

Blankålsvandring, vindkraft och växelströmsfält, 2011

INGVAR LAGENFELT, INGEMAR ANDERSSON
OCH HÅKAN WESTERBERG

RAPPORT 6479 • FEBRUARI 2012



Blankålsvandring, vindkraft och växelströmsfält, 2011

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

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

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

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

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-6479-2

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2012

Elektronisk publikation

Omslagsfoto: Ingvar Lagenfelt



Sammanfattning

Målet med detta projekt är att belysa om storskaliga vindkraftsparker och anslutande sjöförlagda kablar påverkar lekvandrande ål (blankål). Ingen av dessa anläggningar förväntas vara definitiva vandringshinder, utan möjlig påverkan skulle kunna vara en fördröjning hos en större eller mindre andel av den vandrande ålen. Varje fördröjning är av betydelse för blankålen som på en och samma energireserv ska vandra en sträcka på närmare 750 mil från Östersjön för att sedan leka i Sargassohavet. Under den långa resan åter ålen ingenting, utan får sin energi från de fettreserver den lagrat upp under ett långt liv som gulål.

Rapporten är fördelad på två delprojekt som redovisas separat. Telemetri med individmärkta ålar har använts dels för att följa blankålars vandring och beteende vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund, dels vid en 130 kV växelströmskabel, mellan fastlandet och Öland. Ölandskabeln användes som modell för vindkraftparker kablesystem. Rapporten om delprojektet om Lillgrunds vindkraftpark är samordnad med slutrapport för kontrollprogram för fisk och fiske utförd på uppdrag av och finansierat av Vattenfall Vindkraft AB.

Vindkraftparken på Lillgrund omfattar 48 stycken 2,3 MW generatorer, en transformatorstation, samt kablar mellan vindkraftverken och mellan transformatorn och land. Totalt ingick över 300 akustiskt individmärkta ålar i försöket och av dessa bidrog drygt en tredjedel med användbar information för analyserna. Försöken under baslinjestudien, undersökningarna före idrifttagandet (referensstudien), påbörjades i liten skala år 2001 och fortsatte till år 2005 (se Lagenfelt m fl 2006), men huvuddelen av ålarna märktes och följdes under driftfasen 2008–2010. De märkta ålarna sattes ut söder om Lillgrund och vindkraftparken. Därefter mättes tiden för ålarnas förflyttning till en östvästlig transekt med registrerande mottagare tvärs genom norra delen av vindkraftparken. Även den geografiska fördelningen registrerades, det vill säga var i transekten ålarna passerade. För att få en mer detaljerad bild av ålarnas vandringsbeteende användes fyra transekter år 2010, tre transekter söder om och en norr om vindkraftparken.

En tredjedel av alla ålar passerade transekten både under baslinjestudierna 2001–2005 och vid studierna under driftfasen 2008–2009. Den största andelen ålar passerade i den djupare delen av transekten vid farleden Flintrännan, nära den danska gränsen vid Drogden, både under driftfas (31 %) och baslinje (43 %). En något större andel av ålarna registreras som passerande i transekten östligaste del nära Klagshamn under driftfasen (14 %), jämfört med baslinjeperioden (5 %). Ett avvikande beteende som förekom under driftfasen var att enstaka individer vandrade tillbaka till utsättningsområdet. Det vanligaste beteendet under försöken 2010 var att ålen registrerades i rörelse söder om vindkraftparken med mer eller mindre nordlig kurs utan att sedan registreras norr om densamma.

Spridningen i tidsåtgång för ålarnas förflyttning från utsättningsområde till passage av transekten genom vindkraftparken var mycket stor (från 4 till över

1000 timmar). Ingen statistisk skillnad gick att säkerställa i förflyttningstid (mätt som medianvärde), mellan perioder med låg produktion i vindkraftparken (under 20 % av den maximala) och perioder med hög produktion (över 20 %) eller för individer som passerade genom eller utanför området för vindkraftparken.

Även om ålarna inte uppvisade något gemensamt, statistiskt signifikant beteende, kan förändringar i vandringsmönster finnas hos enskilda individer. Tendensen till spridning mot längre förflyttningstider vid större produktion (> 20 %) skulle kunna tyda på att vissa ålar påverkas av vindkraftparken. Andelen ålar med en förflyttningstid över en vecka (168 timmar) var 48 % under perioder med högre produktion (över 20 %) jämfört med 28 % vid lägre produktion. Ingen skillnad i passageras fördelning inom respektive utanför området för vindkraftparken går att visa. Ålarna visade dock en tendens till att registreras vid färre tillfällen än förväntat innanför vindkraftparken vid låg produktion (<20 %) och vid fler tillfällen än förväntat vid högre produktion (> 20 %). Ojämnheterna i fördelning, utifrån förväntat, skulle kunna tyda på att ålen har svårare att navigera förbi vindkraftparken vid högre produktion. Vandringshastigheten uppvisade inget linjärt samband med storleken på produktionen i vindkraftparken.

I och med ett ökande antal **växelströmskablar** på havsbotten, genom bland annat havsbaserad vindkraft och kraftöverföringen till land från dessa, ökar risken för en påverkan på fiskarter som använder sig av det jordmagnetiska fältet för navigering eller som är känsliga för elektriska och magnetiska fält.

Vid studien av växelströmsförbindelsen mellan fastlandet och Öland märktes totalt 60 blankålar, som släpptes norr om kabeln för att få vandra söderut genom Kalmarsund. Simhastigheten mättes mellan fyra transekter med cirka fyra kilometers mellanrum och med kabelsystemet i mitten av arrangemanget. Ålarnas observerade simhastighet korrigerades för den uppmätta strömmen i sundet. Ålarnas hastighet var signifikant lägre i delområdet med kabeln än i de båda andra områdena norr och söder om denna. Den genomsnittliga fördröjningen vid passage av kabeln var 40 minuter. Den observerade simhastigheten minskade vid ökande elektrisk ström i kabeln.

Sammanfattande diskussion

Hur stor andel av de ålar som ingick i undersökningarna korsade det potentiella vandringshindret?

Varken vindkraftparken eller kabeln var definitiva vandringshinder. Ungefär lika stor andel av de registrerade blankålar, en tredjedel, passerade vindkraftparken under baslinjeperioden respektive under drift perioden. Knappt 80 % av de utsatta ålarna passerade den studerade växelströmskabeln under drift. Det fanns ingen möjlighet att studera förhållandena när kabeln ej var i funktion men fördröjningen ökade vid ökad elektrisk ström i kabeln.

Hur passerade ålen i förhållande till det potentiella hindret, vandringsmönster?

Förändringarna i vandringsmönster observerades hos enstaka individer i båda studierna, snarare än som ett gemensamt beteende för alla studerade ålar. Exempelvis noterades blankålar som vände tillbaka till utsättningsområdet under driftfasen för vindkraftparken men inte under baslinjestudien. Några individer vek även in mot land i stället för att fortsätta i de lite djupare delarna av Öresund, vilket förväntades leda till ökad förbrukning av energireserver. Vid växelströmskabeln vid Öland noterades enstaka individer vända åt motsatt håll i den zon där kabelsystemet fanns.

Hur lång tid tog det för ålen att passera det potentiella hindret?

Det gick inte att säkerställa någon signifikant koppling mellan ålarnas förflyttningstid och produktionen i vindkraftparken. Påverkan kan dock omfatta enstaka eller flera individer som fördröjs i sin vandring då spridningen i förflyttningstid visade en tendens att vara större under perioder med hög produktion (> 20 % av maximala produktionen) än vid låg produktion. Vid växelströmskabeln var fördröjningen statistiskt signifikant men i genomsnitt mindre än en timme.

Kvarstående frågor

Kunskap behövs kring vilka eventuella kumulativa effekter upprepade möten med områden med vindkraft och kablar har på ålens lekvandring. Detta oavsett om det är samma eller olika individer som riskerar att påverkas vid varje enskild passage.

Mer kunskap behövs även från andra havsområden vad avser ålens lekvandring och vindkraft. Lillgrunds vindkraftpark utgör en av de första storskaliga vindkraftparkerna och ligger placerad i ett område med frekvent, och bullrande, fartygstrafik och frekventa och stora växlingar i omvärldsparetrrar, som salthalt och ström. De speciella omgivningsförhållandena medför svårigheter att relatera eventuella ändringar i ålarnas vandringsbeteende till driften av vindkraftparken.

Innehåll

FÖRORD	9	
INLEDNING	11	
Havsbaserad vindkraft i Sverige		12
Ål		12
DELPROJEKT 1: VINDKRAFTPARKEN VID LILLGRUND OCH BLANKÅLSVANDRING		17
Material och metoder		17
Resultat	25	
Diskussion	38	
DELPROJEKT 2: VÄXELSTRÖMSFÄLT OCH BLANKÅLSVANDRING		41
Material och metoder		41
Resultat		44
Diskussion		48
TACK		50
REFERENSER		51

Förord

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

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

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

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

Den här rapportens del om ”Vindkraftparken vid Lillgrund och blankålsvandring” har skrivits av Ingvar Lagenfelt och Ingemar Andersson och ”Växelströmsfält och blankål” skrivits av Ingvar Lagenfelt och Håkan Westerberg på förutvarande Fiskeriverket nuvarande Havs och vattenmyndigheten respektive SLU. Skribenterna svarar för innehållet.

Vindval i Februari 2012

Inledning

Syftet med de två delprojekten som redovisas i denna rapport var att belysa om storskaliga vindkraftsparker med tillhörande sjöförlagda kablar påverkar lekvandrande ål, så kallad blankål. Påverkan på ålens vandring kan potentiellt förväntas framför allt av undervattensljud alstrade vid produktionen i vindkraftparken och av växelströmsfälten från kablarna. Studierna inriktade sig på att studera effekter av en vindkraftpark (Lillgrund vindkraftpark i Öresund) som en integrerad helhet, inkluderande ljudalstring, elektriska fält och fysisk struktur. För att kunna särskilja eventuella effekter av växelströmsfält på lekvandrande ål användes Ölandskabeln, som går mellan fastlandet och Öland, som modell för landkablar från vindkraftparker.

Inga tidigare liknande undersökningar har påträffats i litteraturen. En sammanställning där det ingår en bedömning rörande aspekter på vindkraft och miljö gjordes nyligen (Wilhelmson m fl 2010). Riskerna av påverkan från vindkraft bedömdes i denna som små på fisksamhället som helhet, både beträffande maskering av viktig ljudinformation och elektromagnetiska fält, men för båda aspekterna påpekas den begränsade kunskapen i dagsläget. Särskilt påpekades avsaknaden av information om långtidseffekter av den under driftfasen förändrade ljudmiljön. I tillägg bör den potentiella betydelsen av kumulativa effekter beaktas. Upprepade störningar av ålens lekvandring, med flera sjöförlagda likströms- och växelströmskablar, planerade och befintliga vindkraftparker, fartygstrafik och broar skulle kunna medföra en avsevärt högre påverkan på ålarnas vandring än var och en av störningarna för sig.

Studierna utfördes genom spårning av vandrande blankålar med hjälp av telemetri med fasta mottagarhydrofoner. En förstudie av metodiken genomfördes år 2006 i Kalmarsund (Westerberg & Lagenfelt 2006), och visade att metoden var kostnadseffektiv för att få fram selektiv och statistiskt bearbetningsbar information. Metoden är dock inriktad på beteenden, vilket bör beaktas vid tolkningen av resultaten. Metoden bedömdes fungera väl i förvaltningssammanhang och vid miljökonsekvensanalys där frågeställningarna är om det föreligger en effekt eller inte.

Föreliggande rapport är en sammanställning av resultat från de undersökningar som utförts på lekvandrande ål under kommersiell drift av en vindkraftpark, och vid en växelströmskabel. Studien fokuserades på följande frågeställningar:

1. Hur stor andel av de ålar som satts ut på ”motvandringssidan” om vindkraftparken eller kabeln korsar det potentiella vandringshindret?
2. Hur är ålens rörelseriktning i förhållande till vindkraftsparken och kabeln?
3. Hur lång tid tar det för ålen att passera det potentiella hindret, förflyttningshastigheten?

Rapporten inleds med allmän information om havsbaserad vindkraft i Sverige och om ål.

Havsbaserad vindkraft i Sverige

Både land- och havsbaserad vindkraft planeras få en stor roll när det ökande behovet av förnyelsebar energi ska täckas, både nationellt och internationellt. Idag står dock merparten av vindkraftverken i Sverige på land, då vindkraft till havs är dyrare att anlägga och driva. Detta kan på sikt förändras genom att kraftverken till havs kan göras större genom att delarna transporteras på fartyg. I slutet av år 2010 fanns det sammanlagt 71 havsbaserade vindkraftverk med en installerad effekt på 163,4 MW i Sverige. Av detta bidrog Lillgrund vindkraftspark med 48 verk och drygt 110 MW (Energimyndigheten, Vindkraftstatistik 2010). Sju vindkraftparker till havs har idag tillstånd men har ännu inte uppförts.

I egentliga Östersjön planeras till exempel två mycket stora vindkraftparker i Hanöbukten (Taggen och Blekinge Offshore) och en på Södra Midsjöbanken. De tre vindkraftparkerna skulle sammantaget omfatta upp mot 1 200 vindkraftverk (mellan 883–1183), med en installerad effekt om cirka 3 800 MW och produktion om cirka 12 TWh. Alla tre berör på något sätt vandringsvägar för ål. Även en vindkraftpark på till exempel Kriegers flak kan komma att påverka vandringsvägar för ål, främst genom landanslutningen.

Vindkraftparken vid Lillgrund utgör en relativt liten vindkraftpark i ett av fartygsbuller kraftigt påverkat havsområde. Om resterande, redan tillståndsgivna och planerade vindkraftparker anläggs kommer sannolikt ljudbilden att förändras över flera hundra kvadratkilometer stora havsområden som idag är mindre störda av buller än Öresund. Förändringar skulle eventuellt även inkludera elektromagnetiska fält.

De främsta riskmomenten för vandrande ål, och fisk i allmänhet, kan sannolikt reduceras betydligt genom tekniska och utförandemässiga anpassningar, exempelvis genom att växellådans ljudtoner tas bort. Det finns för detta arbete ett uttalat behov av kontroll och uppföljning av befintliga och tillkommande vindkraftparker för att öka kunskapen om effekter och gynna utveckling och metoder för att minimera negativ påverkan.

Ål

Allmänt om ål

Ålen rödlistad och klassad som akut hotad (CR) i Sverige och enligt Internationella naturvårdsunionens (IUCN). Stor hänsyn måste därmed tas till arten.

Rödlistningen beror på att rekryteringen till det europeiska ålbeståndet har minskat drastiskt under de senaste årtiondena. Flera faktorer torde ha samverkat till minskningen i rekrytering av ål. Minskningen av tillgängliga uppväxtområden genom hinder för ålarnas uppvandring och/eller torrläggning av uppväxtarealer är en bidragande orsak. Höga halter av miljögifter och storskaliga förändringar av strömmarna och klimatet i Atlanten kan ha påverkat vandrigen till och från lekplatsen i Sargassohavet. Ett hårt fisketryck på flera livsstadier hos ål (glasål, gulål och blankål) är också en betydande faktor.

Det för närvarande allt överskuggande problemet är att säkerställa en fortsatt och ökande reproduktion. En viktig inriktning för framtida och påbörjade åtgärder är därför att öka mängden ål som påbörjat den upp till 750 mil långa lekvandringen till Sargassohavet, s.k. blankål. Blankålen är mörk på ryggen, vit på buken och har lagrat fett för att klara den långa vandringen till Sargassohavet (Tesch 2003).

De störningar i havet som skulle kunna påverka ålarnas vandring negativt är sådana som ger ändringar i vandringshastighet eller vandringsriktning. Störningar av vandringen och fördröjningar medför ökad energiförbrukning för ålarna, och därmed minskad lekframgång, då den lekvandrande ålen inte äter utan helt är beroende av energin i den fettreserv den lagrat upp under ett långt liv som gulål. Kunskapen av vad som skulle kunna orsaka störningar är långt ifrån fullständig men de generellt viktigaste omgivningsfaktorer som har betydelse för fiskars orientering vid vandring är akustiska, kemiska och visuella stimuli.

Flera teorier finns om vad som styr just blankålen. Förutom smak- och luktsinne innefattas orientering efter olika komponenter av det jordmagnetiska fältet, strömförhållande och möjligen användande av ljud i teorierna (Tesch 1973, Tesch m fl 1992, Westin 1998, Westerberg 1979). Blankål har ett relativt förutsägbart vandringsmönster ut ur Östersjön. Vandringen sker söderut i Östersjön och norrut genom Öresund samt Stora och Lilla Bält (Tesch 1973, Tesch m fl 1991, Westerberg, m fl 2007, Sjöberg 2004; Svärdson 1976).

Ål och ljud

I föreliggande studie ses vindkraftsparken som en helhet men ljud och vibrationer, liksom elektromagnetiska fält, är en potentiellt viktig del av en vindkraftparks inverkan på miljön under vattnet. Ljudenergi fortplantar sig igenom vattnet som partikelrörelser och dessa rörelser skapar långsgående tryckförändringar där mediet komprimeras och dekomprimeras och därmed uppstår tryckfluktuationer. Alla fiskar kan registrera partikelrörelserna men endast fiskar med en simblåsa kan registrera tryckförändringarna.

Generell påverkan på fisk från människoalstrat undervattensljud kan delas upp i ett antal principiella kategorier (fritt efter Richardson m fl. 1995);

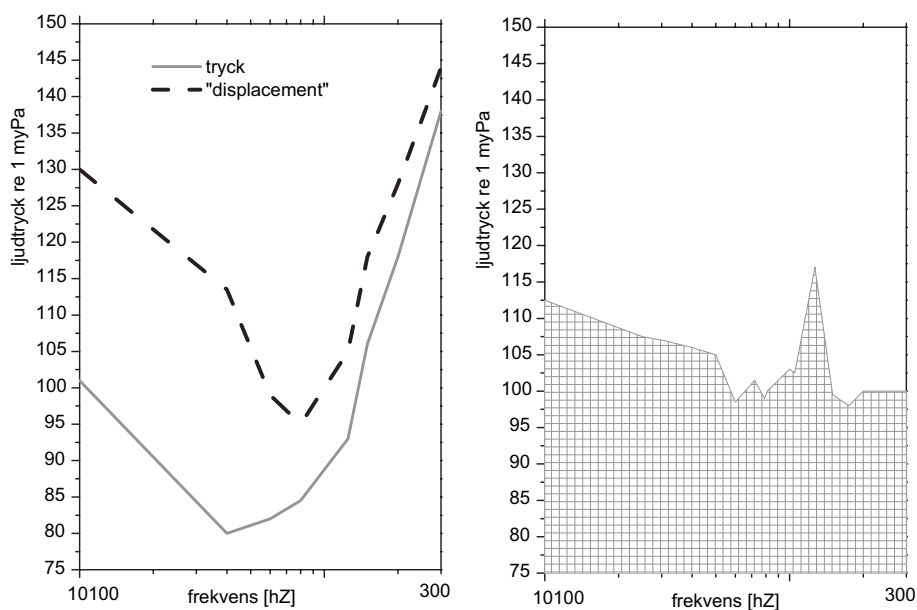
- Övergående eller permanenta fysiska skador på hörselorganen.
- Fysiologisk stress till exempel påverkan på stresshormonet kortisol, hjärtfrekvens, tillväxt, fortplantning.
- Viktig ljudinformation om omgivningen maskeras så att orienteringsförmågan störs, undvikande av rovfisk försvåras.
- Undvikande av en ljudmiljö medför förlust av område för uppväxt och födosök.
- Beteendepåverkan, stimbildning eller lek försvåras.
- Störning av ljudkommunikation inom arten.

Den eventuella påverkans storlek beror av ljudstyrka, varaktighet och frekvensen hos ljudet men också av hur mycket bakgrundsljud, till exempel från vind och vågor samt fartygstrafik som finns i området. I en zon runt ljudkällan kan det också vara möjligt för fisken att detektera ljudet utan att reagera. De olika effekterna kan dessutom samverka, förstärka eller minska, följderna för fisken av varandra.

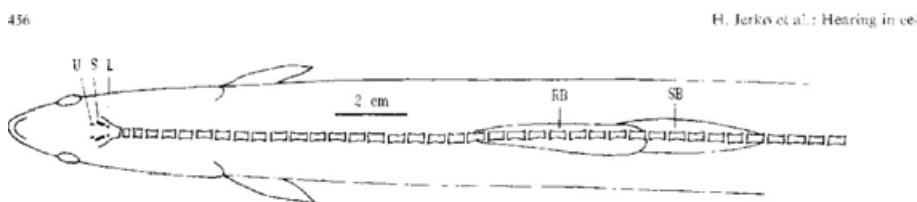
Ål, som har simblåsa, kan registrera både partikelrörelser och tryckförändringar (det vill säga båda komponenterna av ljudvågen). Om ålarna använder sig av ljudmiljön under vatten för orientering skulle störningar i denna kunna störa deras lekvandring. Till exempel om ålen på avstånd upplever en vindkraftpark som en sammanhängande ljudkuliss, som en ö, skulle den kunna utgöra ett hinder för vandringen även om ljudtrycken inte är kraftiga nog för att inducera en flyktreaktion. Simriktningen hos ålen skulle då kunna ändras och/eller ålen fördröjas så att ålen förbrukar mer av den energi som är nödvändig för vandring och fortplantning, och som inte kan ersättas. I förlängningen innebär varje fördröjning för de lekvandrande ålarna att mängden ålyngel minskar i lekområdet. I värsta fall kan den sammantagna fördröjningen under lekvandringen medföra att energin inte räcker till förflyttningen då energimarginalerna för ålen från Östersjön kan vara små (Clevestam m fl 2011).

För ålens ljudupplevelse dominerar partikelaccelerationen vid låga frekvenser (under cirka 50 Hz), medan tryckdetektionen är som bäst vid simblåsans resonansfrekvens (omkring några hundra Hertz). Simblåsan är viktig för hörsel och inom frekvensbandet 50–200 Hz (Figur 1), kan ålen detektera både ljudtryck och acceleration (Sand 1992). Ålen verkar enligt författarna av publikationen ”Hearing in the eel” (Jerkø m fl. 1989) ha en bättre hörselkänslighet än vad som anatomiskt går att förklara, eftersom man inte känner till några specialiserade mekanismer för hur ljudet leds från simblåsa till innerörat hos denna art (Figur 2). I den ljudmiljö som Öresund utgör kan ålen förväntas detektera vindkraftparken på ett avstånd av något hundratal meter vid halv produktion och upp till någon kilometers avstånd vid full produktion (Andersson m fl 2011).

Att ål kan påverkas av ljud visas av att infraljud (under 20 Hz) har visats skrämna ålen om partikelaccelerationen är högre än cirka $0,01 \text{ m/s}^2$ (Sand m fl. 2001). Att ljudinformation har betydelse för arten visas också av att ålar själv har möjlighet att alstra en repertoar av knarrande och knirpande ljud med sin simblåsa (egen iakttagelse).



Figur 1. Vänster figur: Hörbarhetsrösklar för ljudtryck hos ål mätt i rör i laboratorium (omräknat och fritt efter Jerkø m fl. 1989). Displacement i vänstra figuren ger ett mått på accelerationen. Höger figur: Den inlagda skuggningen med spetsen markerar en av de dominerande frekvenserna som alstras i vindkraftparken. Ljudet från vindkraftparken vid Lillgrund har en topp vid 127 Hz som orsakas av turbinernas växellåda. Frekvensen ligger väl inom ålens hörbarhetsområde (fritt efter Andersson m fl 2011).



Figur 2. Simblåsans position i förhållande till innerörat hos en 50 cm lång ål. Simblåsan hos ål består av två delar secretory bladder (SB) och resorbent bladder (RB) (= ductus pneumaticus). Innerörats delar: L, lagena; S, sacculus; U, utricle. Direkt från Jerkø m fl. 1989, figur 1.

Påverkan på ål och ålarnas beteende kan vara olika under ålens olika livsstadier. Den uppväxande gulålen kan reagera annorlunda på ljud än den lekvandrande ålen. I provfisken som utförts vid Lillgrund vindkraftpark, riktade efter bentisk fisk, fångades gulål och fångsten var högre i området för vindkraftparken de två första två åren jämfört med fångsten utanför (Bergström m fl 2011).

Ål och elektromagnetiska fält

En följd av den påbörjade etableringen av vindkraft längs kusterna i havet är att antalet kablar in till land kommer att öka. Härigenom kommer vandrande fisk oftare att passera kablar och de elektromagnetiska fält (EMF) som dessa ger upphov till. När det gäller EMF och fisk finns en del information framtagen. Ett flertal litteratursammanställningar och modelleringar har gjorts på uppdrag av Collaborative Offshore Wind Energy Research

Into the Environment i Storbritannien (COWRIE) och till exempel i USA (Normandeau m fl 2011). I denna ingår information uppspaltad på arter inkluderande, förutom europeisk ål, också japansk och amerikansk ål. De genomgångna undersökningarna omfattar huvudsakligen fysiologiska-, anatomiska- och beteendenaspekter relaterade till det geomagnetiska fältet. En litteratursammanställning om effekterna av och teknisk information om elektromagnetiska fält orsakade av undervattenskablar har gjorts av Centre for Marine and Coastal Studies (CMACS) i England år 2003 och denna har uppdaterats av Gill m fl. 2005.

Flera fiskarter, främst hajar och rockor, har visat sig kunna detektera svaga magnetiska och elektriska fält. Däremot finns få fältundersökningar gjorda om och hur fisk påverkas av växelströmskablar och de elektromagnetiska fält dessa alstrar. I två äldre studier från Sovjet (Poddubny, 1967 och Poddubny m fl 1979) har visats att lax (*Salmo salar* L.) och ål (*Anguilla anguilla* L.) i en flod reagerar då de passerar under en kraftledning med växelström. En tidig svensk studie om direkta effekter av anod och katod och i elektriskt kraftfält på fiskbeteende genomfördes i bräckt vatten av Höglund & Koczy (1971) inför den planerade kabeln till Gotland. I denna redovisas för ål dock inget som rör vandring. Vandrande blankåls beteende vid passage av bottenförlagda kablar med högspänd likström har undersökts vid Baltic Cable och SwePol Link vid Trelleborg respektive Karlshamn (Westerberg & Begout-Anras 1999, Westerberg m fl. 2006). Vid båda dessa undersökningar har ålarna huvudsakligen spårats en i sänder från båt med hjälp av ultraljudsteleometri men även fasta mottagarsystem har använts i viss utsträckning. Vid Baltic Cable, där systemet består av en enkelledare för 450 kV med återledning via vattnet, genereras ett magnetfält på 5 μ T på ett avstånd av 60 m. Vid SwePol Link används en återledare som går parallellt med kabeln och här är magnetfältet maximalt 200 μ T på ett avstånd av 1 m varefter det avtar snabbt. Resultaten från dessa undersökningar visar att ålarna följer en rak kurs fram till zonen där magnetfältet från kabeln ökar och orsakar en missvisning i det jordmagnetiska fältet. Avvikelsen från den ursprungliga vandringsriktningen är den som kan förväntas utifrån modellberäkningar om ålen bibehåller en konstant kompasskurs.

Det direkta sambandet mellan likströmskablares magnetfält och det jordmagnetiska fältet och den sammantagna effekten på fiskars orientering är rakt och enkelt. Mekanismen för eventuella effekter på fiskars beteende orsakade av de elektromagnetiska fälten från lågfrekvent växelström är däremot inte klarlagda i dagsläget.

Delprojekt 1: Vindkraftparken vid Lillgrund och blankålsvandring

Vindkraftparken vid Lillgrund ägs av Vattenfall och består av 48 vindkraftverk, en transformatorbyggnad samt kablar mellan vindkraftverken och transformatorn och land. Vindkraftverken står i raka rader på ett avstånd från varandra som är något under optimum ur vindsynpunkt för de 2,3 MW generatorer som används. Avståndet mellan raderna med vindkraftverk är 300 m och avståndet i raderna mellan turbinerna 400 m. Rotordiametern är 93 meter och navhöjden 68,5 meter. Vindkraftverken står på så kallade gravitationsfundament, sexkantiga betongfundament med en största bredd av 19 meter, direkt på en makadambädd. Runt basen till varje fundament finns ett erosionsskydd på botten. Maximal produktion uppnås vid en vindhastighet på 12 m/s (Dahlberg 2009).

Undersökningarna vid Lillgrund i Öresund har gjorts i samarbete med kontrollprogrammet för vindkraftparken som fastställts av miljödomstolen och som finansierats av Vattenfall AB. Information från kontrollprogrammets baslinjestudie (Lagenfelt m fl 2006) har använts direkt vid redovisningen av vandringsmönster i relation till vindkraftparken (till exempel i Figur 10 och Tabell 2).

Material och metoder

Direkta mätningar av fiskvandring, liksom av övriga beteendestudier, är tekniskt svåra. Märkningar med konventionella fiskmärken är relativt billiga men ger begränsad information. Sådana undersökningar kan enkelt påvisa om det föreligger ett absolut vandringshinder, men att kvantifiera fördröjningar av vandringen eller om vandringsvägen förskjuts är inte möjligt. Akustiska märken och telemetrispårning med båt ger direkt möjlighet att följa fiskens beteende, men ur statistisk synpunkt blir underlaget begränsat av att kostnaden för varje spårning är hög.

Att använda passiv detektering av ålrörelser med kodade sändare i rader med mottagare, transekter, i öst- västlig riktning, med fasta mottagare ger möjlighet att få information för flera ålar samtidigt. Men detaljinformationen om fiskens beteende är begränsad till att tidpunkt för passage av, eller vistelse inom, ett visst område kan fås.

Metoden med fasta mottagare som användes var densamma i Öresund och Kalmarsund. Ålarna i försöken märktes med akustiska sändare av fabrikat Vemco modell V13 eller Thelma Biotel typ 13S (Figur 3). Sändarna ger en kodad signal med randomiserat tidsmellanrum i intervallet 30 till 60 sekunder vid frekvensen 69 kHz och signalstyrkan ungefär 150 dB re 1 μ Pa, 1 m. Några olika sändare kan registreras samtidigt av samma mottagare utan att

störa varandra. Ålarnas rörelser registrerades med hjälp av hydrofonbojor av modellen Vemco VR2 eller VR2W (Figur 4). En datalogger i hydrofonbojen registrerar tidpunkt för varje individuell blankåls passage eller tidsintervall för vistelse i detektionsområdet. Därigenom kunde blankålarnas fördelningsmönster (passagernas spridning utefter transekten) vid vindkraftparken bestämmas. Mottagarna sattes ut under september-oktober månad och togs upp i december månad respektive år.

Sändarna fastsattes utvändigt med rostfri sutur framför ryggen (Figur 3). Sändarnas vikt i vatten var cirka 6 gram. En sändarvikt mindre än en procent av blankålsens vikt bedömdes inte utgöra någon väsentlig störning för fisken (Westerberg 1983). Gränsen för när man normalt kan observera effekter av telemetrimärken på fiskens beteende är vid cirka två procent av kroppsvikten (Jepsen m fl 2002). De enskilda ålarna varierade i vikt mellan 0,625 och 2,14 kg. Ingen bedövning av blankålarna gjordes innan märkning eftersom bedövning av blankål är svår att utföra och stressande för fisken. Blankålarna var i god kondition vid både märkning och utsättning.



Figur 3. Ål med kodad ultraljudsändare för registrering i fasta mottagare (foto Ingvar Lagenfelt).

Detektionsavståndet för hydrofonen testades i anslutning till försöken. Under perioder relativt ostörda av fartygstrafik var detektion oftast möjlig på minst 700 till 900 meters avstånd. Vid försök till detektion i samband med passage av ett eller två Ro-Ro fartyg på nära håll var detektion inte möjlig under cirka 30 till 60 minuter. Vid det nedan redovisade försöket med vandring över växelströmskabel i Kalmarsund var detektion oproblematisk på cirka 2000 m avstånd under ostörda förhållanden.

När hydrofonbojen tagits upp ur vattnet överfördes registrerad data till dator med en induktiv länk eller blåtand.

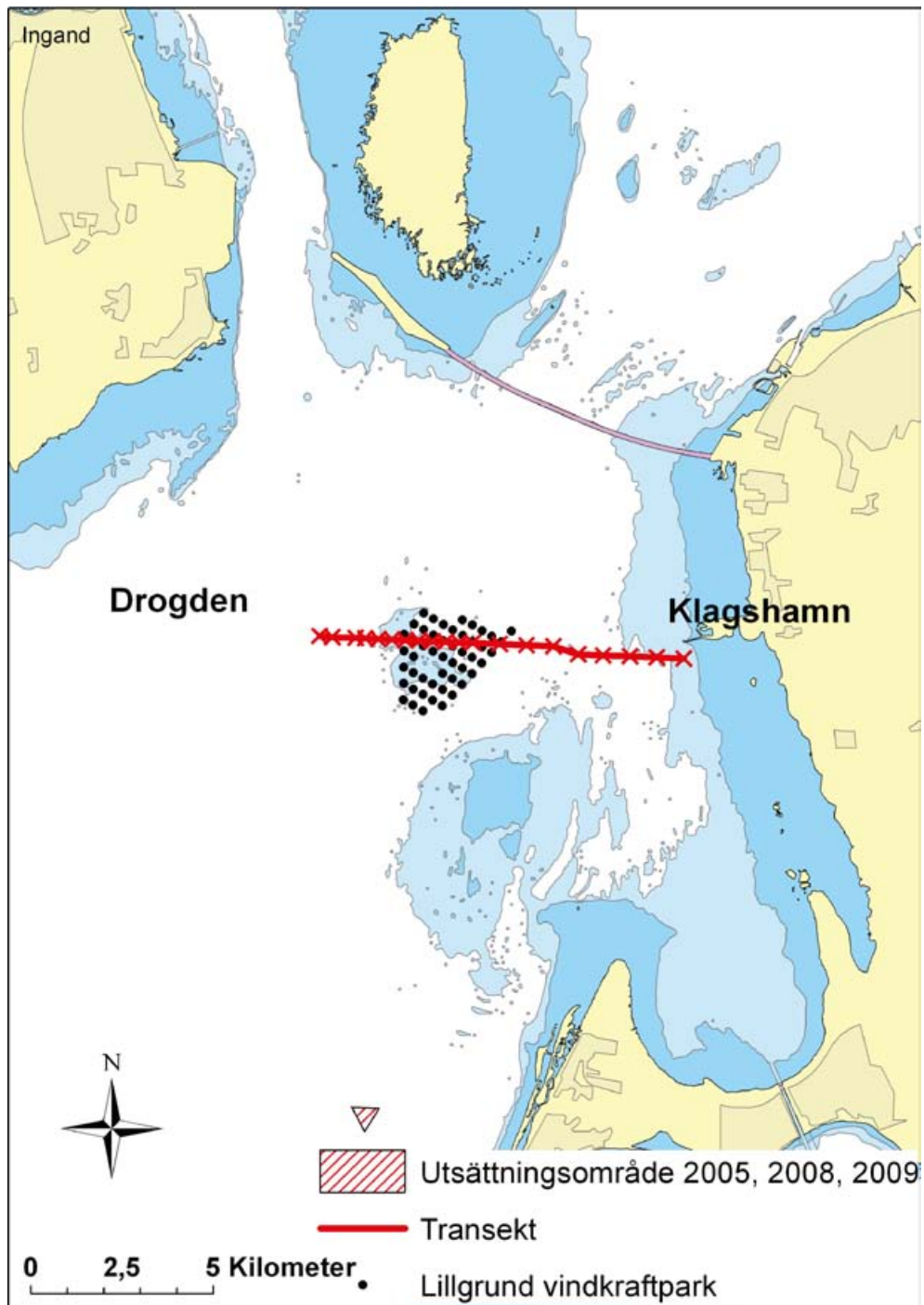
Analys av passagetid gjordes med tillverkarens VEMCOs program ”VUE” och i Microsoft Excel. I många fall har signalen från ultraljudsändaren registrerats på två, eller flera, hydrofonbojar samtidigt i samband med att ålen passerat en transekt.

Tidpunkten för passagen kunde i bästa fall bestämmas med en tidsprecision ned till några minuter. Vid några tillfällen tolkades informationen som att ålarna ej passerat transekten, utan endast registrerats i närheten. Några ålar registrerades först vid utsättning sedan vid vindkraftparken och sedan åter i utsättningsområdet. De ålar som registrerades i utsättningsområdet och inte registrerades vid något tillfälle i transekten tolkades inte som återvändande till utsättningsområdet även om någon enstaka individ uppehöll sig ett tag i detta vid flera tillfällen innan de startade sin vandring.

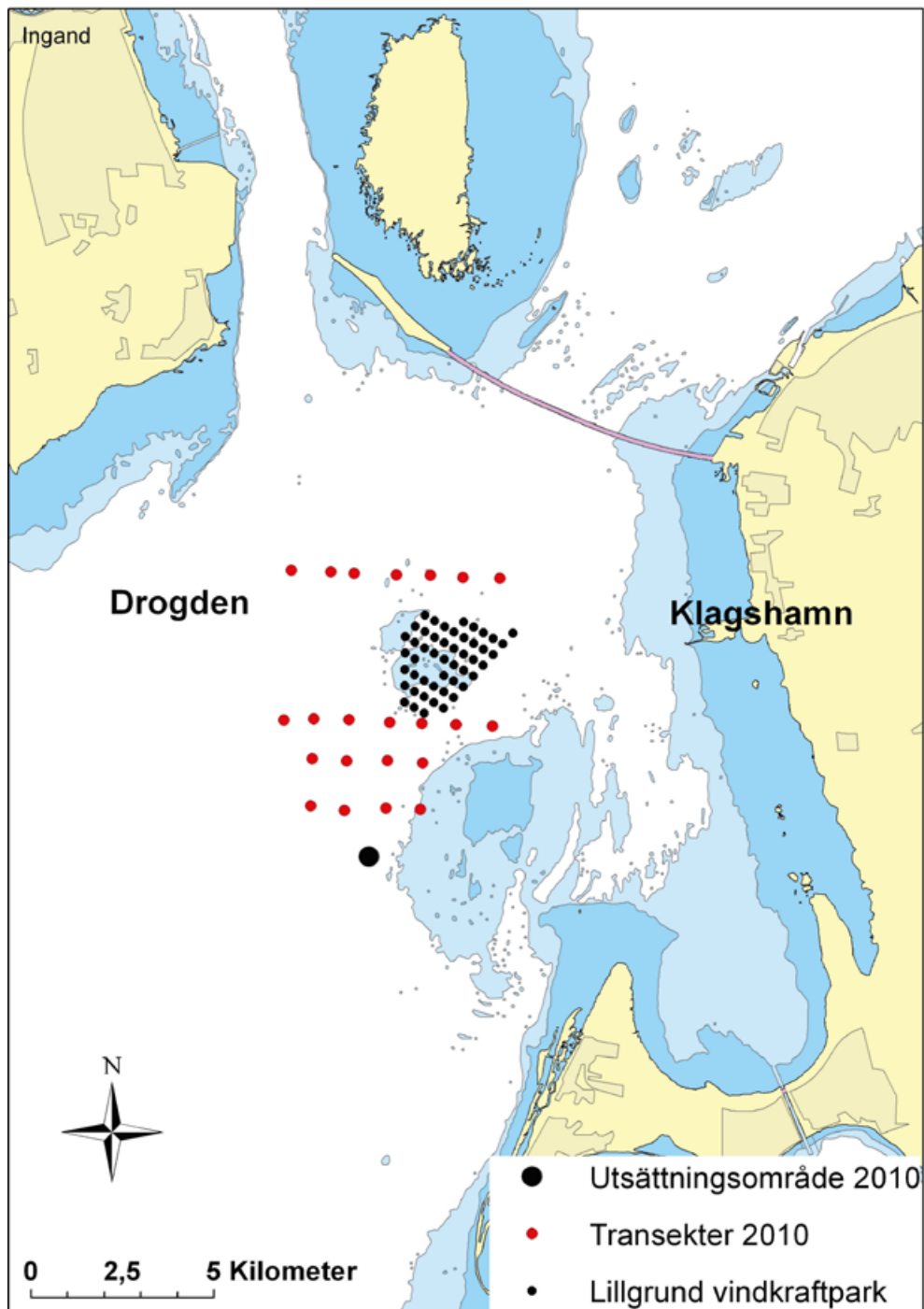
Mottagarnas placering och transektens utformning åren 2008 och 2009, samt utsättningsområdet för de märkta ålarna, framgår av figur 5. Inför det sista undersökningsåret 2010 fanns tillgänglig information om ljudutbredningen under vatten runt vindkraftparken, och försökets upplägg detta år modifierades enligt denna information. Fördelningen av mottagare under 2010 och den då använda märk- och utsättningsytan framgår av figur 6. Syftet med det modifierade upplägget år 2010 var att kunna studera vandringen både i det område där vindkraftparken ingår och i ett närliggande område väster om detta.



Figur 4. En hydrofonboj VR2 med flytkula och ankringslina (foto Ingvar Lagenfelt).



Figur 5. Översiktskarta över Öresund med Lillgrunds vindkraftpark 2005, 2008 och 2009. Placeringen av registrerande ultraljudsmottagare i en transekt genom vindkraftparken är markerade med kryss och linje. Även i utsättningsområdet, markerat med rödlinjerad triangel, användes registrerande mottagare. © Sjöfartsverket tillstånd nr 09-03671.



Figur 6. Översiktskarta över Öresund med Lillgrunds vindkraftpark och experiet-upplägget år 2010. Utsättningsområde för de märkta blankålarna samt placeringen av registrerande ultraljudsmot-tagare i fyra transekter inramande vindkraftparken är markerade. © Sjöfartsverket tillstånd nr 09-03671.

Ålarna som använts för telemetriundersökningarna fångades i ålbotten-garn vid Smygehamn öster om utsättningsområdet nätterna före märkning. Blankålarerna förvarades mörkt och fuktigt i luft och fuktigt gräs/tång ombord på fartyget R/V Sabella som användes för arbetena. Samtliga ålar längdmättes och vägdes. Vikten och storleken på ålarna indikerade att alla var honor. Endast ålar som bedömdes vara i vandringsfas, så kallade blankålar, användes.

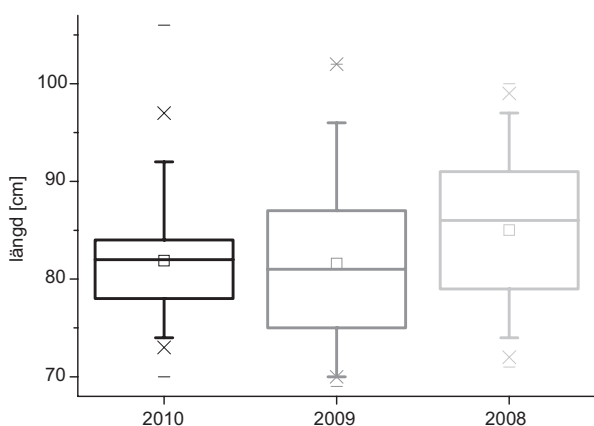
Blankålarerna märktes med ultraljudssändare omedelbart före spårningen. Vid märkningen hölls blankålens huvud täckt med en fuktig trasa och kroppen hölls fuktig. Direkt efter märkning släpptes blankålarerna tillbaka till havet inom ett utsättningsområde söder om vindkraftparken (Figur 5 för år 2008 och 2009 och figur 6 för 2010). Utsättningsområdet för den märkta ålen år 2008 och 2009 låg på 11 km avstånd från vindkraftparkens sydspets och valdes för att med säkerhet utesluta att ålen redan från starten kunde upptäcka och påverkas av vindkraftparken. Eftersom det inför år 2010 kunde göras sannolikt på vilket avstånd ål kan detektera buller från vindkraftparken, flyttades utsättningsområdet närmare vindkraftparken för att fler ålar skulle kunna detekteras. Märkningen gjordes dagtid men i övervägande del av fallen startade ålen sin vandring först under dygnets mörka del.

Märkdagarna för de totalt 280 ålarna fördelades utspritt i tid under vandringsperioden alla tre åren för att erhålla variation både i omvärldsparemetrar och produktion i vindkraftparken (Tabell 1). Märkningarna genomfördes mellan början av oktober månad och början av november månad. Sammantaget märktes ål vid 14 tillfällen med 13 till 33 individer per dag.

Tabell 1. Märkdagar och antal märkta blankålar (totalt 280 individer) under driften av vindkraftparken.

År	Datum	Antal	År	Datum	Antal	År	Datum	Antal
2008	1 okt	25	2009	8 okt	17	2010	14 okt	13
	3 okt	25		19 okt	33		15 okt	18
	17 okt	15		21 okt	17		26 okt	23
	8 nov	22		22 okt	13		29 okt	13
			3 nov	27				
			5 nov	16				

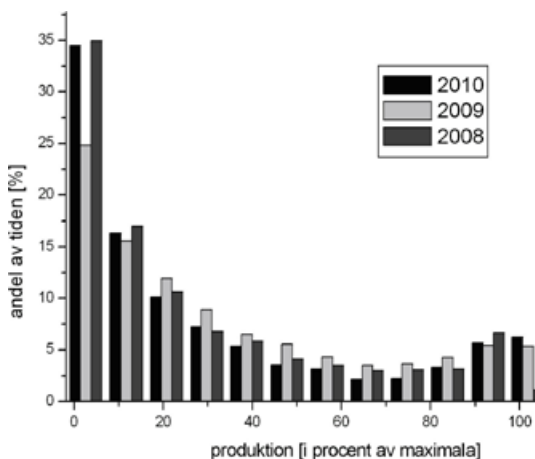
Längden hos ålarna var något större år 2008 (85 cm i medellängd) än de följande två åren (81 till 82 cm som medellängd; Figur 7). De längsta individerna var en meter eller strax däröver alla tre åren och de minsta ålarna som märktes var mellan 69 och 71 cm långa.



Figur 7. Längden hos de märkta blankålarerna under åren 2008–2010. Boxarna redovisar median samt kvartiler och spröten 5 %-percentiler. □ medelvärde, – max och min, × 1 %-percentiler.

I studien används ett tvåtimmarsmedelvärde för vindkraftparkens produktion som ett mått på nivån av ljudspridning, men även som mått på nivån av alstrade elektromagnetiska fält. Skillnaden i medelproduktion per timme mellan två på varandra följande timmar kan dock vara stor vilket kan försvåra tolkningen av resultaten. En särskild rapport om ljudmiljön vid Lillgrund vindkraftpark och i Öresund presenteras av Andersson m fl 2011.

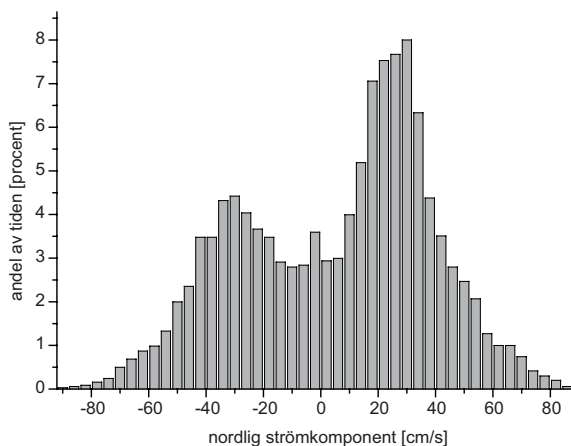
Vindkraftparken producerade energi nästan hela tiden 2008–2010 (Figur 8). Under kortare perioder stod vindkraftparken stilla eller förbrukade energi. Ljudbilden kring vindkraftparken och elektromagnetiska fält runt kablarna återspeglas av vindkraftverkens produktion, som är korrelerad med vindhastigheten i vart fall upp till den maximala produktionen.



Figur 8. Produktionen (procent av den maximala) i den samlade vindkraftparken vid Lillgrund, under månaderna maj till och med november (7 månader) för åren 2008–2010 (från Vattenfalls driftdata för vindkraftparken). Jämför figur 14.

En annan viktig parameter som kan påverka ålens vandring är vattenströmmen. Mått på vattenströmmen i Öresund hämtades från en fast ekolodsströmmätare (acoustic doppler current profiler, ADCP) placerad vid Drogden av Farvandsvæsenet i Danmark (Figur 9). I beräkningarna användes mätvärdena för

varje halvtimme på en meters djup, då undersökningar med dataregistrerande märken visar att blankålen till övervägande del simmar precis under ytan (se till exempel Westerberg & m fl 2007). Endast data för nätter har använts. Under en period vartdera året 2009 och 2010 var mätningen ur funktion. Under 2009 passerade flera ålar försöksområdet under denna period och under 2010 passerade en individ. För dessa ålar saknas därför strömdata. Ingen möjlighet fanns att inom projektet göra modellberäkningar av strömmen inom hela det aktuella området.



Figur 9. Den komponent av medelströmmen i Öresund som ålarna upplever som med- (positiv) eller motström (negativ). Data från 1 meters djup för perioden 1 oktober till 8 december åren 2008, 2009 och 2010 (data från Farvandsvæsenet i Danmark).

Få individer under baslinjeåren gick att statistiskt bearbeta och jämföra fullt ut. För att öka det statistiska underlaget har data från perioder med en produktion understigande 20 procent av den maximala under driftåren sammanräknats med data från baslinjeåren till en kategori att jämföra med perioder med produktion överstigande 20 procent.

Den observerade fördelningen för respektive gruppering (registreringar, passager beteendekategorier) har jämfört med den förväntade med chi-två-tester. Yates korrektion har använts för att kompensera för få frihetsgrader.

Tre mottagare från området inne i vindkraftparken under 2008 återfanns aldrig. De återstående mottagarna täckte en del av detta område men information saknas om ålpassager från ett delavsnitt år 2008.

Passagemönstret har sammanställts i kontingenstabeller med de nominala variablerna område (innanför respektive utanför vindkraftparken) och drifttillstånd (mer eller mindre än 20 % av vindkraftparkens maximala produktion). För åren 2005, 2008 och 2009 har data grupperats på två sätt:

1. Totala antalet **registreringar** av individuella ålar där samma ål kan ha detekterats vid olika mottagare (dock bara en detektion för varje ål vid varje tillfälle) innanför och utanför området.
2. Totalt antal **passager** av individuella ålar genom kedjan av mottagare innanför och utanför området. Jämförelse av grupperna görs dels för samtliga tre åren (2005, 2008 och 2009), dels för åren 2005 och 2009. Då alla tre åren ingår har bojar med motsvarande placering som de tre saknade år 2008 (och därtill hörande data) utslutits för åren 2005 och 2009.

Resultat

Andel av ålarna

Under baslinjeperioden (2001–2005) passerade totalt 19 av 54 utsatta ålar (cirka 35 %) transekten. I siffran ingår 9 av blankålar som spårats manuellt från båt. För de manuellt spårade ålarna har passagetid och passageplats över transektlinjen beräknats.

Totalt märktes 280 blank ålar under de tre första driftåren (2008–2010). Sammanlagt registrerades 107 möten mellan enskilda ålar och vindkraftparken, antingen som passager eller detektioner utan att ålen passerat. För några av dessa tillfällen saknas kringinformation till exempel om produktionen i vindkraftparken eller om strömsituationen varför antalet ålar som ingår i beräkningarna kan variera.

Under de två första åren av driftfasen (2008 och 2009) sattes 210 märkta blankålar ut, varav 59 unika individer (cirka 28 %) detekterades i transekten. Eftersom några ålar detekterades flera gånger fanns totalt information från 76 tillfällen, inkluderande två ålar som hade passerat transekten två gånger. Under år 2010 märktes 70 ålar och 29 samband mellan ål och vindkraftparken registrerades. I den nordligaste transekten registrerades endast 7 av ålarna, inklusive en som inte hade registrerades före passagen av vindkraftparken (Tabell 2). Totalt fyra ålar under driftperioden (2008–2010) återvände till utsättningsområdet efter att ha detekterats vid vindkraftparken.

Tabell 2. Antal transekter, antal utsatta märkta blankålar och antal blankålar som passerat transekten/transekterna för åren 2008–2010. Data för 2001–2005 är hämtade ur rapporten för baslinjestudier inom vindkraftparkens kontrollprogram (Lagenfelt m fl 2006).

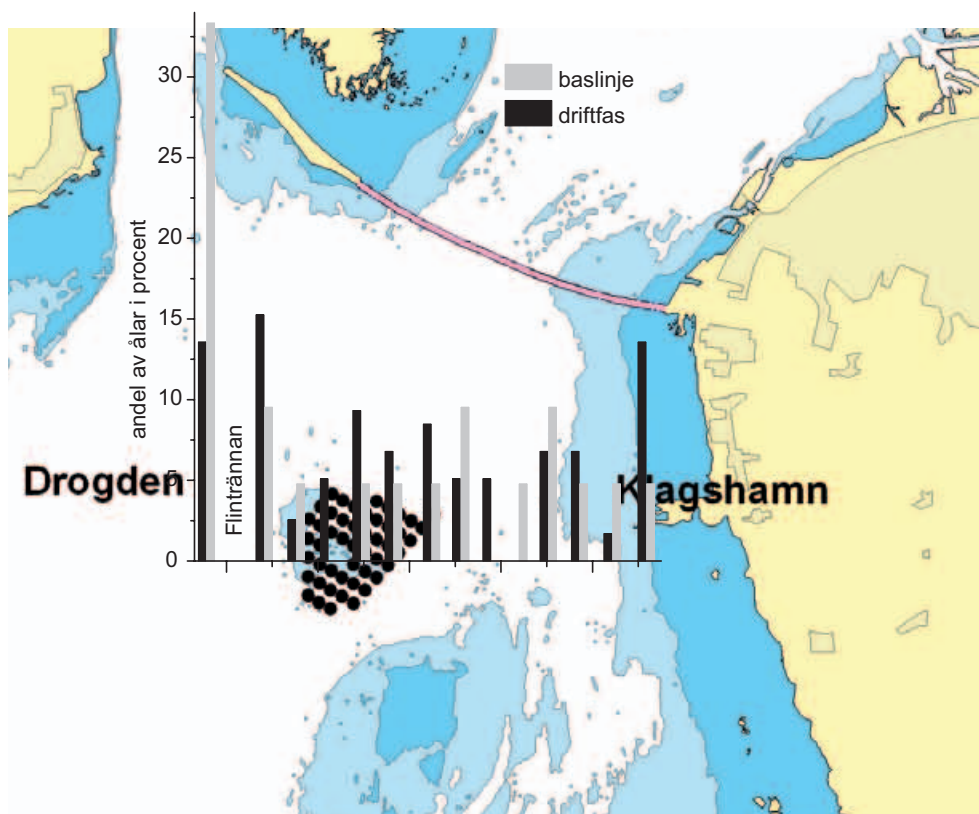
År	Telemetri	Utsatta (antal)	Passerat transekt (antal)	Återvänt till utsättningsområdet (antal)
2010	fyra transekter	70	30**	1
2009	en transekt	123	25	3
2008	en transekt	87	34	0
2005	en transekt	31	10 (+3*)	0
2001–2004	beräknat för en transekt	23	9	–

* Information finns från ytterligare tre passager av två blankålar som registrerats för 3 passager från annat telemetriförsök samma år (Westerberg och Lagenfelt 2006).

** Detekterade i minst en transekt.

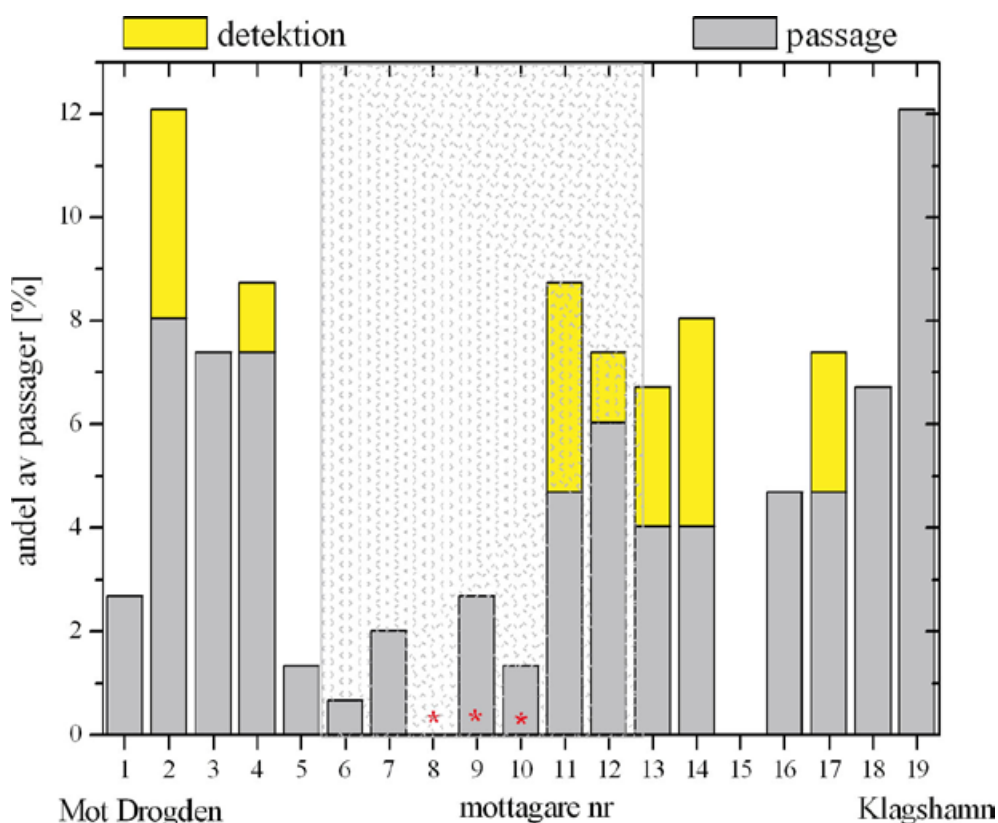
Passagemönster

Under åren 2008 och 2009 fördelades ålpassagera spritt över den öst-västliga transekten. En relativt stor andel av ålarna passerade vid farleden Flintrännen nära den danska gränsen vid Drogden. Detta observerades under både driftfasen och baslinjeperioden (cirka 31 % respektive cirka 43 %) (*Lagenfelt m fl 2006*). En något större andel av ålarna registrerades i transektens allra östligaste del nära Klagshamn under driftfasen (nästan 14 %), jämfört med baslinjeperioden (knappt 5 %) (Figur 10).



Figur 10. Fördelningsmönster för passager i väst-östlig riktning under baslinjeperioden och driftfasen. I data ingår 24 ålar åren 2001–2005 och 58 ålar under driftfasen (2008 och 2009). Olika märkningsområde har använts åren 2001–2004 jämfört med efterföljande år. Information från sammanställningen av baslinjematerialet har hämtats ur Lagenfelt & m fl 2006. För att ge en bild av fördelningen trots bortfall av tre mottagare år 2008 har det antagits att 1,4 ålar per sjömil passerat området, vilket skulle motsvara ungefär tre ålar på den saknade sträckan. Skattningen baseras på medelvärdet från övriga mottagare i och närmast samma område 2008 och 2009 © Sjöfartsverket tillstånd nr 09-03671.

Spridningsmönster för passage eller detektion av blankålarna i transekten genom vindkraftparken under driftfasen åren 2008–2009 redovisas i figur 11. Ålar som passerat transekten särskiljs från ålar som kommit inom detektionsavstånd utan att passera. Totalt förekom 18 detektioner där ålen inte passerat vidare omedelbart. Tidpunkt och/eller var på transekten dessa ålar varit som närmast är svårt att bestämma exakt. Nära vindkraftparkens östra avgränsning (mot Klagshamn, mottagare 11 till 14) registrerades 23 ålar, varav 14 som passerande. För 2010, när fyra transekter användes, kunde även simriktningen bestämmas. Detektion utan registrerad passage noteras då inom ett större område än åren innan (se nedan).



Figur 11. Spridningsmönster för passage eller detektion av blankålarna i transekten genom vindkraftparken under driftfasen åren 2008–2009. Individer som detekterats men ej bedömts passera är gulmarkerade (överst i staplarna). Individerna är fördelade efter vilken mottagare de passerat, eller befunnit sig närmast. Data i denna figur är ej korrigerade för olika mottagaravstånd då detta inte är möjligt för individer som ej passerar transekten. Ålar som passerat mittemellan två mottagare har registrerats som en halv individ på vardera. * Data är inte kompenserade för de tre saknade mottagarna år 2008. För 2009 ingår motsvarande mottagare. Gråskuggat område visar avgränsning av transekten innanför de yttersta vindkraftverken.

Jämför man antalet registrerade ålar (passager och detektioner utan passage) innanför respektive utanför vindkraftparken erhålls inga signifikanta skillnader enligt $p < 0,05$. De låga p -värdena ($0,05 < p < 0,10$) indikerar dock att sannolikheten är olika att en observation ska hamna i en viss rad i en kolumn, att den inte är densamma för alla rader. Detta gäller både vid jämförelse med två eller tre år (Tabell 3). För att se vilka celler i tabellen som avviker från det förväntade värdet, och som därmed orsakar ett ”högt” värde på testvariabeln (χ^2) studerades de förväntade frekvenserna och chi-två-värdena i varje cell. Analysen visar att ett lägre antal ålar än förväntat förekommer innanför vindkraftparken vid lägre produktion ($< 20\%$) och att ett större antal än förväntat förekommer innanför vindkraftparken vid högre produktion ($> 20\%$).

Tabell 3. Antal registrerade ålar innanför och utanför vindkraftparkens fysiska begränsning vid en medelproduktion över respektive under 20 % av vindkraftparkens medelproduktion. Vid jämförelsen mellan alla tre åren ingår inte mottagare från positioner där data saknades för år 2008 (korrigerad $\chi^2 = 3,74$ och $p = 0,0531$). Jämförelsen mellan åren 2005 och 2009 innefattar alla mottagare (korrigerad $\chi^2 = 2,98$ och $p = 0,0841$).

	År 2005, 2008 och 2009			Område	År 2005 och 2009		
	Driftförhållande				Driftförhållande		
Område	<20 %	>20%		Område	<20%	>20%	
Innanför	4	24	28	Innanför	6	12	18
Utanför	27	47	74	Utanför	27	17	44
	31	71	102		33	29	62

Jämför man antalet ålpassager innanför respektive utanför vindkraftparken finns ingen signifikant skillnad i antalet vid produktion över eller under på 20 procent av den maximala (Tabell 4).

Tabell 4. Antal ålpassager innanför och utanför vindkraftparkens fysiska begränsning vid en medelproduktion över respektive under 20 % av vindkraftparkens medelproduktion. Vid jämförelsen alla tre åren ingår inte mottagare med motsvarande positioner som de tre förlorade hade 2008 (korrigerad $\chi^2 = 0,01$ och $p = 0,9343$). Jämförelsen mellan åren 2005 och 2009 innefattar alla mottagare (korrigerad $\chi^2 = 0,00$ och $p = 0,9831$).

	År 2005, 2008 och 2009			Område	År 2005 och 2009		
	Driftförhållande				Driftförhållande		
Område	<20%	>20%		Område	<20%	>20%	
Innanför	6	8	14	Innanför	9	2	11
Utanför	24	28	52	Utanför	22	7	29
	30	36	66		31	9	40

Av de totalt 70 ålar som märktes 2010 registrerades 30 stycken i någon av de fyra transekterna. Av dessa registrerades 24 stycken i tre eller flera transekter (Figur 12).

För att kunna karaktärisera ålens beteende måste individen registreras vid minst tre mottagare. Detta inträffade för 24 ålar. Beteendet indelades schematiskt i fyra typer av vandringmönster i relation till vindkraftparken:

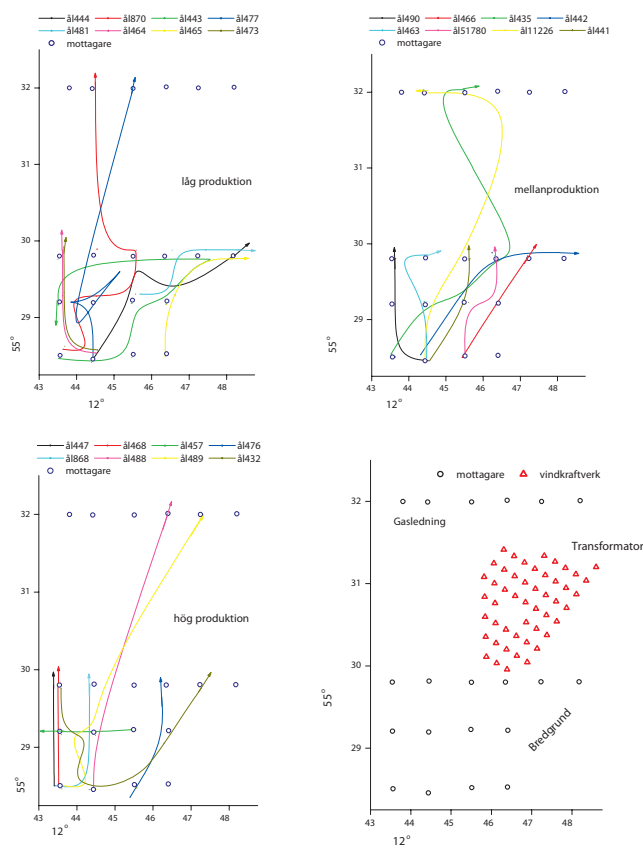
1. Ålen registrerades rörande sig söder om vindkraftparken för att sedan registreras i den nordligaste transekten.
2. Ålen registrerades rörande sig söder om vindkraftparken med mer eller mindre nordlig kurs utan att sen ha registrerats norr om vindkraftparken.
3. Ålen registrerades rörande sig söder om vindkraftparken utan att ha nordlig kurs och utan att sen ha registrerats norr om vindkraftparken.
4. Ålen gjorde en runda söder om vindkraftparken tillbaka till utsättningsområdet.

Ålens beteendemönster relaterades till tre olika nivåer av produktion i vindkraftparken: låg (från en viss förbrukning till 13 % av maximala produktionen), mellan (13–20 %) och hög (mer än 20 %). Nivåerna bestämdes av att 8 ålar skulle ha registreras inom varje kategori.

Sex av ålarna (25 %) uppvisade beteende enligt punkt 1 ovan, det vill säga de passerade vindkraftparken eller nära denna. Fyra av ålarna passerade direkt och två med fördröjning. Fördröjningarna registrerades båda vid mellanproduktionsnivån i vindkraftparken. Direkt passerande observerades både vid låg och hög produktionsnivå.

Det vanligast förekommande beteendet var enligt punkt 2 ovan, det vill säga ålarna uppvisade en kurs med nordlig komponent men registrerades inte passera området för vindkraftparken. Detta beteende uppvisades av sexton ålar (67 %). Två varianter inom detta beteende verkade överväga. Flera ålar uppvisade en rakt nordlig kurs i den djupaste delen av området (Figur 12, diagrammens nedre vänstra hörn), medan andra individer hade ett inslag av en ostlig komponent i simriktningen (Figur 12). Detta motsvarar den grundare delen av området som täcks av mottagarna och avgränsas av Bredgrund i öster. Dessa individer hamnar vid Klagshamn om de följer kusten norrut (jfr karta i figur 6 och figur 12 nedre högra hörnet).

En individ rörde sig enligt punkt 3, det vill säga hade en rent öst-västlig förflyttning. En individ rörde sig enligt punkt 4 och har beskrivit en oval i det område som täcks av mottagarna söder om parken (Figur 12).



Figur 12. Illustration av rörelserna hos de 24 ålar som registrerats vid minst tre tillfällen. I varje graf har åtta ålars simmönster illustrerats. Uppdelningen på de olika figurerna baseras på produktionen i vindkraftparken. Ålarnas positioner har ritats in som punkter varefter en anpassad (β -spline) linje dragits mellan punkterna för att illustrera ålarnas rörelser. Diagrammet nere till höger ger en geografisk orientering i området.

Ingen signifikant skillnad i beteende mellan de två produktionskategorierna (över respektive under 20 % produktion) kunde säkerställas ($\chi^2 = 0,833$ och $p = 0,659$) (Tabell 5). Inte heller vid en rumslig jämförelse, där skillnaden mellan området för vindkraftverken och området väster om dessa analyserades, noterades någon statistisk skillnad i beteende ($\chi^2 = 0,833$ och $p = 0,659$) (Tabell 6).

Tabell 5. Fördelning mellan olika typer av beteendemönster vid två produktionsnivåer i vindkraftparken: över 20 % av maximal produktion och under 20 %. För beskrivning av typer, se texten.

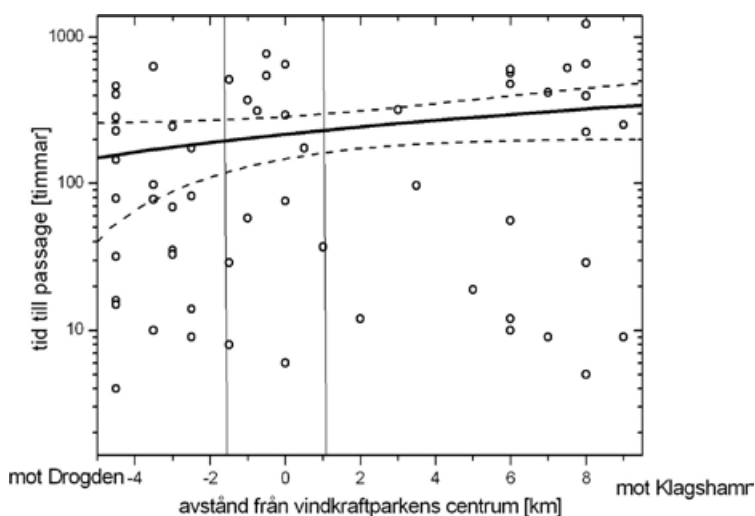
Beteende	>20%	<20%
Typ 1	4	2
Typ 2	7	5
Typ 3 + 4	5	1

Tabell 6. Fördelning mellan olika typer av beteendemönster mellan området för vindkraftparken och delområdet väster om vindkraftparken (Jfr figur 12). För beskrivning av typer, se texten.

Beteende	Väster om vindkraftparken	Vid och genom området för vindkraftparken
Typ 1	3	3
Typ 2	7	5
Typ 3 + 4	2	4

Passagetid

För 57 blankålar åren 2008–2009 gick det att bestämma passagetider över transekten. För en av dessa saknas dock produktionsdata för passagetidpunkten. Det var stora variationer i tid från märkning och utsättning till passage av transekten med mottagare mellan de olika ålarna. Den kortaste tiden för passage av transekten med mottagare var 4 timmar efter märkning och utsättning. De längsta registrerade tiderna motsvarade ungefär en månad, över 1000 timmar. De ålar som gick i den djupare delen ut mot Drogden förflyttade sig något snabbare än övriga ålar. Sambandet var dock inte signifikant men en tendens fanns ($p = 0,073$, $r = 0,24$, $n = 57$ linjär regression) (Figur 13).

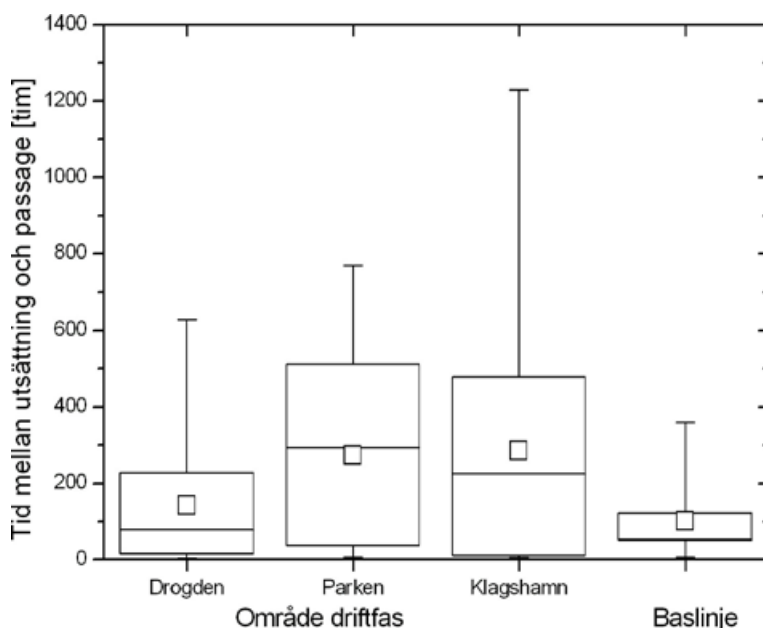


Figur 13. Sambandet mellan avstånd från vindkraftparken och tid mellan utsättning och passage baserat på data för åren 2008–2009. För att optimera upplösningen på y-axeln (tid till passage) har logariterade värden använts. Horisontell linje = linjärt samband mellan parametrarna med konfidensintervallet för linjens ekvation markerad. Vertikala linjer avgränsar vindkraftparken.

Passagetiden jämfördes mellan tre olika delar av transekten, eftersom dessa skiljer sig åt i sina yttre förutsättningar (se Figur 13). Till exempel är Drogdensidan djupare, vilket påverkar bland annat ljudutbredningen, och har frekvent fartygstrafik i nära anslutning, medan växelströmskabeln från vindkraftparken in till land går mot Klagshamn (Figur 5). Data från baslinjen utgjorde en fjärde kategori. Från år 2005 fanns 10 blankålar där tiden från utsättning till passage var väl definierad. Data testades i alla fyra kombinationerna men inga signifikanta skillnader fanns (ANOVA rangsumma, Kruskal-Wallis, $H = 2,56$ och $p = 0,46$) (Tabell 7).

Tabell 7. Förflyttningstid [timmar] från utsättningsplatsen till passage av transekten med mottagare för åren 2005, 2008 och 2009. Data från baslinjestudien 2005 är från Lagenfelt m fl (2006). Vindkraftparken innefattar området från mittlinje och 1,5 km åt båda håll.

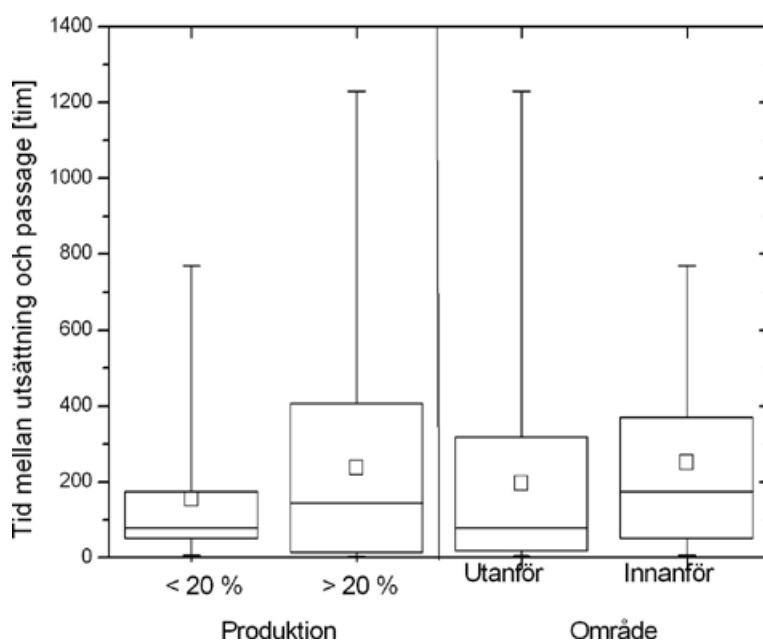
		Driftperiod			Baslinjeperiod
		Klagshamn	Vindkraftpark	Drogden	
Passagetid (timmar)	Median	225	234	79	54
	Min	5	6	4	6
	Max	1230	770	629	360
	Medel	287	275	143	102
	n	21	14	22	10



Figur14. Förflyttningstid [timmar] från utsättningsplatsen till passage av transekten med mottagare för åren 2005, 2008 och 2009. Data från baslinjestudien 2005 är från Lagenfelt m fl (2006). Vindkraftsparken innefattar området från mittlinje och 1,5 km åt båda håll. Boxarna redovisar median samt kvartiler (25 och 75 %) och spröten max- och minvärde. □ medelvärde.

För att studera om det fanns en koppling mellan passagetid och produktion i vindkraftsparken sammanställdes förflyttningstiderna i kontingenstabeller med de nominala variablerna område (innanför respektive utanför vindkraftsparken) och drifttillstånd (mer eller mindre än 20 % av vindkraftparkens maximala produktion). Data för produktionstillståndet mindre än 20 % baseras på sammanlagt 16 ålar, 10 utanför vindkraftparkens avgränsning och 6 innanför. Eventuella skillnader, eller interaktionseffekter, mellan grupperna testades med t-test, efter att först ha testats för normalfördelning (och homogena varianser) enligt bland annat Kolmogorov-Smirnov.

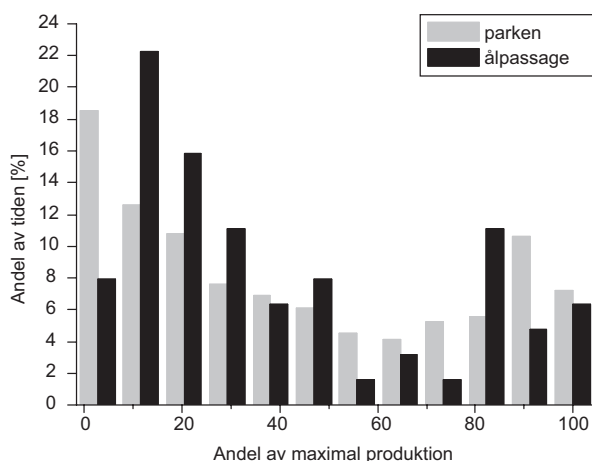
Ingen skillnad i passagetid kunde kopplas till de två produktionsnivåerna (t-test log-transformerade värden, medelvärde $p = 0,83$, spridning $p = 0,1$) (Figur 15 vänster halva). Den (icke signifikanta) skevheten i spridning skulle dock kunna tolkas som att ett antal ålar faktiskt fördröjs vid produktion över 20 % av den maximala (se diskussion). Ingen skillnad i passagetid kopplad till om passagen ägde rum i vindkraftsparken eller utanför kunde ses (t-test log-transformerade värden, medelvärde $p = 0,33$, spridning $p = 0,95$) (Figur 15 höger halva).



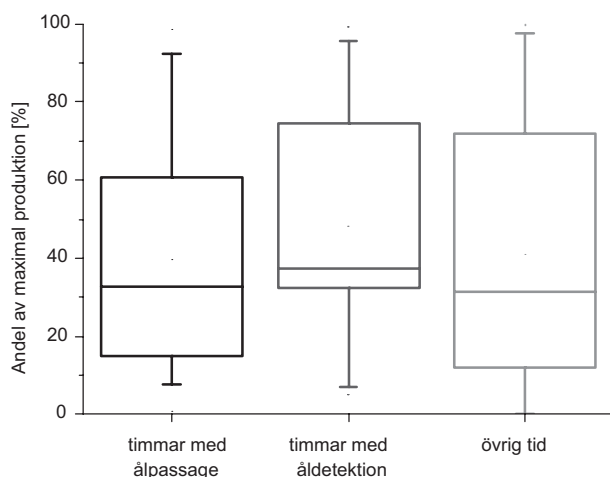
Figur 15. Passagetid i relation till två produktionsnivåer relaterad till maximal produktion och passagetid kopplad till om passagen ägde rum i vindkraftparken eller utanför. Data för 2005, 2008 och 2009. Boxarna redovisar median samt kvartiler (25 och 75 %) och spröten max- och minimivärde. □ medelvärde.

För att upptäcka om lekvandrande ål undviker att passera vindkraftparken vid hög produktion gjordes en jämförelse mellan timmar med ålpassage och alla övriga timmar under nätterna med avseende på parkens produktion (Figur 16). Produktionen i vindkraftparken, när blankålar passerar transekten, beräknades som medelvärde för timmen före och under den timme passage skett (två timmars medelvärden). Ålpassager noterades under 63 perioder och övrig tid omfattade 4750 timmar.

Resultaten visar att blankålarna passerade transekten med mottagare under samtliga produktionsförhållanden i vindkraftparken (Figur 16). Medianvärdet på produktionen för perioder med ålpassage var cirka 32 % av maximala, jämfört med 31 % under övriga timmar. I figur 17 redovisas även situationen under de 40 timmar när ålar detekterats utan att passera. Då var produktionen något högre, 37 % av maximala. Inga större skillnader i maximal medelproduktion per timme förelåg mellan timmar med ålpassage, utan ålpassage eller åldetektion (redovisat som andel av maximal produktion i Figur 17).



Figur 16. Produktionen i vindkraftparken angiven i 12 intervall under ålvandringssäsongen åren 2008 till 2010. Produktionen är beräknad per natt baserat på heltimmes - medelvärden. n = 4750 för parken som helhet och n = 63 för timmar med ålpassage. (χ^2 -test på produktionsdata i kWh, p = 0,49192. Ej signifikant skillnad).



Figur 17. Produktionen i vindkraftparken under ålvandringssäsongen åren 2008 till 2010. Produktionen är beräknad per natt baserat på heltimmes - medelvärden. n = 4750 för vindkraftparken som helhet, n = 63 för timmar med ålpassage och n = 40 för timmar med detektion av ål utan ålpassage. Boxarna redovisar median samt kvartiler (25 och 75 %).

Den detaljerade informationen från år 2010 visar inga dramatiska skillnader i individernas beteende mellan olika produktionsnivåer. Två av ålarna passerade vid låg produktion i vindkraftparken. En ål (nr 870 i Figur 10) passerade den 15 oktober kl 18–21 efter att mellan klockan 14 och 18 simmat runt söder om vindkraftparken medan en (nr 477) tog 2 veckor på sig. Två andra ålar passerade vid mellannivå på produktionen. Den ena ålen (nr 11226) passerade den 26 oktober mellan kl 17–19 men registrerades sedan norr om vindkraftparken den 4 november på kvällen. Den andra ålen (nr 435) registreras söder om vindkraftparken under eftermiddagen den 14 oktober för att sedan registreras norr om vindkraft parken den 5 och 6 november. Båda ålarna som passerade vindkraftparken vid lite högre produktion gör det den 29 oktober

på eftermiddagen och kvällen. Ål nr 489 passerade vindkraftparken mellan kl 13–16 och ål nr 488 mellan kl 18–20. Gemensamt för samtliga sex individer är att de passerade sannolikt i den del av området som ligger väster om vindkraftparkens utsträckning (jämför figur 12).

Förflytningshastighet

Förflytningshastigheten från utsättningsplatsen till transekten genom vindkraftparken under driftfasen uppvisar motsvarande mönster som förflyttningstiden med mycket stor spridning. I förflyttningstiden görs en korrektion för att distansen från utsättningsområdet till transekten är olika för olika delar av denna.

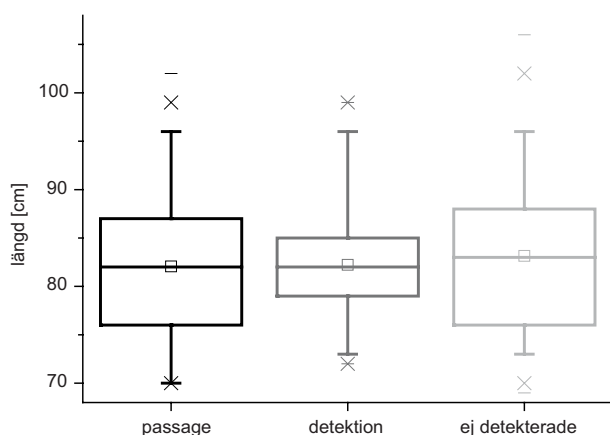
Den snabbaste ålen vid den del av transekten som var närmast Drogden under 2008 och 2009 hade en förflytningshastighet på 92 cm/s (3,3 km/h) (Tabell 8). Motsvarande snabbaste förflytningshastighet närmast Klagshamn var 83 cm/s och inom vindkraftparken 62 cm/s. Detta var också ungefärligen den högsta förflytningshastigheten under baslinjestudien. De långsammaste ålarnas förflytningshastighet var under 1 cm/s, men denna beräkning baseras på totala förflyttningstiden inkluderande flera perioder med överksamhet under de ljusa delarna av dygnet.

De ålar som detekterades utan att passera transekten i vindkraftparken åren 2008–2009 gjorde det efter en mediantid motsvarande en förflytningshastighet från utsättningen på ungefär 57 cm/s.

För sex ålar som korsat vindkraftparken under år 2010 fanns data över förflytningshastighet och tid för passage. Fyra av dessa sex ålar passerade vindkraftparken inom tre timmar efter att de påbörjat korsningen. Den som tog längst tid på sig, och registrerades, använde 24 dygn.

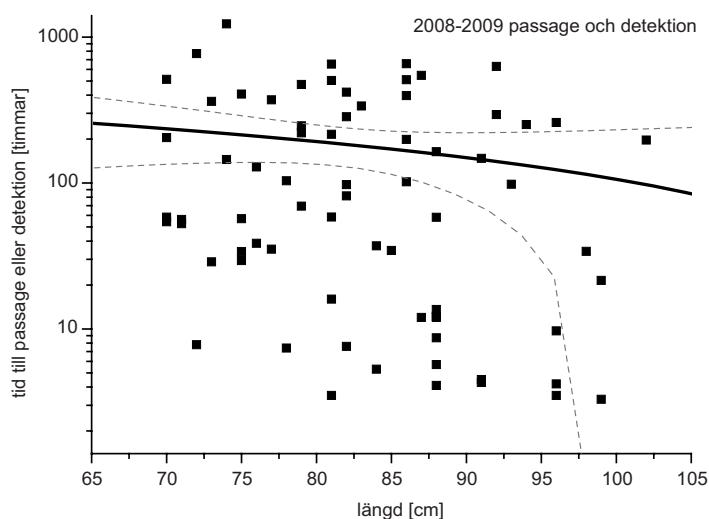
Storlek

Ålens längd verkade inte ha ett samband med det observerade utfallet. Längden på de ålar som detekterats, passerat eller ej registrerats vid någon transekt åren 2008 till 2010 var på likartad nivå (medianvärde 81,5 cm, 81,5 cm respektive 83 cm). Den största ålen (106 cm lång) liksom den minsta (69 cm lång) fanns bland de som ej detekterades (Figur 18).



Figur 18. Blankållarna längd (cm) vid passage, detektion utan passage respektive ej detekterade (n= 64, 40 respektive 201). Boxarna redovisar medianvärden samt kvartiler (25 och 75 %) och spröten anger 5 %-percentiler. "□" = medelvärde, "-" = max och min, "x" = 1 %-percentiler.

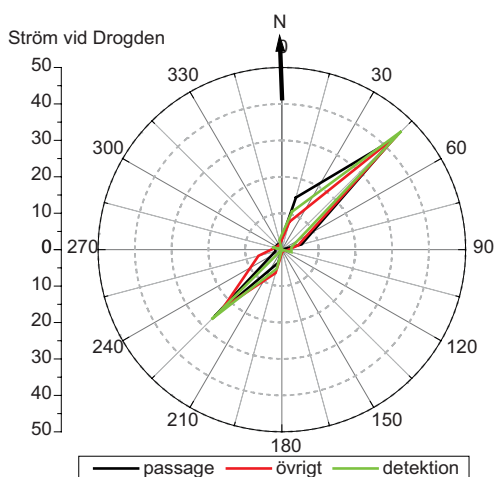
Passagetiden från utsättningsplatsen vid Falsterbo för åren 2008 och 2009 var inte signifikant kortare för de stora ållarna än för de mindre även om det fanns en tendens till ett linjärt samband ($r = -0,153$, $n = 73$, $p = 0,198$) (Figur 19). Inkluderas och omräknas simhastighetsdata från 2010 blir resultatet svårtolkat, och påvisar en signifikant lägre förflyttningshastighet för de större ållarna ($r = 0,293$, $n = 93$, $p = 0,002$) (ingen figur).



Figur 19. Sambandet mellan ållens längd och tid från utsättning till passage av transekten med mottagare för åren 2008 och 2009.

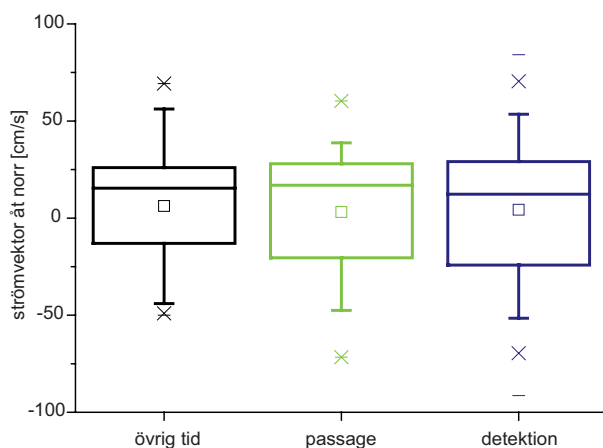
Ström

Den dominerande strömriktningen vid Drogden är 45° (vilket inträffade under 42 % av tiden för studierna av ållvandring) eller rakt motsatt, 225° (26 % av tiden). Ållarnas vandring pågick oberoende av strömsituationen vid Drogden (Figur 20). Strömförhållandena under tiderna med ållpassager över transekten avvek inte från strömförhållandena under övriga perioder. Även under de perioder då ållar detekterades någonstans i transekten utan att passera var strömsituationen likartad.



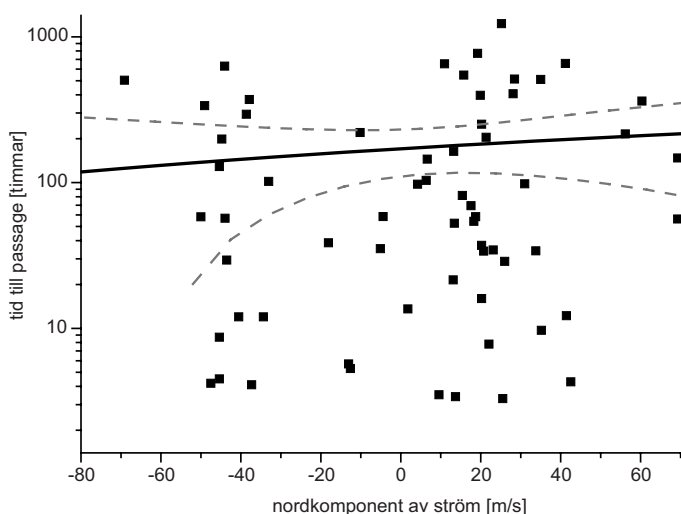
Figur 20. Strömros för åren 2008–2010 vid Drogden. Ström vid passage och detektion av ål utan passage och all övrig tid. Alla tre driftfasåren ingår.

Tas hänsyn bara till den nordgående komponenten av strömmen, det vill säga den komponent ålen upplever som med- eller motström, är den ungefär densamma under perioder när ål passerat vindkraftparken som när inga ålar detekteras under åren 2008 -2010 (medianvärde under hela mätperioden drygt 13 m/s; Figur 21).



Figur 21. Storleken på strömmens nordkomponent vid ålpassage, vid åldetektion utan passage och under all övrig tid åren 2008 till 2010 (n=93, skillnaderna mellan kategorier är ej signifikanta, $p > 0,05$). Boxarna redovisar median samt kvartiler (25 och 75 %) och spröten visar 5 %-percentiler. "□" = medelvärde, "-" = max och min, "x" = 1 %-percentiler.

Tiden mellan ålens utsättning och passage av transekten med mottagare och storleken på nordkomponenten av strömmen uppvisade inte något samband varken för åren 2008 och 2009 ($r = 0,091$, $n = 65$, $p = 0,473$) (Figur 22), eller år 2010 ($r = -0,046$, $n = 93$, $p = 0,665$; data från år 2010 var inte fullt jämförbara men omräknades på basen av simhastigheten). Spridningen var mycket stor i båda dataseten.



Figur 22. Sambandet mellan storleken på nordkomponenten av strömmen vid Drogden och tiden mellan utsättning och passagen åren 2008 och 2009.

I det ovanstående redovisades möjliga samband mellan ålens passertid och produktion i vindkraftparken, ålens längd och nordkomponent av ström separat. Sambandet mellan passertiden och dessa tre parametrar samtidigt analyserades genom multipel regression för åren 2008 och 2009 (Tabell 8). Korrelationskoefficienten var genomgående låg.

Tabell 8. Sambandet mellan ålens tid från utsättning till passage av transekten med mottagare genom vindkraftparken och vindkraftparkens produktion (medelproduktion under 2 timmar), ålens längd och nordkomponent av strömmen i Öresund analyserad genom multipel regression samt linjär regression var för sig.

	Parametrarna sammantaget			Parametrarna var för sig		
	Signifikansnivå P =	Korrelationskoefficient r =	n	Signifikansnivå P =	Korrelationskoefficient r =	n
Produktion	0,670	0,015	62	0,557	0,07	73
Längd	0,221			0,198	-0,15	73
Nordström	0,571			0,473	0,05	65

Diskussion

Resultaten i föreliggande beteendestudie var delvis motsägelsefulla och uppvisade stor spridning i värden. De visade dock att ål kan passera området vid alla produktionsnivåer i vindkraftparken. Ungefär en tredjedel av de märkta och utsatta blankålarna passerade transekten med mottagare i parken såväl under baslinjeåren (35 %) som under driftfasen (28 %). Påverkan observerades snarast som en fördröjning, med individuella skillnader i de olika ålarnas vandringsbeteende. Den ökade energiförbrukning som en fördröjning innebär skulle kunna minska ålens reproduktionsframgång genom att minska energin tillgänglig för avkomman eller minska sannolikheten för ålen att nå fram till reproduktionsområdet.

Just ål som vandrar från Östersjön och genom Öresund har relativt lång väg att vandra för att nå Sargassohavet jämfört med artfränder från till exempel västkusten och andra europeiska områden (se Clevestam m fl 2011 om de begränsade energireserverna hos ål). För dessa ålar är det speciellt viktigt att hushålla med energin. Den bästa teoretiska förutsättningen för energieffektiv vandring är att lekvandringen sker i det fria vattnet på optimalt djup med rakast möjliga kurs och med en fart som är anpassad till individen (Tesch, 2003, Sjöberg, 2004, Westerberg m fl 2009). Avvikelse skulle antingen kunna fördröja hela populationen, om alla individer påverkas, eller så skulle en andel av individerna kunna påverkas mer kraftigt medan resterande del fortsatte i stort sett opåverkad. Att statistiskt visa en genomsnittlig störning är svårt eftersom de lekvandrande ålarna uppvisade en hög grad av individuella beteenden, med stor spridning i bland annat vandringshastighet. I studien noterades dock möjliga avvikelser från ett optimalt vandringsbeteende, som kan inverka på energiförbrukningen, hos en andel av ålarna.

De snabba variationerna i vindkraftparkens driftförhållanden, och det faktum att produktionsnivån kan vara något olika i olika delar av parken, bidrog eventuell till att det var svårt att säkerställa en koppling mellan beteende och driftförhållande/produktionsnivå i vindkraftparken. För att få ett större statistiskt beräkningsunderlag grupperades produktionsdata i mindre än 20 % och större än 20 % av maximala produktionen. Med denna definition blev tidsåtgången för ålarna att förflytta sig från utsättningsområdet till transekten, och därmed energiåtgången, som medianvärde ungefär densamma oavsett produktionsnivå. Av spridningen i passagetid (se Figur 14) kan dock utläsas att en större andel av ålarna (48 %) vid den högre produktionsnivån (>20 %) använder mer än en vecka för förflyttningen, jämfört med 28 % av ålarna vid den lägre produktionsnivån. Vad som motsvarar den ”normala” vandringstiden går inte att fastställa helt men ålens vandring till sitt lek-område tar uppskattningsvis 5,2–6,5 månader och en veckas försening motsvarar en förlängning av vandringstiden med knappt fem procent.

Ålarna visade dock en tendens till att registreras vid färre tillfällen än förväntat innanför vindkraftparken vid låg produktion (<20 %) och vid fler tillfällen än förväntat vid högre produktion (> 20 %). Ojämnheterna i fördelning, utifrån förväntat, skulle kunna tyda på att ålen har svårare att navigera förbi vindkraftparken vid större produktion. Att den har lättare att hitta/orientera sig/ta sig igenom när produktionsnivån är låg i vindkraftparken.

Ingen kvantitativ koppling sågs mellan produktionsnivån i vindkraftparken och ålarnas vandringsmönster. Detta kan förklaras antingen med att ålen inte reagerar på vindkraftverken eller med att ålen detekterar och reagerar på vindkraftparken med en avståndsskillnad mindre än vad som kan särskiljas med försöksupplägget. Förlusten av mottagare inne i vindkraftparken 2008 bidrar till osäkerheten av tolkningen. Ålens detektion av vindkraftparken på något hundratal meter till någon kilometer kan även vara oberoende av produktionen om vindkraftparken uppfattas som ett slutet vandringshinder (en ö). För antalet passager finns ingen signifikant skillnad mellan passager

innanför och utanför vindkraftparken oavsett vilken kombination av år och produktionsnivå som valts. Antalet registreringstillfällen, d.v.s. passager och övriga registreringar sammantaget, visade dock en tendens till att vara fler i det område som ligger inom vindkraftparken.

Undersökningen år 2010 gav en mer detaljerad information om ålarnas beteende kopplat till tre olika produktionsintervall i vindkraftparken. Då få ålar registrerades påvisades inga tydliga skillnader mellan ålarnas beteende kopplat till produktionen. Möjligen kunde ses till att vandrade ålarna vid hög produktion företrädesvis rakt norrut om de passerade utanför vindkraftparken, och fler ålar avvek österut in mot land vid låg produktion.

De märkta ålarna verkade förflytta sig oberoende av strömsituationen. Flera djurarter utnyttjar strömförhållandena för att optimera sin förflyttning, men den lekvandrande ålen i denna studie verkar inte ha detta beteende. Strömsituationen i Öresund är dock komplicerad, och tidvis avspeglar registreringarna av strömsituationen vid Drogden (där data hämtades från) inte situationen i hela området, även om strömriktningen i ytan ofta är densamma. Ålens förflyttningshastighet hade ett visst samband med individens längd även om sambandet inte var statistiskt säkerställt. Ålens optimala simhastighet är enligt litteraturen 0,77 gånger ålens totala längd (referens via Clevestam m fl 2011).

Att ett stort mått av individuellt beteende förekommer hos de lekvandrande ålarna har även visats tidigare vid flera undersökningar med till exempel aktiv spårning av enskilda ålar med följebåt eller med datalagrande märken (Westerberg & Begout-Anras 2000; Appelberg m fl 2005; Westerberg m fl 2006; Westerberg m fl 2007). En stark vandringsdrift borde göra att ålen inte reagerar på störningar, analogt med att fisk inte överger viktiga lek- eller uppväxtområden trots ofördelaktiga miljöförhållanden (Beale & Monaghan 2004, Bejder m fl 2009). Men svårigheter i navigation och orientering skulle ändå kunna orsaka störningar trots motivationen. Upprepade störningar av ålens lekvandring genom Östersjön, med flera sjöförlagda lik- och växelströmskablar, planerade och befintliga vindkraftparker, fartygstrafik och broar skulle sammantaget kunna medföra att en andel av ålarna försenas i sin resa. Av betydelse för ålpopulationen är också om det är samma individer som tvekar eller reagerar avvikande vid varje hinder eller om det är olika individer som blir fördröjda. Här saknas information helt eftersom inga undersökningar gjorts som omfattar flera potentiella störningar på ålvandring samtidigt, så kallade kumulativa effekter.

Delprojekt 2: Växelströmsfält och blankålsvandring

Ålens vandring i relation till en växelströmskabel studerades vid den kabel som förser Öland med energi. Förbindelsen med fastlandet består av ett system med trefaskabel på 130 kV och två spänningssatta kablar med 50 kV. Kablarna ligger på botten utom vid stränderna där de är nedgrävda. Strömstyrkan i kabeln varierar med förbrukningen på Öland men också med hur mycket av öns förbrukning som produceras lokalt av vindkraft.

Exempel på kablar som används vid vindkraftparker är den från transformatorstationen i Lillgrunds vindkraftpark till land som är en 7 km lång 145 kV kabel. De 48 stycken 360–1500 meter långa kablar inne i vindkraftparken har 36 kV spänning. Eftersom Lillgrunds vindkraftpark är den ända större parken i drift i Sverige finns inget aktuellt jämförelsematerial inom landet. I Danmark har vindkraftparken i Nysted 33 kV kablar inom vindkraftparken en och sjökabel med 132 kV till land. Vid den senare har genomförts en mindre undersökning av vandrande ål (DONG and Vattenfall 2006). En möjlig indirekt effekt på ål har observerats här. Ål fångades med storryssjor på ömse sidor om kabeln åren 2003 och 2004 när vindkraftparken tagits i drift. Fångsten av ål var signifikant olika i fångsterna på östra och västra sidan av kabeln och den slutsats som dras är att detta är kopplat till en störning i vandringen. (DONG and Vattenfall 2006).

För exempelvis den planerade parken vid Taggen i Hanöbukten anges att växelströmskablar från de enskilda vindkraftverken till transformatorerna kommer att ha en systemspänning på cirka 30 kV. Sjøkabeln mellan transformatorerna och landkabeln kommer att ha en spänning på ca 130 kV.

Material och metoder

För att kunna studera ålarnas vandring över växelströmskabeln användes ett system av fyra transekter med hydrofoner över Kalmarsunds smalaste del norr om Ölandsbron där kabeln är belägen. Avståndet mellan transekterna var mellan tre och fyra kilometer och kabeln går ungefär mitten mellan de mellersta transekterna. De hydrofonmottagare, av typen Vemco VR2, som användes för att detektera signalerna från sändarna på ålarna förankrades under vattnet och cirka 1,8 meter ovanför botten. Även i utsättningsområdet cirka sju kilometer norr om den nordligaste transekten placerades hydrofoner för att kunna avgöra hur ålarna betedde sig efter utsättningen (Figur 2).

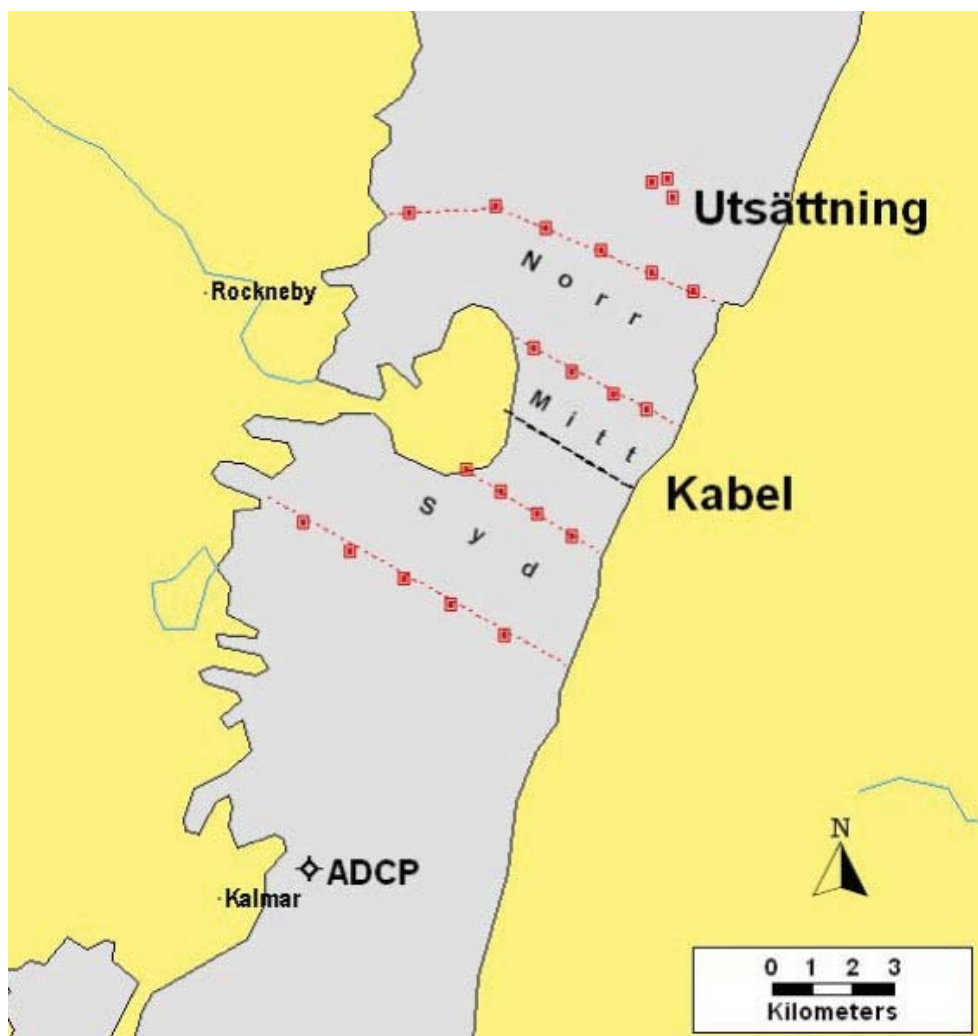
Spårningen av ålarna gjordes i anslutning till ålamörkret i oktober 2006. De registrerande hydrofonerna togs in efter tre veckor och informationen fördes över till bearbetningsprogram direkt ombord på den båt, Svea från Bergkvara, som användes. Totalt märktes 60 blankålar fördelat på två omgångar om 30 ålar som märktes och sattes ut med fyra dagars mellanrum för att optimera

möjligheterna för detektion. Alla ålar längdmättes och vägdes. Förutom en direkt visuell bedömning att ålarna var i vandringsfas innan märkningen, det vill säga att de var blankålar, mättes ögondiameter (enligt Pankhurst & Lythgoe 1983) och mängden lagrat fett mättes med ultraljud. Medellängden hos de märkta ålarna var 78 cm (standardavvikelse 0,077) och medelvikten var 0,91 kg (standardavvikelse 0,28). Ålarna fångades med bottengarn i närområdet till kabeln och märktes samma dag redskapen vittjades.

Ålarna märktes vid ryggen framkant med individuellt kodade märken av typ Vemco V13 (Figur 1) som sänder en ultraljudssignal (69 kHz) med slumpvisa mellanrum på mellan 20 och 60 sekunder. Ljudstyrkan från märkena är omkring 150 dB (re 1 μ Pa, 1 m). Sändarens vikt i vatten är 6 gram. Detta är mindre än 1 % av de märkta ålarnas vikt och under hälften av vad som bedöms vara gränsen för att inte störa ålarnas beteende (Jepsen m fl 2002).



Figur 1. Ål med kodad ultraljudsändare för passiv telemetri.



Figur 2. Försöksområdet i Kalmarsund. De hydrofoner som användes för att detektera signalerna från sändarna på ålarna markerade med röda fyrkanter.

Betingelserna för ljudets maximala utbredning i Kalmarsund var extremt bra med jämn temperatur och salthalt i hela vattenvolymen. Ljudpulserna från märkena detekterades på över två kilometers avstånd i de flesta fall. Hydrofonerna placerades med en kilometers avstånd för att säkerställa att alla passager registrerades. Tidpunkten för ålens passage av transekterna kunde normalt skattas med några minuters marginal. Antalet registreringar i en mottagare ger ett mått på över hur lång sträcka sändaren var hörbar. Om antalet är detsamma i två angränsande mottagare passerar ålen mitt mellan dem. Kvoten mellan antalet mottagna signaler i angränsande hydrofoner ger en approximativ skattning av punkten för ålens passage. I de fall övervägande delen av signalerna hördes i endast en hydrofon har dennas position använts. Vid enstaka tillfällen var mottagningen var så god att ålen hördes även mellan två transekter. Det var dock i dessa fall möjligt att bedöma om ålen vänt inom området eller passerat endera av dem.

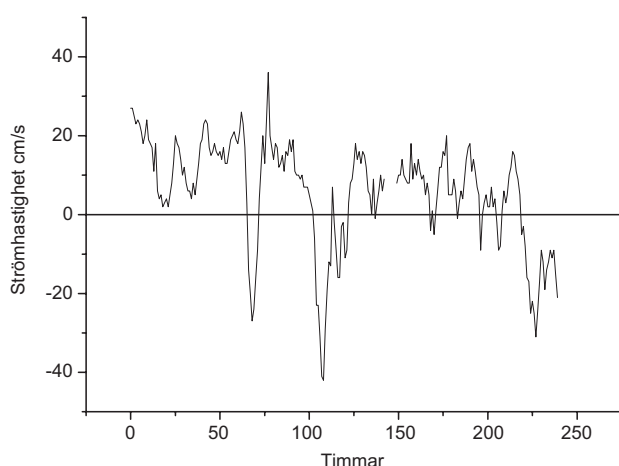
Med hjälp av tiden mellan transektpassagerna och avståndet mellan punkterna där ålen passerat beräknades ålens medelhastighet relativt botten. För att få ålens verkliga simhastighet måste hänsyn tas till strömmen i sundet.

Mätning av vattenströmmen gjordes vid Kalmar cirka 9 kilometer söder om den sydligaste transekten. Med hjälp av en fast ekolodsströmmätare (acoustic doppler current profiler, ADCP) mäts yt- och bottenström var 30 sekund i sundet. Under en 6-timmarsperiod var mätningen ur funktion och vid detta tillfälle passerade två av ålarna försöksområdet. För dessa saknas därför strömdata. I de vidare beräkningarna användes timmedelvärden på dessa värden. Kalmar sund är relativt smalt och strömmen kan antas vara en homogen kanalströmning. Tidsfördröjningen för en strömändring mellan Kalmar och kabeln bestäms av den långa vågens hastighet och är cirka 15 minuter. Detta innebär att man med hjälp av sundets tvärsnittsarea vid mätplatsen och tvärsnittsarean vid transekterna kan beräkna strömmen vid dessa.

Resultat

Av de 60 märkta blankålarorna passerade 46 stycken alla fyra transekterna med hydrofoner. Sex ålar startade norrut direkt efter märkningen och lämnade försöksområdet och två vände norrut efter att ha passerat de två transekterna norr om kabeln. Tre eller fyra av individerna stannade någonstans mellan transekterna. Två ålar registrerades i de två nordligaste och den sydligaste transekten men ej i den närmast söder om kabeln. På en ål startade ej märket.

Vattnet i Kalmarsund var väl omblandat under den period försöket pågick. Detta innebar att strömmen i ytan och i bottenvattnet var i nära densamma. Storleken på den komponent av strömmen som ålen möter i form av med- eller motström längs sundet gick därmed att beräkna för den tvärsektion där ADCP-mätningen gjorts (Figur 3). Med hjälp av tvärsnittsytan i mätområdet, 32 000 m², och motsvarande ytor mellan hydrofontransekterna beräknades en medelström för de tre intervallen mellan transekterna (se tabell 1). Resultaten användes för att korrigera den uppmätta simhastigheten, farten över grund, hos ålarna så att den faktiska simhastigheten genom vattnet kunde beräknas



Figur 3. Den komponent av medelströmmen i Kalmarsund som ålarna upplever som med- (positiv) eller motström (negativ). Tidsskalan startar den 13 oktober 2006 och tiden är timmar efter midnatt detta dygn.

Tabell 1. Tvärsnittsytan i fyra snitt genom Kalmarsund. Medelvärde för tvärsnittsytan i de tre intervallen mellan de fyra hydrofonlinjerna och tvärsnittsytan vid ADCP-mätstationen. Strömshastigheten i de tre avsnitten är omvänt proportionellt med förhållandet mellan tvärsnittsytan i delsträckan och tvärsnittsytan vid ADCP-mätområdet.

Delsträcka	Tvärsnittsytan [m ²]	Ytan dividerat med ytan vid ADCP-området (%)
ADCP-området	32.000	100
Norra	58.500	54
Mellersta	39.800	80
Södra	35.300	90

För den korrigerade genomsnittliga simhastigheten beräknades medelvärde och standardavvikelse för varje delsträcka för de 46 ålar som passerat genom hela försöksområdet (tabell 2). Data bedömdes vara normalfördelade (Kolmogorov-Smirnov test). För att jämföra simhastigheterna parvis mellan de tre delsträckorna användes t-test för av varandra beroende data (tabell 3).

Tabell 2 .Simhastigheten hos ålarna, medelvärde och standardavvikelse, fördelat på de tre delsträckorna/zonerna. Hastigheten i cm/s.

	Delsträcka		
	Norra	Mellersta	Södra
Antal ålar	46	46	46
Medelvärde	51.0	38.6	52.5
Standardavvikelse	16.5	19.5	15.5
Minimum	11.1	1.0	26.8
Maximum	120.4	93.9	99.0

Det är ingen signifikant skillnad i simhastighet mellan områdena norr och söder om kabeln ($p = 0,6$). I delsträckan där kabeln är belägen har ålarna simmat långsammare räknat som medelhastighet. Skillnaden är statistiskt signifikant ($p = 0,0003$ respektive ($p = 0,0006$) men en del av skillnaden förkla-

ras av att några få ålar stannat under längre perioder i detta område. I något fall har ålen “överdagat” från morgonen till nästa dags kväll och sen fortsatt när mörkret fallit. Men även om de ålar som stannat i mellersta området, definierade som de som haft en simhastighet under 0,1 m/s, inte räknas in är skillnaden signifikant mot de båda andra delområdena (t-test $p = 0,015$ respektive 0,017).

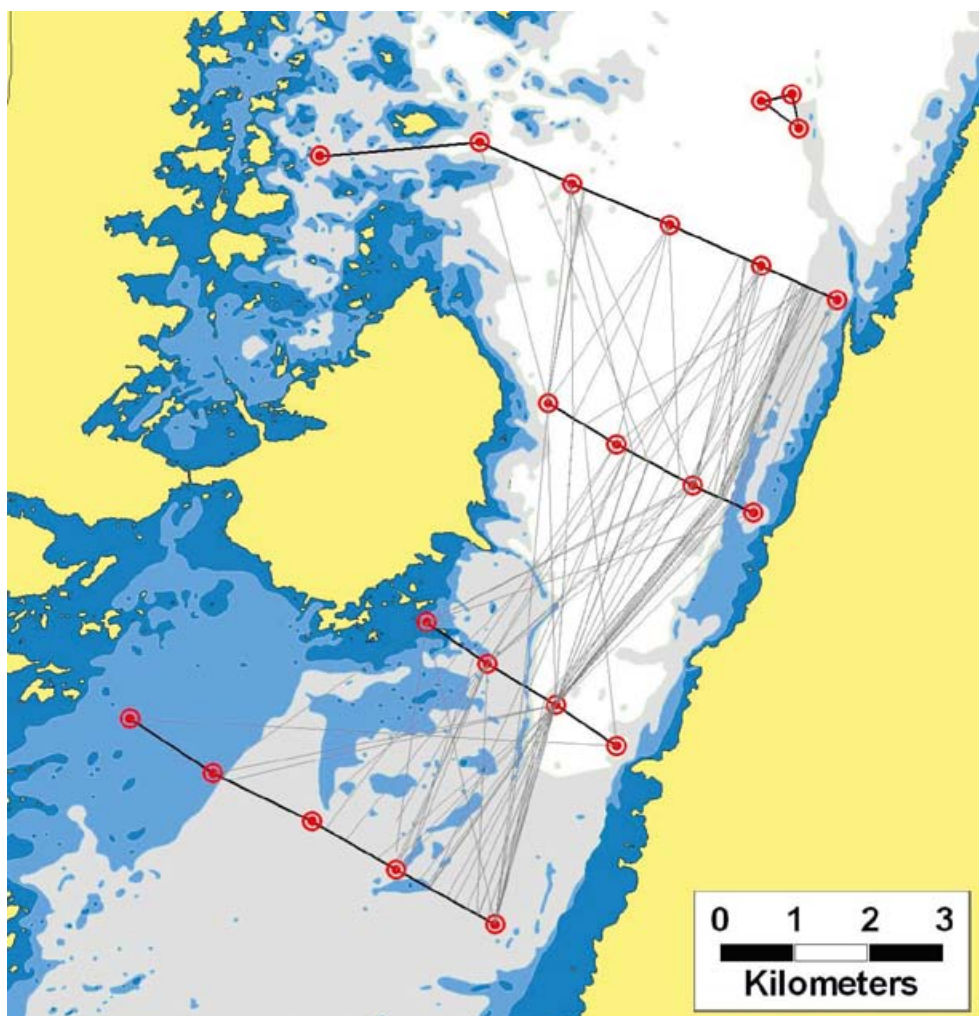
I figur 4 visas kvoten mellan simhastigheten hos ålen i området med kabeln jämfört med i de båda andra områdena. En kvot under 1,0 innebär lägre simhastighet över kabeln än norr och söder därom.

Figur 4. Den relativa simhastigheten hos de individuella ålarna i området med kabeln jämfört med i de båda andra områdena.

Tabell 3. Parvis jämförande t-test för de individuella ålarnas simhastighet genom de tre intervallen i försöksuppställningen. En uppdelning har gjorts av de fall ålen haft med- respektive motström i det mittersta intervallet med kabeln.

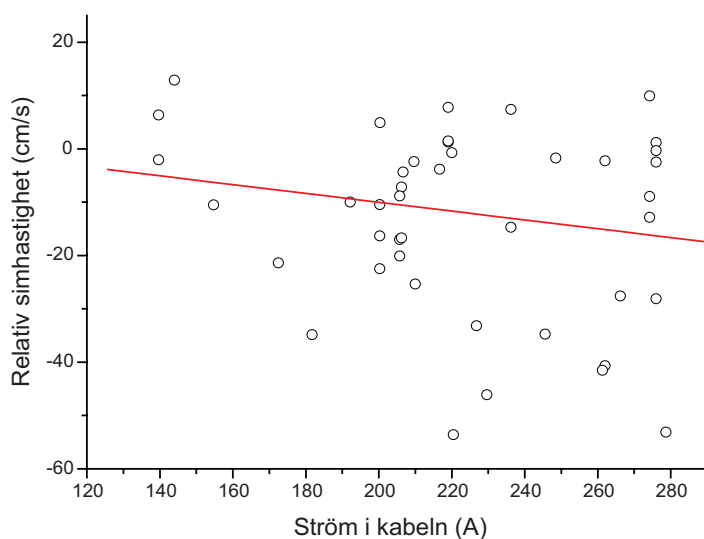
	N	Hastighets- skillnad medelvärde	Standard- avvikelse	t-värde	Signifikans p
Alla data					
Norr-Kabel	46	12.43	21.43	3.86	0.0003**
Syd-Kabel	46	13.89	25.57	3.68	0.0006**
Norr-Syd	46	-1.47	19.13	-0.52	0.61
Medströms					
Norr-Kabel	25	12.50	26.81	2.33	0.028*
Syd-Kabel	25	13.01	26.52	2.45	0.022*
Norr-Syd	25	-0.51	17.37	-0.14	0.88
Motströms					
Norr-Kabel	19	11.02	12.95	3.71	0.0016**
Syd-Kabel	19	10.57	17.05	2.70	0.014*
Norr-Syd	19	0.45	18.87	0.10	0.92

I figur 5 har spåren från alla ålarna markerats. I denna del av sundet rör sig huvuddelen av individerna utefter Ölands kust, som just här är ganska brant. Troligen har den östligaste mottagaren av de fyra i den tredje hydrofonlinjen hamnat så att signalen skärmats av och ansamlingen av spår vid den angränsande mottagaren är en artefakt.



Figur 5. Beräknade simspår efter ålarna. Kabeln ligger mellan de två mellersta hydrofonlinjerna. Mörkblått 0–3 meters djup, mellanblått 3–6 och ljusgrått 6–10 meters djup.

Under försöksperioden varierade den elektriska strömmen i kabeln mellan 140 och 300 A. Figur 5 visar skillnaden i simhastighet i det mittersta intervallet jämfört med medelsimhastigheten i de norra och södra intervallen för samma ål, plottat mot strömmen i kabeln samtidigt som ålen passerar. Den lineära regressionen är svag, med sannolikheten 30 procent att det inte finns något samband.



Figur 6. Korrelation mellan simhastighetsminskningen vid passage av kabeln och samtida strömstyrkan i Ölandskabeln.

Diskussion

Resultaten visar att det finns en skillnad i simhastighet hos blankålarna i intervallet kring Ölandskabeln jämfört med intervallen mellan hydrofonlinjerna norr och söder om kabeln. Det är svårt att finna någon annan förklaring till skillnaden än kabeln. Simhastigheten har korrigerats för strömstyrkan i vattnet och det finns bara obetydliga skillnader i salthalt och temperatur i området. Djupet i området går från något djupare i norr till mindre än 10 meter i söder. Det finns ingen anledning att misstänka att fisketrycket skiljer sig åt i de olika delområdena och bottengarnens begränsade utsträckning, som mest 200–300 m från strandlinjen, gör att flertalet ålar inte påverkas av dessa efter som de rör sig längre ut (Figur 5). Också vid studien 2005 föredrog ålarna de djupare delarna av Kalmar sund (Westerberg och Lagenfelt 2006). Fördröjningen över kabeln kan inte heller förklaras av något fel i korrektionen för vattenströmmen eftersom det finns en signifikant fördröjning oberoende av strömriktningen.

Simhastighetsminskningen koppling till strömmen i kabeln (Figur 6) stärker antagandet att det finns en effekt av driften av kabeln. Det sker en generell ökning av simhastigheten i alla intervallen vid ökad strömstyrka. Detta beror troligen på ett samband mellan blåsig väder och produktionen av vindkraftsel på Öland. Ju blåsigare väder ju mer vindkraft produceras lokalt och ju mindre el transporteras i kabeln. Förklaringen kan då vara att vandringsaktiviteten påverkas av vindförhållandena.

Det finns ingen känd biologisk förklaring till observationerna. Ålars känslighet för elektriska likströmsfält har studerats av Rommel och McCleave (1973) och av Enger et. al. (1976) med motstridiga resultat. Berge (1979) undersökte känsligheten för elektriska växelströmsfält och fann en reaktions-tröskel för 50 Hz vid ett spänningsfall av cirka 1 millivolt per cm när fältet

var parallellt med ålen. Detta är mycket över det maximala fältet runt en undervattenskabel av den typ som används för vindkraftsanläggningar, vilken är av storleksordningen $0.01 \mu\text{V}/\text{cm}$ (CMACS 2003). Känslighet för svaga statistiska magnetfält har påvisats i flera laboriestudier, t.ex. Tesch m fl (1992), och storleken på det magnetfält som alstras kring kabeln kan vara starkt nog för att upptäckas av en ål om fältet vore statistiskt. Det saknas emellertid undersökningar av hur ålar reagerar på magnetiska växelfält av denna styrka.

Försöket visar att tekniken med individuell kodade märken och fasta hydrofonlinjer med registrerande mottagare kan fungera för att upptäcka även små störningar i beteende. Metoden är kostnadseffektiv och tillåter ett tillräckligt stort antal observationer för en acceptabel statistisk bearbetning. Att spåra individuella ålar manuellt och detaljstudera deras beteende är oftast för dyrt för att vara realistiskt i en miljökonsekvensutredning. Här har tekniken med hydrofonbojar klara fördelar och kan svara på de grundläggande frågorna om det finns någon effekt eller inte. I detta försök kan man konstatera att kabeln inte utgör något absolut vandringshinder, men att det finns en effekt. Effekten är emellertid begränsad, med en genomsnittlig fördröjning vid kabelpassagen på cirka 40 minuter.

Att man observerar en effekt av en växelströmskabel är emellertid av allmänt intresse och väcker flera frågor. Reaktionen kan t.ex. vara annorlunda för andra fiskarter. För att förstå de underliggande fysiologiska mekanismerna krävs detaljstudier av beteendet i laboratorium eller fält. Vi hoppas att dessa resultat kommer att följas upp av andra forskare.

Tack

Denna rapport ingår som en del i forskningsprogrammet ”Vindval” som finansieras av Energimyndigheten. Tillstånd att hantera och märka ålarna har erhållits från Djuretiska nämnden i Malmö-Lund. ADCP- informationen har ställts till förfogande av Sjöfartsverket och Farvandsvæsenet. Tack till Stig Lundin, Stina Bertilsson, Malin Hemmingsson, Malin Aarsrud, Fredrik Larson, Charlott Stenberg med flera som hjälp till vid fältarbetet med ålmärkning med mera. Vindkraftservicebåten Svea har varit en utmärkt arbetsplattform i Kalmar sund medan forskningsfartyget Sabella varit det i Öresund. Tack också för hjälp med granskning till Lena Bergström och Olle Hjerne.

Referenser

- Andersson, M. H., Sigray, P., & Persson, L. K. G. (2011). Undervattensljud från en havsbaserad vindkraftpark och dess påverkan på fisk. Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-6436-5
- Appelberg, M., Holmqvist, M., Lagenfelt, I, Lettevall, E., Sparrevik, E., Wahlberg, M. och Westerberg, H. 2005. Öresundsförbindelsens inverkan på fisk och fiske – Underlagsrapport 1992–2005.
- Beale, C. M., & Monaghan, P. (2004). “Behavioural responses to human disturbance: a matter of choice,” *Anim. Beha.* 68, 1065–1069.
- Beister E. 1979. The distribution of the Rügen spring herring. *ICES CM* 1979/J:31. 6 s.
- Bejder, L., Samuels, A., Whitehead, H. Finn, H. & Allen, S. (2009). – Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395,177–185.
- Berge, J.A. (1979) The perception of weak electric AC currents by the European eel, *Anguilla anguilla*, *Comparative Biochemistry and Physiology*, 62A: 915–919.
- Bergström L, Sundqvist F, Bergström U, 2011, Effekter av en havsbaserad vindpark på fördelningen av bottennära fisk. Vindval Rapport 6485, Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-6485-3, 34 sidor
- Birklund, J., Povlsen, E., Riber, H. och Dahl S.Ø. 1992. Öresund Konsekvensvärdering. Underlagsrapport 2. Öresundskonsortiet.
- Chapman, C.J., Hawkins, A.D., 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L. *J. Comp. Physiol.* 85, 147–167.
- Chapman, C.J., Johnstone, A.D.F., 1974. Some auditory discrimination experiments on marine fish. *J. Exp. Biol.* 61, 521–528.
- Clevestam, P. D., Ogonowski, M., Sjöberg, N. B. and Wickström, H. (2011), Too short to spawn? Implications of small body size and swimming distance on successful migration and maturation of the European eel *Anguilla anguilla*. *Journal of Fish Biology*, 78: 1073–1089. doi: 10.1111/j.1095-8649.2011.02920.x
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, England.
- CMACS. (2003). A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. COWRIE Report EMF – 01-2002 66.

(COWRIE, <http://www.offshorewindfarms.co.uk/>)

Dahl, S.Ø. Horsted, J. Bjerre, F. och Petersen, H.M. 1992. Östersjöns vattenmiljö. Underlagsrapport nr 1. Öresundsko´nsortiet, COWIconsult/Vandkvalitetsinstitutet

(VKI) Miljökonsekvensbeskrivning för Öresundsförbindelsen. ESRI Inc 2005.

DONG Energy and Vattenfall A/S. 2006. Review Report 2005 The Danish Offshore Wind Farm Demonstration Project: Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farms Environmental impact assessment and monitoring. Prepared for The Environmental Group of the Danish 150 Offshore Wind Farm Demonstration Projects. <http://www.ens.dk/en-US/supply/Renewableenergy/WindPower/offshore-Wind-Power/Environmental-Impacts/Sider/Forside.aspx>

Dahlberg J-Å, 2009, Assessment of the Lillgrund Windfarm, Power Performance Wake Effects, Lillgrund Pilot Project, Vattenfall Vindkraft AB, 21858-1 September 2009

Del Grosso V.A. & C.W. M. 1972. Speed of sound in pure water. *Journal of the Acoustical Society of America* 52:1442–1446.

Enger, P.S., Kristensen, L. & Sand, O. (1976) The perception of weak electric D.C. currents by the European eel (*Anguilla anguilla*), *Comparative Biochemistry and Physiology*, 54A: 101–103.

Foote, K. G. 1991. Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies. *ICES Journal of Marine Science*, 48: 211–218.

Foote, K. G., Aglen, A., and Nakken, O. 1986. Measurement of fish target strength with a split-beam echo sounder. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80: 612–621.

Francois R.E. & Garrison G.R. 1982. Sound absorption based on ocean measurements. *Journal of the Acoustical Society of America* 72:1879–1890.

Hinze, J. 2001. NCSS and PASS 2002 – Number cruncher statistical systems. www.ncss.com.

Gill A.B., Gloyne-Phillips I., Neal K.J. & Kimber J.A. (2005) The potential effects of electromagnetic fields generated by sub-sea power cables associated with offshore wind farm developments on electrically and magnetically sensitive marine organisms – a review. COWRIE 1.5 Electromagnetic Fields, final report.

Hjellvik V, Handegard N. O, and Ona E. 2006. Correcting for avoidance in acoustic abundance estimates for herring using a generalized linear model. *International Council for the ICES CM 2006/I:22 Exploration of the Sea*.

- Hvidt, C. Brüner, L. Reier Knudsen, F., 2005, Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities in Offshore Wind Farms Annual Report 2004 Horns Rev Offshore Wind Farm. Elsam engineering, Bio/consult as, Varl Bro as, Simrad, 33 pp.
- Höglund H. & Koczy F. (1971) Elströmsförsök I Västervik. Medd. Havsfiskelab. Lysekil No 105, pp 21. (in Swedish)
- ICES. 1983. Workshop on stock components in herring landings from Division IIIa. ICES CM 1983/Assess:5. 32 s.
- ICES. 1983. Report of the Planning Group on ICES co-ordinated herring and sprat acoustic surveys. ICES CM 1983/H:12.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E.B. och E. Baras. 2002. Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia* 483: 239–248.
- Jerko, H., Turunen-Rise, I., Enger, P.S., Sand, O., 1989. Hearing in the eel (*Anguilla anguilla*). *J. Comp. Physiol. A* 165, 455–459.
- Jönsson N. & Beister E. 1979. Results of tagging experiments on the Rügen spring herring 1977/1978. ICES CM 1979/J:29. 13 s.
- Kalejs M. & Ojaveer E. 1989. Long-term fluctuations in environmental conditions and fish Stocks in the Baltic. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions – Conseil International Pour L'Exploration de la Mer* 190:153–159.
- Lagenfelt, I., Sparrevik, E., Andersson, J., Lettevall, E., Bergström, U., Bergström, L. 2006. Fiskundersökningar vid Lillgrund, Baslinjestudier vid Lillgrunds vindkraftpark 2002–2005, 33 s.
- Mackenzie K.V. 1981. Nine-term equation for sound speed in the oceans. *Journal of the Acoustical Society of America* 70:807–814.
- Myrberg Jr., A.A., Spires, J.Y., 1980. Hearing in damselfishes: an analysis of signal detection among closely related species. *J. Comp. Physiol.* 140, 135–144.
- Normandeau, Exponent, Tricas T., and Gill A., 2011. Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Regulation, and Enforcement, Pacific OCS Region, Camarillo, CA. OCS Study BOEMRE 2011-09. May 2011
- Otterlind G. 1984. The Rügen herring in Swedish waters with remarks on herring population problems. ICES CM 1984/J:16. 11 s.
- Otterlind G. 1987. On the Öresund herring and related population problems. ISSN 0374–8030. Meddelande från Havsfiskelaboratoriet, Fiskeristyrelsen, No.322. 92 s.

- Pankhurst N.W. & Lythgoe J.N. (1983) Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology* 23: 229–240.
- Poddubny, A.G. (1967). Sonic tags and floats as a means of studying fish response to natural environmental changes to fishing gears, In Conference on fish behaviour in relation to fishing techniques and tactics, Bergen, Norway:, FAO, Rome. pp 793–802
- Poddubny A.G., Malinin L.K. & Spector I. (1979) Biotelemetry in fisheries research. Пищевая промышленность Moskva. (in Russian)
- Popper, A.N., Fay, R.R. Rethinking sound detection by fishes. *Hear. Res.* (2010), doi:10.1016/j.heares.2009.12.023
- Rommel, S.A. & McCleave, J.D. (1973) Sensitivity of American eels (*Anguilla rostrata*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) to weak electric and magnetic fields, *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 30: 657–663.
- Rivoirard, J., Simmonds, J., Foote, K.G., Fernandez, P., och Bez, N. 2000. *Geostatistics for Estimating Fish Abundance*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 206 pp.
- Ona E. (editor) 1999. *Methodology for Target Strength Measurements ICES Coop. Res. Rep. No. 235*. 58 pp.
- Siegel S. & Castellan J.N., Jr. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioural sciences*. McGraw-Hill, New York. 398 s.
- StatSoft Inc. 2005. *STATISTICA (data analysis software system)*. Version 7. www.statsoft.com.
- Sjöberg, 2004. N.B. Blankålsmärkning – till hjälp att förstå blankålens migration i östersjön. Examensarbete. Uppsala Universitet och Fiskeriverket.
- Skaret, G, Axelsen, B.-E., Nøttestad, L., Fernö, A., and Johannessen, A. 2005. The behaviour of spawning herring in relation to a survey vessel. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1061–1064.
- Svärdson, 1976. G. The decline of the Baltic eel population. Report from the Institute of the Freshwater Research, Drottningholm 55: 136–143.
- Tesch, 1974, F.W. Influence of geomagnetism and salinity on the directional chose of eels. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 26: 382–395.
- Tesch, 2003. F.W. *The eel* Thorpe J.E. (red). Blackwell Science Ltd, Oxford. 336s.
- Tesch, F.W., Westerberg, H. och Karlsson, L. 1991. Tracking studies on migrating silver eels in the central Baltic. *Meeresforschung/Reports on marine Research* 33(2–3): 183–196.

- Tesch, F.W., Wendt, T. & Karlsson, L. (1992) Influence of geomagnetism on the activity and orientation of eel, *Anguilla anguilla*, as evident from laboratory experiment, *The Ecology of Freshwater Fish*, 1: 52–60.
- Tesch F.W., Westerberg H. & Karlsson, L. (1991) Tracking studies on migrating silver eels in the Central Baltic. *Meeresforschung* 33: 183–196.
- Tesch F.W., Wendt T. & Karlsson, L. (1992) Influence of geomagnetism on the activity an orientation of the eel, *Anguilla anguilla* L, as evident from laboratory experiment. *Ecol. Freshwat. Fish* 1(1): 52–60.
- Tesch F.W. 1973, *Der Aal*. Hamburg och Berlin. Verlag Paul Parey
- Thompson S.K. 1992. *Sampling*. John Wiley & Sons, Inc. 343 s.
- Thoresson, G. 1996. *Metoder för övervakning av kustfiskbestånd*. Kustlaboratoriet, Fiskeriverket. Kustrapport 1996:3.
- Vemco 2004. *Products*. Vemco A division of AMIRIX Systems Inc. Hämtad 2006-06-20 på World Wide Web: www.vemco.com.
- Vabø, R., Olsen, K., and Huse, I. 2002. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring. *Fisheries research*, 58: 59–77.
- Wahlberg M. och Westerberg H. 2005. Hearing in fish and their reactions to sounds from Offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 288:295–309.
- Westerberg, H. 1979. Counter-current orientation in the migration of the European eel. *Rapports et Procé-verbaux des Réunions – Conseil International Pour L’Exploration de la Mer* 174: 134–143.
- Westerberg, H. 1983. Metodproblem vid telemetristudier av fisk. Information från Sötvattenslaboratoriet. Fiskeristyrelsen. 18 s.
- Westerberg, H. 1997. Havsbaserat vindkraftsverk vid Nordersund: Effekter på blankålsfisket. PM 970404. Fiskeriverkets Kustlaboratorium.
- Westerberg, H. 2001. Inverkan på fisket, provotidsundersökningar vid Baltic Cable. Fiskeriverket.
- Westerberg, H. & Begout-Anras M.-L. (2000) Orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. In Moore, A and Russel I (Eds) *Advances in fish telemetry. Proc. 3 Conf. Fish Telem. CEFAS, Lowestoft*. pp 149–158
- Wilhelmsson, D., Malm, T., Thompson, R., Tchou, J., Sarantakos, G., McCormick, N., Luitjens, S., Gullström, M., Patterson Edwards, J.K., Amir, O. And Dubi, A. (eds.) *Greening Blue Energy: Identifying and managing the biodiversity risks and of offshore renewable energy*. Gand, Switzerland: IUCN 102 pp.

Westerberg H., Lagenfelt I., Andersson I, Wahlberg M. & Sparrevik E, 2006. Inverkan på fisk och fiske av SwePol Link, Fiskeriundersökningar 1999–2006. Fiskeriverket

Westerberg H.& Lagenfelt I., 2006. Åltelemetri: Förstudie i Kalmar sund 2005. Fiskeriverket, arbetsrapport Vindval. 13 sidor

Westerberg H., Lagenfelt I. & Svedäng H. (2007). Silver eel migration behaviour in the Baltic. ICES J. Mar. Res. 64: 6 sidor

Westin, L. 1998. The spawning migration of European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) with particular reference to stocked eel in the Baltic. Fisheries Research 38: 257–270.

Blankålsvandring, vindkraft och växelströmsfält, 2011

INGVAR LAGENFELT, INGEMAR ANDERSSON
OCH HÅKAN WESTERBERG

RAPPORT 6479

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 978-91-620-6479-2
ISSN 0282-7298

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

Hur påverkas ål av storskaliga vindkraftanläggningar till havs? Studien följer blankålars vandring och beteende vid Lillgrunds vindkraftpark i Öresund, samt passagen över en 130 kV växelströmskabel, mellan fastlandet och Öland. Syftet är att se om dessa utgör hinder eller på annat sätt påverkar ålens möjligheter att nå fram till slutmålet. Ålen vandrar upp till 750 mil från Östersjön för att leka i Sargassohavet. Varje fördröjning är av betydelse för blankålen som ska klara att tillryggalägga hela sträckan på en och samma energireserv. Fiskarter som använder sig av det jordmagnetiska fältet för navigering eller som är känsliga för elektromagnetiska fält kan påverkas av växelströmkablarna på havsbotten. Studien visar att ålarnas simhastighet minskade när det var mer ström i kabeln och att det fanns en genomsnittlig fördröjning på 40 minuter när de skulle passera den.

Speciella omgivningsförhållanden medför dock svårigheter att relatera eventuella ändringar i ålarnas vandringsbeteende till driften av vindkraftparken.

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.

