

# Studier på småfisk vid Lillgrund vindpark

Effektstudier under konstruktionsarbeten  
och anläggning av gravitationsfundament

RAPPORT 5831 • MAJ 2008



# Studier på småfisk vid Lillgrund vindpark – Effektstudier under konstruktionsarbeten och anläggning av gravitationsfundament

L. Hammar A. Wikström P. Börjesson R. Rosenberg

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: [natur@cm.se](mailto:natur@cm.se)

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

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

**Naturvårdsverket**

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

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

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

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

ISBN 978-91-620-5831-9.pdf

ISSN 0282-7298

Elektronisk publikation

© Naturvårdsverket 2008

Tryck: CM Gruppen AB

Omslagsbild: Stora bilden: Tobias Hammar, Lilla bilden: Linus Hammar

# Förord

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

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

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

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

Den här rapporten har skrivits av Linus Hammar, Andreas Wikström, Patrik Börjesson och Rutger Rosenberg inom Marine Monitoring vid Kristineberg AB. Skribenterna svarar för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Vindval i juni 2008



# Innehåll

<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>6</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>8</b>
<b>INLEDNING</b>	<b>9</b>
Studiens ändamål	9
Lillgrund vindpark	10
Fundament vid Lillgrund	10
Potentiell miljöpåverkan från muddring	11
Potentiell miljöpåverkan från stenläggning	12
Förväntade effekter på småfisk vid Lillgrund	12
<b>METOD</b>	<b>14</b>
Utförande och design	14
Analys av data	16
Begränsningar	17
<b>RESULTAT</b>	<b>18</b>
Fallstudie 1 – Långtidseffekter av muddring	18
Fallstudie 2 – Korttidseffekter av muddring	24
Fallstudie 3 – direkteffekter av stenläggning	32
<b>SLUTSATSER</b>	<b>38</b>
<b>REFERENSER</b>	<b>40</b>
Personlig kommunikation	40

# Sammanfattning

En betydande aspekt beträffande miljöpåverkan från havsbaserad vindkraft är potentiell störning av fisk under konstruktionsarbetet. För att förankra vindkraftverken i sjöbotten kan olika fundament användas. Många fundamentmodeller kräver pålningsarbeten och för dessa är det känt att fisk kan störas betydande över stora avstånd på grund av de höga ljudnivåer som uppstår vid anläggningsarbetet. En annan vanlig fundamentmodell är gravitationsfundament, där inget pålningsarbete behövs men däremot muddring och stenläggning. Till skillnad mot pålningsarbeten är det sedan tidigare inte känt huruvida gravitationsfundamentens muddring och stenläggning medför någon betydande påverkan på fisk i dess omgivning.

Som en delstudie till den parallella Vindval-publikationen *Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft* har provtagningar av fiskförekomst utförts under anläggningen av gravitationsfundament vid Lillgrund vindpark. Provtagningarna, som utfördes med liten trål, omfattade endast småfisk – definierat som juvenil (ung) fisk samt småväxta fiskarter. Småfisk förväntas emellertid vara särskilt känslig mot den sedimentspridning som uppstår genom muddringsarbeten. Provtagningarna fördelades mellan tre fallstudier omfattande olika delar av konstruktionsarbetet; 1) *långtidseffekter av muddring*, 2) *korttidseffekter av muddring*, samt 3) *direkteffekter av stenläggning*. Studiens utförande baseras på den statistiska designen BACI (Before/After Control/Impact), där provtagningar utförs *före* och *efter* en förväntad påverkan, dels i det *påverkade området* och dels i ett opåverkat *kontrollområde*.

Eftersom löst kalkrikt sediment i höga halter kan påverka syreupptaget hos småfisk kunde det teoretiskt sett förväntas att muddringsarbetet medfört en lokal reduktion av antal individer eller arter av fisk i närområdet. Resultatet visade dock inte några indikationer på att enskilda mudderverksamheter medfört några negativa trender i förekomsten av småfisk, varken 1 månad (fallstudie 1; närmsta avstånd 60 m) eller 1 dygn (fallstudie 2; närmsta avstånd 150 m) efter utförd muddring. En viktig slutsats är följaktligen att ingen småfisk, varken juveniler eller enskilda arter, uppvisade någon negativ trend 1 dygn efter muddringsverksamhet på ett avstånd av 150 m.

Det buller som uppstår under stenläggningen kunde teoretiskt sett förväntas medföra en lokal reduktion av antal individer eller arter av fisk i närområdet. Resultatet under stenläggningen (fallstudie 3) visade för juvenil fisk en signifikant större minskning av antal arter i påverkansområdena (Lillgrund; c:a 60 och 200 m från det pågående anläggningsarbetet) jämfört med det opåverkade kontrollområdet. Beträffande adult (vuxen) småfisk visades att ökningen av antal individer och biomassa var signifikant mindre i påverkansområdena vid det pågående stenläggningsarbetet, jämfört med kontrollområdet. Detta överensstämmer med den multivariata analysen (MDS) där kontrollområdet skiljer sig från de båda påverkansområdena under *efter-studien*. Beaktansvärt är emellertid att ingen av analyserna antyder några skillnader mellan de två olika avstånden 60 och 200 m från stenläggningsarbetet, vilket pekar på att det enskilda stenläggningsarbetet inte

är förklaringen till avvikelserna. Mer sannolikt är att konstruktionsarbetena vid Lillgrund som helhet, alternativt naturliga skillnader mellan Lillgrund och kontrollområdet, bidragit till de funna skillnaderna efter stenläggningen i fallstudie 3. De fiskarter som tydligast visade en större ökning i kontrollområdet är sjustrålig smörbult, storspigg, småspigg samt tångsnälla.



# Summary

Within environmental impact assessments of offshore wind power, the construction work is an important issue. It has been established that pile driving, a method used for installation of monopile, tripod, and jacket foundations, are likely to impact fish over relatively large distances. However, similar studies have not been conducted to assess the impact of the installation of gravity foundations on fish in their surrounding area. Such impact would likely be associated with the construction phases *dredging* or *stone bedding*.

This study addressed potential impacts on fish fauna during construction works at Lillgrund wind farm in Öresund (Baltic Sea). The BACI model (Before/After Control/Impact) was applied to the experimental design, where the impact areas at Lillgrund were compared to an undisturbed control area, before and after the different phases of construction work were carried out.

The study was divided into three separate case studies:

- 1) Long-term effects of dredging, with sampling conducted 1 month after impact, 60 and 200 m from the construction site
- 2) Short-term effects of dredging, with sampling conducted 24 h after impact at a distance of 150 m from the construction site
- 3) Direct effects of stone bedding, with sampling conducted 60 and 200 m from the construction site

The results showed no indications of negative impacts from dredging, from neither the long-term nor the short-term case studies.

During stone bedding significant differences between the control and the impact areas (60 and 200 m from impact site) were found. Number of juvenile fish species presented a significantly larger reduction in the two impact areas compared to the control area (there was a decline in both areas, probably dependent of seasonal changes and growth of juveniles). Likewise, the adult fish showed a significantly smaller increase of abundance and biomass in the two impact areas compared to the trend in the control area.

As there were no differences between the two distances sampled, there was no evidence that the found differences were a consequence of the stone bedding activity. Rather, differences may be linked to the total levels of activity in the Lillgrund area; or alternatively, there could be natural differences between Lillgrund and the control area that becomes more prominent later on in the season.

# Inledning

## Studiens ändamål

Vid etablering av havsbaserad vindkraft kan olika fundament användas för att förankra vindkraftverken i havsbotten. De två hittills vanligaste fundamenten är gravitationsfundament och monopile-fundament. De senare består av en grov stål-cylinder (diameter > 3 m) som förankras genom pålning där fundamentet hamras ned orsakande extrema ljudnivåer i korta upprepade pulser. Det är känt att sådant pålningsarbete kan medföra en kraftig temporär störning av framförallt fisk och marina däggdjur, många gånger med direkt dödliga skador på fisk inom avstånd på i storleksordningen 100-tals meter (Reyff 2004; Thomsen m. fl. 2006). Anläggning av gravitationsfundament kräver ingen pålning, utan sker genom att botten förbereds medelst muddring och därefter stenläggning för att skapa en plan och stabil bädd under fundamentet. Någon undersökning av biologiska effekter har ej tidigare utförts simultant vid konstruktion av gravitationsfundament och huruvida någon signifikant miljöpåverkan uppstår genom dessa arbetsmoment är därför inte känt.

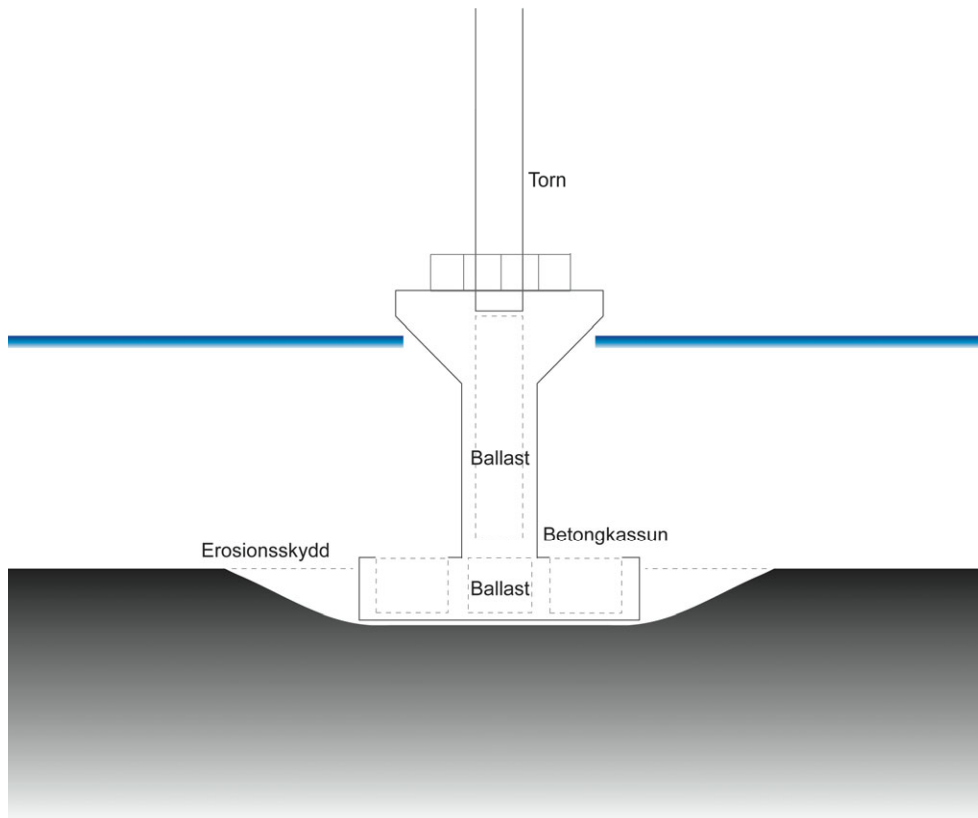
Denna studie avser att beskriva omfattningen av direkta lokala effekter på småfisk (mindre arter samt yngre fisk: juveniler) under muddring och stenläggning vid Lillgrund vindpark, inte minst för att eventuella miljöeffekter från anläggning av gravitationsfundament skall kunna jämföras med effekter av pålning. Studien utgör ett delmoment inom projektet Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft (2008) inom kunskapsprogrammet Vindval.



Figur 1. Konstruktionsarbete vid Lillgrund vindpark i Öresund. Installering av gravitationsfundament.

## Lillgrund vindpark

Vindparken vid Lillgrund uppfördes år 2006 – 2007 på botten av kalksten, sand och sten vid ett djup av 4 – 9 m i det strömsatta Öresund, söder om Öresundsbron. Anläggningen omfattar 48 vindkraftverk och ägs av Vattenfall. Muddring och anläggning av fundament utfördes av Peter Madsen rederi A/S.



Figur 2. Schematisk skiss över gravitationsfundament vid Lillgrund, måtten är ej proportionerliga.

## Fundament vid Lillgrund

Vid Lillgrund används gravitationsfundament bestående av en timglasformad betongpelare med en nedre betongkassun som försänks i botten och fylls av ballast, i detta fall sten. Se Figur 1 och 2. Varje fundament är individuellt utformad efter bottenförhållanden och djup; betongkassunens diameter varierar mellan 16,5 och 19,0 m (Grahn pers. komm.). Kassunen vilar på en stenbädd och är i sin tur fylld med ett underliggande lager av grus ( $\text{Ø} = 35 - 350 \text{ mm}$ ) samt ett överliggande lager av större stenblock (200 – 1 200 kg per sten). För att hindra att vattenrörelser underminerar förankringen används erosionsskydd av grus och sten. Erosionsskyddet vid Lillgrund sträcker sig 6 – 8 m ut från den försänkta betongkassunen vilket medför en total diameter på upp till 35 m. Ytterst utgörs erosionsskyddet av grus ( $\text{Ø} = 35 - 350 \text{ mm}$ ) och längre in mot pelaren används stenblock (30 – 350 kg per sten) (Grahn pers. komm.).

Vid anläggning av gravitationsfundament förbehandlas botten i flera steg; 1) *muddring*, 2) *stenläggning*, 3) *infästning av fundament*, samt 4) *fyllning av ballast*. Muddringsarbetet innebär att en fördjupning av precisa mått grävs ut i sjöbotten via muddringsfartyg (se Figur 3). Vid förekomst av stora block kan dessa krossas genom sprängning. I detta fall kan en mindre försprängning tillämpas för att skrämja bort fisk (Peter Madsen Rederi 2006). Vid Lillgrund företogs muddringen med grävskopa från fartyg och utfördes i två separata steg – grovmuddring ned till 0,5 m över beräknat djup och sedan precisionsmuddring (Peter Madsen Rederi 2006). Vid Lillgrund muddrades och avlägsnades omkring 1 500 – 2 000 ton sediment per fundament, fördelat på ett varierande antal dagar beroende av lokala bottenförhållanden och väderlek. De muddrade massorna deponerades på land.

Efter avslutad muddring anlades en bädd av stenkross för fundamentet att vila på. Stenen spreds över det muddrade området med hjälp av en bom manövrerad från fartyg, resulterande i en plan c:a 0,3 m hög stenbädd innehållande c:a 130 m<sup>3</sup> stenkross per fundament. Då stenbädden fullbordats fördes gravitationsfundamentet på plats med hjälp av fartyg med kran, varpå ballasten fylldes på. Slutligen företogs inspektion med hjälp av dykare.



Figur 3. Till vänster: muddarfartyg förbereder botten för installation av gravitationsfundament vid Lillgrund. Till höger: den muddrade gropen vid fundament D03 återges på provtagningsfartygets ekolod.

### Potentiell miljöpåverkan från muddring

Muddring innebär ett visst spill av sediment till den omgivande vattenmassan. Hur stort spillet blir beror dels av det muddrade materialets egenskaper och dels av metod och utförarens precision. Höga halter av suspenderat sediment kan innebära negativa miljöeffekter inom flera områden. Denna studie omfattar emellertid endast effekter på mindre fisk.

Det har visats att förhöjda sedimenthalter i vattnet kan medföra undvikande reaktioner hos fisk (Westerberg m.fl. 1996; Fiskeriverket 2007). Effekterna uppstår sannolikt av att sedimentpartiklar fäster till gälarna, vilket minskar syreupptaget; samt av den reducerade sikten vilken blir ofördelaktig för fisk som använder sig av synen för att både finna föda och undvika rovdjur. Sedimentspridning utgör

framförallt en risk för unga livsstadier av fisk, däribland yngel vilka har en förhållandevis större gälyta till sin storlek (Fiskeriverket 2007).

Undvikande reaktioner hos fisk har konstaterats ned till sedimentkoncentrationer på 3 mg/l och skadliga effekter har registrerats från c:a 100 mg/l och uppåt. Känsligheten för suspenderat sediment skiljer sig dock mellan olika arter (Auld & Schubel 1978) och mellan olika bottensubstrat. Särskilt kalkrikt sediment förefaller vara mer skadeverkande för fisk och yngel än sediment av något större kornstorlek såsom lera och silt (se Auld & Schubel 1978; Kiørboe m.fl. 1981; Westerberg m.fl. 1996).

För gravitationsfundamenten vid Lillgrund muddrades i storleksordningen upp till 2000 ton sediment per fundament (Grahn pers. komm.). Sedimentspillet beräknades till 4,8 % av de muddrade massorna utifrån en uppmätt sedimentkoncentration i vattnet på <10 mg/l (med sällsynta undantag) vid ett avstånd av 200 m. Kornstorleken uppmättes till 4,2 µm (median) (DHI 2006).

### **Potentiell miljöpåverkan från stenläggning**

Utöver sedimentspridning medför mudderverksamhet lågfrekvent buller inom frekvensområdet 20 – 1000 Hz. Ljudnivån vid (ospecificerad) muddring har uppmätts till 177 dB re 1 µPa vid frekvenstoppar på omkring 80 och 200 Hz (referenstrycket 1 µPa används för att ange ljudnivån under vatten, angivna ljudnivåer (dB) kan inte jämföras direkt till samma ljudnivåer uppmätta på land). Ljudnivåerna skiljer sig mellan individuella mudderverk, men tycks ligga omkring 130 – 140 dB re 1 µPa på 200 m avstånd (Nedwell & Howell 2004). Dessa ljudnivåer kan orsaka undvikande reaktioner hos fisk inom mycket korta avstånd (storleksordningen meter) (Hammar m.fl. 2008).

Beträffande buller från stenläggningsarbete i samband med vindkraft saknas mätdata; en mätning har dock gjorts vid stenläggning på 60 m djup för annat ändamål. Någon höjning av ljudnivån relaterad till stenläggningen kunde där inte påvisas – däremot registrerades lågfrekvent buller från anläggningsfartyget (Nedwell & Howell 2004).

Vissa precisionsarbeten utförda av dykare kräver kraftiga redskap såsom svets, borr och skärverktyg vilka kan medföra mycket höga ljudnivåer (mätningar har konstaterat ljudnivåer upp till 200 dB re 1 µPa vid källan) (Nedwell & Howell 2004). Sådana ljudnivåer kan orsaka temporära undvikande reaktioner hos fisk över betydande avstånd; det är inte känt om motsvarande dykeriarbeten företagits vid Lillgrund.

### **Förväntade effekter på småfisk vid Lillgrund**

Inför studien av effekter på småfisk vid Lillgrund formades tre hypoteser att testa genom provtagning under anläggningsmomenten mudderverksamhet och stenläggning:

- Utifrån antagandet att fisk, i synnerhet fiskyngel, kan påverkas negativt av höga sedimenthalter anlades hypotesen att förekomsten av småfisk minskas i närheten av pågående mudderverksamhet vid enskilda fundament.

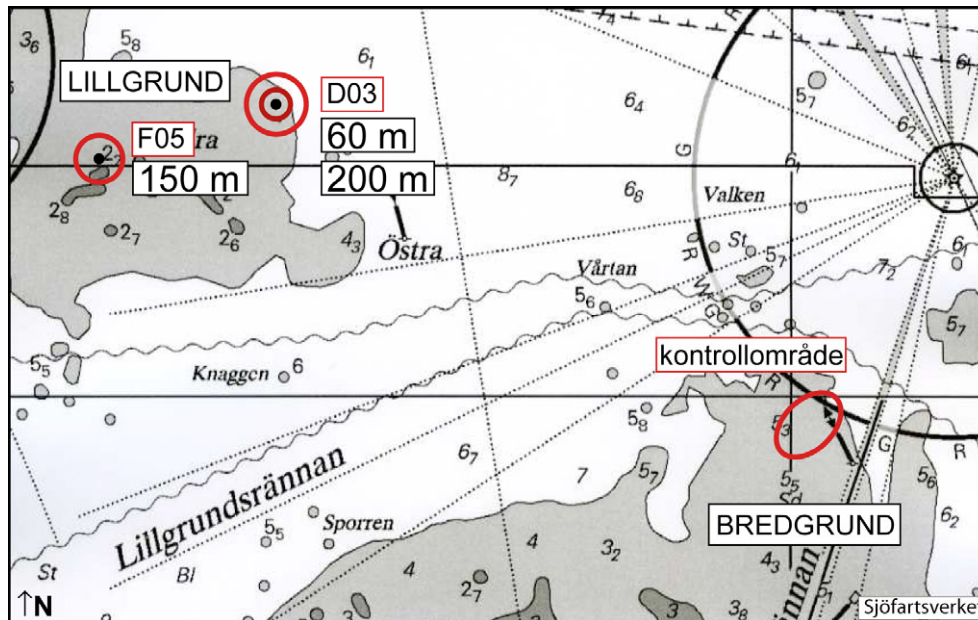
- Utifrån antagandet att bullrande verksamhet från stenläggning kan medföra stress för fisk anlades hypotesen att förekomsten av småfisk minskas i närheten av pågående mudderverksamhet vid enskilda fundament.
- Eftersom olika arter och livsstadier är olika känsliga för både sedimenthalter och buller anlades hypotesen att *antalet förekommande arter* och fisksamhällets *sammansättning av olika arter* förändras i närheten av pågående mudderverksamhet och stenläggning vid enskilda fundament.

# Metod

## Utförande och design

Provtagningen utfördes vid två olika fundament inom Lillgrund vindpark (D03 respektive F05; se Tabell 1 och Figur 4) och fördelades på tre olika fallstudier (1 – 3) enligt följande:

- 1) Långtidseffekter av muddring; provtagning 1 månad efter utförd muddring vid fundament D03
- 2) Korttidseffekter av muddring; provtagning 1 dygn efter utförd muddring vid fundament F05
- 3) Direkteffekter av stenläggning; provtagning simultant med stenläggningsarbeten vid fundament D03



Figur 4. Karta över de två påverkansområdena D03 och F05 vid Lillgrund samt kontrollområdet på Bredgrund i sydöstra Öresund. Röda cirklar kring fundamenten anger avstånd för provtagning; 60, 150 och 200 m.

Provtagningen utfördes med en specialdesignad liten och bottengående trål som fördes lätt över botten och vegetation, utan att trålborden av aluminium fördes ned i sedimentet. Trålens fångstvidd var 800 x 2400 mm och maskstorleken i trålsäcken c:a 10 mm diagonalmaska. Trålen fördes i en konstant hastighet om  $1 \pm 0,2$  knop i 5 min under varje tråldrag (replik) vilket medförde en beräknad trålad sträcka av c:a 150 m. Den provtagna bottenarealen beräknas således till omkring  $530 \text{ m}^2$  per tråldrag (replik). Fångstredskapets effektivitet är begränsad då fisk, i synnerhet större arter, kan undvika redskapet genom flykt. Eftersom alla tråldrag utförts med samma fångstansträngning (tid, hastighet och effektivitet) bedöms dock metoden



lämpa sig för jämförande analyser av mindre fiskar. Alla fångstvärden skall dock betraktas som *relativa* värden – provtagningarna ger ingen kvantitativ indikation på förekomsten av fisk.

**Tabell 1. Stationsförteckning över provtagningsområden samt tidsredovisning för konstruktionsarbeten och provtagningar (efter-studier) vid respektive fundament och kontrollområde. Uppgifter om arbetsgången har erhållits från Peter Madsen Rederi A/S (Millward pers. komm.).**

	Kontrollområde	Fundament D03	Fundament F05
Latitud	N 55 29.920	N 55 30.938	N 55 30.762
Longitud	E 12 50.260	E 12 47.092	E 12 46.090
Fallstudier	1, 2, 3	1, 3	2
Avstånd mellan provtagning och fundament	-	60 m, 200 m	150 m
Bottendjup (m)	5,6 - 6,9	6,0 - 7,4	4,5 - 5,6
Tidsredovisning för konstruktionsarbeten och provtagningar (efter-studier):			
Muddring			
5 juli		250 m <sup>3</sup>	
6 juli		950 m <sup>3</sup>	
7 juli		70 m <sup>3</sup>	
13 juli		290 m <sup>3</sup>	
17-18 aug	fallstudie 1	fallstudie 1	
20 sept			120 m <sup>3</sup>
21 sept			130 m <sup>3</sup>
22 sept			120 m <sup>3</sup>
24 sept			110 m <sup>3</sup>
25 sept			120 m <sup>3</sup>
26 sept	fallstudie 2		fallstudie 2
28 sept			200 m <sup>3</sup>
29 sept			200 m <sup>3</sup>
30 sept			180 m <sup>3</sup>
5 okt			450 m <sup>3</sup>
9 okt			300 m <sup>3</sup>
Stenläggning			
15 nov		fyllning av 192 ton sten	
17 nov		utjämning av stenbädd	
17 nov	fallstudie 3	fallstudie 3	
18 nov		slutlig inspektion	

I sin helhet pågick provtagningsperioden från maj till november år 2006. För att skilja ut säsongsmässiga variationer från eventuella störningseffekter utfördes provtagningarna enligt den statistiska designen *BACI* (Before/After Control/Impact), där provtagningar utfördes före och efter varje anläggningsmoment, dels i det påverkade närområdet och dels i ett opåverkat kontrollområde.

Samma kontrollområde nyttjades för de tre fallstudierna och definierades till nordvästra Bredgrund, en grundbank 3 km sydost om Lillgrund och 4 km från land, där bottenförhållandena utifrån visuella skattningar med vattenkikare bedömdes vara likvärdiga påverkansområdena vid Lillgrund. Kontrollområdet bedöms i detta sammanhang vara opåverkat från konstruktionsarbetet vid Lillgrund.



Vid både Lillgrund och Bredgrund var botten djupet omkring 6 m (se Tabell 1) och bottenmiljön skattades till flack sandbotten med 60-80 % mosaikartad täckning av vegetation och musselbäddar. Vegetationen bestod i sin tur av lågväxta makroalger och ålgräs i kraftiga till glesa bestånd. Enstaka stenar återfanns i alla områdena. Någon närmare inventering av bottenvegetationen gjordes inte inom denna studie. Utöver insamlad fisk återfanns evertebraterna (ryggradslösa djur) blåmussla, tångräka, sandräka, strandkrabba, märkräftor samt havsgråsuggor.

För fallstudierna 1 och 3 utfördes varje tråldrag (replik) i påverkansområdet vid 60 samt vid 200 m avstånd från fundamentets (anläggningsarbetets) position. Detta för att möjliggöra studier av en eventuell påverkans räckvidd. För fallstudie 2 utfördes däremot alla tråldrag vid ett avstånd av 150 på grund av för trålen olämpligt bottenstrat (stenblock) i omgivande områden. För att hålla samma avstånd till påverkanskällan under hela tråldragen fördes trålen från en slumpmässig position i riktning utmed en cirkulär omkrets runt fundamentets position. Avståndsprecisionen skattades till  $\pm 25$  m.



Figur 5. Sortering av provtaget material i fält samt bestämning och analys av småfisk i lab; sjustrålig smörbult längst till höger i bild.

### Analys av data

Fångsten av småfisk konserverades i 70 % etanol och analyserades i laboratorium (Figur 5). Fisken bestämdes taxonomiskt efter art och uppmättes till individantal samt biomassa (våtvikt) per art. Beträffande fallstudie 2 och 3 gjordes en fördelning mellan adulta (vuxna) och juvenila (unga) individer. Denna uppdelning gjordes efter litteraturbaserade längdmått i de fall uppgifter förekom för arten, i andra fall antogs övergången mellan juvenil och adult fisk vara 1/3 av den för arten genom litteratur angivna maxlängden; metoden baseras på vedertagen metod enligt Nagelkerken & van der Velde (2002).

Insamlad data analyserades genom univariat variansanalys (tvåvägs ANOVA), där *interaktionen* mellan faktorerna *tid* och *område* studerades. De studerade variablerna var antal arter (S), antal individer (N), samt biomassa (M). Data transformerades för att uppnå homogena varianser och för att normalisera residualerna. I de fall antagandet om homogena varianser inte uppfylldes (via Levene's test) har materialet klassificerats som otillräckligt och ej beaktats vidare, mindre avvikelser

från antagandet om normalfördelade residualer har dock accepterats eftersom variansanalys är relativt robust mot avvikelser från detta antagande (Underwood 1981). I studie 2 och 3 analyserades data fördelat mellan adulter och juveniler. Data analyserades också med en uppdelning mellan den dominerande arten sjustrålig smörbult (*Gobiusculus flavescens*) och övriga arter.

För att åskådliggöra eventuella förändringar avseende antal individer på samhällsnivå användes multivariat beskrivande statistik MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling) med hjälp av analysverktyget Primer<sup>®</sup>. Data transformerades och skalades enligt Bray-Curtis likhetsindex. För att hantera 0-värden applicerades en *dummy-variabel* på +1.

**Faktabox: Tolkning av multivariat statistik**

Genom multivariat statistik kan prover av biologisk data jämföras på "samhällsnivå", där skillnader och likheter i artsammansättning åskådliggörs. Vid tolkning av MDS-diagram är det relativa avståndet mellan olika datapunkter (provtagningar) av betydelse, ju närmare två datapunkter är varandra i diagrammet desto mer lika är provtagningarnas artsammansättningar. Grupperingar av datapunkter visar således vilka provtagningar som är mest lika varandra. Om datapunkterna från två olika behandlingar – såsom kontrollområde och påverkansområde – illustreras jämt utspridda indikerar detta på att det inte föreligger någon systematisk skillnad mellan dess artsammansättningar. Om de olika behandlingarnas datapunkter däremot är grupperade var för sig tyder resultatet på att tydliga skillnader föreligger.

## Begränsningar

Provtagningen var till sitt utförande avhängigt arbetsgången inom anläggningsarbetet vid Lillgrund, vilket bedrevs under c:a 1 års tid skiftade mellan olika fundament och arbetsmoment beroende av bl.a. väderförhållanden och tillgången till levererade fundament. Därutöver begränsades provtagningsdesignen av säkerhetsaspekter och förekomst av stenig botten där provtagning ej möjliggjordes.

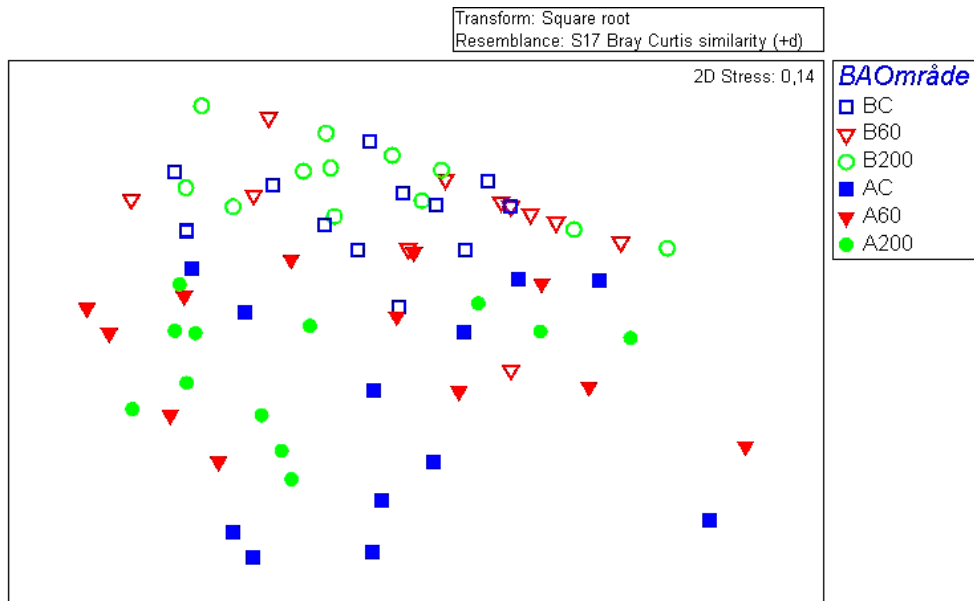
# Resultat

## Fallstudie 1 – Långtidseffekter av muddring

Fallstudie 1 utfördes i kontrollområdet på Bredgrund samt på Lillgrund, vid 60 och 200 m avstånd från fundament D03. I varje område utfördes 12 tråldrag (replikat, n). *För-studien (Before, B)* genomfördes 29-30 maj 2006 och *efter-studien (After, A)* företogs 17-18 augusti 2006, 35 dagar efter att muddring genomförts vid fundamentets position. Inom Fallstudie 1 gjordes ingen uppdelning mellan adult och juvenil fisk, detta eftersom allt för få individer av årsklass 0 fångades under *för-studien*, en konsekvens av den tidiga årstiden.

**Tabell 2. Medelvärden och standardfel (SE) för antal individer av varje påträffad fiskart inom fallstudie 1 (ingen uppdelning mellan juveniler och adulter). *Efter-studien* (röd text) är utförd 1 månad efter muddring vid platsen för gravitationsfundamentet.**

Art		För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>	För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>	För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>
		Kontroll	<i>Kontroll</i>	Påverkan 200 m	<i>Påverkan 200 m</i>	Påverkan 60 m	<i>Påverkan 60 m</i>
Lerstubb	<i>Medel</i>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4
	$\pm S.E.$	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3
Mindre havsnål	<i>Medel</i>	0,6	0,4	0,1	0,9	0,0	1,2
	$\pm S.E.$	0,3	0,2	0,1	0,4	0,0	0,6
Mindre kantnål	<i>Medel</i>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
	$\pm S.E.$	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Rötsimpa	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	$\pm S.E.$	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Sandstubb	<i>Medel</i>	0,2	0,8	0,3	4,1	0,3	2,6
	$\pm S.E.$	0,1	0,3	0,1	1,2	0,1	1,3
Sjustrålig smörbult	<i>Medel</i>	45,6	17,0	67,6	35,3	52,9	67,3
	$\pm S.E.$	16,0	9,8	20,1	11,2	28,9	35,1
Småspigg	<i>Medel</i>	0,9	4,2	0,2	1,8	0,1	0,8
	$\pm S.E.$	0,4	1,7	0,1	0,6	0,1	0,3
Stensnultra	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1
	$\pm S.E.$	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
Storspigg	<i>Medel</i>	0,6	7,8	0,0	4,7	0,0	8,3
	$\pm S.E.$	0,4	3,9	0,0	2,0	0,0	4,7
Svart smörbult	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	$\pm S.E.$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Tånglake	<i>Medel</i>	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2	0,6
	$\pm S.E.$	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4
Tångsnälla	<i>Medel</i>	0,3	3,3	0,2	3,8	0,1	1,6
	$\pm S.E.$	0,1	0,9	0,1	1,2	0,1	0,7
Tångspigg	<i>Medel</i>	0,3	0,4	0,7	15,3	0,8	7,4
	$\pm S.E.$	0,1	0,2	0,3	4,4	0,4	2,6



Figur 6. Samhällslighet hos småfisk återgiven som MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling), baserat på antal individer. Blå rektanglar visar replikat (tråldrag) från kontrollområdet, röda trianglar visar påverkansområdet vid 60 m avstånd, gröna cirklar visar påverkansområdet vid 200 m avstånd. Ej fyllda symboler avser *för-studien* medan fyllda symboler avser *efter-studien*. Ju närmare två replikat är varandra desto mer likartat är dess fisksamhälle utifrån provtagningen. BC = *för-studie* i kontrollområdet; B60 = *för-studie* på 60m avstånd; B200 = *för-studie* på 200m avstånd; AC *efter-studie* i kontrollområdet; A60 = *efter-studie* på 60m avstånd; A200 = *efter-studie* på 200m avstånd.

**Tabell 3. Resultat från fallstudie 1, med alla arter småfisk inkluderade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas.**

Längdklass	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adulter + Juveniler	<i>S</i>	sqrt	0,078	0,183	7a
	<i>N</i>	sqrt	0,466	0,285	7b
	<i>M</i>	log	0,232	0,712	7c

<sup>1</sup> *S* = antal arter; *N* = antal individer, *M* = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log<sub>10</sub> (x+1)

**Tabell 4. Resultat från fallstudie 1, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom Levene's test tyder på att varianserna ej är homogena (denna data beaktas ej ytterligare).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adult. + juv.	smörbult	<i>N</i>	sqrt	0,330	0,358	7d
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,237	0,000	-
	smörbult	<i>M</i>	log	0,211	0,148	7e
	övriga	<i>M</i>	log	0,098	0,451	7f

<sup>1</sup> *N* = antal individer, *M* = biomassa.

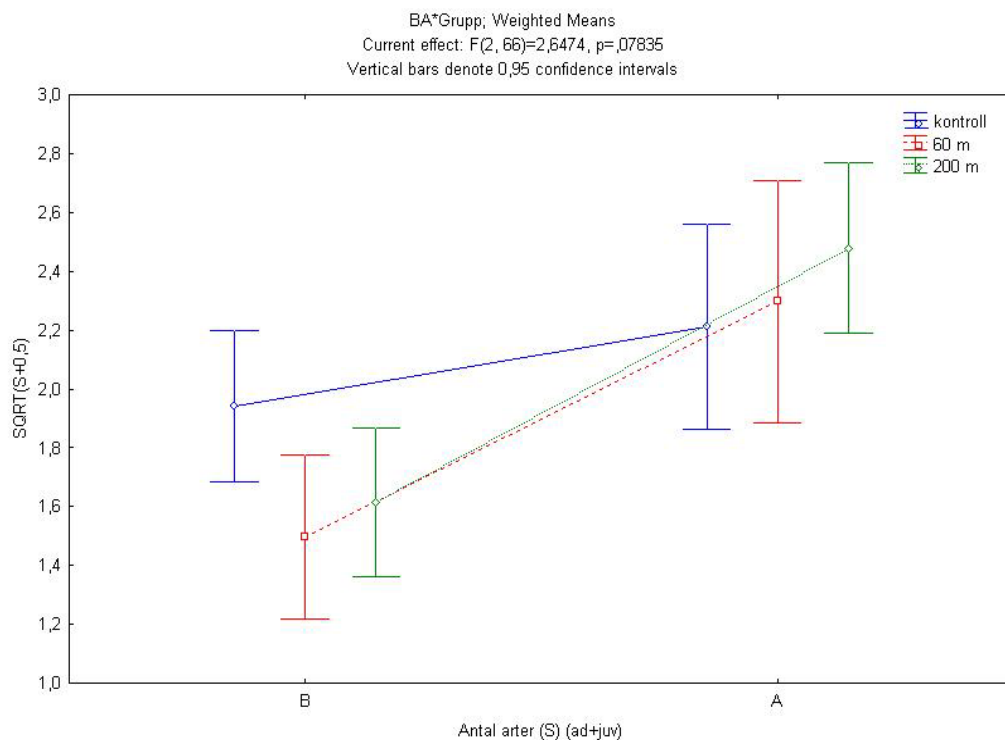
<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log<sub>10</sub> (x+1)

Under *för-studien* i maj identifierades 8 arter av småfisk i kontrollområdet samt 6 och 7 arter vid 60 respektive 200 m avstånd från positionen för kommande muddring. Vid *efter-studien* i augusti var antalet påträffade arter 12 i kontrollområdet, 12 arter vid 60 m avstånd från det muddrade området respektive 10 arter vid 200 m avstånd. Under alla provtagningarna dominerades fiskförekomsten kraftigt av sjustrålig smörbult.

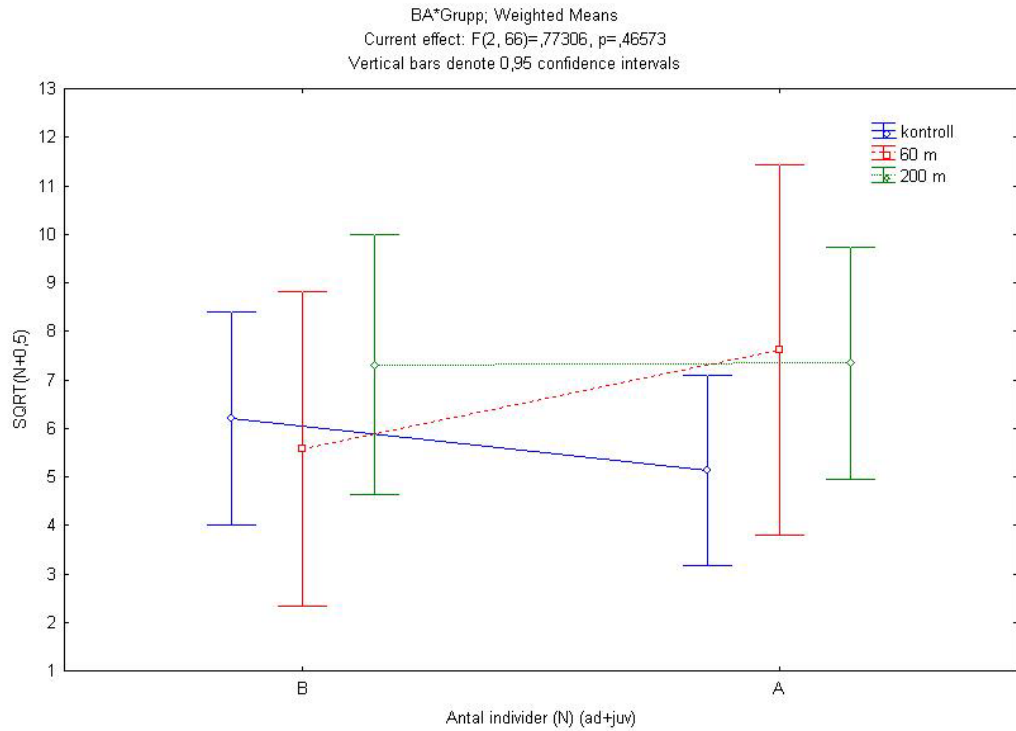
Enligt den multivariata analysen (MDS, se Figur 6) var fisksamhället mycket likt mellan de tre provtagna områdena, i synnerhet under *för-studien*. Det åskådliggörs även att fisksamhället förändrats med tiden; skillnader mellan de tre områdena syns något tydligare under *efter-studien*.

Enligt den univariata statistiska analysen (ANOVA, se Tabell 3 och 4) påvisades ingen signifikant interaktion mellan tid och område beträffande variablerna antal arter (S), antal individer (N) eller biomassa (M). Detta även om sjustrålig smörbult behandlades separat (Tabell 4). Se Figur 7 a-f.

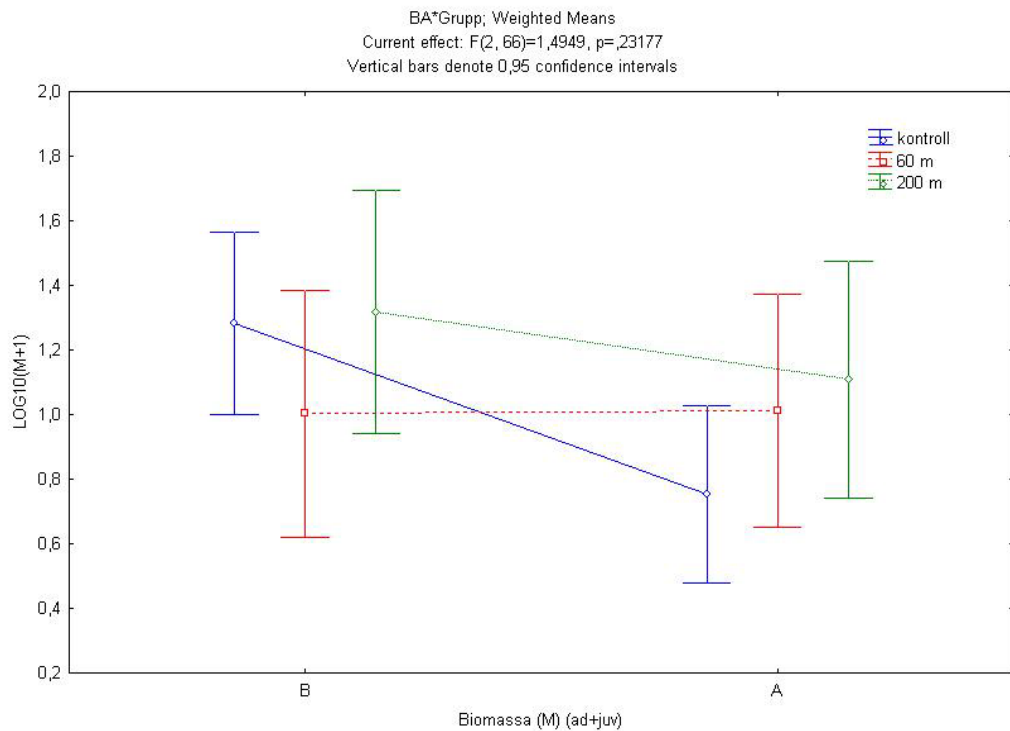
Sammantaget bedöms inte resultaten indikera någon mätbar påverkan från den sedan 1 månad utförda mudderverksamheten.



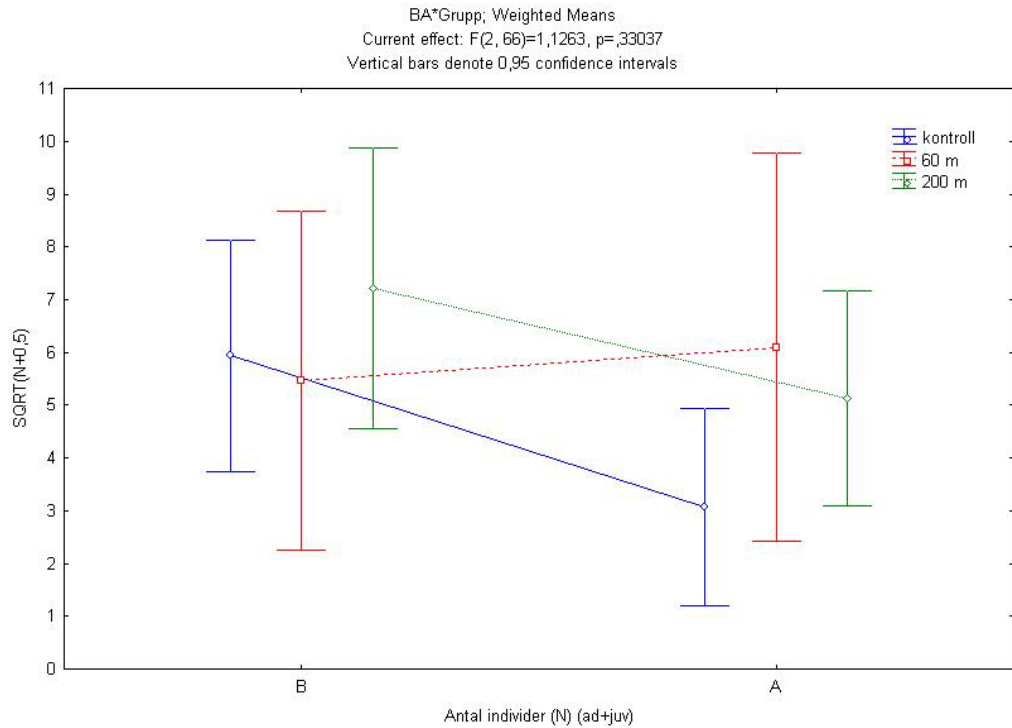
Figur 7 a. Medelvärden av **antal arter** (S) fisk per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 1, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



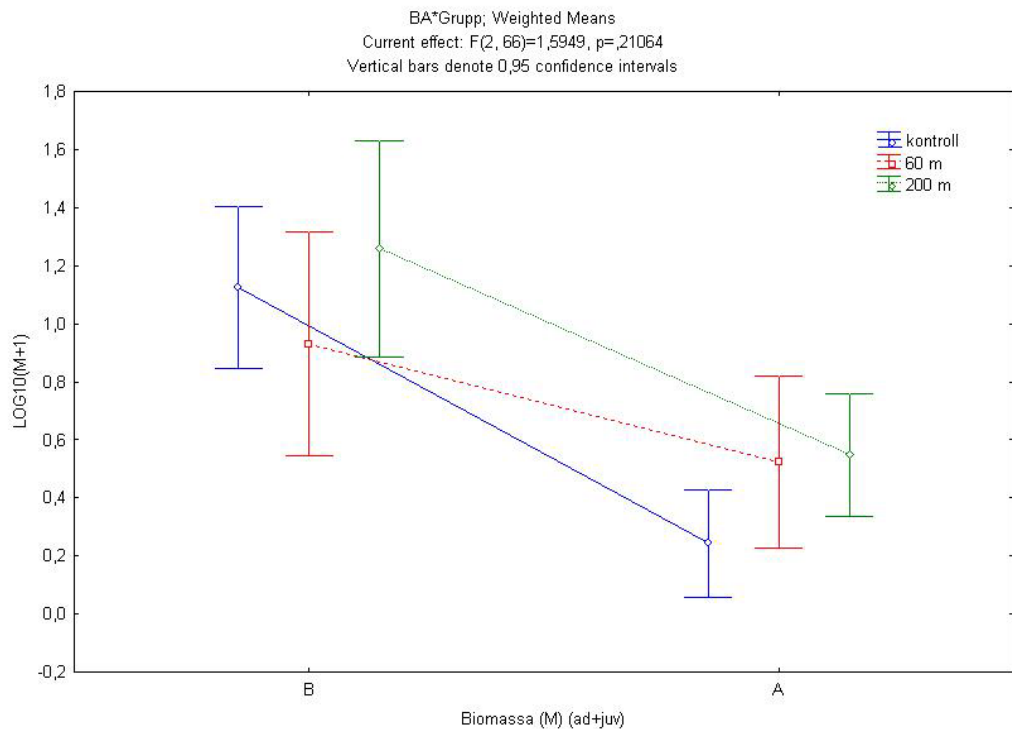
Figur 7 b. Medelvärden av **antal individer** (N) fisk per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är trans-formerade. Resultat från fallstudie 1, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



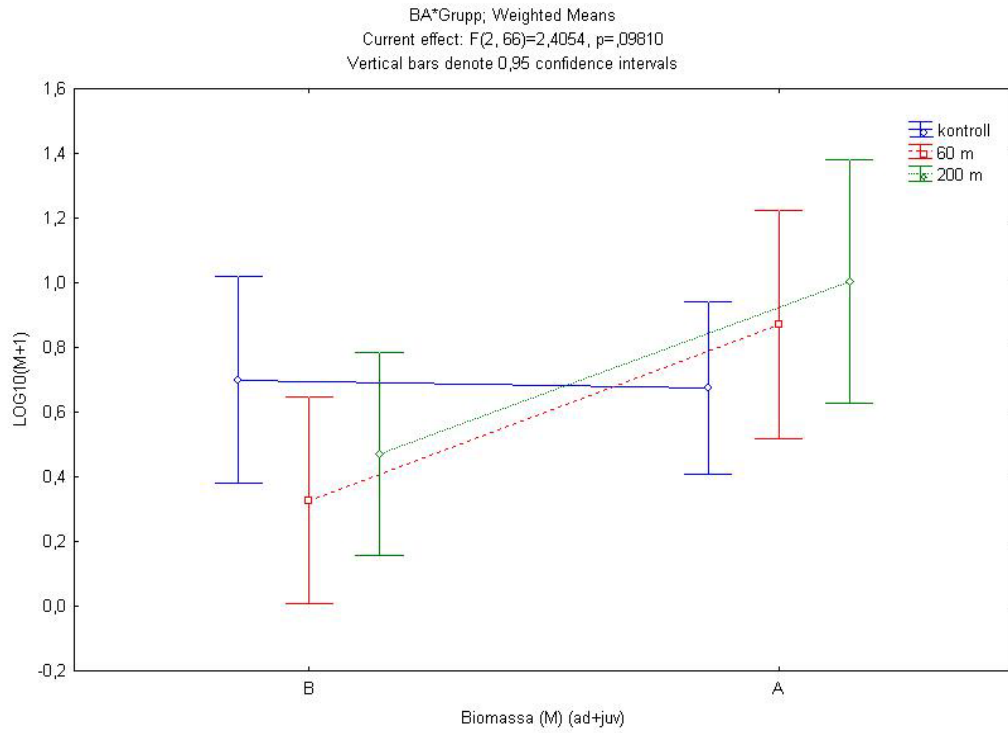
Figur 7 c. Medelvärden av **biomassa** (M) fisk per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är trans-formerade. Resultat från fallstudie 1, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



Figur 7 d. Medelvärden av **antal individer (N) sjustrålig smörbult** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 1, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.



Figur 7 e. Medelvärden av **biomassa (M) sjustrålig smörbult** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 1, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.



Figur 7 f. Medelvärden av **biomassa** (M) fisk **exklusive sjustrålig smörbult**, per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 1, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.

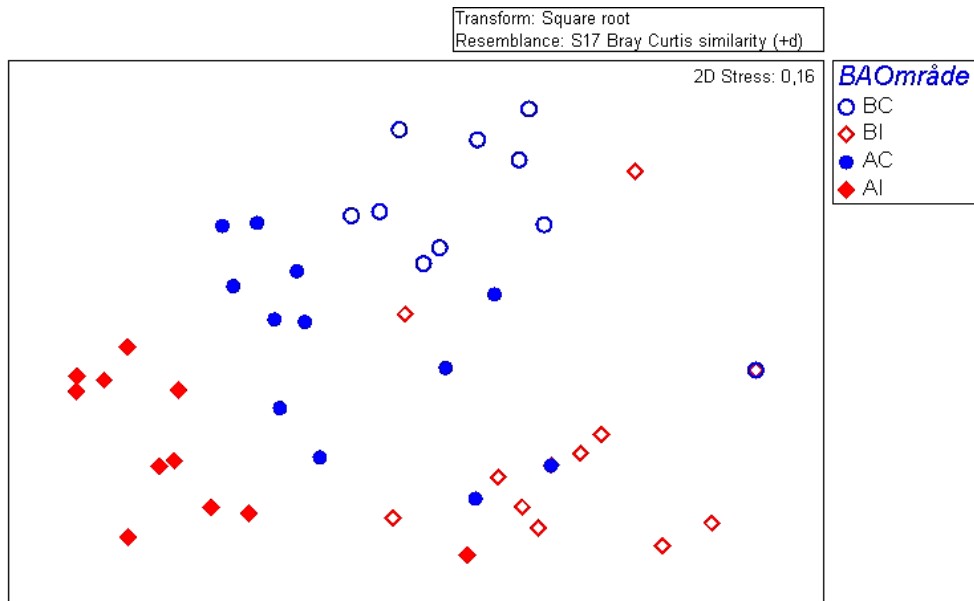


## Fallstudie 2 – Korttidseffekter av muddring

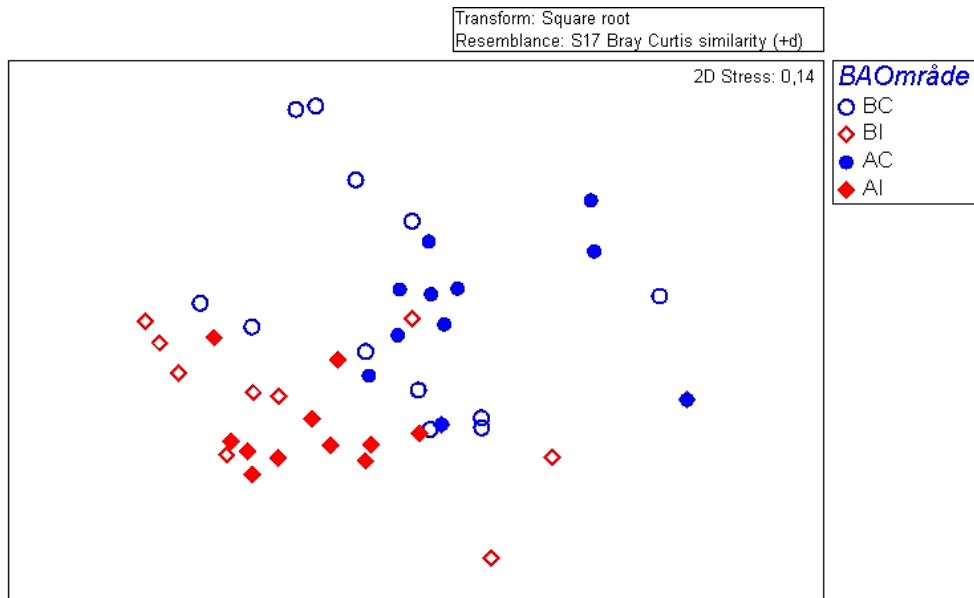
Fallstudie 2 utfördes i kontrollområdet på Bredgrund samt på Lillgrund, vid 150 m avstånd från fundament F05. I varje område utfördes 12 tråldrag (replik, n). *Förstudien* (*Before*, B) genomfördes 17 augusti 2006 och *efterstudien* (*After*, A) företogs 26 september 2006, c:a 24 timmar efter att muddring genomförts vid fundamentets position. Fångsten fördelades mellan adult och juvenil fisk.

**Tabell 5. Medelvärden och standardfel (SE) för antal individer av varje påträffad fiskart inom fallstudie 2 (ingen uppdelning mellan juveniler och adulter). Efterstudien (röd text) är utförd 1 dygn efter muddring vid platsen för gravitationsfundamentet.**

Art		<i>Förstudie</i> (B) Kontroll	<i>Efterstudie</i> (A) Kontroll	<i>Förstudie</i> (B) Påverkan 200 m	<i>Efterstudie</i> (A) Påverkan 200 m
Glasbult	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
	$\pm$ S.E.	0,0	0,0	0,0	0,0
Lerstubb	<i>Medel</i>	0,2	0,0	0,0	0,0
	$\pm$ S.E.	0,1	0,0	0,0	0,0
Mindre havsnål	<i>Medel</i>	0,4	0,7	0,2	0,5
	$\pm$ S.E.	0,2	0,3	0,1	0,2
Mindre kantnål	<i>Medel</i>	0,1	0,0	0,0	0,0
	$\pm$ S.E.	0,1	0,0	0,0	0,0
Rötsimpa	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,1	0,0
	$\pm$ S.E.	0,0	0,0	0,1	0,0
Sandstubb	<i>Medel</i>	0,8	0,1	1,5	0,6
	$\pm$ S.E.	0,3	0,1	0,7	0,3
Sjustrålig smörbult	<i>Medel</i>	16,9	17,5	51,2	185,9
	$\pm$ S.E.	9,8	3,9	19,0	43,7
Småspigg	<i>Medel</i>	4,2	3,5	0,0	2,4
	$\pm$ S.E.	1,7	1,3	0,0	0,9
Stensnultra	<i>Medel</i>	0,0	0,1	0,2	0,4
	$\pm$ S.E.	0,0	0,1	0,1	0,2
Storspigg	<i>Medel</i>	7,8	2,4	0,6	0,6
	$\pm$ S.E.	3,9	1,4	0,4	0,2
Svart smörbult	<i>Medel</i>	0,0	0,7	0,1	0,1
	$\pm$ S.E.	0,0	0,3	0,1	0,1
Tånglake	<i>Medel</i>	0,3	0,1	0,1	0,2
	$\pm$ S.E.	0,3	0,1	0,1	0,1
Tångsnälla	<i>Medel</i>	3,3	4,4	0,9	1,6
	$\pm$ S.E.	0,9	1,3	0,4	0,5
Tångspigg	<i>Medel</i>	0,4	0,1	1,0	4,0
	$\pm$ S.E.	0,2	0,1	0,4	1,1



Figur 8 a. Samhällslighet hos *adult* småfisk återgiven som MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling), baserat på antal individer. Blå cirklar visar replikat (träldrag) från kontrollområdet, röda rektanglar visar påverkansområdet vid 150 m avstånd. Ej fyllda symboler avser *för-studien* medan fyllda symboler avser *efter-studien*. Ju närmare två replikat är varandra desto mer likartat är dess fisksamhälle utifrån provtagningen. BC = *för-studie* i kontrollområdet; BI = *för-studie* på 150m avstånd; AC = *efter-studie* i kontrollområdet; AI = *efter-studie* på 150m avstånd.



Figur 8 b. Samhällslighet hos *juvenil* småfisk återgiven som MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling), baserat på antal individer. Blå cirklar visar replikat (träldrag) från kontrollområdet, röda rektanglar visar påverkansområdet vid 150 m avstånd. Ej fyllda symboler avser *för-studien* medan fyllda symboler avser *efter-studien*. Ju närmare två replikat är varandra desto mer likartat är dess fisksamhälle utifrån provtagningen. BC = *för-studie* i kontrollområdet; BI = *för-studie* på 150m avstånd; AC = *efter-studie* i kontrollområdet; AI = *efter-studie* på 150m avstånd.

**Tabell 6. Resultat från fallstudie 2, med alla arter småfisk inkluderade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (dessa data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adulter	<i>S</i>	sqrt	0,174	0,076	9a
	<i>N</i>	log	0,007	0,438	9b
	<i>M</i>	log	0,001	0,452	9c
Juveniler	<i>S</i>	sqrt	0,253	0,725	9d
	<i>N</i>	log	0,098	0,003	-
	<i>M</i>	log	0,223	0,026	-

<sup>1</sup> S = antal arter; N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

**Tabell 7. Resultat från fallstudie 2, avseende adult fisk med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (dessa data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adulter	smörbult	<i>N</i>	sqrt	0,000	0,000	-
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,329	0,058	-
	smörbult	<i>M</i>	log	0,000	0,032	-
	övriga	<i>M</i>	log	0,013	0,024	-

<sup>1</sup> N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

**Tabell 8. Resultat från fallstudie 2, avseende juvenil fisk med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (dessa data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Juveniler	smörbult	<i>N</i>	sqrt	0,677	0,000	-
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,091	0,000	-
	smörbult	<i>M</i>	log	0,240	0,003	-
	övriga	<i>M</i>	log	0,639	0,090	-

<sup>1</sup> N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

**Tabell 9. Resultat från fallstudie 2, avseende alla längdklasser (både adult och juvenil fisk) med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen Anova indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adult. + Juv.	smörbult	<i>N</i>	log	0,203	0,180	10a
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,130	0,122	10b
	smörbult	<i>M</i>	log	<b>0,010</b>	0,182	10c
	övriga	<i>M</i>	log	0,203	0,110	10d

<sup>1</sup> *N* = antal individer, *M* = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrottransformering ( $x+0,5$ ); log = logtransformering,  $\log_{10}(x+1)$

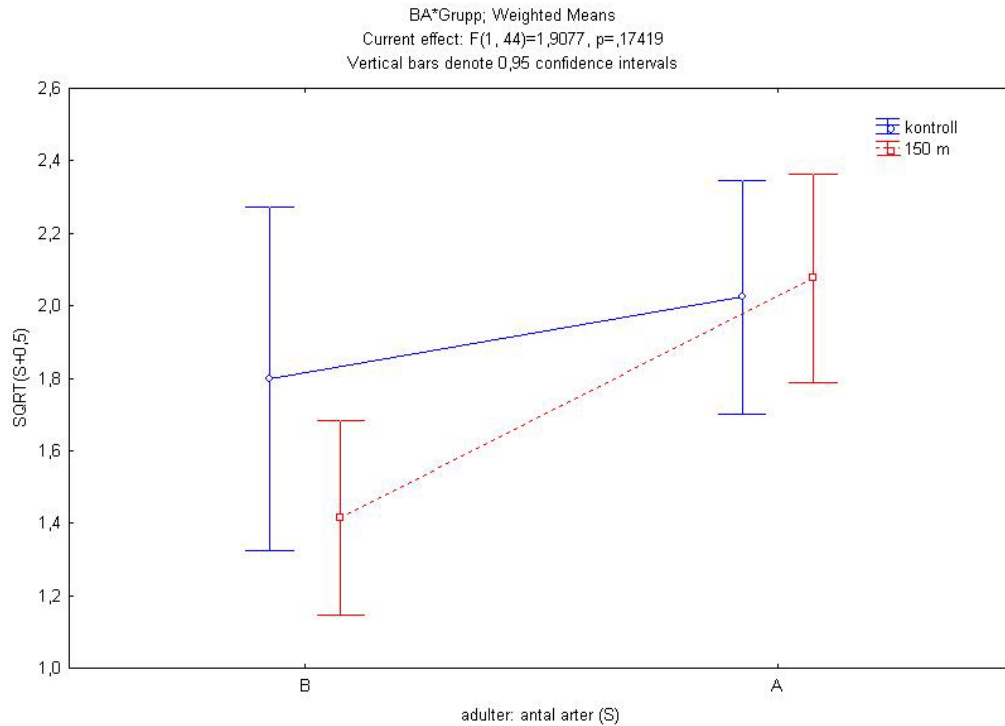
Under *för-studien* i augusti identifierades 10 arter av småfisk i kontrollområdet och 10 arter i påverkansområdet 150 m från positionen för kommande muddring. Vid *efter-studien* i september påträffades 11 arter i kontrollområdet medan återigen 10 arter fångades i påverkansområdet.

Enligt den multivariata analysen (MDS, se Figurer 8 a-b) syns skillnader mellan *för-* och *efter-studien* samt mellan områdena. Detta var tydligare för aduler än för juveniler. Beträffande aduler antyds att fisksamhället i kontroll- och påverkansområdena är mer lika varandra under *efter-studien*.

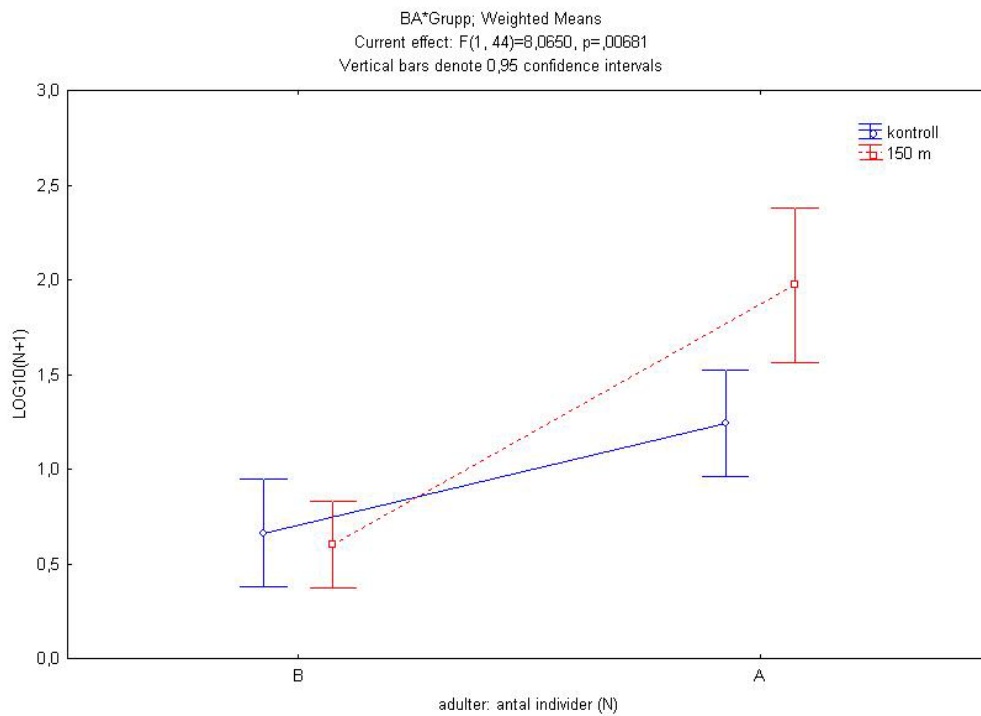
Enligt den univariata statistiska analysen (ANOVA) visas inga signifikanta interaktioner mellan tid och område beträffande antalet arter (*S*) för vare sig aduler eller juveniler (se Tabell 6 och Figur 9 a). För aduler (men ej för juveniler) visas däremot interaktioner mellan tid och område beträffande antal individer (*N*) och biomassa (*M*); ökningen av småfisk är signifikant större i påverkansområdet (se Figurer 9 b-d).

När resultatet analyseras vidare genom att separera den dominerande fisken sjustrålig smörbult från övriga arter uppvisas mycket höga (icke-analyserbara) variationer (Tabell 7 och 8), men då aduler och juveniler sammanförs visas att den kraftiga ökningen av fisk som skett i påverkansområdet främst utgörs av sjustrålig smörbult (signifikant interaktion för biomassa), se Tabell 9 och Figur 10 a-d. Sett endast till juvenil sjustrålig smörbult antyds ingen signifikant interaktion (Tabell 8), vilket det däremot görs beträffande aduler (Tabell 7). Det visas således att adult sjustrålig smörbult står för merparten av den signifikanta skillnaden.

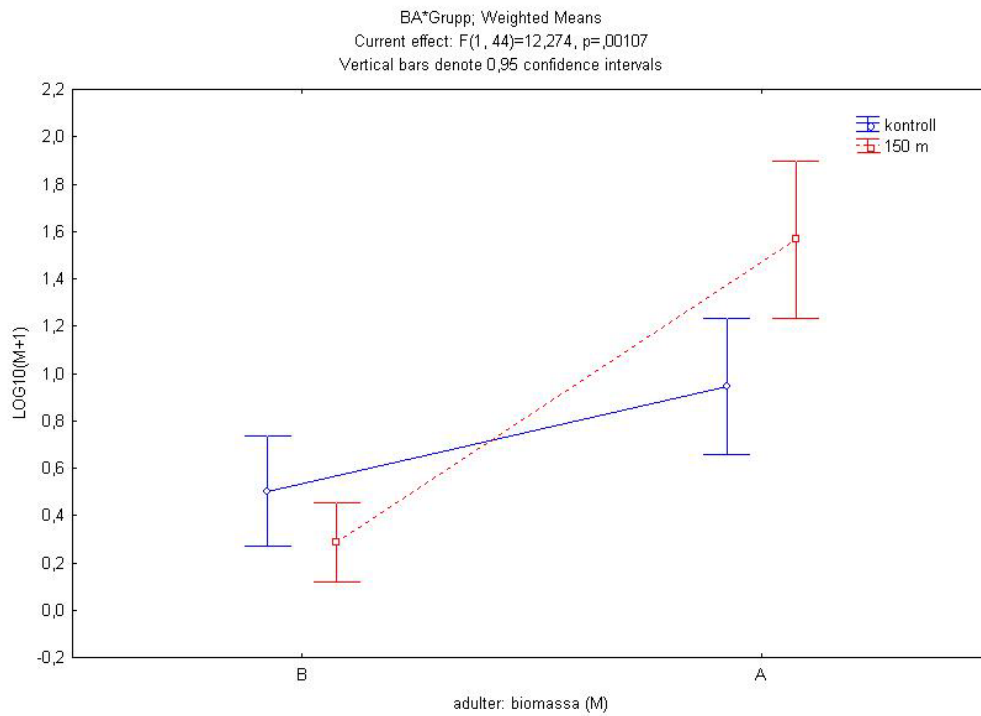
Sammantaget visar resultaten en signifikant större ökning av småfisk i påverkansområdet 150 m från positionen för nyligen (24 h) utförd mudderverksamhet, jämfört med kontrollområdet. Den större ökningen utgörs till största delen, men inte enkom, av adult sjustrålig smörbult. Några tecken på påverkan (interaktioner mellan område och tid) påvisades inte beträffande antalet arter.



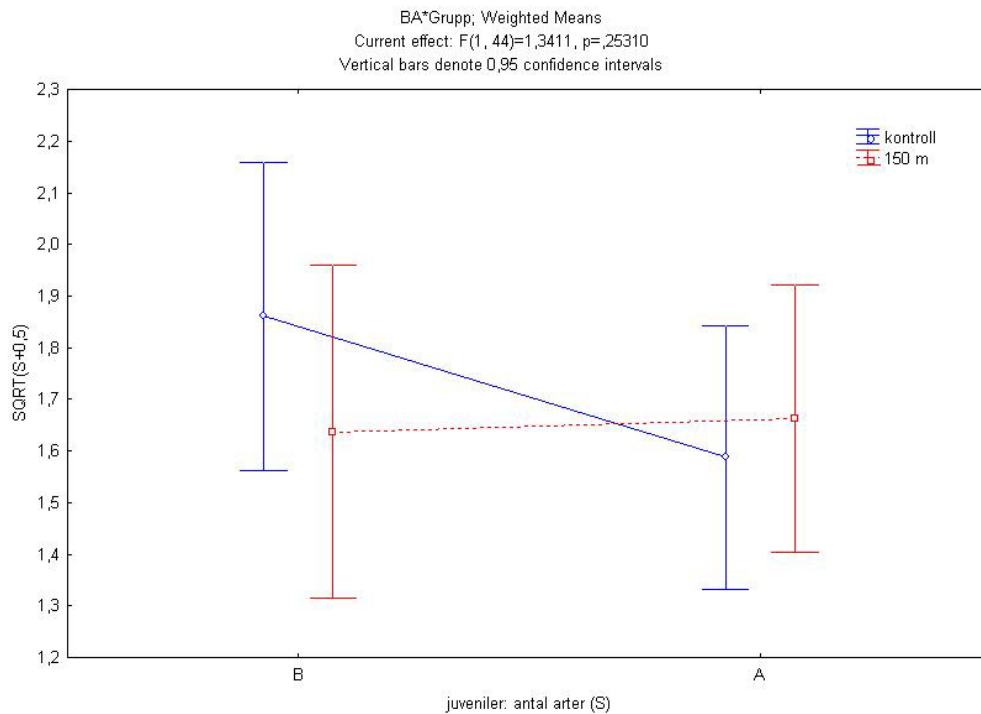
Figur 9 a. Medelvärde av **antal arter (S) adult fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



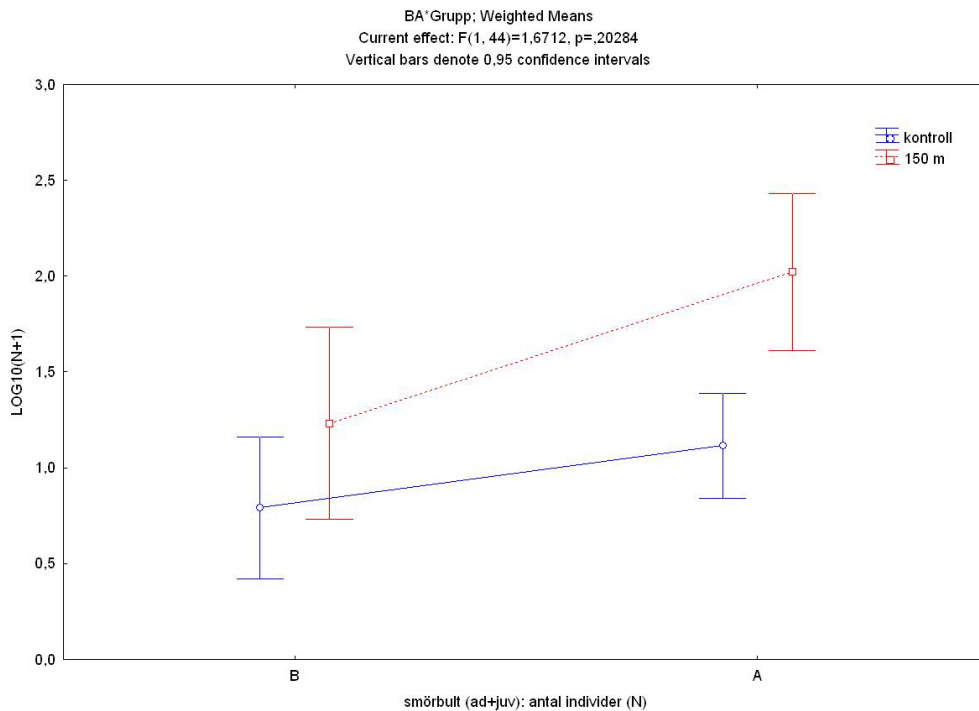
Figur 9 b. Medelvärden av **antal individer (N) adult fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



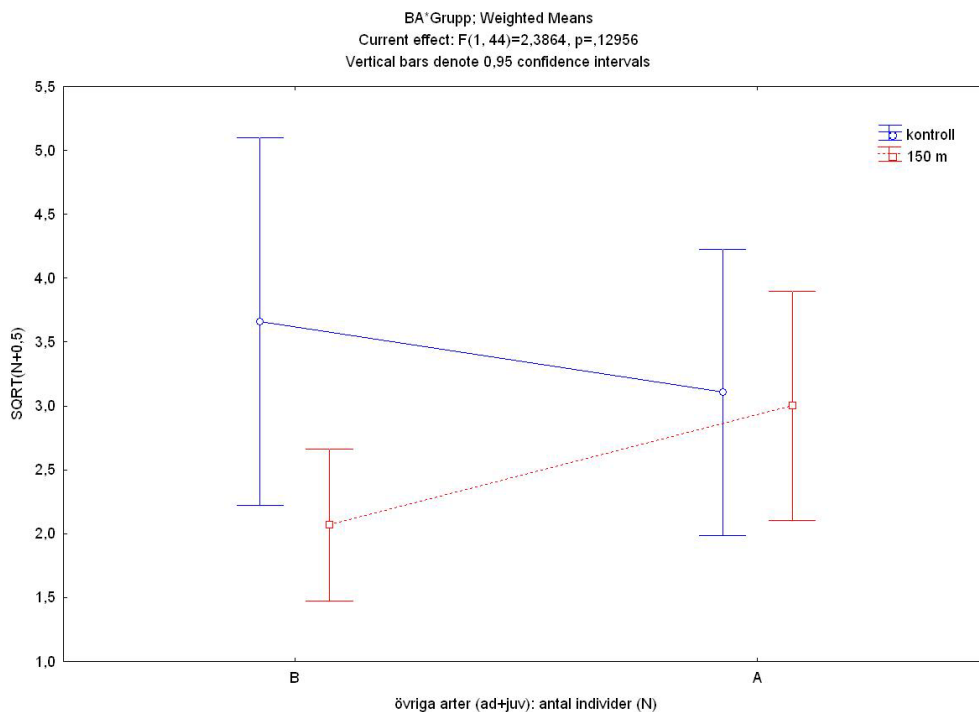
Figur 9 c. Medelvärden av **biomassa (M) adult fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



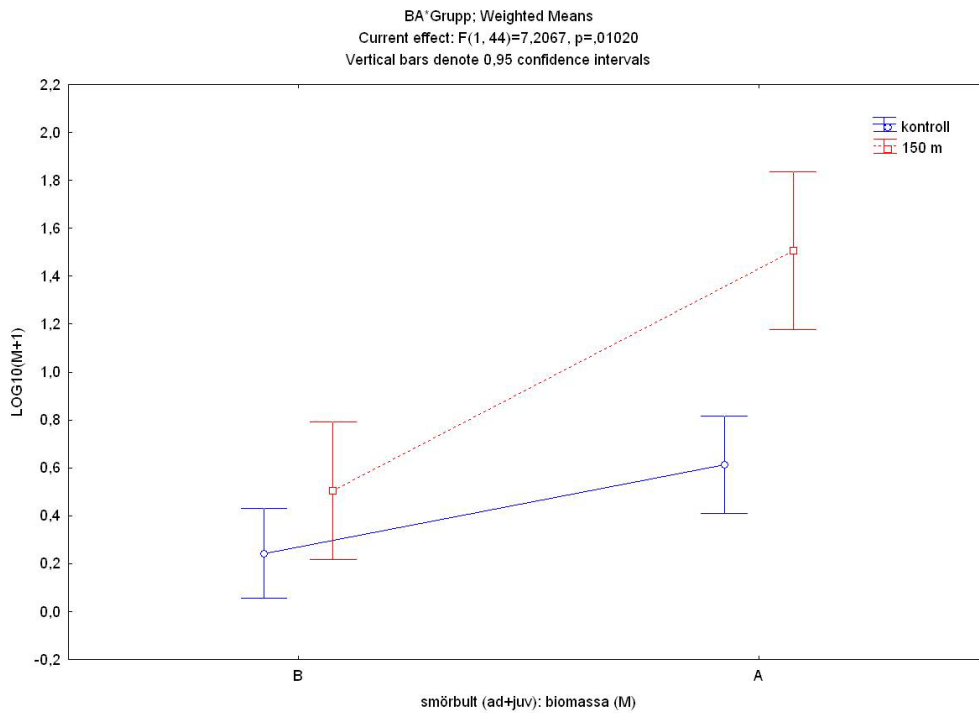
Figur 9 d. Medelvärden av **antal arter (S) juvenil fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 12.



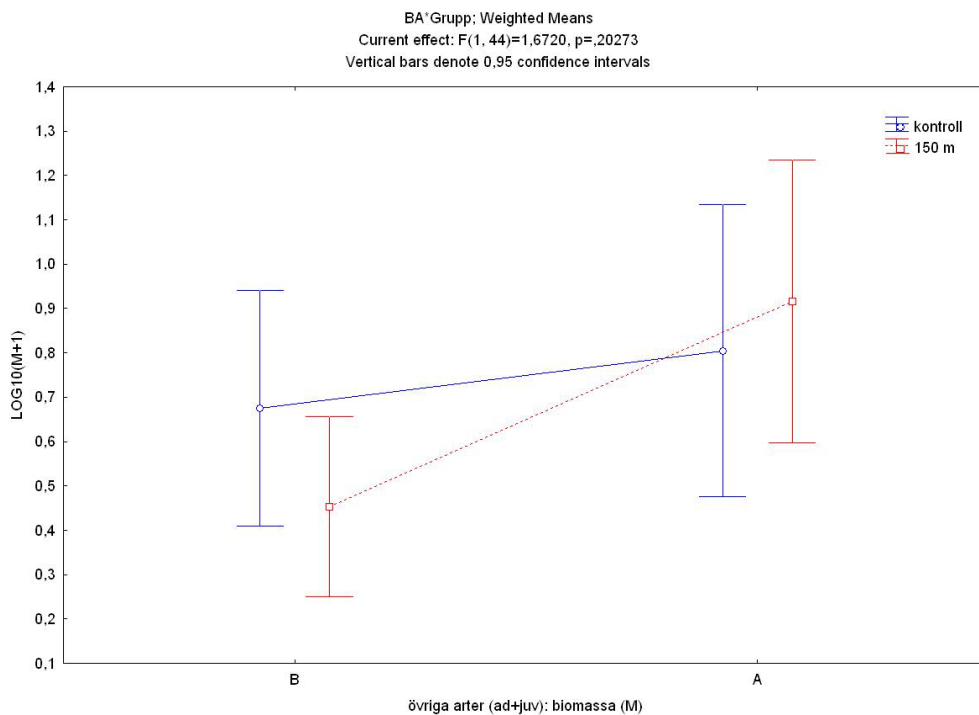
Figur 10 a. Medelvärden av **antal individer (N) sjustrålig smörbult** (inklusive både juvenil och adult fisk) per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.



Figur 10 b. Medelvärden av **antal individer (N) fisk exklusive sjustrålig smörbult**, per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Inklusive både juvenil och adult fisk. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.



Figur 10 c. Medelvärden av **biomassa (M) sjustrålig smörbult** (inklusive både adult och juvenil fisk) per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 12.



Figur 10 d. Medelvärden **biomassa (M) fisk exklusive sjustrålig smörbult** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) muddring. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 2, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade men utan uppdelning mellan juvenil och adult fisk. Antal replikat (n): 12.

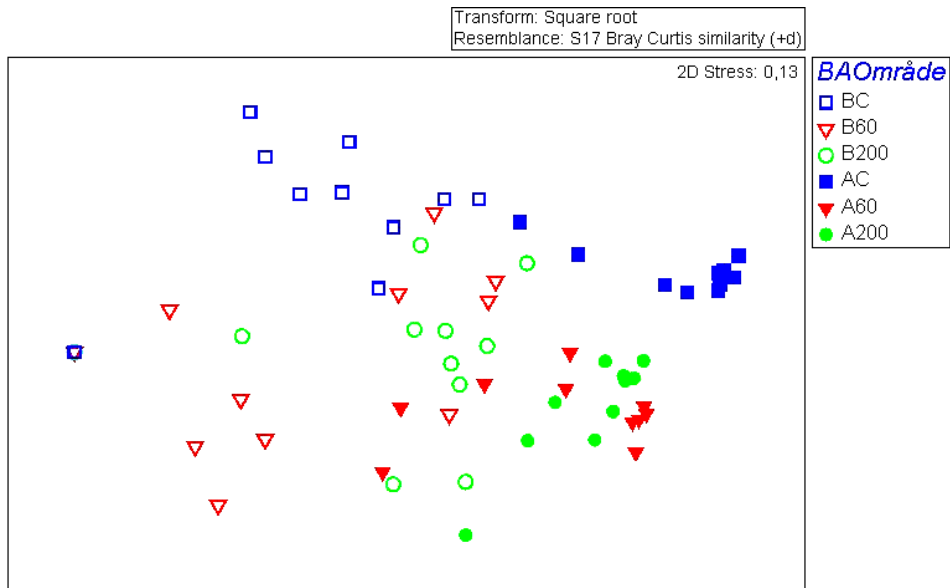


## Fallstudie 3 – direkteffekter av stenläggning

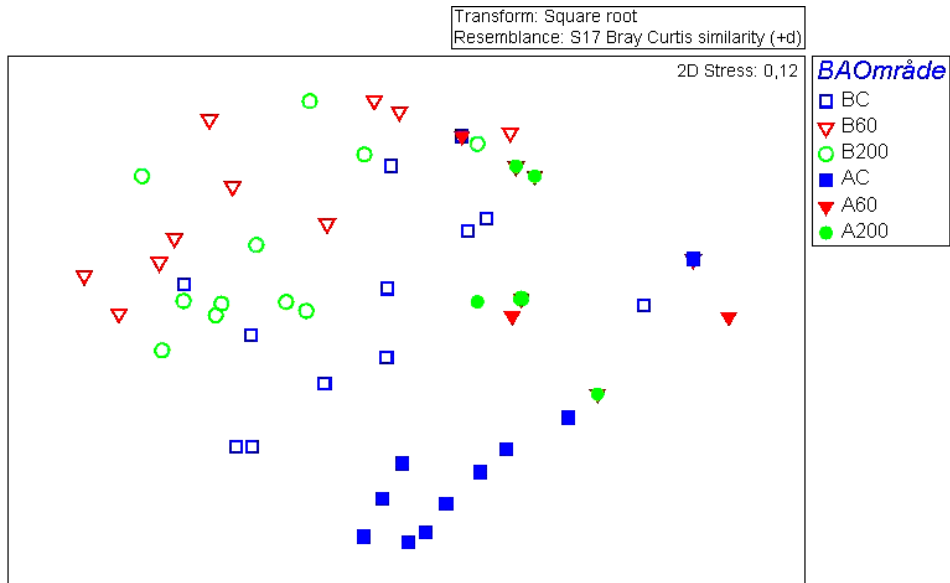
Fallstudie 3 utfördes i kontrollområdet på Bredgrund samt på Lillgrund, vid 60 och 200 m avstånd från positionen för fundament D03. I varje område utfördes 10 trål-drag (replikat, n). *För-studien* (*Before*, B) genomfördes 17-18 augusti 2006 och *efter-studien* (*After*, A) företogs 17 november 2006, samtidigt som stenläggning företogs. Fångsten fördelades mellan adult och juvenil fisk.

**Tabell 10. Medelvärden och standardfel (SE) för antal individer av varje påträffad fiskart inom fallstudie 3 (ingen uppdelning mellan juveniler och adulter). *Efter-studien* (röd text) är utförd under pågående stenläggning vid platsen för gravitationsfundamentet.**

Art		För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>	För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>	För-studie (B)	<i>Efter-studie (A)</i>
		Kontroll	Kontroll	Påverkan 200 m	Påverkan 200 m	Påverkan 60 m	Påverkan 60 m
Glasbult	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
	$\pm$ S.E.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Lerstubb	<i>Medel</i>	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
	$\pm$ S.E.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Mindre havsnål	<i>Medel</i>	0,4	7,3	0,9	2,7	1,2	0,5
	$\pm$ S.E.	0,2	1,9	0,4	1,1	0,6	0,3
Mindre kantnål	<i>Medel</i>	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	$\pm$ S.E.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Rötsimpa	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	$\pm$ S.E.	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Sandstubb	<i>Medel</i>	0,8	0,9	4,1	7,8	2,6	6,2
	$\pm$ S.E.	0,4	0,3	1,3	2,9	1,4	1,8
Sjustrålig smörbult	<i>Medel</i>	16,9	280,0	35,3	128,0	67,3	114,1
	$\pm$ S.E.	10,7	54,7	12,3	19,1	38,4	28,2
Småspigg	<i>Medel</i>	4,2	52,0	1,8	0,1	0,8	0,1
	$\pm$ S.E.	1,8	12,0	0,7	0,1	0,4	0,1
Stensnultra	<i>Medel</i>	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1
	$\pm$ S.E.	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1
Storspigg	<i>Medel</i>	7,8	16,1	4,7	0,2	8,3	0,0
	$\pm$ S.E.	4,2	3,6	2,2	0,1	5,2	0,0
Svart smörbult	<i>Medel</i>	0,0	0,6	0,0	0,0	0,2	0,1
	$\pm$ S.E.	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,1
Tånglake	<i>Medel</i>	0,3	0,2	0,2	0,0	0,6	0,0
	$\pm$ S.E.	0,4	0,1	0,1	0,0	0,4	0,0
Tångsnälla	<i>Medel</i>	3,3	21,3	3,8	2,4	1,6	1,2
	$\pm$ S.E.	0,9	4,0	1,3	0,7	0,8	0,3
Tångspigg	<i>Medel</i>	0,4	1,0	15,3	4,7	7,4	2,1
	$\pm$ S.E.	0,2	0,4	4,8	1,5	2,9	0,6



Figur 11 a. Samhällslikhet hos adult småfisk återgiven som MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling), baserat på antal individer. Blå rektanglar visar replikat (tråldrag) från kontrollområdet, röda trianglar visar påverkansområdet vid 60 m avstånd, gröna cirklar visar påverkansområdet vid 200 m avstånd. Ej fyllda symboler avser *för-studien* medan fyllda symboler avser *efter-studien*. Ju närmare två replikat är varandra desto mer likartat är dess fisksamhälle utifrån provtagningen. BC = *för-studie* i kontrollområdet; B60 = *för-studie* på 60m avstånd; B200 = *för-studie* på 200m avstånd; AC *efter-studie* i kontrollområdet; A60 = *efter-studie* på 60m avstånd; A200 = *efter-studie* på 200m avstånd.



Figur 11 b. Samhällslikhet hos juvenil småfisk återgiven som MDS (non-Metric multi-Dimensional Scaling), baserat på antal individer. Blå rektanglar visar replikat (tråldrag) från kontrollområdet, röda trianglar visar påverkansområdet vid 60 m avstånd, gröna cirklar visar påverkansområdet vid 200 m avstånd. Ej fyllda symboler avser *för-studien* medan fyllda symboler avser *efter-studien*. Ju närmare två replikat är varandra desto mer likartat är dess fisksamhälle utifrån provtagningen. BC = *för-studie* i kontrollområdet; B60 = *för-studie* på 60m avstånd; B200 = *för-studie* på 200m avstånd; AC *efter-studie* i kontrollområdet; A60 = *efter-studie* på 60m avstånd; A200 = *efter-studie* på 200m avstånd.

**Tabell 10. Resultat från fallstudie 3, med alla arter småfisk inkluderade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (denna data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adulter	<i>S</i>	sqrt	0,099	0,003	-
	<i>N</i>	log	0,025	0,442	12b
	<i>M</i>	log	0,014	0,194	12c
Juveniler	<i>S</i>	log	0,022	0,134	12a
	<i>N</i>	log	0,024	0,005	-
	<i>M</i>	log	0,003	0,000	-

<sup>1</sup> S = antal arter; N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

**Tabell 11. Resultat från fallstudie 2, avseende adult fisk med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (denna data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Adulter	smörbult	<i>N</i>	sqrt	0,003	0,000	-
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,000	0,007	-
	smörbult	<i>M</i>	log	0,006	0,022	-
	övriga	<i>M</i>	log	0,006	0,560	13

<sup>1</sup> N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

**Tabell 12. Resultat från fallstudie 2, avseende juvenil fisk med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Statistisk analys genom Levene's test och ANOVA, där endast interaktionen mellan område och tid redovisas. Rödmarkerad text avser signifikans, vilket inom kolumnen *Anova* indikerar på signifikanta interaktioner (skillnader mellan påverkansområden och kontrollområden) och inom kolumnen *Levene's test* tyder på att varianserna ej är homogena (denna data beaktas ej ytterligare, trots signifikant Anova).**

Längdklass	Grupp	Variabel <sup>1</sup>	Transf. <sup>2</sup>	Anova	Levene's test	Figur
Juveniler	smörbult	<i>N</i>	sqrt	0,402	0,000	-
	övriga	<i>N</i>	sqrt	0,032	0,000	-
	smörbult	<i>M</i>	log	0,367	0,000	-
	övriga	<i>M</i>	log	0,002	0,000	-

<sup>1</sup> N = antal individer, M = biomassa.

<sup>2</sup> sqrt = kvadratrotstransformering (x+0,5); log = logtransformering, log10 (x+1)

Under *för-studien* i september identifierades 10 arter av småfisk i kontrollområdet. I påverkansområdet på avstånden 60 och 200 m från fundamentets position påträffades 12 respektive 10 arter. Vid *efter-studien* i november hade antalet

påträffade arter reducerats till 9 i kontrollområdet och 9 respektive 7 arter i påverkansområdet.

Enligt den multivariata analysen (MDS, se Figurer 11 a-b) antyds skillnader både mellan *för-* och *efter-studien* samt mellan kontrollområde och påverkansområde, i första hand beträffande aduler. Den tydligaste skillnaden avseende fisksamhället är att kontrollområdet under *efter-studien* skiljer sig från de båda inbördes lika påverkansområdena 60 och 200 m.

Enligt den univariata statistiska analysen (ANOVA) visas en signifikant större minskning beträffande antalet arter (S) för juveniler (se Tabell 10 och Figur 12 a). Motsvarande trend antyds också beträffande aduler men där uppfylls inte kravet på heterogena varianser – för aduler ökar antalet arter i alla områden, men mer i kontrollområdet än i påverkansområdena.

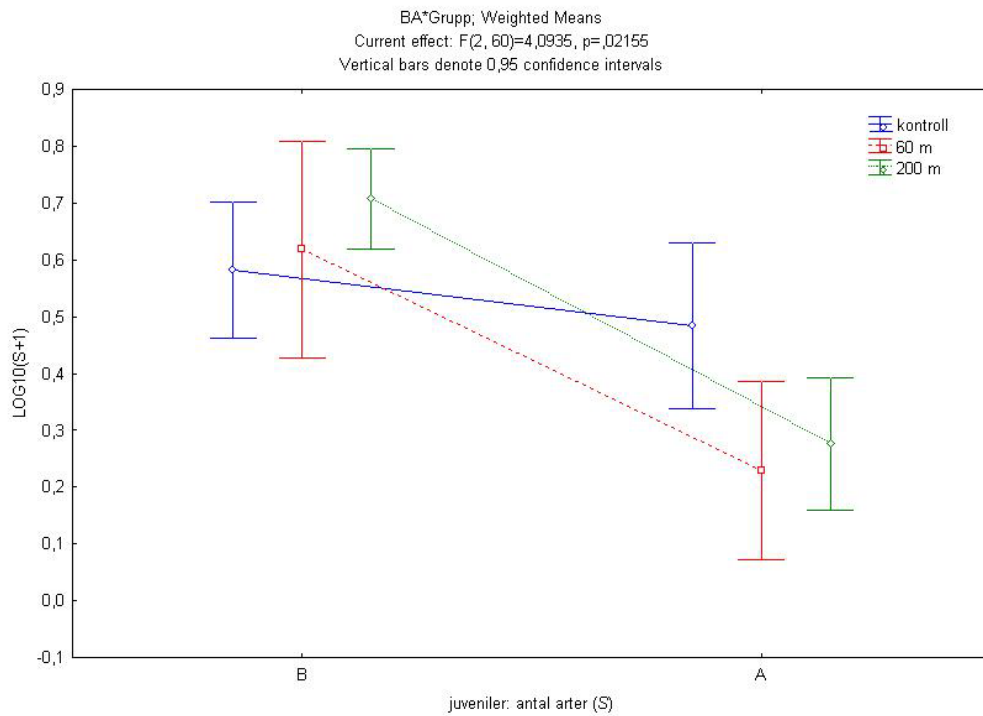
Både antal (N) och biomassa (M) av adult småfisk visas öka kraftigt mellan *för-* och *efter-studien*. Ökningen är dock signifikant större i kontrollområdet än i de båda inbördes mycket lika påverkansområdena (se Figurer 12 b-c). Beträffande juveniler uppfylls inte kravet på homogena varianser. Trenden indikerar dock en större minskning av antal individer och biomassa i påverkansområdena.

Analysen med den dominerande sjustrålig smörbult separerad från övriga arter visar på mycket höga variationer (Tabell 11 och 12). Det kan dock, i linje med föregående analys, visas att biomassan av övriga arter ökat mer i kontrollområdet än i påverkansområdena, se Tabell 12 och Figur 13.

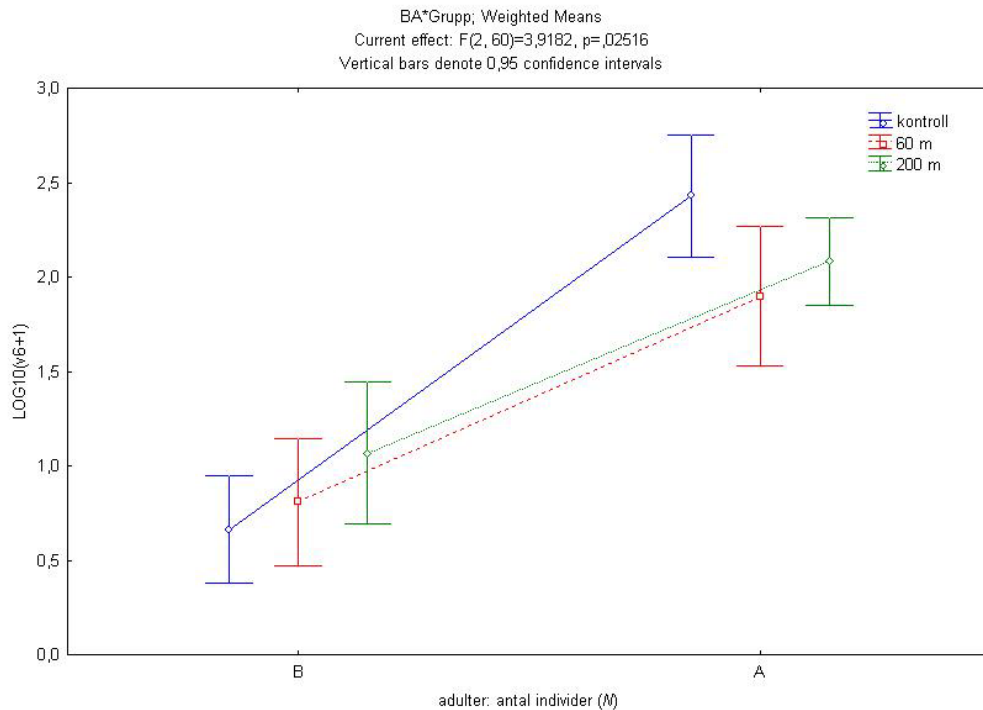
Beaktansvärt är att inga skillnader antyds mellan de två olika avstånden 60 och 200 m från stenläggningsarbetet, vilket pekar på att det enskilda stenläggningsarbetet sannolikt inte är förklaringen till de funna signifikanta interaktionerna.

Eftersom stenläggningsarbetet inte enkom företogs vid fundamentets infästningspunkt utan inom en radie av upp till c:a 20 m kan det verkliga avståndet från pågående stenläggningsarbete till provtagning vara reducerat till c:a 40 respektive 180 m.

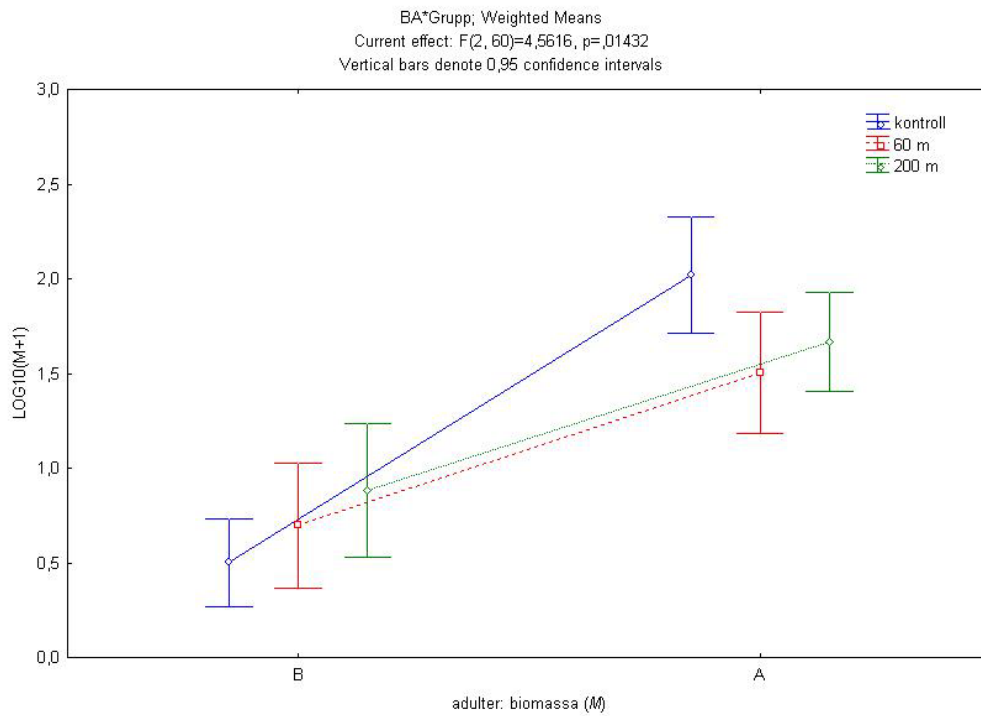
Sammantaget visar resultaten en signifikant större minskning av antal arter i påverkansområdena för juvenil fisk. Beträffande antal individer och biomassa visades ökningen av adult småfisk vara signifikant mindre i påverkansområdet, både 40 och 180 m från det pågående stenläggningsarbetet, jämfört med kontrollområdet.



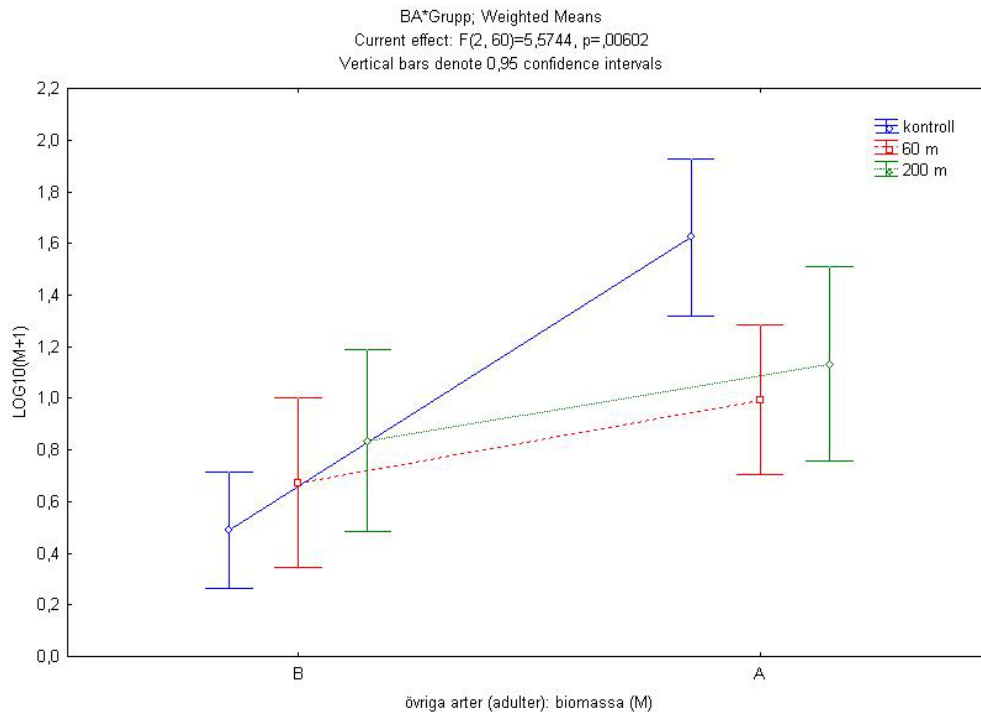
Figur 12 a. Medelvärden av **antal arter (S) juvenil fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) stenläggningsarbete. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 3, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 10.



Figur 12 b. Medelvärden av **antal individer (N) adult fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) stenläggningsarbete. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 3, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 10.



Figur 12 c. Medelvärden av **biomassa (M) adult fisk** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) stenläggningsarbete. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 3, med alla arter småfisk inkluderade. Antal replikat (n): 10.



Figur 13. Medelvärden av **biomassa (M) adult fisk exklusive sjustrålig smörbult** per tråldrag i respektive område, före (B) och efter (A) stenläggningsarbete. Staplarna anger 95% konfidensintervall. Notera att värdena (y-axeln) är transformerade. Resultat från fallstudie 3, med sjustrålig smörbult och övriga arter separerade. Antal replikat (n): 10.

## Slutsatser

Allmänt gällande för de utförda fallstudierna var att det uppvisades en mycket hög variation i förekomsten småfisk, vilket medförde att den statistiska analysens krav på homogena varianser inte överallt kunde uppfyllas trots transformering av data. Att variationerna är så höga beror sannolikt på den kraftigt aggregerade fördelningen av vissa fiskarter samt den oregelbundna utbredningen av ålgräs (där fiskförekomsten förväntas vara högre); därav ett i vissa fall lågt antal replikat (provtråningar) i förhållande till den naturliga variationen. Under tolkningen av resultatet har emellertid beaktats endast de analyser där homogena varianser påvisats.

Det har inte kunnat beläggas att förekomsten av fisk har påverkats negativt av enskilda mudderverksamheter, varken 1 månad (närmsta avstånd 60 m) eller 1 dygn (närmsta avstånd 150 m) efter utförd muddring. Däremot påvisades en ökning av småfisk, i synnerhet adult sjustrålig smörbult, 150 m från området där muddring företagits 1 dygn tidigare. Anledningen till denna ökning är inte uppenbar men exempel på eventuella förklaringar är att fisk undviker det närmaste området för muddring och därför ansamlas i högre tätheter vid, i det här fallet, 150 m avstånd; alternativt att omgivande småfisk anlockats av den ökade tillgången till suspenderat material i vattnet (sedimentspridning). Det är emellertid också möjligt att skillnaden kan ha uppkommit genom okända faktorer, såsom en säsongsberoende ökning av bottenvegetation i påverkansområdet.

En viktig slutsats är att ingen småfisk, varken juveniler eller enskilda arter, tycks påverkas negativt av muddringsverksamhet på ett avstånd av 150 m ett dygn efter avbrutet arbete. Under de 5 föregående dagarna hade totalt 600 m<sup>3</sup> bottensubstrat muddrats upp, medförande ett sedimentspill på c:a 30 m<sup>3</sup> (se Tabell 1 och s 11 *Potentiell miljöpåverkan från muddring*). Vid provtagningstillfället konstaterades ingen påtaglig grumling i vattnet utifrån visuell besiktning, aktuella partikelhalter av suspenderat sediment uppmättes emellertid inte under denna studie.

Beträffande stenläggningsarbete visades en signifikant högre säsongsmässig ökning av småfisk i kontrollområdet Bredgrund jämfört med påverkansområdena vid Lillgrund (avstånd 3 km). Att den högre ökningen i kontrollområdet skulle bero av det vid provtagningen pågående stenläggningsarbetet kan inte uteslutas men motsägs av att inga skillnader förelåg mellan de båda påverkansområdena på 40-60 respektive 180-200 m avstånd från arbetet. Arbetsmomenten som företogs under provtagningstillfället var mekanisk utjämning av stenbädden samt inspektion med arbetsdykare. De skillnader som uppvisades mellan kontrollområdet och påverkansområdet kan mer sannolikt bero av en generell störning från konstruktionsarbetena vid Lillgrund som helhet, t.ex. förlust av bottenvegetation, alternativt att de naturliga förhållandena skiljer sig åt mellan Bredgrund och Lillgrund senare under tillväxtsången och att Bredgrund således med säsongen upphör att vara ett lämpligt kontrollområde.

En betydelsefull observation är att förekomsten av småfisk ökat med tiden även i påverkansområdena (Lillgrund), vilket motsäger några påtagliga effekter på fiskesamhället.

Sammanfattningsvis tyder studiens resultat på att konstruktionsarbetets enskilda arbetsmoment orsakat små eller inga negativa effekter på *förekomst* och *antal arter* av småfisk på avstånd större än storleksordningen 100 m från installationspunkten.



# Referenser

Auld, A.H. & J.R. Schubel. 1978. Effects of suspended sediment on fish eggs and larvae: A laboratory assessment. *Estuar. Coast Mar. Sci* 6: 153-164.

DHI. 2006. Spill Monitoring at Lillgrund, DHI Water & Environment, Horsholm.

Fiskeriverket. 2007. Revidering av kunskapsläget för vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden, Fiskeriverket.

Hammar, L., S. Andersson & R. Rosenberg. 2008. Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft, Marine Monitoring vid Kristineberg - Vindval.

Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen & G. Sorensen. 1981. Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 13: 107-111.

Nedwell, J. & D. Howell. 2004. A review of offshore windfarm related underwater noise sources, Subacoustech, Southampton.

Peter Madsen Rederi. 2006. Method Statements: Foundation and seabed preparation, Peter Madsen Rederi A/S, Report till Vattenfall.

Reyff, J. 2004. Underwater Sound Levels Associated with Marine Pile Driving - Assessment of Impacts and Evaluation of Control Measures Noise-Con, Baltimore.

Thomsen, F., K. Ludemann, R. Kafemann & W. Piper. 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, Biola, Hamburg.

Underwood, A.J. 1981. Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Ann. Rev. Oceanogr. Mar. Biol.* 19: 513-605.

Westerberg, H., P. Roennbaeck & H. Frimansson. 1996. Effects on suspended sediments on cod egg and larvae and on the behavior of adult herring and cod. pp. 13 *Counc. Meet. of the Int. Counc. for the Exploration of the sea, ICES*, Copenhagen, Denmark, Reykjavik, Iceland.

## **Personlig kommunikation**

Grahn, Niklas. Vattenfall Power Consultant. 2006-06.

Millward, Tony. Peter Madsen Rederi a/s. 2006-12.

# Studier på småfisk vid Lillgrund vindpark

RAPPORT 5831

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-5831-9  
ISSN 0282-7298

## Effektstudier under konstruktionsarbeten och anläggning av gravitationsfundament

Vindkraftverken vid Lillgrund i Öresund står på så kallade gravitationsfundament, dvs. stora betongblock som sänkts ned på havsbotten. I rapporten redogörs för hur småfisk påverkades under anläggningsarbetet och jämförelser görs mellan förhållandena i det direkt påverkade området både före, under och efter arbetet samt vid ett kontrollområde utanför vindkraftparken.

Kunskapen kan användas som underlag vid planering tillståndsgivning och miljökonsekvensbeskrivning för havsbaserade vindkraftparker

**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 kunskapsammansättningar, synteser kring effekter och upplevelser av vindkraft. Vindval styrs av en programkommitté med representanter från Boverket, Energimyndigheten, Fiskeriverket, länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Riksantikvarieämbetet och vindkraftbranschen.

