest sårbare tida for selene være kaste- (fødsel) og dieperiode, som for steinkobbe er i juni–juli (Bjørge, 1991) og for haverten i september–oktober i området Sør–Trøndelag–Nordland og i november–desember i Rogaland og nord for Lofoten (Nilssen et al. 2004). Det er åpenbart at forstyrrelser som følge av anleggsarbeid og økt trafikk kan være sårbart for kystselenes reproduksjon.

I hårfellingsperiodene (august for steinkobbe og februar–mars for havert) ligger begge artene mye på land, men er ikke like sårbare for forstyrrelser som i kastetiden fordi de er mer fleksible med hensyn til valg av liggeplasser. Utenom de nevnte periodene benytter begge arter seg av hvileplasser, som kan være mer eller mindre faste i noen områder. Kystselene kan bruke de samme områdene til kasting, hårfelling og hvileplasser, men begge artene (særlig havert) sprer seg gjerne utover større områder utenom kaste- og hårfellingsperiodene.

Kystsel bruker også områdene nært kasteplassene til beiting, og disse områdene er sannsynligvis svært viktige for ungene når de skal lære seg å fange byttedyr.

## **6.3 Effekter av støy**

Viten om sjøpattedyrenes hørsel under vann er begrenset, særlig viten om hva som er kritiske støynivåer med hensyn til hørselsskader. Oppfattelse av lyd under vann hos sjøpattedyr er avhengig av frekvensområde og lydstyrke. Hørselsområdene for steinkobbe og niser ligger innenfor det samme frekvensområdet 1 kHz til ca. 50 kHz med følsomheter på 60–82 dB rel. 1  $\mu$ Pa (avhengig av frekvensen) (Richardson et al., 1995). I luft hører steinkobbe og havert omtrent innenfor samme frekvensområde som mennesker, men best innenfor 2–20 kHz (Vella et al. 2001). Hørselsskader kan inntreffe, som hos mennesker, når sjøpattedyr utsettes for kortvarig sterk lydpåvirkning (lydpulser) eller ved lavere lydtryknivå som varer

can probably damage the hearing of seals and porpoises if they are close to the construction site. Blasting may also be carried out when (or if) the underwater structures are to be removed in the future (Dolman et al. 2004). The operation phase causes less noise, but it must be assumed that there will be more traffic due to maintenance than there would have been without the wind turbines.

There will also be electromagnetic fields around the electric cables within the wind farm and around the export cable that runs to the shore. The electromagnetic fields measured around high voltage power cables that have been dug into the ground are relatively weak (Johnsen, 2005). No research has been done on the potential impact on marine mammals from these electromagnetic fields in relation to wind farms (Gill, 2005).

## **6.2 Habitats – space conflicts**

When building wind farms within habitats of coastal seals, the most vulnerable time for the seals are the pupping and weaning season, which for harbour seals is June–July (Bjørge, 1991) and for grey seals September–October in Sør–Trøndelag–Nordland and November–December in Rogaland and north of Lofoten (Nilssen et al. 2004). It is clear that disturbances caused by building activities and increased traffic could affect the ability of the coastal seals to successfully reproduce.

During the moulting season (August for harbour seals and February–March for grey seals) both species spend a lot of time on land, but they are not as vulnerable to disturbances as during the pupping season, as they are more flexible in terms of finding places to haul out. Outside these periods, both species make use of resting sites, which may be more or less fixed in some areas. Coastal seals may use the same areas for pupping, moulting and resting, but both species (and particularly the grey seal) tend to cover greater distances outside the pupping and moulting seasons.

The coastal seals also use the areas near the pupping grounds for feeding, and these areas are probably very important to the pups when they are learning to catch prey.

## **6.3 The effects of noise**

Limited research has been done on the hearing of marine mammals under water, and there is a particular shortage of research on what the critical noise levels are for causing damage to their hearing. The hearing of marine mammals under water depends on the noise frequency span and sound level. Both harbour seals and porpoises have similar hearing ranges, with a frequency range from 1 kHz to approx. 50 kHz and sensitivity of 60–82 dB rel. 1  $\mu$ Pa (depending on the frequency) (Richardson et al., 1995).

over en viss tid. I forbindelse med utføring av seismikk og de nye lavfrekvente militære sonarene, har man gjennom internasjonale vitenskapelige og tekniske arbeidsgrupper og møter blitt enige om at lyd (enkle lydpuiser) under 180 dB rel. 1  $\mu$ Pa ikke gir hørselsskader hos sjøpattedyr (<http://www.surtass-lfa-eis.com/docs/180dBCriteria.pdf>). Avstand fra lydkilden vil være avgjørende for om hørselsskader skal kunne oppstå.

Under anleggsfasen er lydtryknivå under vann målt til 215 dB rel. 1  $\mu$ Pa når elementer til vindturbiner pæles ned i sedimentbunn. Publiserte resultater om undervannsstøy fra pæling er imidlertid få, men støynivået ved pæling er avhengig av diameteren til elementet og kan sannsynligvis komme opp i mer enn 260 dB rel. 1  $\mu$ Pa (Nedwell and Howell, 2004). Ved sprengning under vann kan lydtryknivået bli enda høyere. Det er derfor viktig at det gjennomføres tiltak for å unngå hørselsskader hos sjøpattedyr under slikt arbeid.

Et studium fra San Fransisco Bay viste stor reaksjonsforskjell mellom arter på støy under anleggsfasen ved pæling av brupilarer. Steinkobbe i sjøen så ut til å være lite påvirket i avstander omtrent 500 m fra anleggsområdet, mens sjøløver flyktet fra området. Steinkobbe så også ut til å være lite påvirket på liggeplasser omtrent 1500 m fra anleggsområdet (Anon., 2001). Erfaringer fra danske undersøkelser i forbindelse med bygging av vindturbinparker til havs viste effekter på niser så langt som 10-15 km fra anleggsområdet, ved at dyrene trakk bort fra området under anleggsfasen (Tougaard et al. 2004).

I driftsfasen vil støy fra vindturbiner variere med vindstyrken. Støy som i turbinens girboks og generator, vil så forplante seg i konstruksjonen under vann. Lyden er lavfrekvent (2-2000 Hz) og vil vanligvis være svakere enn 115 dB rel. 1  $\mu$ Pa målt 110 m fra en vindturbin som produserte opptil 1500 kW (Betke et al. 2004). Maksimal lydstyrke fra vindturbinfarmer er målt til 153 dB rel. 1  $\mu$ Pa ref. 1 m ved 16 Hz (Nedwell and Howell, 2004). Studier som simulerte undervannslyd fra en 2 MW vindturbin (maks. 128 dB rel. 1  $\mu$ Pa ref. 1 m; 30-800 Hz) viste at både niser og steinkobbe oppfattet lyden, og at begge artene holdt en noe større avstand til lydkilden når den ble aktivert (Koschinski et al. 2003). Det er lite sannsynlig at undervannslyd fra vindturbiner i drift vil være skadelig for kystsel, niser, eller andre sjøpattedyr, men om lyden kan føre til endring i atferd som er av betydning for dyrenes habitatutnyttelse, er ukjent. Effekter av støy og bevegelse fra vindturbiner på sel som ligger på land, er mindre kjent. Svenske undersøkelser viste imidlertid at havert på en etablert liggeplass ca. 1,5 km fra Näsrevet vindpark ved Gotland, så ut til å bry seg lite om vindturbinparken, både under bygging og under driften det første året, men dyrene reagerte når båttrafikken ble for nærgående

In air, harbour seals and grey seals have roughly the same hearing ranges as humans, but their hearing is most sensitive in the range 2-20 kHz (Vella et al., 2001). As in humans, hearing damages can occur if marine mammals are exposed to loud, short-term sounds (pulses of sound) or less intense sound pressure levels that last over an extended period of time. As in humans, hearing damages can occur if marine mammals are exposed to loud, short-term sounds (pulses of sound) or less intense sound pressure levels that last over an extended period of time. For the purposes of seismic surveys and the new, low frequency military sonars, international scientific research and technical working groups and meetings have led to a consensus that sound levels (single sound pulses) below 180 dB rel. 1  $\mu$ Pa do not harm the hearing of marine mammals (<http://www.surtass-lfa-eis.com/docs/180dBCriteria.pdf>). The distance from the source of the sound will determine whether hearing damage occurs.

During the construction phase, underwater sound pressure levels of 215 dB rel. 1  $\mu$ Pa have been measured when driving piles for wind turbines into soft bottoms. There are few published results on underwater noise from pile driving, but the noise level depends on the diameter of the pile, and can probably reach more than 260 dB rel. 1  $\mu$ Pa (Nedwell and Howell, 2004). The sound pressure level during underwater blasting can be even higher. It is therefore important to implement measures to avoid damaging the hearing of marine mammals during this work.

A study from San Francisco Bay revealed big differences in the reactions of species to noise from pile driving during the construction phase of a bridge. Harbour seals in the water did not appear to be greatly affected at distances of approx. 500 m from the construction site, whereas sea-lions fled the area. Furthermore, the harbour seals did not appear to be greatly affected on their resting sites around 1500 m from the construction site (Anon., 2001). Danish research performed in conjunction with the construction of offshore wind turbines revealed that harbour porpoises as far as 10-15 km away from the construction site were affected, in that they moved away from the area during the construction phase (Tougaard et al., 2004).

During the operation phase the noise from the wind turbines varies with the strength of the wind. Noise arises in the turbine gearbox and generator, and is transmitted through the structure to the ground and the water. The sound is in the low frequency region (2-2000 Hz), and the level is usually lower than 115 dB rel. 1  $\mu$ Pa measured 110 m from a wind turbine producing up to 1500 kW (Betke et al. 2004). The maximum noise level measured from a wind farm is 153 dB rel. 1  $\mu$ Pa ref. 1 m at 16 Hz (Nedwell and Howell, 2004).



(Westerberg, 1999, gjengitt i Nedwell and Howell, 2004).

Det kan tenkes at både kystsel og nise vil venne seg til vindturbinparker, slik at effektene for dyrene blir relativt små, men det må understrekes at det foreligger begrenset kunnskap om dette. Erfaring fra turisme i forbindelse med steinkobbekolonier kan tyde på at selene også venner seg til båttrafikk som dyrene oppfatter som ufarlig.



Foto: Rob Barrett

#### 6.4 Forundersøkelser

Ved planlegging av vindturbinparker må det gjennomføres undersøkelser for å kartlegge området med hensyn til om det er habitat for kystsel og niser (og av andre kvalarter). Slike undersøkelser kan gjøres med bruk av forskjellige metoder. Kystselenes utbredelse og arealbruk kan studeres ved visuelle observasjoner og tellinger gjennom året. Telemetristudier av sel med bruk av satellittsendere, GSM/GPS-sendere eller radiosendere (VHF) gir gode data om dyrenes arealbruk (Bjørge *et al.* 2002). Nisers og andre sjøpattedyrs tilstedeværelse og bruk av områder bør kartlegges ved båtbaserte linjetransekttellinger (se Tougaard *et al.*, 2004), særlig i den tiden av året som er aktuelt for gjennomføring av anleggsarbeid. Tilstedeværelse av niser i et område kan også kartlegges ved bruk av akustiske lyttebøyer (Teilmann *et al.* 2002).

Studies that simulated the underwater sounds from a 2 MW wind turbine (max. 128 dB rel. 1  $\mu$ Pa ref. 1 m; 30-800 Hz) revealed that both harbour porpoises and harbour seals picked up the sound, and that both species kept slightly further away from the source of the sound when it was activated (Koschinski *et al.* 2003). It is not very likely that the underwater sounds produced by wind turbines during operation cause any direct harm to coastal seals and harbour porpoises, or other marine mammals, but we do not know whether the sound may lead to a change in behaviour that affects the way these animals are able to utilize their habitat.

Potential impact from noise and movements caused by wind farms on seals hauling out are unknown. However, Swedish studies showed that grey seals on established resting sites approx. 1.5 km from the Näsrevet wind farm near Gotland did not appear to be greatly bothered by the wind farm, neither during construction phase nor during the first year of operation, but they did react when boats passed too close to them (Westerberg, 1999, cited in Nedwell and Howell, 2004).

It is possible that both coastal seals and porpoises will get accustomed to wind farms, and that the effects on them therefore will be relatively small, but it should be emphasised that we know very little about this. The behaviour of harbour seals in response to tourists visiting their colonies may suggest that the seals also grow accustomed to boat traffic they consider to be harmless.

#### 6.4 Preliminary studies

When planning wind farms, it is necessary to investigate whether the area provides habitats for coastal seals and harbour porpoises (and other whale species). There are two different methods for carrying out these studies. You can study the seals' distribution and use of areas by visual observations and counts over the course of the year. Telemetric studies of seals using satellite transmitters, GSM/GPS transmitters, or radio transmitters (VHF) provide good data about their use of areas (Bjørge *et al.* 2002). The presence of harbour porpoises and other marine mammals, and their use of areas, should be mapped using boat-based line transecting counts (see Tougaard *et al.*, 2004), particularly at the time of the year when the construction work will be done. The presence of harbour porpoises in an area can also be mapped using acoustic listening buoys (Teilmann *et al.* 2002).

### **6.5 Tiltak for å dempe effekter på sjøpattedyr i anleggsfasen**

Stans og unngåelse av anleggsarbeid og trafikk i kasteperioden vil trolig kunne redusere eventuelle skadelige effekter på kystsel, kanskje særlig for steinkobbe hvor ungene er sjødyktige like etter fødsel.

For å unngå hørselsskader hos sjøpattedyr under anleggsarbeid må det sørges for at sel og niser er utenfor en viss avstand fra operasjonsområdet. Det har vært brukt lyd, som for eksempel akustiske selskremmere, for å holde niser utenfor den farlige sonen (med hensyn til hørselsskader) under slikt arbeid ved Horns Rev i Danmark (Tougaard *et al.* 2003). Slike tiltak er trolig effektive, og bruk av slik metodikk bør evalueres ved vindturbinutbygging i norske områder. Luftbubblesystemer har vært brukt for å dempe lyd under vann ved pøling, men effekten var begrenset (Anon., 2001).

## **7 Konsekvenser for fiskeri- og havbruksnæring**

Etablering av vindturbinparker vil medføre en innskrenkning i allmennhetens muligheter til å fiske arter av kommersiell betydning.

### **7.1 Mulig konflikt i arealbruk med havbruksnæringen**

Etablering av vindturbinparker vil kunne berøre allerede etablerte driftsformer innen havbruk (herunder regulert av akvakulturloven og dens forskrifter), som oppdrett av laks (*Salmo salar*) og torsk (*Gadus morhua*) samt havbeite av stort kamskjell (*Pecten maximus*) og europeisk hummer (*Homarus gammarus*). Havbeite er en næring i utvikling, og i utgangen av 2005 er det gitt 15 havbeitetillatelse. Det er gitt fire for hummer i fylkene Aust- og Vest-Agder og Sogn og Fjordane, mens det er tildelt 11 konsesjoner for kamskjell i alle vestlandsfylkene og i Nordland. I areal varierer de omsøkte havbeiteområdene fra 15 000 til 21 000 dekar. For kamskjell vil havbeitevirksomheten være begrenset til dyp ned til 30 m, hovedsakelig begrenset av faktorer som tilsyn og høsting ved dykking. Stort kamskjell er utbredt langs norskekysten nord til Lofoten, men havbeitevirksomhet er trolig bare aktuelt for strekningen Vestlandet til Helgelandskysten. Typisk egnede havbeiteområder for kamskjell vil være relativt grunne lokaliteter i kystnært farvann, med bunntype med forholdsvis grovt sediment og der bunnen er forholdsvis slett. Hummer er utbredt fra Hvaler i Østfold til Tysfjord i Nordland. Havbeite med hummer vil være fra strandsonen ned til 50 m dyp, og hovedsakelig på grunne områder med skjulesteder i steinrøyser, morenerygger, kløfter eller huler under store steiner.

### **6.5 Measures to mitigate the impact of construction work on marine mammals**

Stopping or avoiding construction work and traffic during the pupping season probably reduces any harmful impact on coastal seals, particularly in the case of harbour seals, whose young ones are able to swim shortly after being born.

In order to avoid hearing damages of marine mammals during building work, efforts must be made to ensure that seals and harbour porpoises are more than a certain distance away from the construction area. At Horns Rev in Denmark, sound, such as acoustic seal-scarrers, was used during the construction phase to keep harbour porpoises away from the area (Tougaard *et al.*, 2003). These measures are probably effective, and should be considered for wind farm developments in Norwegian waters. Air bubble systems to attenuate underwater sound have been used with limited success (Anon., 2001).

## **7 Consequences for the fishing and fish farming industries**

Building wind farms would reduce general access to fishing commercially important species.

### **7.1 Potential conflicts over areas with the fish-farming industry**

The building of wind farms may affect established activities within the fish farming industry (including those governed by the Aquaculture Act and its associated regulations), such as the farming of salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*), and the sea ranching of great scallops (*Pecten maximus*) and European lobster (*Homarus gammarus*). Sea ranching is a growing industry, and by the end of 2005, 15 sea ranching licences had been issued. Four of these were for lobster in the counties of Aust-Agder, Vest-Agder and Sogn og Fjordane, whilst there were 11 licences for scallop in western Norway, and as far north as Nordland. The size of the sea ranching areas ranged from 1500 to 2100 hectares. Scallops can only be ranching down to depths of 30 m, the main limiting factors being monitoring and harvesting by divers. Great scallops are common along the Norwegian coast as far north as Lofoten, but sea ranching is probably only viable along the southwest coast of Norway. Typically, the areas suitable for sea ranching of scallops are relatively shallow locations in coastal waters, with fairly coarse sediment on a relatively flat seabed. Lobster can be found from Hvaler in Østfold to Tysfjord in Nordland. The sea ranching of lobster can take place from the shoreline down to depths of 50 m, primarily in shallow waters with hiding places such as skerries, moraine ridges, cracks or caves under large rocks.

Arealet som er gitt en oppdrettskonsesjon av laks eller torsk er generelt mindre enn ved havbeite av kamskjell og hummer, men antall konsesjoner er atskillig høyere. I 2004 var det 1 460 oppdrettskonsesjoner i drift i Norge. I geografisk utstrekning er konsesjonene hovedsakelig gitt fra Finnmark til Rogaland. Andelen av torsk er liten, antall konsesjoner i 2005 var 490. Likevel er verdien betydelig. Norge eksporterte for 15,6 milliarder kroner for laks og ørret i 2005, en økning fra året før på 19 %. Det vil si at Norge solgte 635 000 tonn rund bløgget vekt av laks og ørret. Ved tildeling av konsesjon for utvikling av vindkraft er det viktig å ta hensyn til allerede eksisterende driftsformer for å begrense konfliktflaten i størst mulig grad.

## 8 Konsekvenser for høsting av stortare

Gruntvannsområdene på Nordvestlandet er et kjerneområde for utbredelse av stortare (*Laminaria hyperborea*) på verdensbasis, og det viktigste høsteområdet for tareneringen i Norge. I Norge høstes stortare ved hjelp av trål på kyststrekningen fra Rogaland til Sør-Trøndelag. Hvert fylke er delt inn i høstefelt som rulleres slik at feltene kun er åpne for tråling hvert femte år (hvert fjerde år i Rogaland). Rundt halvparten av taremengden som årlig høstes i Norge, hentes fra kystområdene utenfor Møre og Romsdal, og det er nettopp i disse områdene de planlagte vindturbinparkene (Havsul I, II og IV) er foreslått lokalisert.

Kyststrekningen i Møre og Romsdal er inndelt i 99 høstefelt (44 på Sunnmøre og 45 på Nordmøre). Feltene (1E–44A) på kysten av Sunnmøre (strekningen Stad-Bud) betjenes av tre taretrålere, og feltene (1D–45A) på Nordmøre (strekningen Bud–Smøla) betjenes av fire taretrålere. Hver taretråler høster i gjennomsnitt 10 000–15 000 tonn stortare per år. Til sammen høstes det årlig ca. 80 000–100 000 tonn stortare på feltene i Møre og Romsdal. Den estimerte kapasiteten (mengde høstbar stortare) per høstefelt varierer fra et par tonn til ca. 20 000 tonn. Totalt 19 av de 99 høstefeltene i Møre og Romsdal vil i ulik grad berøres direkte av de planlagte Havsul-vindturbinparkene. Enkelte felt vil omfattes helt av vindturbinparkarealene (f.eks. feltene i området rundt Orskjæra nordvest av Averøya på Nordmøre), mens arealkonfliktene ved andre felt er mindre (f.eks. høstefeltene som berøres av Havsul I). Foreløpige beregninger fra tareneringen viser at de tre planlagte vindturbinparkene (Havsul I, II og IV) til sammen vil kunne legge beslag på et gruntvannsareal som bærer rundt 60 000 tonn høstbar stortare. I en syklus på fem år tilsvarer dette rundt 12 000 tonn stortare per år, dvs. omtrent årlig høstekvantum til en taretråler.

The individual locations licensed for farming salmon or cod are generally smaller than those for the sea ranching of scallops and lobster, but far more licences have been issued. In 2004 there were 1460 valid fish farming licences in Norway. In terms of their geographical distribution, the licences have mainly been issued from Finnmark in the north to Rogaland in the southwest. Only a small proportion of the licences relate to cod farming: In 2005 there were 490 such licences. Nevertheless, they are of considerable financial value. Norway's export of salmon and trout reached NOK 15.6 billion in 2005, an increase of 19 % compared to the previous year. This means that Norway sold 635 000 tonnes WFE of salmon and trout. When granting licences to build wind farms, it is important to bear in mind existing economic activities in order to limit the conflict interface as much as possible.

## 8 Impacts on kelp harvesting

The shallow waters off the northwest coast of Norway, are one of the world's core areas for the kelp species *Laminaria hyperborea*, and the most important harvesting area for the kelp industry in Norway. In Norway, kelp is harvested by trawling along the stretch of coast that runs from Rogaland to Sør-Trøndelag. Each county is split into harvesting zones, which can only be harvested on a rolling basis every five years (every four years in Rogaland). Around half the quantity of kelp harvested annually in Norway comes from the coastal areas off Møre og Romsdal, and this is the precise site of the planned wind farms Havsul I, II, and IV.

The coast of Møre og Romsdal is split into 99 harvesting zones (44 in Sunnmøre and 45 in Nordmøre). The zones (1E-44A) along the coast of Sunnmøre (the stretch Stad-Bud) are harvested by three kelp trawlers, and the zones (1D-45A) in Nordmøre (the stretch Bud-Smøla) are harvested by four kelp trawlers. Each kelp trawler harvests an average of 10-15 000 tonnes of kelp a year, in total approx. 80-100 000 tonnes are harvested from the zones in Møre og Romsdal. The estimated capacity (quantity of harvestable kelp) of each harvesting zone varies from a few tonnes to approx. 20 000 tonnes. A total of 19 of the 99 harvesting zones in Møre og Romsdal would be directly affected to a greater or lesser extent by the planned Havsul wind farms. Some zones would be covered completely by the wind farm areas (e.g. the zones in the area around Orskjæra, northwest of Averøya in Nordmøre), whilst there is considerably less conflict with other zones (e.g. the harvesting zones affected by Havsul I). Preliminary estimates by the kelp industry show that the three planned wind farms (Havsul I, II and IV) would in total occupy shallow waters with around 60 000 tonnes of harvestable kelp. Over a five year cycle this is equivalent to

Konsekvensene av vindturbinutbyggingen for tare-næringen vil avhenge av om hvorvidt, og i hvilken grad, høsteaktiviteten vil kunne opprettholdes inne i vindturbinparkene. Turbintårnene i vindturbinparkene er planlagt fundamentert på 4–30 m dyp, mens tare taretråling er tillatt fra 2 til 20 m dyp.

Selv om trålingen hovedsakelig utøves på 2–12 m dyp, vil det være en potensiell arealkonflikt mellom disse aktivitetene. I vindturbinparkenes driftsfase vil, i tillegg til selve turbintårnene, kabelnettet (mellom turbinene og mottaksstasjonene på land) representere potensielle stengsler for taretrålingen. Konfliktnivået vil i stor grad avhenge av bredden på sikringssoner rundt kablene, trasévalg, og i hvilken grad det er around 12 000 tonnes of kelp per year, i.e. around the amount harvested annually by one kelp trawler. mulig å samordne kabeltraséene. Fra utbyggerne er det foreslått sikringssoner på minimum 75 m på hver side av kablene. Dette vil medføre at gruntvannsområder tilsvarende et totalareal på ca. 12 km<sup>2</sup> blir stengt for tare-næringen, Omfanget av stengte områder vil etter hvert kunne bli så betydelig at det medfører økende press og uttaksgrad på de øvrige høstefeltene.

around 12 000 tonnes of kelp per year, i.e. around the amount harvested annually by one kelp trawler.

The consequences of developing the wind farms for the kelp industry would depend on whether, and to what extent, it would be possible to continue harvesting kelp within the wind farms. The wind turbine towers in the wind farms are planned to be built at depths of 4-30 m, whilst kelp trawling is permitted at depths of 2-20 m. Although the kelp trawling primarily takes place in waters that are 2-12 m deep, there is the potential for conflicts between these activities over certain areas. In addition to the towers, during the operation phase of the wind farms the network of cables (between the turbines and the onshore substations) would represent a potential barrier to kelp trawlers. The extent of the conflict would be largely dependent on the width of the safety corridor around the cables, the routing of cable trenches and to what extent it is possible to share the trenches. The developers have suggested safety corridors of at least 75 m on either side of the cables, which would involve closing off approx. 12 km<sup>2</sup> of shallow waters to kelp trawling. If we add the planned wind farms to the various marine protection areas that the kelp industry may also be excluded from, the total area could become so large as to result in increasing pressure on the remaining harvesting zones.

## 9 Referanser/References

- Anon. 2001. San Francisco – Oakland Bay Bridge east Span Seismic Safety Project, Pile Installation Demonstration Project, Marine Mammal Impact Assessment. EA 012081, Caltrans Contract 04A0148, August 2001: 1-49.
- Badalamenti, F., Chemello, R., Anna, G.D., Henriquez Ramos, P., and Riggio, S. 2002. Are artificial reefs comparable to neighbouring natural rocky areas? A mollusc case study in the Gulf of Castellammare (NW Sicily). ICES Journal of Marine Science, 59: 127-131.
- Betke, K., Schultz-von Glahn, M., Matuschek, R. 2004. Underwater noise emissions from offshore wind turbines. ITAP – Institut für technische und angewandte Physik GmbH, 26129 Oldenburg, Germany. Presented at CFA/DAGA 2004: 1-2.
- Bjørge, A. 1991. Status of the harbour seal, *Phoca vitulina* L., in Norway. Biological Conservation 58: 229-238.
- Bjørge, A., Bekkby, T., Bakkestuen, V., and Framstad, E. 2002. Interactions between harbour seals, *Phoca vitulina*, and fisheries in complex coastal waters explored by combined Geographic Information System (GIS) and energetics modelling. ICES Journal of Marine Science, 59: 29-42.
- Blaxter, J.H.S., Gray, J.A.B., and Denton, E.J. 1981a. Sound and startle response in herring shoals. Journal of the Marine Biology Association, UK. 61: 851-869.
- Blaxter, J.H.S. and Hoss, D.E. 1981b. Startle response in herring: The effect of sound stimulus frequency, size of fish and selective interference with the acoustic-Lateralis system. Journal of the Marine Biology Association, UK. 61: 871-879.
- Blaxter, J.H.S. and Batty, R.S. 1987. Comparisons of herring in the light and the dark: Changes in activity and responses to sound. Journal of the Marine Biology Association, UK. 67: 849-860.
- Christie, H. 2005. Hummer, rev og skjul. I K. Boxaspen, A.-L. Agnalt, J. Gjøsæter, L. Lindal Jørgensen og A.B. Skiftesvik (red). Kyst og havbruk 2005, Fisken og havet, særnummer 2-2005: 171-172.
- Christie, H. 2005. Kunstig rev på norskekysten. I K. Boxaspen, A.-L. Agnalt, J. Gjøsæter, L. Lindal Jørgensen og A.B. Skiftesvik (red). Kysten og havbruk 2005, Fisken og havet, særnummer 2-2005: 83-85.
- Dolman, S.J., Simmonds, M.P., and Keith, S. 2004. Marine wind farms and cetaceans. Report IWC/SC/55/E4: 1-17.
- Gill, A.B. 2005. Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in coastal zone (Review). Journal of Applied Ecology 42: 605-615.

- Hoffmann, E., Astrup, J., Larsen, F., and Munch-Petersen, S. 2000. Effects of marine windfarms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area. Rapport to Elsamprosjekt A/S. Baggrundsrapport 24: 1-42.
- Surtass LFA. Selection of 180 dB as the Upper Reference Point in the Risk Continuum for SURTASS LFA Sonar Signals. Report: 8 s. [Http://www.surtass-lfa-eis.com/docs/180dBCriteria.pdf](http://www.surtass-lfa-eis.com/docs/180dBCriteria.pdf).
- Jensen, A. 2002. Artificial reefs of Europe: perspective and future. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 3-13.
- Jensen, A.C., Collins, K.J., and Lockwood, A.P.M. 2000. Artificial reefs in European seas. Kluwer. 508 s.
- Johnsen, G.H. 2005. Konsekvensutredninger for Havsul I, Sandøy kommune. Tema: Marin flora og fauna. Rådgivende Biologer AS. Rapport. 48 s.
- Koschinski, S., Culik, B.M., Hensriksen, O.D., Tregenza, N., Ellis, G., Jansen, C., and Kathe, G. 2003. Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of simulated 2 MW windpower generator. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 265: 263-273.
- Leonhard, S.B. and Pedersen, J. 2004. Hard bottom substrate monitoring Horns Rev offshore wind farm. Annual Status Report 2003. Elsam Engineering. Report made by Bio/consult AS. 62 s.
- Nedwell, J. and Howell, D. 2004. A review of offshore windfarm related underwater noise sources. Report No. 544 R 0308, COWRIE. 57 s.
- Nilssen, K.T., Corkeron, P., Haug, T., Skavberg, N.E., Jenssen, B.M., og Henriksen, G. 2004. Status for havtbestandens ungeproduksjon langs norskekysten i 2001-2003. *Fisken og havet*, nummer 2-2004. 58 s.
- Perkol-Finkel, S., Shashar, N., and Benayahu, Y. 2006. Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. *Marine Environmental Research*, 61: 121-135.
- Richardson, W.J., Greene, C.R. Jr., Malme, C.I., and Thomson, D.H. 1995. *Marine mammals and noise*. Academic Press, San Diego, USA. 576 s.
- SEAS Distribution. 2000. Havmøllepark ved Rødsand. Vurdering af Virkninger på Miljøet. VVM-redegørelse. 173 s.
- Strohmeier, T., Jørstad, K.E., Farestveit, E., Agnalt, A.L. og Strand, Ø. 2002. Mulige begrensninger i allemannsretten ved havbeite, kamskjell og hummer. Havforskningsinstituttet, juni 2002. Utredning til Fiskeridirektoratet og Fiskeridepartementet. 14 s.
- Teilmann, J., Carstensen, J., and Skov, H. 2002. Monitoring effects of offshore wind farms on harbour porpoises using PODs (porpoise detectors). Technical report. Ministry of Environment, Denmark, February 2002. 95 s.
- Tougaard, J., Carstensen, J., Henriksen, O.D., Skov, H., and Teilmann, J. 2003. Short-term effects of the construction of wind turbines on harbour porpoises at Horns Reef. Technical report to TechWise A/S. HME/362-02662, Hedeselskabet, Roskilde. 72 s.
- Tougaard, J., Teilmann, J., and Hansen, J.R. 2004. Effects on Horns Reef Wind Farm on harbour porpoises. – Interim report to Elsam Engineering A/S for the harbour porpoise monitoring program 2004. National Environmental Research Institute, Ministry of Environment. 23 s.
- Vella, G., Rushforth, I., Mason, E., Hough, A., England, R., Styles, P., Holt, T., and Thorne, P. 2001. Assessment of the effects of noise and vibration from offshore wind farms on marine wildlife. Report ETSU W/13/00566/REP. DTI/Pub URN 01/1341 University of Liverpool, Centre for Marine and Coastal Studies, Environmental Research and Consultancy. 107 s.
- Wahlberg, M., and Westerberg, H. 2005. Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 288: 295-309.
- Westerberg, H. 1994. Fiskeriundersökningar vid havbaserat vindkraftverk 1990–1993. *Fisk. Utredningskont. Jön. Rapp.* 5: 1-44.





Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**Institute of Marine Research**

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes  
NO-5817 Bergen  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31  
E-post: [post@imr.no](mailto:post@imr.no)

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**AVDELING TROMSØ**

Sykehusveien 23, Postboks 6404  
NO-9294 Tromsø  
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN**

Nye Flødevigveien 20  
NO-4817 His  
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL**

NO-5392 Storebø  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN MATRE**

NO-5984 Matredal  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

**AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT**  
**OG KOMMUNIKASJON**

**Public Relations and Communication**  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55  
E-post: [informasjonen@imr.no](mailto:informasjonen@imr.no)

**[www.imr.no](http://www.imr.no)**

