

# Effekter av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk

THOMAS AXENROT OCH TOMAS DIDRIKAS

RAPPORT 6481 • FEBRUARI 2012



# Effekter av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk

Undersökning av miljökonsekvenser under driftfasen  
på fisk som lever i havet vid vindparken Utgrunden 1  
och två närliggande områden i Kalmar Sund

Thomas Axenrot, SLU,  
Institutionen för Akvatiska Resurser, Sötvattenlaboratoriet.  
Tomas Didrikas, AquaBiota Water Research AB och Stockholms universitet

NATURVÅRDSVERKET

**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](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

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

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6481-5

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2012

Elektronisk publikation

Omslagsfoto: Thomas Axenrot och Tomas Didrikas



## Förord

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

Målet med kunskapsprogrammet Vindval är ett ökat vindbruk vilket ska åstadkommas genom att underlätta en ökad vindkraftutbyggnad genom bättre underlag för miljökonsekvensbeskrivningar och tillståndsprövningar samt att minska osäkerheten vid bedömning av vindkraftens påverkan på miljön.

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

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

Den här rapportern har skrivits av Thomas Axenrot, Fiskeriverket och Tomas Didrikas, AquaBiota Water Research AB och Stockholms universitet. Skribenterna svarar för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Vindval i januari 2012



## Sammanfattning

Havsbaserad vindkraft planeras för och byggs ut kustnära och på utsjöbankar som svar på en ökande efterfrågan på förnyelsebar energi. Dagens kunskap om effekter på fisk och konsekvenser för fisket på grund av genererat under-vattensljud och förändrade livsmiljöer vid etablering av havsbaserad vindkraft är bristfällig. Studier av fiskars hörsel har visat att flera fiskarter, till exempel sill och torsk hör lågfrekvent ljud liknande det som genereras av vindkraftverk. De sju turbinerna vid vindparken Utgrunden 1 alstrar ljud som kan uppfattas av fiskar som lever i öppet vatten till havs, pelagiska fiskarter både i vindparken och i ett område utanför själva parken. Delprojekt *Effekter av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk* inom Kunskapsprogrammet Vindval syftar till att öka kunskapen om möjliga miljökonsekvenser av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk under driftfasen. Den första delstudien fokuserade på en jämförelse av fisktäthet, fisksamhällets fördelning vid vindparken och närliggande områden (200 m till 10 km avstånd från fundamenten). Den andra delstudien fokuserade på möjliga effekter av vindkraft på fiskbeteende i nära anslutning till fundamenten (2-35 m avstånd). Fältundersökningarna genomfördes i Kalmarsund för delstudie 1 från vår till höst under åren 2005–2007 vid vindparken Utgrunden 1 och två referensområden, och för delstudie 2 i vindparken vår och höst 2009. Resultaten visar att

- Området med vindkraftverk och det närliggande referensområdet hade lägre fisktäthet än referensområdet som ligger längst bort. Skillnaden var statistiskt signifikant för fiskar i storleksgrupperna 30-80 mm (spigg), 80-140 mm (skarpsill, liten sill) och 140-250 mm (vuxen sill).
- För fisk i storleksgruppen 30-80 mm angavs område (Vindpark, Utgrunden 2, referens) som signifikant orsak till skillnaden i fisktäthet i det längst bort belägna referensområdet.
- För fiskar upp till 250 mm (torsk och lax) observerades ingen statistiskt signifikant skillnad i fisktäthet mellan områdena.
- Någon positiv effekt på tätheten av fisk som till exempel aggregering av fisk p.g.a. tillkomst av habitat iaktogs inte.
- Pelagiska fiskars simhastighet minskade med ökande rotorhastigheter och elproduktion. Det är dock oklart huruvida dessa effekter berodde på ökade ljudnivåer från kraftverken eller t ex vindinducerade vattenströmmar.
- Utbyggnaden vid Utgrunden 1 har inte haft några signifikanta konsekvenser för fisksamhället p.g.a. förändrat fiske. I denna del av Kalmar sund bedrivs inget eller mycket lite yrkesmässigt fiske.

Resultaten från första delstudien visar på skillnader i fisktäthet mellan områden för fiskar större än 250 mm, men pekar inte entydigt ut vilken faktor av de utvärderade (position, område) som orsakar dessa skillnader. Även naturliga förhållanden förväntas resultera i skillnader och en begränsning i

delstudie 1 är att det saknas information om tätheten av fisk i de undersökta områdena före etablering av vindkraftverken vid Utgrunden 1. En svaghet i delstudie 2 är svårigheten att skilja på olika effekter av ljud från vind på grund av en hög grad av korrelation mellan aktuella variabler.

# Innehåll

<b>FÖRORD</b>	3
<b>SAMMANFATTNING</b>	5
<b>SUMMARY</b>	9
<b>INLEDNING</b>	11
Allmänt	11
Hörsel förmåga hos fisk	12
Möjlig påverkan på pelagisk fisk under driftsfasen	13
Förändrad ljudmiljö	13
Tillkomst och förlust av habitat	14
<b>MATERIAL OCH METODER</b>	16
Delstudie 1	16
Delstudie 2	18
<b>RESULTAT</b>	21
Delstudie 1	21
Delstudie 2	23
<b>DISKUSSION</b>	28
<b>TACK TILL PERSONER OCH INSTITUTIONER SOM BIDRAGIT</b>	32
<b>REFERENSER</b>	33
<b>BILAGA 1–16</b>	37





## Summary

Marine wind parks are being planned for and built in coastal and shallow off-shore areas in response to an increasing demand for renewable energy. Today's knowledge is limited about possible effects on fish from habitat change and generated underwater sound when wind parks are running. There may also be consequences for the fishery. Studies on fish hearing have shown that many fishes hear low frequency sound like that produced by wind turbines. This study consists of two parts. The first part of the study investigated pelagic fish abundance and spatial distribution at one wind park and two reference areas (200 m to 10 km distance from fundamentals) at five different occasions from 2005 through 2007 in the Kalmar Sound of the Baltic Sea.

The highest fish densities was found in the most remote reference area. The difference between areas was statistically significant for fish of the size groups 30-80 mm (stickleback), 80-140 mm (sprat, small herring) and 140-250 mm (adult herring). For fish >250 mm, representing cod and salmon, no statistically significant difference between areas was observed. For one group (sticklebacks) Area was significantly pointed out as the most important factor for the observed differences in fish density. No data on fish densities in the investigated areas were collected before the wind park (Utgrunden 1) was built which is a drawback to this part of the study.

The second part of the study focused on possible effects of underwater sound generated by wind turbines on fish behaviour in the close vicinity of the fundamentals (2-35 m distance). Stationary horizontal acoustics was used to estimate fish abundance and swimming speed in relation to turbine rotor speed and electricity production. The changes of abundance were not consistent and difficult to interpret. Fish swimming speed decreased with increasing turbine rotor speed and electricity production. However, it cannot be distinguished if this was an effect of sound emitted by wind turbines or wind induced currents.



# Inledning

## Allmänt

Vindkraft tilldelas allt större betydelse med anledning av framtida behov av förnyelsebar energi. På grund av bättre vindförhållanden planeras enligt Energimyndigheten en stor del av utbyggnaden att ske till havs. Denna uppfattning har på senare tid i någon mån reviderats vilket i praktiken inneburit att flera planerade projekt till havs skjutits upp eller avbrutits. Med avseende på miljöeffekter av havsbaserad vindkraft har Energimyndigheten lyft fram tre riskområden; estetiska aspekter, risk att skada värdefulla naturområden och möjliga konsekvenser för fisket (i form av inskränkningar i fiskets bedrivande). Risken att skada värdefulla naturområden innefattar även möjliga effekter på fiskens beståndsutveckling.

Kunskapsnivån om och i så fall hur fisk påverkas av havsbaserad vindkraft har bedömts vara låg (Smith & Westerberg 2003, Bergström m fl. 2007). De studier som gjorts vid befintliga större vindparker kommer framför allt från Horns rev och Nysted i Danmark (Hvidt m fl. 2006, Leonard m fl. 2006). På senare tid har flera studier visat på förändringar i fisksamhället i kraftverkens omedelbara närhet (Wilhelmsson m fl 2006a och 2006b). Därutöver har sammanställningar över möjliga miljöeffekter av havsbaserad vindkraft publicerats i samband med till exempel miljökonsekvensbeskrivningar (Zucco m fl 2006, Åslund m fl 2006) och inom det brittiska Cowrie-projektet (t ex Nedwell & Howell 2003 och 2004).

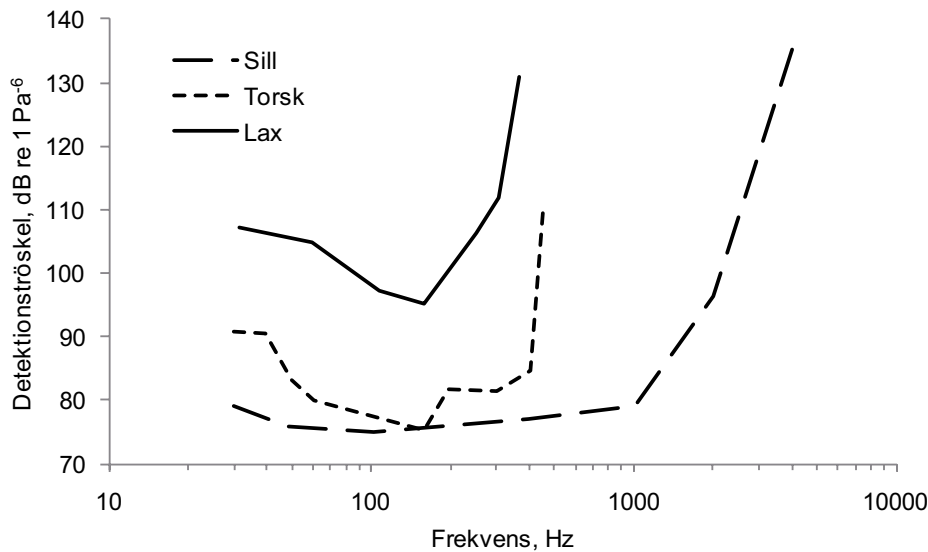
Energimyndighetens planering undantar områden djupare än 30 m från utbyggnad (Energimyndigheten 2004), medan en vindkraftsutredning för Norrbottens kust- och skärgårdsområde (Anonym 2008) föreslår att den tekniska utvecklingen gör det möjligt att i framtiden utnyttja botten ner till 40 m djup. Det är således grunda kustområden och utsjöbankar som i huvudsak är intressanta för etablering och utbyggnad. Dessa grunda områden är emellertid ofta viktiga fiskhabitat, rekryteringsområden och fiskeplatser. I en utvärdering av naturvärden på utsjöbankar har Naturvårdsverket föreslagit skydd för sju namngivna utsjögrund och i övrigt förutsatt att anläggningsarbetet sker på ett sätt som minimerar störning av ekosystemen (Naturvårdsverket 2006). Ytterligare inventeringsarbeten har utförts under 2008-2009 för bedömning av fler utsjöbankar vilka redovisats av Naturvårdsverket 2010. Förutom ofullständig kunskap om fiskbeståndens utbredning inom de aktuella områdena begränsas i dagsläget möjligheten att bedöma effekter på fisk och fiske framför allt av brist på erfarenhet om effekter vid befintliga vindparker.

Delprojektet *Effekter av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk* syftar till att öka kunskapen om miljökonsekvenser under driftfasen. Studien omfattar årliga undersökningar av den pelagiska fiskfaunan - art- och storlekssammansättning, mängder och utbredning i projekterade områden och referensområden (Energimyndigheten 2006). Delprojektet genomfördes som två delstudier. Den första delstudien behandlade möjliga, storskaliga effekter på fiskars

utbredning kring vindpark och referensområden (från några hundra meter till tio kilometer från fundamenten) medan den andra delstudien inriktade sig på småskaliga effekter av vindkraftverk på fiskbeteende (upp till 30 meter från fundamenten). De främsta förväntade påverkansfaktorerna är undervattensljud som alstras av vindkraftverken och habitatförändringar. Projektet utgör en del av projektet *Effekter av havsbaserad vindkraft på fisk (Vindval Fisk)* inom Kunskapsprogrammet Vindval.

## Hörselförmåga hos fisk

Ljudets hastighet i vatten är avsevärt högre än i luft, ca 1500 m/s jämfört med ca 340 m/s. Den exakta hastigheten beror på olika fysiska parametrar som till exempel temperatur, salthalt och tryck. Ljudets spridning i vatten delas upp i partikelrörelse ( $m \cdot s^{-2}$ ) och tryck (dB re 1  $\mu$ Pa; Wahlberg & Westerberg 2005, Lindell & Rudolphi 2003, Sand m fl. 2008). Partikelrörelse är kraftigast tätt inpå ljudkällan och har därmed störst betydelse nära ljudkällan till skillnad från ljudvågor som kan uppfattas av fisk på långa avstånd. Ljudstyrkan halveras med dubbla avståndet. De flesta fiskar kan registrera båda dessa typer av undervattensljud. Otoliterna, som sitter i innerörat och är en del av fiskens hörselorgan, är känsliga för partikelrörelse men inte för ljudvågor i form av tryckskillnader. Ljudvågor i vatten förstärks däremot i en simblåsa varför fiskar med simblåsa även kan uppleva undervattensljud i form av vågrörelser. Särskilt god hörsel har fiskar med en förbindelse mellan simblåsan och innerörat som medger dessa fiskar att uppfatta ljudvågor även i innerörat (Wahlberg & Westerberg 2005, Sand m fl. 2008). Alla fiskar har god förmåga att höra ljud med frekvens under 100 Hz (inklusive infraljud). Vid högre frekvenser beror hörselförmågan på om fisken har simblåsa, hur mycket gas som finns i simblåsan och om det finns en förbindelse mellan simblåsan och innerörat. Plattfisk som saknar simblåsa har sitt hörselområde vid låga frekvenser och är relativt okänsliga för högre frekvenser (ljudvågor). Torsk (*Gadus morhua*) har simblåsa och har ett hörselområde från låga frekvenser (infraljud) upp till 400-500 Hz vid 80-110 dB (re 1  $\mu$ Pa; Sand & Karlsen 1986, Sand m fl. 2008). Sill (*Clupea harengus*) har förbindelse mellan simblåsan och innerörat och har därför räknats in bland de s.k. hörselspecialisterna med förmåga att höra frekvenser upp till 3 kHz (figur 1; Enger 1967, Thomsen m fl. 2006, Sand m fl. 2008). Beträffande sill har det emellertid också hävdats att den är mindre känslig för ljud än till och med s.k. hörselgeneralister även om frekvensområdet för dess hörselförmåga är brett (Mann m fl. 2001). Begreppen specialist och generalist i detta sammanhang har nyligen ifrågasatts som alltför förenklande (Popper & Fay 2010 (in press)). Det bör påpekas att infraljud kan utlösa olika beteenden hos predatorer och bytesfisk, attraktion respektive undflyende (Sand m fl. 2008).



Figur 1. Detektionströskel för ljud hos aktuella fiskarter vid olika frekvenser. Källa: Thomsen m fl. 2006.

## Möjlig påverkan på pelagisk fisk under driftsfasen

Man brukar dela upp en vindparks livslängd i tre faser; anläggning, drift och avveckling. Denna studie omfattar driftfasen som uppskattas vara minst 20 år. Påverkansfaktorer på pelagisk fisk under driftfasen består huvudsakligen av förändrad ljudmiljö, tillkomst respektive förlust av habitat samt förändrad dödlighet beroende på ändrat fiske. För fisket handlar det om begränsningar i tillträde och val av redskap.

### Förändrad ljudmiljö

Vindkraftverk alstrar undervattensljud framför allt genom vibrationer i den del av tornet som är belägen i vattnet (Nedwell & Howell 2004, Wahlberg & Westerberg 2005, Sigray m fl. 2009). Vibrationer som överförs till botten anses ha mindre betydelse liksom ljud från rotorbladen som i huvudsak reflekteras mot vattenytan (Lindell & Rudolphi 2003, Sigray m fl. 2009). Det ljud som alstras kan variera i frekvens och styrka beroende på en rad faktorer som typ av vindkraftverk och fundament, storlek, bottentyp, djup och antal vindkraftverk i parken (Wahlberg & Westerberg 2005). Dessutom kan vindstyrkan påverka genom att kraftöverföring och generatorer, som är de huvudsakliga ljudalstrarna, arbetar i olika hastigheter vid olika vindstyrkor. De frekvenser som kan komma ifråga ligger oftast under 1000 Hz, med andra ord inom fiskars hörselområde (Lindell & Rudolphi 2003, Wahlberg & Westerberg 2005, Sand m fl. 2008).

De fundament som används vid Utgrunden 1 är av typen *monopile*. Ljud som alstras av vindkraftverken vid Utgrunden 1 har mätts vid två tillfällen. Från november 2002 till februari 2003 genomförde Lindell & Rudolphi (2003) mätningar av i första hand ljudtryck. Under augusti och september

2007 mättes partikelacceleration (Sigray m fl. 2009). Mätning av ljudtryck (Lindell & Rudolphi 2003) visade att vindkraftverken alstrade kraftigare ljud vid några dominerande frekvenser: 30, 61, 178, 358, 537 och 723 Hz. Jämförelse med registrerad partikelrörelse alldeles invid tornet visade att vibrationer i tornet med ursprung i kraftöverföringen var orsaken till det observerade mönstret (Lindell & Rudolphi 2003). Sigray m fl. (2009) fann att de tre lägsta frekvenserna genererades av tornvibrationer och att de övriga var så kallade övertoner. Högre vindhastighet medförde ökad rotationshastighet i kraftöverföringen vilket resulterade i såväl ökad ljudstyrka som högre frekvens. Vid frekvenser under 2-3 Hz gick det inte att särskilja ljud från vindkraftverk i drift från det bakgrundsljud som uppmätts vid vindkraftverken i vila (Lindell & Rudolphi 2003, Sigray m fl. 2009). Det kan noteras att även bakgrundsljudets styrka ökade med högre vindhastighet i mätningarna gjorda av Lindell & Rudolphi 2003). Vid svag vind var ljudstyrkan högre på låg frekvens medan ljudstyrkan var högre på hög frekvens i kraftig vind (Sigray m fl. 2009). Vid kraftig vind registrerade båda undersökningarna högst ljudstyrka vid 178 Hz. Högsta ljudtryck, ca 125 dB, uppmättes vid 178 Hz på 83 m avstånd vilket var det närmsta avstånd från ett vindkraftverk som studerades för ljudvågor (Lindell & Rudolphi 2003). I teorin ska ljudstyrkan minska med 6 dB per dubbla avståndet (fri sfärisk spridning), men i praktiken uppmättes en minskning om 4 dB per dubbelt avstånd, sannolikt beroende på att reflektioner i botten och ytan resulterade i icke-sfärisk spridning av ljudet. Beträffande partikelacceleration uppmättes på 0,2 m avstånd värden som låg över flera fiskarters hörseltröskel men fortfarande under den nivå som kan ge upphov till beteendeförändringar enligt försök med smolt, ål och mört (Sigray m fl. 2009). Nivån på dessa värden minskade med avståndet så att flertalet fiskar kan uppfatta ljud som partikelacceleration upp till ca 10 m från vindkraftverket (Sigray m fl. 2009).

### **Tillkomst och förlust av habitat**

Det finns flera svenska och internationella studier som beskriver hur nya habitat som till exempel konstgjorda rev, fundament för broar och vindkraftverk påverkar djurlivet och däribland fisk (Öhman & Wilhelmsson 2005, Brickhill m fl. 2005, Birklund & Leonhard 2006). Sådana studier har även utförts vid Utgrunden 1 (Wilhelmsson m fl. 2006a, Wilhelmsson & Malm 2008, Andersson m fl. 2007a). Resultaten från dessa undersökningar visar på en ökad täthet av fisk närmast fundamenten. Ökningen orsakades dels av nya fiskarter för området, främst sjustrålig smörbult (*Gobiusculus flavescens*), men även sandstubb (*Pomatoschistus minutus*), svart smörbult (*Gobius niger*), tobiskung (*Hyperoplus lanceolatus*), tånglake (*Zoarces viviparus*), oxsimpa (*Taurulus bubalis*) och rötsimpa (*Myoxocephalus scorpius*) förekom i större antal nära fundamenten jämfört med referensområden (Andersson m fl. 2007a). Man har även visat att vindkraftverkens fundament, som en ny miljö och störning i ett område, sannolikt underlättar för främmande arter att etablera sig (Birklund & Leonard 2006, Occhipinti-Ambrogi & Savini 2003).

Däremot saknas till stor del studier som undersöker om förlust av habitat, till exempel pga. förändrad ljudmiljö, vid kustområden och utsjöbankar grundare än 30 m påverkar det ursprungliga fisksamhället. Fundamenten till ett vindkraftverk tar i regel upp < 1 % av en vindparks totala yta (Hvidt m fl 2006), men en vindpark i sin helhet tar upp en relativt stor yta. Den fria vattenmassa i havet som finns tillgänglig för pelagisk fisk kan tyckas enorm, men vattenvolymen över botten grundare än 30 m, dvs. de grunda områden som är aktuella för vindparker, är begränsad. En del studier har visat på en ökad förekomst av fisk, även kommersiellt intressanta arter, vid större konstgjorda rev (t ex Egriell m fl. 2006).



## Material och metoder

För att undersöka om mängd och fördelning av pelagisk fisk påverkas av den förändrade miljö som etableringen av vindkraftverk medför användes ekolodning. Till en början planerades denna studie att utföras enligt en modifierad "BACI" design (före, efter, kontroll och påverkan) där standardiserade, mobila, vertikala ekolodningar utfördes i det befintliga vindparksområdet (Utgrunden 1), det område som var planerat för vindparksutbyggnad (Utgrunden 2) samt ett fristående referensområde (Referens; bilaga 1). Dessa undersökningar var planerade att utföras före och efter konstruktion av vindparken på Utgrunden 2. Emellertid bestämde tillståndsinnehavaren för vindparken, Eon, att avbryta uppförandet. Av denna anledning användes ekolodsdata insamlade inför uppförande av vindparken Utgrunden 2 under 2005-2007 till att utvärdera möjliga effekter av den befintliga vindparken (Utgrunden 1) på pelagiska fiskars beteende och utbredning (delstudie 1). Återstående resurser och tid användes till att utforma och genomföra delstudie 2, där stationär horisontell ekolodningsteknik användes för att studera pelagiska fiskars beteende på nära avstånd (upp till 35 m) från vindkraftverkens fundament.

### Delstudie 1

Vertikal, mobil ekolodning (med svängaren monterad på en dragsläde manövrerat från ett rörligt fartyg) användes för att studera fisk i ett område kring vindkraftverken på Utgrunden 1 samt två referensområden, från ett par hundra meter upp till tio kilometer från vindparken. Undersökningarna genomfördes vid fem olika tillfällen från maj till oktober under åren 2005-2007 (tabell 1). Fisksamhälle och fiskars utbredning styrs av en mängd olika variabler som varierar mellan årstider och skillnader mellan undersökningstillfällena kan därför förväntas. Varje undersökningstillfälle omfattade det befintliga vindparksområdet Utgrunden 1 (Vindpark), det område som var planerat för utbyggnad av vindkraft (Utgrunden 2), samt ett fristående referensområde (Referens; bilaga 1).

Undersökningarna genomfördes nattetid då pelagisk fisk är som mest tillgänglig för hydroakustisk teknik. Transekterna vid ekolodningen passerade fundamenten som närmast på några hundra meters avstånd (bilaga 2). För att relatera resultaten från ekolodningen till fiskbeståndens art- och storleksammansättning genomfördes pelagisk partrålning per undersökningstillfälle och område. Tråldjup bestämdes utifrån aktuell fördelning av fisk med stöd av hydroakustiska data. Provtrålningarna i området Vindpark genomfördes på säkert avstånd från fundamenten (ca 1 km, västra sidan). För jämförbarhet genomfördes trålningarna på motsvarande avstånd från grundryggen även vid områdena Utgrunden 2 och Referens. I samband med undersökningarna togs även djupprofiler av temperatur och salthalt (STD-sond, Sensordata AS, Bergen, Norway). Skattade värden för vind-, våg- och ljusförhållanden dokumenterades.

**Tabell 1. Ekolodning i Kalmar Sund 2005-2007. Täckningsgrad beräknad enligt Aglen (1983). Vindstyrka är uppskattad medelvind vid start.**

Område	Start		Tid (minuter)	Sträcka (km)	Yta (km <sup>2</sup> )	Täcknings- grad	Vindstyrka (m/s)
	Datum	Klockslag					
Vindpark	20050818	01:11	111	15	6,6	5,8	5
Utgrunden 2	20050817	22:30	138	18	7,1	6,7	5
Referens	20050815	22:05	131	17	7,1	6,4	5
Vindpark	20050927	00:34	103	15	6,6	5,8	5
Utgrunden 2	20051004	03:02	132	18	7,1	6,7	5
Referens	20051003	21:25	122	17	7,1	6,4	4
Vindpark	20060501	23:51	102	15	6,6	5,8	3
Utgrunden 2	20060502	23:59	133	18	7,1	6,7	2
Referens	20060504	23:10	126	17	7,1	6,4	4
Vindpark	20060726	21:30	116	15	6,6	5,8	3
Utgrunden 2	20060726	23:46	145	18	7,1	6,7	4
Referens	20060725	00:41	136	17	7,1	6,4	5
Vindpark	20070609	23:36	114	15	6,6	5,8	2
Utgrunden 2	20070610	01:39	127	18	7,1	6,7	2
Referens	20070610	23:13	117	17	7,1	6,4	3

På grund av tekniska problem där data för position inte registrerats vid undersökningstillfället september-oktober 2005 har dessa tre undersökningar inte använts i analyserna.

För ekolodningen användes ett 120 kHz ekolod (Simrad EY60) med svängare 120-7C med undantag för augusti 2005 då svängare 120-7G användes. Ekolod och svängare kalibrerades enligt rekommendation av tillverkaren och gällande standards (Foote 1982, Foote m fl. 1987). Pulslängden sattes till 0,256 ms, bandvidden till 8,71 kHz. Ekolodning genomfördes från en 13 m fiskebåt med svängaren fäst på en s.k. "tow body" placerad 1,5 m ut på babords sida på 1 m djup. Hydroakustiska data bearbetades och analyserades med Sonar5-Pro version 5.9.7 (Balk & Lindem 2007). Tröskelvärden för eko-integrering ( $S_v$ ) och ekostyrka hos enskilda fiskar (target strength, TS) sattes till -70 respektive -60 dB. För att visualisera fiskens fördelning i de tre områdena vid respektive undersökningstillfälle redovisas fisktäthet (medel värde över 50 m) längs transekterna (bilaga 3-6).

Trålningen genomfördes som pelagisk partrålning i direkt anslutning till ekolodningen. Trålningen inriktades på pelagisk fisk och lämpligt djup bestämdes vid varje undersökningstillfälle med stöd av den fördelning av fisk som iaktogs vid den föregående ekolodningen. Tråldjup kontrollerades med djupmätare fäst på trålen (Suunto Dive Manager 2). Under trålning framfördes båten i tre knop. Maskstorlek i lyftet på trålen (codend) var 6 mm (knut till knut) i avsikt att även fånga små fiskar och fiskyngel. Fångsten bestämdes till art och mättes till längd och vikt påföljande dag.

Fiskens täthet och fördelning analyserades efter att fiskekon från hydroakustiska data delats upp i fyra storleksgrupper baserat på resultat från trål-

ningen (tabell 3). Omräkning från ekostyrka (TS, dB) till fisklängd (L, mm) följer Didrikas och Hansson (2004, ekvation 1):

$$TS = 25,5 \log(L/10) - 73,6 \quad (1)$$

För att analysera om områdena i sin helhet skiljde sig åt med avseende på mängd fisk (uppdelad i de fyra storleksgrupperna) användes PERMANOVA. Det relativa sambandet mellan fiskens rumsliga fördelning och faktorerna bottendjup (depth), område (Area 1=Vindpark, 2=Utgrunden 2, 3=Referens) och position (Location 1=öst, 2=väst, 3=grundrygg) analyserades med hjälp av en generell additiv modell (GAM; Hastie & Tibshirani 1990; utförd i programmet R paket mgcv från Wood 2006, med Brodgar, Highland Statistics, Ltd. som interface). Analysen genomfördes separat för varje storleksgrupp av fisk där fisktäthet i område Vindpark (Y1) jämfördes med de andra två områdena (ekvation 2; djup som s.k. *smooth term*). För att undvika påverkan av olikheter mellan undersökningstillfällena, som kunde hänföras till normalt förekommande säsongsviss variation i fisktäthet, transformerades (kubikrot) och normaliserades data för varje undersökt område och tillfälle. Data som ingår i dessa analyser kommer från dataområden som framgår av bilaga 2.

$$Y1 \sim 1 + \text{as.factor(Location)} + \text{as.factor(Area)} + \text{s(depth, k = 4)} \quad (2)$$

## Delstudie 2

Stationär, horisontell ekolodning användes för att studera fiskars beteende i närheten av den nordligaste turbinen (Vindkraft-7) på Utgrunden 1 (bilaga 1 och 2). Den första undersökningen planerades starta hösten 2008, men på grund av uthålliga (två månader) vindar omöjliggjordes all installation av utrustning i fält vilket ledde till att undersökningen ställdes in detta år. Istället genomfördes två undersökningar påföljande år, 23 april-7 maj och 17 september-2 oktober 2009. För ekolodningen användes ett 120 kHz split beam ekolod (Simrad EY60) med svängare 120-7G under våren och 120-7C under hösten. På våren monterades ekolodssvängaren på ett 3,5 m högt aluminiumstativ så att ljudkägla observerade förbi vindkraftsfundamentet (bilaga 7). På hösten monterades svängaren istället på själva fundamentet så att ljudkägla var riktad i motsatt riktning, bort från installationen (bilaga 7). Ekolod och svängare kalibrerades enligt tillverkarens anvisningar och internationella standarder (Foote 1982, Foote m fl. 1987). Pulslängden sattes till 0,256 ms och banvidden till 8,71 kHz.

Energiproduktion (kW), rotorhastighet (rpm) och vindstyrka (m/s) från Vindkraft-7 loggades varje minut och gjordes tillgänglig för vidare statistisk analys via en internetportal (<http://77.53.49.140/stat/drift2.htm>).

I början av varje undersökning, genomfördes provfisken med hjälp av kustöversiktsnät i närheten av Vindkraft-7 (20-100 m). Näten placerades dels

på botten och dels på ca fyra meters djup, vilket var medeldjupet i området. Påföljande dag artbestämdes fiskarna och mättes från nos till stjärtfena.

Sonar5-Pro (Balk and Lindem, version 5.9.8) användes för att analysera ekolodsdata - spåra enskilda fiskar, uppskatta deras ekostyrka (target strength, TS), position och simbeteende. En ny formel för omräkning av ekostyrka (TS, dB) till fisklängd (L, mm) utvecklades för horisontella ekodata. Den grundar sig på beräkningar av Didrikas och Hansson (2004) och följer de koncept som postulerats av Frouzova m fl. 2005 och Kubecka och Duncan 1998 (ekvation 3):

$$TS = \{24,55 [\log(L) - 73,6] - [24,26 \log(L) - 100,68]\} \cos^k(2\alpha) + 24,26 \log(L) - 100,68 \quad (3)$$

Där "α" är fiskens vinkel gentemot svängaren. Det antogs att fiskens relativa vinkel var analog med det inspelade fiskspårets vinkel.

Det automatiska spårningsverktyget med en inbyggd "fyrelements" spårare användes på ekogram med anpassade "single echo detection" (SED) parametrar och användes för att detektera alla möjliga "sanna" spår, och för att minimera bakgrundstörningar. Spårningsparametrarna sattes till ett minimum av 4 ekodetektioner och ett maximum av 2 pings mellanrum. Alla detekterade spår granskades manuellt med hjälp av ekogrammet och ekopositioneringsdiagrammet. Spår som ansågs vara felaktiga, t.ex. de som verkade bestå av multipla spår togs bort från analysen. De resterande spåren studerades utförligt och bearbetades i de fall det ansågs nödvändigt (inkludering, borttagning eller sammanfogning av ekon). Simhastigheter beräknades genom att ta medelvärde av enskilda sammanhängande ekopunkter inom ett spår. Resultaten blev dock i några fall obegripliga då vissa spår uppvisade höga simhastigheter trots att fiskarna befann sig i ljudkägglan en ansevärd tid. En anledning till detta kan ha varit ett positioneringsfel som kan uppstå p.g.a. ett inbyggt mätfel i utrustningen (Mulligan och Chen 2000). Detta fel kan lösas genom att beräkna simhastigheten på det första och sista ekot i ett spår, med antagandet att fisken simmar i en rak linje eller genom att använda en hög ping frekvens tillsammans med matematisk "smoothing" genom att interpolera mellan ekon (Handegaard m fl. 2005; Onsrud m fl. 2005). Vi använde LOESS (eller LOWESS – locally weighted scatterplot smoothing) smoothing med fem punkters löpande medelvärde, vilket skapar en regression av punkter med ett löpande spann kring x-värdet. Värdena inom det löpande spannet är viktade i relation till avståndet från x-värdet (Cleveland och Devlin 1988, Peltier 2009).

För att utvärdera möjliga effekter av elproduktion (kW) på fisktätheter, mättes det integrerade antalet fiskspår per 10 minuters interval. Dessa data kompenserades vidare för den akustiska ljudkägglans spridning med avstånd från svängaren (R) genom att dividera varje spår med "S" (ekvation 4):

$$S = \pi (R \operatorname{tg} \alpha/2)^2 \quad (4)$$

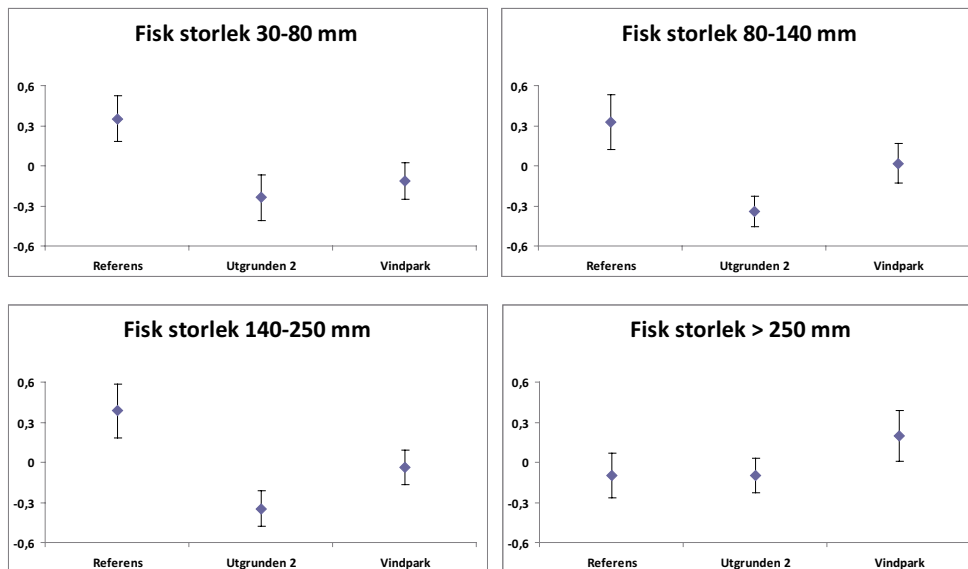
där α = ljudkägglans vinkel

General additive modellering (GAM; Hastie & Tibshirani 1990; utförd i programmet R, paket mgcv från Wood 2006, med Brodgar, Highland Statistics, Ltd., som interface) användes för att utvärdera möjliga effekter av vindkraftverkens rotorhastighet (rpm) och elproduktion (kW) på fisktäthet (antal spår/10 min) och simhastighet (m/s).

# Resultat

## Delstudie 1

Jämförelse av fisktäthet som medelvärde för alla undersökningstillfällen (normaliserade data) per storleksgrupp och område presenteras i figur 2. Resultaten från de statistiska analyserna (PERMANOVA och GAM) sammanfattas i tabell 2. Fisktätheten skiljde sig signifikant mellan de tre områdena för all fisk <250 mm (figur 2, tabell 2). Område Referens visade för dessa storleksgrupper den högsta fisktätheten av de tre områdena. För de största fiskarna (>250 mm) uppmättes den största fisktätheten i område Vindpark, vilket emellertid inte var en signifikant skillnad i de statistiska bearbetningarna (tabell 2). Området Utgrunden 2 hade oftast den lägsta uppmätta fisktätheten (figur 2). För storleksgruppen 30-80 mm styrkte GAM signifikant att det var Område och faktorn Referens som förklarade skillnaden i fisktäthet mot övriga områden (tabell 2). För storleksgruppen 140-250 mm noterades ett resultat strax utanför signifikansnivån (0,05) att Område och faktorn Referens förklarade skillnaden i fisktäthet mot övriga områden (tabell 2).



Figur 2. Fisktäthet (medelvärden med *standard error*) för olika storleksgrupper av fisk i tre undersökta områden i Kalmar Sund – en vindpark med sju turbiner och två referensområden på olika avstånd från vindparken. Storleksgrupperna representerar storspigg och säsongsvis årsyngel av sill/skarpsill (30-80 mm), skarpsill och liten sill (80-140 mm), vuxen sill (140-250 mm) samt torsk och lax (>250 mm). Data har inhämtats vid fyra undersökningstillfällen från vår till höst och är normaliserade för att undvika effekt av naturlig, säsongsvis variation i fisktäthet.

Resultaten från trålningarna visade en stabil storleksfördelning över tiden i alla tre områdena för de tre dominerande arterna sill, skarpsill och spigg med undantag för de undersökningstillfällen då årsungar ingick i trålfångsten (tabell 3). Den minsta storleksgruppen 30-80 mm bestod i huvudsak av spigg.

Under sensommaren kunde enstaka årsungar/larver av sill, skarpsill och stubb förekomma. Storleksgruppen 80-140 mm bestod av skarpsill och periodvis mindre sill. Fiskar i storlek 140-250 mm var i huvudsak sill. I storleksgruppen >250 mm fångades ingen fisk vid trålning. Detta berodde på att trålen inte är avsedd att fånga större fisk och liten maskstorlek ger sämre genomflöde av vatten vilket underlättar för stor fisk att undvika trålen. Därtill är provtrålningarna begränsade i tid och antalet stora fiskar är jämförelsevis litet. De stora fiskar som registreras genom ekolodningen har därför antagits vara torsk och lax med stöd av den kunskap som finns om detta område i Östersjön.

Artsammansättning och relativ andel av respektive art varierar framför allt mellan olika tider på året. Vid några tillfällen noterades även mindre variation mellan områden vid samma undersökningstillfälle (bilaga 8). För området som helhet över hela undersökningsperioden dominerade skarpsill. Sill förekom regelbundet men i mindre antal. Spigg var periodvis mycket talrik men kunde saknas helt vid andra tillfällen.

**Tabell 2. Sammanfattade statistiska resultat från jämförelse av fisktäthet mellan områden (PERMANOVA) och enskilda faktorer relativa samband med fiskarnas fördelning (generell additiv modellering, GAM). Hydroakustiska data för fisktäthet, indelat i fyra olika storleksgrupper, dels från ett område med vindkraftverk och två referensområden (Utgr 2 och Ref) och dels över fiskarnas fördelning i respektive område (östra/västra sidan eller på grundryggen).**

STORLEKSGRUPP	Variabel	df	PERMANOVA	GAM	Faktor	Pr
				p		
30-80 mm (spigg, årsyngel)	Pos	2	0,4362	0,4240	Väst	0,1932
					Grundrygg	0,8227
	Omr	2	<b>0,0304</b>	<b>0,0270</b>	Utgr 2	0,6214
					Ref	0,0403
80-140 mm (skarpsill, liten sill)	Pos	2	0,6650	0,6050	Väst	0,3270
					Grundrygg	0,9070
	Omr	2	<b>0,0176</b>	<b>0,0166</b>	Utgr 2	0,1210
		2			Ref	0,1820
140-250 mm (vuxen sill)	Pos	2	0,7814	0,8357	Väst	0,5889
					Grundrygg	0,8355
	Omr	2	<b>0,0066</b>	<b>0,0074</b>	Utgr 2	0,2059
					Ref	0,0594
>250 mm	Pos	2	0,5824	0,6360	Väst	0,6590
					Grundrygg	0,3810
	Omr	2	0,4268	0,4140	Utgr 2	0,2710
					Ref	0,2340

**Tabell 3. Storleksfördelning för fisk fångad vid trålning i områdena Vindpark, Utgrunden 2 och Referens i Kalmar Sund 2005-2006. Sammanlagt 12 tråltillfällen, antal justerade för fiskeansträngning.**

Längd (mm)	Sill	Skarpsill	Spigg	Övriga
20			28	0
30	3		305	37
40		14	1099	34
50		5	1322	
60	23	49	444	
70		551	81	
80		289	10	
90	10	1708		
100	43	7998		3
110	93	3542		
120	249	1146		2
130	203	410		
140	240	16		2
150	277			
160	357			2
170	259			
180	117			
190	12			8
200	54			
210	57			
220	9			
230				3

## Delstudie 2

Fiskdensitet uttryckt i antal spår/10 min. analyserades i relation till rotorhastighet och elproduktion (tabell 4). I majundersökningen visade små fiskar (30-80 och 80-140 mm) likartade tendenser till ökat antal spår med ökande rotorhastighet. Efter att rotorhastigheten nådde ca 6 rpm sågs en motsatt effekt (tabell 4). Elproduktion visade en näst intill motsatt effekt med en U-formad kurva för både <80 och 80-140 mm fisk, vilka nådde ett minimum vid ungefär 600 kW. Under september ökade tätheten av små fiskar (30-80 mm) med ökande rotorhastighet och elproduktion (åtminstone upp till 600 kW). Under maj månad visade varken rotorhastighet eller elproduktion någon signifikant effekt på abundans av 140-250 mm fisk (tabell 4). Det samma gällde något mindre fiskar (80-140 mm) i september. 140-250 mm fisk under denna månad visade å andra sidan minskande tätheter med ökande rotorhastighet med ett minimum vid ca 13 rpm och sedan en viss ökning igen med ökande hastighet. Elproduktion hade ingen signifikant effekt på denna fiskstorlek i september. De största fiskarna (>250 mm), ökade i antal med ökande elproduktion, nådde ett maximum vid ca 1000 kW och minskade sedan något. Rotorhastighet visade inte på någon signifikans (tabell 4). I september mins-



kade antalet stora fiskar (>250 mm) nästan linjärt med ökande rotorhastighet. För elproduktionen minskade antalet fisk ner till ca 800 kW och sedan en viss tendens till ökning med ökande elproduktion (tabell 4).

**Tabell 4. Sammanfattade statistiska resultat från generell additiv modellering (GAM) av fisktäthet (antal fiskspår/10 min (Y1) kompenserat för ljudkägans form jämfört med rotorhastighet (rpm; modell  $Y1 \sim 1+s(\text{Rotor rpm}, k=4)$  och elproduktion (effekt kW; modell  $Y1 \sim 1+s(\text{Effekt kW}, k=4)$ ) från undersökning mellan 23 april och 7 maj, samt mellan 17 september och 2 oktober 2009. Hydroakustiska data för fisktäthet är indelat i fyra storleksgrupper. För exakt modellerad kurva - se bilagor 9-10.**

Storleksgrupp	Förklarande variabel	df	Respons-kurva	p	R <sup>2</sup> (adj.)	Förklarad avvikelse
APRIL – MAJ 2009						
30-80 mm (stubb)	Rotorhastighet	184	Uppochnedvänd-U	<b>&lt;0,001</b>	0,172	18,6%
	Elproduktion	184	U	<b>&lt;0,001</b>	0,097	10,9%
80-140 mm (skarpsill, liten sill)	Rotorhastighet	164	Uppochnedvänd-U	<b>&lt;0,001</b>	0,257	27%
	Elproduktion	164	U	<b>&lt;0,001</b>	0,163	17,6%
140-250 mm (vuxen sill)	Rotorhastighet	246	ns	0,748	-0,004	0,047%
	Elproduktion	264	ns	0,247	-0,017	2,8%
>250 mm (torsk)	Rotorhastighet	218	ns	0,074	0,028	3,6%
	Elproduktion	218	Uppochnedvänd-U	<b>0,029</b>	0,044	5,56%
SEPTEMBER – OKTOBER 2009						
30-80 mm (stubb, årsyngel)	Rotorhastighet	533	Ökande	<b>&lt;0,001</b>	0,082	8,4%
	Elproduktion	533	Ökande	<b>&lt;0,001</b>	0,085	8,95%
80-140 mm (skarpsill, liten sill)	Rotorhastighet	418	ns	0,585	0,002	0,59%
	Elproduktion	418	ns	0,398	0,001	0,43%
140-250 mm (vuxen sill)	Rotorhastighet	539	U	<b>&lt;0,001</b>	0,072	7,6%
	Elproduktion	539	ns	0,276	0,005	0,78%
>250 mm (torsk)	Rotorhastighet	313	Minskande	<b>&lt;0,001</b>	0,087	9,3%
	Elproduktion	313	U	<b>0,010</b>	0,037	4,3%

Tabell 5. Sammanfattade statistiska resultat från generell additiv modellering (GAM) av fiskars simhastighet (m/s) jämfört med fisklängd (cm), elproduktion (effekt kW) och avstånd från vindkrafts fundament (m; modell  $Y1 \sim 1 + s(\text{fisklängd cm, } k=3) + s(\text{effekt kW, } k=3) + s(\text{avstånd från fundament m, } k=3)$ ) från undersökningar mellan 23 april och 7 maj, samt mellan 17 september och 2 oktober 2009. Hydroakustiska data för simhastighet, indelat i fyra storleksgrupper. För exakt modellerad - se bilaga 11.

Storleksgrupp	Förklarande variabel	Respons kurva	p-variabel	df	p-modell	R <sup>2</sup> (adj.)	Förklarad avvikelse
APRIL – MAJ 2009							
<b>30-80 mm (stubb)</b>	Fisklängd	Ökande	<0,001	1402	<0,001	0,242	24,4%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>80-140 mm (skarsill, liten sill)</b>	Fisklängd	ns	0,235	705	<0,001	0,294	29,9%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>140-250 mm (vuxen sill)</b>	Fisklängd	ns	0,667	1091	<0,001	0,311	31,3%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>&gt;250 mm (torsk)</b>	Fisklängd	ns	0,110	1009	<0,001	0,221	22,4%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
SEPTEMBER – OKTOBER 2009							
<b>30-80 mm (stubb, årsyngel)</b>	Fisklängd	Uppochnedvänd-U	<0,001	1607	<0,001	0,099	10,2%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Uppochnedvänd-U	<0,001				
<b>80-140 mm (skarsill, liten sill)</b>	Fisklängd	Ökande	<0,001	1118	<0,001	0,164	16,7%
	Elproduktion	U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Uppochnedvänd-U	<0,001				
<b>140-250 mm (vuxen sill)</b>	Fisklängd	ns	0,198	2999	<0,001	0,290	29,2%
	Elproduktion	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Uppochnedvänd-U	<0,001				
<b>&gt;250 mm (torsk)</b>	Fisklängd	ns	0,767	1028	<0,001	0,222	22,4%
	Elproduktion	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	ns	0,532				

Tabell 6. Sammanfattade statistiska resultat från generell additiv modellering (GAM) av fiskars simhastighet (m/s) jämfört med fisklängd (cm), rotorhastighet (rpm) och avstånd från vindkrafts fundament (m; modell  $Y1 \sim 1 + s(\text{fisklängd cm, } k=3) + s(\text{rotorhastighet rpm, } k=3) + s(\text{avstånd från fundament m, } k=3)$ ) från undersökning mellan 23 april och 7 maj, samt mellan 17 september och 2 oktober 2009. Hydroakustiska data för simhastighet, indelat i fyra olika storleksgrupper. För exakt modellerad kurvans form se bilaga 12.

Storleksgrupp	Förklarande variabel	Respons kurva	p-variabel	df	p-modell	R <sup>2</sup> (adj.)	Förklarad avvikelse
APRIL – MAJ 2009							
<b>30-80 mm (stubb)</b>	Fisklängd	Ökande	<b>&lt;0,001</b>	1402	<b>&lt;0,001</b>	0,228	23%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>80-140 mm (skarpsill, liten sill)</b>	Fisklängd	Minskande	<b>0,045</b>	705	<b>&lt;0,001</b>	0,273	27,8%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>140-250 mm (vuxen sill)</b>	Fisklängd	ns	0,697	1091	<b>&lt;0,001</b>	0,272	27,5%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>&gt;250 mm (torsk)</b>	Fisklängd	ns	0,243	1009	<b>&lt;0,001</b>	0,194	19,8%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
SEPTEMBER – OKTOBER 2009							
<b>30-80 mm (stubb, årsyngel)</b>	Fisklängd	uppochnedvänd-U	<b>&lt;0,001</b>	1607	<b>&lt;0,001</b>	0,107	11,1%
	Rotorhast	Minskande / U	<0,001				
	Avstånd från fundament	Uppochnedvänd-U / ökande	<0,001				
<b>80-140 mm (skarpsill, liten sill)</b>	Fisklängd	Ökande	<b>&lt;0,001</b>	1118	<b>&lt;0,001</b>	0,199	20,1%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Ökande	<0,001				
<b>140-250 mm (vuxen sill)</b>	Fisklängd	ns	0,196	2999	<b>&lt;0,001</b>	0,292	29,4%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	Uppochnedvänd-U	<0,001				
<b>&gt;250 mm (torsk)</b>	Fisklängd	ns	0,641	1028	<b>&lt;0,001</b>	0,243	23,7%
	Rotorhast	Minskande	<0,001				
	Avstånd från fundament	ns	0,650				

Generell additiva modeller (GAM) användes för att undersöka hur fiskars simhastighet, fisklängd, avstånd från ekolodssvängaren och själva vindkraftverket påverkas av elproduktion. Dessa analyser visade att simhastigheter för alla fiskstorlekar minskar både vår och höst med ökande elproduktion och rotorhastighet. Dock visade fiskar 30-80 mm och 80-140 mm svagare trender i maj med en mer U-formade responser (tabell 5). Fisklängd hade en positiv effekt på simhastighet i nästan alla fall (tabell 5 och 6) utom för 80-140 mm fisk i september i modeller med rotorhastighet (tabell 6). p-värdena i dessa fall var dock relativt höga (0,045). Simhastighet ökade med avstånd från fundamentet under både vår och höst för alla fiskstorlekar förutom de allra största (>250 mm) när dessa modellerades med både elproduktion och rotorhastighet (tabell 5 och 6).

I april fångades 7 fiskarter i nät (bilaga 13). Oxsimpa var den dominerande arten. Förekomst av rötsimpa, sand/lerstubb, sill och torsk var snarlik sinsemellan. De minsta fiskarna (30-80 mm) representerades av sand/lerstubb. Oxsimpa, skarpsill och liten torsk utgjorde den mellanstora gruppen (80-140 mm). Större fisk (140-250 mm), bestod av sill och tånglake medan de allra största fiskarna (>250 mm) utgjordes av rötsimpa och torsk (bilaga 14). Under september månad var sill den vanligaste fisken i nätfångsterna (81 % av totalfångst) och intressant nog var en del lekmogna. 80-140 mm fiskar utgjordes av oxsimpor och svart smörbult. 140-250 mm gruppen bestod av enbart sill medan fisk >250 mm bestod av enbart torsk (bilaga 15).

## Diskussion

Denna studie planerades ursprungligen i s.k. ”BACI” design och genomfördes i syfte att studera det pelagiska fisksamhällets eventuella reaktioner på förändring av habitat och ljud alstrat av vindkraftverk i ett område (Utgrunden 2) före och efter att vindkraftverk byggts och tagits i drift. Som referensområde valdes ett närliggande redan utbyggt område (Utgrunden 1, Vindpark) och ett mer avlägset område (Referens) som antogs inte vara berört av ljud från befintliga och planerade vindparker, och som inte ingick i planering för framtida utbyggnad av vindkraft. Under projektiden beslutade tillståndshavaren, kraftbolaget Eon, att inte bygga ut Utgrunden 2 som tidigare uppgivits. Analys av data insamlade under projektets första fas (delstudie 1) och rapportering har därför fått anpassas till dessa nya förutsättningar och har inriktats på jämförelse av fisktäthet mellan områdena och på att identifiera eventuella viktiga faktorer för fördelning av fisk av olika storlekar mellan det redan utbyggda området Utgrunden 1 (Vindpark) och områdena Utgrunden 2 och Referens.

Det kan noteras från mätningarna gjorda av Lindell & Rudolphi (2003) och teori avseende ljudets utbredning och absorption i vatten att målarter för studien som sill och torsk kan förväntas uppfatta ljud, som alstras av turbinerna vid Utgrunden 1 (Vindpark), även i stora delar av området Utgrunden 2. I området Referens beräknades ljudstyrkan från vindparken ha avtagit till avsevärt under 75 dB, det vill säga under hörselnivå för nämnda fiskarter (figur 1). Lindell & Rudolphi (2003) rapporterade att det högsta ljudtrycket uppstår vid höga vindhastigheter (11-14 m/s). Sigray m.fl. (2009) visade dock senare i sina undersökningar av partikelacceleration högsta nivåer redan vid 5,5-6 m/s. Denna skillnad ev. kan förklaras av ett byte av växelådor mellan studierna (Andersson 2011). Detta betyder i så fall att de högsta ljudnivåerna produceras redan vid måttliga vindhastigheter så som observerades av Sigray m.fl. (2009). Undersökningarna av fisktäthet med ekolodning och trålning kunde genomföras vid vindstyrka på högst 6-8 m/s, men ofta var vindstyrkan lägre (tabell 1). Publicerade sammanfattande jämförelser visar att vindkraftverken vid Utgrunden, vid tiden för ljudmätningarna som genomfördes av Lindell & Rudolphi (2003), producerade ljud som låg över genomsnittet av undersökta anläggningar (t ex Madsen m. fl. 2006).

Vindparker vid stora utsjögrund kan omfatta olika stora delar av hela området. Tar man hänsyn till ljudets spridning utanför själva vindparken blir området ytterligare något större. Utgrunden är geografiskt ett jämförelsevis litet område. Med befintliga vindkraftverk på Utgrunden 1 (Vindpark) sprids ljud som kan höras av flera fiskarter, som sill, skarpsill och torsk, över hela utsjögrundområdet Utgrunden.

Flera studier har noterat högre koncentrationer av enskilda småvuxna fiskarter, som till exempel sjustrålig smörbult, i omedelbar närhet av fundamenten (Wilhelmsson m fl. 2006a, Wilhelmsson & Malm 2008, Andersson m fl. 2007a). Orsaken till att dessa arter inte fångades är att provtrålningarna i område Vindpark av säkerhetsskäl genomfördes på relativt stort avstånd

(ca 1 km) och nätprovfiskena var förlagda minst 20 m från fundamenten. För jämförbarhet genomfördes trålningarna på motsvarande avstånd även vid områdena Utgrunden 2 och Referens där vindkraftverk saknas. Ekolodningstransekterna (delstudie 1) passerade fundamenten på några hundra meters avstånd från fundamenten. Analys av data från den horisontella ekolodningen (delstudie 2) exkluderade de första två metrarna (teknisk närgräns för utrustningen). Det är inte undersökt om och i så fall hur långt från fundamenten till exempel sjustrålig smörbult beger sig nattetid, men det får nog hållas som osannolikt att de skulle förekomma i större mängder på mer än några meters avstånd från fundamenten på natten. Sjustrålig smörbult ingår därför inte vid analys av ekon från mindre fiskar. Bottenlevande fisk som oxsimpor, rötsimpor och smörbultar registreras inte med hjälp av ekolodning. I hydroakustiska data konstaterades därför att ekon från fiskar i storleksgruppen 30-80 mm huvudsakligen representerades av spigg och endast enstaka stubb och, under sensommaren, årsyngel av sill, skarpsill. De senare antogs till stor del transporteras passivt i ett område som Kalmar Sund med starka strömmar emedan vuxen spigg kan välja sitt habitat.

Storspiggens (*Gasterosteus aculeatus*) reaktioner på ljud från vindkraftverk har undersökts för olika frekvenser och ljudstyrkor bl a med inspelat ljud från området Utgrunden 1 (Vindpark; Andersson m fl. 2007b). Studien fann att storspigg reagerar på lågfrekvent ljud med några typer av beteenden som vid andra beteendestudier av fisk förknippats med stress på grund av närvaro av predatorer eller annan störning. Reaktionerna var kraftigast omkring den frekvens som är mest ljudstark vid vindparken (178 Hz; Lindell & Rudolphi 2003, Sigray m fl. 2009).

Med stöd av tidigare studier om fiskars hörsselförmåga (se exempel figur 1) kan antas att sill och torsk hör ljud som alstras av vindkraftverken vid området Utgrunden 1 både i detta område och i stora delar av området Utgrunden 2. Det är inte känt om skarpsill hör till gruppen så kallade hörselspecialister som till exempel sill. Enger (1967) föreslog att fiskar i familjen *Clupeidae*, dit både sill och skarpsill hör, generellt kan betraktas ha särskild känslighet för ljud. Man kan anta att skarpsill har en hörsselförmåga åtminstone motsvarande den hos andra fiskar med simblåsa. Lax har enligt tidigare studier (figur 1) bäst hörsselförmåga vid den frekvens som ger högsta ljudnivå vid vindparken, men är mindre känslig för ljud än till exempel torsk och sill. Lax antas därför i huvudsak kunna höra ljud från vindkraftverken i området Vindpark. Enligt Sand m fl. (2008) skulle man kunna förvänta sig att potentiell bytesfisk som spigg, sill och skarpsill skulle undvika områden med lågfrekvent ljud som skulle kunna komma från, eller möjligen dölja, predatorer som till exempel torsk eller lax. Andra studier har visat att lågfrekvent ljud från båtar/båtmotorer kan attrahera mindre fiskar (t ex Röstad m fl. 2006). En studie av Lillieholm (2007) genomfördes i Kalmar Sund för att studera hur fisk i områdena aktuella i denna studie reagerade på lågfrekvent ljud från båtmotor (drivande båt). Resultaten visade att fisk området Vindpark attraherades till båten då motorn startades. I det längre bort belägna referensområdet reagerade fisk

undvikande när fisken befann sig grunt vatten (14 m) och på djupare vatten iaktogs ingen statistiskt säker reaktion.

I delstudie 1 användes inledningsvis alla hydroakustiska data (fisktäthet och djup) från parallella transekter (bilaga 2) tillsammans med flera faktorer som antogs betydelsefulla (område, avstånd till vindkraftverk, botten lutning och position relativt det grundaste partiet). Faktorerna bearbetades i en modell (GAM). Vid analys av resultaten visade flera av dessa faktorer hög grad av rumslig autokorrelation. Med anledning av detta gjordes ett alternativt urval av hydroakustiska data i avsikt att minska autokorrelationen (bilaga 2). Dessa data bearbetades på nytt i en modell (GAM) med faktorerna (i) område (Area) och (ii) position (Location) relativt grundryggen.

Delstudie 1 visade att fisktätheten skiljde sig åt signifikant mellan de tre områdena för fiskar <250 mm (figur 2, tabell 2), vilket i denna del av Östersjön motsvarar i stort sett all pelagisk fisk förutom vuxen torsk och lax. De högsta tätheterna av fisk <250 mm fanns genomgående i området Referens. Området Vindpark hade den högsta uppmätta fisktätheten för gruppen stora fiskar (>250 mm, figur 2). Statistiskt skiljde sig dock inte mängden stora fiskar mellan de tre undersökta områdena (tabell 2). Antalet stora fiskar är avsevärt färre än antalet fiskar i de mindre storleksgrupperna, vilket kan vara en orsak till att jämförelsen mellan områden för gruppen stor fisk blir statistiskt mer osäker. Sand m fl. (2008) hävdade att predatorer som torsk och lax kan attraheras till områden med lågfrekvent ljud vid födosök. Området Utgrunden 2 hade oftast den lägsta fisktätheten. Detta kan bero på naturliga orsaker men möjligheten kvarstår att ljud från vindkraftverken kan få en del fiskar att undvika ett område och andra att attraheras.

För fisk i den minsta storleksgruppen, dvs. huvudsakligen storspigg och säsongsvist årsyngel av skarpsill/sill, angav GAM Område och faktorn Referens som signifikant förklaring till skillnaden i fisktäthet (tabell 2). Även för storleksgrupperna 80-140 mm och 140-250 mm, dvs. skarpsill/liten sill respektive vuxen sill, angavs Område som förklaring till skillnad i fisktäthet men med svagt stöd för faktorn Referens endast för den senare storleksgruppen (tabell 2). Position (östra/västra sidan eller grundryggen), gav inte något signifikant stöd att förklara skillnader i fisktäthet för någon av storleksgrupperna. Orsaken till att undersöka var i respektive område fisken huvudsakligen befann sig var om det skulle visa sig vara skillnader i fisktäthet nära vindkraftverken, dvs. på grundryggen i område Vindpark, jämfört med de övriga två områdena. Så verkar inte vara fallet.

Eftersom denna studie inte kunde genomföras med s.k. BACI design och data om fisktäthet för de tre undersökta och jämförda områdena saknas för tid innan vindkraftverken vid Utgrunden 1 (Vindpark) byggdes och togs i bruk, går det inte att bestämma orsaken till skillnaderna i fisktäthet mellan områdena utan endast konstatera att dessa skillnader förelåg under 2005-2007, d.v.s. under normal drifttid för vindparken.

I delstudie 2 är analyserna av relativ fisktäthet i relation till rotorhastighet och elproduktion (tabell 4) svårtolkade. Data för små fiskar (30-80 mm) från den horisontella ekolodningen visade på motsatta trender vår och höst. Detta beror troligtvis på olika artsammansättning under de två säsongerna. Under våren, uppvisade storleksgrupp 140-250 mm, representerad av vuxen sill, en negativ trend i relation till rotorhastighet, medan elproduktion inte hade någon effekt på förekomst av vuxen sill kring vindkraftverken. Ingen effekt noterades heller under september månad. Varken för rotorhastighet eller elproduktion. Vidare, lekmogen sill fångades på hösten i nät nära vindkraftverket. Stor fisk (>250 mm) bestod till mesta del av rovfisk så som torsk. Mängden torsk på våren visade på en negativ trend med ökande rotorhastighet och elproduktion medan de på hösten ökade med elproduktion. Det senare kan förklaras med att rovfisk som torsk och lax kan attraheras av lågfrekventa ljud vid födosök (Sand m. fl. 2008).

GAM-analyser visade att ökande rotorhastighet och elproduktion i de flesta fall var relaterad med minskande simhastigheter. Detta kan så klart ses som en beteendeförändring hos fisken i respons till ökade ljudnivåer från vindkraftverken. Pearson (1992) t.ex. visade att vissa grupper fisk reagerade på ljud genererat av s.k. airgun genom att ändra djup eller genom att förändra simhastighet. Rotorhastighet och elproduktion, vilka inte visade ett linjärt samband, är emellertid båda starkt korrelerade med vindhastighet (bilaga 16). Det är känt att ökande vindstyrka kan inducera strömmar i grunda områden (t.ex. Davies och Xing 2003). Vissa fiskar (t.ex. sill) måste simma konstant för att upprätthålla sin position i vattnet utan att sjunka/flyta (t.ex. Huse och Ona 1996) eller för att söka föda. I en vattenström kommer därför dessa fiskars simhastighet ofta att minska då de söker att orientera sig mot strömmens riktning och stanna i den. Det är därför svårt att avgöra huruvida de observerade, minskade simhastigheterna beror på vindinducerade strömmar eller ökade ljudnivåer. För att besvara denna fråga skulle en del vindkraftverk (eller helst hela vindkraftsparken) behöva vara avstängd i perioder med varierande vindhastigheter samtidigt som fiskbeteende skulle kunna registreras med ett antal stationära ekolod.



## Tack till personer och institutioner som bidragit

Tack till Kurt-Olof Karlsson med familj, Mathias Andersson och Ellinor Lillieholm. Tack även till projektledaren för Vindval Fisk Lena Bergström samt till Leif Pihl och Magnus Wahlberg som granskat rapporten. Studien finansierades av Kunskapsprogrammet Vindval.

## Referenser

- Aglen, A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied. FAO Fisheries Report 300, pp. 293–298.
- Andersson, M. H. 2011. Offshore wind farms – ecological effects of noise and habitat alteration on fish. Doctoral dissertation. Department of Zoology, Stockholm University.
- Andersson, M. H., Gullström, M., Asplund, M. E. & Öhman, M. C. 2007a. Importance of using multiple sampling methodologies for estimating of fish community composition in offshore wind power construction areas of the Baltic Sea. *Ambio* 36: 634–636.
- Andersson, M., Dock-Åkerman, E., Ubral-Hedenberg, R. & Öhman, M. C. 2007b. Swimming behavior of roach (*Rutilus rutilus*) and Three-spined Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in Response to Wind Power Noise and Single-tone Frequencies. *Ambio* 36:636–638.
- Anonym. 2008. Vindkraftsutredning för Norrbottens kust- och skärgårdsområde. Arbetsutkast för synpunkter november 2008. Luleå, 7 november 2008.
- Balk, H. & Lindem, T. 2008. Sonar4 and Sonar5-Pro Post processing systems. Operator manual version 5.9.7. Balk and Lindem Data Acquisition. Oslo, Norway.
- Bergström, L., Westerberg, H., Olofsson, H., Axenrot, T., och Sköld, M. 2007. Revidering av kunskapsläget för vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden. *Finfo* 2007, 31 s. ISSN 1404-8590.
- Birklund, J. & Leonhard, S. B. 2006. Epibenthic communities. Offshore Wind Farms and the Environment. The Danish Monitoring Programme: Final Results. Konferens abstrakt, 5 s.
- Brickhill, M. J., Lee, S. Y. & Connolly, R. M. 2005. Fishes associated with artificial reefs: attributing changes to attraction or production using novel approaches. *J. Fish Biol.* 67: 53–71.
- Cleveland, W.S. & Devlin, S.J. 1988. Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*, 83: 596–610.
- Davies, A.M., & Xing, J. 2003. Processes influencing wind-induced current profiles in near coastal stratified regions. *Continental Shelf Research*, 23(14-15): 1379–1400.
- Didrikas, T. & Hansson, S. 2004. In situ target strength of the Baltic Sea herring and sprat. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 378–382.
- Egriell, N., Ulmestrand, M., Andersson, J., Lundälv, T., Erlandsson, C., Jonnson, L. & Åhsberg, T. 2006. Hummerrevsprojektet. Konstgjorda rev i

Göteborgs skärgård, delrapport nr 3/4 (år 2002–2005). Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapport 2006:65, 114 s.

Energimyndigheten. 2004. <http://www.energimyndigheten.se/sv/Om-oss/Var-verksamhet/Framjande-av-vindkraft1/Bygga-vindkraftverk-/Riksintresse-vindbruk/>. Citerad 2010-01-21.

Energimyndigheten. 2006. Beslut 2006-01-23: Effekter av havsbaserad vindkraft på fisk (Vindval Fisk).

Enger, P. S. 1967. Hearing in herring. *Comp. Biochem. Physiol.* 22:527–538

Fiskeriverket. 2006. Remissyttrande, Naturvårdsverkets slutredovisning av uppdraget ”Inventering av marina naturtyper på utsjöbankar”. Dnr 10-1948-06.

Foote, K. G. 1982. Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic equipment. *Journal of the Acoustic Society of America*, 71: 742–747.

Foote, K. G., Knudsen, H. P., Vestnes, G., MacLennan, D. N. & Simmonds, E. J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Cooperative Research Report, 144. 69 pp.

Frouzova, J., Kubecka, J., Balk, H., & Frouz, J. 2005. Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters. *Fisheries Research*, 75(1-3):86–96.

Handegard, N.O., Patel, R., & Hjellvik, V. 2005. Tracking individual fish from a moving platform using a split-beam transducer. *Journal of the Acoustical Society of America*, 118(4):2210–2223.

Hastie, T. J. & Tibshirani, R. J. 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall, New York.

Hvidt, C. B., Brüner, L. & Knudsen, F. R. 2005. Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities in Offshore Wind Farms. Horns Rev Offshore Wind Farm Annual Report – 2004.

Hvidt, C. B., Leonhard, S. B., Klausrup, M. & Pedersen, J. 2006. Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities at Offshore Wind Farms. Horns Rev Offshore Wind Farm Annual Report – 2005. 54 s.

Huse, I., & Ona, E. 1996. Tilt angle distribution and swimming speed of overwintering Norwegian spring spawning herring. *ICES Journal of Marine Science*, 53:863–873.

Kubecka, J., & Duncan, A. 1998. Acoustic size vs. real size relationships for common species of riverine fish. *Fisheries Research*, 35(1-2):115–125.

Leonhard, S. B., Hvidt, C., Klausrup, M. & Pedersen, J. 2006. Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities at Offshore Wind Turbine Foundations. Nystedt Offshore Wind Farm at Rødsand. Annual Report – 2005.

- Lillieholm, E. 2007. Pelagic fish reactions to vessel engine noise in offshore wind farm and reference areas. Examensarbete (2007:7) vid Systemekologiska Institutionen, Stockholms Universitet.
- Lindell, H. & Rudolphi, E. 2003. Utgrunden – Havsbaserad Vindkraftspark – Mätning av undervattensbuller. Ingemansson Technology AB, Rapport 11-00329-03012700-sv, 32 s.
- Madsen, P. T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K., & Tyack, P. 2006. Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series*, 300: 279–295.
- Mann, D. A., Higgs, D. M., Tavolga, W. N., Souza, M. J. & Popper, A. N. 2001. Ultrasound detection by clupeiform fishes. *Journal of the Acoustic Society of America*, 109:3048–3054.
- Mulligan, T.J., & Chen, D.G. 2000. Comment on “Can stationary bottom split-beam hydroacoustics be used to measure fish swimming speed in situ?” by Arrhenius et al. *Fisheries Research*, 49(1): 93–96.
- Naturvårdsverket, 2006. Inventering av marina naturtyper på utsjöbankar. Rapport 5576. ISBN 91-620-5576-3.
- Naturvårdsverket, 2010. Undersökning av utsjöbankar: inventering, modellering och naturvärdesbedömning. Rapport 6385. ISBN 978-91-620-6385-6.
- Nedwell, J. & Howell, D. 2003. Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from off-shore wind turbines and its impact on marine wildlife: initial measurements of underwater noise during construction of offshore wind-farms, and comparison with background noise. COWRIE Report No 544 R 0424, 68 s.
- Nedwell, J. & Howell, D. 2004. A review of offshore windfarm related underwater noise sources. COWRIE Report No 544 R 0308, 57 s.
- Occhipinti-Ambrogi, A. & Savini, D. 2003. Biological invasions as a component of global change in marine stressed ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 46: 542–551.
- Onsrud, M., Kaartvedt, S., & Breien, M. 2005. *In situ* swimming speed and swimming behaviour of fish feeding on the krill *Meganyctiphanes norvegica*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* *Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques*, 62(8):1822–1832.
- Peltier, J. 2009. LOESS Smoothing in Excel. Peltier Tech Blog: Excel Charts <http://peltiertech.com/WordPress/loess-smoothing-in-excel/#ixzz1ECdNni3b>
- Popper, A. N. & Fay, R. R. In press. Rethinking sound detection by fishes. *Hearing Research* (2010).
- Röstad, A., Kaartvedt, S., Klevjer, T. A. & Melle, W. 2006. Fish are attracted to vessels. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1431–1437.

Sand, O. & Karlsen, H. E. 1986. "Detection of infrasound by the Atlantic cod," J. Exp. Biol. 125: 197–204.

Sand, O., Karlsen, H. E. & Knudsen, F. R. 2008. Comment on "Silent research vessels are not quiet". Journal of the Acoustic Society of America, 121: 145–150.

Sigray, P., Andersson, M. & Fristedt, T. 2009. Partikelrörelser i vatten vid ett vindkraftverk: akustisk störning på fisk. VINDVAL Rapport 5963-7.

Smith, S. & Westerberg, H. 2003. Kunskapsläget vad gäller den havsbaserade vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden. Finfo 203:2, 24 s. ISSN 1404–8590.

Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R. & Piper, W. 2006. Effects of off-shore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, Hamburg, Germany för COWRIE Ltd. 62 s.

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., Malm, T. & Öhman, M. C. 2006a. The influence of offshore windpower on demersal fish. ICES Journal of Marine Science 63 (5): 775–784.

Wilhelmsson, D., Yahya, S. A. S. & Öhman, M. C. 2006b. Effects of high structures on cold temperate fish assemblage: A field experiment. *Mar. Biol. Res.* 2: 136–147.

Wilhelmsson, D. & Malm, T. 2008. Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. *Estuarine, Coastal & Shelf Science* 79: 459–466.

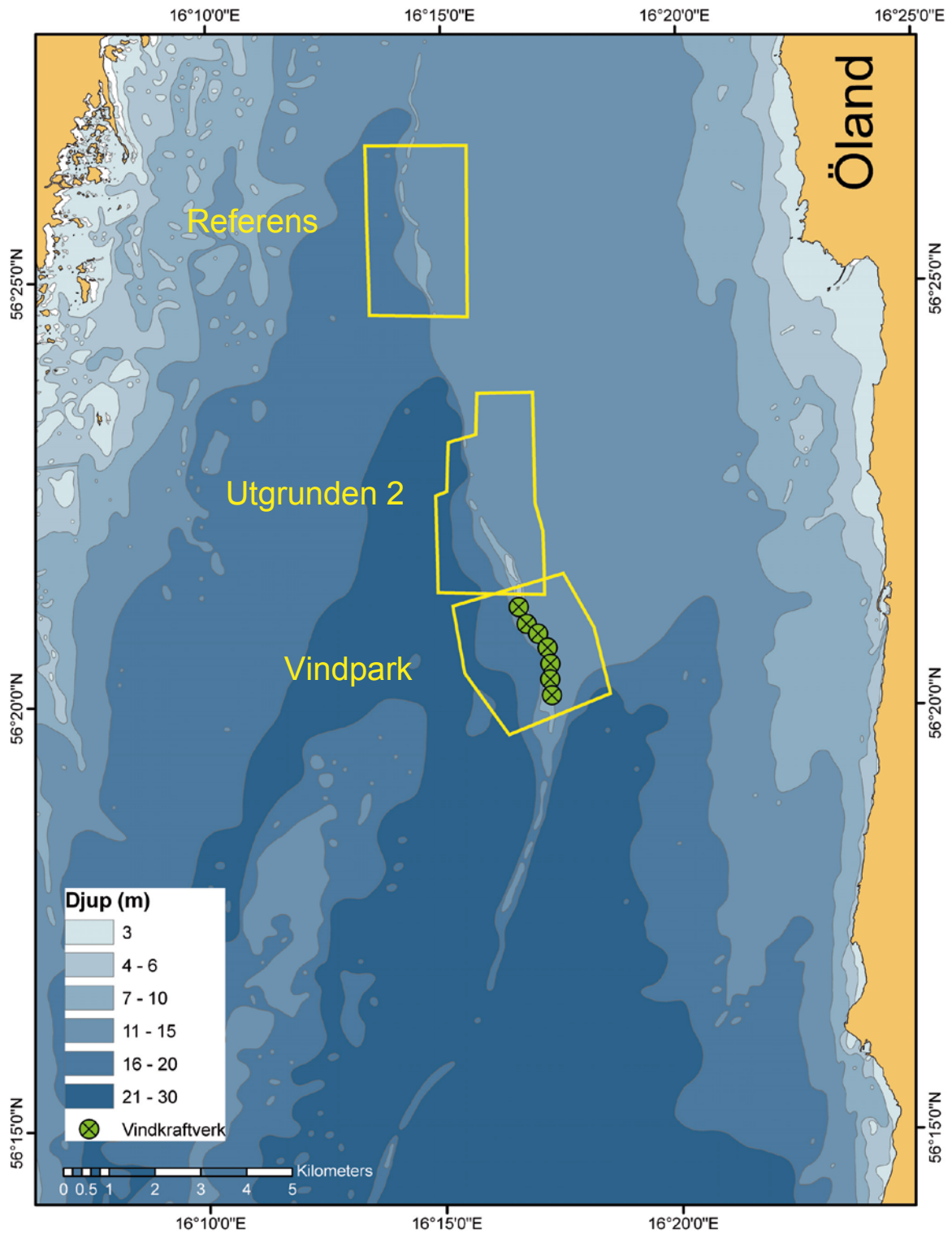
Zucco, C., Wende, W., Merck, T., Köchling, I. & Köppel, J. (Red.). 2006. Ecological research on offshore wind farms: International exchange of experiences (Project No 804 46 001) PART B: Literature review of the ecological impacts of offshore wind farms. Federal Agency for Nature Conservation, Tyskland, 284 s.

Åslund, M., Sarközi, P., Svensson, B., Larsson, M., Sjödin, J-O., Ellegård, A. & Kyläkorpi, L. 2005. Miljöaspekter på havsförlagd vindkraft. Syntesrapport. Elforsk rapport 05:09, 89 s.

Wood, S.N. (2006). Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

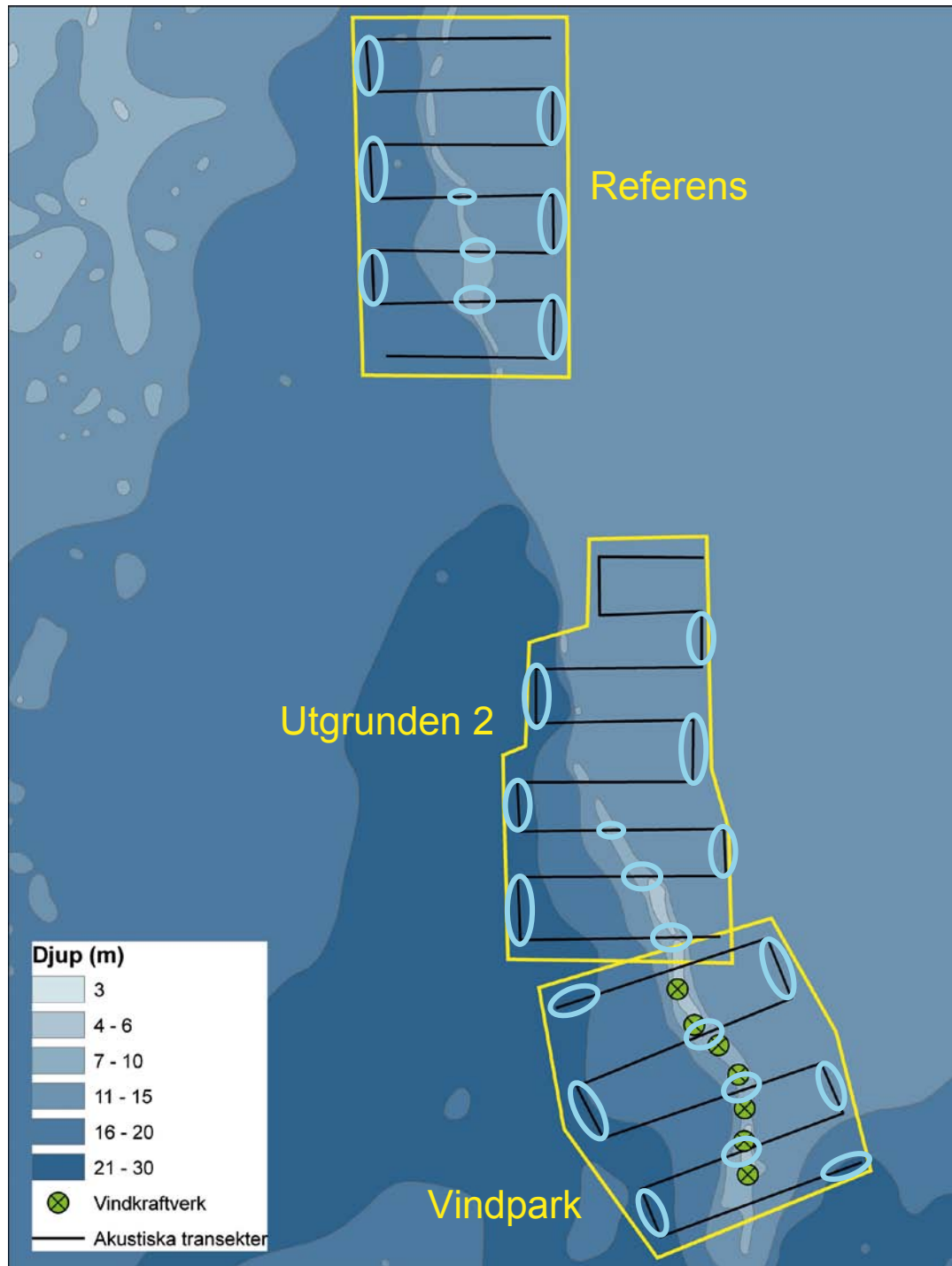
Öhman, M. C. & Wilhelmsson, D. 2005. VINDREV – Havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev: effekter på fisk. Vindforsk, FOI/Energimyndigheten, Rapport, 17 s.

# Bilaga 1



Översiktskarta över södra Kalmar Sund med de områden som ingår i undersökningen.

## Bilaga 2

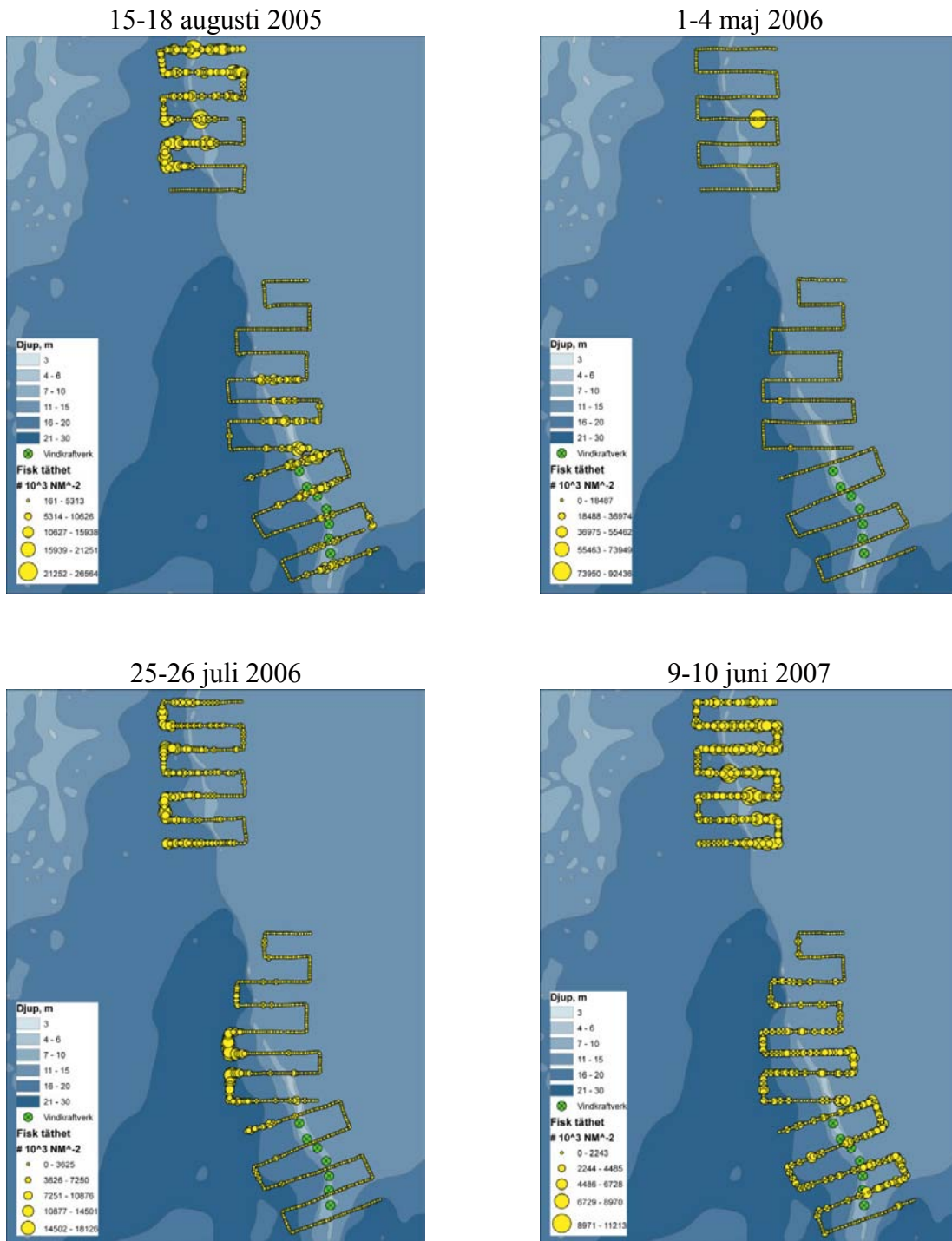


Transekter vid ekolodning i Kalmar Sund 2005–2007. Cirklarna anger de dataområden som valts ut för modellering och statistisk jämförelse av områden.



## Bilaga 3

### Fisk storlek 30-80 mm



Utbredning av fisk i storleksgruppen 30-80 mm vid fyra olika undersökningstillfällen i södra Kalmar Sund.



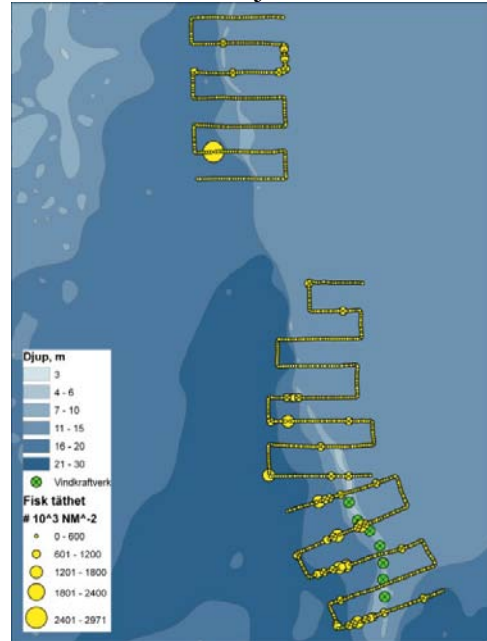
## Bilaga 4

### Fisk storlek 80-140 mm

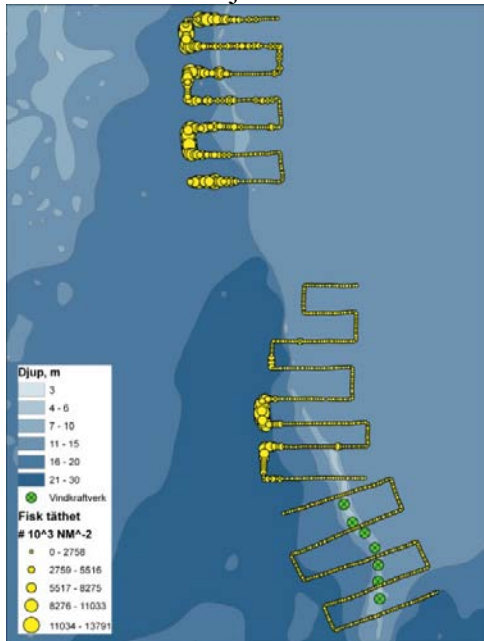
15-18 augusti 2005



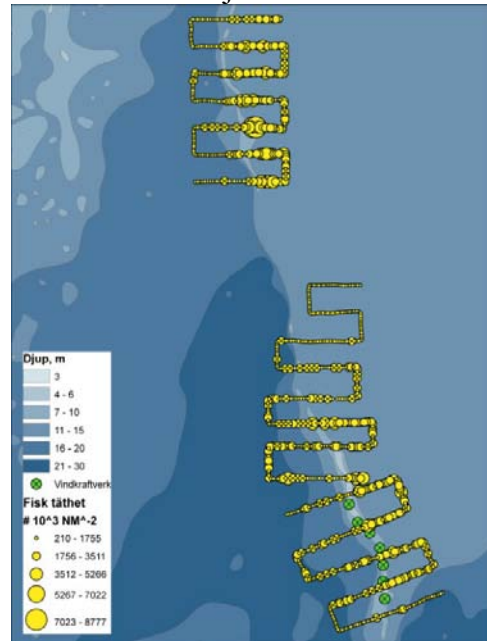
1-4 maj 2006



25-26 juli 2006



9-10 juni 2007

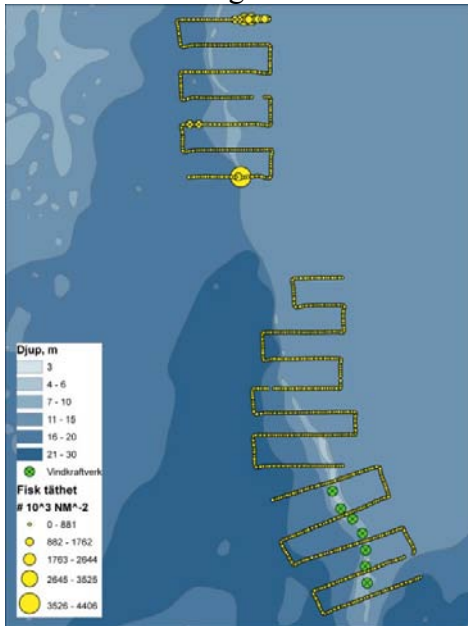


Utbredning av fisk i storleksgruppen 80-140 mm vid fyra olika undersökningstillfällen i södra Kalmar Sund.

## Bilaga 5

### Fisk storlek 140-250 mm

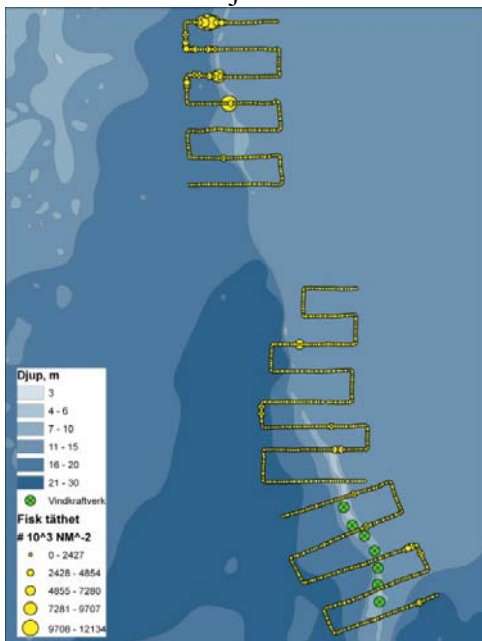
15-18 augusti 2005



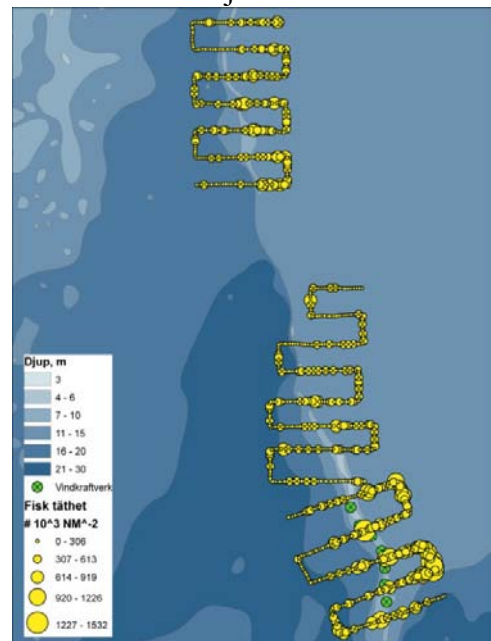
1-4 maj 2006



25-26 juli 2006



9-10 juni 2007

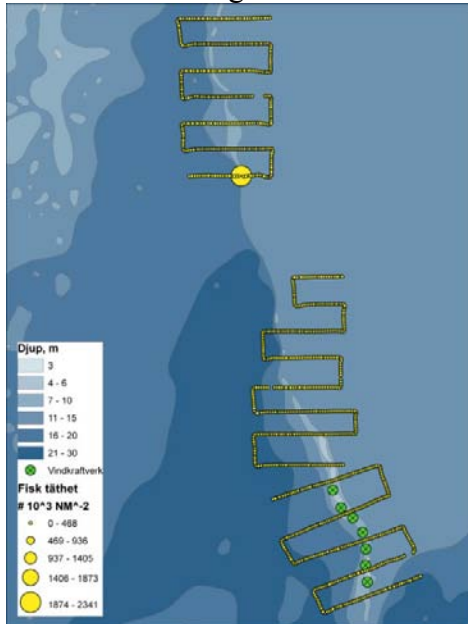


Fördelning av fisk i storleksgruppen 140-250 mm vid fyra olika undersökningstillfällen i södra Kalmar Sund.

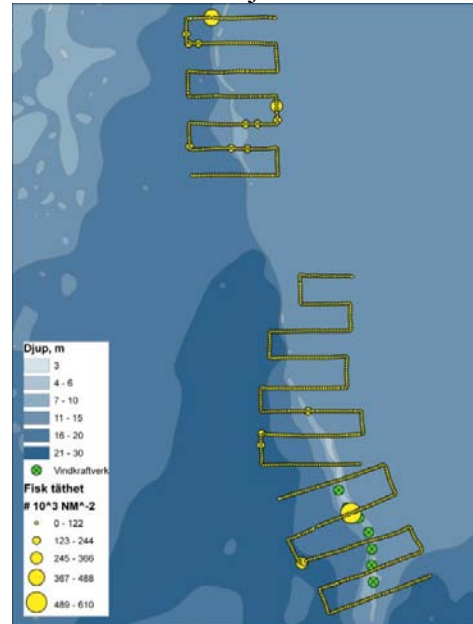
## Bilaga 6

### Fisk storlek > 250 mm

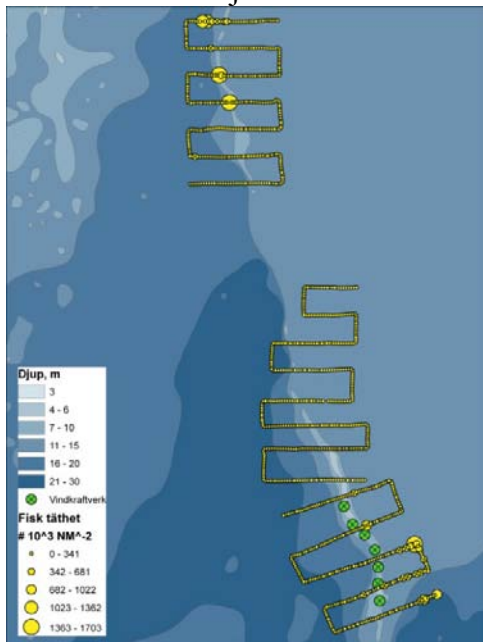
15-18 augusti 2005



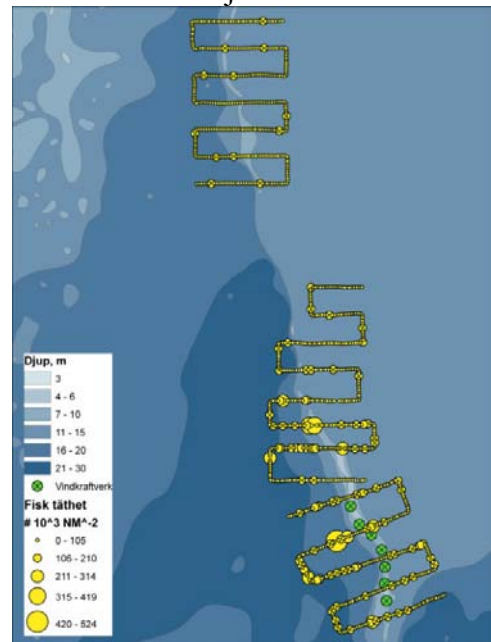
1-4 maj 2006



25-26 juli 2006



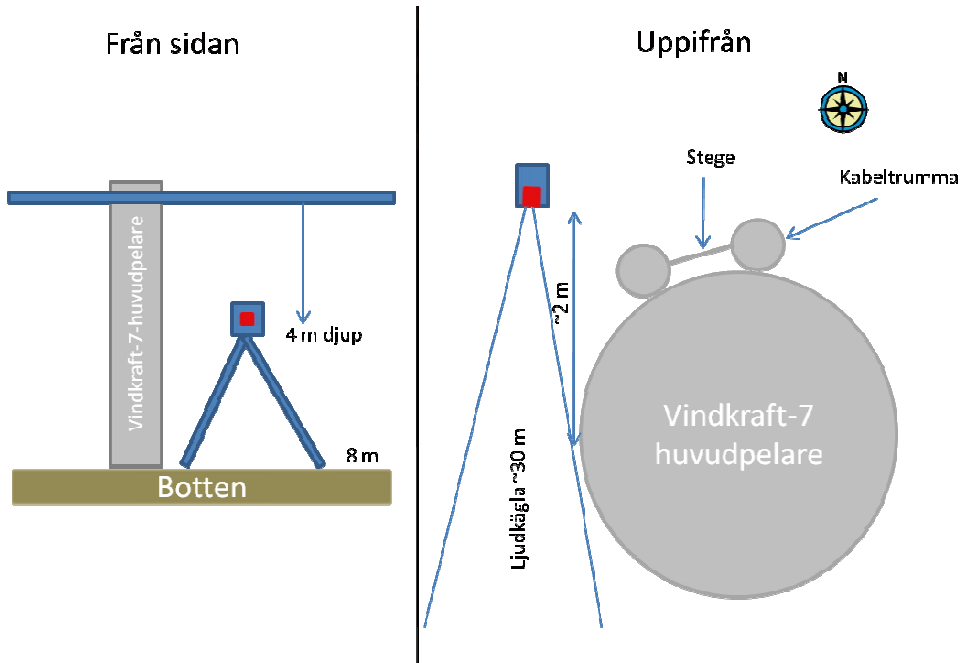
9-10 juni 2007



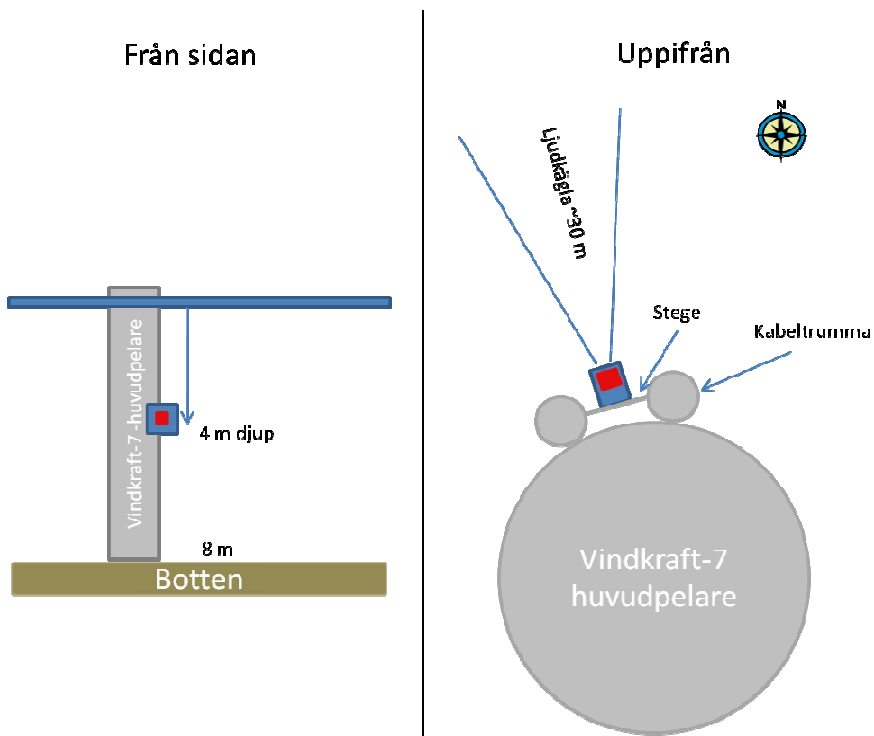
Fördelning av fisk i storleksgruppen >250 mm vid fyra olika undersökningstillfällen i södra Kalmar Sund.

## Bilaga 7

### Ekolodssvängare -montering våren 2009



### Ekolodssvängare -montering hösten 2009

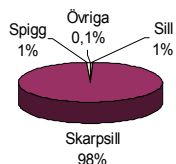


Montering av ekolodssvängare för horisontell övervakning vid delstudie 2.

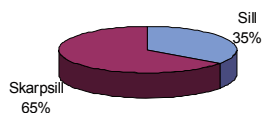
# Bilaga 8

## Vindpark

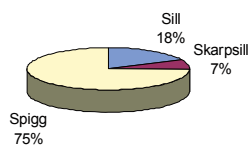
2005-08-18



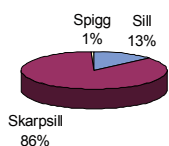
2005-09-26



2006-05-01

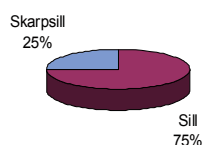


2006-07-26

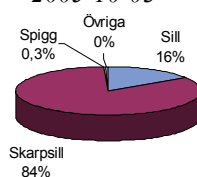


## Utgrunden 2

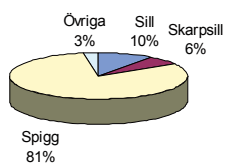
2005-08-17



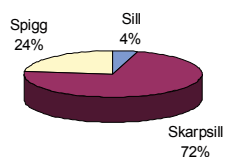
2005-10-03



2006-05-02

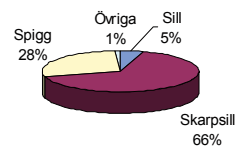


2006-07-26

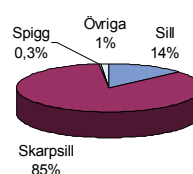


## Referens

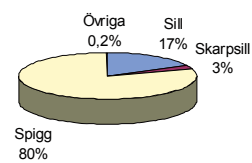
2005-08-15



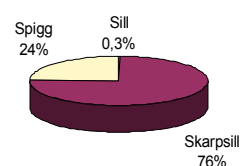
2005-10-04



2006-05-04



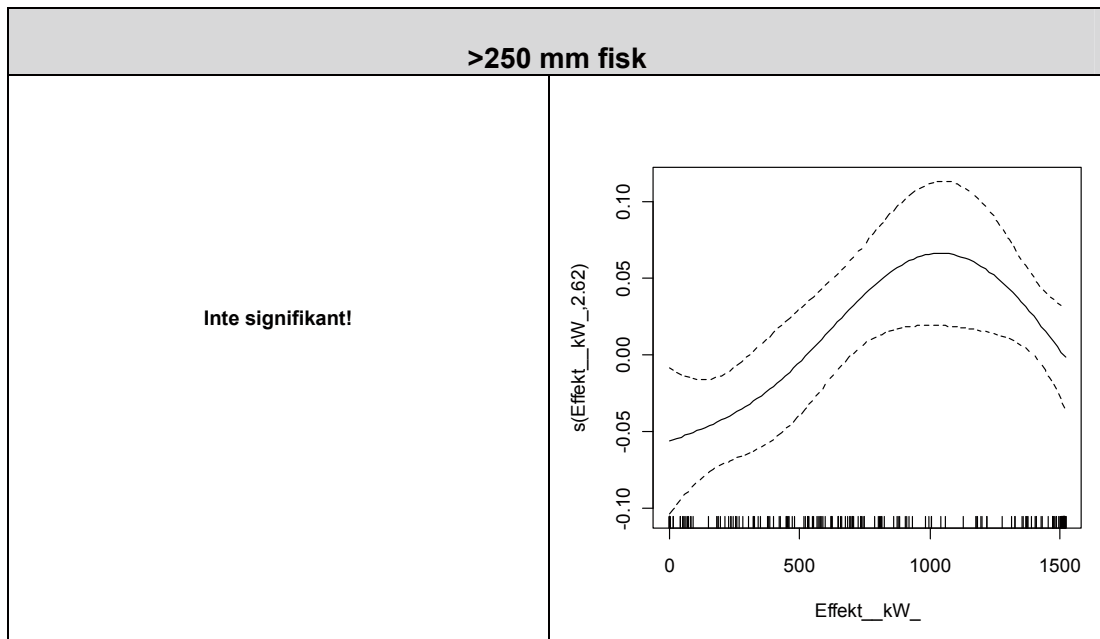
2006-07-25



Artsammansättning i trålfångster vid pelagisk trålning i Kalmar Sund 2005-2006. Procentuell andel i respektive tråldrag. Tråldragen gjordes p.g.a. säkerhetskäl ca 1 km från vindkraftsverken på västra sidan och utfördes på samma avstånd från grundryggen i referensområdena (bilaga 2). Vindstyrkan vid de olika trålningstillfällena framgår av tabell 1.

# Bilaga 9

MAJ 2009	
Förklarande variabel	
Rotorhastighet (rpm)	Elproduktion (effekt, kW)
<b>30 – 80 mm fisk</b>	
<p>s(Rotor_rpm_2.97)</p> <p>Rotor_rpm_</p>	<p>s(Effekt_kW_2.3)</p> <p>Effekt_kW_</p>
<b>80 – 140 mm fisk</b>	
<p>s(Rotor_rpm_2.98)</p> <p>Rotor_rpm_</p>	<p>s(Effekt_kW_2.52)</p> <p>Effekt_kW_</p>
<b>140 – 250 mm fisk</b>	
<b>Inte signifikant!</b>	<b>Inte signifikant!</b>

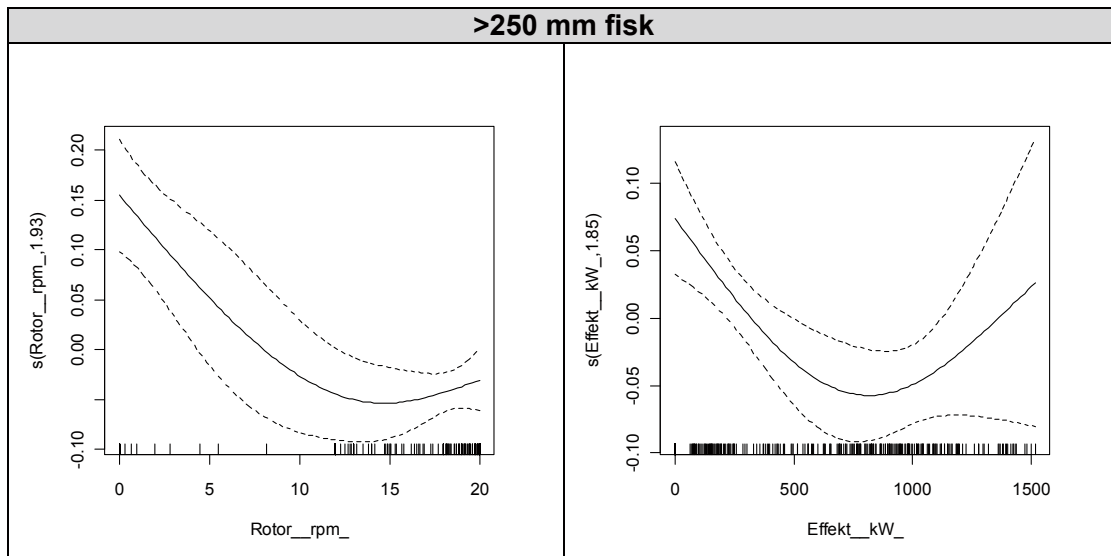


GAM modellering av antal fiskspår/10 min. i den akustiska kompensert för ljudkägglas form är responsvariabel i undersökning mellan 23 april och 7 maj 2009.

# Bilaga 10

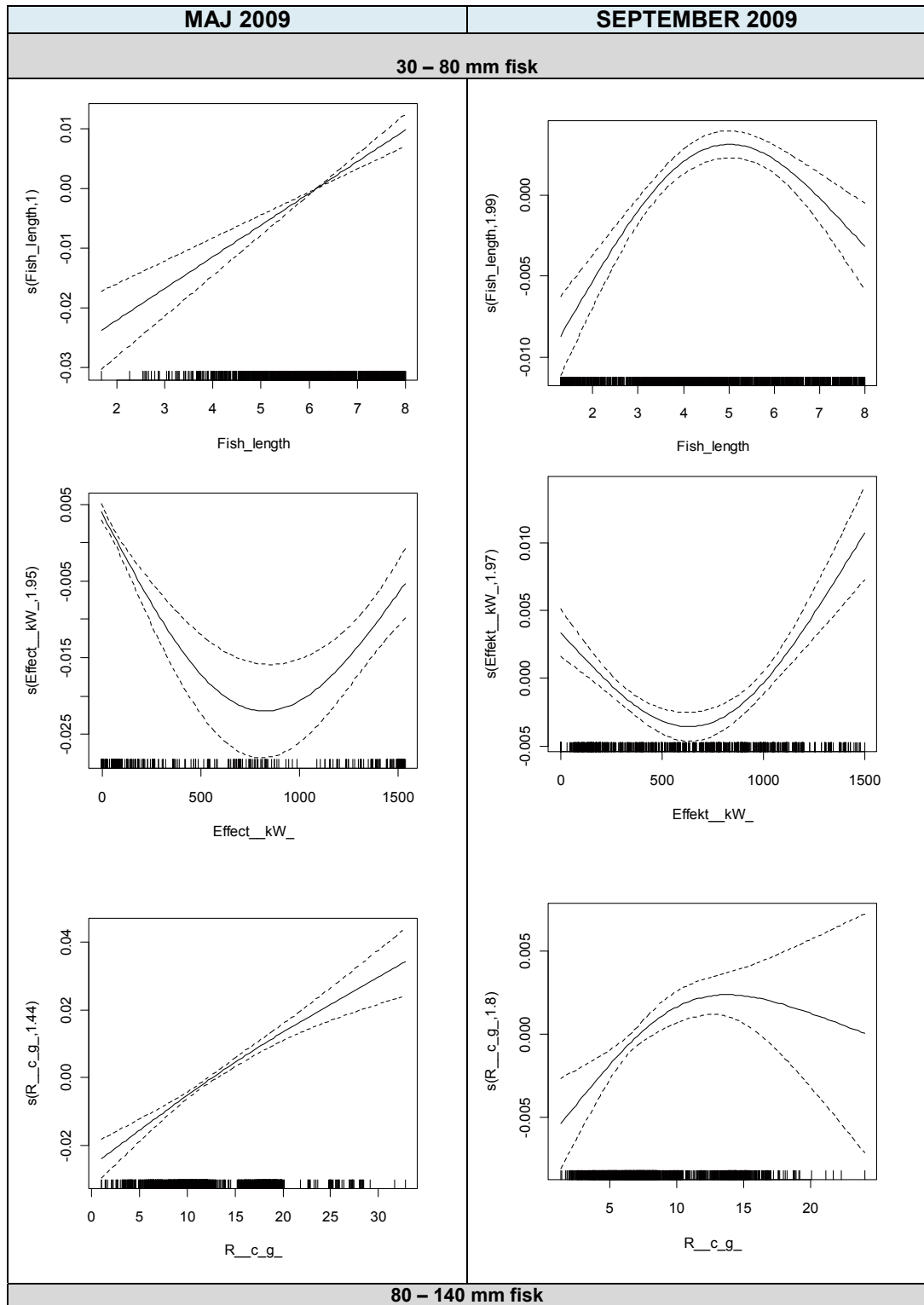
SEPTEMBER 2009	
Förklarande variabel	
Rotorhastighet (rpm)	Elproduktion (effekt, kW)
<b>30 – 80 mm fisk</b>	
<b>80 – 140 mm fisk</b>	
<b>Inte signifikant!</b>	<b>Inte signifikant!</b>
<b>140 – 250 mm fisk</b>	
	<b>Inte signifikant!</b>

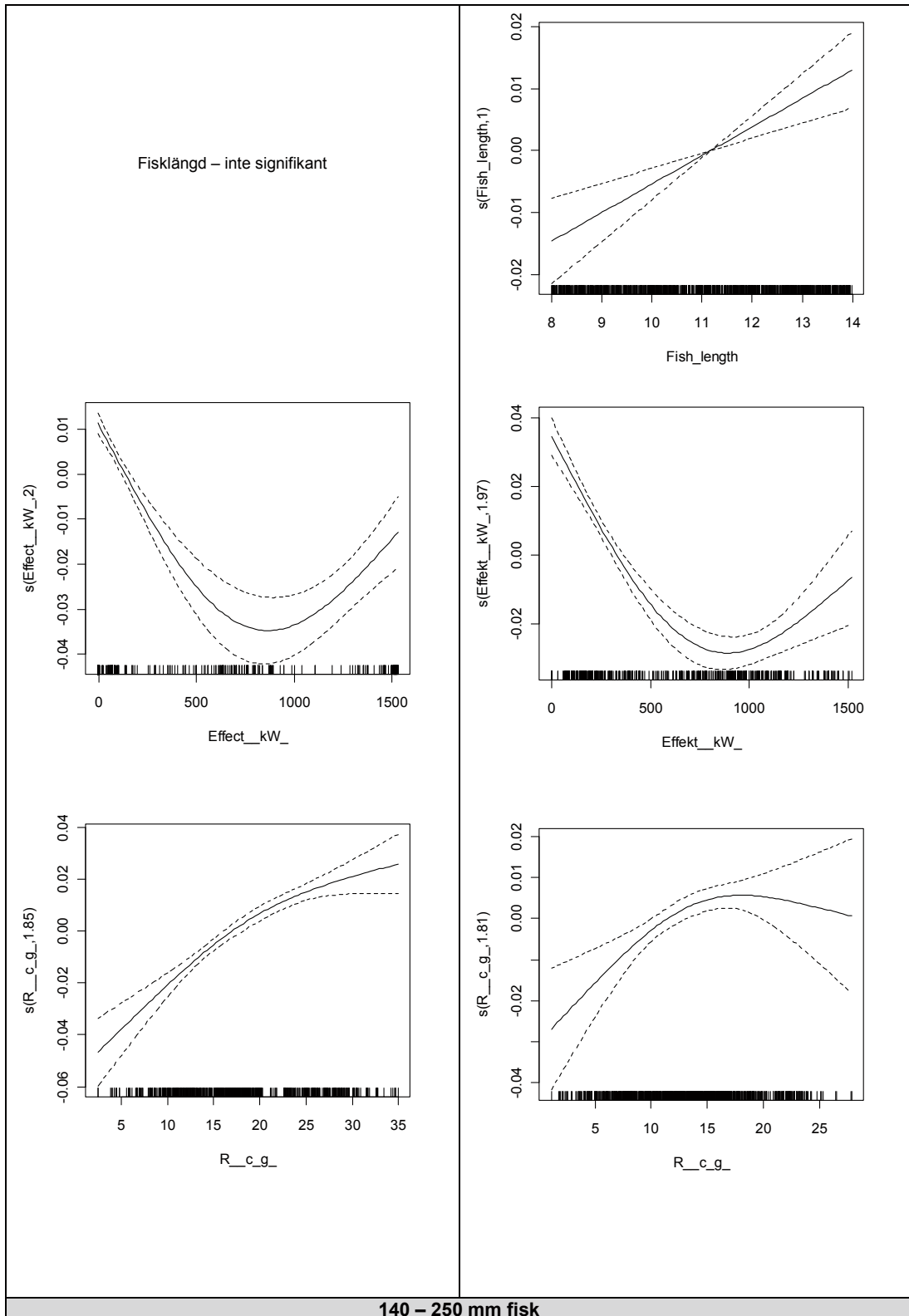


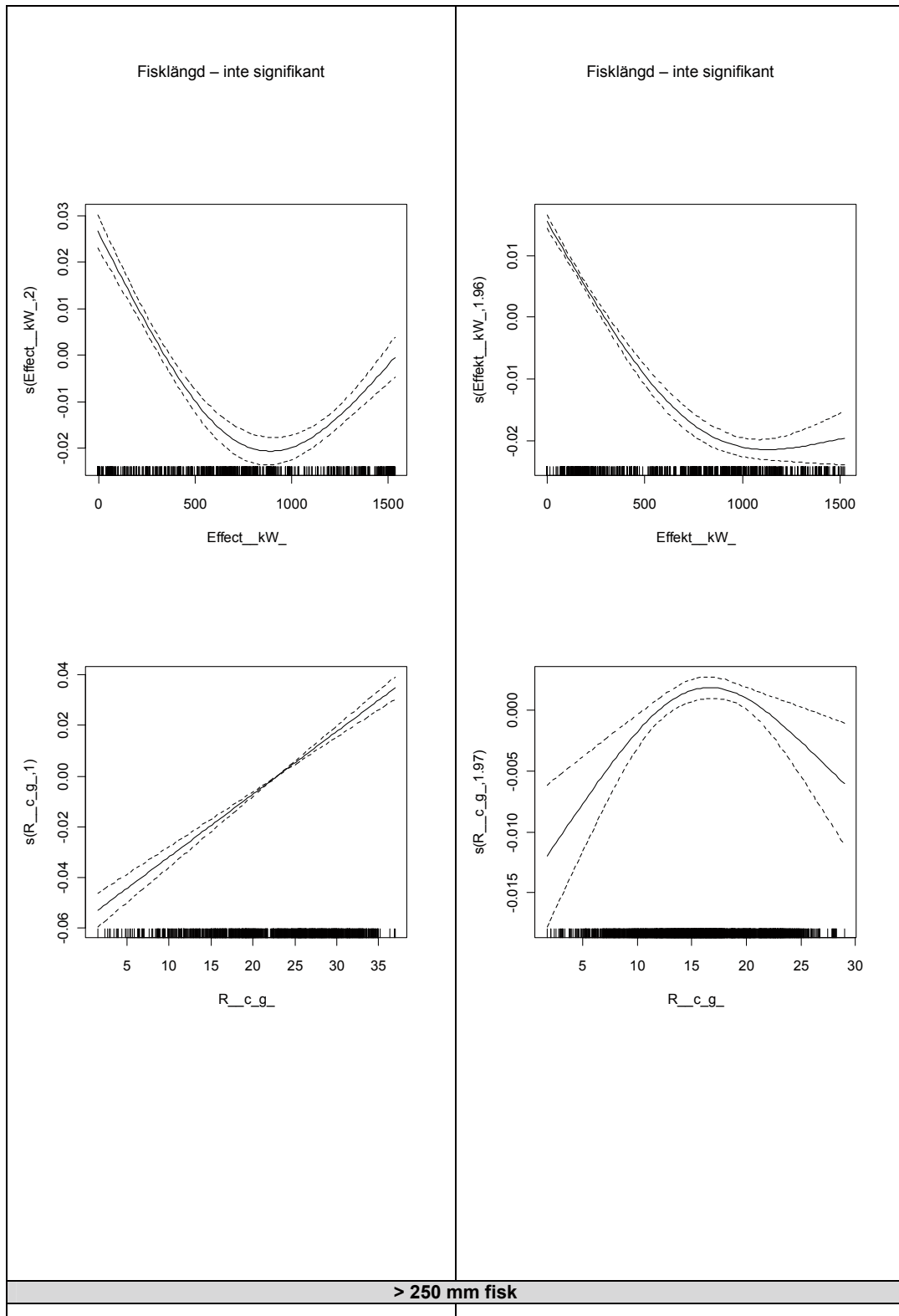


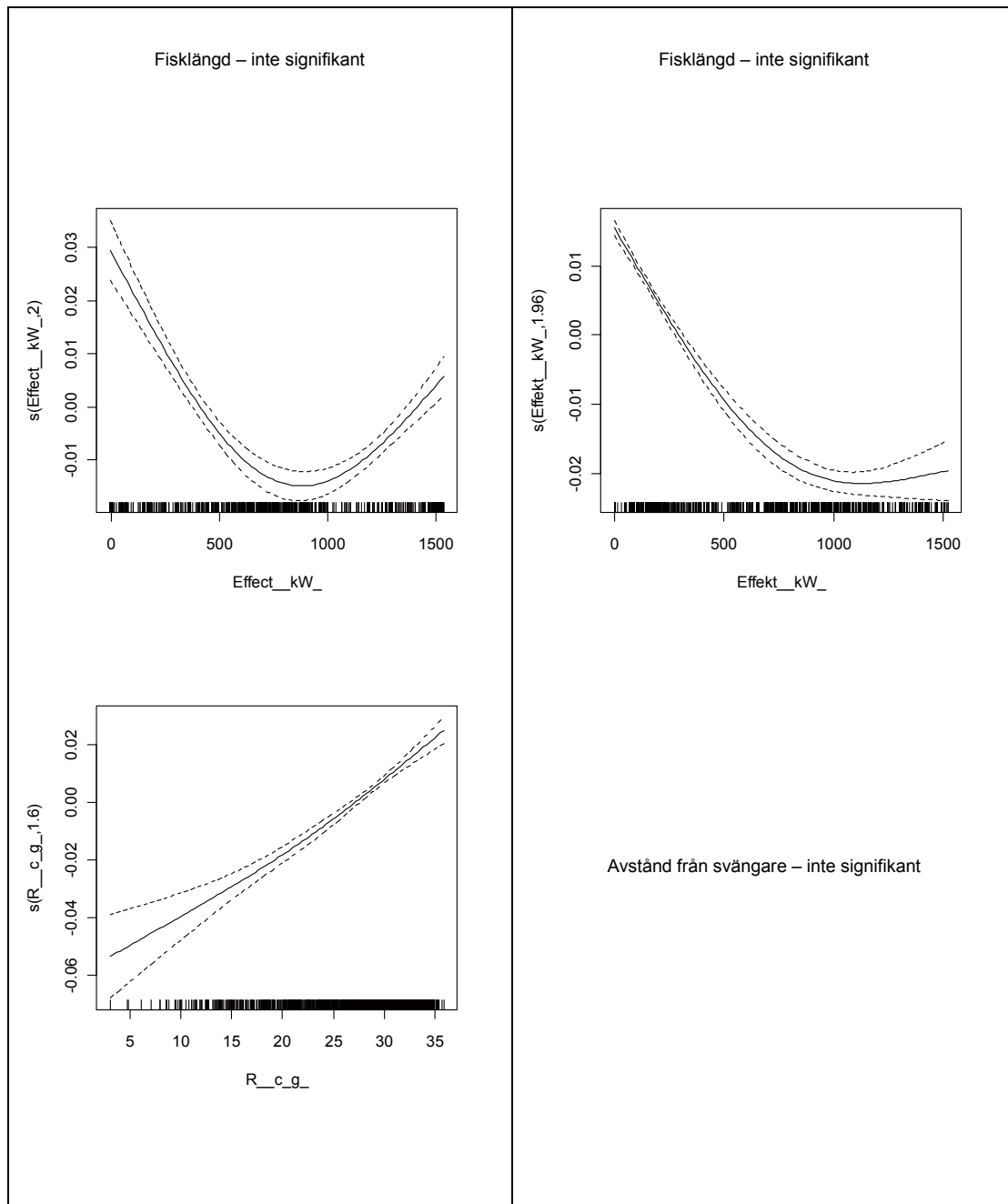
GAM modellering av antal fiskspår/10 min. i den akustiska kompenserat för ljudkäglaform är responsvariabel i undersökning mellan 17 september och 2 oktober 2009.

# Bilaga 11



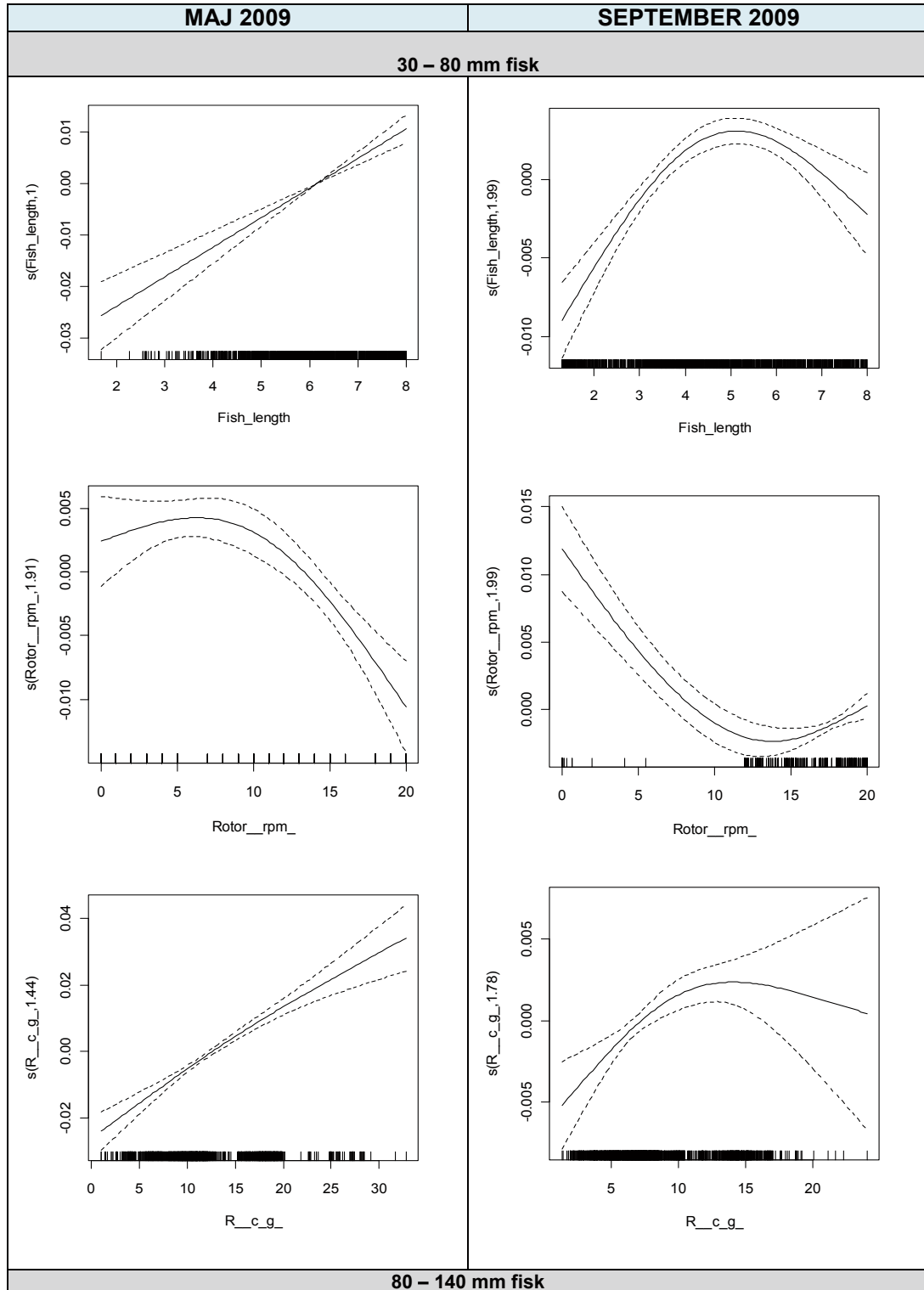


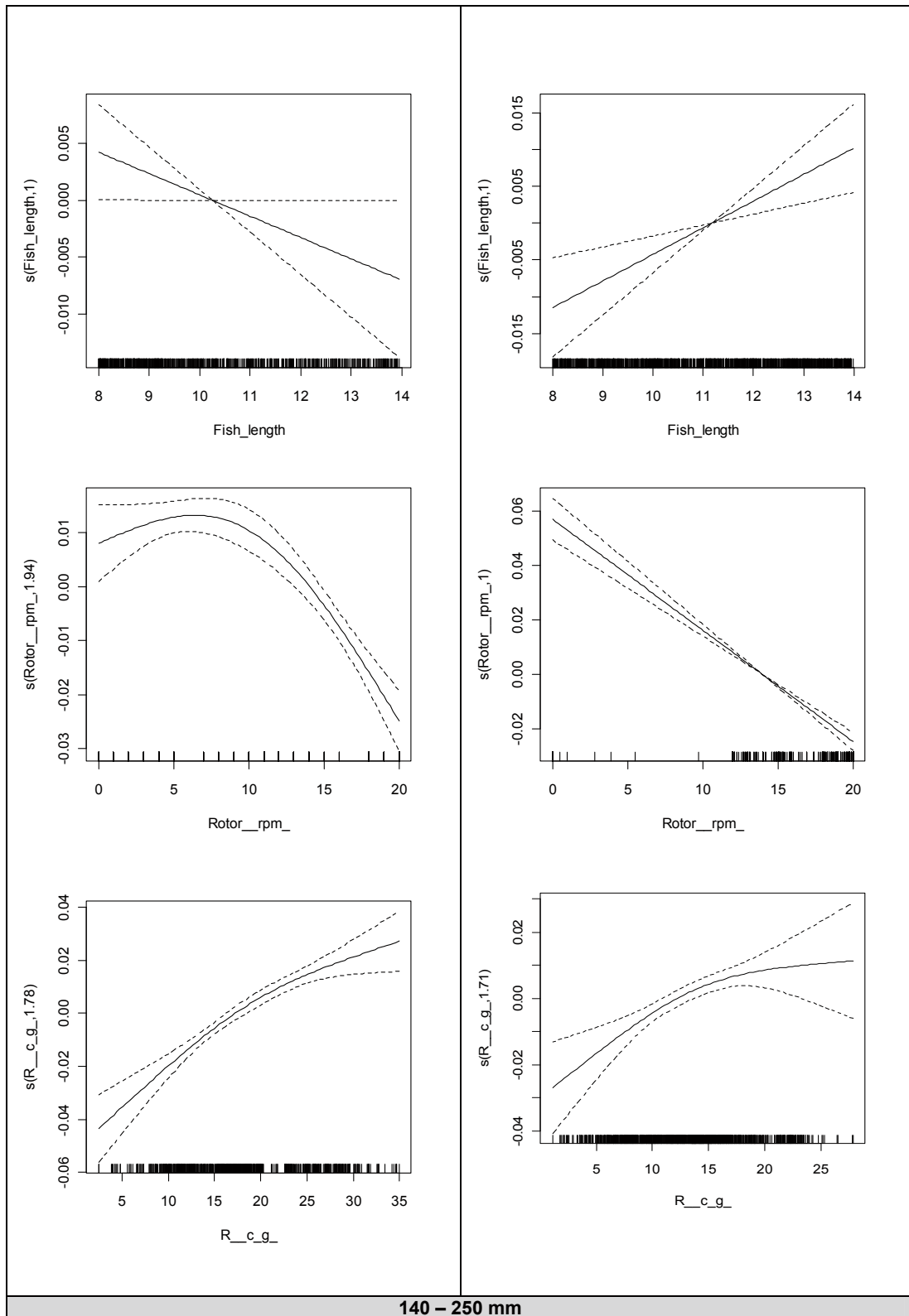


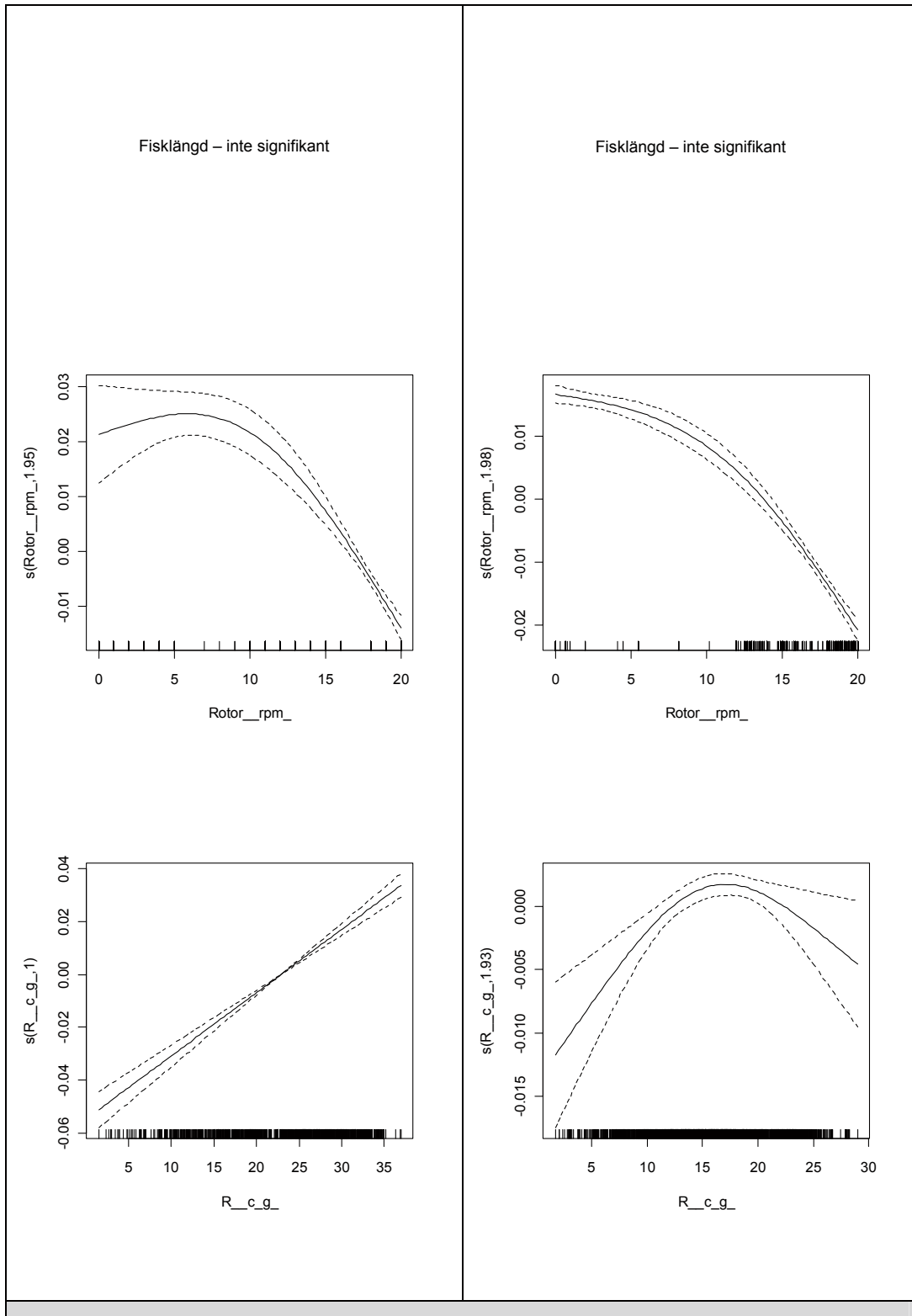


GAM modellering av simhastighet (m/s) som responsvariabel och elproduktion (effekt, kW), fisklängd (FL, cm) samt avstånd från ekolod (R, m) som förklaringsvariabler.

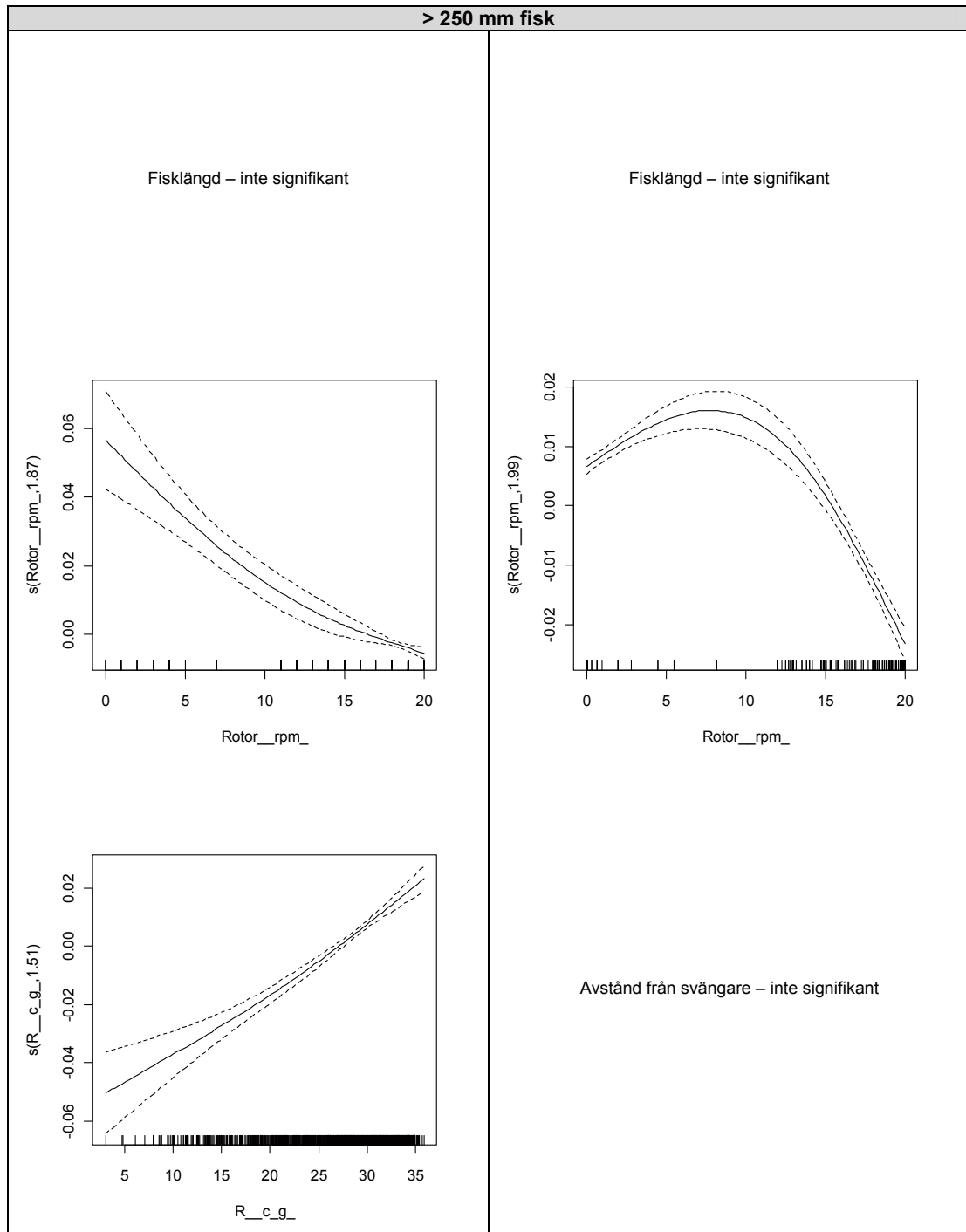
# Bilaga 12





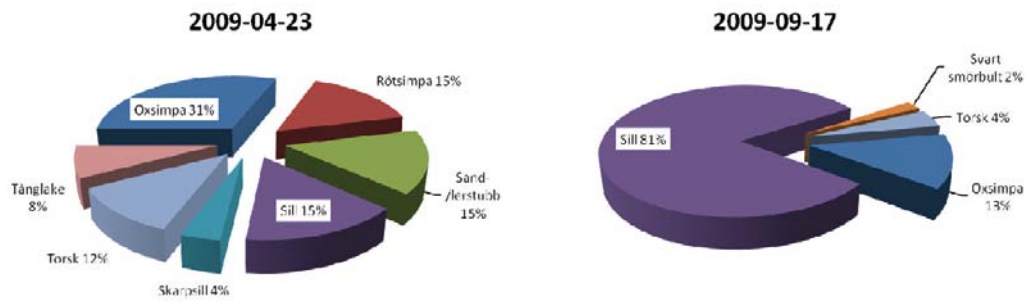






GAM modellering av simhastighet (m/s) som responsvariabel och rotorhastighet (RPM), fisklängd (FL, cm) samt avstånd från svängare (R, m) som förklaringsvariabler.

## Bilaga 13



Artsammansättning i nätfångster i närheten av vindkraft-7 i maj och september 2009. Procentuell andel av fiskeansträngning.

## Bilaga 14

Storleksfördelning för fisk fångad i nät i Kalmar Sund 2009-04-23. Antal justerade för fiskeansträngning.

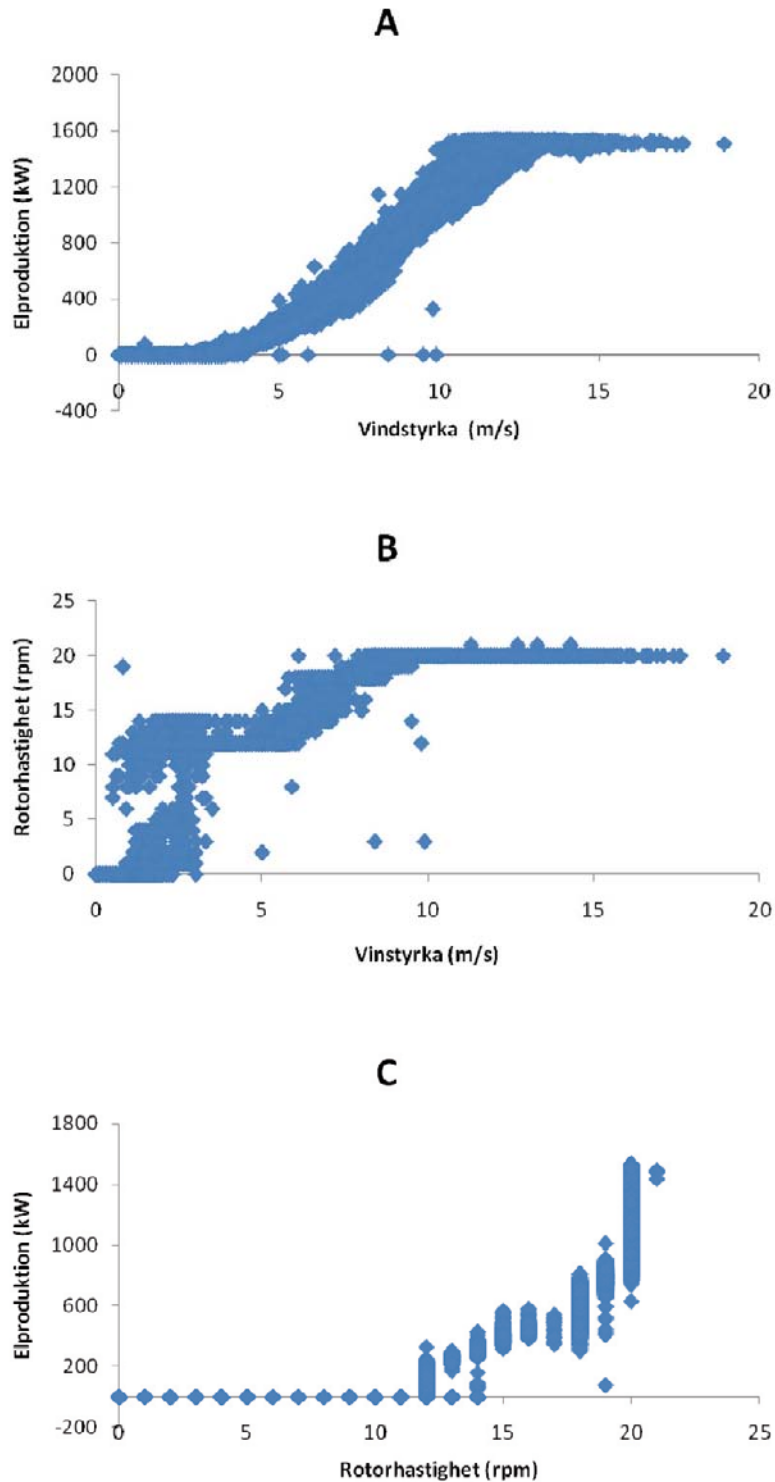
Längd (mm)	Oxsimpa	Rötsimpa	Sand-/lerstubb	Sill	Skarpsill	Torsk	Tånglake
40			1				
50			3				
60							
70							
80							
90	1						
100	2						
110						2	
120	2						
130	3				1		
140							1
150							
160				2			
170							
180							1
190							
200							
210				2			
220							
230							
240		1					
250							
260							
270							
280		1				1	
290		1					
300							
310							
320		1					

## Bilaga 15

Storleksfördelning för fisk fångad i nät i Kalmar Sund 2009-09-17. Antal justerade för fiskeansträngning.

Längd (mm)	Oxsimpa	Sill	Svart smörbult	Torsk
90			2	
100	2			
110	2			
120	8			
130				
140		2		
150				
160		12		
170		16		
180		16		
190		12		
200		4		
210		6		
220		2		
230		2		
240		2		
250				
260				4

## Bilaga 16



Korrelation mellan vindstyrka (m/s) och rotor hastighet (rpm; A), vindstyrka (m/s) och vindkrafts elproduktion (kW; B) samt rotor hastighet och vindkrafts elproduktion (kW; C). Data insamlad från vindkraft-7 på Utgrunden 1 under perioderna mellan 23 april-7 maj och 17 september-2 oktober 2009.

# Effekter av havsbaserad vindkraft på pelagisk fisk

RAPPORT 6481

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6481-5  
ISSN 0282-7298

THOMAS AXENROT OCH TOMAS DIDRIKAS

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Den här studien undersöker om havslevande fiskar påverkas av vindkraftverk till havs. Dessa genererar undervattensljud och fundamenten skapar förändrade livsmiljöer. Ljudet som genereras avtar med avståndet till vindkraftverket men kan uppfattas av fiskar som sill och torsk även utanför själva vindparken. Idag är kunskapen bristfällig om – och i så fall hur – dessa faktorer påverkar fisken.

Studien utfördes i Kalmarsund och visar att området med vindkraftverk och ett närliggande referensområde hade lägre fisktäthet än det referensområde som ligger längst bort, men pekar inte entydigt ut vilken faktor av de utvärderade (position, område) som orsakade denna skillnad.

**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.

