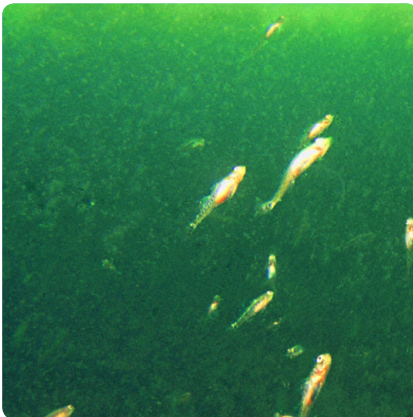


Hur vindkraft påverkar livet på botten

- en studie före etablering

RAPPORT 5570 • JUNI 2006



Hur vindkraft påverkar
livet på botten
- en studie före etablering

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM-Gruppen, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/bokhandeln

Naturvårdsverket

Tel: 08-698 10 00, fax: 08-20 29 25

E-post: natur@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 91-620-5570-4.pdf

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2006

Elektronisk publikation

Omslagsbild: Inge Lennmark

Förord

Behovet av kunskap om vindkraftverkens påverkan på den marina miljön, på växter och djur och på människor och landskap är stort. I tidigare studier av vindkraftanläggningars miljöpåverkan har det saknats en helhetsbild av effekterna och av människors upplevelser vilket har orsakat problem i miljökonsekvensbeskrivningar och vid tillståndsprövning.

Syftet med kunskapsprogrammet Vindval är ett ökat vindbruk genom att underlätta en ökad vindkraftutbyggnad, att få bättre underlag för miljökonsekvensbeskrivningar och tillståndprocesser samt att minska osäkerheten vid bedömning av vindkraftens påverkan på miljön.

Vindval ska även ge underlag för säkrare bedömningar av hur vindkraft påverkar landskapet, störningar för kringboende och människors upplevelser av vindkraft. Tanken är också att bygga upp kunskap om miljöeffekter av vindkraft vid svenska universitet, högskolor, institut och företag samt i kommuner och andra myndigheter.

Vindval drivs av Naturvårdsverket på uppdrag av Energimyndigheten som också finansierar programmet. I programkommittén, som diskuterar prioriteringar och bereder underlag för beslut, ingår representanter från Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Fiskeriverket, Boverket, Riksantikvarieämbetet, länsstyrelserna och vindkraftbranschen.

Den här rapporten har skrivits av Torleif Malm på Högskolan i Kalmar. Skribenten svarar för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Vindval i juni 2006

Innehåll

| | |
|--|-----------|
| SAMMANFATTNING | 6 |
| SUMMARY | 7 |
| INLEDNING | 8 |
| MATERIAL OCH METODER | 11 |
| Beskrivning av undersökningsområdena | 12 |
| Klasådern, Gotland | 12 |
| Kårehamn, nordöstra Öland | 13 |
| Utgrunden, Kalmarsund | 14 |
| Lillgrund, Malmö | 15 |
| Skotarevet, Falkenberg | 16 |
| RESULTAT | 17 |
| Geografiska skillnader | 17 |
| Vertikala skillnader | 18 |
| DISKUSSION | 19 |
| Förslag till framtida studier | 20 |
| LITTERATUR | 22 |
| Aktuella publikationer och manuskript inom gruppen | 22 |
| Referenser | 22 |

Sammanfattning

Inom de närmaste åren kommer den marina vindkraften att byggas ut kraftigt kring de svenska kusterna. För första gången kommer parker med en omfattning av flera kvadratkilometer att byggas i våra vatten. Dessa parker kan komma att påverka de ekologiska samhällena på andra sätt än genom den redan kända reveffekten som de enskilda vindkraftverken utövar lokalt. Populationsstrukturen hos viktiga predatorer som fisk och mussel- och fiskätande fåglar kan påverkas och därigenom ge trofiska kaskader ner i det bentiska samhället på såväl hård- som mjukbottnar. Hur parkerna påverkar de ekologiska samhällena beror i hög grad på de initiala förhållandena i de aktuella områdena.

Under sommaren 2005 utförde Högskolan i Kalmar en studie i syfte att undersöka den bentiska samhällsstrukturen på hårbottnar i områden som ska utnyttjas för vindkraftutbyggnad. De områden som undersöktes var, Skotarevet utanför Falkenberg i Kattegatt, Lillgrund i Södra Öresund, Utgrunden II i södra Kalmarsund, Kårehamn utanför nordöstra Öland samt Klasådern utanför sydvästra Gotland.

Vi fann betydande samhällsskillnader mellan områdena på såväl art- som funktionell nivå. Den största skillnaden fann vi inte oväntat mellan Kattegatt och Östersjön som generellt uppvisade helt olika arter och delvis andra funktionella grupper. Hårda bottnar i Kattegatt dominerades av perenna rödalger medan blåmusslor och andra filtrerare var den viktigaste gruppen i Östersjön. Även inom Östersjön fanns betydande skillnader. Samhällena i de båda sunden hade betydligt högre biomassor av musslor per kvadratmeter än de öppna områdena vid Gotland och Öland. Även algfloran skilde sig betydligt. I sunden dominerade övergödningsgynnade fintrådiga brunalger medan bottnarna längs de öppna kusterna i högre grad var beklädda med perenna rödalger.

Slutsatsen av vår studie är att effektstudier och kontrollprogram av vindkraftens miljöpåverkan behöver ta hänsyn till att de ekologiska förhållandena skiljer sig mycket mellan de olika parkområdena. Man kan inte utan vidare överföra erfarenheter från ett område till ett annat. Särskilt inte mellan Östersjön och Nordsjön men man bör också vara observant på skillnader inom ett och samma havsområde.

Summary

The Swedish offshore wind power industry is in rapid development and large farms including several square kilometres each will be erected around the Swedish coasts in the next few years. In addition to the already well-known reef effect than an individual windmill plant may exert locally, these farms may also impact the natural ecological communities in new and unspecified ways, depending much on the initial conditions. The population structure of important predatorer as carnivorous fish and mussel and fish eating birds may be affected and these changes may cause trophic cascades in the benthic community on hard as well as on soft bottoms.

During the summer the 2005, a field study was performed with the purpose to examine the benthic community structure on rocky bottoms in areas that will be exploited for offshore wind power development in the future. The areas examined where; Skotarevet outside Falkenberg in Kattegat, Lillgrund in southern Øresund, Utgrunden II in the southern Strait of Kalmar, Kårehamn outside north eastern Öland and Klasården outside south west Gotland in the central Baltic Proper.

Significant differences in community structure were found on both species level and on the functional level. The largest difference found was between Kattegat and the Baltic Sea. The two basins proved to have entirely different species and quite different functional groups. Hard bottoms in Kattegat were dominated by perennial red algae while blue mussels and other filtrating animal were the most important groups in the Baltic Sea at all sites. Significant differences were also found within the Baltic Sea. The communities in the two straits had considerably higher biomasses of blue mussels per square metres than the communities at the open areas outside Gotland and Öland. The alga flora was also considerable different. Filamentous brown algae dominated in the straits while the bottoms along the open coasts to a higher degree were covered by perennial red algae.

The conclusion of our study is that effect studies and control programmes of the environmental impact that off-shore wind power farms may cause, needs to consider that the ecological conditions are different in different marine areas. Experiences from one area may not without further consideration be applied in another area. This is particularly important when comparing the Baltic Sea and Kattegat but differences within same marine area should also be observed.

Inledning

Populationer av olika organismer utgör alltid en del av större enheter, så kallade samhällen. Dessa ekologiska samhällen utgörs av organismer med liknande krav på sin miljö inom ett definierat geografiskt område (Levinton 2001). Några av de viktigaste variabler och egenskaper som mäts och undersöks i ett samhälle är artrikedomen i det undersökta samhället (Kiessling 2005), den relativa proportionen av olika arter i samhället (Mao och Colwell 2005), arter som på grund av sin storlek, antal eller aktivitet utövar stor påverkan på de andra arterna i samhället (Castilla m.fl. 2004) samt de trofiska strukturer som beskriver hur energi och näringsämnen rör sig inom samhället (Elser m.fl. 2000).

Det finns en rad olika förklaringsmodeller för hur populationsstorlekarna inom ett samhälle regleras. Dessa modeller står inte nödvändigtvis i strid mot varandra utan flera processer kan pågå vid ett och samma tillfälle. De flesta förklaringsmodeller kan inordnas i två viktiga teorier för samhällsreglering, nämligen ”topdown” och ”bottom-up”. I bottom-up modellen betonas samhällets produktivitet, det vill säga hur mycket energi och näring som finns tillgänglig för autotrofa organismerna att assimilera och göra tillgänglig för resten av näringsväven. Ju mer energi som finns tillgänglig desto fler trofnivåer kan existera i ett samhälle (Neill 1998) och ju högre biomassa totalt. Även andra faktorer som till exempel stress och konkurrens om yta som minskar produktiviteten kan sägas vara exempel på bottom-up reglering (Boromthanasart och Deslous-Paoli 1988). Hydrodynamisk stress på vågexponerade klippor kan vara en sådan faktor som reglerar produktionen av alger och filtrerande organismer. Minskar vågexponeringen ökar makroalgernas produktion och därmed också andra organismer som är beroende av algerna som föda eller skydd (Nielsen 2001). Östersjöns blåmusslor är säkerligen i de flesta fall reglerade av konkurrens och tillgången på fritt substrat (Kautsky 1982).

I top-down modellen betonas predatorer, och deras betydelse för att reglera populationsstorleken hos organismer på lägre trofnivå (Townsend m.fl. 2003). Så är det till exempel väl känt att mängden rovfisk i ett sjösystem har stor betydelse för det pelagiska samhället. Brist på rovfisk kan innebära att djurplanktonätande fiskar ökar, varpå djurplankton minskar och växtplankton kan blomma ut. För att förbättra situationen kan man antingen plantera in rovfisk eller försöka minska mängden djurplanktonätande fiskar med riktat fiske (Henrikson 1980). Ett annat exempel är Västerhavets hårbottensamhälle där blåmusslorna är typiskt top-down reglerade av sjöstjärnor och krabbor (Saier 2001, Enderlein och Wahl 2004).

Inkluderas människan i näringskedjan som en toppredator kan man se Östersjöns ekosystem som top-down reglerat av den kommersiella fiskeindustrin. Bristen på rovfisk i Östersjön har lett till fyrdubblade populationer av zooplanktonätande skarpsill (*Sprattus sprattus*) sedan 1990 (European Commission 2001). Brist på zooplankton leder till ökande mängd av fytoplankton (Kornilovs, m.fl. 2001). Biomassan av fytoplankton gynnas naturligtvis även av den pågående övergödningen. Bristen på predatorer i de strandnära ekosystemen kan vara orsaken till att populationerna av tånggråsugga (*Idotea baltica*) har ökat kraftigt runt sydöstra Sveriges

kuster vilket medfört vikande bestånd av framförallt Blåstång (*Fucus vesiculosus*) (Engkvist 2003).

De marina vindkraftsparker som planeras i de svenska kustvattnen har i de flesta fall en sådan rumslig utbredning att de kan tänkas ge effekter på samhällsnivå (Annon 2003, 2005). Parkerna kan antas påverka det ekologiska samhället på tre principiellt viktiga sätt; artificiella reveffekter, förändrad hydrologi och ändrade trofiska interaktioner (Petersen och Malm in press). I ett område som domineras av mjukbottnar medför tillförseln av ett nytt och annorlunda substrat att för området nya organismer kan komma och förändra de trofiska interaktionerna (Jensen m.fl. 2000). Musslor och alger som faller av från vindkraftverken berikar de närmaste sedimenten organiskt och kan förändra dess artsammansättning. Fundament av betong kan tänkas attrahera fler hårbottensorganismer än stålfundament (Anderson 1996). Å andra sidan kan ett stålfundament med sin helt annorlunda struktur attrahera arter som inte alls hör hemma i området, så kallade introducerade arter (Glasby 1999). I en framtid med många, tätt liggande vindkraftsparker kan fundamenten bli en språngbräda för sådana arter att ta sig över djupområden och sammanhängande större områden med mjukbottnar (Glasby och Connell 1999). Initialt kan det antas att påverkan av fundamenten blir lokal men vi vet inte hur stor spridningseffekten blir under ett vindkraftverks livstid.

Vindkraftverken kan förändra strömförhållandena i ett område och därmed ökar eller minskar sedimentationen och tillgången till larver av fastsittande och rörliga djur (Annon 2000). Detta är särskilt viktigt i områden med strömmande vatten som till exempel Kalmarsund eller Öresund. Om strömhastigheten minskar i ett parkområde kan områden som idag domineras av hårda bottnar övergå till att bli mjukbottnar med stora konsekvenser för hela samhällstrukturen. Ökad turbulens runt fundamenten på en mjukbotten kan också medföra en ökad resuspension av sedimentet med sämre siktdjup och lägre tillväxt och en försämrad djuputbredning av makroalger som följd (Annon 2003b).

Det tredje och kanske viktigaste sättet en vindkraftspark kan tänkas förändra samhällstrukturen i ett område är genom förändrade predationsförhållanden av människor, fåglar och fisk. Fisket måste antagligen av tekniska orsaker begränsas i en vindkraftspark, där kraftverkskablar går över botten (Annon 2003b). Trålning är inte aktuellt inom de vindkraftsparker som skall byggas nu men i en framtid när byggnation kan bli aktuell längre ut i havet så kan vindkraften påverka det kommersiella fisket. Parker kan komma att fungera som marina reservat (Annon 2003b), förutsatt att de fiskarter man vill skydda stannar kvar i tillräcklig mängd inom parken. Vindkraftverk alstrar ljud och tryckvågor i vattnet vilket skulle kunna påverka vissa fiskarter negativt och minska populationsstorlekarna inom området (Popper och Carlsson 1998). Preliminära studier tyder dock på att många mindre arter som till exempel sjustrålig smörbult och sandstubb inte påverkas utan i stället attraheras av vindkraftsfundamenten (Wilhelmsson m.fl. submitted). Även fisk och musselätande fåglar kan påverkas av vindkraften. Omfattande studier av beteendet hos dykänder i Kalmarsund visar att de undviker vindkraftsparkerna under flyttning (Pettersson 2005). Om fåglarna även under häckning och övervintring undviker att

komma nära vindkraftparkerna kan detta tänkas ha en effekt på de trofiska interaktionerna.

Fiskerifrågor, fågel och fisk ligger utanför ämnet för studien som beskrivs i denna rapport. Emellertid, om födosöksbeteendet hos dessa toppredatorer påverkas av vindkraftverken så kommer det även att ge effekter på det bentiska samhället i och runt blivande parker. På djupare hårbottenar i Östersjön känner vi de trofiska interaktionerna dåligt. Det är möjligt att en ökad fiskmängd inom parkerna kan komma förändra dominansen mellan de bottenlevande organismerna så att perenna makroalger gynnas på bekostnad av fintrådiga alger och musslor. Enligt H. Kautsky (pers kom) så finns det indikationer på att de stora övervintrande populationerna av alfågel (*Clangula hyemalis*) som nästan uteslutande lever på blåmusslor, har förmåga att strukturera bottenmiljöerna på Östersjöns utgrund. I områden med höga tätheter av alfågel är bottenarna dominerade av makroalger, på platser där fågeltätheten är lägre så dominerar musslor.

För att kunna göra förutsägelser för hur den marina vindkraften kan komma att påverka bottenmiljöerna är det viktigt att karakterisera dem redan innan byggnationen. I föreliggande arbete har vi undersökt de strukturella skillnaderna mellan fem hårbottenmiljöer i en salthaltsgradient från mellersta Kattegatt till Centrala Östersjön.

Material och metoder

Denna studie av den biologiska mångfalden och samhällsdynamiken i och runt blivande vind-kraftsparker längs Sveriges kuster har genomförts med hjälp av apparatdykning (SCUBA) och snabbgående arbetsbåtar. För exakt navigation har vi använt Garmin GPSmap 276C med inbyggd dGPS. Studien genomfördes under juni 2005.

Platserna valdes ut med hjälp av de olika projektörernas kartor och koordinater. I områden där det varit möjligt har vi arbetat mindre än tjuugo meter från de planerade vindkraftverken. I dessa områden har vi också undersökt referenslokaler med en så likartad miljö som möjligt på tre till fem kilometers avstånd. På samtliga undersökta lokaler har vi samlat in kvantitativa prover av bottenfauna och flora i tre replikat. Vi har också antecknat visuella observationer av ett cirka hundra kvadratmeter stort område vid varje lokal och videofilmat botten längs ett tjugofem meter långt måttband utlagt i en bestämd kompasskurs.

De kvantitativa proverna insamlades enligt en standardiserad metod på 0,04 m² stora ytor. Materialet fördes till laboratoriet i Kalmar där det sorterades till närmaste möjliga taxa av specialutbildad personal. Antalet djur av varje art räknades (utom mossdjur och svampdjur) och varje art/taxon av både alger och djur torkades i 60°C värme till konstant vikt.

I denna rapport är jämförelserna baserade på biomassa, men vi kan i framtiden komma att basera jämförelserna även på individantal beroende på vilket som ger mest information. För att analysera samhällsskillnader eller snarare likheter mellan havsområden och olika djupintervall har vi använt programvaran ”Primer 6.1.2”. Med hjälp av denna programvara har vi utfört ”analysis of similarities” (ANOSIM). Nollhypotesen för testet är att det inte finns några samhällsskillnader. Testet ger ett storleksvärde på likheten kallad ”R”. R kan variera mellan 0 och 1. När värdet är lägre än 0.25 så är skillnaderna små mellan lokalerna. När värdet är högre än 0.75 finns en tydlig skillnad. Värdet kring 0.5 visar en överlappning men samhällsskillnaderna kan ändå vara signifikanta. För att avgöra vilka arter som betyder mest för variationen i samhällskomposition mellan olika platser har vi även utfört ett Similarity/distance percentage (SIMPER) test. I bägge dessa test har vi använt ”Bray-Curtis similarities” och rottransformerat materialet före analyserna för att minska betydelsen av den allra mest dominerande arten, det vill säga blåmussla, (*Mytilus edulis*). Skillnader i biomassa mellan enskilda arter på olika platser har analyserats med envägs variansanalys (ANOVA) med hjälp av programvaran Statistica 99.

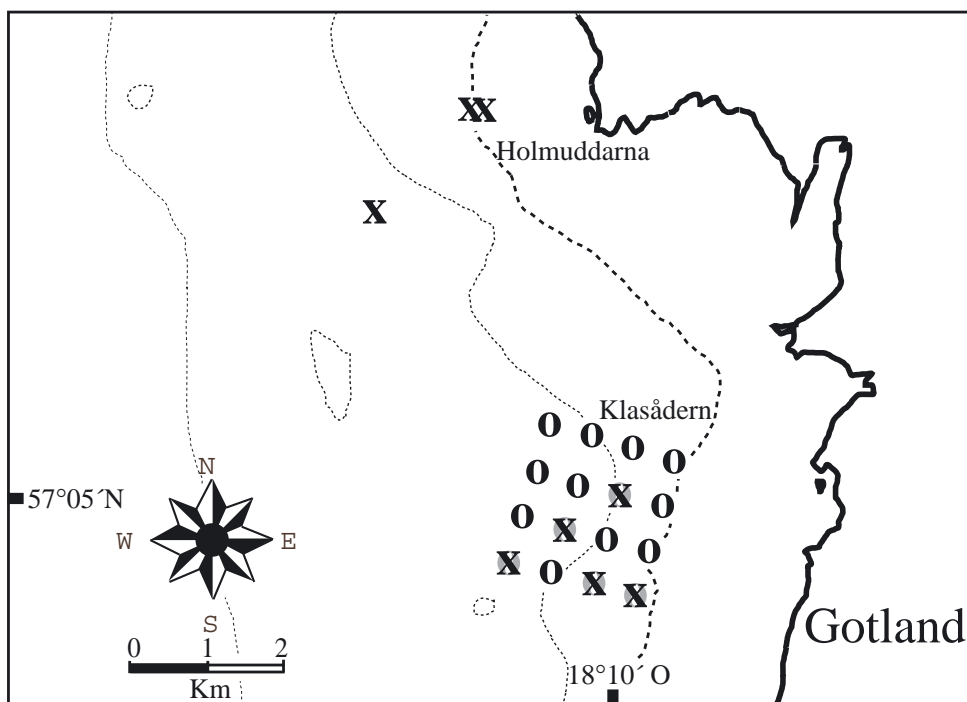
Beskrivning av undersökningsområdena

Klasådern, Gotland

Klasåderns vindkraftverkspark utanför sydöstra Gotland projekteras av Vestas. Projektet har fått alla byggnationstillstånd. Trots detta är det inte troligt att uppförandet sker under 2006. Platsen och verkens exakta position är fastlagda. Parken kommer att bestå av sexton vindkraftverk placerade på ett djup från cirka tolv meter till cirka sex meter. Gravitationsfundament av betong kommer att användas.

Botten består av kalkklippa men är oftast överlagrad av grus och sten som driver i området i samband med stormar (egna tidigare observationer). Där klippan går i dagen så består därför växtligheten av annuella arter som brunslick (*Pilayella littoralis*). Grova granitblock är vanliga och dessa är bevuxna med fleråriga algarter som Kräkel (*Furcellaria lumbricalis*) och Rödslick (*Polysiphonia fucoides*). På de vertikala sidorna av blocken dominerar blåmusslor.

Vi undersökte fem lokaler vid den planerade vindkraftsparken och tre lokaler i ett referensområde tre kilometer norr om parken vid Holmuddarna (se figur 1). I parkområdet undersökte vi tre platser vid kanten av den planerade parken och två platser inne i parken. Detta gjordes för att kunna särskilja parkeffekter från effekten av enskilda vindkraftverk. Lokalerna i parken och referenslokalerna ligger i ett djupintervall från tolv till åtta meter.

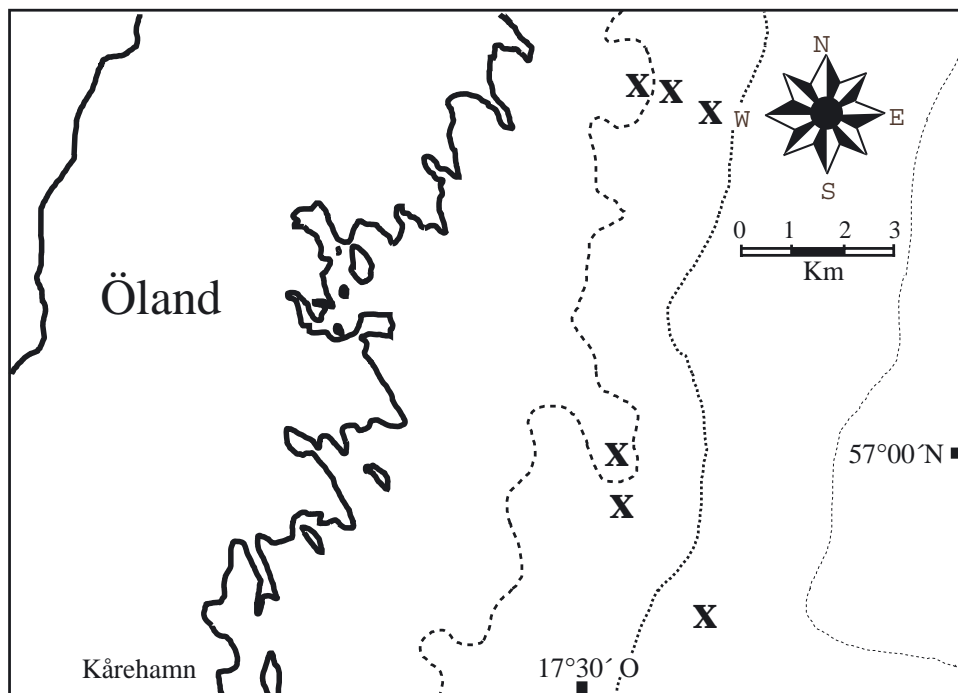


Figur 1. Klasåderns planerade vindkraftspark på sydvästra Gotland. X markerar platser för vår provtagning. O markerar platser för blivande vindkraftverk. De tunna strecken markerar från land, fem, tio och tjugo meters djuplinjer.

Kårehamn, nordöstra Öland

Kårehamnsparken som projekteras av E.ON-gruppen, har fått regeringstillstånd för att påbörja projektering och bottenundersökning men något byggtillstånd finns ännu inte. Den framtida placeringen av de fjorton verken är därför preliminär. Ingen byggnation kommer att ske under 2006. De planerade verken kommer att stå på rad i en sydostlig riktning i en tydlig djupgradient. De djupaste verken kommer att stå på cirka tjugo meters djup och de grundaste på cirka sex meters djup. Monopiles av stål är den troligaste fundamenttypen. Vi har besökt tre platser på arton, tolv och åtta meters djup i anslutning till de planerade verken och tre platser på samma djup i ett referensområde cirka fem km norr om den planerade parken (se figur 2).

Verken kommer att placeras på en åsrygg där botten består av block, sten och grus. I kontrollområdet har vi besökt en liknande bottenstruktur. På åtta meters lokalerna dominerar grova block, medan botten på tolv och arton meters lokalerna mest består av grus med cirka tjugofem procent block. I området fanns vid tillfället stora mängder drivande brunalger av släktena *Pilayella* och *Ectocarpus*. På de grunda blocken dominerar den perenna algen Kräkel (*Furcellaria lumbricalis*) medan *Phyllophora* sp är vanligare på de djupare lokalerna. Blåmusslor täcker alla vertikala sidor på blocken men mängden minskar med ökande djup.

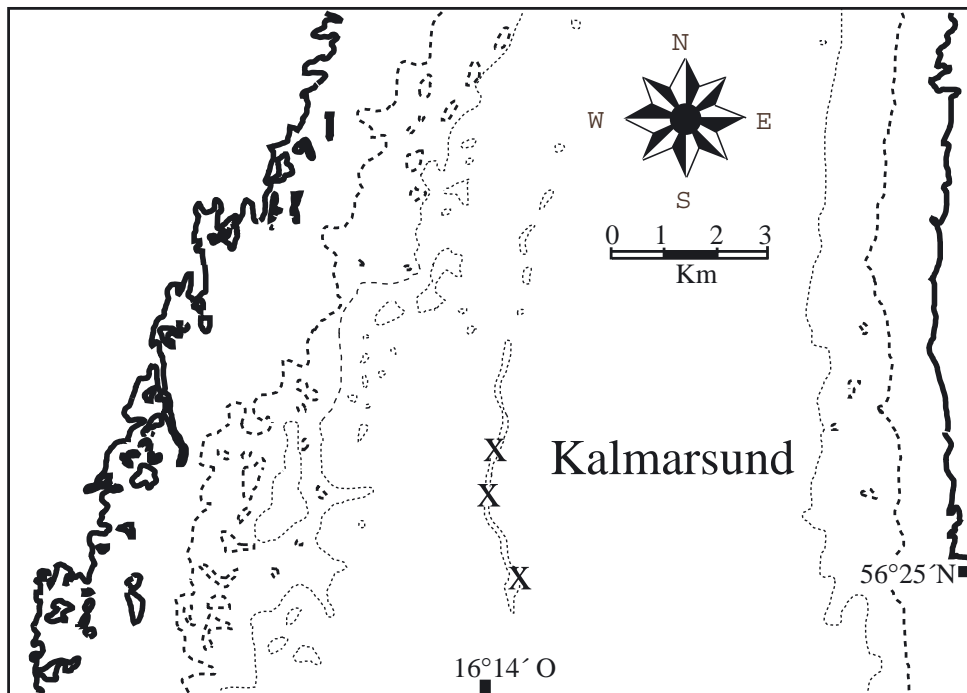


Figur 2. Kårehamns blivande vindkraftverkspark utanför nordöstra Öland. X markerar platser för vår provtagning. De tre nordliga kryssen markerar referensområdet och de tre sydliga lokalerna ligger i anslutning till blivande vindkraftverk. De tunna strecken markerar från land, 5, 10 och 20 meters djuplinjer.

Utgrunden, Kalmarsund

Utgrundens andra vindkraftspark, benämnd "Utgrunden II" projekteras av E.ON. Byggnation av tjugofyra kraftverk förankrade med monopiles sker 2 kilometer söder åsryggen (markerad med x i figur 3) under första halvåret 2006. Kraftverken kommer att byggas på sandbottnar på cirka arton meter djup. Vi har tagit prover på mjukbottenfaunan på dessa bottnar i anslutning till tio platser där vindkraftverken kommer placeras. Vi har även tagit prover på åtta mjukbottenlokaler i ett referensområde öster om åsryggen. Dessa mjukbottenprover har konserverats med formalin och måste för att uppnå konstant massa, vila tre-fyra månader innan de kan sorteras (BIN B R06 Naturvårdsverket, 1986). Vi redovisar därför inte resultaten av dessa undersökningar i denna rapport.

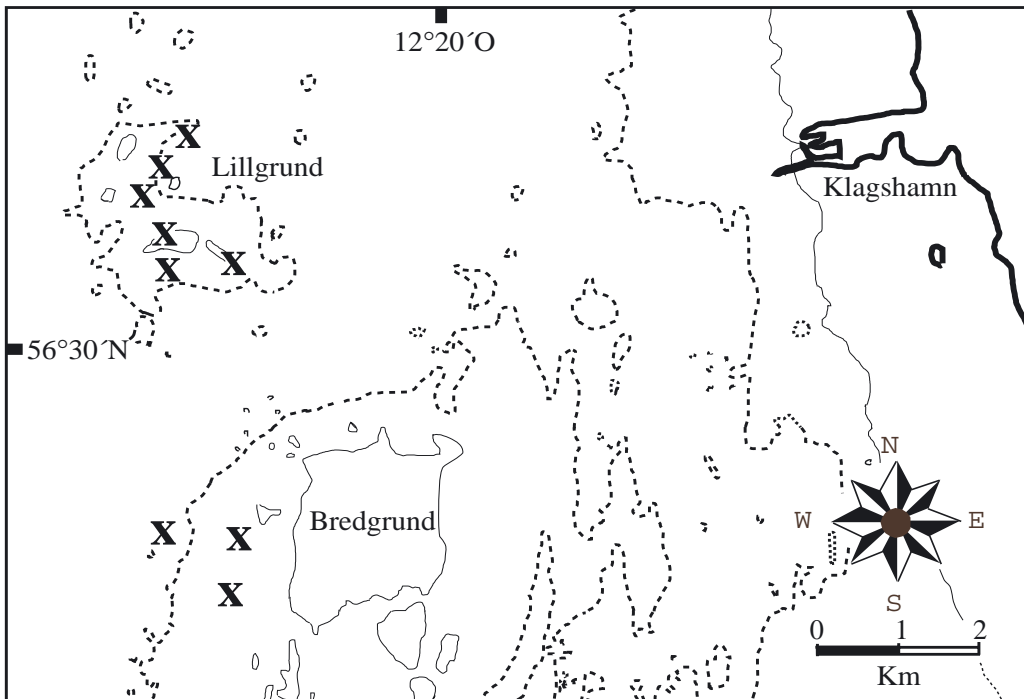
För att få en bild av vilka tänkbara organismer som kan komma att etablera sig på fundamenten av vindkraftverken undersökte vi tre hårbottenlokaler längs åsen. Åsryggen ligger cirka åtta meter under ytan och är mycket smal, cirka tjugo meter. Sidorna är starkt sluttande och planar ut på cirka arton meters djup där botten övergår i sand och lera. Vi tog bottenprover på åsryggen, på sluttningen vid cirka tolv meters djup och vid basen av åsen. Bottnarna består av sten och grus, inga större block kunde observeras på någon av lokalerna. På stenarna dominerar musslor och fintrådiga brunalger, i mindre utsträckning fintrådiga rödalger. På de djupaste lokalerna är alger mycket sparsamt förekommande och här förekommer mycket slam.



Figur 3. Utgrunden II:s planerade vindkraftspark i södra Kalmarsund. X markerar platser för vår provtagning. De tunna strecken markerar från land, fem och tio meters djuplinjer.

Lillgrund, Malmö

Lillgrundens vindkraftpark i södra Öresund projekteras av Vattenfall. Under första halvåret 2006 kommer fyrtioåtta kraftverk med monopiles att uppföras inom området. Djupet på grundet varierar från åtta till fyra meter. I områdets nordöstra del dominerar sandfält och ålgräs (*Zostera marina*). I områdets sydvästra del förekommer block, grus och sand. I denna del av parken undersökte vi sex platser i anslutning till blivande vindkraftverk. Tre av dessa lokaler är placerade inne i den blivande parken och tre är placerade i kanten av parken. Som referenslokaler valde vi tre platser vid Bredgrund, cirka fyra kilometer söder om Lillgrund. På blocken, både på vertikala och horisontala ytor, växer rikliga mängder musslor och fintrådiga brunalger och i mindre utsträckning fintrådiga rödalger. I sanden mellan blocken växer ålgräs och andra högre vattenväxter.

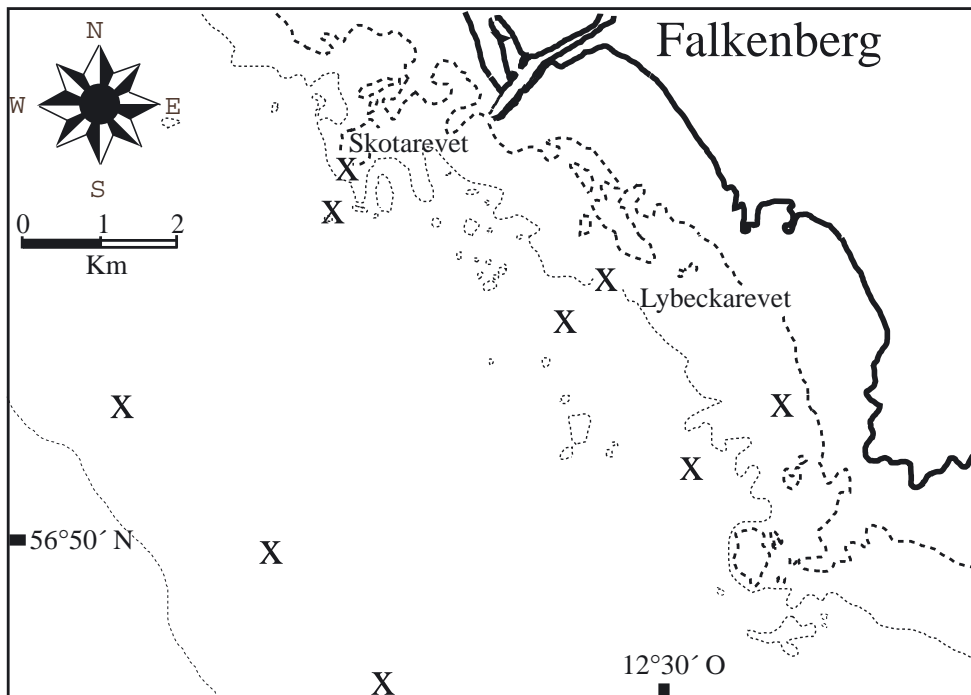


Figur 4. Lillgrundets planerade vindkraftpark i södra Öresund. X markerar platser för vår provtagning. De tunna strecken markerar från land, tre, och fem meters djuplinjer.

Skotarevet, Falkenberg

Det är fortfarande osäkert om det blir någon byggnation utanför Falkenberg, inga tillstånd har i skrivande stund givits så vitt vi vet. Enligt den information vi erhållit från projekteraren Triventus Consulting AB så har teknikutvecklingen inneburit att man övergivit Skotarevet som tänkbar plats och i stället projekterar för byggnation av större verk, längre ut på mjukbottnar på ett djup av tretio till fyrtio meter. Eftersom detta djup och denna typ av botten inte lämpar sig för dykning så tog vi i stället prover från närmaste hårbottnar för att få en bild av vilka tänkbara organismer som kan komma att etablera sig på fundamenten av vindkraftverken. Provtagningen gjordes längs tre gradienter vid Skotarevet och norr och söder om Lybeckarevet (se figur 2). Prover togs i varje gradient på åtta, tolv och arton meter djup. Salthalten var 31 promille på arton meters djup och 15 promille på åtta och tolv meters djup.

Lokalerna på åtta och tolv meters djup utgörs till 50 till 75 procent grova block på sand. Blocken är till 100 procent täckta av olika rödalger där Blåtonat rödblåd (*Phyllophora pseudoceranoides*) och Ekblading (*Phycodrys rubens*) är vanligast. Även de vertikala sidorna av blocken täcks av alger. Bottnarna på arton meters djup domineras av lera och skalgrus. Blockmängden är cirka tio procent och blockstorleken är mindre än på grundare bottnar. Täckningsgraden av alger på blocken är låg, bara cirka tjugo procent med dominans av Ekblading. De vertikala sidorna på blocken saknar växter och djur.



Figur 5. Skotarevet utanför Falkenberg i mellersta Kattegatt. X markerar platser för vår provtagning. De tunna strecken markerar från land fem, tio och tjugo meters djuplinjer.

Resultat

Geografiska skillnader

De bentiska samhällena bildar tre signifikant skilda grupper; a) den centrala Östersjön med Kårehamn och Klasådern, b) de bägge sunden Kalmarsund och Öresund samt c) Skotarevet utanför Falkenberg (se tabell 1).

| Områden | R | p ($\alpha=0,05$) |
|----------------------------------|------|---------------------|
| Sunden vs Centrala Östersjön | 0,46 | < 0,01 |
| Sunden vs Skotarevet | 0,91 | < 0,01 |
| Centrala Östersjön vs Skotarevet | 0,84 | < 0,01 |

Tabell 1. ANOSIM. Global R: 0,64. Jämförelse mellan de tre huvudområdena.

Olikheterna i samhällsstruktur inom Skotarevet var åttio procent vilket är mer än olikheterna mellan alla de olika Östersjölokaler inklusive Öresund vilka uppgick till 59 procent. Ostkustsamhällena skiljer sig till 94 procent från västkustsamhällena. Uppsättningen av arter är väsentligen olika i Kattegatt jämfört med Östersjön. Skotarevet är dominerat av makroalger och svampdjur. Övriga djurmängder är små. Östersjön domineras Blåmusslan (*Mytilus edulis* L). Biomassorna av blåmussla och fintrådiga brunalger är signifikant högre och biomassorna av perenna makroalger är signifikant lägre i sunden jämfört med den centrala Östersjön (Tabell 2).

| Arter | Biomassa g (ts) m ⁻² | | ANOVA | | |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------|---------------------|--------------|
| | Sunden | Centrala Östersjön | F | p ($\alpha=0,05$) | Delolikhet % |
| <i>Mytilus edulis</i> | 708,6 ± 552,1 | 207,6 ± 215,0 | 30,8 | < 0,001 | 28,96 |
| <i>Ectocarpus siliculosus</i> | 20,5 ± 28,1 | 7,9 ± 13,8 | 7,0 | 0,009 | 6,34 |
| <i>Pilayella littoralis</i> | 17 ± 37,1 | 2,8 ± 8,5 | 5,9 | 0,02 | 5,25 |
| <i>Balanus improvisus</i> | 11,7 ± 16,3 | 1,7 ± 4,8 | 7,2 | 0,008 | 4,76 |
| <i>Hydrobidae</i> sp | 6,8 ± 9,16 | 5,1 ± 10,1 | | n.s | 3,25 |
| <i>Polysiphonia fucoides</i> | 5,6 ± 17,3 | 43,9 ± 51,23 | 25,9 | < 0,001 | 10,09 |
| <i>Ceramium gobii</i> | 4,2 ± 10,4 | 2,8 ± 7,8 | | n.s | 2,75 |
| <i>Theodoxus fluviatilis</i> | 1,1 ± 1,6 | 4,1 ± 4,8 | | n.s | 2,85 |
| <i>Rhodomela confervoides</i> | 0,4 ± 0,8 | 7,1 ± 12,0 | 16,6 | < 0,001 | 3,5 |
| <i>Furcellaria lumbicalis</i> | 0,2 ± 0,8 | 54,1 ± 43,9 | 22,9 | < 0,001 | 8,65 |

Tabell 2. Medelvärde ± standardavvikelse för de viktigaste arterna som bidrar till mer än 75 procent av variationen i samhällsstruktur mellan de olika områdena, Centrala Östersjön och Sunden. Antalet prov (N) var 94 i bägge grupper. Total olikhet mellan havsområdena var 59 procent

Vertikala skillnader

Den stora variationen på Skotarevet utgjordes till stor del av skillnader mellan olika djup, det vill säga mellan åtta, tolv och arton meter. På Skotarevet är det ett antal röda makroalger som ger upphov till den största variationen i samhällsstruktur, både biomassa och art sammansättning varierar (se tabell 3).

| Arter | Delolikhet % | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 8m vs 18 m. | 12m vs 18 m. | 8 m vs 12 m. |
| <i>Aglaothamnion roseum</i> | 5,25 | 5,24 | - |
| <i>Asterias rubens</i> | 2,47 | - | - |
| <i>Coccotylus truncatus</i> | 3,85 | 3,74 | - |
| <i>Cystoclonium purpureum</i> | 7,11 | 8,08 | - |
| <i>Delesseria sanguina</i> | 4,73 | - | 12,6 |
| <i>Haliclona limbata</i> | 7,14 | 6,56 | - |
| <i>Mytilus edulis</i> | - | 4,81 | 8,08 |
| <i>Phycodrus rubens</i> | 9,54 | 12,55 | 28,37 |
| <i>Phyllophora pseudoceranoides</i> | 23,28 | 14,45 | 15,69 |

Tabell 3. Arter som bidrar till mer än 75 procent av variationen i samhällsstruktur mellan de olika djupen på Skotarevet

I Östersjön är de vertikala skillnaderna i samhällsstruktur små inom det intervall vi undersökt, åtta till arton meters djup. Endast i Kalmarsund kunde en skillnad observeras mellan åtta och tolv meters respektive arton meters djup (ANOSIM, $R=0,7$, $p<0,1$). Denna skillnad bestod mest av minskande biomassa för alla organismer utom för Skorv (*Mesidothea entomon*) som hade högre biomassa på djupare botten jämfört med grundare (se tabell 4).

| Arter | Biomassa g (ts) m ⁻² | | ANOVA | | Delolikhet % |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------|-------|---------------------|--------------|
| | 8 och 12 m djup | 18 m djup | F | p ($\alpha=0,05$) | |
| <i>Mytilus edulis</i> | 880,9 ± 314,6 | 309,5 ± 131,6 | 26,76 | < 0,001 | 39,4 |
| <i>Balanus improvisus</i> | 21,0 ± 17,6 | 1,4 ± 1,8 | 10,8 | 0,003 | 10,7 |
| <i>Ectocarpus siliculosus</i> | 11,3 ± 22,6 | 6,3 ± 11,5 | | n.s | 7,5 |
| <i>Pilayella littoralis</i> | 11,4 ± 31,0 | 5,0 ± 6,8 | | n.s | 7,1 |
| Hydrobidae sp | 4,5 ± 3,2 | 1,8 ± 2,6 | 4,66 | 0,04 | 3,9 |
| <i>Mesidothea entomon</i> | 0,01 ± 0,04 | 3,2 ± 7,1 | 3,5 | 0,05 | 3,6 |
| <i>Gammarus oceanicus</i> | 2,0 ± 2,0 | 0,5 ± 0,9 | | n.s | 3,3 |

Tabell 4. Medelvärde ± standardavvikelse av de viktigaste arterna som bidrar till mer än 75 procent av variationen i samhällsstruktur mellan de olika djupen i Kalmarsund. Antalet prov (N) var tjugosex i bägge grupper. Total olikhet mellan djupen var 42 procent.

Diskussion

Vår studie visar att det finns tydliga skillnader i samhällsstrukturen mellan de olika undersökta havsområdena. Den tydligaste skillnaden är den mellan Östersjölokaler och Kattegatt. Det är känt sedan länge att salthalten är den mest betydelsefulla faktorn för variationen i samhällenas struktur och funktion (Middelboe m.fl. 1997). Förutom salthaltens osmotiska inverkan, förklaras detta främst av att utbredningen av blåmusslornas främsta predatorer, större kräftdjurkrabbor och sjöstjärnor, hejdas i Öresund av den låga salthalten (Saier 2001, Enderlein och Wahl 2004). När blåmusslorna befrias från detta predationstryck ökar deras konkurrenskraft och de kan breda ut sig på alla hårda bottenar (Enderlein och Wahl 2004). De blir särskilt konkurrensdugliga på vertikala ytor beroende på att vattenströmningen är högre där (Littorin and Gilek 1999). I Östersjön finns också av en annan viktig filtrerare, brackvattenhavstulpanen, *Balanus improvisus*, en introducerad art från Nordamerika (Leppäkoski m.fl. 2002). I Kattegatt var frekvensen av havstulpaner långt mindre, möjligen beroende på att salthalten är för hög för *B. improvisus* där (Kennedy och DiCosimo 1983). Vi kan därför visa på inte bara en skillnad i artrikedom mellan Östersjöns och Kattegatts hårbottensamhällen utan också en skillnad i funktionell diversitet. I Östersjön fann vi att det är det filtrerare som i stor utsträckning dominerar de hårda bottenarna. I Kattegatt är det i stället till stor del primärproducenter i form av perenna rödalger.

En annan viktig men något överraskande resultat i vår undersökning är den stora överensstämmelsen mellan Kalmarsunds respektive och Öresunds hårbottensamhällen. Salthalten i Kalmarsund är i genomsnitt den lägsta av de undersökta områdena och Öresund har den högsta. Ändå liknar samhällena i Kalmarsund mer Södra Öresund än det närliggande Kårehamn på nordöstra Öland. En detaljerad analys av vilka organismer som gav upphov till skillnaden visar att det var de övergödningsgynnade arterna som var gemensamma för de bägge sunden medan i de bägge lokalerna i centrala Östersjön var det perenna rödalger som var gemensamma. Kårehamn och Klasådern ligger i områden med förhållandevis små och magra tillrinningsområden. Kalmarsund och Öresund är omgivna av jordbruksområden, vilket skulle kunna förklara skillnaden.

Även det strömmande vattnet i sunden har förmodligen en gödande effekt då det transporterar betydande mängder partiklar som kan utgöra föda för blåmusslorna. Våra resultat visar att det kan finnas faktorer utöver salthalt och botten typ som är betydelsefulla för samhällsutvecklingen och som till och med kan betyda mer vid vissa tillfällen.

Effektstudier och kontrollprogram av vindkraftens miljöpåverkan behöver ta hänsyn till att de ekologiska förhållandena skiljer sig mycket mellan de olika parkområdena. Man kan inte utan vidare överföra erfarenheter från ett område till ett annat. Särskilt inte mellan Östersjön och Nordsjön men man bör också vara observant på skillnader inom ett och samma havsområde. I förlängningen innebär detta att man behöver ta hänsyn till olika saker vid etableringen av vindkraftsparker

beroende på var man befinner sig. Vilka dessa särskilda krav är syftar bland annat våra framtida studier till att ta reda på.

Förslag till framtida studier

Slutsatsen av vår undersökning är att det även fortsättningsvis behövs studier från flera olika områden för att kunna ge generella förutsägelser för hur en fortsatt utbyggnad av vindkraften påverkar kustekosystemen. Det är en fördel om dessa undersökningar utförs under en begränsad period per år och på ett likartat sätt i alla områden. Vårt koncept, att samma forskare återupprepar studierna och samma personal sorterar och artbestämmer materialet har visat sig framgångsrikt när det gäller att hitta skillnader och likheter mellan samhällen och områden. Vi föreslår därför Vindval-kommittén att vi får fortsatt förtroende att studera de fem parkområdena före, under och efter etableringen av vindkraftverken. Vid Klasådern, Kårehamn och Skotarevet är det inte aktuellt att bygga under 2006. Vi föreslår ändå att studien upprepas i dessa områden fram till att byggnadsbeskedet kommer. På det sättet fångar vi områdets dynamik och inte bara struktur, före etableringen av vindkraften. Eftersom vi under sommaren har funnit att det inom alla parkområden finns betydande mjukbottenområden behöver vi inkludera dessa botten i studien för att få med hela parkens dynamik.

I Kalmarsund och på Lillgrund avser vi att undersöka respektive område två gånger under 2006. Dels besöker vi områdena omedelbart efter byggnationen på sommaren, dels repeterar vi studien på hösten i oktober. Detta gör vi för att kunna skilja ut de omedelbara effekterna av själva byggnadsfasen från de mer långsiktiga effekterna som själva driftsfasen kan komma att få på bottensamhällena. Det är också intressant ur både ett tillämpat och grundforskningsperspektiv att från början följa det primära kolonisationsförloppet på vindkraftverken och hur det varierar mellan havsområdena. Det är också intressant att detektera om eventuellt sällsynta eller för havsområdet främmande arter etablerar sig på fundamenten. Det är vår förhoppning att åtminstone Klasåders vindkraftspark kommer att byggas under år 2007 och att vi kan få med detta område i studien på samma sätt som Lillgrund och Utgrunden II. Vi avser därefter att besöka de fem parkområdena och referensområdena en gång per år under samma tidpunkt för att samla kvantitativa hård- och mjukbotten prover och kvantitativa prover på vindkraftverken.

Under arbetets gång kommer vi att samla data på både mjuk- och hårbotten-samhällenas dynamik i vindkraftparkerna och i kontrollområdena. Vår hypotes är att denna dynamik styrs av de trofiska interaktionerna och de fysiska förhållandena och att dessa kan komma att påverkas av vindkraftutbyggnaden. Det finns få skäl att tro att den så kallade reveffekten av själva fundamenten kan orsaka några detekterbara förändringar på bentos som ger effekt på parknivå. I varje fall inte på så kort tid som fyra år. Vi tror snarare att det är förändringar på högre trofisk nivå, dvs. fisk, fågel, säl och kommersiellt fiske som kan ge mätbara förändringar.

Dessa nivåer i näringskedjan kommer att studeras av andra forskargrupper inom Vindval. Vår avsikt är att etablera ett nära samarbete med dessa grupper för

att kunna gemensamt kvantifiera och beräkna de trofiska interaktionerna i respektive park och kontrollområde. Vi har haft inledande samtal med andra grupper inför denna ansökan, bland annat Ulf Bergström på Fiskeriverket, Thomas Axenrot på Stockholms Universitet och Jan Petterson JP fågelvind och Lunds Universitet. Samtliga ställer sig positiva till samarbete. Formerna för detta samarbete får diskuteras efter det att Vindval-kommittén utsett vilka som får förtroende att utföra de grundläggande studierna. Mycket likartat arbete utförs också på både hårda och mjuka bottenar i de marina kontrollprogrammen för vindkraften. Vi avser därför att även att etablera ett samarbete med de konsulter som är inblandade i detta arbete för att använda deras resultat och uppnå samordningsvinster.

Målet med arbetet är att det skall leda fram till en modell som beskriver hur vindkraften påverkar samhällsstrukturen beroende på ursprungsvillkor och byggnadssätt. Detta redskap skall kunna användas av exploatörer och samhällsplanerare vid miljökonsekvensbeskrivningar och övervakningsprogram.

Litteratur

Aktuella publikationer och manuskript inom gruppen

Petersen K.J. and Malm T. Off shore windmill farms: Threats or possibilities to the marine environment. *Ambio*. In press.

Wilhelmsson D., Malm T. and Öhman M. Influence of offshore wind power on demersal fish. Accepted in *ICES Journal of Marine Science*

Qvarfordt S., Kautsky H. and Malm T. Development of fouling communities on vertical structure in the Baltic Sea. Submitted to *Estuarine, Coastal and Shelf science*.

Referenser

Anderson M.J. 1996. A chemical cue induces settlement of Sydney rock oysters, *Saccostrea commercialis*, in the laboratory and in the field. *Biological Bulletin, Marine Biological Laboratory, Woods Hole*. 190(3): 350-358.

Anonymous 2000. Environmental impact of the construction of the Øresund fixed link. Øresund-konsortiet. Copenhagen, 96 pp.

Anonymous 2003a. Förslag till kontrollprogram för Lillgrund Örestads vindkraftspark. Marin flora och fauna Toxicon projekt 057/03. Landskrona. 17 pp.

Anonymous 2003b. Vindkraftspark – Kriegers flak Under lag för utökat samråd november 2003. Sweden Offshore Wind AB. 107 pp.

Anonymous 2005. Utgrunden II. E.ON. Detaljeradkarta över Utgrunden. 1pp.

Boromthanarat S. and Deslous-Paoli J.M. 1988. Production of *Mytilus edulis* L. reared on bouchots in the Bay of Marennes-Oleron: Comparison between two methods of culture. *Aquaculture*. 72(3-4): 255-263.

Castilla J.C., Lagos N.A. and Cerda M. 2004. Marine ecosystem engineering by the alien ascidian *Pyura praeputialis* on a mid-intertidal rocky shore. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 268: 119-130.

Elser J.J., Fagan W.F., Denno R.F., Dobberfuhl D.R., Folarin A., Huberty A., Interlandi S., Kilham S.S., McCauley E., Schulz K.L., Siemann E.H., Sterner R.W. 2000. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*. 408(6812): 578-580.

Enderlein P. and Wahl M. 2004. Dominance of blue mussels versus consumer-mediated enhancement of benthic diversity. *J. Sea Res.* 51(2): 145-155.

- Glasby 1999. T.M. Differences Between Subtidal Epibiota on Pier Pilings and Rocky Reefs at Marinas in Sydney, Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 48(2) 281-290.
- Glasby T.M. and Connell S.D. 1999. Urban structures as marine habitats. *Ambio* 28(7): 595-598.
- Henrikson L., Nyman H.G., Oscarson H.G. and Stenson J.A.E. 1980. Trophic changes without changes in the external nutrient loading. *Hydrobiologia* 68(3) 257-263.
- European Commission. 2001. Green Paper. The future of the common fisheries policy. Volume II. State of the resources and their expected development. 47 pp
- Jensen A.C., Collins K.J. and Lockwood A.P.M. 2000. Artificial reefs in European seas. Kluwer Academic Publishers: London. 508 pp.
- Kautsky N. 1982. Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Mar. Biol.* 68(2): 117-133.
- Kennedy V.S. and DiCosimo J. 1983. Subtidal distribution of barnacles (Cirripedia: Balanidae) in Chesapeake Bay, Maryland. *Estuaries*. 6(2): 95-101.
- Kiessling W. 2005. Long-term relationships between ecological stability and biodiversity in Phanerozoic reefs. *Nature*. 433: (7024):410-413.
- Kornilovs G., Sidrevics L. and Dippner J.W. 2001. Fish and zooplankton interaction in the Central Baltic Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 58(3): 579-588.
- Leppäkoski E., Gollasch S., Gruszka P., Ojaveer H., Olenin S. and Panov V. 2002. The Baltic - a sea of invaders. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59(7): 1175-1188.
- Levinton S.J. 2001. Marine biology. Function Biodiversity Ecology. Oxford University Press. New York. 515 pp.
- Littorin B. and Gilek M. 1999. Vertical patterns in biomass size structure growth and recruitment of *Mytilus edulis* in an archipelago area in the northern Baltic Sea proper Ophelia. 50(2): 93-112.
- Mao C.X. and Colwell R.K. 2005. Estimation of species richness: Mixture models the role of rare species and inferential challenges. *Ecology*. 86(5): 1143-1153.
- Middelboe A.L., Sand-Jensen K. and Brodersen K. 1997. Patterns of macroalgal distribution in the Kattegat-Baltic region. *Phycologia* 36(3) pp. 208-219.
- Neill WE 1998. Fish production food webs and simple trophic models. In: Reinventing fisheries management. Pitcher T.J., Hart P.J.B. and Pauly D. (eds). Chapman & Hall fish and fisheries series No.23. Kluwer Academic Dordrecht.

Nielsen K.J. 2001. Bottom-up and top-down forces in tide pools: Test of a food chain model in an intertidal community. *Ecol. Monogr.* 71(2): 187-217.

Pettersson J. 2005. The Impact of Offshore Wind Farms on Bird Life in Southern Kalmar Sound. University of Lund. Lund. 107 pp

Popper A.N. and Carlsson T.J. 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behaviour. *Transactions of the American Fisheries Society.* 127(5): 673-707.

Saier B. 2001. Direct and indirect effects of seastars *Asterias rubens* on mussel beds (*Mytilus edulis*) in the Wadden Sea. *J. Sea Res.* 46(1): 29-42.

Townsend R.C., Begon M. and Harper L.J. 2003. *Essentials of ecology.* Blackwell Science Oxford 530 pp

Wilhelmsson D., Malm T. and Öhman M. Influence of offshore wind power on demersal fish. Submitted to *ICES Journal of Marine Science*

Hur vindkraft påverkar livet på botten

RAPPORT 5570

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 91-620-5570-4
ISSN 0282-7298

- en studie före etablering

För att kunna dra slutsatser om hur vindkraftetablering påverkar ekologin är det nödvändigt att först karaktärisera de ekologiska samhällena på aktuella platser. I den här studien har forskarna undersökt hårdbottnar vid Lillgrund, Utgrunden II, Kårehamn, Klasården, Skottarevet samt referensområden till dessa. Samtliga områden är aktuella för vindkraftutbyggnad och underlaget är tänkt att användas för jämförelser med undersökningar under och efter vindkraftetablering.

Studien visar att de undersökta platserna är mycket olika. En viktig slutsats blir därför att framtida effektstudier måste ta hänsyn till de stora ekologiska skillnaderna mellan Östersjön och Nordsjön. Förhållandena kan även variera inom ett och samma havsområde.

Kunskapsprogrammet Vindval samlar in, bygger upp och sprider fakta om vindkraftens påverkan på den marina miljön, på växter, djur, människor och landskap samt om människors upplevelser av vindkraftanläggningar. Vindval erbjuder medel till forskning inklusive kunskapsmanställningar, synteser kring effekter och upplevelser av vindkraft. Vindval styrs av en programkommitté med representanter från Boverket, Energimyndigheten, Fiskeriverket, länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Riksantikvarieämbetet och vindkraftbranschen.

