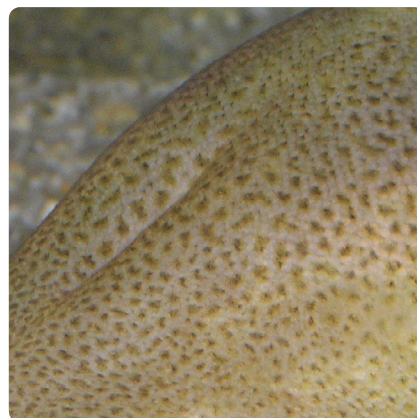
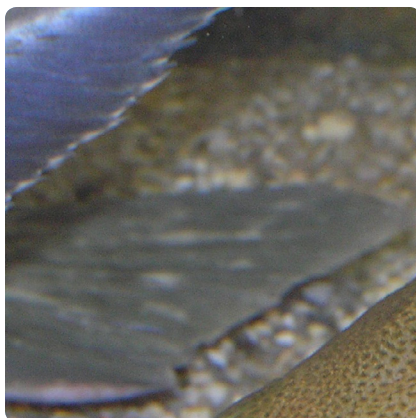
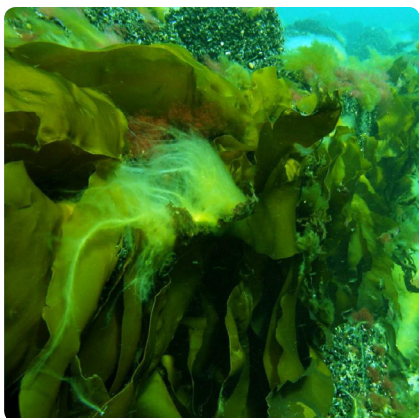


Effekter av en havsbaserad vindkraftpark på fördelningen av bottennära fisk

En studie vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund

RAPPORT 6485 • JANUARI 2012



Effekter av en havsbaserad vindkraftpark på fördelningen av bottennära fisk

En studie vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund

Lena Bergström, Frida Sundqvist, Ulf Bergström

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

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

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00, fax: 010-698 10 99

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-6485-3

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2012

Elektronisk publikation

Omslagsfoto: Mathias Andersson och Ulf Bergström



Förord

Behovet av kunskap om hur vindkraft påverkar människor och landskap, marin miljö, fåglar, fladdermöss och andra däggdjur är stort. I tidigare studier av vindkraftsanläggningars miljöpåverkan har det saknats en helhetsbild av de samlade effekterna. Det har varit en brist vid planeringen av nya vindkraftsetableringar.

Kunskapsprogrammet Vindval är ett samarbetsprogram mellan Energimyndigheten och Naturvårdsverket med uppgiften att ta fram och sprida vetenskapligt baserade fakta om vindkraftens effekter på människa, natur och miljö. Vindvals mandat sträcker sig fram till 2012.

Programmet omfattar omkring 30 enskilda projekt och fyra så kallade syntesarbeten. I syntesarbetena sammanställer och bedömer experter de samlade forskningsresultaten och erfarenheterna av vindkraftens effekter inom fyra olika områden - människor, fåglar och fladdermöss, marint liv och däggdjur. Resultaten från Vindvals forskningsprojekt och syntesarbeten ska ge underlag för miljökonsekvensbeskrivningar och planerings- och tillståndprocesser i samband med etablering av vindkraftsanläggningar.

För att säkra hög kvalitet på redovisade rapporter ställer Vindval höga krav vid granskning av och beslut om forskningsansökningar, och för att godkänna rapportering och publicering av forskningsprojektens resultat.

Den här rapporten har skrivits av Lena Bergström, Frida Sundqvist och Ulf Bergström vid Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser. Skribenterna svarar för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Vindval i december 2011

Sammanfattning

Den här studien baserar sig på fältundersökningar utförda vid Lillgrund vindkraftpark i Öresund och syftar till att klargöra hur anläggningen kan ha påverkat förekomsten av bottennära fisk, det vill säga fisk som lever på eller nära havsbotten. Studien är framförallt fokuserad på effekter i närområdet för enskilda vindkraftverk.

Hos flera av fiskarterna noterades en högre förekomst i närområdet för vindkraftverken i jämförelse med på längre avstånd. Effekten syntes från och med det första året av drift och var av likartad omfattning under samtliga tre studerade år. En aggregation nära vindkraftverken noterades hos tånglake, ål, torsk, stensnultra och rötsimpa. Effekten noterades inte hos oxsimpa och skrubbskädda, som också var relativt vanliga i provfisket. Hos strandkrabba noterades en förändrad fördelning, som var olika mellan år. Under de två första åren noterades en lägre förekomst av strandkrabba nära vindkraftverken men under det sista året noterades en aggregation.

De observerade effekterna berodde sannolikt på en omfördelning av fisk inom vindkraftparksområdet, snarare än på en ökad produktivitet eller en ansamling av fisk från ett större område. Provfisken inom denna studie och inom kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark visar sammantaget att den totala mängden fisk inte ökade i vindkraftparken inom den studerade treårsperioden, och att mängden fisk i området inte heller var högre än före anläggningen, i relation till utvecklingen i referensområden. Mängden fisk hade dock inte heller minskat.

Avståndsintervallet inom vilket en ökad förekomst av fisk kunde observeras skattades till mellan 0-50 och 0-160 meter från vindkraftverket, beroende på art. Hos vissa arter sågs därtill en minskad täthet av fisk på längre avstånd från kraftverken, vilket skulle kunna återspegla att fisken attraherades därför till närområdet för vindkraftverket.

Vindkraftverkens fundament på Lillgrund är omgivna av erosionsskydd. Dessa strukturer erbjuder en omväxlande livsmiljö där det sannolikt finns goda möjligheter för fisk att söka skydd och hitta föda. Det relativt starka samband som noterades mellan mängden fisk och avstånd till vindkraftverk för ett flertal fiskarter antyder att vindkraftverken i första hand attraherar fisk, och att eventuella negativa effekter på fiskens förekomst, orsakad till exempel av elektromagnetiska fält eller yttre ljudmiljö, sannolikt har en i sammanhanget underordnad betydelse.

Summary

Field studies were conducted at the Lillgrund offshore wind farm in Öresund, Sweden, in order to investigate effects of the wind farm on the occurrence of benthic fish. The study was focused on distribution effects in the vicinity of the turbines.

An increased abundance of fish near the turbines was observed in all three years of study (year 1-3 of operation). At species level, an aggregation effect was observed for eelpout (*Zoarces viviparus*), eel (*Anguilla anguilla*), cod (*Gadus morhua*), goldsinny wrasse (*Ctenolabrus rupestris*) and short-horn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*). A similar effect was not observed in longspined bullhead (*Taurulus bubalis*), flounder (*Platichthys flesus*) or black goby (*Gobius niger*), which were also relatively abundant. The observed distribution pattern of shore crab (*Carcinus maenas*) indicated avoidance of the turbines in the first two years, and an aggregation in the third year of study.

The observations probably reflected a changed distribution pattern of fish within the wind farm area, rather than an increased productivity. No general increase in the abundance of benthic fish was observed in the wind farm area over the years of study. This is in accordance with results from the wind farm surveillance program, which was conducted in the wind farm area and two reference areas during the same time period, and also during three years prior to construction. However, the abundance of fish had not decreased either.

The distance interval within which aggregation effects were observed was estimated to be between 0-50 and 0-160 meters from the turbines, depending on species. Additionally, for some species, a decreased abundance of fish was observed at further distance from the turbines, further indicating a redistribution of fish from nearby areas.

The aggregation of fish by the turbines was probably enhanced by the presence of scour protection, which provided a locally increased habitat complexity and thereby good conditions of prey availability and shelter. The results indicated that the main effect of wind turbines on fish was to attract them (by a so called reef effect), and that potential deterring effects, due to for example electromagnetic fields and underwater noise, were of relatively less importance.

Innehåll

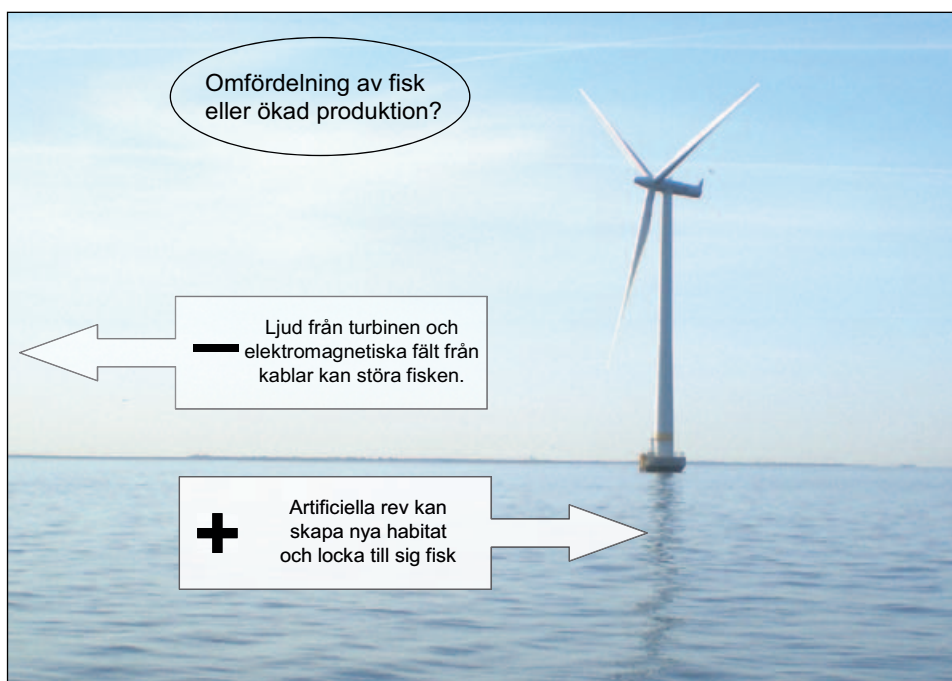
FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
1. INLEDNING	7
1.1 Fisksamhället i Öresund	8
1.2 Vindkraftparken	9
1.3 Studiens samband med Vindkraftparkens kontrollprogram	10
2. METODIK	11
2.1 Positioner och tidpunkt för provfiske	11
2.2 Metodik vid provfisket	14
2.3 Statistiska analyser	14
2.3.1 Utvärdering av fördelningseffekt	14
2.3.2 Skattning av effektavstånd	15
3. RESULTAT	16
3.1 Artsammansättning	16
3.1.1 Jämförelse vår – höst	18
3.2 Effekter på fiskens fördelning inom vindkraftparken	19
3.2.1 Enskilda arter	19
3.2.2 Totalt antal individer av fisk	21
3.2.3 Strandkrabba	22
3.3 Skattning av effektavstånd	23
4. DISKUSSION	24
TACKORD	26
REFERENSER	27
APPENDIX 1. ARTLISTA OCH STATIONER FÖR KONTROLLPROGRAMMETS PROVFISKEN	29
APPENDIX 2. MER DETALJERADE RESULTAT FRÅN ANALYSERNA AV FÖRDELNINGSEFFEKT	32
APPENDIX 3. MER DETALJERADE RESULTAT FRÅN ANALYSERNA AV EFFEKTAVSTÅND	35

1. Inledning

Den här studien baserar sig på fältundersökningar utförda vid Lillgrund vindkraftpark i Öresund och syftar till att klargöra hur anläggningen kan ha påverkat förekomsten av bottennära fisk, det vill säga fisk som lever på eller nära havsbotten. Studien är framförallt fokuserad på effekter i närområdet för enskilda vindkraftverk.

Man har i tidigare sammanhang sett att fisk gärna attraheras till artificiella strukturer i havet, både till konstruktioner som särskilt designats för att attrahera fisk (Wilhelmsson m fl 1998, Claudet och Pelletier 2004, Seaman 2007, Egriell m fl 2007) som till strukturer som i första hand placerats i vattnet för andra ändamål, så som oljeplattformer, vågbrytare, bryggpålar och pontoner (se Wilhelmsson m fl 2010 för referenser). En ansamlingseffekt av fisk har även observerats vid dykinventeringar nära vindkraftverk med erosionsskydd (Wilhelmsson m fl 2006, Maar m fl 2009, Hammar m fl 2008). Å andra sidan finns det en farhåga att en vindkraftsanläggning under drift påverkar fisk negativt genom att sprida undervattensljud från turbinerna (Nedwell m fl 2003, Nedwell och Howell 2004, Wahlberg och Westerberg 2005, Thomsen m fl 2006), och elektromagnetiska fält från elkablar på havsbotten (CMACS 2003, Öhman m fl 2007). Dessa faktorer skulle potentiellt kunna minska det bebyggda områdets kvalitet som livsmiljö för fisken och leda till att tätheten av fisk inom närområdet för påverkan minskar. Fiskens fördelning inom vindkraftparken kan därför förväntas styras dels av en attraktion till den fysiska strukturen (en så kallad reveffekt), dels av ett undvikande till följd av buller eller elektromagnetism (Figur 1). I hårt fiskade områden kan mängden fisk även potentiellt påverkas positivt av ett minskat fisketryck, om fiske inom området för vindkraftparken utesluts, till exempel med hänvisning till risken för att skada elkablarna.

En skattning av riskerna för – och omfattningen av effekterna på havsmiljön för olika påverkansfaktorer relaterade till havsbaserad vindkraft – har sammanfattats i en omfattande litteraturstudie av Wilhelmsson m fl (2010), som dock konstaterar att erfarenhetsbaserade studier från vindkraftverk i drift fortfarande är få. När vindkraftparken är i drift kan fördelningen av fisk förväntas återspegla den sammanlagda effekten av olika påverkansfaktorer. Syftet med denna studie har varit att se om det finns ett samband mellan mängden fisk vid en provtagningspunkt och närheten till enskilda vindkraftverk, och om detta samband i första hand är negativt (undvikande) eller positivt (attraktion). När anläggningen är ny är det mest sannolikt att eventuella fördelningseffekter som observeras beror på förändringar i fiskens beteende, men på längre sikt är även kvantitativa effekter tänkbara genom att produktiviteten i fiskbestånden påverkas. De provfisken som ingår i denna studie är utförda under 2008-2010, vilket motsvarar de tre första åren av drift, och kan anses vara ett relativt kort tidsintervall efter anläggning.



Figur 1. Vindkraftverkets fundament bildar en fysisk struktur under vattnet som potentiellt kan attrahera fisk genom att erbjuda skydd eller en ökad tillgång på föda. Å andra sidan påverkar vindkraftverket närmiljön genom ökat undervattensljud under driften och genom elektromagnetiska fält från strömförande kablar, vilket potentiellt kan avskräcka fisk från området.

1.1 Fisksamhället i Öresund

Lillgrund vindkraftpark ligger i Öresund (Figur 2) där vatten från de mer marina förhållandena i Kattegatt möter brackvatten från Östersjön. Ett relativt stort antal marina arter har därför sin utbredningsgräns i Öresund, och förekommer inte i de lägre salthalterna längre söderut. Flertalet av de fiskarter som ingår i studien förekommer dock även i Östersjön.

Totalt har över etthundra olika fiskarter noterats i Öresund, mer eller mindre frekvent (Angantyr m fl 2007). De flesta arterna i området är bottennära, det vill säga de lever på eller nära havsbotten. I Öresund finns stora grundområden med ålgräsängar som är viktiga uppväxtområden för bland annat torsk, ål och flera arter av plattfisk (Angantyr m fl 2007, Carlsson m fl 2006). Bland plattfiskarna hör skrubbskädda och rödspätta till de vanligaste förekommande arterna men även sandskädda och äkta tunga är vanliga (Fiskeriverket 2010).

Öresunds vattenmiljö är relativt variabel jämfört med många andra havsområden. På grund av de skillnader i salthalt som förekommer mellan vattenmassorna i norr och söder, är salthalten i området relaterad till rådande strömförhållanden. Det låga vattendjupet i Öresund gör att vattenströmmarna ofta är starka. Dessa strömmar ökar till viss del näringsflödet i området och ökar därmed den potentiella produktiviteten. Trålfiske är förbjudet i Öresund, vilket också gynnar de lokala fiskbestånden, dels direkt, dels genom att botten och organismerna som lever där lämnas orörda (se Dieckmann m fl 2010, Angantyr m fl 2007).

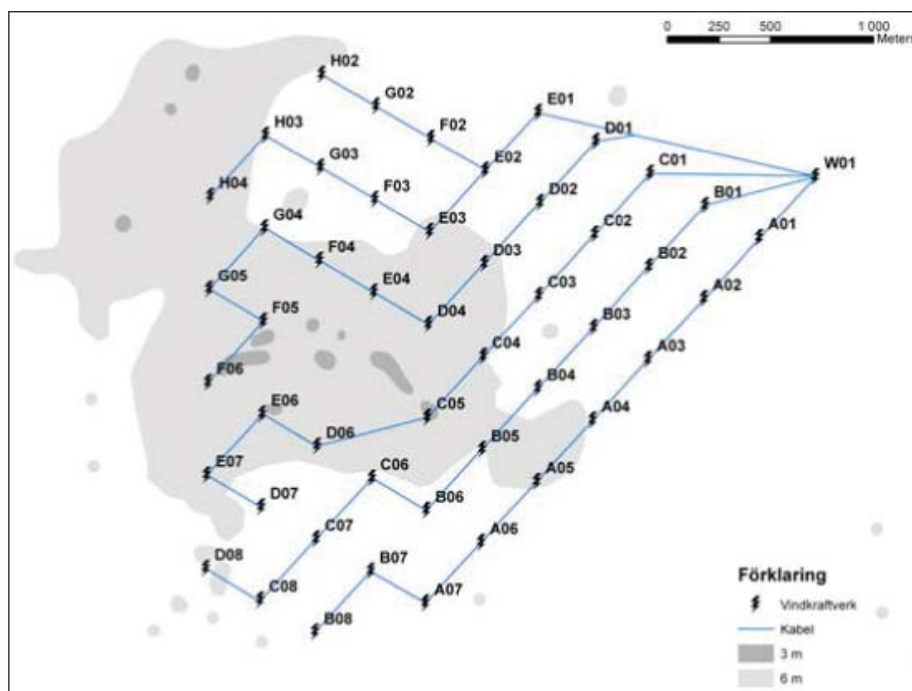


Figur 2. Lillgrund vindkraftpark i Öresund

1.2 Vindkraftparken

Lillgrund vindkraftpark togs i drift år 2007. Vindkraftparken består av 48 turbiner, med en maximal effekt på 110 MW (2,3 MW per turbin). Den totala produktionen av el i vindkraftparken har varit 0,33 TWh per år, vilket motsvarar hushållsel till 60 000 hem (Vattenfall 2011). Vindkraftparken ägs av Vattenfall.

Vindkraftverken är belägna cirka 7 kilometer sydost om Öresundsbron på omkring 4-10 meters djup, i huvudsak på sandbotten. Ålgräsängar förekommer ställvis och lösdrivande vegetation är relativt vanlig i området. Turbinerna har gravitationsfundament omgivna av erosionskydd i form av sprängsten, vilket sannolikt ökar möjligheten till skydd och födosök för marina organismer i närheten (Wilhelmsson m fl 2010, Hammar m fl 2008). Den omgivande ljudmiljön i Öresund är relativt stark, framför allt på grund av en kraftig fartygstrafik, vilket medför att ljudet från vindkraftparken periodvis men frekvent maskeras av ljud från omgivningen (Andersson m fl 2011). Turbinerna är förbundna med elkablar som leder växelström 36 kV till en transformatorplattform och därefter vidare till en exportkabel. De interna kablarna har en dimension på 95-240 mm², så att de kablar som ligger närmare transformatorplattformen har en större dimension (Unosson 2009). Elkabelnätet på havsbotten täcker därmed hela anläggningsområdet, men till en liten total yta (Figur 3). Vindkraftparken innebar även att fiske med trål eller fasta redskap inte är tillåtet i området. Förändringen var dock relativt liten i jämförelse med tidigare förhållanden, eftersom trålning inte är tillåtet i någon del av Öresund.



Figur 3. Schematisk bild av elkabelnätet vid Lillgrund, baserat på Unosson (2009). I figuren visas även tornens positioner (med namn A01-H04) och transformatorstationen (W01) uppe till höger.

1.3 Studiens samband med Vindkraftparkens kontrollprogram

Resultaten i den här rapporten baserar sig delvis på data från provfisken utförda inom kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark. Inom kontrollprogrammet utfördes provfisken med ryssjor som baslinjestudier åren 2002-2005 och därefter under tre år efter anläggningen, 2008-2010¹. Resultat från de provfisken som utfördes inom Vindval har kombinerats med resultat från kontrollprogrammet för åren 2008-2010, för att kunna nyttja ett geografiskt mer heltäckande material vid analyserna. De övriga resultaten från vindkraftparkens kontrollprogram rapporteras endast i sammanfattad version här, och i sin helhet i kontrollprogrammets slutrapport (Bergström m fl under bearbetning).

¹ I samband med regeringsbeslutet om tillstånd till uppförande av vindkraftparken på Lillgrund angavs att ett kontrollprogram skulle utföras för att följa upp inverkan på marint liv. Kontrollprogrammet omfattar flera biologiska aspekter, där effekter på fisk utgör en del (Davy 2009). Biologiska undersökningar av fisk har utförts för att studera effekter på pelagisk fisk genom ekolodning, effekter på vandringsmönster hos ål genom akustisk telemetri, samt effekter på bottennära fisk genom provfisken med ryssjor och nätlänkar.

2. Metodik

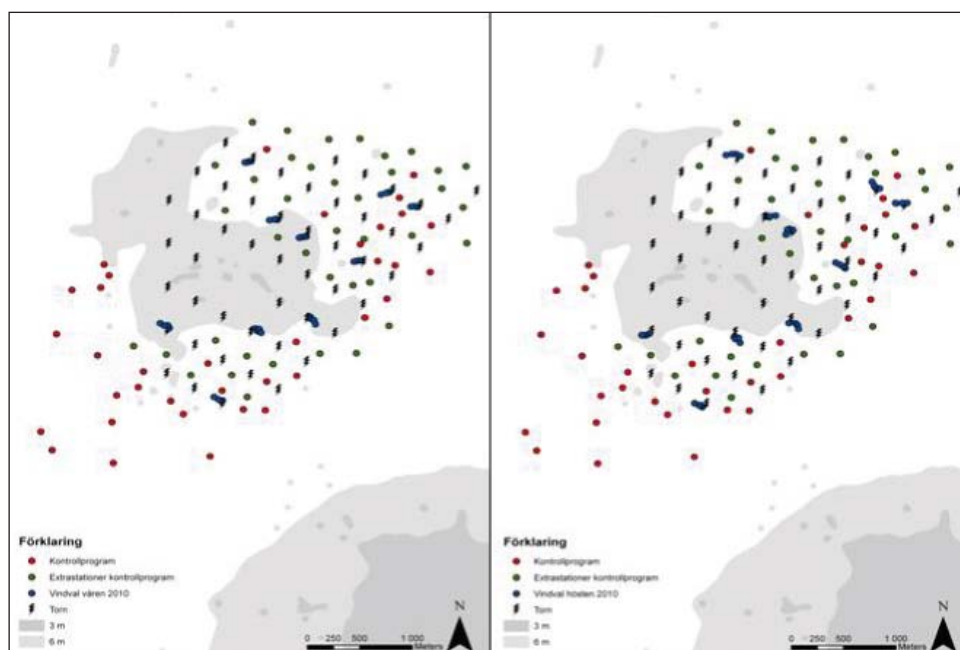
2.1 Positioner och tidpunkt för provfiske

Provfisken med ryssjor utfördes under de tre första åren av drift, 2008-2010. Inom ramen för Vindval provfiskades 40 stationer per år. Stationerna positionerades vid 10 olika vindkraftverk, som valdes ut genom slumpning inför det första fisketillfället. I urvalet ingick dock inte vindkraftverk belägna nära områden med djup grundare än tre meter enligt sjökortet, eftersom detta kunde innebära risk för grundstötning för det fartyg som användes (Figur 4). Vid varje vindkraftverk lades fyra stationer ut i en transekt i en på förhand angiven, slumpmässigt vald riktning, så att det närmaste avståndet var så nära fundamenten som det var praktiskt möjligt att placera ryssjorna utan att lägga dem på erosionskyddet, och det längsta avståndet var högst 150 meter. I praktiken var även rådande strömförhållanden avgörande för hur exakt det var möjligt att positionera ryssjorna inom respektive transekt. Därför varierade de faktiska positionerna något mellan år. Fisket utfördes vid samma uppsättning av vindkraftverk varje år, förutom vid ett tillfälle våren 2009 då fiske inte utfördes vid torn D03 utan vid torn D04, på grund av en kommunikationsmiss.

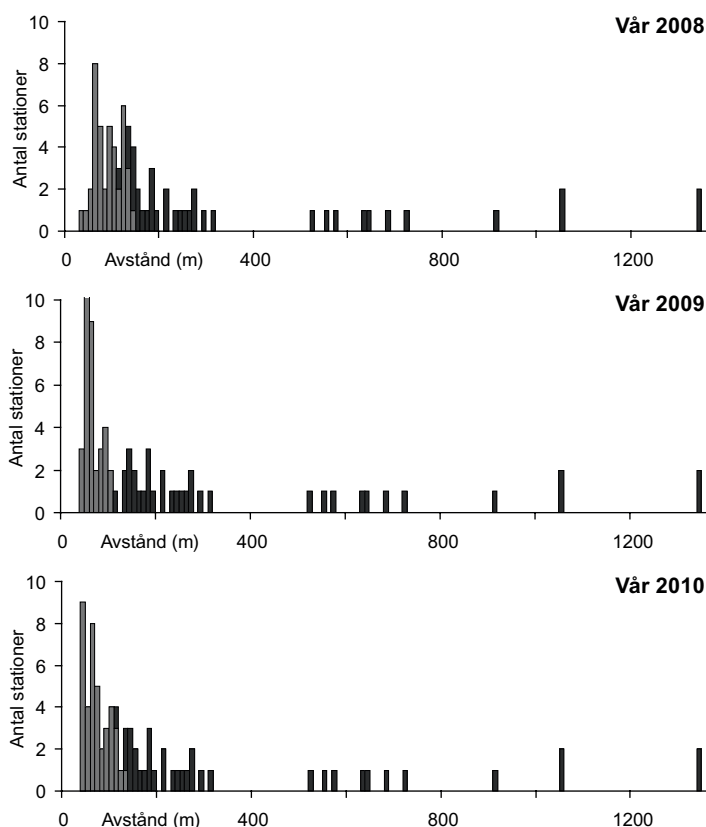
Inom kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark provfiskades under samma period 36 stationer per år. Dessa sattes varje år på samma positioner, definierade genom slumpning i samband med baslinjestudierna (Lagenfelt m fl 2006). År 2010 utökades kontrollprogrammet med ytterligare 40 stationer på Lillgrund, i syfte att förtäta den befintliga provtagningen och därmed stödja studien av fördelningseffekter. Samtidigt modifierades kontrollprogrammet till att omfatta provfisken med ryssjor även under hösten. På det sättet möjliggjordes en jämförelse av mängd fisk och fördelningsmönster under två olika årstider för år 2010 för sammanlagt 116 stationer i maj respektive oktober. Positionen för samtliga stationer i relation till vindkraftparken framgår av figur 4.

De provfiskade stationerna täckte tillsammans ett avståndsintervall på 24 till 1 348 meter från närmaste vindkraftverk. De 76 stationer som provfiskades samtliga år 2008-2010 användes för att analysera eventuella fördelningsmönster hos fisken och eventuella skillnader i respons mellan olika år (Figur 5). Det utökade materialet om 116 stationer för år 2010 användes för att därtill försöka skatta ett effektavstånd, och för att analysera eventuella skillnader i respons mellan två årstider (Figur 6).

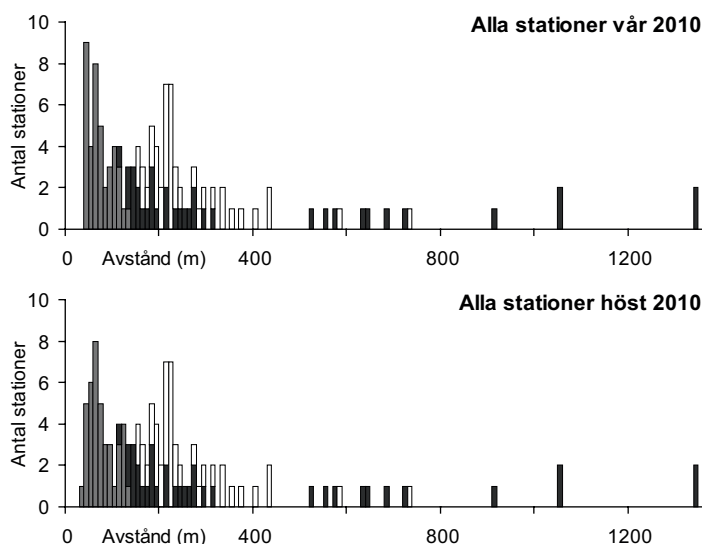
Samtliga fisken under våren utfördes inom en sammanhängande period på två veckor i mitten av maj månad varje år (2008-2010), vid en botten temperatur på mellan 8,1 och 17,1 grader (10,5-13,1 år 2008; 9,2-17,1 år 2009 och 8,1-11,0 år 2010). Fisket under hösten 2010 utfördes inom en sammanhängande period på två veckor i slutet av oktober månad, vid en botten temperatur på mellan 11,2 och 14,2 grader.



Figur 4. Stationer för provfiske. Provfisken utfördes i närområdet för vindkraftverken i transekter om 4 stationer vid varje vindkraftverk, vid totalt 10 vindkraftverk per år. Blå punkter anger de realiserade positionerna för transektstudien under vår respektive höst 2010. Övriga punkter anger stationer inom kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark. Röda punkter fiskades på samma position 2008-2010. Orange punkter anger extrastationer som fiskade endast 2010.



Figur 5. De provfiskade stationernas avstånd till närmast vindkraftverk, sammanställt för de fisken som användes för analysen av fördelningsmönster 2008-2010. Grå staplar motsvarar stationer fiskade inom Vindval. Dessa är något olika mellan år, beroende på hur det var praktiskt möjligt att navigera nära vindkraftverken i relation till rådande vattenströmmar. Svarta staplar motsvarar stationer fiskade inom kontrollprogrammet och är lika mellan år.



Figur 6. De provfiskade stationernas avstånd till närmast vindkraftverk, sammanställt för samtliga stationer som fiskades vår och höst 2010. Denna utökade provtagning användes som bas för skattningen av effektavstånd. Grå staplar motsvarar stationer fiskade inom Vindval. Dessa är något olika mellan vår och höst, beroende på hur det var praktiskt möjligt att navigera nära vindkraftverken i relation till rådande vattenströmmar. Svarta staplar anger ordinarie stationer fiskade inom kontrollprogrammet (samma som i figur 4), och vita staplar extra stationer fiskade inom kontrollprogrammet 2010.

2.2 Metodik vid provfisket

Som redskap vid provfisket användes modifierade småryssjor för ål. Dessa är 55 centimeter höga med halvcirkelformad öppning, strut med tre ingångar och en fem meter lång arm. På varje station lades tre sammanlänkade dubbelryssjor. För varje station och tillfälle registreras individantal och längd med en centimeters noggrannhet för alla arter och kräftdjur, liksom temperaturen vid redskapet. Utöver dessa variabler noteras även temperatur i ytvattnet, salinitet i yt- och bottenvattnet, siktdjup, strömriktning, vindhastighet, vindriktning och lufttryck varje dag och vid varje fiskeområde (Thoresson 1996).

2.3 Statistiska analyser

2.3.1 Utvärdering av fördelningseffekt

I utvärderingen av fördelningseffekt användes data från provfisken utförda i maj månad åren 2008-2010. Totalt inkluderades 228 stationer, fördelat på 76 stationer per år, genom att de 40 stationerna från fältstudierna kombinerades med de 36 stationerna från kontrollprogrammet.

Sambandet mellan antalet fiskar per ryssja och avstånd till närmaste vindkraftverk studerades genom en generell linjär modell (GLM), där avståndet mellan respektive station och närmaste vindkraftverk beräknats på basen av de uppmätta positionerna vid provfisket och uppgifter om vindkraftverkens positioner enligt information från Vattenfall. Modellen baserades på en Poisson-fördelning med log-link funktion. Faktorn ”år” inkluderades som en nominell förklarande variabel, för att inkludera eventuella skillnader i mängden fisk under olika år, och faktorn ”avstånd” log-transformerades för en bättre passning i en linjär modell. Vid utvärderingen av faktorernas bidrag till modellen användes en quasi-GLM korrigerad². För att utvärdera om det observerade utfallet var enhetligt mellan år jämfördes resultatet med en alternativ modell, där även interaktionen mellan år och avstånd inkluderades. Om den alternativa modellen gav en signifikant högre förklaringsgrad än den första modellen, användes den alternativa modellen³.

Analyserna utfördes separat för de vanligaste fiskarterna i provfisket, det vill säga torsk, ål (gulål), oxsimpa, rötsimpa, skrubbskädda, stensnultra, och tånglake. Därtill analyserades förekomsten av strandkrabba och av det totala antalet fiskindivider. För torsk utfördes separata analyser även för två olika storlekskategorier (större och mindre än 37 centimeter).

² Det skattade standardfelet korrigerades med en spridningsparameter (*Dispersion Parameter*) för att bättre beakta datats observerade spridning, eftersom en första omgång av analyserna visade på en så kallad *overdispersion* (Zuur m fl 2007). Modellerna validerades visuellt på basen av diagram över deras *deviance residuals* i relation till de predicerade värdena samt i relation till de förklarande variablerna, för att säkerställa att modellernas antaganden var relevanta. Förekomsten av outliers utvärderades på basen av modellens Leverage-värden (Zuur m fl 2007).

³ Detta utvärderas genom att se om den oförklarade variationen i den alternativa modellen var signifikant lägre än den första modellen, enligt en F-sannolikhetsfördelning och $\alpha = 0,05$ ($df = 1,75$).

2.3.2 Skattning av effektavstånd

I det andra steget av analyser användes data från 2010 utförda i maj och oktober månad. Totalt inkluderades 116 stationer per årstid, genom att de 40 stationerna från fältstudierna kombinerades med de 76 stationerna från kontrollprogrammet.

Målsättningen med analysen var att försöka skatta ett effektavstånd för en eventuell fördelningseffekt. Detta gjordes med hjälp av en generell additiv modell (GAM) baserad på en Poisson-fördelning, där faktorn ”avstånd” inkluderades som en *spline*-funktion⁴. För de arter där faktorn avstånd gav ett signifikant bidrag till modellen identifierades effektavståndet på basen av grafer över estimaten för *spline*-funktionen vid varje värde för faktorn avstånd. Graferna användes för att identifiera avståndsintervall som inklusive konfidensintervall,⁵ avvek från noll, genom att värden större än noll indikerade en relativt högre och värden mindre än noll indikerade en relativt mindre mängd fisk i relation till datamaterialet som helhet (Zuur m fl 2007). Analysen baserades på log-transformerade värden för faktorn ”avstånd”.

Analyserna utfördes separat för varje fiskart som förekommit vid minst 20 procent av stationerna under båda årstider, det vill säga för torsk, ål, tånglake och rötsimpa. Därtill analyserades fördelningen av strandkrabba och av det totala antalet individer av fisk. För torsk utfördes separata analyser för individer större samt mindre än 37 centimeter.

Alla analyser utfördes i R genom användargränssnittet Brodgar 2.6.6 (Highland Statistics Ltd).

⁴ Baserad på programmet *mgcv* och en *thin regression spline*, där det optimala antalet frihetsgrader optimerades genom korsvalidering men tilläts vara högst 3. Faktorns bidrag utvärderades på basen av standardfel korrigerade enligt den observerade spridningen i respektive modell (quasi-GLM).

⁵ Angivet som $2 * \text{det skattade standardfelet}$.

3. Resultat

3.1 Artsammansättning

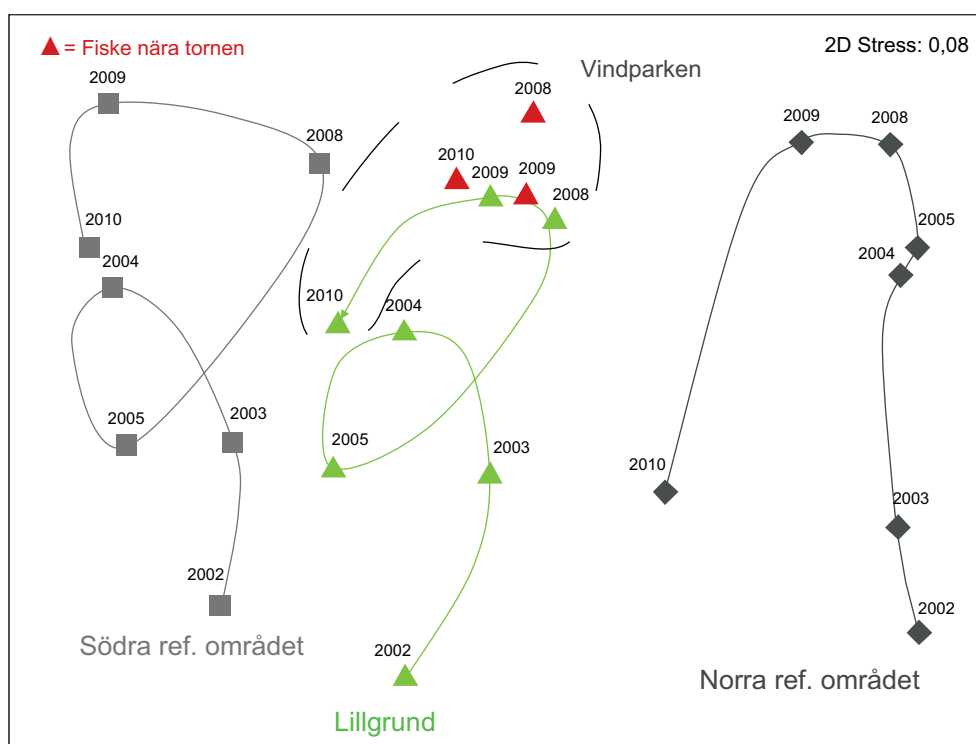
Under de tre åren av provfiske efter anläggningen noterades sammanlagt 22 fiskarter inom vindkraftparksområdet. De till antalet vanligaste fiskarterna var tånglake, torsk, ål samt rötsimpa. Även strandkrabba var vanlig.

Resultaten från provfisken utförda inom Vindval har relaterats till resultat från kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark, där provfisken utfördes såväl före (år 2002-2005) som efter (2008-2010) anläggningen. I jämförelse med åren före anläggning observerades fler arter i området efter att vindkraftparken tagits i drift (Tabell I). Vid jämförelsen bör man dock komma ihåg att antalet stationer som provfiskades var fler åren efter anläggningen, eftersom ett högre antal stationer ökar sannolikheten för att fånga mindre vanliga arter. För en mer balanserad jämförelse har antalet arter i medeltal per station beräknats. I medeltal fångades 2,95 arter per station på Lillgrund före anläggningen av vindkraftparken och 4,31 arter per station efter anläggningen. Inom provfisken utförda inom Vindval, vilka fiskades på ett avstånd om högst 150 m från närmaste vindkraftverk fångades 5,13 arter per station i medeltal (Tabell I).

Tabell I. Fiskarter noterade vid Lillgrund, sammanlagt för åren 2002-2005 (före) respektive 2008-2010 (efter anläggningen av vindkraftparken). KP anger resultat från provfisken inom kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark, VV anger resultat från separata provfisken nära tornen. För en mer utförlig tabell, se appendix 1.

ART		FÖRE			EFTER	
Svenskt namn	Vetenskapligt namn	KP	KP	VV		
Bergvar	<i>Zeugopterus punctatus</i>	X	X	-		
Mindre havsnål	<i>Nerophis ophidion</i>	-	-	X		
Oxsimpa	<i>Taurulus bubalis</i>	X	X	X		
Paddtorsk	<i>Raniceps raninus</i>	-	X	-		
Piggvar	<i>Psetta maxima</i>	X	-	-		
Rödspotta	<i>Pleuronectes platessa</i>	X	X	X		
Rötsimpa	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	X	X	X		
Sandskädda	<i>Pleuronectes limanda</i>	-	X	X		
Sill	<i>Clupea harengus</i>	-	-	X		
Sjurygg	<i>Cyclopterus lumpus</i>	X	X	X		
Skarpsill	<i>Sprattus sprattus</i>	-	X	-		
Skrubbskädda	<i>Platichthys flesus</i>	X	X	X		
Skäggsimpa	<i>Agonus cataphractus</i>	-	X	X		
Skårsnultra	<i>Symphodus melops</i>	-	X	-		
Stensnultra	<i>Ctenolabrus rupestris</i>	X	X	X		
Svart smörbult	<i>Gobius niger</i>	X	X	X		
Tobis (kust-/havs-)	<i>Ammodytes sp.</i>	-	X	X		
Torsk	<i>Gadus morhua</i>	X	X	X		
Tånglake	<i>Zoarces viviparus</i>	X	X	X		
Tångsnälla	<i>Syngnathus typhle</i>	X	-	-		
Tångspigg	<i>Spinachia spinachia</i>	X	X	X		
Vitling	<i>Merlangius merlangus</i>	-	-	X		
Ål	<i>Anguilla anguilla</i>	X	-	X		
Äkta tunga	<i>Solea solea</i>	-	X	X		
Antal arter		14	19	18		
Antal fiskade stationer		24-36	36	40		
Medelantal arter per station		2,95	4,31	5,13		

Resultat från vindkraftparkens kontrollprogram visade att förändringar i art-sammansättning hade inträffat såväl på Lillgrund som i referensområdena under de år som studien pågått (Figur 7). Man såg dock inte någon kraftig förändring i artantal, artsammansättning eller mängd fisk som direkt kunde relateras till anläggningen av vindkraftparken som helhet. Hos enskilda arter noterades dock vissa förändringar. En ökad fångst av strandkrabba och ål (gulål) i relation till baslinjestudierna observerades under de två första åren av drift, men inte under det tredje året. Fångsten av tånglake ökade i alla områden under den studerade perioden, dock i något mindre omfattning på Lillgrund än i referensområdena. För de övriga arterna skedde parallella förändringar på Lillgrund och på minst ett av referensområdena. Resultatet antydde att fisksamhället inom vindkraftparken i första hand påverkats av samma övergripande faktorer som fisksamhället i referensområdena, snarare än av skeenden inom vindkraftparken. Dessa resultat presenteras mer detaljerat av Bergström m fl (under bearbetning).



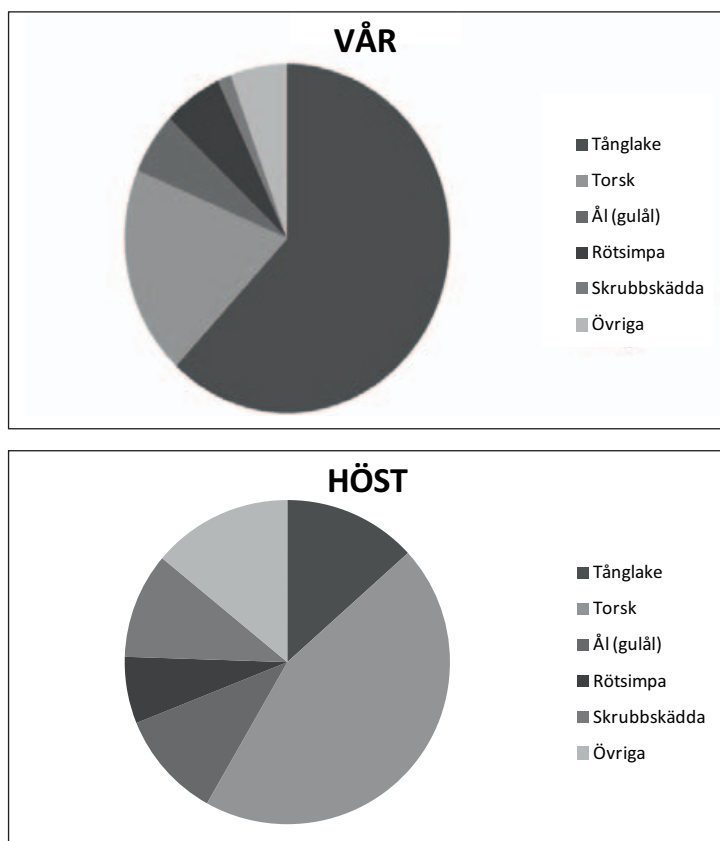
Figur 7. Fisksamhällets artsammansättning nära vindkraftverken i jämförelse med andra närliggande områden. Punkter som ligger nära varandra i figuren har en liknande artsammansättning. Jämförelsen är gjort enligt Bray-Curtis likhetsindex, beräknat på antal i medeltal per område och år. De röda, fristående, trianglarna visar provfisken inom denna studie, utförda på ett avstånd om högst 150 m från ett vindkraftverk. Övriga data är från kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark (Bergström m fl 2011) Ljusa trianglar anger artsammansättningen på Lillgrund som helhet, med år efter det att vindkraftparken anlades inringade. Raka respektive sneda fyrkanter representerar artsammansättningen i de två referensområdena inom kontrollprogrammet 2002-2010. Linjerna sammanbinder efter varandra följande år av provfiske. Figuren är ursprungligen i flera dimensioner men återges här projicerad i två dimensioner. Stressvärdet 0.08 indikerar att återgivningen i två dimensioner är tillförlitlig.

På en generell nivå hade fisksamhällets artsammansättning på Lillgrund likheter med båda de områden som användes som referensområden vid kontrollprogrammet, medan dessa var sinsemellan mer olika varandra. Mönstret återspeglar att referensområdena ligger söder respektive norr om vindkraftparksområdet, eftersom de norra delarna av Öresund karakteriseras av starkare marina inslag än södra Öresund. Artsammansättningen nära tornen, enligt studierna inom Vindval, var likartad artsammansättningen i vindparken som helhet (Figur 7).

3.1.1 Jämförelse vår – höst

Under 2010 utfördes provfisken med ryssjor även under oktober månad, vilket möjliggjorde en jämförelse av situationen under vår och höst. Strandkrabba dominerade till antalet under både vår och höst, men var påtagligt mer vanlig under hösten. Under provfisken med ryssjor under hösten fångades ungefär sex gånger fler strandkrabbor per station än under motsvarande provfisken under våren ($8,0 \pm 0,5$ på våren och $48,1 \pm 2,0$ på hösten, medelvärde \pm SE). Antalet fiskar per station var däremot högre under våren än under hösten. Ungefär dubbelt så många fiskar per station fångades under våren än under hösten ($14,5 \pm 0,8$ på våren och $6,6 \pm 0,4$ på hösten, medelvärde \pm SE). Skillnaden mellan vår och höst i antalet fiskar berodde framför allt på att tånglake var till antalet vanligare i fångsten under våren än under hösten. I medeltal fångades 9 individer tånglake per station under våren och knappt en individ per station under hösten.

De fem vanligaste fiskarterna i ryssjefisket under våren 2010 var tånglake, torsk, rötsimpa, gulål och oxsimpa. Dessa arter var även vanligast under hösten 2010, förutom oxsimpa som ersattes av skrubbskädda. Under våren var tånglaken den till antalet vanligaste arten. Tånglaken utgjorde 62 procent av andelen fisk i fångsten under våren, vilket motsvarade cirka 9 individer per station. Torsken var den till antalet näst vanligaste arten och utgjorde 19 procent av den totala fångsten fisk. Under hösten var torsken den vanligaste förekommande arten, med 45 procent av andelen fiskar i fångsten. Räknat som antal per station var fångsten av torsk dock likartad under vår och höst 2010. Även de övriga vanliga arterna fångades i jämförbar mängd under vår och höst (Figur 8).



Figur 8. Artsammansättning på Lillgrund 2010, jämförelse mellan resultat från provfisken med ryssjor under vår (maj) respektive höst (oktober). Jämförelsen är baserat på fångst i ryssjor enligt antal. Den totala mängden fisk var ungefär dubbelt så stor under våren som under hösten, framförallt på grund av skillnader i mängden tånglake.

3.2 Effekter på fiskens fördelning inom vindkraftparken

3.2.1 Enskilda arter

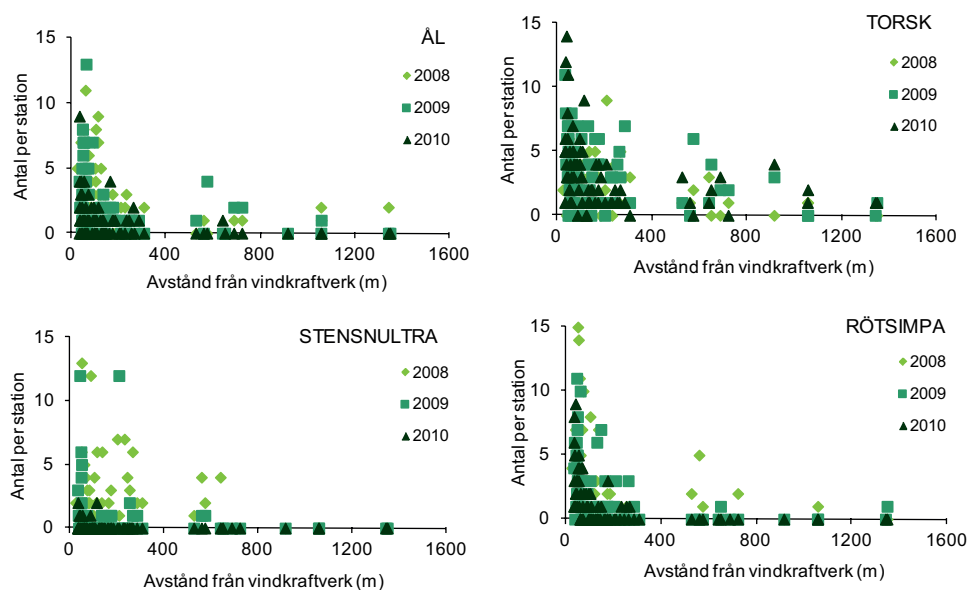
Hos fyra av de sju studerade fiskarterna noterades tecken på en ansamling vid vindkraftverken, så att antalet fiskar var högre i närheten av vindkraftverken än längre bort. Dessa arter var rötsimpa, gulål, stensnultra och torsk. (Tabell II, Figur 9). Hos torsk var effekten något starkare för stora individer (>37 cm) än hos torsk totalt sett. Hos de tre övriga arterna noterades ingen fördelningseffekt, det vill säga arternas antal var varken högre eller lägre i närområdet för vindkraftverken jämfört med på längre avstånd (oxsimpa, skrubbskädda och tånglake⁶; Tabell II, Figur 10). För samtliga fiskarter var interaktionen mellan ”år” och ”avstånd från torn” inte signifikant, det vill säga det resultat som observerades var likartat under samtliga tre år av studie (Appendix 2).

⁶ En ökad förekomst av tånglake nära tornen noterades dock i analysen baserat på utökat material år 2010, se ”Skattning av effektavstånd”.

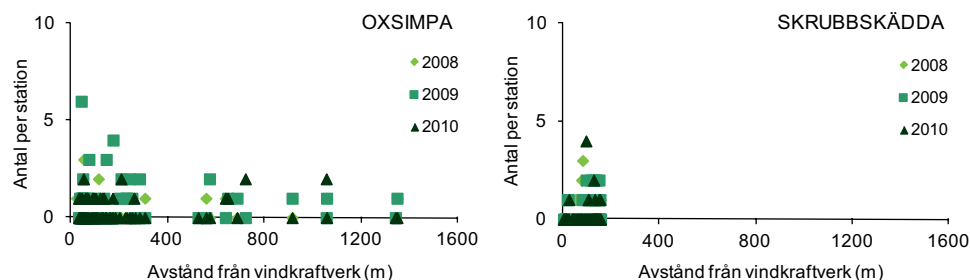
Under de tre år som studien omfattade noterades en ökning i fångsten av tånglake, medan fångsten av rötsimpa, stensultra och svart smörbult minskade. För ål, torsk, oxsimpa och skrubbskädda noterades ingen skillnad mellan år (Tabell II, Appendix 2).

Tabell II. Sammanfattning av analysresultat för de studerade fiskarterna. "Effekt av avstånd" anger om det fanns ett signifikant samband mellan antalet fiskart på en station och stationens avstånd till närmaste vindkraftverk. "Effektens riktning" anger att det i samtliga sådana fall noterades ett större antal fiskar nära vindkraftverket än på längre avstånd.

Art	Effekt av avstånd	Effektens riktning
Ål (gulål)	ja	attraktion
Torsk	ja	attraktion
Stensultra	ja	attraktion
Rötsimpa	ja	attraktion
Tånglake	nej	-
Oxsimpa	nej	-
Skrubbskädda	nej	-



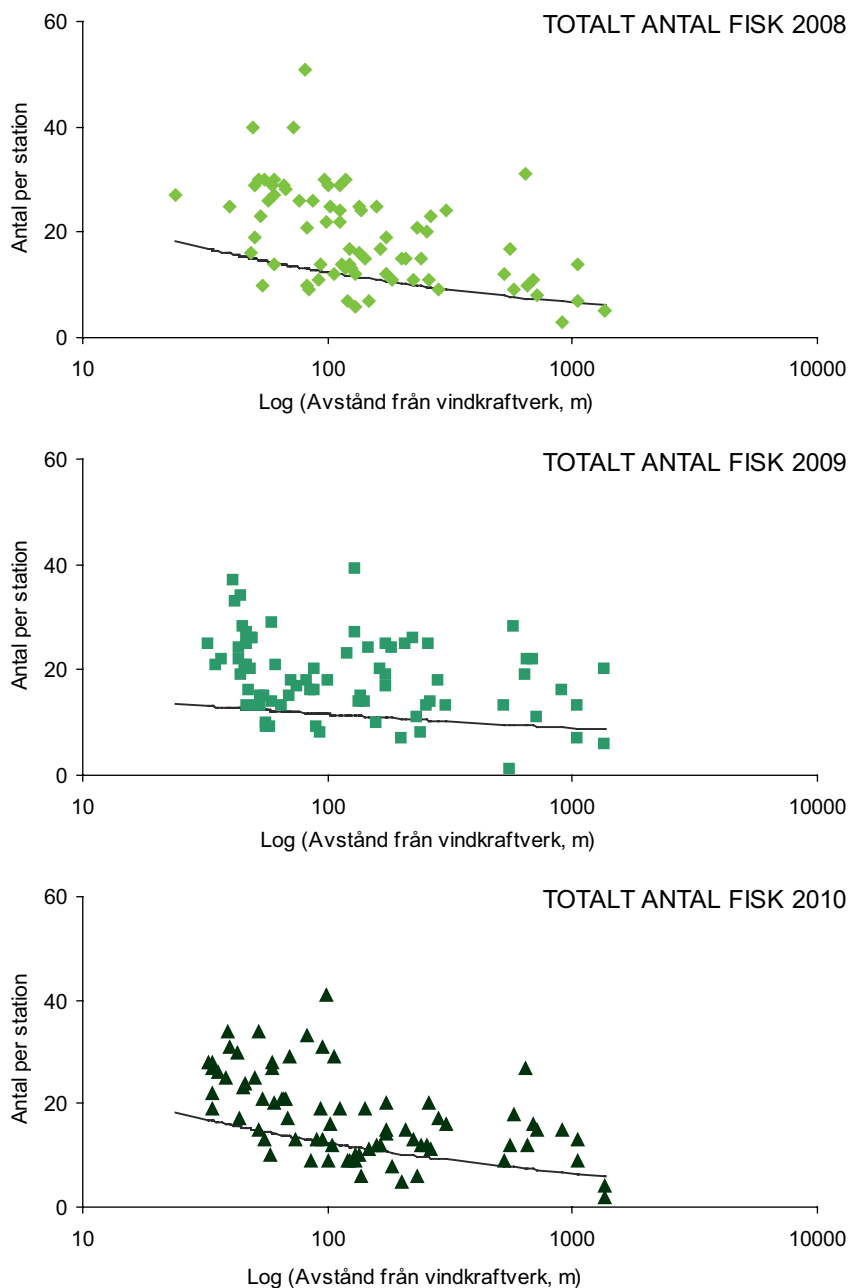
Figur 9. Antal individer av ål, torsk, stensultra och rötsimpa vid olika avstånd från vindkraftverk.



Figur 10. Antal individer av oxsimpa och skrubbskädda vid olika avstånd från vindkraftverk.

3.2.2 Totalt antal individer av fisk

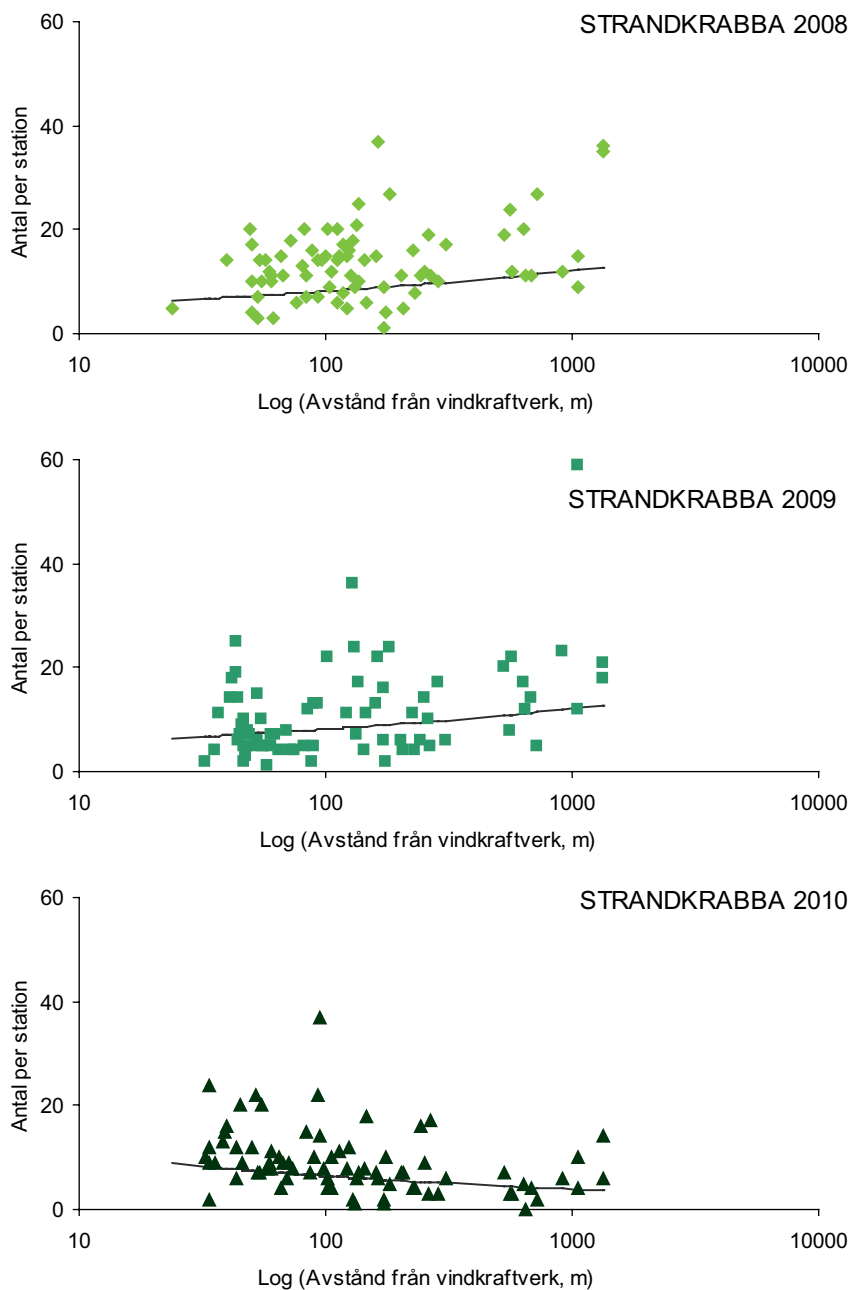
Analysen av det totala antalet individer av fisk, sammanslaget för alla arter, kan användas för att återspegla resultatet för de enskilda arterna på en mer generell nivå. Under alla tre år som studerades var antalet individer av fisk högre nära vindkraftverken än längre bort. Effekten var dock något svagare under 2009 än under de övriga åren. Det totala antalet fångade fiskar var likartat under samtliga studerade år, sett över området som helhet (Figur 11, Appendix 2).



Figur 11. Antal individer av fisk per station, sammanslaget för samtliga arter, vid olika avstånd från vindkraftverk. Linjerna visar det översiktliga sambandet för respektive år enligt en linjär regression baserat på log-transformerade data för avstånd (se texten). Samtliga år sågs en högre förekomst av fisk närmare tornen, men omfattningen varierade mellan år.

3.2.3 Strandkrabba

Strandkrabbans fördelningsmönster såg olika ut under olika år. De två första åren var antalet strandkrabbor lägre nära vindkraftverken än på längre avstånd från dem. Under det sista året, 2010, var mönstret dock det motsatta, det vill säga ett högre antal strandkrabbor noterades nära vindkraftverken än på längre avstånd från dem. Den totala mängden krabba var lägre år 2010 än under de två tidigare åren (Figur 12, Appendix 2).



Figur 12. Antal individer av strandkrabba per station vid olika avstånd från vindkraftverk. Linjerna visar det översiktliga sambandet för respektive år enligt en linjär regression baserat på log-transformerade data för avstånd (se texten). De två första åren sågs en lägre förekomst av strandkrabba närmare tornen än på större avstånd, men år 2010 var förhållandena de motsatta.

3.3 Skattning av effektavstånd

Vid jämförelsen mellan årstider inom det utökade provfisket år 2010 noterades en skillnad mellan resultatet för höst och vår. Under våren noterades en aggregationseffekt hos samtliga studerade arter (torsk, ål, tånglake och rötsimpa). Avståndsintervallet inom vilket en ökad förekomst kunde observeras skattades till mellan 0-50 och 0-160 meter från vindkraftverket, beroende på art (Tabell III). För det totala antalet fiskindivider, oavsett art, skattades effektavståndet under våren till 0-100 meter och för strandkrabba till 0-120 meter.

För data från hösten var aggregationseffekten inte lika tydlig hos alla arter. På artnivå noterades en ökad förekomst nära vindkraftverket hos ål, rötsimpa och liten torsk (<37 cm), men inte hos de andra arterna. Effektavståndet skattades till mellan 0-50 och 0-100 meter. Även för strandkrabba var fördelningsmönstret mer otydligt under hösten än under våren. Under hösten kunde en aggregation av strandkrabba inte observeras i området närmast vindkraftverket, däremot kunde en ökning ses inom ett avståndsintervall om 50-160 meter från vindkraftverket (Appendix 3). Anledningen till detta avvikande mönster är oklar. För det totala antalet fiskindivider under hösten skattades avståndsintervallet för en aggregationseffekt till 0-50 meter. I inget fall noterades en minskad förekomst av fisk i närområdet för vindkraftverken.

Förutom en ökad förekomst närmast vindkraftverken, kunde man för några arter se en tydlig avtagande effekt med ökande avstånd till vindkraftverken (Appendix 3). Mönstret kan återspegla att fisken omfördelat sig till närområdet för tornen från ett större uppsamlingsområde.

Tabell III. Sammanfattning av analyser för att skatta effektavstånd hos de vanligaste arterna i fångsten, baserat på en generaliserad additiv modell med faktorn "avstånd" inkluderad som en *smooth*, och data från 116 stationer i maj respektive oktober 2010. I den första kolumnen anger "df" det slutliga antalet frihetsgrader hos faktorn s(avstånd), där 1 motsvarar en linjär modell och högre värden en mer komplex modell, dock högst 3. "Effekt" anger om avståndet till närmaste vindkraftverk hade en signifikant effekt på fördelningen av fisk, enligt $p < 0,001$ (*), $p < 0,05$ (*), och ingen signifikant effekt (ns). I samtliga fall där en signifikant effekt noterades var antalet fisk högre nära vindkraftverket, vilket anges med (+) i kolumnen "riktning". "Avstånd" anger skattat avstånd från närmaste vindkraftverk där en förhöjd mängd fisk noterades. "Expl.D" anger modellens totala förklaringsgrad. "Param." anger det värde som användes för att korrigera standardfelen vid utvärderingen av faktorernas bidrag till modellen. För responskurvor, se Appendix 3.**

Art	Årstid	df	Effekt	Riktning	Avstånd	Expl.D (%)	Param.
Antal fiskar totalt	maj	2,2	***	+	100	36,2	3,24
	oktober	3,0	***	+	50	30,4	1,55
Strandkrabba	maj	2,7	***	+	120	21,2	2,88
	oktober	2,9	***	(+)	(150)*	18,7	7,66
Ål (gulål)	maj	1,0	***	+	160	18,1	1,41
	oktober	2,7	***	+	60	19,4	1,27
Torsk	maj	1,9	***	+	90	22,3	1,54
	oktober	2,8	ns	ej ber.	ej ber.	7,2	1,64
Torsk >37cm	maj	2,9	***	+	50	15,2	1,13
	oktober	2,6	ns	ej ber.	ej ber.	4,2	1,47
Torsk <37cm	maj	2,0	***	+	90	19,8	1,44
	oktober	2,6	*	+	50	7,4	1,46
Tånglake	maj	2,1	***	+	90	13,2	3,90
	oktober	2,9	*	ej ber.	ej ber.	11,8	1,43
Rötsimpa	maj	1,0	***	+	160	50,6	1,11
	oktober	2,5	***	+	100	41,5	0,82

*otydlig respons

4. Diskussion

Hos flera av fiskarterna vid Lillgrund noterades en ökad förekomst i närområdet för vindkraftverken i jämförelse med på längre avstånd. Effekten observerades redan efter det första året av drift och var av likartad omfattning under samtliga tre studerade år. En sådan fördelningseffekt noterades för tånglake, ål (gulål), torsk, stensnultra och rötsimpa. Effekten var tydligast hos de mest allmänt förekommande arterna, vilket delvis kan bero på att det i analyserna kan vara lättare att identifiera trender hos mer frekventa arter. Hos oxsimpa, skrubb-skädda och svart smörbult noterades ingen fördelningseffekt, trots att de var relativt vanliga i provfisket.

En ökad förekomst av fisk nära vindkraftverken kan bero på antingen att fisken attraheras till området från omgivande livsmiljöer, eller på att produktiviteten av fisk ökar, till exempel om fiskens reproduktion eller överlevnad är påtagligt högre nära vindkraftverken (se sammanfattning i Wilhelmsson m fl 2010). Den effekt på förekomsten av fisk som observerades här beror sannolikt på en omfördelning av fisk från närområdet, snarare än på en ökad produktivitet, eftersom inga större effekter på den totala mängden fisk i området noterats under samma tidsperiod.

De erosionskydd i form av sprängsten som omger fundamenten vid Lillgrund har sannolikt en gynnsam effekt på sådana fiskarter som kan finna skydd bland stenarna, och möjligen även ha lätt att finna föda i form av andra marina organismer som också koloniserar området. Om en sådan förändring ska anses vara positiv eller negativ på sikt går inte att bedöma på en generell nivå, utan beror på lokala förutsättningar i området. En potentiell negativ följd av en sådan rev-effekt kan vara om de nya strukturerna attrahera arter som tidigare inte trivs i området och som trycker undan de lokala arterna (se t ex Petersen och Malm 2006, Gill 2005).

En mer omfattande analys av förändringar i den totala mängden fisk presenteras i resultaten för kontrollprogrammet för Lillgrund vindkraftpark där provfisken utfördes före respektive efter anläggningen och även i två referensområden (se Appendix 1). Inom kontrollprogrammets studier noterades generellt små förändringar i mängden fisk på Lillgrund, i jämförelse med referensområden och med åren före vindkraftparken anlades. Ett undantag är ål (gulål) som hade ökat mer vid Lillgrund än vid referensområdena (Bergström m fl under bearbetning).

Resultaten måste beaktas i relation till de metoder som använts. I den här studien har fisket skett med ryssjor, som är ett stationärt redskap och fångar fisk nära botten. Provfisken med ett annat redskap skulle kunna ge en annan bild av utvecklingen i fisksamhället under samma tid. En potentiell artefakt vid fisken i områden rika på krabba är även att stationära redskap till viss del kan fungera som betade burar när det fångat fisk, och därför kan locka till sig till andra arter, till exempel krabbor. Det är möjligt att den rika förekomsten av strandkrabba under provfisket kan ha påverkat fångsten av fisk negativt till viss del, även om detta inte går att avgöra på basen av tillgängliga data.

Resultaten i den här studien är baserade på fiskförekomst angivet som antal per station, vilket ger ett bra mått för att studera rumslig fördelning och skillnader i artsammansättning. Det hade dock även varit intressant att studera variation i biomassa (vikt) hos fångsten mellan de olika stationerna, för att få en mer komplett bild av eventuella förändringar i fisksamhället, relaterade till exempel till fiskens kondition eller trofiska förändringar i ekosystemet. Detta var dock inte möjligt inom denna studie, eftersom vikter inte registrerades under fisket.

För flera arter visade analyserna ett tydligt samband mellan avståndet till vindkraftverk och mängden fisk, med en relativt hög förklaringsgrad. För andra arter, till exempel tånglake och i vissa fall torsk, var förklaringsgraden lägre. Detta kan återspegla att variationen var stor mellan provfiskade stationer, på grund av artens rörlighet eller skillnader i fångstbarhet inom olika delar av provfisket, men även på att modellen inte inkluderat andra förklaringsvariabler än avstånd från vindkraftverken. Exempel på andra variabler som kunde vara intressanta att utvärdera närmare i sammanhanget är djup och lokala strömförhållanden. När det gäller effekter av mänsklig påverkan vore det även intressant att testa om effekter av elektromagnetiska fält eller yttre ljudmiljö kan påverka fiskens fördelningsmönster. Mätningar av ljudmiljön på Lillgrund visar att vindkraftparken tydligt bidrar till den totala ljudmiljön, dock är de omgivande ljuden starka i jämförelse med många andra havsområden, framför allt på grund av fartygstrafik (Andersson m fl 2011). Det relativt starka samband som noterades i flera fall visar dock att vindkraftverken vid Lillgrund sannolikt i första hand attraherar fisk, och att eventuella negativa effekter på fiskens förekomst, orsakad till exempel av elektromagnetiska fält eller yttre ljudmiljö har ett i sammanhanget underordnat bidrag.

Det är även intressant att jämföra utvecklingen vid Lillgrund vindkraftpark med utvecklingen av fisksamhället vid de artificiella reven vid Vinga utanför Göteborg (Andersson och Bergström 2007). I detta område syntes efter tre år en ökning hos framför allt hummer och torsk, samtidigt som mängden strandkrabba och andra mindre kräftdjur minskade. Ökningen av hummer och torsk kunde där förklaras av en ökad tillgång på skydd och föda i de artificiella strukturerna, men även av ett minskat fisketryck eftersom de artificiella reven omfattades av fiskeförbud. En liknande effekt på förhållandet mellan torsk och dess bytesdjur är tänkbar vid Lillgrund, men kunde inte observeras i denna studie, även om en antydning till minskning kunde ses hos några av de arter som är vanlig föda för torsk, så som svart smörbult och strandkrabba (under det sista året av provfiske). Ingen ökning i den totala mängden torsk kunde observeras.

Det finns inga officiella data på hur fiskemönster förändrats på Lillgrund sedan anläggningen av vindkraftparken. Området var inte föremål för trålning före anläggningen och det faktum att inga förändringar observerats hos de vanligaste kommersiella arterna i området efter anläggningen i relation till referensområdena (Bergström m fl under bearbetning), antyder att vindkraftparken inte förändrat dödligheten hos de aktuella bestånden. Det vore dock intressant att följa upp denna studie efter ett antal år, för att utvärdera den fortsatta utvecklingen i området och se om en kvantitativ effekt på omgivande fisksamhällen då kan observeras som en följd av den observerade aggregationseffekten.

Tackord

Provfisken vid Lillgrund har utförts med värdefull hjälp av Bo Landén. Tack även till Jan Andersson för hjälp med planering av provfiske, Barbro Metin för dataläggning och Ronny Fredriksson för hjälp med figur 2, 3, och 6.

Referenser

Andersson, J., Bergström, U. (2007). Hummerrevsprojektet slutrapport 2007, Delprojekt: provfisken med nät och ryssjor. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport 2007:40.

Andersson, M. H., Sigray, P., Persson, L. K. G. (2011) Wind farm noise influence on the audibility of fish. Manuskript i: Andersson (2011) Offshore wind farms – ecological effects of noise and habitat alteration on fish. Doktorsavhandling Stockholms universitet, artikel V.

Angantyr, L. A., Rasmussen, J., Göransson, P., Jeppesen, J. P., Svedäng, H. (2007) Fisk i Öresund. Öresundsvattensamarbetet. 2007. 69 s.

Bergström, L., Lagenfelt, I., Sundqvist, F., Andersson, I. Andersson, M., Sigray, P. (under bearbetning). Fiskundersökningar vid Lillgrund vindkraftpark -Studier inom vindkraftparkens kontrollprogram före (2002-2005) och efter (2008-2010) uppförandet. Hav- och vattenmyndigheten, på uppdrag av Vattenfall AB.

Carlsson, C., Hansen, J. B., Angantyr, L. A., Vedel, A. (2006) Öresunds vegetation. Öresundsvattensamarbetet. 2006. ISBN 91-631-9784-7. 59 s.

Claudet, J., Pelletier, D. (2004). Marine protected areas and artificial reefs. A review of the interactions between management and scientific studies. Aquatic Living Resources 17(2): 129-138.

CMACS (2003) A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. COWRIE Report EMF - 01-2002 66.

Davy, T. (2009) Environmental Monitoring - Lillgrund Offshore Wind Farm Lillgrund Pilot Project. Energimyndigheten, 46 s.

Diekmann, R.& Möllmann, C (Eds) Bergström, L., Flinkman, J., Gårdmark, A., Kornilovs, G., Lindegren, M., Müller-Karulis, B., Plikshs, N., Pöllumäe, A. (2010) Integrated Ecosystem Assessments of seven Baltic Sea areas covering the last three decades. ICES Cooperative Research Report no 302. 89 pp.

Egriell, N., Ulmestrand, M., Andersson, J., Gustavsson, B., Lundälv, T., Jonsson, L., Åhnsberg, T. (2007) Hummerrevsprojektet. Slutrapport 2007. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapport 2007:40, 128 s.

Fiskeriverket (2010) Kustfiskövervakning i Öresund, 2010. Barsebäck, Lundåkrabukten/Lommabukten 1999-2010.

Gill, A.B. (2005) Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone. Journal of Applied Ecology. 42. 605-615.

Hammar, L., Andersson, S., Rosenberg, R. (2008) Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft. Naturvårdsverket. Vindval rapport 5828.

Highland Statistics Ltd. www.highstat.com (2011).

Lagenfelt, I., Sparrevik, E., Andersson, A., Lettevall, E., Bergström, U., Bergström, L. (2006) Fiskundersökningar vid Lillgrund. Baslinjestudier vid Lillgrund vindkraftpark 2002–2005. Fiskeriverket 33 s.

Maar, M., Bolding, K., Petersen, J. K., Hansen, J. L. S., Timmermann, K. (2009). Local effect of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark. *Journal of Sea Research*. 62. 159-174.

Nedwell, J. R., Langworthy, J., Howell, D. (2003). Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Tech. Rep. 544R0424, Prep. by. Subacoustech Ltd., Hampshire, UK, for: COWRIE.

Nedwell, J. R., Howell, D. (2004). A review of offshore windfarm related underwater noise sources. Tech. Rep. 544R0308, Prep. by. Subacoustech Ltd., Hampshire, UK, for: COWRIE.

Petersen, J.K., Malm, T. (2006) Offshore windmill farms: Threats to or possibilities for the marine environment. *Ambio* 35 (2): 75-80.

Seaman, W. (2007) Artificial habitats and the restoration of degraded marine ecosystems and fisheries. *Hydrobiologia* 580: 143-155.

Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R. and Piper, W. (2006). Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd.

Thoresson, G. (1996) Metoder för övervakning av kustfiskbestånd. Kustlaboratoriet, Fiskeriverket. Kustrapport 1996:3.

Unosson, O. (2009) Offshore Cable Installation – Lillgrund. Lillgrund Pilot Project. *Energimyndigheten* 30 s.

Vattenfall (2011) <http://www.vattenfall.se/sv/fakta-om-lillgrund.htm> Citerad 2011-02-06.

Wahlberg, M., Westerberg, H. (2005) Hearing in fish and their reactions to sound from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288: 295-309.

Wilhelmsson, D., Öhman, M. C., Ståhl, H., and Shlesinger, Y. (1998) Artificial reefs and dive tourism in Eilat, Israel. *Ambio*, 27: 764-766.

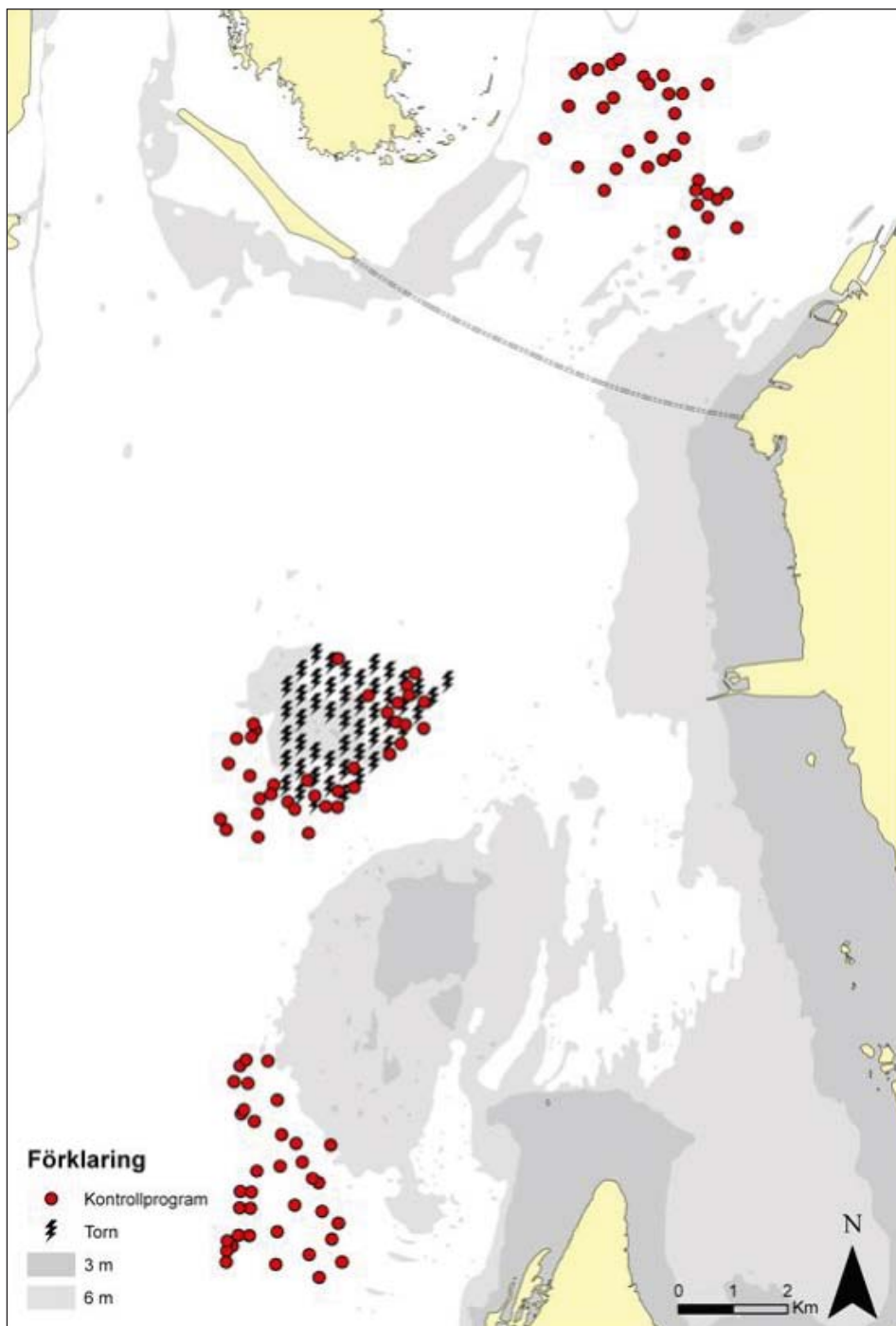
Wilhelmsson, D., Malm, T., and Öhman M. C. (2006) The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 775 – 784.

Wilhelmsson, D., Malm, T., Thompson, R., Tchou, J., Sarantakos, G., McCormick, N., Luitjens, S., Gullström, M., Patterson Edwards, J.K., Amir, O. and Dubi, A. (2010). *Greening Blue Energy: Identifying and managing the biodiversity risks and opportunities of offshore renewable energy*. Gland, Switzerland: IUCN. 102 pp.

Zuur AF, Ieno EN, Smith GM (2007) *Analysing ecological data*. Springer Science + Business Media, LLC, 672 s.

Öhman, M. C., Sigray, P., Westerberg, H. (2007) Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. *Ambio*, 36: 630-633.

Appendix 1. Artlista och stationer för kontrollprogrammets provfisken



A1:1. Karta över de tre områden som fiskats inom kontrollprogrammet (Bergström m fl 2011). Söder ifrån ses stationerna i det södra referensområdet (röda prickar), längre upp i bild ses stationerna vid Lillgrund och dess placering i förhållande till tornen (blixtrar). Längst i norr ses stationerna i det norra referensområdet.

A1.2. Totalt antal fångade individer av varje art i ryssjefisket vid vindkraftparken (Liligrund), samt referensområdena Bredgrund (södra referensområdet) och Sjölen (norra referensområdet) under baslinjestudien 2002-2005 samt efter att vindkraftparken tagits i drift 2008-2010. Motsvarande resultat från provfisken utförda inom denna studie anger i kolumn Vindval (2008-2010).

Art (svenskt namn)	Vetenskapligt namn	LILLGRUND									BREDGRUND									SJÖLEN								
		Kontrollprogrammet									Kontrollprogrammet									Kontrollprogrammet								
		2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010			
FISKÄR																												
Beigvar	<i>Zeugopterus punctatus</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Blankål*	<i>Anguilla anguilla</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
Grässnultra	<i>Centrolabrus exoletus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Gulål*	<i>Anguilla anguilla</i>	10	15	15	6	41	33	17	153	119	54	7	4	0	5	20	10	0	27	32	10	25	51	35				
Kantnålsfisk obestämd	<i>Syngnathidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2				
Större havsnål	<i>Entelurus aequoreus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1				
Mindre havsnål	<i>Nerophis ophidion</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				
Oximpa	<i>Taurulus bubalis</i>	2	4	5	5	8	25	13	19	19	14	3	5	8	9	17	52	78	4	2	0	0	9	6				
Paddtorsk	<i>Raniceps raninus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Piggvar	<i>Psetta maxima</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0				
Rötsimpa	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	9	3	3	5	41	33	10	127	112	82	10	8	3	11	24	5	9	0	1	2	4	1	8				
Rödspotta	<i>Pleuronectes platessa</i>	0	2	0	0	2	0	0	4	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	2	0	3				
Sandskädda	<i>Pleuronectes limanda</i>	0	0	0	0	4	0	1	1	1	3	0	0	0	0	4	1	1	1	0	1	2	6	3				
Sill	<i>Clupea harengus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0				
Sjurygg	<i>Cyclopterus lumpus</i>	5	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	6	3	0	0	2	0				
Skarpsill	<i>Sprattus sprattus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0				
Skrubbskädda	<i>Platichthys flesus</i>	1	0	6	1	13	13	6	17	6	7	2	4	6	4	18	6	17	0	1	2	0	1	5				

Art (svenskt namn)	Vetenskapligt namn	LILLGRUND										VINDVAL										BREDRUND										SJOLLEN									
		Kontrollprogrammet										Vindval										Kontrollprogrammet										Kontrollprogrammet									
		2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010									
Skäggsimpa	<i>Agonus cataphractus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3										
Skärnsultra	<i>Symphodus melops</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Slätvar	<i>Scophthalmus rhombus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Större kantnål	<i>Syngnathus acus</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Stensultra	<i>Ctenolabrus rupestris</i>	3	3	4	5	59	22	0	87	39	8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Svart smörbult	<i>Gobius niger</i>	0	1	7	1	19	21	0	34	21	9	2	0	8	1	32	32	1	8	1	26	39	189	80	0	0	0	0	0	0											
Tejstefisk	<i>Pholis gunnellus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Tobis (kust-/havs-)	<i>Ammodytes sp.</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Torsk	<i>Gadus morhua</i>	39	47	43	96	74	100	60	73	151	174	33	27	13	35	5	15	26	49	47	112	136	90	287	216	0	0	0	0	0	0	0									
Tånglake	<i>Zoarces viviparus</i>	39	74	174	220	230	358	318	373	303	526	109	166	294	348	315	1050	436	1	0	1	4	25	30	39	0	0	0	0	0	0	0									
Tångsnälla	<i>Syngnathus typhle</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Tångspigg	<i>Spinachia spinachia</i>	11	5	8	5	16	14	17	39	11	12	13	11	3	5	19	20	18	19	27	11	5	10	17	3	0	0	0	0	0	0	0									
Vitling	<i>Merlangius merlangus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Äkta tunga	<i>Solea solea</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Antal fiskar totalt		120	157	267	345	508	627	443	930	784	893	182	228	335	420	464	1199	592	205	270	379	414	751	619	346	12	10	10	12	15	17	13									
Antal fiskarter		10	11	11	10	12	15	9	14	12	14	11	9	7	9	14	15	12	12	10	10	12	15	17	13	12	74	185	373	488	590	155									
KRÄFTDJUR		18	141	138	71	562	529	227	474	317	461	3	44	33	16	183	70	68	12	74	185	373	488	590	155	12	74	185	373	488	590	155									
Strandkrabba	<i>Carcinus maenas</i>	18	141	138	71	562	529	227	474	317	461	3	44	33	16	183	70	68	12	74	185	373	488	590	155	12	74	185	373	488	590	155									
Antal kräftdjur totalt		18	141	138	71	562	529	227	474	317	461	3	44	33	16	183	70	68	12	74	185	373	488	590	155	12	74	185	373	488	590	155									
Antal arter av kräftdjur		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Antal fiskade stationer		24	24	24	33	36	36	36	40	40	40	24	24	19	35	36	36	36	24	24	24	24	36	36	36	24	24	24	36	36											

*Samma art i olika livsstadier.

Appendix 2. Mer detaljerade resultat från analyserna av fördelningseffekt

Tabell A2:1. Utvärdering av om sambandet mellan mängden fisk och avstånd från närmaste vindkraftverk är lika för alla tre studerade år, eller om det finns en skillnad mellan år. I tabellen visas resultat av en generell linjär modell (GLM), vilken beskrivs närmare i texten. Modell 1 innehåller faktorerna "år" och "avstånd", medan modell 2 även innehåller interaktionen mellan dessa. En signifikant högre förklaringsgrad hos modell 2 än hos modell 1 (kolumnen längst till höger) indikerar att den observerade fördelningseffekten såg olika ut under olika år.

	RESIDUAL DEVIANCE			JÄMFÖRELSE MELLAN MODELLER			
	Null	Modell 1	Modell 2	M1-M2	F	p	
<i>Antal fisk totalt</i>	880	679	655	24,17	4,059	0,019	*
<i>Oxsimpa</i>	248	243	240	2,43	0,923	0,399	ns
<i>Rötsimpa</i>	711	449	440	8,29	1,833	0,162	ns
<i>Skrubbskädda</i>	204	196	195	1,07	0,367	0,693	ns
<i>Stensnultra</i>	633	455	451	4,23	0,613	0,542	ns
<i>Svart smörbult</i>	279	238	232	6,62	2,420	0,091	ns
<i>Torsk</i>	487	395	386	8,19	2,544	0,081	ns
<i>Torsk < 37 cm</i>	392	340	334	6,10	2,283	0,104	ns
<i>Torsk > 37 cm</i>	330	284	282	2,47	0,854	0,427	ns
<i>Tånglake</i>	920	870	847	23,88	2,925	0,056	ns
<i>Ål (Gulål)</i>	591	397	395	1,61	0,439	0,645	ns
<i>Strandkrabba</i>	1069	961	833	128,07	15,600	0,000	***

Tabell A2:2. Utvärdering av sambandet mellan mängden fisk och avstånd till närmaste vindkraftverk, samt år för provtagning. I tabellen visas resultat av en generell linjär modell (GLM) baserad på en Poisson-fördelning med log-link funktion, där faktorn "avstånd" är log-transformerad. Standardfelet (SE) är korrigerade med den spridningsparameter som anges i den sista kolumnen (Param.). Under "Analys av Deviance" anges om det fanns en signifikant effekt av faktorerna "År" respektive "Avstånd" (antal frihetsgrader inom parentes). Under "Modell" anges estimaten för de ingående faktorerna i de fall de haft ett signifikant bidrag till modellen. I de två första kolumnerna anger "Frekvens" hur vanlig arten var per station, samt "Expl. D" modellens förklaringsgrad.

Art	Frekv. (%)	Expl.D (%)	ANALYS AV DEVIANCE			MODELL						Param.
			Avstånd ^(1, 226)	År ^(1, 224)	P	Avstånd	År_2009	År_2010	SE	Est	SE	
			F	F	P	Est	SE	Est	SE	Est	SE	
<i>Oxsimpa</i>	32	2,3	0,0	0,992	0,117	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1,3
<i>Rötsimpa</i>	57	36,9	94,8	<0,001	<0,001	-2,48	0,29	-0,4	0,17	-0,8	0,2	2,26
<i>Skrubbskädda</i>	21	3,9	0,8	0,372	0,094	ns	ns	ns	ns	-0,8	-0,4	1,42
<i>Stensnultra</i>	32	28,2	5,0	0,026	<0,001	-0,94	0,36	-0,96	0,28	-2,97	0,66	3,34
<i>Svart smörbult</i>	30	14,5	1,9	0,168	<0,001	ns	ns	-0,27	0,25	-1,8	0,43	1,41
<i>Torsk</i>	84	19,0	41,6	<0,001	0,001	-0,8	0,14	0,46	0,13	0,41	0,14	1,66
<i>Torsk < 37 cm</i>	78	14,8	26,8	<0,001	0,005	-0,67	0,14	0,44	0,14	0,36	0,14	1,37
<i>Torsk > 37 cm</i>	46	13,8	24,3	<0,001	0,058	-1,17	0,27	0,51	0,25	0,54	0,25	1,51
<i>Tånglake</i>	100	5,4	1,6	0,209	0,006	-0,12	0,11	0,08	0,11	0,33	0,11	4,11
<i>Ål (Gulål)</i>	66	32,9	65,4	<0,001	<0,001	-1,66	0,22	-0,41	0,14	-1,13	0,19	1,82

Tabell A2:3. Resultat från analys av sambandet mellan totalt antal fiskar och faktorerna "avstånd" och "år", samt deras interaktion. Analysen baserar sig på en generell linjär modell (GLM) baserad på en Poisson-fördelning med en log-link funktion, där faktorn "avstånd" är log-transformerad. Standardfelen (SE) är korrigerade med parametern 2,97. Modellens förklaringsgrad är 25,6 %.

ANALYS AV DEVIANCE						
	Df	Deviance	Res df	Resid. Dev	F	p
Null			227	880		
"Avstånd"	1	193	226	687	64,8	<0,001
"År"	2	8	224	679	1,4	0,255
"Avstånd * År"	2	24	222	655	4,1	0,019

MODELL					
	Est.	SE	t-värde	p	
Intercept	4,53	0,28	16,45	<0,001	
"Avstånd"	-0,75	0,13	-5,71	<0,001	
"År 2009"	-0,99	0,36	-2,77	0,006	
"År 2010"	-0,32	0,37	-0,87	0,388	
"Avstånd*År2009"	0,45	0,17	2,64	0,009	
"Avstånd*År2010"	0,10	0,18	0,55	0,581	

Tabell A2:4. Resultat från analys av sambandet mellan totalt antal strandkrabbor och faktorerna "avstånd" och "år", samt deras interaktion. Analysen baserar sig på en generell linjär modell (GLM) baserad på en Poisson-fördelning med en log-link funktion, där faktorn "avstånd" är log-transformerad. Standardfelen (SE) är korrigerade med parametern 4,10. Modellens förklaringsgrad är 22,1 %.

ANALYS AV DEVIANCE						
	Df	Deviance	Res df	Resid. Dev	F	p
Null			227	880		
"Avstånd"	1	193	226	687	64,8	<0,001
"År"	2	8	224	679	1,4	0,255
"Avstånd * År"	2	24	222	655	4,1	0,019

MODELL					
	Est.	SE	t-värde	p	
Intercept	1,57	0,34	4,59	<0,001	
"Avstånd"	0,47	0,15	3,15	0,002	
"År 2009"	-0,61	0,47	-1,29	0,199	
"År 2010"	1,88	0,53	3,55	0,000	
"Avstånd*År2009"	0,20	0,21	0,96	0,338	
"Avstånd*År2010"	-1,08	0,25	-4,35	<0,001	

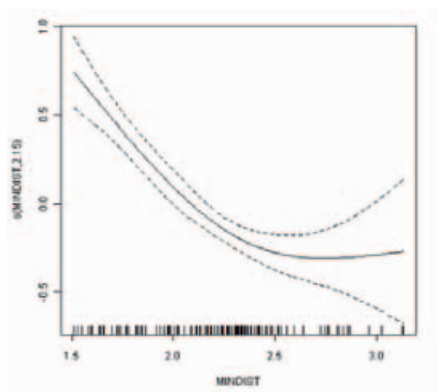
Appendix 3. Mer detaljerade resultat från analyserna av effektavstånd

Resultat av analyser för att skatta effektavstånd, det vill säga det avstånd från ett vindkraftverk inom vilket en ansamling av fisk kunde observeras. Analyserna baserades på data från vår respektive höst 2010 (totalt 116 stationer per tillfälle). Sambandet mellan mängden fisk och avstånd från vindkraftverk studerades med en generell additiv modell (GAM), där ”avstånd” inkluderades som en *spline*-funktion med högst 3 frihetsgrader. Modellen anpassades enligt en Poisson-fördelning (log-link).

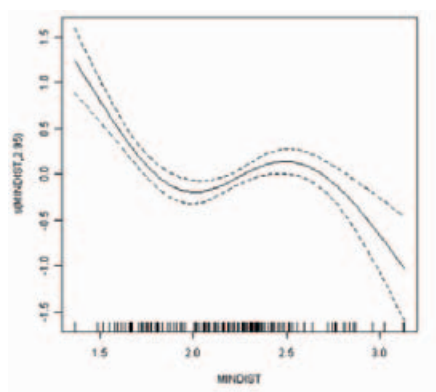
För varje analys anger tecknen inom parentes om *spline*-funktionen hade ett signifikant bidrag till modellen, enligt $p < 0,05$ (*), $p < 0,001$ (***), icke signifikant (ns).

Figurerna visar estimaten för *spline*-funktionen på (y-axeln) vid olika värden för faktorn avstånd (på x-axeln, log-transformerad). I de fall *spline*-funktionen var signifikant har effektavståndet skattats som det avstånd (enligt x-axeln) inom vilket estimaten, inklusive deras konfidensintervall (y-axeln) var positiva.

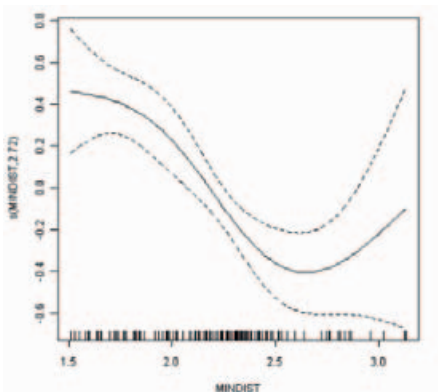
Totalt antal individer av fisk –vår (***)



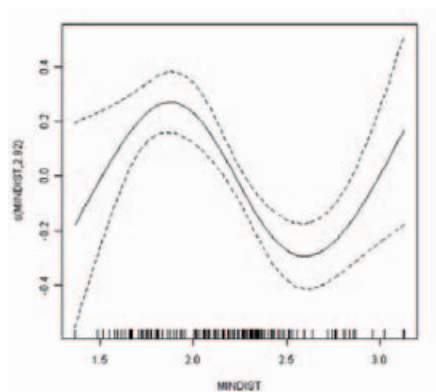
Totalt antal individer av fisk –höst (***)



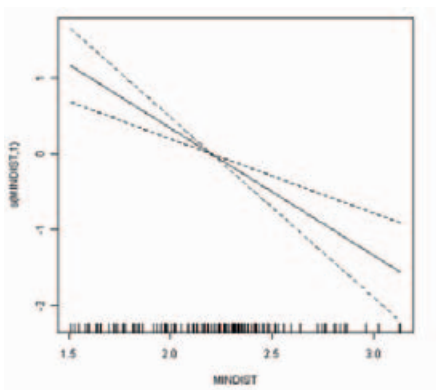
Strandkrabba –vår (***)



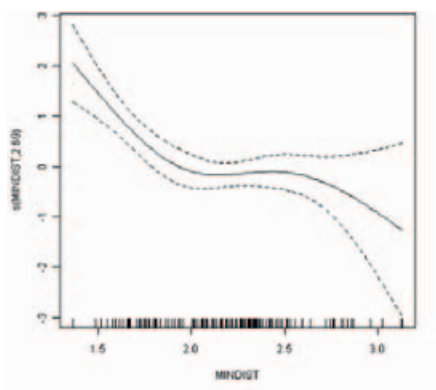
Strandkrabba –höst (***)



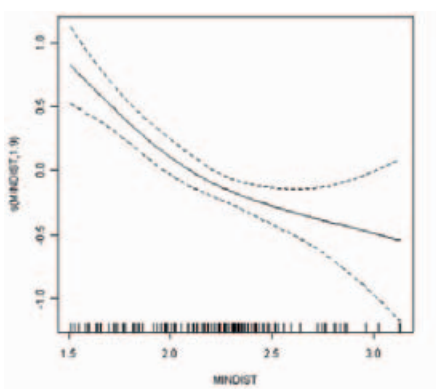
Ål-vår (***)



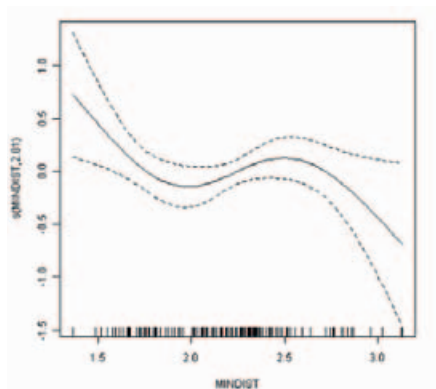
Ål-höst (***)



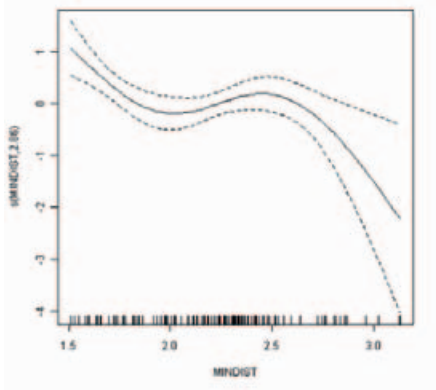
Torsk -vår (***)



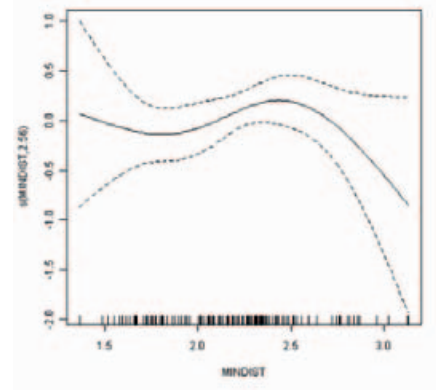
Torsk -höst (ns)



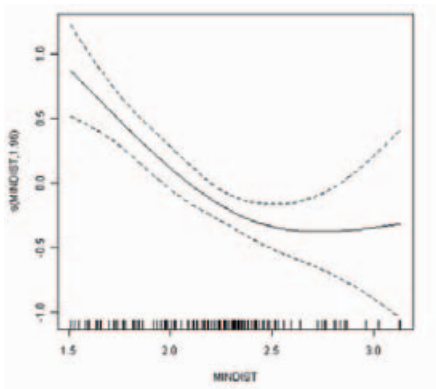
Torsk större än 37 cm - vår (***)



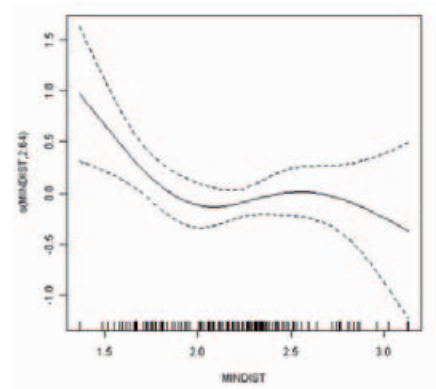
Torsk större än 37 cm - höst (ns)



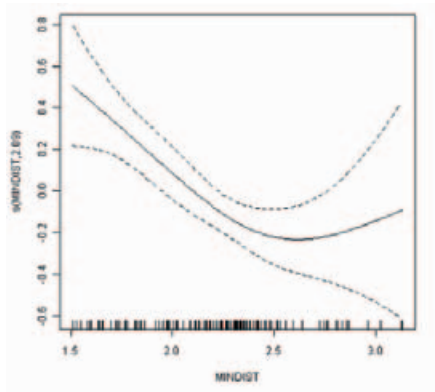
Torsk mindre än 37 cm - vår (***)



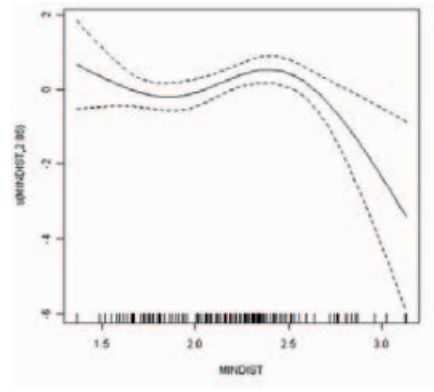
Torsk mindre än 37 cm - höst (*)



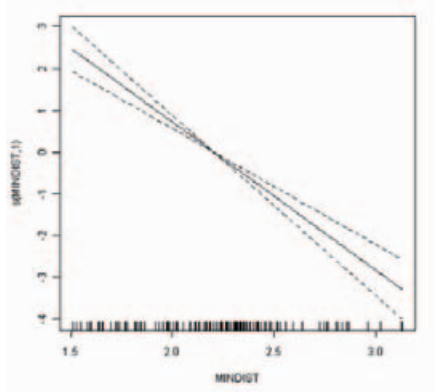
Tånglake – vår (***)



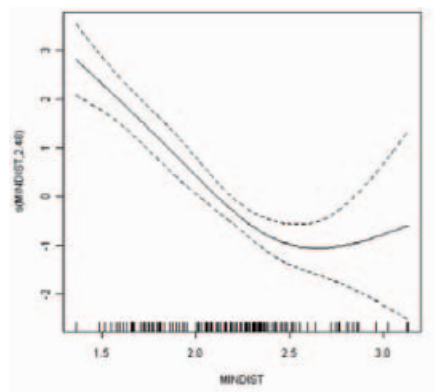
Tånglake – höst (*)



Rötsimpa – vår (***)



Rötsimpa – höst (***)



Effekter av en havsbaserad vindkraftpark på fördelningen av bottennära fisk

En studie vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund

På vilket sätt påverkas fiskar av vindkraftverk som byggs till havs?

Studien är gjord vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund och visar att vissa arter av fisk har en ökad förekomst i närheten av vindkraftverken. Förklaringen tros vara att fundamenten som vindkraftverken står på bildar en så kallad reveffekt där fisken kan hitta föda och söka skydd.

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

