

Vindkraft till havs

en litteraturstudie av påverkan på djur och växter



Vindkraft till havs

En litteratursammanställning av påverkan på djur och växter

NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG

Beställningsadress:
Naturvårdsverket
Kundtjänst
106 48 Stockholm
Tfn: 08-698 12 00
Fax: 08-698 15 15
E-post: kundtjanst@environ.se
Internet-hemsida: <http://www.environ.se>

isbn 91-620-5139-3
issn 0282-7298

© Naturvårdsverket
Tryck: Omslag SM Ewert, Inlaga Naturvårdsverkets repro 2001-01
Foto: Thomas Stalin
Upplaga: 300 ex

Förord

Vindkraft är en relativt ung företeelse i svenska energisammanhang. Det kan vara en anledning till att kunskapsläget om vindkraftens inverkan på djur- och växtlighet inte har uppmärksammats tillräckligt. De forskningsresultat och erfarenheter som har redovisats är troligen inte helt relevanta för dagens vindkraftsutveckling, vilken strävar mot stora grupper med upp till hundra verk ute till havs.

De långsiktiga effekterna får kanske genomslagskraft först efter flera år. I det tidsperspektivet måste studier av enstaka verk, samt undersökningar i samband med andra anläggningar till havs ändå tillskrivas viss betydelse. Resultaten från befintliga studier kan i första hand användas för att skapa förståelse för eventuella risker i samband med vindkraftverksutbyggnaden. De kan också ge vägledning vid arbetet med att finna lämpliga platser för nyetableringar samt utgöra underlag för vilka undersökningar som bör genomföras.

Systematiska översikter av vindkraftens effekter på djur och växter saknas. Naturvårdsverket har därför givit Gotlands Högskola i uppdrag att göra en ”sammanställning av befintliga data om havsbaserade vindkraftverk (parker) och dessas påverkan på ekosystemen; fågelstreck, fiske, vibrationer, elektromagnetism, ljusreflexer osv.”.

Litteratursammanställningen har gjorts av Magnus Petersson, som ensam står för innehåll och formulering i denna del. Sakgranskare har varit Sture Hansson (fisk), Peter Green (fågel) och Sven Blomqvist (sediment).

Sammanfattningen har utarbetats av Naturvårdsverket. Naturvårdsverkets syn på behov av fortsatta studier utgår dels från Magnus Peterssons litteratursammanställning dels från andra källor, bl.a. några som tillkommit efter uppdragets genomförande. Myndighetsexperter har varit Lars Bo Hansen och Ingrid Jansson.

Samordnande inom Naturvårdsverket har varit Marianne Lilliesköld.

Stockholm December 2000

Förord	3
Naturvårdsverkets syn på behov av fortsatta studier	7
Sammanfattning.....	10
1 Introduktion till litteratursammanställningen.....	13
1.1 Inledning.....	13
2 Effekter av buller och vibrationer.....	15
2.1 Allmänt om buller och vibrationer	15
2.2 Effekter av buller och vibrationer på marina organismer.....	16
2.2.1 Benfisk.....	16
2.2.2 Däggdjur	18
2.3 Effekter av buller och vibrationer på fågel.....	18
3 Effekter av elektromagnetism.....	20
3.1 Allmänt om elektromagnetism.....	20
3.2 Effekter av sjökablar på marina organismer.....	21
3.2.1 Elektriska fält.....	21
3.2.1.1 Evertebrater.....	22
3.2.1.2 Rundmunnar och Broskfisk	22
3.2.1.3 Benfisk.....	22
3.2.1.4 Däggdjur	22
3.2.2 Magnetiska fält	22
3.2.2.1 Evertebrater.....	22
3.2.2.2 Broskfisk.....	23
3.2.2.3 Benfisk.....	23
3.2.3.1 Alger	24
3.2.3.2 Evertebrater.....	24

3.2.3.3 Benfisk.....	25
3.3 Effekter av kablar på fågel.....	25
4 Effekter av ljus, skuggning och reflexer.....	27
4.1 Allmänt om ljus, skuggning och reflexer.....	27
4.2 Effekter av skuggning och reflexer på organismer.....	27
5 Effekter av sediment och sedimentation.....	28
5.1 Allmänt om sediment.....	28
5.2 Effekter av sediment och sedimentation på marina organismer.....	29
5.2.1 Alger.....	29
5.2.2 Evertebrater.....	30
5.2.3 Benfisk.....	30
6 Effekter av arbete och service.....	32
6.1 Allmänt om arbete och service.....	32
6.2 Effekter av arbete och service på organismer.....	32
7 Effekter av utsläpp och föroreningar.....	33
7.1 Allmänt om utsläpp och föroreningar.....	33
7.2 Effekter av utsläpp och föroreningar på organismer.....	33
8 Ospecifika effekter av vindkraft.....	34
8.1 Allmänt.....	34
8.2 Ospecifika effekter av vindkraft på fauna.....	34
8.2.1 Ospecifika effekter av vindkraft på födosökande, vilande och häckande fågel.....	34
8.3 Ospecifika effekter av vindkraft på flora.....	36
9 Kollisioner med vindkraftverk.....	37
9.1 Allmänt om kollisioner med vindkraftverk.....	37
9.2 Fågelkollisioner med vindkraftverk.....	38
9.3 Fladdermuskollisioner med vindkraftverk.....	42

Vindkraftverk och fladdermöss	42
10 Havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev.....	44
10.1 Allmänt om artificiella rev.....	44
10.2 Effekter av artificiella rev på akvatiska organismer	45
10.3 Fundament till havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev.....	45
11 Ordlista	47
12 Källor och Litteratur	48
12.1 Refererade källor och litteratur.....	48
13.2 Ämnesrelevanta referenser	54

Naturvårdsverkets syn på behov av fortsatta studier

Denna litteraturstudie redovisar behovet av olika typer av ny kunskap rörande effekter av vindkraft i marina områden. Kunskapsluckor inom såväl grundläggande forskning som mer lokala studier i anslutning till vindkraftsutbyggnad har identifierats.

Grundläggande kunskaper om såväl viktiga födo-, rast- och häckningsområden samt flyttsträck och ledlinjer för fågel och migrationsmönster hos fladdermöss, som viktiga lek-, födo- och uppväxtlokaler samt vandringsmönster för fisk, är områden där forsknings- och övervakningsinsatsen bör öka. Detsamma gäller kunskap om ekologiskt särskilt känsliga havsbottnar. Initialt bör befintliga erfarenheter sammanställas för att utgöra grund för nya forskningssatsningar, särskilt avseende olika organismers individuella beteende vid olika yttre påverkan. Vissa arter är relativt okänsliga för störningar medan andra är mycket känsliga.

När det gäller samverkan teknik- biologi behövs förbättrade kunskaper om effekterna av ljud i havet och analys av strukturer. Hur vindkraftverkens rotor och placering i landskapet kan anpassas för att minska kollision med fågel kan också vara exempel på framtida studier. De i litteraturstudierna nämnda effekterna av likströmskablar är inte relevanta för potentiella vindkraftsetableringar till havs. Dels används likströmskablar idag bara vid avstånd större än 30 km, dels är det nu möjligt vid så stora avstånd att använda s k HVDC light-teknik, som inte avger elektrolytprodukter.

Pilotstudier

Det finns ett generellt behov av att genomföra långsiktiga studier för att höja kunskapen om vindkraftsparkers effekter i havet. Sådana studier bör genomföras som pilotprojekt i anslutning till planering av större anläggningar. De bedöms få en avgörande betydelse för att förbättra möjligheten att utarbeta miljö kvalitetsbedömningar och ta beslut om tillstånd.

Behovet av sådana pilotprojekt är stort och brådskande. Ett antal pilotprojekt bör väljas ut så att de täcker en stor variation av lokaliteter och problemställningar. Det är inte möjligt att idag fastställa hur många pilotprojekt som behövs, men efter genomförandet av de första pilotprojekten kommer förhoppningsvis ett förbättrat kunskapsunderlag att vara tillgängligt för framtida projektering.

Pilotprojekten bör innehålla

- Grundläggande kartering av arter och livsmiljöer (habitat) i det aktuella marina området
- Kontroll/referensområden
- Dokumentation av påverkan under anläggningsfasen
- Dokumentation av påverkan under driftsfasen
- Regelmässig uppföljning av ekosystemen under driftsfas (vart annat/vart femte år beroende på parameter)
- Utvärdering av effekter görs med några års mellanrum (början varje år därefter glesare)

utifrån jämförelser med valda referensområden (jfr Danmarks expertpaneler)

- Dokumentation och utveckling av metoder i relation till de ovan nämnda undersökningarna och bedömningarna
- En test av lämpligt underlag för en MKB

I första hand finns det behov av att studera ljudmätningar (under och ovanför vattenytan) och eventuella effekter på fauna och flora (fisk, fågel, säl) samt förändringar och /eller påverkan på livsmiljöer inklusive sedimentation, strömförändringar, bottenförhållanden och uppbyggnaden av artificiella rev. Kollisionsrisk med fågel och eventuellt fladdermöss bör också studeras närmare.

MKB-studier

I samband med ansökan om etablering av vindkraftparker skall en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) utföras. I ett första steg innebär detta grundliga lokalspecifika inventeringar rörande flora, fauna och särskilt skyddsvärda habitat. Det är väsentligt att kartläggningarna är representativa för området och att denna MKB redogör för naturtillståndet för att senare kunna urskilja möjliga effekter av vindkraftsanläggningar under anläggningsfas och driftsfas.

Utifrån en MKB kan nödvändiga hänsyn tas, där t ex utformning och placering av fundamenten och andra tekniska aspekter av vindkraftverken optimeras med hänsyn till både energimässiga och biologiska intressen. Dessutom kan en sådan MKB vara utgångspunkt både vid anläggnings- och driftsfasen för att fastställa kriterier för acceptabla och mätbara miljöpåverknings och eventuella effekter på arter och livsmiljöer. Kriterierna skall kunna ge myndigheterna möjlighet att gripa in om väsentliga överskridanden iakttas.

Samarbete

Datainsamling och erfarenheter från olika pilotprojekt och MKB undersökningar kan ofta kombineras antingen mellan olika ämnesområden eller mellan olika länder. Att få data och kunskap kring migrationsmönster, ledlinjer och vandringsmönster är något som inte bara är intressant för Sverige utan även för våra grannländer. Kunskap om artificiella rev, sjökablar, ljud och belysning är likaså möjligt att insamla i samarbete med andra länder då dessa kunskaper är relevanta även där.

Uppfattningar om och erfarenheter av effekter av havsbaserade vindkraftparker finns redan i flera andra länder. Och utvecklingen går snabbt. Omfattande förundersökningar offentliggjorda i maj och i augusti i år för två danska vindkraftparker på vardera 150 MW finns ej med i litteraturstudien. Bägge parkerna omfattar 3-7 åriga övervakningsprogram för perioden från tiden före anläggningarna, under anläggningsfasen och i driftsfasen. Övervakningsprogrammen skall utvärderas av en internationell expertpanel. Tillsammans med 3 andra parker på 150 MW utgör de ett rikstäckande utredningsprogram för havsbaserad

vindkraft, som en del av bakgrunden för ett ställningstagande till en ytterligare dansk utbyggnad upp till 4000 MW i havet.

För ytterligare information om det danska programmet hänvisas till:

Havmøller Horns Rev. Vurdering af Virkninger på Miljøet. Maj 2000 (hänvisning till 30 bakgrundsrapporter inklusive en allmän litteraturlista).

Havmøllepark ved Rødsand. VVM-redegørelse. Juli 2000 (hänvisning till bakgrundsrapporter inklusive en allmän referenslista).

Myndigheter:

http://www.energistyrelsen.dk/nyt/Hoeringer/VindRoedsand/hoering_Roedsand.htm

<http://www.energistyrelsen.dk/nyt/Hoeringer/VindHornsRev/hoering.htm>

<http://www.sns.dk>

Exploatörer:

<http://www.seas.dk>

<http://www.elsam.com>

<http://www.elstra.dk>

Sammanfattning

Nuvarande erfarenheter av vindkraft bygger på olika typer av undersökningar – från forskningsbaserade studier till konkreta studier för miljökonsekvensbeskrivningar. Några undersökningar av den pågående utbyggnaden av vindkraft i Sverige är ännu ej publicerade. En betydande del av litteraturen rörande vindkraftens effekter kan i dag klassas som 'grå' litteratur.

Vindkraft är en relativt ung företeelse i svenska energisammanhang. Studierna är därför få och omfattar oftast endast enstaka verk. Eftersom vindkraftsparker av nu föreslagen storlek upp till hundra verk, inte tidigare funnits i Sverige, saknas relevant forskning om effekter av dessa. Forskning om effekter måste vara långsiktig för att fånga in naturliga variationer och extremer. Det kan därför ibland ta lång tid från det att ett vindkraftverk uppförts till dess följd effekter kan utläsas.

Resultaten från befintliga studier kan i första hand användas för att förstå vilka effekter som kan tänkas uppkomma och därför bör tas hänsyn till vid arbetet med att t ex finna lämplig plats för etablering. De kan också ge en indikation om vilka undersökningar som behövs för planerade etableringar.

Tidigare undersökningar

Generellt gäller att det utifrån tidigare undersökningar varit svårt att få en helhetssyn beträffande havsbaserade vindkraftverks effekter på djur- och växtliv.

Genom att analysera genomförda studier är det möjligt att lättare identifiera brister och begränsningar i dessa och därmed förbättra planeringen inför framtida undersökningar rörande vindkraftens miljöeffekter.

Karakteristiskt för studier som analyserats är bland annat att de:

- saknar bredd
- saknar ofta biologiskt sammanhang
- är utförda under en begränsad tidsperiod
- är utförda i olika länder eller områden med olika förutsättningar
- saknar referensområden
- baseras på få iakttagelser
- är utförda vid försöksstationer, enstaka verk eller vid små parker

Bredden

Undersökningar om effekter av vindkraftverk har ofta fokuserats på stora organismer, t ex fåglar, som är lätta att iaktta. Dagaktiva djur är lättare att studera än nattaktiva och för organismer som lever helt eller delvis dolda gäller detsamma. Redan livet under vattenytan är svårare att studera än livet på land eller i luften. Därtill finns det liv i bottnarna.

Biologiskt sammanhang

Hittills genomförda studier fokuserar ofta på direkt påverkan såsom t ex undflyende och kollisioner. Emellertid framgår det inte alltid klart, vilken ekologisk betydelse en sådan påverkan kan ha. Dessutom är det en viktig uppgift att sätta vindkraftens påverkan på organismer i relation till annan verksamhet.

Därtill kommer följd effekter och indirekta effekter, som ofta är mindre påtagliga och mer svårdefinierade, och som uppträder ibland först efter flera år. Samspel mellan olika organismer och mellan organismer och deras omgivning är komplexa och kan störas av olika faktorer. Om en art ökar eller minskar i antal eller om dess habitat förändras, kan det ge effekter som avspeglar sig i hela systemet.

Tidsaspekten

Flera genomförda studier är korttidsstudier som pågått under en säsong eller en ännu kortare period. Dessa korta undersökningar ger endast en ögonblicksbild, som ej i alla situationer är relevant när det gäller långtidseffekter. I fältstudier krävs ofta undersökningar, som är mer utsträckta i tiden för att fånga in såväl yttre påverkan (temperatursvängningar, strömmar) som organismers naturliga fluktuationer. Förekomst och täthet kan variera under året (säsongsvariation) och mellan olika år (mellanårsvariation).

Att kartlägga naturtillståndet före etablering (förundersökning) av vindkraftverk, är avgörande för att kunna belägga om förändringar i populationer orsakas av naturliga fluktuationer, eventuella effekter av vindkraftverk eller någon annan faktor.

Det framgår inte alltid klart av tidigare undersökningar om resultaten är relaterade till en anläggningsfas eller en mer permanent driftsfas. Det är viktigt att särskilja vad som gäller under en anläggningsperiod, då det är troligt att vissa tidsbegränsade störningar uppkommer, och en senare mer permanent fas, då ett vindkraftverk är i drift.

Geografiska aspekten

Många av de befintliga studierna är inte genomförda i Sverige utan i områden med andra geografiska förutsättningar. Detta kan innebära att artsammansättningen och därmed beteendet hos organismerna skiljer sig åt. Förutom skillnader i förutsättningar mellan olika länder, måste hänsyn tas även till lokala förutsättningar. Vissa resultat kan jämföras, men generellt skall försiktighet iakttas, när resultat från olika lokaler jämföres eller läggs till grund

för allmänna antaganden.

Referensområden

Studier som inkluderar referensområden förekommer, men bör eftersträvas i större utsträckning. I likhet med förundersökningar är denna typ av undersökning avgörande för resultatens användning. Genom att välja ett eller flera referensområden till det aktuella etableringsområdet, och i dessa genomföra parallella studier, kan såväl lokala som naturliga fluktuationer bättre skiljas från effekter av vindkraftsanläggningar. Referensområden skall, i största möjliga utsträckning, vara likvärdiga med det aktuella området för att minimera felkällorna.

Datamängd

Datamängden som erhållits i studier som berör vindkraftens påverkan på djur och växter är ibland relativt liten (få iakttagelser), vilket minskar säkerheten i bedömningen av resultatanalysen. Flera studier berör endast en art, och ibland görs utifrån en sådan studie generaliseringar avseende andra arter. Sådana generaliseringar fordrar argumentation och vetenskapliga belägg.

Alla undersökningar bör generellt sett bygga på en stor datamängd, men i praktiken kan det ibland vara både lämpligt och nödvändigt att avgränsa studier och komplettera resultatanalysen med vetenskaplig argumentation om t.ex. kända orsakssammanhang.

Områdesstorlek

Befintliga anläggningar består mycket sällan av mer än 10 verk. Resultat från undersökningar utförda vid dessa anläggningar är därför begränsade till organismers beteende vid enskilda verk eller vid små parker.

Stora parker gör anspråk på stora arealer. Om effekterna är generella och ökningen av effekterna är proportionell till arean eller om ökningen sker i långsammare eller snabbare takt är idag inte klarlagt.

Behov av nya kunskaper

Denna litteratursammanställning visar på behovet av ny kunskap om effekter av vindkraften i havsområden. Det gäller dels grundläggande biologiska förhållanden både över och under havsytan, dels studier som knyter an till vindkraftens lokala effekter. I flera fall kan befintliga erfarenheter sammanställas och kompletteras. I andra fall måste nya karteringar och undersökningar utföras. Genom att öka kunskaperna om skyddsvärda biologiska områden kan olämpliga områden för vindkraftsetableringar undvikas.

1 Introduktion till litteratursammanställningen

1.1 Inledning

Flera statliga utredningar (SOU 1988:32, SOU 1998:152, SOU 1999:75) har berört vindkraftens påverkan på djur och växter. Dessa utredningar pekar ofta på att utvecklingen av vindkraft bör fortgå men att kunskaper om olika intressekonflikter bör erhållas. Dessa intressekonflikter rör bl a inverkan på landskapsbilden och kulturlandskapet, markanvändning och påverkan på djur- och växtliv. I denna rapport behandlas endast vindkraftens påverkan på djur och växter.

Med *påverkan* menas i denna rapport den positiva eller negativa påverkan på organismen som orsakas av vindkraftverk.

Inom ramen för detta uppdrag inkluderades inte att relatera dessa effekters påverkan på populationer eller ekosystem. Ej heller inkluderades att ställa vindkraftens påverkan på organismer i relation till annan verksamhet eller att värdera relevansen av dagens erfarenheter inför framtida projekteringar.

Syftet med rapporten är att sammanställa de undersökningar som fram till idag har genomförts rörande vindkraftens påverkan på djur och växter och att försöka dra paralleller med andra relevanta effektstudier i de fall det saknas underlagsmaterial från vindkraften. På detta sätt belyses dels de forskningsområden som varit i fokus fram till idag, och dels de områden där undersökningar helt eller delvis saknas.

Litteraturgenomgången behandlar publicerad och opublicerad information från hela världen. Rapporten gör inte anspråk på att vara fullständig, då mycket av den dokumentation som finns rörande detta område är s k grå litteratur, vilket gör att den inte går att finna i de databaser och söksystem som vanligtvis används för en liknande studie. Av denna anledning har de traditionella sökvägarna kompletterats med personliga kontakter med ett stort antal företag och instanser som på något sätt kan relateras till detta forskningsområde. Underlaget för kontaktlistan har varit Miljödepartementets remisslista inför Vindkraftsutredningens betänkande (SOU 1999:75) Rätt plats för vindkraften. Listan har kompletterats med åtskilliga nationella och internationella instanser.

De flesta effekter från vindkraftverk kan förväntas oavsett om verket är placerat på land, i havet eller i fjällvärlden. Det förekommer dock effekter som är direkt knutna till placeringen, effekter på akvatiskt eller terrestert liv. I föreliggande rapport särskiljs inte de olika placeringsalternativen, utan olika effekter av vindkraft behandlas oberoende av placering. Material rörande specifika effekter kopplade till fjälletablering har dock ej inkluderats, då detta saknas i stort. Mitthögskolan i Östersund arbetar med frågor rörande detta område, men inga resultat är ännu publicerade.

Vindkraftverk har potential att påverka en mängd organismer på flera tänkbara vis. Ofta är det svårt att isolera en effekt av vindkraften, t ex buller, och analysera dess påverkan på en organism, då flera effekter ofta samverkar och orsakar det iakttagna beteendet. För att göra rapporten överskådlig har ändå ett flertal effekter valts som kapitelindelning. Dessa effekter får anses som dominerande, men kan i flera fall mer eller mindre samverka med andra effekter och orsaka det iakttagna beteendet. I något fall har ingen dominerande effekt kunnat anges, varför vindkraftverken som sådana behandlas som påverkande faktor. I kapitelindelningen finner man vidare organismerna grupperade i större grupper såsom fågel, fisk, däggdjur o s v. De flesta studier anger dock vilka arter som undersökts och generaliseringar utifrån dessa enskilda arter kan inte göras för att gälla hela organismgruppen, om inte mycket starka vetenskapliga argument finns. Denna indelning är återigen ett sätt att göra materialet överskådligt.

Tips på litteratur, kommentarer på tidiga manuskript och bidrag till text är alla nödvändiga delar av en rapport eller artikel. Dock är detta arbete sällan tillräckligt uppskattat. Därför skulle jag vilja tacka de personer som varit inblandade i arbetet med denna rapport utan att nämna några namn. **TACK**

Magnus Petersson

2 Effekter av buller och vibrationer

- Vindkraftverk alstrar ljud i ett stort frekvensomfång som sprids både i luft och vatten.
- Fisk är känsliga för lågfrekventa ljud och reagerar ofta med undflyende.
- Fisk är mindre känsliga för mer högfrekventa ljud och tillvänjning sker ofta snabbt.
- Gråsäl verkar inte störas av havsbaserade verk annat än under anläggningsfas.
- Reaktionen hos fåglar skiljer sig avsevärt beroende på art. Vissa arter reagerar med undflyende medan andra uppvisar snabb tillvänjning. Ej känt i samband med vindkraftverk.

2.1 Allmänt om buller och vibrationer

Buller är i dagligt tal en benämning på icke önskvärt ljud. Vindkraftverk alstrar buller i ett stort frekvensomfång, från högfrekventa maskinljud till lågfrekventa svängningar från t ex bladpassage vid drift. Dessutom alstras buller under anläggningsfas och servicearbete. Generellt gäller att ljudalstring ökar med ökad uteffekt, eftersom aggregaten då blir större (Ljunggren 1999). Bullernivåerna från ett vindkraftverk kan med standardiserade metoder mätas och då jämföras med andra bullerkällor (Tabell 1).

För luftburet buller från vindkraftverk i Sverige gäller Boverkets rekommendationer (Anonym 1995) om att samma riktvärden skall användas för vindkraft som för industrier, vid en vindstyrka av 8 m/s mätt på 10 meters höjd. Det finns utarbetade metoder för bullermätningar omkring vindkraftverk, dels som internationella rekommendationer och dels som en modell anpassade till svenska förhållanden i en rapport från Elforsk (Ljunggren 1998).

Vad gäller buller och vibrationer från vindkraftverk i vatten har detta område varit mindre uppmärksammat.

Vindkraftverk alstrar ljud i vatten på två sätt, dels genom direkt ledning av vibrationer genom torn och fundament ut i vattnet och dels genom tryckfluktuationer vid vattenytan som uppstår vid rotorbladens passage.

Idag finns utarbetade metoder för mätning av undervattensbuller, där hänsyn tas till t ex bakgrunds nivåer. Metodik för undervattensmätningar av buller diskuteras i Westerberg (1995)

och Westerberg (1999 Opublicerad).

Utvecklingen av turbiner och material går mot allt tystare vindkraftverk, och nu presenteras aggregat i MW-klassen med ljudeffekter om maximalt 100 dB(A) (Ljunggren 1999).

Tabell 1.

Ljudeffektnivåer från olika källor. (Omarb. efter Ljunggren 1999)

<i>Källa</i>	<i>Ljudeffektnivå (källbuller)</i>
personbil vid 50 km/h	101 dB(A)
långtradare vid 90 km/h	114 dB(A)
vindkraftverk	100 dB(A)

2.2 Effekter av buller och vibrationer på marina organismer

Ljud transporteras och sprids mycket bra i vatten. Detta medför att de organismer som lever under vattenytan ständigt konfronteras med ljud. Ljud spelar en viktig roll då det gäller akvatiska organismers beteende, då detta är ett sätt att förmedla information över stora avstånd. Fiskar alstrar själva ljud (t ex Helgødt & Larsson 1990) för kommunikation och använder sig av ljud för att skapa sig en allmän bild av omgivningen vad gäller närvaro och lokalisering av föremål och organismer (Popper & Carlson 1998). Av dessa anledningar har buller och vibrationer från vindkraftverk på senare år uppmärksamats som en eventuell orsak till beteendeförändringar hos fisk.

2.2.1 Benfisk

Kunskapen om fiskars känslighet för infraljud är relativt ny, och mycket av den grundläggande forskningen har bedrivits i Norge (t ex Sand & Karlsen 1986; Karlsen 1991a och b; Knudsen et al. 1992; Enger et al. 1993). Fiskars ljuduppfattning är mycket bra och många fiskar uppfattar ljud med lägre frekvens än 20 Hz, infraljud, (Popper & Carlson 1998; Blaxter & Batty 1985 (sill); Sand & Karlsen 1986 (torsk); Karlsen 1991a och b (abborre resp. rödspätta); Knudsen et al. 1992 (lax)) och frekvenser ända upp till ungefär 2000 Hz i extremfall (Westerberg 1994). Dock verkar den övre gränsen ofta ligga runt ca 500 Hz.

Fiskar detekterar ljud med hjälp av en hörselsten (otolit) i innerörat och med hjälp av tryckfluktuationer i simblåsan. Tryckvariationer uppfattas även med hjälp av fiskens

sidolinjesystem. Generellt kan fiskarna delas in i tre grupper med avseende på deras förmåga att uppfatta ljud. (1) Arter som saknar simblåsa (t ex makrill och plattfisk) hör dåligt över cirka 250 Hz, (2) arter med simblåsa (huvuddelen av fiskarterna) hör frekvenser upp till cirka 500 Hz och (3) några arter med speciell koppling mellan simblåsan och otoliten (t ex karpfiskar och sillfiskar) uppfattar ljud med frekvenser upp till cirka 2000 Hz (Westerberg 1994).

Fiskars reaktioner på ljud ovanför infraljudområdet är i allmänhet svaga och tillvänjning sker snabbt (Westerberg 1994), vilket har visats i flera studier där man har försökt att använda ljud för att styra fisk (Popper & Carlson 1998 (review); Wahlberg 1999 (review)). Man har funnit positivt samband mellan ökad vindhastighet (ökat undervattensbuller) och ökad rörelseaktivitet hos tunga (*Solea solea*). Dessa försök visade att fisken simmade från områden med hög ljudnivå mot områden med lägre ljudnivå (Lagardère et al. 1994).

Vid exponering för infraljud skiljer sig reaktionerna jämfört med exponering för högfrekvent ljud, då tillvänjning för lågfrekvent ljud är långsam (Westerberg 1994). Den vanligaste effekten vid exponering för infraljud är undflyendereaktioner, anledningen till detta beteende är dock okänd. En teori som framlagts är att anfallande predatorer alstrar infraljud, vilket ger undflyendereaktionen ett överlevnadsvärde.

En studie rörande bullereffekter på blankål genomfördes av Westerberg (1997) i närheten av det havsbaserade vindkraftverket vid Nogersund (220 kW), under 1991-1993. De insamlade värdena jämfördes med journalförda data från samma område innan kraftverket togs i bruk. Sammantaget visade denna studie att ålfångsterna totalt sätt minskade vid en lokal (Brustet) som ligger nära verket (ca 1 km) då kraftverket var i drift jämfört med innan etablering av verket. Motsvarande samband kunde inte etableras för en andra lokal (Dohlsten) med ungefär samma avstånd till verket som den tidigare. Westerberg påpekade vidare att dessa resultat är baserade på en liten mängd data och har därför en stor osäkerhetsmarginal.

Westerberg (1994) tittade även på om vandringsmönstret hos blankål förändrades i kraftverkets närhet. Genom att använda redan utarbetad metodik (Westerberg 1977) kunde ålens vandringsmönster kartläggas m h a biotelemetri. Totalt tio spårningar med verket i drift och sju med verket stoppat genomfördes under 1991 och 1993. Resultaten från båda åren påvisade ingen skillnad i beteende då verket var i drift eller stoppat. Försöksupställningen tillät dock inte spårning av ålens vandring närmare än 500 meter från verket, varför reaktioner i närområdet inte kunde uteslutas.

Provfisken genomfördes även i Nogersundsverkets närhet. Under tre år, 1991-1993, utfördes standardiserade provfisken med bottensatta översiktsnät (Westerberg 1994). Driftstatusen på vindkraftverket alternerades mellan drift och driftstopp. Fångsterna jämfördes senare med fångster från referensområdet (se Westerberg 1994). Studierna påvisade (1) en attraktion (ökad fångst) av fisk till området närmare än 400 meter från kraftverket, mest påtaglig vid driftstopp; (2) med verket i drift minskade fångsterna av de tre vanligaste arterna i området inom en radie av 200 meter från verket; (3) alla fiskarter som förekom i området längs yttre Listerlandet förekom även i verkets närhet. Detta gällde också olika åldersklasser.

Attraktionen av fisk i närområdet kan förklaras av verkets fysiska struktur, vilket kan anses fungera som ett artificiellt rev (se Effekter av vindkraftverk som artificiella rev). Att artificiella rev attraherar organismer är känt (t ex Bohnsack 1989). Dock saknades, vilket också påpekades av Westerberg, uppgifter om fisktäthet från området före vindkraftsetableringen, varför det inte gick att med säkerhet säga att det var en attraktion som

observerades. Det påpekas också av författaren att det är osäkert i vilken utsträckning man kan dra slutsatser från den observerade fångstminskningen med verket i drift till följd av liten datamängd. Den helt jämna fördelningen av arter i ytterområdet respektive närområdet påvisade att inget artspecifikt undflyende förekom.

2.2.2 Däggdjur

I närområdet till Bockstigens vindkraftpark (5 verk om vardera 500kW) på sydvästra Gotland utförde Sundberg & Söderman (1999) studier av en lokal sälpopulation (gråsäl) och eventuella effekter på denna av vindkraftverken. Observationerna i Burgsviken började 1996, under provborrningarna till vindparken, och pågick till och med 1999, då verken varit i drift under cirka ett års tid. Analyserna visade att det ej var troligt att verken, då de betraktades som byggnader, påverkade sälarnas beteende nämnvärt. Inte heller verkade sälarna reagera på vindkraftverken då de var i drift. Författarna menade att detta skulle kunna bero på den stora förmåga till anpassning som säl tidigare uppvisat. Ett exempel på en sådan tillvänjning är den knobbsälkoloni som etablerat sig på en av de konstgjorda öarna i direkt anslutning till Öresundsbron. Att samma förfarande skulle gälla även för gråsäl kan dock inte antas utan vidare studier.

Sälpopulationen i Burgsviken använder sig huvudsakligen av två lokaler; Killingholm och Näsrevet. Under studien noterades en förflyttning av individer från Killingholm mot Näsrevet, oberoende av verkens driftstatus. Det påpekades av Sundberg och Söderman att förflyttningen mot Näsrevet förmodligen berodde på de direkta störningar som orsakades av mänsklig aktivitet på land, från båtar, flyg och helikopter som iaktogs i Killingholms närhet. Det konstaterades vidare att den ökade aktiviteten hade starkt samband med uppförandet och servicen av de fem vindkraftverken, då Burgsviks hamn (belägen strax norr om Killingholm) användes som arbetshamn.

2.3 Effekter av buller och vibrationer på fågel

Någon studie som utreder vindkraftverkens effekter av buller och vibrationer på fågel, är inte känd för författaren. Däremot finns det ett flertal studier som behandlar fåglars reaktioner på vindkraftverk. Dessa studier särskiljer inte effekterna av buller och vibrationer, utan behandlar hela vindkraftverk som störningselement. Denna typ av studier tas upp i kapitel 8, Ospecifika effekter av vindkraftverk. Effekter av buller på fågel har dock berörts inom andra områden. Ett exempel ges nedan, rörande effekterna av en ny vägdragning med ökat trafikbuller som följd. Att resultat från liknande undersökningar skulle vara direkt applicerbara på vindkraftanläggningar kan dock ej antas då t ex förutsättningar och typ av buller skiljer sig åt.

Wallentinus (2000) sammanfattade de undersökningar som genomförts rörande effekter på fågelliv och klövvilt av en ny vägdragning. Studien bygger på en före- och efterundersökning. Wallentinus konkluderade att en tydlig minskning av trastar, pärluggla, sparvuggla och fiskgjuse ägt rum i området under undersökningsperioden. Även ringduva och enkelbeckasin hade minskat. Wallentinus ansåg att ökat trafikbuller kunde vara orsaken till nedgången av dessa arter. Vad gäller ugglorna är deras beståndsstorlek och häckning beroende av bl a smågnagartillgången, vilken varierar mellan olika år. Bytestillgång, trafikbuller och

förändrade häcknings- eller födosökmiljöer anges som tänkbara orsaker till ugglornas tillbakagång. Andra arter, bofink, gulsparv, talgoxe, sädesärta och ängspiplärka, hade gynnats av vägdragningen. Wallentinus benämner flera av dessa fåglar som opportunist, som snabbt intar nyröjda områden till följd av vägdragningen.

3 Effekter av elektromagnetism

- Elektromagnetiska fält uppstår runt oskärmade kablar och elektroder.
- Oskärmade kablar och elektroder kan användas vid elnätsanslutning av vindkraftproducerad elektricitet.
- Elektroden i monopolära kabelsystem avger giftiga slaggprodukter (elektrolysprodukter).
- Elektromagnetiska kraftfält används ofta till orientering och navigering hos akvatiska organismer.
- Inga studier tyder på permanenta vandringshinder för fisk orsakade av artificiella elektromagnetiska kraftfält.
- Elektrolysprodukterna består av klor eller klorinnehållande föreningar som är skadliga för organismer.
- Nya tekniska lösningar rörande elförbindelse är framtagna eller under utveckling. Inga studier i samband med vindkraftverk är dock utförda.

3.1 Allmänt om elektromagnetism

Jorden omges av ett magnetfält, jordmagnetfältet, som förmodligen produceras av elektriska strömmar i jordens inre (se Wiltschko & Wiltschko 1995 för mer detaljerad information om jordmagnetfältet). Vid induktion genom detta magnetfält (t ex havsströmmar) skapas även ett elektriskt fält. Jordens magnetfält är inte homogent, utan varierar i fältstyrka över jordytan. Mönstret på magnetfältet är relativt stabilt (mindre förändringar förekommer beroende bl a av solens elektromagnetiska strålning och solfläcksaktivitet (Wiltschko & Wiltschko 1995)), trots att strömriktningen växlar över långa tidsperioder. Magnetfältets strömlinjer går mellan de magnetiska polerna, vilka ligger i närheten av de geografiska polerna. Strömlinjerna går rakt upp från den magnetiska nordpolen (Antarktis) och böjer av runt jorden för att återigen gå vinkelrätt mot jordytan ned mot den magnetiska sydpolen (Arktis).

Människan orsakar störningar på det naturliga jordmagnetfältet genom användning av metaller och elektricitet. Dessa företeelser kan orsaka lokala störningar på fältet både rumsligt och tidsmässigt. Det anses ofta att dessa störningar endast i liten utsträckning påverkar

strömriktningen på jordens magnetfält men kan i områden med hög koncentration av byggnader/industrier orsaka lokala förändringar (Wiltschko & Wiltschko 1995).

Det sätt som jordens magnetfält är uppbyggt på ger teoretiska förutsättningar för organismer som lever i magnetfältet en chans att orientera sig, antingen passivt eller aktivt. Det som krävs är ett kroppseget system som kan registrera de svaga fälten. Flera studier (se Wiltschko & Wiltschko 1995, Poléo & Harboe 1995 (review)) har genomförts där man konstaterat att många organismer, på land och i vatten, har ett sådant system (elektro- och magnetismreception). Man har visat att t ex fåglar, fiskar och zooplankton orienterar sig efter jordens elektromagnetiska kraftfält.

Vindkraftverk ger upphov till magnetfält, genom de kablar som förbinder vindkraftverket med elnätet. Magnetfältet runt en kabel sprider sig teoretiskt sett oändligt långt bort. Vid beräkning av spridningen gäller en halvering av fältstyrkan vid en fördubbling av avståndet i stort sett oavhängigt omgivande medium (luft, vatten). Dessa magnetfält kan orsaka lokala störningar på jordens magnetfält, något som skulle kunna påverka de organismer som utnyttjar fälten för t ex orientering.

3.2 Effekter av sjökablar på marina organismer

De studier som gjorts på elektromagnetism och akvatiska organismer baserar sig på HVDC-kablar (High Voltage Direct Current). Dessa kablar bygger på principen att leda likström genom en enkelledare och leda returströmmen genom vattenmassan mellan två elektroder vid kabelns båda ändar. Sådana likströmssystem är nödvändiga för nätanslutning av vindkraftverk belägna längre från kusten än ungefär 30 km. Effekter av HVDC-kablar på akvatiska organismer kan uppstå på huvudsakligen två sätt. Dels genom att det elektromagnetiska fält som uppstår runt kabeln kan störa organismens orientering och dels genom de ofta giftiga elektrolytprodukter som bildas vid de två elektroderna, främst vid anoden.

Vid kortare avstånd mellan vindkraftverk och land används ofta växelströmskablar. Undersökningar av växelströmskablar i Sverige saknas.

3.2.1 Elektriska fält

Elektriska fält uppstår vid oskärmade kablar och vid elektroderna. De elektriska fält som bildas runt en kabel beror till stor del på hur kabeln är uppbyggd. Ny teknik använder sig av skärmade kablar vilket medför att inget elektriskt fält finns utanför kabeln.

Effekter på marint liv från elektriska fält behandlades redan i en av Kungliga Vattenfallsstyrelsen utlyst undersökning (Höglund 1971) under 40-talet. En försöksanläggning i närheten av Västervik upprättades inför eventuell dragning av elförsörjning från det svenska fastlandet till Gotland. Av redogörelsen framgår att ingen påverkan på planktoniska, nektoniska eller bentiska organismer kunde erhållas (baserat på 10 kV växelström som transformerats till 380/220 V och likriktats). Studier utförda senare redovisas i valda delar nedan.

3.2.1.1 Evertebrater

Poléo & Harboe (1995) och Wiltschko & Wiltschko (1995) hänvisar till artiklar där resultaten visar att flertalet organismer kan registrera elektriska fält. För evertebrater gäller att starka elektriska fält (60000 V/m) har negativ effekt på musslor (cellmembran bryts ned och celler smälter samman, se vidare Cadoret 1992). Förutom denna rapport finns ingen litteratur att tillgå rörande evertebrater och elektriska fält.

3.2.1.2 Rundmunnar och Broskfisk

Rundmunnar och broskfisk är extremt känsliga för elektriska fält (ned till $0,005\mu\text{V/cm}$) (se Kalmijn i Wiltschko & Wiltschko 1995). Omfattande litteratur visar att beteendet hos broskfisk påverkas vid exponering för svaga elektriska fält (se Poléo & Harboe 1995). Effekten av starka elektriska fält är ej undersökt enligt samma författare.

3.2.1.3 Benfisk

I samma rapport (Poléo & Harboe 1995) tas eventuella effekter på benfisk upp. Benfiskar har visat sig reagera på fältstyrkor från 0,5 V/m beroende på art och omgivande miljö (främst salthalt). Vad gäller fiskars känslighet råder dock skilda meningar. Vissa hävdar att fältstyrkor ned till 0,4 mV/m kan detekteras av ål (McCleave et al. 1971 i Poléo & Harboe 1995), och 0,006 mV/m av atlantisk lax (Rommel & McCleave 1973). Dessa extremt låga värden har aldrig kunnat visats igen, varför riktigheten ifrågasatts av andra forskare. Enger et al. 1976 i Poléo & Harboe 1995 menade att den lägsta fältstyrkan som kan detekteras av ål ligger vid 40 mV/m, vilket andra studier också styrkt (t ex Berge 1979). De reaktioner hos fisk som diskuteras i litteraturen hänvisar till den första synliga reaktionen hos fisken. Det är möjligt att lägre fältstyrkor kan registreras av fisken och att de orsakar indirekta eller ej direkt synliga effekter.

3.2.1.4 Däggdjur

Studier rörande effekter på marina däggdjur saknas enligt Poléo & Harboe (1995).

3.2.2 Magnetiska fält

De kunskaper som finns om magnetiska fält och dess effekter på organismer begränsar sig till effekter såsom påverkan på orientering och navigation (Poléo & Harboe 1995).

3.2.2.1 Evertebrater

Poléo & Harboe (1995) nämner att det inte finns några studier utförda på magnetfält och direkt skadliga effekter på evertebrater. Lohmann & Willows (1987) visade att svaga magnetfält kan påverka marina snäckors orienteringsförmåga, Lohmann (1985) och Lohmann

et al. (1995) i Poléo & Harboe (1995) visade på samma sätt att marina kräftdjur kan reagera på svaga magnetfält.

3.2.2.2 Broskfisk

Broskfiskar har visat sig vara känsliga för magnetfält och omfattande studier visar att de reagerar på svaga magnetfält, likt jordmagnetfältet (se Poléo & Harboe 1995). Poléo & Harboe (1995) nämner flera studier som visat att broskfisk ändrat sitt beteende då det omgivande magnetfältet förändrats. Ingen studie har kunnat påvisa att magnetfälten skulle vara skadliga eller oskadliga för organismen.

3.2.2.3 Benfisk

Uppgifterna om att benfiskar kan orientera eller navigera efter jordens magnetfält är inte entydiga. I sammanställningen av Poléo & Harboe (1995) av detta forskningsområde nämns att nykläckta Stillaohavslaxlarver (*Oncorhynchus nerka*) inte reagerar på förändringar i svaga magnetfält, liksom andra studier visar att yngel från *Oncorhynchus keta* och *Salmo salar* (laxfiskar) inte heller reagerar. Andra studier visar motsatsen, d v s att ytterligare andra arter av Stillaohavslax reagerar på svaga magnetfält, vilket också äldre yngel av *Oncorhynchus nerka*, och smolt av samma art gjorde. Vad gäller andra benfiskarter är de flesta studier utförda på ål. Även här förekommer motsägelser vad gäller ålens reaktioner på magnetfält. Flera forskare (se Poléo & Harboe 1995) menar att ål reagerar med beteendeförändringar på svaga magnetfält, medan andra studier inte kan påvisa någon entydig effekt. Ytterligare andra studier visar att ål inte reagerar på svaga magnetfält alls.

Trots detta motsägelselförhållande visade en undersökning utförd på ål, att reaktionen vid exponering av ett relativt starkt magnetfält var att aktiviteten hos djuret ändrades. Studien visade att aktiviteten avtog med minskad fältstyrka, vilket tolkades som en indikation på att fisken fann starka magnetfält störande (se Poléo & Harboe 1995).

Wiltschko & Wiltschko (1995) diskuterade betydelsen för organismer av att använda olika hjälpmedel vid orientering i rummet. De diskuterade att många organismer inte använder sig av endast ett hjälpmedel utan ofta av flera. Användningen av olika hjälpmedel i tiden (t ex optiska och magnetiska) skulle kunna förklara varför reaktioner på magnetfältsförändringar i vissa fall uteblir.

Westerberg & Begout-Anras (1999) utförde en studie av migrationsmönster av totalt 25 blankålar i närheten av en HVDC-kabel. Resultatet påvisade en viss störning av HVDC-kabeln på det naturliga magnetfältet med en trolig påverkan på ålens vandringsmönster. Effekterna ansågs vara små, och inget tydde på att kabeln var ett permanent vandringshinder. Westerberg (1994) studerade även om vandringsmönstret hos blankål förändrades i vindkraftverks närhet (se kapitel 2.2.1) och om detta i så fall berodde på kabelns magnetiska fält. Resultaten visade ingen skillnad i ålens beteende, oberoende verkets driftstatus. Försöksupställningen tillät dock inte spårning av ålens vandring närmare än 500 meter från verket, varför reaktioner i närområdet inte kunde utslutas.

3.2.3 Elektrolytprodukter

Vid användandet av monopolära kablar uppstår elektrolytprodukter. Monopolära kablar utnyttjar vattenmassan för returströmmen vilken leds mellan två elektroder i kabelns båda ändar. Elektrolytprodukterna bildas när elektroner i vattnet reagerar med elektroden då en ström leds igenom. Vid de två elektroderna i ett HVDC-system bildas olika produkter, beroende på strömriktningen.

Primära elektrolytprodukter bildas mellan elektrod och vatten. Vidare kan sekundära elektrolytprodukter bildas då de primära produkterna reagerar med kemiska föreningar i vattnet. Det anses att reaktionerna vid katoden inte avger giftiga ämnen (Poléo & Harboe 1995), medan produkterna vid anoden ofta är giftiga. De ämnen som frigörs vid anoden är bl a klor och en mängd klorinnehållande föreningar. Att klor är skadligt för organismer är känt, varför åtgärder för att begränsa utsläpp har ålagts de industrier som använder klor, t ex pappersindustrin.

Höglund (1971) påvisade under en studie av elektrodanläggningar under 40-talet, att giftiga föreningar bildades. Dock var utbredningen begränsad till elektrodens absoluta närområde, vilket ledde till rekommendationen att mekaniskt hindra organismer från att komma närmare elektroderna än 20 meter, och att vädja för god vattengenomströmning vid anoden för att undvika klorgasansamling. Senare undersökningars resultat bekräftar bildning av klorföreningar vid anoden, dels som klorgas och dels som klorinnehållande föreningar (se t ex Poléo & Harboe 1995).

Den effekt som är mest påtaglig vid exponering av klorföreningar är direkt dödlighet för olika organismer. Effekter av lägre koncentrationer av klorföreningar, som inte orsakar dödlighet inom ett visst antal timmar, är kanske än mer intressanta att då det gäller långsiktig och fördröjd påverkan. Subletala effekter kan orsaka störningar på organismen som t ex resulterar i minskad reproduktionsframgång.

3.2.3.1 Alger

Alger, som står för en betydande klorproduktion (Poléo & Harboe 1995), är själva känsliga för klor i högre koncentrationer. Westerberg (1999) visade att de halter av klorinnehållande föreningar som uppmätts vid elektrodstationen för Baltic Cable var under 0,05 mg/l. De lägsta koncentrationerna av klorinnehållande föreningar som visats vara giftiga för alger är 0,01 mg/l (Poléo & Harboe 1995).

3.2.3.2 Evertebrater

Gruppen evertebrater består av en mängd olika organismer, och uppvisar därför många olika reaktioner på giftiga ämnen som klorföreningar. Det är dock klarlagt att dessa föreningar har negativa effekter på evertebrater. De lägst uppmätta skadliga koncentrationerna är 0,01 mg/l (se Poléo & Harboe 1995). Poléo & Harboe (1995) presenterade olika marina evertebraters reaktion på klorföreningar. Effekterna varierade från undvikande reaktioner hos organismen till direkt död, beroende på koncentration och art. I tabell 2 presenteras ett urval baserat på Poléo & Harboe (1995).

3.2.3.3 Benfisk

För fisk gäller samma lägsta skadliga koncentration, 0,01 mg/l (Poléo & Harboe 1995), som för evertebrater. Koncentrationsnivåer för undvikande reaktioner hos öring (*Salmo trutta*) erhöles redan vid koncentrationer på 0,001 mg/l. I tabell 3 presenteras några olika benfiskars reaktioner på klorföreningar baserat på Poléo & Harboe (1995).

3.3 Effekter av kablar på fågel

Effekter av sjökablar på fåglar är inte kända (Poléo & Harboe 1995). Teoretiskt sett kan de elektromagnetiska fält som bildas runt kablar påverka fåglar som orienterar sig med hjälp av jordens magnetfält, på liknande sätt som antytts för t ex ål. Poléo & Harboe (1995) hävdar att inga studier har utförts på detta område, vare sig det gäller elektriska- eller magnetiska fält. Vad gäller elektrolytprodukters effekter, så är dessa skadliga även för fåglar. Det antas att fåglar har en bättre tolerans mot dessa föreningar än evertebrater och fisk (Poléo & Harboe 1995).

Tabell 2.

Effekter av klorföreningar på organismer (Omarb. efter Poléo & Harboe 1995)

<i>Organismgrupp</i>	<i>Effekt</i>	<i>Koncentration* (mg/l)</i>
Växtplankton	dödlig/nedsatt tillväxt	0,35-2,38
Grönalger	nedsatt tillväxt	0,075-1,5
Brunalger	nedsatt fotosyntes	5,0-10,0
Zooplankton	15-100% dödlighet	0,036-2,5
Blötdjur	dödlighet/nedsatt tillväxt	0,01-2,5
Kräftdjur	dödlighet/undvikelse	0,014-2,5

Tabell 3.

Effekter av klorföreningar på fisk (Omarb. efter Poléo & Harboe 1995)

<i>Organismgrupp</i>	<i>Effekt</i>	<i>Koncentration*</i>
Öring	Direkt död	0,3
Öring	Undflyende	0,001
Öring	Död efter 12 dygn	0,01
Regnbåge	50% dödlighet efter 7 dygn	0,08
Sill	50% dödlighet efter 4 dygn	0,065
Rödspätta	50% dödlighet efter 1 timme	0,075

* Koncentration av restklor och halogenföreningar

4 Effekter av ljus, skuggning och reflexer

- Fasta ljuspunkter attraherar organismer.
- Belysning av torn och rotorerna förekommer på vindkraftverk.
- Hastig överskuggning av ett vatten orsakar undflyendereaktion hos juveniler av laxfisk.
- Hastig överskuggning orsakas av vindkraftverkens rotorerna.
- Inga studier inom detta område är utförda.

4.1 Allmänt om ljus, skuggning och reflexer

Ljuspunkter (t ex belysning av verk) är kända att attrahera både akvatiska och icke akvatiska organismer. Effekter av ljuspunkter på organismnivå skiljer sig markant mellan olika arter. För vissa arter skulle denna attraktion kunna innebära en negativ påverkan t ex i form av ökad kollisionsrisk (se kap. 4) medan andra arter kanske inte alls påverkas.

Fasta skuggor, liksom tornskuggan, anses inte orsaka några betydande störningar på djur- och växtliv. Snabba rörelser som avspeglas på marken eller i vattnet orsakar däremot en något större oro. Många organismer reagerar med undflyende eller försiktighet inför liknande fenomen. Hastig överskuggning och reflexer uppkommer vid vindkraftverk genom att rotorbladen antingen bryter eller reflekterar en ljuskällas strålar. Detta gör att vid solsken eller artificiell belysning kommer rotorbladen att kasta frekventa skuggbilder och ljusreflektioner i närområdet.

4.2 Effekter av skuggning och reflexer på organismer

Att fiskar ofta reagerar med en undflyende reaktion är känt för så väl forskare som fritidsfiskare. Inget material finns dock publicerat. Iakttagelser gjorda vid Laxforskningsinstitutet i Älvkarleby, där en roterande "måsskrämma" en tid testades vid utebassängerna, visade att laxungarna stressades och försökte undfly skuggan under relativt lång tid efter varje uppstart (P-O Larsson, Fiskeriverket, muntl. komm.) Beteendet skulle kunna förklaras av det överlevnadsvärde som finns i att fly undan en skuggbild som närmar sig från luften och som skulle kunna vara en möjlig predator. Inga studier rörande effekter av skuggning eller reflexer på djurliv i anslutning till vindkraftverk är utförda.

5 Effekter av sediment och sedimentation

- Sediment uppstår främst vid arbetet med fundament och kabeldragning, men även vid förändrade mönster av vattenströmmar till följd av resta fundament.
- Habitatsförändringar kan uppstå till följd av sedimentation och förändrade vattenströmningsmönster.
- Sediment orsakar grumlighet i vattnet och därmed minskad ljusgenomsläpplighet.
- Minskad ljusstillgång drabbar fotosyntetiserande organismer.
- Sessil fauna och flora drabbas av överlagring av sediment.
- Mobil fauna undviker ofta grumliga vatten, dock arts specifika reaktioner.
- Ägg och juvenila former av fisk är mer känsliga för grumligt vatten än aduler.

5.1 Allmänt om sediment

Material som eroderas av vind eller vatten ger upphov till sediment. Sediment som löses i vatten kallas sedimentsuspensioner och har en rad egenskaper som påverkar sin omgivning beroende på bl a kornstorlek, textur och ursprung. Fraktionsstorlekarna av sedimentet avgör i vilken utsträckning partiklarna sprids. Generellt gäller att större partiklar bottenfäller snabbare än mindre partiklar. Även partiklarnas vikt och form påverkar denna process. Omgivande faktorer såsom vattenrörelse och vattendensitet (salthalt, närvaro resp. frånvaro av termokliner eller halokliner) påverkar även sedimentspridningen (Moore 1977).

Effekterna på flora och fauna av sediment varierar efter sedimentvolym, vattenrörelse, tendenser till flockning av partiklar och flera andra faktorer förknippade med den exponerade organismen.

Vissa generella effekter kan dock antas. Ljusgenomsläppligheten minskar i grumligt vatten till följd av de suspenderade partiklarna. Inte bara den totala ljusmängden som tränger ner i vattnet minskar, utan även ljusspektrat förändras. Det kortvågiga ljuset (blått) hindras mer effektivt av suspenderade partiklar än långvågigt ljus (rött) (Moore 1977). Den fotiska zonen, som alla fotosyntetiserande organismer är beroende av, minskar härvid varför primärproduktionen avtar.

Många organismer använder synen i sina aktiviteter, varför minskad ljusgenomsläpplighet skulle kunna bidra till försvårade förhållanden vid t ex födosök.

Temperaturvariationer kan uppstå som en följd av förändring i vattenmassans albedo (ljusreflektion), som en följd av grumligt vatten. Grumligheten gör att ljusenergin koncentreras till vattnets ytskikt, vilket medför en snabbare uppvärmning i detta skikt jämfört med djupare. Elektrolysbalansen och lösligheten av syrgas i vattenmassan kan påverkas av sedimentsuspension beroende på ämnessammansättning och mängd. De två senare effekterna är ofta ringa i förhållande till den minskade ljusgenomsläppligheten. Om grumlingen orsakas av biologiskt nedbrytbart material (t ex växtplankton) kan nedbrytningsprocessen av detta material dock orsaka stora förändringar på syrehalten i vattnet.

Ytterligare en effekt av sediment är att sessila organismer kan begravas av sedimentande partiklar och mobil fauna kan påverkas att fly från området.

Sediment i association med havsbaserade vindkraftverk förekommer dels under anläggningsfasen och då främst vid arbetet med fundament, och dels efter det att verken är etablerade genom att torn och fundament ändrar vattenströmningen i området.

Sedimentsuspensioner orsakade av provborringar, kabeldragningar och nedborring av fundament anses generellt vara ett miljöproblem med begränsad utsträckning i tid och rum (Holmes 1986 i Hansson 1995), medan vattenströmningförändringar anses mera bestående. Dessa strömningförändringar skulle kunna medföra att havsbaserade parker fungerar som sedimentfällor.

Mängden sediment och effekterna därav beror på omfattningen av bygget likväl som omgivande förutsättningar.

5.2 Effekter av sediment och sedimentation på marina organismer

I sin genomgång av effekter av oorganiska suspenderade partiklar på fauna, uppvisade Moore (1977) en diger lista där olika organismgruppers reaktioner presenterades. De grupper som behandlades var; Protozoa (protozoer), Porifera (svampdjur), Coelenterata (nässeldjur), Ctenophora (kammaneter), Polychaeta (havsborstmaskar), Crustacea (kräftdjur), Mollusca (blötdjur), Echinodermata (tagghudingar), Bryozoa, (mossdjur) Phoronidea (-), Brachiopoda (armfotingar), Ascidiacea (sjöpungar), Hemichordata (-) och Cephalochordata (-), fisk, fågel, marina däggdjur och människa. Nedan presenteras ett urval av effekterna på dessa organismer.

5.2.1 Alger

Alger drabbas direkt av ökad sedimentation genom att vid höga sedimentkoncentrationer överlagras då partiklarna sedimenterar. Detta kan orsaka att alger får nedsatt tillväxt och därmed minskad överlevnad eller att de dör till följd av sedimentation. Minskad ljusgenomsläpplighet p g a grumligt vatten kan också drabba alger på ett negativt sätt genom t ex minskad tillväxt eller minskad överlevnad.

5.2.2 Evertebrater

Marina svampdjur (porifera) uppvisar ofta negativ påverkan av sediment. Då dessa djur är sessila och beroende av en intern vattentransport för bl a näringsupptag, kan sedimenten ha en förödande effekt genom att begrava organismerna eller genom att sätta igen in- och utströmningsöppningar. Andra arter verkar klara sedimentrika vatten bättre än andra. I en studie utförd i Storbritannien konstaterades att i hamnar uppnådde vissa arter sin maximala storlek trots mycket höga halter av suspenderat material (se Moore 1977). Författarna menade att det höga näringsvärdet (hög bakterietillväxt på sedimentpartiklar p g a stor yta) i vattnet gav förutsättningar för denna tillväxt.

Havsborstmaskar (polychaeta) delas vanligen in i två grupper, erranta och sedentära. De erranta är frilevande djur medan de sedentära bygger rör runt sig själva och är relativt stationära. De erranta organismerna kan lättare undvika områden med tillfälligt hög sedimentation medan de sedentära inte i samma utsträckning kan förflytta sig.

Födointaget hos havsborstmaskar sker på olika sätt. Vissa är rovdjur som söker föda på och i botten, medan andra är suspensionsätare, d v s de tar upp näring i form av partiklar i vattenmassan. Den senare gruppen är mer utsatt för negativ påverkan vid höga partikelhalter i vattnet då de oftast inte kan skilja födopartiklar från sedimentpartiklar och därmed riskera att inte få tillräckligt med föda eller att överlagras av sediment.

5.2.3 Benfisk

Adulta fiskar reagerar ofta med undflyende vid sedimentplymer, dock kan inga generaliseringar antas för hela gruppen fisk, utan artspecifika reaktionsmönster kan förväntas. Westerberg et al. (1996) visade att torsk och strömming undvek områden med partikelkoncentration över 3 mg/l i ett bassängexperiment inför Öresundsförbindelsen. Andra studier visar att letala effekter på adult fisk endast förekommer vid mycket höga partikelkoncentrationer. Hansson (1995 (review)) angav letala värden på 100-225 g/l och poängterade samtidigt att sådana värden endast förekommer i direkt närhet till t ex muddringsarbeten. Långvarig exponering för suspenderade partiklar kan leda till påtagliga effekter på fisk vid koncentrationer på 100 mg/l (Hansson 1995).

I försök med fisk (*Agonus cataphractus*) i bassänger med suspenderad lera (red mud) erhöles följande resultat efter 72 timmars exponering; dödligheten vid koncentrationen 33 g/l var 100%, vid 10 g/l 60%, vid 3,3 g/l 0%. Efter ytterligare 48 timmars exponering hade dödligheten vid 10 g/l nått 100% (Blackman & Wilson 1973 i Hansson 1995). Vid efterföljande undersökning av fiskarna visade det sig att hela fisken var täckt av lera, vilket var mycket svårt att avlägsna. Vidare konstaterades att gälarna var mycket hårt ansatta och att fisken även invändigt var täckt med lera i svalg och buk.

Vid födosök använder sig många fiskar av synen, varför nedsatt sikt kan påverka födointaget. För fiskar med mobil föda kan man vänta sig att både födan och predatorn undviker områden med höga partikelkoncentrationer. Dessa fiskar förväntas därför inte drabbas lika hårt som fiskar som huvudsakligen livnär sig på växt- och djurplankton (adulter och många arters yngelstadier) (Hansson 1995), då födan (plankton) har en begränsad förmåga att fly, då de till största delen passivt följer vattenströmmar.

Flera fiskarter företar längre vandringar till leklokaler (t ex lax och havsöring). Hansson (1995) hänvisade till en rapport från E.I.F.A.C (European Inland Fisheries Advisory Commission) (1964) där effekter av sedimentsuspensioner på vandrande fisk behandlades och där resultaten visade att lax- och havsöringsvandring inte påverkades trots höga partikelkoncentrationer ("...flera g/l"). Andra studier styrker detta resultat (se t ex Westerberg 1982, Bell 1973 i Snyder 1976).

Juvenila fiskar har, liksom växt- och djurplankton, en begränsad förmåga att fly från ett område på grund av en begränsad simförmåga. Detta i samband med att yngel saknar några betydande energireserver, kan leda till akut svält (Hansson 1995). Moore (1977) poängterade i sin litteratursammanställning att juvenila former är känsligare för suspenderat sediment än adulterna. Westerberg et al. (1996) visade att torsklarver som hölls i behållare med suspenderat sediment uppvisade ökad dödlighet vid sedimentkoncentrationer över 10 mg/l. Moore (1977) nämnde flera studier av effekter av sediment på befruktade fiskägg, bl a Rosenthal (1971). Studien visade att överlevnaden för ägg från strömming (*Clupea harengus*) exponerade för suspenderad lera (red mud, i koncentrationer om 1, 2, 5, 10 ml/l) minskade till 40 eller 50% jämfört med kontrollen där överlevnaden var 90%. Leran adhererade till äggens membran och orsakade störningar i gas- och partikelutbytet mellan ägg och omgivande vatten. Utvecklingen av embryot bromsades och missbildningar blev mer frekventa än i kontrollprover. Westerberg et al. (1996) visade att pelagiska ägg (torsk) som exponerades för ett sjunkande sedimentmoln förlorade sin flytförmåga (buoyancy) även vid låga sedimentkoncentrationer (från 5 mg/l) på grund av viktökningen orsakad av sedimentpålagringen. Följden blev att äggen sjönk till botten där de ansågs bli offer för predation från bentiska organismer. Processen anses vara mekanisk varför samma resonemang skulle gälla även andra pelagiska ägg oavsett art.

Många fiskar i Östersjön har inte pelagiska ägg utan de lägger rommen på botten eller fäster den på vegetationen (Hansson 1995). Sedimentation kan påverka dessa äggs utveckling på flera sätt. Suspenderade partiklar kan, när de sedimenterar, orsaka förändrade bottenförhållanden vilket kan leda till förändrade förutsättningar för lek hos vissa arter (hårdbotten kan ändras till mjukbotten, vegetation kan bli överlagrad eller ljusgenomsläpligheten minska med följd att vegetationen kanske dör vilket orsakar problem för fisk som fäster rom på vegetationen). Akuta effekter uppstår om redan lagd rom överlagras av sediment vilket med stor sannolikhet orsakar dödlighet hos äggen.

6 Effekter av arbete och service

- Störningar orsakas av ökad mänsklig aktivitet (fordon, båtar, ljud).
- Anses generellt vara tidsbegränsade problem.
- Undflyendereaktioner har konstaterats på säl och fågel.

6.1 Allmänt om arbete och service

Effekter av anläggningsarbete och service uppstår genom att den mänskliga aktiviteten i ett område ökar, med ökad rörelse, trafik och ofta förhöjda ljudnivåer till följd av den tekniska utrustningen som krävs. Huruvida denna påverkan har bestående effekter på djur- och växtliv är inte klarlagt. Arbetet med att uppföra en anläggning utförs under en begränsad tidsperiod och servicearbeten förekommer i de flesta fall mera sällan och då under kortare tidsperioder.

6.2 Effekter av arbete och service på organismer

Inga studier finns gjorda enbart på effekterna kring arbetet vid byggandet av vindkraftverk eller vid servicearbeten av anläggningarna. I flera studier nämns dock dessa effekter. Sundberg & Söderman (1999) konstaterade att t ex ökad båttrafik och rörelse av människor i arbetsområdet gav tydliga effekter på beteendet hos den lokala sälpopulationen. Även Guillemette et al. (1997) påpekade ökade störningar på sjöfågel vid Tunø Knob särskilt under anläggningsfasen.

7 Effekter av utsläpp och föroreningar

- Vindkraftverk avger inga föroreningar under driftfas.
- Verkens växellåda innehåller smörjolja som regelbundet byts (ej verk med direkt driven generator).
- Under arbetsfas används fordon som avger föroreningar, främst förbränningsprodukter och oljespill.
- Oljeutsläpp orsakar ofta biologiska och ekonomiska förluster.
- Inga studier är utförda i anslutning till vindkraftverk.

7.1 Allmänt om utsläpp och föroreningar

Som föroreningar räknas utsläpp av bl a gifter, olja, närsalter och organiskt material. Vindkraftverk i normal drift släpper inte ifrån sig några förbrännings- eller slaggprodukter. Vindkraftverk har en oljevolym av omkring hundra liter olja som regelbundet behöver bytas (gäller ej verk med direkt driven generator). Båtar som används vid uppförandet av vindkraftverk och vid servicearbeten använder sig av olika oljor som drivmedel och som smörjmedel. Risken för oljeutsläpp ökar med ökat antal oljeinnehållande maskiner och ökad hantering av oljeprodukter. Oljeutsläpp till havs orsakar ofta både biologiska och ekonomiska förluster.

7.2 Effekter av utsläpp och föroreningar på organismer

Effekter av oljeutsläpp ligger utanför ämnet för denna rapport och är redan väl dokumenterat. Material rörande effekter, förordningar och hantering av olja finns bl a hos Svenska Räddningsverket och Kustbevakningen.

8 Ospecifika effekter av vindkraft

- Fåglars flygaktivitet är nedsatt i närområdet till vindkraftverk.
- Fåglar väjer ofta för vindkraftparker och ändrar flygrutt vid upptäckande av hindret.
- Vindkraftparker kan fungera som barriär för sträckande fågel eller fågel som förflyttar sig mellan rast- och födosökslokal.
- Dränering av marker till följd av kabelgrävning och fundamentarbete kan orsaka förändrade förutsättningar för vegetation och därmed även för djur.

8.1 Allmänt

Flera studier klargör inte vilka de bakomliggande orsakerna till det beteende som iakttagits varit. I vissa studier är inte syftet att etablera kunskaper om orsaker utan syftet är att studera olika organismers beteende i relation till vindkraftverk. Detta kapitel behandlar studier där ingen enskild orsak till det iakttagna beteendet kan särskiljas, utan vindkraftverket eller arbetet associerat till detta utgör störningen.

8.2 Ospecifika effekter av vindkraft på fauna

8.2.1 Ospecifika effekter av vindkraft på födosökande, vilande och häckande fågel

I Danmark finns en havsbaserad vindkraftpark om tio verk på 500 kW vardera. Parken är belägen på Tunø Knob på ett vattendjup av 3-5 meter. I detta område har man undersökt eventuella effekter av vindkraftverken på födosökande och vilande ejder och sjöorre (Guillemette et al. 1997). Resultaten bygger på en för-och-efter undersökning (BACI, Before After Control Impact) och en efter undersökning.

Studien visade att antalet ejder i området minskade efter etablering, i motsättning till antalet i kontrollområdet och i hela regionen. Samtidiga undersökningar på födotillgången (blåmusslor) i området visade på en minskning, vilket korrelerade med nedgången av antalet ejder. Konklusionen av ejderstudien blev att de direkta effekterna på ejder orsakades av

minskad födotillgång i området och inte av vindkraftverken. Huruvida nedgången av blåmusslor berodde av anläggningen undersöktes inte.

Antalet sjöorrar minskade under perioden för studien både i området för verken och i kontrollområdet, jämfört med tiden före etablering av verken. Denna nedgång ansågs till stor del bero på en allmän nedgång av antalet sjöorrar i området. Iakttagelserna rörande sjöorre baserades på ett litet antal fåglar varför resultatet får anses som osäkert. Författarna påpekade vidare att denna studie är den enda genomförd i sitt slag, rörande effekter på fågel av havsbaserade vindkraftverk, varför generaliseringar byggda på detta material måste användas med försiktighet.

Winkelman (1992d) har genomfört liknande studier (BACI) i ett område med kustbaserade vindkraftverk nära Oosterbierum, Nederländerna. På häckande fågel påvisades inga effekter på strandskata, tofsvipa, rödspov och rödbena. Winkelman påpekade vidare att effekter på fåglar med stor trohet till sina häckningsplatser och fåglar som är långlivade kräver långa undersökningsperioder för att påvisa eventuella effekter, något som ej var möjligt under denna studie. Störningar på födosökande och vilande fåglar påvisades för tio av de 13 undersökta arterna (grupperna) (gräsand, vigg, sothöna, strandskata, ljunpipare, tofsvipa, storspov, fiskmås, gråtrut, duvor). Inga störningar påvisades för skratmås, kråka och stare. Guillemette et al. (1997) påpekade att inga samtidiga studier av t ex förändringar i födoutbud genomfördes i samband med Winkelman's studier, varför orsakerna till störningen på fågel i området förblir något oklara.

Karlsson (1983) sammanfattade sina resultat från en före- och efterundersökning 1979-1982 av häckande fåglar i närheten av Maglarp (Skåne) och Näsudden (Gotland), till att inga förändringar av tätheten kunde detekteras orsakade av att vindkraftverken etablerats. Studien pågick inte efter det att anläggningsfasen avslutats, varför effekter av normal drift inte kunde uteslutas.

Studier angående eventuella störningar från kustetablerade vindkraftverk på vadarfåglar genomfördes av Percival & Percival (1998) på Näsudden, Gotland. Genom att jämföra tätheten av häckande vadare inom områden med vindkraftverk med områden där etablering av vindkraftverk saknades, visade man att ingen skillnad avseende täthet av häckande vadare inom dessa områden förelåg. Man noterade att många vadare häckade nära vindkraftverken (medelavstånd till vindkraftverk från nästen varierade mellan 69-105 meter beroende på art, minimiavståndet varierade mellan 0,7-40 meter beroende på art) utan nedgång av överlevnadsgraden. Det påpekades av författarna att studien endast pågick under en kort tid (maj, 1998), varför kvaliteten på överlevnadsdata blev något osäker.

Vindkraftparken vid Tunø Knob (10 verk om vardera 500kW) användes vid en undersökning av en grupp forskare från Nederländerna (Tulp et al. 1999) i samarbete med danska forskare. Området studerades med anledning av nederländernas planerade havsbaserade vindkraftverk i Nordsjön. I det aktuella området finns stora mängder sjöfågel varför effekter av vindkraftverk på fågel önskades undersökas. Det fastslogs i undersökningen att ejder och sjöorre var aktiva (flygningar) dagtid men även under nattetid, något som ej behandlades av Guillemette et al. (1997) där endast aktiviteten under dagen togs hänsyn till. Aktiviteten under natten var som högst under lugna och klara morgnar och avtog främst med ökat mörker, men även med ökad vind och dimma. Flygaktiviteten i verkens absoluta närhet var lägre än längre ifrån verken under nätterna. Denna trend var starkast närmast verken och avtog ut till ett avstånd från verken på 1000-1500 meter. Den nedsatta flygaktiviteten ansågs bero på vindkraftverken.

Man registrerade även att fler grupper av ejder som närmade sig vindkraftparken flög runt denna, än igenom. Detta gällde för grupper som närmade sig både parallellt och vinkelrätt mot parken (två rader om vardera fem verk, 200 meter mellan verk, 400 meter mellan raderna). De slutsatser som författarna drog från dessa resultat var att: 1) ejder och sjöorre är aktiva även under natten; 2) ejder aktivt undviker vindkraftverken när de närmar sig; 3) området som påverkades uppgick till 1500 meter från verken och 4) att vindkraftparker kan fungera som barriär för fågel som sträcker eller förflyttar sig mellan rast- och födosökslokal. Hur de två sistnämnda effekterna varierar med storlek på vindkraftpark, poängterade författarna att man ej kunde uttala sig om utifrån denna studies resultat.

8.3 Ospezifika effekter av vindkraft på flora

Att vindkraften skulle ha någon större inverkan på floran har inte kunnat visats. Lokalt kan landlevande växter påverkas vid etableringen av verk och mätmaster likväl som vid dragning av ledningsnät och vägar. Oro har uttalats inför de diken som grävs vid vindkraftetableringar i samband med servicevägar och kabeldiken, då dessa inom ett större område skulle kunna dränera vissa marker och förändra förutsättningarna för växtligheten (M. Martinsson, Länsstyrelsen Gotland län, muntl. komm.).

Floran i havet kan på liknade sätt tänkas påverkas under etableringsfasen med ökad båttrafik, grumling av vattnet och ökad sedimentation (se kap. 6).

9 Kollisioner med vindkraftverk

- Vindkraftverk utgör ett hinder för flygande organismer.
- Fåglar och fladdermöss kolliderar med vindkraftverk.
- Konstruktion av torn och rotor har betydelse för kollisionsrisken.
- Belysning av torn och rotor anses ha betydelse för kollisionsrisken.
- De flesta kollisioner verkar ske under disiga och mulna nätter.
- Kollisionsrisken beror även på fågeln (storlek, vikt, beteende och förmåga att upptäcka och väja för hinder).

9.1 Allmänt om kollisioner med vindkraftverk

Att fåglar kolliderar med fönster, bilar och byggnader är känt sedan länge. Huruvida dessa kollisioner skulle kunna utgöra något hot mot fågelbestånden ifrågasattes för mer än hundra år sedan. Då gällde det främst jaktbara fåglar som omkom vid kollisioner med fyrar och luftledningar (telegraftrådar). På senare tid har detta problem vidare studerats, i takt med att människan rest fler och högre byggnadsverk och luftledningar.

Enligt Karlsson (1977) är belysningen av en byggnad den främsta orsaken till fågelkollisioner. Hur ljuset orsakar kollision är dock inte klarlagt. En möjlig förklaring är att fåglarna blir bländade av ljuset då kontrasten mellan ljuset och den, främst under mulna och disiga nätter, extremt mörka omgivningen är mycket stor. Under klara nätter eller nätter med månsken är kontrasten inte lika stor, vilket skulle kunna förklara varför de flesta kollisionerna sker under just disiga, mulna nätter (t ex Karlsson 1977; Dirksen et al. 1998; Winkelman 1992a-d, Still et al. 1994).

Karlsson (1977) sammanställde data på fågelkollisioner med byggnadsverk och nämnde siffror som 500 fåglar/km/år för luftledning (se Scott et al. 1972), 500 fåglar/tre säsonger för en 295 meter hög mast (se Brewer & Ellis 1958), 30 000 fåglar/två dygn för en 300 meter hög mast (se Kemper 1964) och 8 000 fåglar/tre säsonger för en 455 meter hög mast (Taylor & Andersson 1973). De högsta siffrorna på döda fåglar ansågs som enstaka händelser och inte som vardagligt skeende. Clausager & Nøhr (1995) visade kollisionstal mellan fågel och högspänningsledningar uttryckt i genomsnittlig dödlighet/km ledning/dag (gns/km/dag) baserat på sju studier i Europa. Värdena på dödlighet varierade mellan 0,03-1,48 gns/km/dag. Bevanger (1997) menade att fåglar med relativt stor kroppsvikt i förhållande till vingarnas

storlek, var utsatta för en högre kollisionsrisk med luftledningarna än andra fåglar. Dessa fåglar karaktäriserades av snabba flygningar och kroppsformen medgav inte hastiga undanmanövreringar vid uppkomna hinder.

9.2 Fågelkollisioner med vindkraftverk

Litteratur som behandlar kollisioner mellan fågel och vindkraftverk utgör en stor del av de studier som behandlar effekter av vindkraftverk. Detta material är i stort sammanställt i en rapport från Danmark (Clausager & Nøhr 1995). Författarna konkluderade att utförda europeiska studier visar att effekterna av vindkraftverk på fågel genom kollisioner är minimala i de områden som undersökts och i de habitattyper som är aktuella för etablering av vindkraftverk. Detta resultat kritiserades av Folkestad (1999) i en rapport om vindkraftverks inverkan på fåglar. Folkestad poängterade att de europeiska studierna ofta är utförda i områden med enstaka verk och ofta förknippade med metodproblem av något slag, varför resultaten bli svårtolkade. Vidare nämner författaren de studier som utförts i Altamont Pass, Kalifornien, där 7000 verk är resta och där kollisionsfrekvensen av rovfågel är beräknad till 2,3-5,8 rovfåglar per 100 vindkraftverk och år, något som av författaren ansågs vara mera representativt för de vindkraftparken som planeras, än de studier som är utförda vid enskilda verk eller mindre grupper.

Konstruktionen av torn och rotor har betydelse för kollisionsrisken (Tucker 1996; Tucker 1996 (rotor), Clausager & Nøhr 1995 (torn)). Fackverkstorn och torn med stödvajrar utgör större kollisionsrisk för fågel än vad massiva torn gör (Clausager & Nøhr 1995). Även rotorns hastighet (Tucker 1996) och verkets storlek (Clausager & Nøhr 1995) påverkar riskerna för kollision. Små verk med hastigt roterande rotor utgör störst risk för fågelkollision, medan större verk med mer långsamgående rotor utgör mindre risk. Tucker (1996) påpekade att verk med konstant rotorhastighet utgör mindre risk än verk med variabel rotorhastighet.

Kollisionsriskerna med vindkraftverk beror till viss del på fågelns, dess storlek, beteende och förmåga att upptäcka och väja för hinder. Det anses av flera författare att större fåglar riskerar att i högre grad kollidera med vindkraftverk än mindre fåglar med utgångspunkt från deras storlek och manövringsduglighet (t ex Bevinger 1997).

I en studie utförd i Spanien (SEO 1995) visades motsatsen till antagandet att stora fåglar löper större risk att kollidera med vindkraftverk. Resultaten visade att småfåglar (small songbirds) löpte särskilt hög risk att kollidera. 25% av de småfåglar som närmade sig ett verk i drift inom ett område av 15 meter åt båda sidorna av verket dödades. Motsvarande siffra för stora fåglar var 3%. Även Winkelmann (X) noterade att små fåglar oftare kolliderar med verk och dör.

Vad gäller fåglars beteende har det visats att de flesta kollisioner sker under natten, varför fåglar med utpräglad nattaktivitet löper större risk att kollidera än dagaktiva fåglar. Även rovfåglar kan drabbas hårt genom kollisioner med vindkraftverk. I en vindkraftpark i USA förolyckades ett stort antal örnar i kollision med vindkraftverk (Clausager & Nøhr 1995). Författarna konkluderade att detta till stor del hörde ihop med rovfågelnas födosök då den var allt för fokuserad på bytet för att lägga märke till vindkraftverken och dess rotor.

Dödligheten av fågel varierar med de rådande förhållanden på platsen och med säsong, antal och typ av kraftverk och antal och art av fågel. Tabell 4 summerar ett flertal studiers resultat

avseende fågelkollisioner med vindkraftverk.

Rörande sträckande fågel visade Dirksen et al. (1998) att fåglar ofta sträcker på låg höjd (<100 m) och nära kustområden. Svenska studier (Pettersson & Lindell 1998; Pettersson & Lindell 1999) visade på liknande resultat för sträckande ejder i södra Kalmarsund. Fåglarna passerade området på relativt låg höjd och konkurrerade därmed om samma luftrum som är lämpligt avseende havsbaserade vindkraftverk.

Flyghöjden och närheten till kusten för sträckande fågel utgör ofta en direkt konflikt med många områden som är intressanta för vindkraftexploatering. Dirksen et al. (1998) visade att verk som är placerade på led kan fungera som en barriär för fågel om verken är belägna mellan rast- och forageringslokal. Deras enkla förslag till lösning är att raderna av verk bryts av med jämna mellanrum så att öppna korridorer skapas, vilka fåglarna kan använda.

Tabell 4.*Fågelkollisioner med vindkraftverk (delvis efter Clausager & Nøhr 1995)*

Ant. döda fåglar i området	Ant. döda fåglar orsakade av verk	Ant. verk	Tidsperiod	Naturtyp	Referens	Anmärkn.
>423	19	9	15 mån	Hamn	Still et al., 1994	
106	97	268	12/93-12/94	Land-baserat	SEO, 1995	Exkl. småfåglar
-	170 (beräknat)	18	7 nätter	Kust	Winkelman, X	
1	1	5	01/90-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
2	1	5	02/90-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
9	4	26	04/89-08/90	kust	Hartwig, 1990	
10	6	32	05/89-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
0	0	2	02/90-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
0	0	3	05/89-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
4	4	1	04/89-08/90	Kust	Hartwig, 1990	
61	12	1	04/89-09/90	Kust	Hartwig, 1990	
50	49	1	00/81-00/82	Kust	Karlsson, 1983a	
0	0	1	1982	Kust	Karlsson, 1983a	

0	0	1	Vår- sommar/87	Kust	Karlsson, 1987
1	1	1	Höst/87	Kust	Karlsson, 1988
0	0	1	1983	Kust	Möller & Poulsen, 1984
29	9	5	04/90- 04/91	Kust	Musters et al., 1991
183	101	7 340	-	Slätt	Orloff & Flannery, 1992
15	4	1	1987-90	Kust	Pedersen & poulsen, 1991
2	2	135	05/88- 12/88	Kust	Ornis Consult A/S, 1989
1	0	1	Höst/87	Kust	van Swelm, 1988
24	5	25	Höst/88	Kust	Winkelman 1989
39	12	25	Vinter-vår 88/89	Kust	Winkelman 1989
76	42	18	02/86- 06/91	kust	Winkelman 1992a

9.3 Fladdermuskollisioner med vindkraftverk

Tills nyligen har man inte känt till att vindkraftanläggningar skulle kunna utgöra problem för fladdermöss. Professor Ingemar Ahlén vid institutionen för naturvårdsbiologi, SLU, Uppsala, har meddelat följande:

Vindkraftverk och fladdermöss

I september 1999 rapporterade en person att man anträffat ett trettiotal döda fladdermöss under ett vindkraftverk på Gotland. Risken för att fladdermöss skall dödas eller skadas av vindkraftverk var tidigare helt okänd i Sverige och knappast förutsedd. Litteratursökning som gjordes i början av 2000 resulterade inte heller i någonting och annan information tydde på att inget publicerats. Enstaka incidenter som att man anträffat några döda fladdermöss vid linor eller kommunikationsmaster har dock rapporterats (t.ex. Crawford & Baker 1981). Så småningom har det dock lyckats få fram även äldre information om olyckor vid vindkraftverk. I en däggdjurstidskrift i Australien finns en faunistisk notis (Hall & Richards 1972) om en fladdermusart *Tadarida australis*. Där rapporteras att man mellan juni 1967 och juni 1971 hittade 22 exemplar av arten, alla ihjälslagna av rotorbladen. Exakta lokaler anges liksom uppgift om var exemplaren förvaras.

Tack vare kontakter med forskare i flera länder har jag fått fram uppgifter om att man nyligen startat undersökningar eller sammanställningar av kunskaper om problemet i några länder. I Tyskland har fladdermössens vanor vid en vindkraftspark studerats men inga dödsfall har påvisats (Bach 1998, 1999).

I Australien lär en undersökning ha startats men det har hittills inte gått att få någon ny information därifrån. I USA har frågan blivit föremål för utredningar och flera fältundersökningar. Ingenting har ännu publicerats men viss information (Brian Keeley, pers. comm.) visar att man även i USA är överraskade över problemets omfattning. Det är vissa arter som tycks vara speciellt drabbade, framför allt tillhörande släktet *Lasiurus* (85% av alla anträffade). Migrerande arter utgör en ganska stor andel av dödsfallen. I samband med ett påbörjat ekologiskt forskningsprojekt på fladdermöss i Navarra i Spanien har viltvårdare under augusti och september 2000 letat under några vindkraftverk och redan insamlat fladdermöss av sex olika arter (J.-T. Alcalde, pers. comm.). Där anser man att rävar och mårddjur lärt sig att plocka fladdermöss och småfåglar under nattens lopp varför det kan vara svårt att veta hur omfattande problemet är.

Om en fladdermusart drabbas regelbundet av kollisioner med vindkraftverk skulle detta kunna vara betydligt allvarigare än för fåglar. Fladdermöss har mycket långsam reproduktion, oftast bara en unge per vuxen hona och år. De vuxna har normalt låg årlig mortalitet och lång livslängd. En ny mortalitet skulle därför kunna slå hårdare och hota populationens överlevnad allvarigare än hos djurgrupper med snabbare reproduktion, t.ex. många fågelarter.

Problemets omfattning i Sverige har inte undersökts än och inte heller finns det någon

förklaring till varför fladdermöss dödas av vindkraftverk. Under normala förhållanden använder fladdermössen sin sonar (ultraljud med ekon) som gör att de i mörkret kan undvika alla slags hinder i luften.

Det är känt sedan några år att flera av de migrerande fladdermusarterna förekommer på Gotland liksom på Öland samt vid Sydsveriges kuster (Ahlén 1983, 1997a, 1997b, 1998a). Av Sveriges 17 fladdermusarter företar minst 4 arter regelbundna långväga flyttningar medan ytterligare några arter flyttar kortare sträckor mellan sommar- och vintertillhåll (Ahlén 1998b, Ahlén & Gerell 1990). Att flyttningen tvingar fladdermöss att regelbundet flyga över Östersjön har nu visats såväl vid Ottenby som vid Falsterbo (Ahlén 1997a). Det visar att även havsbaserade anläggningar kan tänkas utgöra problem för flyttande fladdermöss. Även fladdermöss som under sommaren är ute på födosök kan komma i kontakt med vindkraftverk. Särskilt tidigt och sent på säsongen är många födosökande fladdermöss koncentrerade till vissa begränsade områden med bra insekttillgång (de Jong & Ahlén 1991). I sådana områden kan man tänka sig att fler fladdermöss är utsatta för vindkraftverk, master och vajrar.

I augusti och september 2000 gjordes vissa förstudier till ett planerat projekt. Det visade att platsen med det aktuella vindkraftverket på Gotland ligger mitt i ett stråk för flyttande fladdermöss och att det samtidigt utgjorde en mycket frekventerad jaktbiotop för de stationära arterna sedan de på eftersommaren lämnat kolonierna. Flera vindkraftverk med liknande läge i landskapet påträffades på Gotland och Öland. Inga dödsfall av fladdermöss observerades. Både på Gotland och Öland tyder observationerna på ett betydande genomsträck av flyttande arter, bl. a. av arter som saknas sommartid eller då är mycket sällsynta (I. Ahlén och L.Bach, pers. comm.).

10 Havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev

- Naturliga rev ger förutsättningar för hög biodiversitet.
- Fundament till havsbaserade verk kan fungera som artificiella rev.
- Delade meningar råder om artificiella rev ger ökad produktion eller endast omfördelning av befintliga bestånd.
- Risk för överfiske föreligger i områden med artificiella rev p g a ökad produktion/anlockning av organismer.
- Områden med artificiella rev kan genom fiskerestriktioner användas som refugier för organismer.

10.1 Allmänt om artificiella rev

Att naturliga rev ger förutsättningar för en hög biodiversitet är känt sedan länge. Det är först under senare tid som frågorna om artificiella rev kan ge liknande förutsättningar blivit aktuella. För fiskare har det länge varit känt att vrak och andra strukturer på bottnen är bra fiskelokaler. I insjöfisket efter abborre är det t ex vanligt att lägga ned ett träd (vase) i sjön för att locka dit fisk.

I slutet av 80-talet hade 29 länder i världen etablerat artificiella rev, sjösatta för fiskets skull (Støttrup & Stokholm 1997). Av dessa länder var Japan världsledande, med mellan 5 och 10% av kontinentalsockeln runt ögruppen täckt av artificiella rev (1987 uppgick antalet till över 7300 artificiella rev) (Anon. 1998).

Som artificiella rev används strukturer av stål, betong, plast och industriskrot. Även strukturer som för andra ändamål redan finns i haven, kan fungera som artificiella rev, t ex fundament till oljeplattformar.

10.2 Effekter av artificiella rev på akvatiska organismer

I havet är det ofta hård konkurrens mellan organismer om fria hårbottenytor, då många organismgrupper är beroende av en yta för att kunna etablera sig. Detta gäller bl a för sessil fauna som havstulpaner och många havsborstmaskar, men även för andra organismer likt alger. Många iakttagelser t ex från fundament till oljeplattformar visar att sessila organismer kan etablera sig där. Ett exempel på detta är den hotade kallvattenkorallen *Lophelia pertusa* som hittats på flera plattformar i Nordsjön (Bell & Smith 1999).

Etableringen av organismer fortsätter sedan genom succession mot ett komplext djur- och växtsamhälle. Att artificiella rev ger förutsättningar för liv är klarlagt och att produktionen av alger och smådjur ökar. Att även fisk attraheras till liknande strukturer är välbelagt (t ex Soldal et al. 1999; Bohnsack 1989, se även hela symposievolymerna om artificiella rev från 1989 respektive 1994). Huruvida denna ökning är tecken på en ökad produktion eller endast en attraktion av toppkonsumenter återstår att visa (Bohnsack 1989). Även organismer som kan ha negativ inverkan på andra djur kan förväntas att attraheras till artificiella rev. Till dessa organismer kan man räkna parasiter av olika slag.

Huruvida de artificiella reven ger upphov till ny biomassa eller om reven endast lockar till sig befintlig biomassa diskuteras i stor utsträckning. Bohnsack (1989) menar att de bevis (den snabba koloniseringen av artificiella rev, den höga fisktätheten, de stora fångsterna och antagandet om att reven ger upphov till ökad produktion av fisk) , som används för att det råder habitatsbegränsning i havet är felaktiga. Alternativet som presenteras är att revstrukturerna lockar till sig fisk från närområdet p g a beteendepreferenser, något som inte skulle leda till en ökad produktion utan bara en omfördelning av bestånden. Bohnsack (1989) visade i sin litteraturgenomgång att en ökad produktion av fisk inte har kunnat visats förutom i en studie. Han ansåg dock att en ökad fiskproduktion i samband med artificiella rev kan förekomma, då mest trolig i områden som saknar naturliga revstrukturer, medan attraktion av fisk till artificiella rev är mer trolig i områden med förekomst av naturliga rev där exploateringen är hög.

I ett område där fisken attraheras till en revstruktur kommer förutsättningarna för ett lokalt fiske förmodligen att förbättras. Effekterna av ett fiske i dessa områden kan få förödande konsekvenser för fiskbestånden i området då fisken koncentreras runt revstrukturerna och därför lätt kan överfiskas. Om restriktioner mot fiske i dessa områden införs skulle dessa strukturer kunna fungera som refugier för flera arter.

10.3 Fundament till havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev

Westerberg (1994) menade att kraftverksfundament kan anses som artificiella rev, vilka ger skugga, skapar strömvrivlar o s v, vilket lockar bl a fisk. I en studie vid Nogersund, vilket är den enda studien utförd på fisk och havsbaserade vindkraftverk, kunde Westerberg inte med säkerhet säga att det som observerades av fiskförekomst var en anlockning till strukturen (stålkonstruerad tripod) p g a att uppgifter om fisktäthet innan etablering av verket saknades.

Kraftverksfundament kan fylla flera syften förutom de ovan nämnda, vilket påvisades av

Støttrup & Stokholm (1997). De menade att fundamenten även kan tjäna som kustskydd (erosionsskydd), skydd av inseglingrännor till hamnar och som skydd för andra strukturer i havet såsom bropelare.

Genom att utforma fundament på ett för akvatiskt liv fördelaktigt sätt, kan etablering och produktion/anlockning förväntas öka. Dessa etableringar skulle senare kunna bidra till vidare anlockning av andra organismer likt fisk (se t ex ansökan om utformning av konstruktioner i havet ställd till Energimyndigheten).

11 Ordlista

Adult	fullt utvecklad organism
Akvatisk	vattenlevande (söt- brack- eller saltvatten)
Albedo	mått på en ytas reflexionsförmåga (100% albedo=full reflexion)
Anod	positiv elektrod
Bentisk	bottenlevande
Buoyancy	flytförmåga; svävande i en vattenmassa
Errant	frilevande form av havsborstmask
Evertebrat	ryggradslöst djur
Fotiska zonen solljus	(övre) del av vattenmassa som genomträngs av
Haloklin	(halo=salt; klin=lutning, plan) skikt mellan två på varandra liggande vattenmassor med olika salthalt orsakat av densitetsskillnader till följd av olika salthalt i vattenmassorna
Juvenil	ungform av organism
Katod	negativ elektrod
Mobil	organism som är rörlig
Nekton	av egen kraft simmande organism
Pelagisk	uppehåller sig till havets fria vattenmassor
Plankton vattenströmmar	organismer som för sin förflyttning uteslutande är beroende av
Sedentär	ofta tentakelkrona klädd, rörlevande form av havsborstmask
Sessil	organism som är fastsittande direkt på underlag
Termoklin	(termo=värme; klin=lutning, plan) skikt mellan varmare ytvatten och kallare djupvatten orsakat av densitetsskillnader till följd av olika temperatur mellan två vattenmassor

12 Källor och Litteratur

12.1 Refererade källor och litteratur

1. **Ahlén, I.** (1983). The bat fauna of some isolated islands in Scandinavia. *Oikos* 41:352-358.
2. **Ahlén, I.** (1997a). Migratory behaviour of bats at south Swedish coast. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62:375-380.
3. **Ahlén, I.** (1997b). Ölands fladdermusfauna. Länsstyrelsen Kalmar län, Meddelande 1997:7, Kalmar. 26 pp.
4. **Ahlén, I.** (1998a). Gotlands fladdermusfauna 1997. Länsstyrelsen i Gotlands län. Livsmiljöenheten. Rapport nr. 4. 1998.
5. **Ahlén, I.** (1998b). Agreement on the conservation of bats in Europe. National report from Sweden 1998. Naturvårdsverket, Stockholm.
6. **Ahlén, I. & Gerell, R.** (1990). Distribution and status of bats in Sweden. *European Bat Research 1987*. V. Hanak, I. Horacek, J. Gaisler (eds.). Charles University Press. Praha.
7. **Anonym.** (1988). Läge för vindkraft. Statens offentliga utredningar. SOU 1988:32.
8. **Anonym.** (1995). Etablering av vindkraft på land. Allmänna råd 1995:1. Boverket.
9. **Anonym.** (1998). Kunstige fiskrev over heile verda. Havsforskningsnytt. Nr. 9 - 1998.
10. **Anonym.** (1998). Vindkraften - en ren energikälla tar plats. Statens offentliga utredningar. SOU 1998:152.
11. **Anonym.** (1999). Rätt plats för vindkraften. Statens offentliga utredningar. SOU 1999:75
12. **Bach, L.** (1998). Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzung von Fledermäusen im Windpark Midlum. Zwischenbericht 1998. Bremen.
13. **Bach, L.** (1999). Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzung von Fledermäusen im Windpark Midlum. Zwischenbericht 1999. Bremen.
14. **Bell, N. & Smith, J.** (1999). Coral growing on North Sea oil rigs. *Nature*. Vol. 402/1999.
15. **Berge, J. A.** (1979). The perception of weak electric A.C. currents by the european eel, *Anguilla anguilla*. *Comp. Biochem. Physiol.* 62A, 915-919.
16. **Bevanger, K.** (1997). Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biol. Cons.* 86(1998), 67-76.

17. **Blaxter**, J. H. S. & Batty, R. S. (1985). Herring behaviour in the dark: responses to stationary and continuously vibrating obstacles. *J. mar. Biol. Ass.* 65, 1031-1050.
18. **Bohnsack**, J. A. (1989). Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioural preference? *Bulletin of Marine Science.* 44(2): 631-645.
19. **Brewer**, R. & Ellis, J. A. (1958). An analysis of migrating birds killed at a television tower in East-Central Illinois. *Auk.* 75, 400-414.
20. **Cadoret**, J. P. (1992). Electric field-induced polyploidy in mollusc embryos. *Aquaculture.* 106(2), 127-139.
21. **Clausager**, I. & Nøhr, H. (1995). Vindmøllers indvirkning på fugle - Status over viden og perspektiver. Faglig rapport fra DMU, nr. 147.
22. **Crawford**, R. L. & Baker, W. W. (1981). Bats killed at a north Florida television tower: A 25-year record. *Journal of Mammalogy* 62:651-652.
23. **Dirksen**, S., van der Winden, J. & Spaans, A.L. (1998). Nocturnal collision risks of birds with wind turbines in tidal and semi-offshore areas. *Wind Energ and Landscape.* Ratto & Solari (eds.)
24. **Enger**, P. S., Karlsen, H. E., Knudsen, F. R. & Sand, O. (1993). Detection and reaction of the fish to infrasound. *ICES mar. Symp.* 196, 108-112.
25. **Folkestad**, A. O. (1999). Vindmøllers innvirkning på fuglar. Norsk Ornitologisk Forening, "Prosjekt Havørn".
26. **Guillemette**, M., Larsen, J. K. & Clausager, I. (1997). Effekt af Tunø Knob vindmøllepark på fuglelivet. Faglig rapport fra DMU, nr. 209.
27. **Hall**, L. S. & Richards, G. C. (1972). Notes on *Tadarida australis* (Chiroptera: Molossidae). *Australian Mammalogy* 1:46-47.
28. **Hansson**, S. (1995). En litteratur genomgång av effekter på fisk av muddring och tippning, samt erfarenheter från ett provfiske inför Stålverk 80. *TemaNord* 1995:513.
29. **Hartwig**, E. (1990). Erste Ergebnisse zum problem der vogelschläge und zum verhalten von vögeln an windkraftanlagen. *NNA*
30. **Helgott**, R. & Larsson, G. (1990). Biologiska ljud i Sveriges kustvatten, en orienterande studie och sammanställning av erhållna uppgifter och mätdata. Försvarets Forskningsanstalt. FOA Rapport. C 20807-2.7
31. **Höglund**, H. (1971). Elströmsförsöken vid Västervik. Meddelande från Havsfiskelaboratoriet nr 105, Lysekil.
32. **de Jong**, J. & Ahlén, I. (1991). Factors affecting the distribution pattern of bats in Uppland, central Sweden. *Holarctic Ecology* 14:92-96.
33. **Karlsen**, H. E. (1991a). The inner ear is responsible for detection of infrasound in the

- perch (*Perca fluviatilis*). *J. Exp. Biol.* 171, 163-172.
34. **Karlsen**, H. E. (1991b). Infrasound sensitivity in the plaice (*Pleuronectes platessa*). *J. Exp. Biol.* 171, 173-187.
 35. **Karlsson**, J. (1977). Fågelkollisioner med master och andra byggnadsverk. *Anser* 16: 203-216.
 36. **Karlsson**, J. (1983). Fåglar och vindkraft - resultatrapport 1977-1982. Ekologihuset, Lunds Universitet.
 37. **Karlsson**, J. (1983a). Birds and wind power. (Teknisk rapport Ne/Vind-83/17. Projektnummer: 5061 432 Fågelstudie LU). Ekologihuset. Lunds Universitet.
 38. **Karlsson**, J. (1987). Fåglar och vindkraft. Vindkraftsutredningens betänkande SOU1988:32. (Kompletterande resultatredovisning).
 39. **Karlsson**, J. (1988). Kollisioner mellan nattsträckande fåglar och landbaserade vindkraftverk. Undersökningar vid Maglarp och på Näsudden, Hösten 1987. Ekologiska institutionen, Lunds Universitet, 1988.
 40. **Kemper**, C. A. (1964). A tower for TV - 30 000 dead birds. *Audubon Magazine*. 66, 86-90.
 41. **Knudsen**, F. R., Enger, P. S. & Sand, O. (1992). Awareness reaction and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Biol.* 40, 523-534.
 42. **Lagardère**, J. P., Bégout, M. L., Lafaye, J. Y. & Villotte, J. P. (1994). Influence of wind-produced noise on orientation in the sole (*Solea solea*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 51/1994.
 43. **Lohmann**, K. J. (1985). Geomagnetic field detection by the Western Atlantic spiny lobster, *Panulirus argus*. *Mar. Behav. Physiol.* 12(1), 1-17.
 44. **Lohmann**, K. J. & Willows, A. O. D. (1987). Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusc. *Science* 235, 331-334.
 45. **Ljunggren**, S. (1998). Mätning av bullerimmission från vindkraftverk. Energikontoret Förlagsservice. Rapportnr 98:24.
 46. **Ljunggren**, S. (1999). Buller kring vindkraftverk-en lägesrapport. *Bygg & Teknik* nr3/99.
 47. **Moore**, P. G. (1977). Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 15, 225-363.
 48. **Muster**, G. J. M., Van Zuylen, G. J. C. & Ter Keurs, W. J. (1991). Vogles en windmollens bij de kreekraksuizaen. Vakgroep Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden. Germany.
 49. **Møller**, N. W. & Poulsen, E. (1984). Vindmøller og fugle. Vildtbiologisk Station Kalø, Rønne, Danmark.

50. **Orloff**, S. G. & Flannery, A. (1992). Wind turbine effects on avian activity, habitat use and mortality in Alamont Pass and Solano County wind resource areas 1989-91. California Energy Commission, final report from Biosystems Analysis, March 1992.
51. **Ornis Consult A/S**. (1989). Konsekvenser for fuglelivet ved etableren af mindre vindmøller. (Rapport). Teknologistyrelsen, København. Danmark.
52. **Pedersen**, M. B. & Poulsen, E. (1991). En 90 m/2 MW vindmølles indvirkning på fuglelivet. Dansk Vildtundersøgelser 47. Danmarks Miljøundersøgelser.
53. **Percival**, S & Percival, T. (1998). Breeding waders at the Nasudden wind farm, Gotland, Sweden. Report to National Wind Power Ltd.
54. **Pettersson**, J. & Lindell, L. (1998). Ejdersträcket i södra Kalmarsund våren 1998. På uppdrag av Vindkompaniet AB.
55. **Pettersson**, J. & Lindell, L. (1999). Ejdersträcket i södra Kalmarsund våren 1999. På uppdrag av Vindkompaniet AB.
56. **Poléo**, B. S. A. & Harboe, M. (1995). Virkninger av likstrøms (HVDC) sjøkabler og elektrodeanlegg på marint liv. Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo.
57. **Popper**, A. N. & **Carlson**, T. J. (1998). Application of sound and other stimuli to control fish behavior. Transactions of the american fisheries society. Vol. 127. Nr. 5/1998.
58. **Rommel**, S. A. & McCleave, J. D. (1973). Sensitivity of american eels (*Anguilla rostrata*) and atlantic salmon (*Salmo salar*) to weak electric and magnetic fields. J. Fish. Res. Board. Can. 30, 657-663.
59. **Rosenthal**, H. (1971). Helgoländer wiss. Meeresunters. 22, 366-376.
60. **Sand**, O. & Karlsen, H. E. (1986). Detection of infrasound by Atlantic cod. J. Exp. Biol. 125, 197-204.
61. **Scott**, R. E., Roberts, L. J. & Cadbury, C. J. (1972). Bird deaths from power lines at Dungeness. Brit. Birds. 65, 273-286.
62. **SEO** (Spanish Ornithological Society). (1995). Effects of wind turbine power plants on the avifauna in the Campo de Gibraltar region. Summary of final report resented to the Environmental Agency in Spain on 7 July 1995.
63. **Snyder**, G. (1976). Effects of dredging on Aquatic Organisms with special application to areas adjacent to the northeastern Pacific Ocean. Mar. Fish. Rev. 34-38.
64. **Soldal**, A. V., Humborstad, O-B., Løkkeborg, S., Svellingen, I. & Jørgensen, T. (1999). Etterlatte oljeplattformer som kunstige fiskerev. Havforskningsinstituttet. Fisken og havet. Nr. 1-1999.
65. **Still**, D., Little, B., Lawrence, S. G. & Carver, H. (1994). The birds of Blyth harbour. Consultancy report. Fåglarna i Blyth hamn. Svensk översättning.
66. **Støttrup**, J. G. & Stokholm, H. (1997). Kunstige rev - review om formål, anvendelse og

potentiale i danska farvande. Danmarks Fiskeriundersøgelser. DFU-Rapport nr. 42.

67. **Sundberg, J.** & Söderman, M. (1999). *Anceps Ekologidata*. Department of Animal Ecology. Uppsala University.
68. **van Swelm, N.** (1988). *Vogels en de multi-windturbine op de Maasvlakte (1987)*. (report) Provincie Zuid-Holland. Nederland.
69. **Taylor, W. K.** & Andersson, B. H. (1973). Nocturnal migrants killed at a Central Florida TV tower; autumns 1969-1971. *Wilson Bull.* 85, 42-51.
70. **Tucker, V. A.** (1996). A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *Journal of Solar Energy Engineering*. Vol. 118.
71. **Tucker, V. A.** (1996). Using a collision model to design safer wind turbine rotors for birds. *Journal of Solar Energy Engineering*. Vol. 118.
72. **Tulp, I.**, Schekkerman, H., Larsen, J. K., van der Winden, J., van de Haterd, R. J. W., van Horssen, P., Dirksen, S. & Spaans, A. L. (1999). Nocturnal flight activity of sea ducks near the windfarm Tunø Knob in the Kattegat. *Novem* (Netherlands Organisation for Energy and Environment), Utrecht, The Netherlands.
73. **Wahlberg, M.** (1999). A review of the literature on acoustic herding and attraction of fish. *Fiskeriverket Rapport*. Nr. 1999:8.
74. **Wallentinus, H-G.** (2000). Vägars effekter på fågelliv och klövvilt - miljökonsekvenser av byggandet och användningar av E3/E18 i Vallentuna kommun. Institutionen för landskapsplanering, Ultuna. *Samhälls- och landskapsplanering nr 8*. Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU.
75. **Westerberg, H.** (1977). Ultraljudsteleometri. *Inf. Sötvattenslab. Drottningholm*. Nr. 15.
76. **Westerberg, H.** (1982). Ultrasonic tracking of atlantic salmon (*Salmo salar L.*) - I. Movements in coastal regions. Report, Institute of freshwater research. Drottningholm. Nr. 60, 81-101.
77. **Westerberg, H.** (1994). Fiskeriundersökningar vid havsbaserat vindkraftverk 1990-1993. Fiskeriverket. Utredningskontoret Jönköping. Rapport 5 - 1994.
78. **Westerberg, H.** (1995). Undervattensbuller och fisk. *TemaNord* 1995:513.
79. **Westerberg, H.** (1997). Havsbaserat vindkraftverk vid Nordersund: Effekter på blankålsfisket. PM 970404. Fiskeriverkets Kustlaboratorium. Dnr 331-2479-96.
80. **Westerberg, H.** (1999). Opublicerad. Impact studies of sea-based windpower in Sweden. Föredrag från: Technische Eingriffe in marine Lebensräume. Bundesamt für Naturschutz. Internationale Naturschutzakademie. Insel Vilm. 27-29.10.1999.
81. **Westerberg, H.** (1999). In press. Effect of HVDC cables on eel orientation. Proceedings in Third Conference on Fish Telemetry in Europe. 20-25 June 1999, Norwich.
82. **Westerberg, H.** & Begout-Anras, M-L. (1999). Orientation of silver eel (*Anguilla*

anguilla) in a disturbed geomagnetic field. Proceedings 3:rd Conference on Fish Telemetry in Europé. Norwich. 20-25-06-1999.

83. **Westerberg**, H., Rönnbäck, P. & Frimansson, H. (1996). Effects of suspended sediments on cod egg and larvae and on the behaviour of adult herring and cod. ICES. CM 1996/E:26.
84. **Wiltshko**, R. & Wiltshko, W. (1995). Magnetic orientation in animals. Zoophysiology. Nr. 33. Springer.
85. **Winkelman**, J. E. (X). Thermal and passive imaging of nocturnal bird movements and behaviour near obstacles.
86. **Winkelman**, J. E. (1989). Vogels an het windpark nabij Urk (NOP): aanvarings-slachtoffers en verstoring van pleistrende eendern, ganzen en zwanen. (RIN-report 89/15). Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Arnhem.
87. **Winkelman**, J. E. (1992a). The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1:collisionvictims. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. RIN-Rapport 92/2.
88. **Winkelman**, J. E. (1992b). The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 2: nocturnal collision risks. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. RIN-Rapport 92/3.
89. **Winkelman**, J. E. (1992c). The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 3: flight behaviour during daylight. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. RIN-Rapport 92/4.
90. **Winkelman**, J. E. (1992d). The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 4: disturbance. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. RIN-Rapport 92/5.

13.2 Ämnesrelevanta referenser

Följande referenser är ej använda som referensmaterial i denna rapport. Artiklarna behandlar i stor utsträckning ämnesrelevanta områden, men har uteslutits på någon av följande anledningar: Artikeln baseras på en annan artikel (refererad) och tillför ingen ytterligare information, studien är utförd under förutsättningar som ej kan anses som representativt, artikeln innehåller allmän information och historik eller att artikeln inte tillför någon ytterligare information till redan refererade artiklar. Som ämnesrelevanta artiklar och möjligt underlagsmaterial listas de dock nedan.

1. Alerstam, T. (1977). Fågelsträckets höjd. *Anser* 16(1977). 189-202.
2. Alerstam, T. & Karlsson, J. Fåglarnas flyghöjder och fågelkollisioner med byggnadsverk - En utredning för bedömning av risken för fågelkollisioner med vindkraftverk. Zoologiska institutionen, Ekologihuset, Lunds Universitet.
3. Anonym. (1989). Fourth International Conference on Artificial Habitats for Fisheries (2-6 Nov. 1987. Miami. Florida.). *Bulletin of Marine Science*. Vol. 44. Nr. 2/1989.
4. Anonym. (1994). Fifth International Conference on Aquatic Habitat Enhancement (3-7 Nov. 1991. Long Beach. California.). *Bulletin of Marine Science*. Vol. 55. Nr. 2-3/1994. Avery, M. L., Springer, P. F. & Dailey, N. S. (1980). Avian mortality at man-made structures: an annotated bibliography (revised). Rapport FWS/OBS-8054. U. S. Fish and Wildlife Service. Michigan. 152 pp.
5. Born, E. W., Riget, F. F., Dietz, R & Andriashek, D. (1999). Escape responses of hauled out ringed seals (*Phoca hispida*) to aircraft disturbance. *Polar Biol*. 21. 171-178
6. Carlman, I. (1990). Blåsningen-Svensk vindkraft 1973 till 1990. Avhandling vid Uppsala Universitet, Geografiska regionstudier Nr 23, utgiven av Kulturgeografiska Institutionen, Uppsala Universitet.
7. Dirksen, S., Spaans, A. L. & van der Winden, J. (1996). Nachtelijke trek en vlieghoogtes van steltlopers in het voorjaar over de noordelijke havendam van IJmuiden. (Nocturnal migration and flight altitudes of waders at the IJmuiden northern breakwater during spring migration. *Sula* 10(4):129-142.
8. Gipe, P. (1995). Wind energy comes of age. Wiley. New York. 536 pp.
9. Guillemette, M., Larsen, J. K. & Clausager, I. (1998). Impact assessment of an off-shore wind park on sea ducks. NERI Technical Report No. 227, Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute, 1998.
10. Karlsson, J. (1977). Fågelkollisioner med master och andra byggnadsverk (Bird collisions with towers and other man-made constructions). *Anser* 16(1977). 203-216
11. Karlsson, J. (1983). Ekologiska effekter av havsbaserade vindkraftaggregat - fåglar. Ekologihuset, Lunds Universitet.
12. Karlsson, J. (1987). Fåglar och vindkraft - Kompletterande resultatredovisning.

Ekologihuset, Lunds Universitet.

13. Kruckenberg, H. & Jaene, J. (1999). Zum Einfluss eines Windparks auf die Verteilung weidender Bläßgänse im Rheiderland (Landkreis Leer, Niedersachsen), The effect of a group of wind turbines on a staging area of white-fronted geese (*Anser albifrons*). *Natur und Landschaft*, 74, Heft 10, 1999.
14. Larsson, A-K. (2000). Försöksanläggning för havsbaserad vindkraft i Nordersund. Slutrapport. Elforsk rapport 00:07.
15. Ljunggren, S. (1998). Nytt IEA-dokument för mätning av bullerimmission omkring vindkraftverk. *Svenska Ljudbladet* nr1/98.
16. Nilsson, L. (1998). Vindkraftverk på Lillgrund, S Öresund i relation till fågelfauna - En miljökonsekvensbeskrivning. Ekologiska Institutionen, Ekologihuset, Lunds Universitet.
17. Pedersen, M. B. & Poulsen, E. (1991). En 90 m/2 MW vindmølles indvirkning på fuglelivet. Fugles reaktioner på opførelsen og idriftsættelsen af Tjæreborgmøllen ved Det Danske Vadehav. *Danske Vildtundersøgelser*, Hæfte 47, Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, 1991.
18. Rönnbäck, P. & Westerberg, H. (1996). Sedimenteffekter på pelagiska fiskägg och gulesäckslarver. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet.
19. Westerberg, H., Frimansson, H & Rönnbäck, P. (1996). Bestämning av reaktionströskeln hos torsk och sill vid grumling av kalk och lersediment. Arbetsrapport 960625, Fiskeriverket, Kustlaboratoriet.
20. *Windpower monthly*, Dansk tidsskrift.
21. Winkelman, J. E. (1985). Vogelhinder door middelgrote windturbines - over vlieggedrag, slachtoffers en verstorning. (Bird impact by middle-sized wind turbines - on flight behaviour, victims and distance). *Limosa* 58. 117-121.

RAPPORT 5139

Vindkraft till havs

en litteraturstudie av påverkan på djur och växter

målet att bygga ut vindkraften i Sverige måste kombineras med målet att värna om den biologiska mångfalden. Den här rapporten visar på kunskap som kan användas idag vid planering för lokalisering av nya vindkraftverk men också på kunskapsluckor som måste beaktas vid framtida utbyggnad av vindkraften.

isbn 91-620-5139-3
issn 0282-7298

NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG