

Underlag för samråd enligt 6 kap. 4 § miljöbalken

Näsudden Öst

Förnyelse av befintliga vindkraftverk på
Näsuddens östra sida, Gotland

BILAGA 4

**Slutrapport fallviltsinventering
Hjernquist**

Vattenfall Vindkraft Sverige AB och Näsvind AB, Juni 2016

Effekter på fågellivet vid ett generationsskifte av vindkraftverk

kontrollprogram, Näsudden, Gotland 2009 – 2013



Mårten B. Hjernquist
2014

 **KMH KONSULT**
Karl Mårten Hjernquist Konsult

Effekter på fågellivet vid ett generationsskifte av vindkraftverk kontrollprogram, Näsudden, Gotland 2009 – 2013

Mårten B. Hjernquist (2014) Effekter på fågellivet vid ett generationsskifte av vindkraftverk – kontrollprogram, Näsudden, Gotland 2009 – 2013. Karl Mårten Hjernquist Konsult, Havdhem.

Om författaren:

Mårten B Hjernquist, biolog och forskningskonsult. Studerade biologi vid Högskolan på Gotland och Uppsala Universitet. Disputerade 2009 vid avdelningen för zooekologi, Uppsala Univsersitet med en avhandling om miljöns påverkan på fåglars fortplantning och fortplantningsstrategier. Arbetar med naturvård, ekologi, bevarandebiologi och evolutionsbiologi.

Om rapporten:

Rapporten är baserad på inventeringar av fågelförekomst och vindkraftsdödade fåglar på Näsudden, Gotland, under 2009 till och med 2013. Rapporten är en sammanfattning av de studier som utgjort ett kontrollprogram med syfte att studera eventuella effekter på fågellivet vid generationsskiftet av vindkraftverken på Näsudden, som ägde rum under samma period. Kontrollprogrammet har finansierats av Stugyl AB, Vindkompaniet O2 AB, Näsudden Väst Administration AB och Slitevind AB i samarbete med Wickman Wind AB.

Foton: Mårten B Hjernquist.

Mårten B. Hjernquist
2014

Innehåll:

Sammanfattning	5
Introduktion	8
<i>Vindkraft och fågel</i>	8
<i>Kollisioner</i>	10
<i>Påverkan på livsmiljöer</i>	11
<i>Syfte</i>	13
Metodik	14
<i>Fågelförekomst</i>	14
<i>Vindkraftsorsakad mortalitet</i>	14
Resultat och diskussion	16
<i>Påverkan på fågelförekomst</i>	17
<i>Vindkraftsorsakad mortalitet</i>	22
Studiens begränsningar och implikationer	30
<i>Resultat från kontrollprogrammet i korthet</i>	33
Litteratur	34

Resultat från kontrollprogrammet i korthet

- Generationsskiftet har inte inneburit någon statistiskt signifikant påverkan på häckfåglar eller på fågelförekomsten på vintern, våren och hösten under studieperioden utöver en utebliven ökning av antalet måsfågelarter.
- Generationsskiftet har inneburit att ungefär 1,77 gånger fler fåglar dör per vindkraftverk och år. De nya större vindkraftverken dödar årligen 37,4 fåglar per verk och år. Högst är dödligheten för de vindkraftverk som är placerade närmast kusten.
- Eftersom antalet vindkraftverk halverats har det inneburit att det totala antalet fåglar som dör inom det generationsskiftade områdena ändå har minskat med i storleksordningen 19 procent. Vindkraftsutbyggnaden på Näsudden, innan moderniseringen till större vindkraftverk, dödade årligen drygt 1700 fåglar. Efter generationsskiftet har antalet sjunkit till drygt 1500. Nästan fyra gånger så mycket elenergi kan produceras på samma yta efter generationsskiftet och mortaliteten per producerad megawatt har därför minskat med nästan 80 procent.
- Vissa artgrupper var överrepresenterade gällande vindkraftsrelaterad fågelmortalitet – fler individer kolliderade med vindkraftverk än vad som är förväntat baserat på andelen artgruppen utgjorde av den totala förekomsten av fåglar. Det gäller främst rovfåglar där mellan 5,4 och 11,9 gånger fler än förväntat kolliderade med vindkraftverk, beroende på årstid.

SAMMANFATTNING

1. Bakgrund och syfte

Delar av vindkraftsparken på Näsudden har genomgått ett generationsskifte där de äldre vindkraftverken har bytts ut mot färre men större verk som producerar mer elenergi. 58 vindkraftverk har ersatts av 28 stycken, vilket har resulterat i ungefär en halvering av antalet verk. Ungefär fyra gånger så mycket elenergi produceras nu i området där vindkraftverken bytts ut. Syftet med kontrollprogrammet var att studera effekterna på fågellivet av generationsskiftet. Därför har förekomsten av fågel under vintern, våren och hösten samt häckande fåglar, och antalet fåglar som kolliderat med vindkraftverken studerats före och efter generationsskiftet.

2. Metodik

Studierna utfördes under cirka två år före och två år efter generationsskiftet. Inventeringarna var standardiserade, samma rutiner följdes vid varje tillfälle av samma inventerare, för att möjliggöra jämförelser mellan år. Två delområden, varav det ena redan hade generationsskiftats innan studien startade, fungerade som kontrollområden där inga förändringar av vindkraftverken genomfördes under studieperioden. I två andra delområden byttes vindkraftverken ut ungefär halvvägs genom studieperioden och antalet vindkraftverk minskade. Upplägget gör det möjligt att jämföra eventuella effekter före och efter generationsskiftet i två delområden, samt att kontrollera för mellanårsvariation genom att ta hänsyn till förändringar i de två andra delområden som inte förändrades under studieperioden. Upplägget av studien har en så kallad BACI-design (*Before and After Control Impact*).

Fågelförekomst inventerades i alla delområden under cirka 25 dagar om året, totalt under 113 dagar från och med maj 2009 till och med början på november 2013. Häckfågelinventeringar genomfördes under våren vid cirka åtta tillfällen varje år, totalt 38 tillfällen under studieperioden. Antal arter och individer noterades på kartor och summerades för varje inventeringstillfälle uppdelat på delområden.

Döda fåglar, som kolliderat med vindkraftverk, inventerades en gång i veckan under hela perioden.

Inventeringarna fick ställas in vid några tillfällen på grund av för stora mängder snö. I genomsnitt kunde inventeringar genomföras vid 92 procent av inventeringstillfällena och totalt genomfördes 214 inventeringar.

För att kunna beräkna det faktiska antalet fåglar som kolliderat med vindkraftverken studerades hur fort asätare för bort döda fåglar och andelen som inventerarna observerar under inventeringsrutterna. Det gjordes genom att döda fåglar slumpmässigt placerades ut i inventeringsområdet utan inventerarnas kännedom. De döda fåglarna följdes sedan under en veckas tid för att observera andelen som inventerarna lyckades hitta samt andelen som försvinner på grund av asätare. Delstudien genomfördes genom att totalt 40 fåglar placerades ut vid fyra tillfällen under totalt 28 dagar. Inom statistiken finns en tumregel att urvalsantalet eller antalet stickprov bör vara lika med eller större än 30 (tillförlitligheten för estimatet av standardavvikelsen ökar markant med ökat urvalsantal till ungefär 30, för att därefter plana ut).

Data från vädermasten på Näsudden erhöles från Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet, för analyser av samband mellan kollisionsfrekvensen och väderförhållanden.

3. Resultat fågelförekomst

Generationsskiftet innebar ingen påverkan som kunde noteras på förekomsten av fågel på Näsudden under vinter, vår eller höst. Fågelförekomsten varierade mellan delområden, årstid och år. Antalet individer av måsfåglar minskade generellt efter generationsskiftet i alla delområden, om än inte statistiskt signifikant, medan antalet måsfågelarter signifikant ökade i kontrollområdena men inte i de områden som generationsskiftats. En utebliven ökning av antalet måsfågelarter skulle därför kunna vara sammankopplad till generationsskiftet även om det då också hade förväntats en effekt på individnivå. En trend av att både antalet rovfågelarter och individer minskade kopplat till generationsskiftet noterades (dock inte statistiskt signifikant). Det skulle kunna tyda på en eventuell påverkan på rovfåglar. Ingen effekt av generationsskiftet på antalet individer av de två talrikaste arterna på

Näsudden, stare och vitkindad gås, kunde noteras och inte heller på övriga arter om förekomsten av stare och vitkindad gås togs bort ur analyserna.

4. Resultat häckfågelförekomst

Generationsskiftet innebar ingen påverkan, som kunde observeras, på häckfågelförekomsten på Näsudden. Antalet arter har varit i princip konstant i alla delområden, med undantag för ett av kontrollområdena där antalet sjunkit något. Förändringar i antalet häckande par har inte kunnat kopplas till generationsskiftet. Däremot har antalet häckande par totalt sett minskat på Näsudden, med cirka 20 procent, under studieperioden. Andra studier har visat att fågelförekomsten försätter att minska över tid efter att vindkraft byggts ut. Minskningen på Näsudden skulle därför eventuellt kunna bero på vindkraftsutbyggnaden, även om den här studien inte kan utröna om så är fallet.

5. Resultat vindkraftsorsakad mortalitet

Inom hela studieområdet dog uppskattningsvis drygt 1700 fåglar årligen på grund av vindkraften före generationsskiftet. Efter generationsskiftet har antalet sjunkit till drygt 1500. Om man bara utgår ifrån de områden som generationsskiftats dog uppskattningsvis 1300 fåglar per år före generationsskiftet medan det efteråt uppskattas till drygt 1000 fåglar. Det motsvarar en minskning på 19 procent.

Den större vindkraftverken dödade i genomsnitt 37,6 fåglar per vindkraftverk och år jämfört med de äldre och mindre vindkraftverken, som årligen dödade 21,3 fåglar per vindkraftverk. De nya generationsskiftade vindkraftsverken dödar alltså 1,77 gånger fler fåglar per vindkraftverk och år vid en sådan jämförelse. Jämfört med genomsnittet för Europa (6,5 döda fåglar per vindkraftverk och år) är mortaliteten per verk 5,8 gånger högre för de nya vindkraftverken och 3,3 gånger högre för de äldre vindkraftverken.

Att antalet fåglar som dör på Näsudden har minskat även fast dödligheten per verk ökat beror på att antalet vindkraftverk har halverats. En jämförelse av antal fåglar som dör på Näsudden och den totala elenergiproduktionen före och efter generationsväxlingen gör gällande att

fågeldödligheten minskat med uppskattningsvis 78 procent per elenergienhet som produceras. Detta eftersom vindkraftverken efter generationsskiftet producerar ungefär fyra gånger så mycket elenergi.

Om alla artgrupper är lika benägna att kollidera med vindkraftverk bör andelen individer som dött på grund av vindkraft för de olika artgrupperna spegla förekomsten av artgrupperna på Näsudden. Rovfåglar utgör exempelvis 0,3 procent av fåglarna på Näsudden och därför är det förväntat att de utgör 0,3 procent av de fåglar som observerats kollidera med vindkraftverken. Flera artgrupper var överrepresenterade gällande mortalitet under alla eller någon årstid under studien, jämfört med vad som kan förväntas baserat på fågelförekomsten. Mest markant skilde rovfåglarna ut sig från övriga artgrupper då vindkraften dödade 5,4 gånger fler rovfåglar på vintern och 11,5 och 11,9 gånger fler på våren respektive hösten än vad som förväntades baserat på deras förekomst. Utslaget på hela året utgjorde rovfåglar cirka 2,5 procent av vindkraftsdödade fåglar som observerats. Även vadarfåglar var överrepresenterade på hösten samt måsfåglar under våren och hösten.

Dödligheten var 3,6 gånger större för de vindkraftverk som stod närmast kusten före och 3,0 gånger större efter generationsskiftet, jämfört med de som är placerade längre från kusten.

Inga samband kunde noteras mellan väderförhållanden och kollisionfrekvens.

6. Studiens begränsningar och implikationer

Generella slutsatser baserat på den här studien bör göras med beaktande av att förhållanden som råder på Näsudden inte nödvändigtvis överensstämmer med förhållanden för andra lokaler. För gotländska strandängsmiljöer och kustnära marker är förhållandena på Näsudden troligen representativa i stor utsträckning. Det gäller troligen också de vindkraftverk som står i anslutning till Näsudden. Resultaten av denna studie bör därför kunna appliceras i sådana områden. För vissa artgrupper kan dock likheterna med Näsudden vara stora även om naturtypen skiljer sig från Näsudden. Det

gäller troligen för rovfåglar på hela Gotland, till exempel för örnar som förekommer över i princip hela ön om än mindre frekvent i de mest centrala regionerna. Man ska dock vara medveten om vilka antaganden man gör när man extrapolerar den här studiens resultat på andra områden.

Ingen förändring som med säkerhet kan sägas bero på generationsskiftet kunde observeras avseende fågelförekomst eller häckfågelfaunan. Möjligen påverkades rovfågeln negativt av generationsskiftet. En nära statistiskt signifikant koppling mellan generationsskiftet och en minskning av antalet arter och individer observerades. Dessutom noterades en utebliven ökning av antalet måsfågelarter.

Syftet med kontrollprogrammet var inte att studera effekterna av vindkraftsutbyggnaden på fågellivet, utan just eventuella effekter av generationsskiftet. Det är därför inte möjligt att uttala sig om påverkan på fågelförekomsten och häckfågeln på Näsudden av vindkraftsutbyggnaden, eftersom inga standardiserade studier före vindkraftsutbyggnaden genomförts.

Baserat på resultaten från denna studie kan man anta att generationsskiftet av vindkraftverk på andra platser troligen inte kommer medföra någon ytterligare påverkan på fågelförekomsten eller häckfågelfaunan än vad de tidigare vindkraftverken i parken utgjorde. Möjligen kan förekomsten av rovfågel påverkas negativt. Därtill studerades bara effekterna på fågellivet i den här studien i två år efter att vindkraftverken bytts ut, vilket är en för kort period för att analysera eventuella långtidseffekter på fågellivet.

För mortalitet kopplat till vindkraft förhåller det sig annorlunda eftersom inga fåglar dog på grund av vindkraft innan vindkraftverken uppfördes. Vindkraftsutbyggnaden på Näsudden har därför inneburit att drygt 1700 fåglar årligen dog innan generationsskiftet, och drygt 1500 efter.

Ur ett gotländskt perspektiv skulle den befintliga vindkraftsutbyggnaden, om förhållandena på Näsudden liknar övriga områden med vindkraft, innebära att det dör uppskattningsvis över 4700 fåglar per år på grund av vindkraft. En sådan

siffra är dock i överkant då fågelförekomsten vid till exempel vindkraftverk som är placerade mer centralt på Gotland inte har ett lika rikt fågelliv som Näsudden. För till exempel örnar innebär det, med föregående antaganden, att vindkraften på Gotland årligen dödar mellan 9,3 och 33,7 individer. Den lägre siffran är baserad på att sannolikheten att hitta örnar som kolliderat på Näsudden antas vara 100 procent vid inventeringarna. Den högre siffran är istället baserad på studier utförda inom kontrollprogrammet över hur stor andel av alla fåglar som faktiskt hittas vid inventeringarna.

Vid framtida planering av vindkraftparker och generationsskiftet kan man utgå ifrån att färre vindkraftverk per ytenhet troligen innebär en mindre påverkan på fågellivet, om man antar att förhållandena är likvärdiga med de på Näsudden. På Näsudden minskade dödligheten med 19 procent när vindkraftverken halverades i antal och de nya större vindkraft-verken fyrdubblade elenergiproduktionen.



INTRODUKTION

Delar av vindkraftsparken på Näsudden, sydvästra Gotland, har generationsskiftats. Mindre vindkraftverk med cirka 40 meters navhöjd har ersatts av större verk med 80 meters navhöjd, och med en rotorbladsdiameter på ungefär 90 meter. Den totala markytan som tas i anspråk av vindkraftsparken är ungefär den samma före och efter generationsskiftet, samtidigt som andelen av lufrummet som tas i anspråk har ökat eftersom rotorbladen är längre. Elenergiproduktionen har fyrdubblats i de områden som generationsskiftats.

Det här kontrollprogrammet utformades och antogs i syfte att studera eventuella effekter på fågellivet av generationsskiftet under våren 2009. Effekter på andra djurgrupper som till exempel fladdermöss och marina däggdjur har inte studerats. Det gäller även eventuella effekter på växter, livsmiljöer och hydrologi. Vid antagandet av kontrollprogrammet hade ett delområde av Näsuddens vindkraftspark redan bytt ut de äldre vindkraftverken mot nya större verk. Inventeringsarbetet startade i maj 2009 och avslutades i november 2013. Under den perioden generationsskiftades vindkraftverken i ytterligare två delområden på Näsudden. Frågeställningarna har fokuserat på om generationsskiftet inneburit något påverkan på häckfåglar, förekomsten av fågel under vår, höst och vinter samt om den vindkraftsorsakade mortaliteten för fåglar förändrats.

Näsudden består av en mosaik av skogsdungar, åkrar, betesmarker, buskmarker och strandängar. Området utgör en viktig fågellokal för många fåglar året om, även om tätheten och artrikedomen är högst under våren och hösten. Vanliga artgrupper som nyttjar området eller passerar under vår och höst är andfåglar, vadarfåglar och tättingar. Området är också en betydelsefull rovfågellokal hela året. På Näsudden och i närområdet häckar till exempel havsörn, kungsörn, lärkfalk, röd glada, duvhök, sparvhök och ormvråk. Området är också en viktig övervintringslokal för änder och svanar. Den sydöstra stranden utgör ett Natura 2000-område och är skyddat både på grund av fågellivet och

de livsmiljöer som finns där. Sydspetsen av Näsudden är ett djurskyddsområde.

Vindkraft och fågel

Att producera elenergi med vindkraft innebär ett markutnyttjande som kan påverka miljön och naturen negativt. Utbyggnaden av vindkraft sker ofta på landsbygden eller till havs på avstånd från bebyggelse och tidigare infrastruktur. Det innebär i regel att ny infrastruktur också måste anläggas eller att befintlig infrastruktur måste förstärkas. Det är också i sådana områden vi ofta finner orörda marker med ett rikt växt- och djurliv. Även jordbrukslandskapet och produktionsskogar som är påverkade eller till och med starkt påverkade av människan är ofta kopplade till en relativt rik biologisk mångfald jämfört med andra mer industrialiserade eller urbaniserade områden. Många arter är beorende av att åtminstone delvis nyttja produktionsområden i skogs- och jordbrukslandskapet. Vid en utbyggnad av vindkraft kommer därför en påverkan på omgivande natur i regel ske. Hur stor en sådan påverkan blir och hur många arter som drabbas beror på områdesspecifika egenskaper, till exempel vilka arter som förekommer i vindkraftsområdet och dess närhet. Det är alltså främst lokaliseringen av vindkraftsparken som avgör omfattningen av en eventuell påverkan.

Mänsklig inverkan på organismer beror främst på att våra aktiviteter påverkar beteendebiologiska och populationsdynamiska processer, samt en påverkan på individers livshistorieegenskaper (egenskaper kopplade till reproduktion och överlevnad). Vid en vindkraftsetablering sker påverkan främst genom att livsmiljöer tas i anspråk, att landskapet fragmenteras och att barriärer mellan områden skapas eller att livsmiljöerna helt enkelt degenereras eller till och med förstörs. Därtill kan påverkan också ske genom att influera immigrations- och emigrationsprocesser för populationer eller genom att förändra dödligheten, livslängden och reproduktionen.

Djupgående studier av vindkraftens påverkan på organismer är svåra och kostsamma att genomföra. Att studera effekter på till exempel



Nya generationsskiftade vindkraftverk framför två äldre och mindre vindkraftverk på Näsudden.

mortalitet, reproduktion, immigration, emmigration, habitatnyttjande och mellanarts-interaktioner för långlivade arter som rovfåglar kräver decennier av forskning. Därför finns det idag främst studier som behandlar enstaka parametrar i ovan angivna biologiska processer (se till exempel Widemo 2007 och Rydell m.fl. 2011 för en sammanfattning av studier i ämnet). Dessa studier har också ökat i antal allt eftersom intresset för att bygga ut vindkraften ökat, vilket gör att vi idag kan uttala oss relativt säkert om hur några arter och artgrupper kan tänkas påverkas av vindkraft i vissa miljöer.

Kollisioner

En av de första effekterna gällande vindkraftens påverkan på fågellivet som fördes fram var att fåglar kolliderar med vindkraftverkens torn eller rotorblad och dör (eller möjligen skadas). Därför finns det också ett stort antal vetenskapliga artiklar och rapporter från olika miljöer där sambandet mellan mortalitet och vindkraft studerats. Det är dock viktigt att påpeka att även annan infrastruktur kopplad till vindkraftsutbyggnad, så som vädermaster, elledningar, byggnader och förändrade trafikförhållanden leder till en indirekt ökad dödlighet orsakad av vindkraftsutbyggnaden. Det vill säga om de inte ändå skulle anlagts.

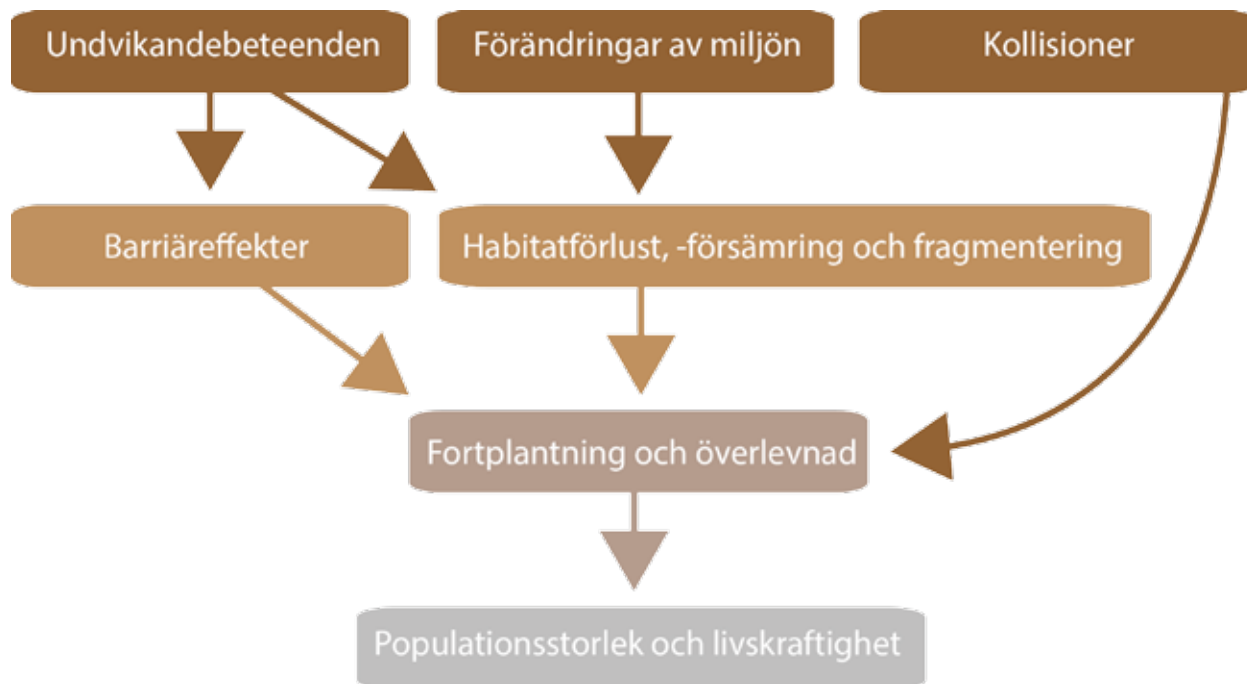
Graden av påverkan genom ökad mortalitet skiljer sig mellan arter och populationer (se till exempel Hastings 1997 för beskrivningar av populationsbiologiska koncept och modeller). För arter med snabb reproduktion, som producerar många ungar och är kortlivade, innebär en ökad dödlighet generellt ingen större inverkan på populationsdynamiska processer. För långlivade arter, som producerar få ungar och har en långsam reproduktion, är istället en ökad mortalitet oftast av mycket större betydelse. Självklart beror magnituden av påverkan på vilken ålderskategori av fåglar som främst dör, vilket gäller för både långlivade och kortlivade arter. Förändringar i den adulta överlevnaden har generellt en större inverkan på populationen än förändringar av ungöverlevnaden, framförallt för långlivade arter. Påverkan blir alltså större om dödligheten utgör en faktiskt ökad dödlighet

av individer som annars skulle ha varit en del av den reproduktiva populationen, än om den är kompensatorisk och främst dödar individer som ändå inte skulle ingått i den reproduktiva populationen, eftersom de skulle dött av någon annan orsak. Den exakta amplituden av påverkan varierar således mellan arter, populationer och troligen också över tid. Röd glada är ett exempel på en art där vuxna fåglar är överrepresenterade av antalet individer som kolliderar med vindkraftverk (Bellebaum m.fl. 2013) vilket utgör en större effekt på populationsutvecklingen än om förhållandena var omvända – att ungfåglar var överrepresenterade.

Enligt beräkningar kolliderar i genomsnitt 6,5 fåglar per vindkraftverk och år i Europa (Rydell m.fl. 2011). För Nordamerika är den siffran lägre, där endast 1,6 fåglar årligen dör per vindkraftverk (Rydell m.fl. 2011). Eftersom variationen mellan vindkraftsparker är stor är dessa värden ingen bestående sanning, utan förändras vartefter nya studier genomförs.

Var i landskapet vindkraften är placerad avgör hur många fåglar som kommer att kollidera med verken. Det är främst kopplat till variationen av förekomsten av fågel i landskapet, även på lokalskala, men också på artspecifika egenskaper (se till exempel Schaub 2012 och referenser däri). Till exempel nyttjas höjdryggar och bergstoppar frekvent av många fågelarter och där är också antalet kollisioner högre än genomsnittet (Rydell m.fl. 2011). Samma gäller för kustområden och våtmarker samt givetvis i områden som nyttjas som rastlokaler och passager under höst och vårflyttning (Rydell m.fl. 2011).

Det finns inga studier hittills som har visat att fåglar kan vänja sig vid vindkraftverk vilket i så fall skulle leda till färre kollisioner över tid. Det har felaktigt förts fram av Rydell m.fl. (2011) men studien de hänvisade till visade inte på något sådant samband. Istället minskar inte kollisionsfrekvensen över tid. Det samma gäller för förekomsten av fåglar som i en metaanalys av resultaten från 19 olika studier istället visade att den fortsätter att sjunka år för år (Stewart m.fl. 2007).



Figur1. Schematisk skiss över hur vindkraft kan påverka fåglar. Vissa arter undviker vindkraftverk och -parker eftersom de skapar barriärer i landskapet. Alternativt leder det till att de livsmiljöer som fåglarna nyttjar inte längre är tillgängliga eller lika attraktiva för dem. Anläggandet av vindkraftsparker förändrar också miljön i sig vilket även det kan leda till att livsmiljöerna försvinner eller blir mindre attraktiva. Dessutom kan landskapet delas upp i mindre delar vilket fragmenterar populationerna. Detta kan påverka vitala processer som fortplantning och överlevnad, men också emigration och immigration i området. Dessa faktorer är de som styr populationsstorleken utveckling och livskraftighet. Att fåglar flyger in i vindkraftverken och dör påverkar också dessa processer.

Påverkan på livsmiljöer

Som nämnts tidigare innebär vindkraftsutbyggnad och även generationsskiftet av vindkraftverk att landytor tas i anspråk för själva vindkraftverken, men också för tillhörande infrastruktur. Utöver den direkta förlusten av habitat som detta medför så förlorar fåglar som undviker vindkraftsparker än mer yta. Fåglar som störs av vindkraft undviker helt enkelt vindkraftsparker och därmed är också det markområdet förlorat. För enstaka arter i vissa miljöer kan förekomsten istället öka inom ett område efter att vindkraft etablerats, även om det omvända är vanligare. I dessa fall rör det sig om att nya miljöer skapats på en lokal, som till exempel vid havsbaserade vindkraftverk då fundamenten kan utgöra sittplatser till havs (se Rydell m.fl. 2011 för en sammanfattning). Möjligen skulle den vindkraftsorsakade mortaliteten också öka som en konsekvens av att nya miljöer skapas.

De finns indikationer på att vissa arter helt slutar att nyttja områden som byggs ut med vindkraft. De flesta studier som påvisat negativa effekter

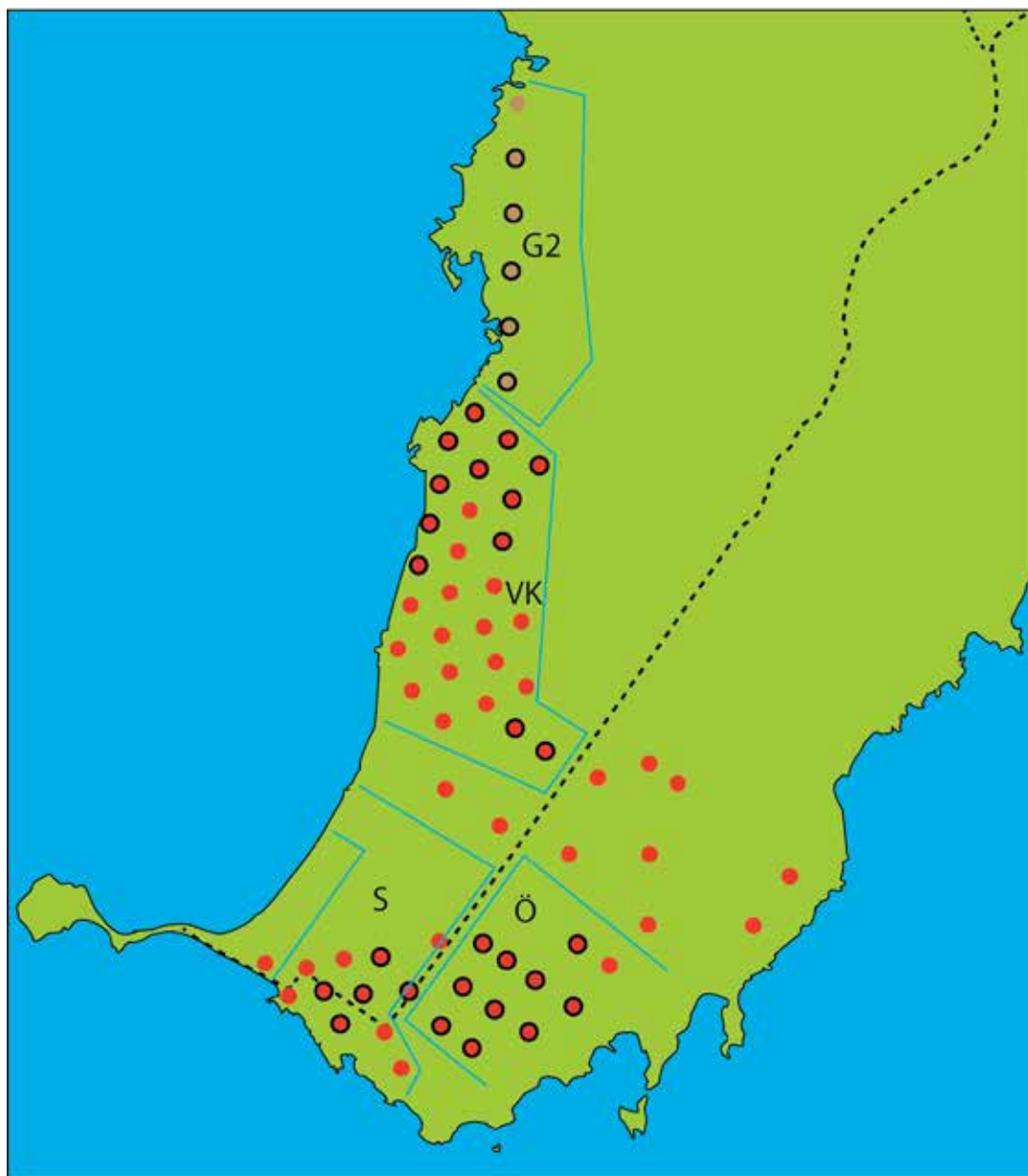
av vindkraft på fåglars livsmiljöer har fokuserat på förekomsten av individer. Området blir helt enkelt mindre attraktivt och fågeltätheten sjunker. Dessutom är tidsaspekten viktig att ha i åtanke eftersom påverkan från vindkraften på fågeltätheten generellt ökar med tiden (se Rydell m.fl. 2011 för en sammanfattning).

Om vindkraft påverkar hur fåglar utnyttjar ett område kan det också leda vidare till effekter på populationsnivå, eftersom en minskning av antalet lämpliga livsmiljöer eller av habitatkvalité kan påverka populationsdynamiska processer. Det samma gäller om vindkraften utgör barriärer i landskapet eftersom det utöver att utgöra en möjlig ökning av energiförbrukning för individer, då flygvägen förlängs, kan minska utbytet av individer mellan delpopulationer. Studier av barriäreffekter kopplat till vindkraft är mycket fåtaliga och behandlar främst undvikandebeteenden. Till exempel så undviker sträckande sjöfåglar havsbaserad vindkraft och flyger runt vindkraftsparkerna i stor utsträckning (Desholm 2006). Vindkraften utgör på så sätt en barriär i landskapet även om de troligen inte

hindrar utbyte av individer mellan populationer. Förlusten av lämpliga livsmiljöer är troligen större, åtminstone om vindkraftverken uppförts i för fåglar viktiga havsområden, till exempel på grundbankar där fågellivet är mycket rikt.

Vindkraftens eventuella påverkan på fåglar genom barriäreffekter och förändringar av livsmiljön ger

upphov till liknande påverkan som kollisioner eftersom det påverkar immigration, emigration, överlevnad och fortplantning. Därmed påverkas även populationens storlek och livskraftighet. Dessa processer verkar inte oberoende av varandra utan kan växelverka med varandra. Se figur 1 för en schematisk skiss som visar på dessa processer.



Figur 2. Karta över studieområdet som det såg ut före generationsskiftet av delområde VK och S (år 2009 – 2011). Delområdena G2, VK, S och Ö är avgränsade mot varandra och omgivningen med blå linjer. Punkterna utgör vindkraftverk där röda är äldre mindre verk och bruna är nya större verk. En svart cirkel runt punkterna markerar att vindkraftverket ingick i inventeringen av vindkraftsdödade fåglar. I område G2 inventerades fem verk, i VK inventerades tolv verk, i S fem verk och i Ö tio verk.

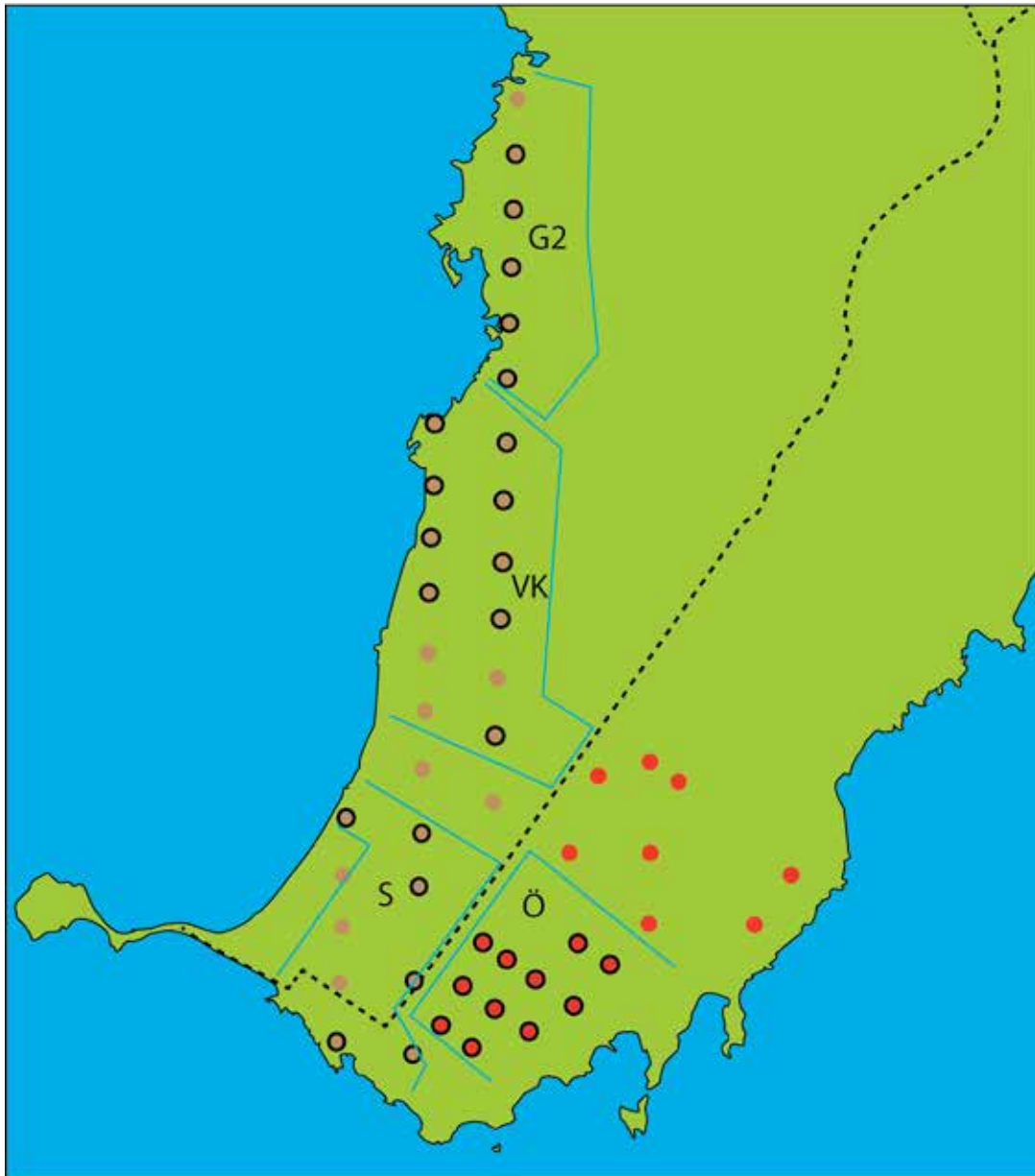
Syfte

Frågeställningarna som ingick i detta kontrollprogram anknyter till centrala populationsdynamiska processer. Genom att studera hur generationsskiftet påverkar förekomsten av fåglar får vi insikt i hur olika artgrupper påverkas av moderniseringen av vindkraftsparken. Det gäller både för de individer som häckar på Näsudden och de som nyttjar området som födosöks-, rast- eller övervintringslokal. På samma sätt kan skillnader mellan dödligheten orsakad av vindkraft före

och efter generationsskiftet ge en indikation på om förändringarna är negativa eller positiva för fågellivet.

Kontrollprogrammet har därför bestått av två övergripande frågeställningar:

1. Hur påverkas fågelförekomsten av generationsskiftet av vindkraftverken på Näsudden?
2. Hur påverkas vindkraftsorsakad mortalitet för fåglar av generationsskiftet av vindkraftverken på Näsudden?



Figur 3. Karta över studieområdet efter att generationsskiftet av delområde VK och S ägt rum (år 2011 – 2013). Alla delområden är avgränsade med blå linjer. Punkterna utgör vindkraftverk där röda är äldre mindre verk och bruna är nya större verk. En svart cirkel runt punkterna markerar att vindkraftverket ingick i inventeringen av vindkraftsdödade fåglar. Hela området runt alla vindkraftverk kunde inte inventeras efter generationsskiftet och hänsyn till det har därför tagits i analyserna genom att beräkna andelen som inventerades för varje verk. I S inventerades sex verk motsvarande inventeringsytan av fyra verk och i VK nio verk motsvarande inventeringsytan av sju verk.

METODIK

Studieområdet utgjordes av fyra delområden (figur 2 och 3). Två av dessa fungerade som kontrollområden där inga förändringar skedde under studieperioden. I det ena av dessa hade vindkraftverken generationsskiftats innan studien startade (G2), medan det andra består av äldre mindre vindkraftverk som står placerade tätare i landskapet (Ö). I de två andra delområdena (VK och S) skedde generationsskiftet av vindkraftverken halvvägs in i studieperioden, då de mindre äldre vindkraftverken byttes ut mot färre men större verk.

Studiens utformades för att kunna jämföra fågelförekomsten och mortalitet orsakad av vindkraft före och efter generationsskiftet. Alltså följer studiens upplägg en så kallad BACI-design (*Before and After Control Impact*). Ett av kontrollområdena var redan generationsskiftat innan studien startade varför förändringar i det området eventuellt kan bero på att de äldre vindkraftverken ersatts av nya större verk.

Inventeringar av fågelförekomst och vindkraftsdödade fåglar påbörjades i maj 2009 och avslutades i början på november 2013, alltså under 4,5 år. Generationsskiftet ägde rum halvvägs genom studieperioden. Alla analyser utgår ifrån en jämförelse av före och efter om inget annat specificeras.

Fågelförekomst

Fågelförekomst inventerades i alla delområden under cirka 25 dagar per år fördelade på tre perioder – vinter, vår och höst. Vinterinventeringarna genomfördes under januari, februari, mars och första halvan av april. Vårinventeringarna genomfördes under slutet av april, maj och början av juni. Höstinventeringarna genomfördes under september, oktober och november (för enstaka år genomfördes även inventeringar i början av december).

Under hela studieperioden genomfördes inventeringar av fågelförekomst under totalt 113 dagar. Alla inventeringar utfördes av samma inventerare och följde standardiserade rutter. Antal arter och individer noterades på kartor

som sedan summerades för varje delområde. Summeringarna presenteras i bilaga 1. Analyser av fågelförekomst utgår från delområdessummor av arter och individer.

Häckfågelinventeringar genomfördes under våren vid cirka åtta tillfällen varje år, totalt 38 tillfällen under hela studieperioden. Fåglar bedömdes häcka om det uppvisade beteenden som indikerar häckning (bobygge, matning av ungar och observationer av adulta fåglar med ungar – det senare gäller inte för arter som rör sig över stora områden med nykläckta ungar som exempelvis flera andfåglar), eller om de hävdade revir vid minst två på varandra följande inventeringstillfällen på exakt samma plats. Häckfågelinventeringarna följde, liksom de övriga inventeringarna, standardiserade rutter för att möjliggöra jämförelser mellan år. För att säkerställa att inga felbedömningar gjordes när inventeringsdata sammanställdes genomfördes alla summeringar två gånger. Delområdesspecifika summeringar presenteras i bilaga 1.

Vindkraftsorsakad mortalitet

Vindkraftsdöda fåglar inventerades enligt standardiserade rutter vid utvalda vindkraftverk (figur 2 och 3). Urvalet baserades på att de var lämpliga att inventera (att vegetationen inte var för tät för inventerarna att ta sig igenom, samt att vindkraftverken inte var placerade på en åker som brukas där det bedömdes som att en inventering kunde förstöra växande gröda). Rutterna var placerade som två cirklar runt vindkraftverkets bas. Det innebar att ett område på ungefär 100 meter från vindkraftverken inventerades. Sannolikheten att inventerarna observerade döda fåglar är dock högst närmast inventeringsrutten. Efter generationsskiftet var vissa vindkraftverk i delområdena S och VK placerade så att inventeringsrutten påverkades genom att delar inte kunde inventeras. Andelen som kunde inventeras av inventeringsytan noterades för att hänsyn skulle kunna tas till det i analyserna. Det rör sig om att hela området inte kunde inventeras runt fyra av sex verk i delområde S och fyra av nio verk i delområde VK. Inventeringarna utfördes en gång i veckan under hela studieperioden, men fick ställas in vid några tillfällen på grund av för

stora snömängder under vintern. I genomsnitt inventerades 48 av 52 veckor varje år och totalt genomfördes 214 inventeringar.

Alla döda fåglar som observerades artbestämdes, synliga skador noterades och geografiska koordinater registrerades. Döda fåglar som tillhörde statens vilt rapporterades på vederbörligt sätt till relevanta myndigheter. Alla fynd har sammanställts i tabeller som presenteras i bilaga 1. Korrelationsanalyser mellan kollisionfrekvensen och väderdata från vädermasten på Näsudden utfördes också.

För att kunna beräkna hur många fåglar som faktiskt kolliderar med vindkraftverken måste hänsyn tas till hur stor andel av det faktiska antalet döda fåglar som inventerarna har en

möjlighet att hitta, samt hur stor andel de faktiskt hittar. Asätare som rävar eller rov- kråk- och måsfåglar kan snabbt föra bort döda fåglar. Därtill är sannolikheten stor att inventerarna inte hittar alla döda fåglar inom inventeringsområdet. Därför genomfördes riktade experiment där döda fåglar slumpmässigt placerades ut inom inventeringsområdet utan inventerarnas vetskap. Genom att följa dessa fåglar dagligen under en veckas tid, lika lång tid som det är mellan inventeringstillfällena, och notera hur fort asätare tar bort dem och hur många som inventerarna observerar gick det att uppskatta den faktiska dödligheten. Detta experiment genomfördes vid fyra tillfällen under totalt 28 dagar under studieperioden med 10 utplacerade fåglar vid varje tillfälle.



Inventering av fåglar som dött på grund av vindkraft (överst). Kungsörn som kolliderat med vindkraftverken på Näsudden (mitterst) och senare avlivades av veterinär på grund av skadorna. Nederst en flock med röda glador på Näsudden under en inventeringsrunda av fågelförekomst.

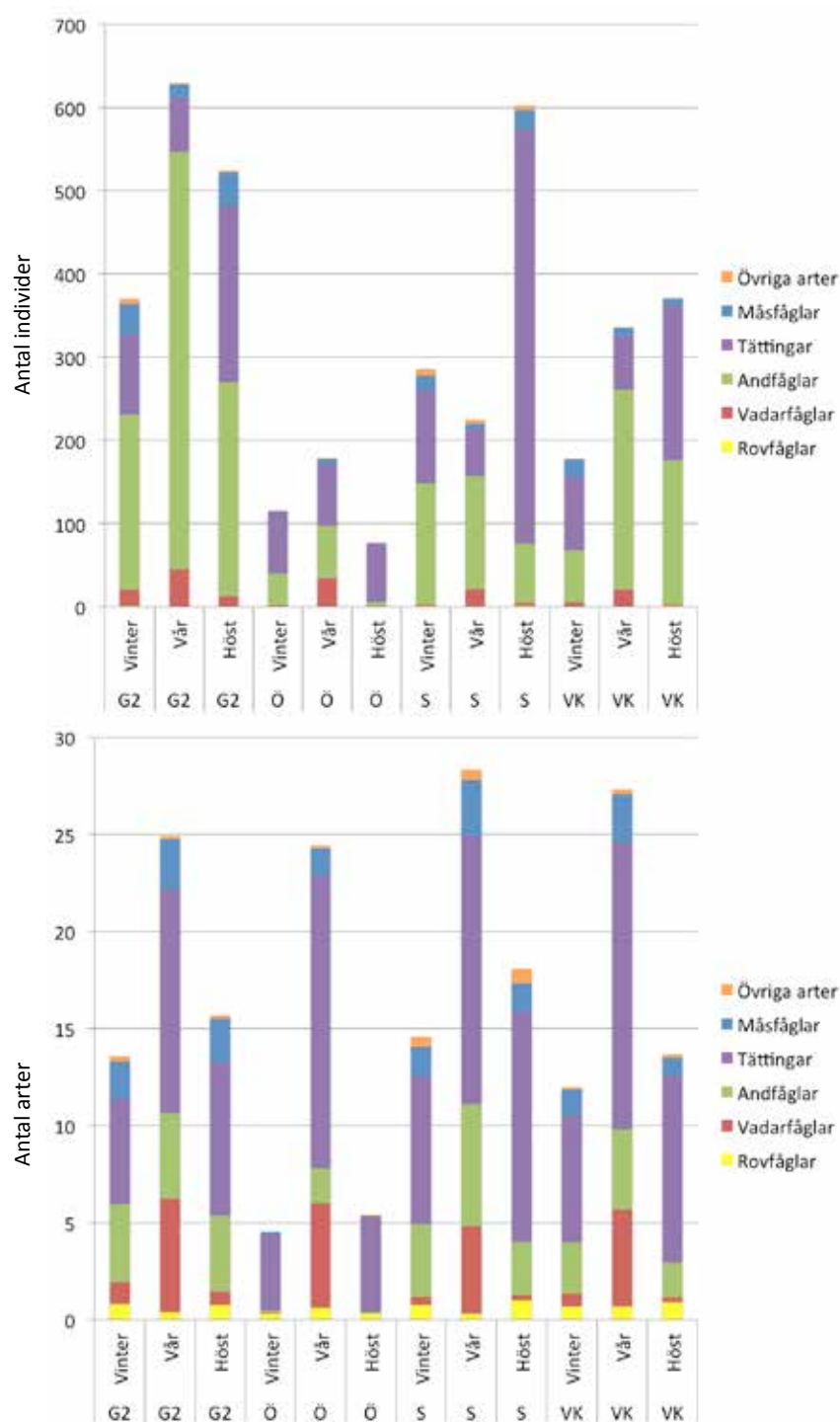


RESULTAT OCH DISKUSSION

Inventeringarna på Näsudden ger en övergripande bild av fågelförekomsten och fågeldödligheten på Näsudden. Som vid alla inventeringar är resultaten endast en sammanställning av specifika tillfällen och inventerarens observationer. Det utgör alltså inte en beskrivning av den totala förekomsten av fågel på hela Näsudden utan enbart förekomsten vid inventeringstillfällena, längs de standardiserade rutterna i varje delområde.

För fågeldödligheten har dock beräkningar utförts för att kunna uppskatta dödligheten för hela Näsuddens vindkraftspark före och efter generationsskiftet.

Fågellivet på Näsudden skiljer sig inte från liknande marker på Gotland vad gäller artförekomst och årstidsvariation. Fågelförekomsten var högst under våren och hösten och fördelningen av artgrupper varierade mellan årstiderna. De talrikaste arterna var stare och vitkindad gås,



Figur 4. Det genomsnittliga (medelvärde) antalet fågelindivider under studieperioden uppdelade på artgrupperna: måsfågel (blåa staplar), tättningar (lila staplar), andfåglar (gröna staplar), vadarfåglar (röda staplar), rovfåglar (gula staplar) och övriga arter (orange staplar), för varje delområde och årstid. De talrikaste arterna var stare och vitkindad gås.

Figur 5. Det genomsnittliga (medelvärde) antalet fågelarter under studieperioden uppdelade på artgrupperna: måsfågel (blåa staplar), tättningar (lila staplar), andfåglar (gröna staplar), vadarfåglar (röda staplar), rovfåglar (gula staplar) och övriga arter (orange staplar), för varje delområde och årstid. Tättningar var den mest artrika fågelgruppen. Vadarfåglar observerades främst under våren.

dock förekommer ingen av dem på vintern. Vadarfåglar var främst talrika på våren. I Figur 4 och 5 presenteras medelvärdena för varje delområde och årstid över studieperioden. Delområde Ö skiljde ut sig från övriga områden med en lägre artrikedom och artförekomst. Detta beror på att fågellivet är som störst på stranden invid delområde Ö som inte ingick i inventeringarna för kontrollprogrammet. Det bekräftas också av inventeringar av hela den östra delen av Näsudden där de kustnära områdena har ett mycket rikt fågelliv jämfört med buskmarkerna innanför (Hjernquist 2011a, 2011b, 2012a, 2012b och 2013).

Typiska arter som förekommer på Näsudden är:

- Andfåglar: gravand, gräsand, kricka, bläsand, knipa, vitkindad gås och grågås.
- Vadarfåglar: strandskata, tofsvipa, ljungpipare och rödbena.
- Måsfåglar: skrattnås, fiskmås och silvertärna
- Rovfåglar: havsörn, kungsörn, ormråk och sparvhök
- Tättningar: skogsduva, ringduva, stare, lövsångare, sånglärka, pilfink, hämpling, bofink, bergfink och gulspurv.

Typiska häckfågelarter som förekommer på Näsudden är:

- Andfåglar: gravand, gräsand och grågås.
- Vadarfåglar: storspov, strandskata, tofsvipa och rödbena.
- Måsfåglar: fiskmås och silvertärna
- Rovfåglar: ormråk
- Tättningar: lövsångare, stenskvätta, sädesärla, ängspiårlärka, sånglärka, hämpling, bofink och gulspurv.

Utförliga tabeller av häckfågelförekomst och fågelförekomst på artnivå presenteras i bilaga 1.

Påverkan på fågelförekomst

Analys av fågelförekomst genomfördes med Generalized Linear Mixed Models (där området utgör en *random effect* och alla modeller antar lämplig *error distribution*) (Quinn och Keough 2002). Modellerna inkluderade även år och månad för att kontrollera för variation mellan årstider och över år. Interaktionen mellan faktorerna perioden före eller efter

generationsskiftet och om vindkraftverken bytts ut (delområde VK och S) eller inte (delområde G2 och Ö) ger en indikation på om någon påverkan av generationsskiftet ägt rum och var därför huvudfokus för analyserna. Alla analyser genomfördes i statistikprogrammet JMP 11.0 SAS Institute Inc.

Fågelförekomsten analyserades med följande responsvariabler: totalt antal förekommande arter, totalt antal förekommande individer samt för alla artgrupper var för sig. Inga analyser av fåglar tillhörande andra artgrupper än måsfåglar, tättningar, andfåglar, vadarfåglar och rovfåglar (alltså kategori övriga arter) utfördes eftersom antalet arter och individer var lågt. Alla observerade fåglar oavsett artgruppstillhörighet ingick dock i analyserna av den totala fågelförekomsten på art- och individnivå. Dessutom genomfördes analyser där de två vanligast förekommande arterna, stare och vitkindad gås, exkluderades. Detta för att kontrollera att inte analysen av individförekomst påverkas av dessa arters stora antal individer, vilket eventuellt skulle kunna maskera andra effekter. För häckfåglar genomfördes enbart analyser av det totala antalet häckande arter och par.

Totalt antal förekommande individer:

Områdesskillnader förklarade 8 % av variationen. Det var enbart signifikant skillnad mellan månader (År: $F_{4, 381} = 1,08$, $P = 0,364$; Månad: $F_{9, 381} = 7,89$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 0,24$, $P = 0,627$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,00$, $P = 0,960$). Eftersom interaktionen mellan perioden före eller efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum inte var signifikant (Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,61$, $P = 0,433$) indikerar det att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet individer heller kunde noteras. Likvärdigt resultat fås även när stare och vitkindad gås exkluderas från analysen (alla $P > 0,1$ förutom månad: $P < 0,001$). Även när stare och vitkindad gås analyserades för sig blev resultaten liknande, då enbart tidpunkt på året signifikant kunde förklara någon variation i deras förekomst (alla $P > 0,1$ förutom månad: $P < 0,001$).

Totalt antal förekommande arter:

Områdesskillnader förklarade 30 % av variationen. Det var signifikanta skillnader mellan år och mellan månader (År: $F_{4, 381} = 11,26$, $P < 0,001$; Månad: $F_{9, 381} = 69,04$, $P < 0,001$) och perioden före och efter generationsskiftet (Före/Efter: $F_{1, 381} = 12,32$, $P < 0,001$) men ingen signifikant effekt mellan områden som skulle generationsskiftas eller inte (Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 1,46$, $P = 0,349$). Interaktionen mellan perioden före och efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum var inte signifikant (Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,22$, $P = 0,639$) vilket indikerar att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet arter kunde noteras.

Totalt antal förekommande måsfågelindivider:

Områdesskillnader förklarade 19 % av variationen. Det var enbart signifikant skillnad mellan månader (År: $F_{4, 381} = 2,15$, $P = 0,074$; Månad: $F_{9, 381} = 12,90$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 0,47$, $P = 0,492$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,05$, $P = 0,843$). Eftersom interaktionen mellan perioden före och efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum, inte var signifikant (Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,00$, $P = 0,973$), indikerar det att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet individer av måsfåglar kunde noteras.

Totalt antal förekommande måsfågelarter:

Områdesskillnader förklarade 44 % av variationen. Det fanns signifikanta skillnader mellan år och månader (År: $F_{4, 381} = 2,67$, $P = 0,031$; Månad: $F_{9, 381} = 10,76$, $P < 0,001$) i antalet måsfågelarter. Därtill noterades en signifikant interaktion mellan perioden före och efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum (Före/Efter: $F_{1, 381} = 1,12$, $P = 0,289$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,28$, $P = 0,649$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 5,26$, $P = 0,022$). Denna skillnad orsakades av att antalet måsfågelarter ökade i kontrollområdena men inte i de områden som generationsskiftades och skulle kunna betyda att en påverkan av generationsskiftet har ägt rum. Man bör vara försiktig med att dra allt för långtgående slutsatser

eftersom analyserna visar på en utebliven ökning, inte en minskning av antalet arter. Därtill noterades ingen effekt på antalet individer vilket också ska beaktas när man tolkar resultaten för antal måsfågelarter, eftersom en sådan rimligen hade varit förväntad vid en påverkan av generationsskiftet på måsfåglar. Enbart av slumpen förväntar vi oss också att hitta vissa skillnader på grund av det som inom statistiken kallas typ I fel (statistiskt signifikanta skillnader för skillnader som inte finns i verkligheten), för vilket sannolikheten ökar med antalet analyser. Det kan dock vara värt att följa upp om den uteblivna ökningen är en genuin effekt av generationsskiftet och då fortsatt kan noteras för åren framgent.

Totalt antal förekommande tättingindivider:

Områdesskillnader förklarade en mycket liten del av variationen. Endast vilken månad på året det var kunde signifikant förklara någon variation (År: $F_{4, 381} = 0,89$, $P = 0,468$; Månad: $F_{9, 381} = 22,93$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 0,65$, $P = 0,421$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 1,68$, $P = 0,321$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,93$, $P = 0,334$) vilket återigen indikerar att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet individer av tättingar kunde noteras.

Totalt antal förekommande tättingarter:

Områdesskillnader förklarade nästan inget av variationen. Det fanns signifikanta skillnader mellan år, månader, före och efter generationsskiftet samt mellan kontrollområden och områden som generationsskiftades (År: $F_{4, 381} = 7,13$, $P < 0,001$; Månad: $F_{9, 381} = 53,47$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 7,31$, $P = 0,01$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 44,54$, $P = 0,02$). Interaktionen mellan perioden före och efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum var dock inte signifikant (Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,15$, $P = 0,697$), vilket indikerar att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet arter kunde noteras. Skillnaderna mellan före och efter generationsskiftet samt mellan kontrollområden och områden som generationsskiftades beror på att antalet arter ökade efter generationsskiftet i alla områden och att de områden som skulle

generationsskiftas hyste fler arter.

Totalt antal förekommande andfågelindivider:

Områdesskillnader förklarade 6 % av variationen. Endast vilken månad på året det var kunde signifikant förklara övrig variation (År: $F_{4, 381} = 1,46$, $P = 0,212$; Månad: $F_{9, 381} = 2,84$, $P = 0,003$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 0,08$, $P = 0,767$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,01$, $P = 0,880$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,25$, $P = 0,618$) vilket indikerar att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet individer av andfåglar kunde noteras.

Totalt antal förekommande andfågelarter:

Områdesskillnader förklarade 53 % av variationen. Det fanns signifikanta skillnader mellan år, månader och tiden före och efter generationsskiftet (År: $F_{4, 381} = 8,13$, $P < 0,001$; Månad: $F_{9, 381} = 12,71$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 12,18$, $P = 0,001$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 0,43$, $P = 0,580$) men ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet andfågelarter kunde noteras (Före/Efter x Kontroll/Gen.

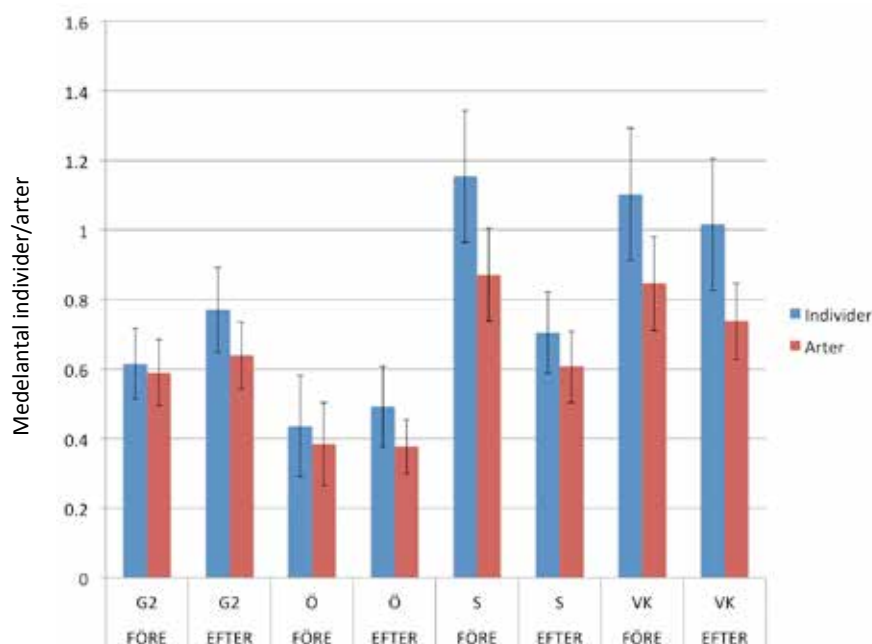
skift.: $F_{1, 381} = 0,83$, $P = 0,362$). Skillnaderna mellan före och efter generationsskiftet beror på att antalet andfågelarter ökade efter generationsskiftet i alla områden.

Totalt antal förekommande vadarfågelindivider:

Områdesskillnader förklarade en mycket liten del av variationen. I övrigt kunde endast vilken månad på året det var signifikant förklara någon variation (År: $F_{4, 381} = 1,24$, $P = 0,292$; Månad: $F_{9, 381} = 4,18$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1, 381} = 0,13$, $P = 0,710$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 3,10$, $P = 0,0216$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1, 381} = 1,35$, $P = 0,246$) vilket indikerar att ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet vadarfågelindivider kunde noteras.

Totalt antal förekommande vadarfågelarter:

Områdesskillnaderna förklarade ungefär 9 % av variationen. Därtill fanns det en signifikant effekt av år och månad samt perioden före och efter generationsskiftet (År: $F_{4, 381} = 8,38$, $P < 0,001$; Månad: $F_{9, 381} = 134,94$, $P < 0,001$; Före/Efter:



Figur 6. Det genomsnittliga (medelvärde) antalet rovfågelindivider (blå staplar) och rovfågelarter (röda staplar) $\pm$ SE före och efter generationsskiftet för delområde G2, Ö, S och VK. Antalet individer ökade eller var oförändrade i både delområde G2 och Ö (kontrollområden) medan det minskade i delområde S och VK (generationsskiftade). Samma mönster finns för antalet arter. Interaktionen mellan perioden före och efter generationsskiftet och om området var ett kontrollområde eller där generationsskifte ägde rum var inte signifikant för varken individer ($P=0,08$) eller arter ($P=0,017$).

$F_{1,381} = 4,24$, $P = 0,040$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 0,68$, $P = 0,494$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 1,43$, $P = 0,231$). Antalet vadarfågelarter ökade något under perioden efter generationsskiftet men ingen påverkan av generationsskiftet på det totala antalet vadarfågelarter kunde noteras.

Totalt antal förekommande rovfågelindivider:

Områdesskillnader förklarade en mycket liten del av variationen. Endast månad kunde signifikant förklara någon variation men det fanns en nästintill signifikant tendens till en minskning av antalet rovfågelindivider i delområdena där vindkraftverken byttes ut efter generationsskiftet som inte noterades i kontrollområdena (År: $F_{4,381} = 0,49$, $P = 0,737$; Månad: $F_{9,381} = 2,19$, $P = 0,022$; Före/Efter: $F_{1,381} = 0,07$, $P = 0,789$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 7,80$, $P = 0,102$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 3,03$, $P = 0,082$). Eftersom minskningen i antalet individer av rovfåglar också är kopplat till en minskning i antalet arter (se nedan) indikerar det att generationsskiftet skulle kunna ha påverkat rovfågelförekomsten, om än inte statistiskt signifikant. Den starkaste förändringen skedde i delområde S (figur 6).

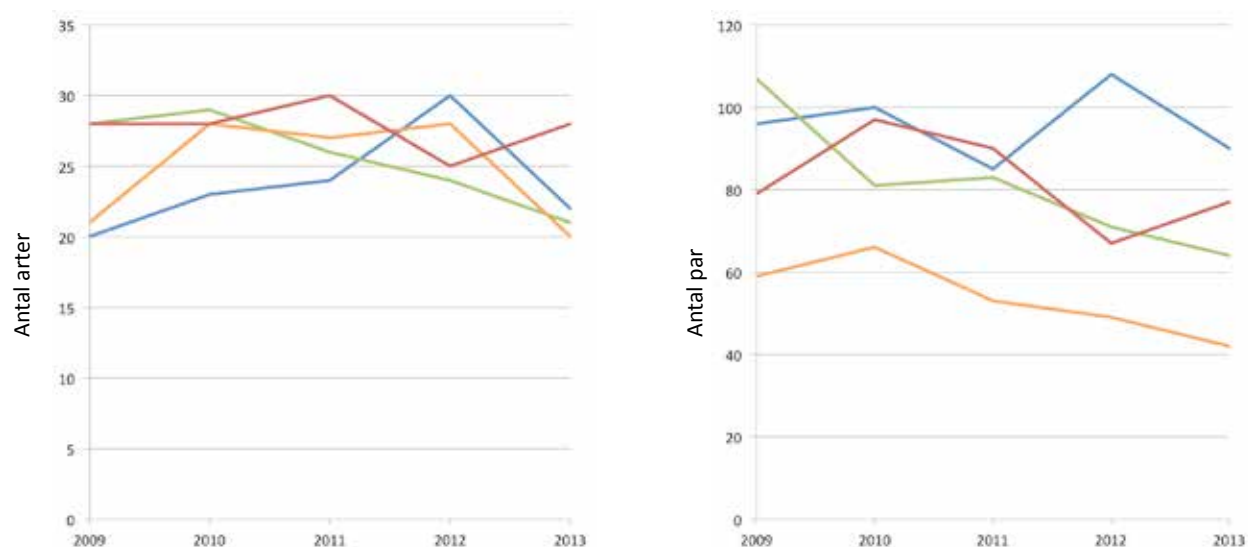
Totalt antal förekommande rovfågelarter:

Områdesskillnader förklarade en mycket liten del

av variationen. Endast månad var signifikant men det fanns en tendens till en minskning av antalet rovfågelarter kopplat till generationsskiftet (År: $F_{4,381} = 0,62$, $P = 0,642$; Månad: $F_{9,381} = 3,72$, $P < 0,001$; Före/Efter: $F_{1,381} = 0,35$, $P = 0,553$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 4,51$, $P = 0,163$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 1,89$, $P = 0,169$). Eftersom minskningen av rovfågelarter i de delområden där vindkraftverken byttes ut efter generationsskiftet inte noterades i kontrollområdena är det möjligt att den icke statistiskt signifikanta tendensen som analysen indikerar faktiskt representerar en negativ påverkan av generationsskiftet. Tillsammans med minskningen av rovfågelindivider stärker det bilden att rovfåglar påverkades negativt. Den starkaste förändringen sker också i delområde S (figur 6). Återigen är det viktigt att beakta typ I fel (se diskussion för antalet måsfågelarter på sidan 18). Framtida inventeringar kan ge klarhet i om den eventuella påverkan fortsatt kan observeras.

Sammanfattande resultat av fågelförekomst under vinter, vår och höst:

Mellanårs- och årstidsvariation förklarar det mesta av variationen i artförekomst, medan årstiden är den viktigaste faktorn för antalet individer. Inga kopplingar till generationsskiftet kunde noteras. Inte heller fanns det några signifikanta effekter på artgrupperna utöver



Figur 7. Antalet häckande arter (till vänster) och häckande par (till höger) inom delområde G2 (blå linje), VK (röd linje), S (gul linje och Ö (grön linje) på Näsudden under åren 2009 – 2013. Variationen över tid kan inte förklaras med att vindkraftverken i delområde VK och S har generationsskiftats under 2011, varken för arter eller individer.

en utebliven ökning av antalet måsfågelarter i de områden som generationsskiftats. Eftersom antalet individer inte påverkades är det dock möjligt att den uteblivna ökningen inte behöver vara kopplad till generationsskiftet. För rovfåglar fanns det en tendens till att generationsskiftet var kopplat till både en minskning av antalet individer och arter. Förhållandena är inte statistiskt signifikanta men pekar båda åt samma håll varför det är möjligt att rovfåglar faktiskt påverkades negativt av generationsskiftet.

Totalt antal häckande arter och individer:

Det fanns en skillnad mellan kontrollområdena och de områden som generationsskiftades gällande antal häckande par (År: $F_{1,13} = 0,27$, $P = 0,612$, Före/Efter: $F_{1,13} = 0,11$, $P = 0,748$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,13} = 8,38$, $P = 0,013$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,13} = 0,27$, $P = 0,612$) men inte för antalet arter (År: $F_{1,13} = 0,32$, $P = 0,583$, Före/Efter: $F_{1,13} = 0,13$, $P = 0,725$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,13} = 0,35$, $P = 0,563$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,13} = 0,01$, $P = 0,926$). Inga signifikanta skillnader mellan tiden före och efter noterades, varken för arter eller individer. Interaktionen mellan perioden före och efter generationsskiftet och om

området generationsskiftades eller inte var inte heller signifikant för antalet arter eller individer (se ovan). Det finns därför inga indikationer på att generationsskiftet inneburit någon förändring i antalet arter eller individer som häckar inom de olika delområdena på Näsudden. Antalet arter har varit mer eller mindre konstant i alla delområden, förutom i delområde Ö där antalet arter har minskat något över tid (figur 7). I delområde Ö skedde inget generationsskifte och alla vindkraftverken är av äldre mindre typ. Antalet häckande par har varierat över tid utan att varken minska eller öka i delområdena G2, där inga förändringar skett under studieperioden men där vindkraftverken generationsskiftats innan studien startade. I delområde Ö har antalet par minskat kraftigast och där skedde inget generationsskifte. En svagare nedgång har också noterats i delområde S och möjligen också i VK, som generationsskiftat vindkraftverken under studieperioden.

Värt att också notera är att antalet häckande par totalt sett har minskat i studieområdena på Näsudden med cirka 20 procent under hela studieperioden ($F_{1,13} = 8,33$, $P = 0,013$), medan antalet häckande arter har varit mer eller mindre

Näsudden med utsikt över delområde VK och G2 samt delar av delområde S.



konstant ($F_{1,13} = 0,35$, $P = 0,565$). Eftersom det inte finns någon koppling till minskningen av häckande par och generationsskiftet är det troligast att orsaken går att finna i någon annan faktor, om inte generationsskiftet i delområde VK och S har haft en påverkan även på kontrollområdena (alltså att påverkan sträcker sig långt utanför delområdena). Då borde dock effekten varit tydlig i alla delområden. Att framförallt delområde Ö har påverkats samtidigt som antal häckande par inte har minskat i G2 tyder på att så inte är fallet. Att fågelförekomsten förväntas sjunka kontinuerligt med tid när vindkraft uppförs i ett område (Stewart m.fl. 2007) kan möjligen förklara den statistiskt signifikanta minskningen av antal häckande par på Näsudden.

Vindkraftsorsakad mortalitet

Antalet fåglar som dött på grund av vindkraft:

Det hittades i genomsnitt 1,3 vindkraftsdödade fåglar per inventeringstillfälle och totalt gjordes 281 observationer (se tabell 1 för detaljer och box 1 på sidan 27 för exempel på arter). Fynden utgörs av hela eller delar av fågelkroppar. Förekomster av enstaka fjädrar noterades inte som fynd även om det skulle kunna ha utgjort individer som förolyckats av vindkraftverken. Fördelningen har tidigare redovisats i detalj i kontrollprogrammets årsrapporter. I analyserna gör jag antagandet att vindkraft varit dödsorsaken för alla observerade fynd. Därför kan fåglar som dött av naturliga dödsorsaker också vara inkluderade. För de fynd som gjordes av tillräckligt stora delar av kroppar noterades att samtliga hade krosskador på skelettdelar vilket antyder att antagandet att vindkraft varit dödsorsaken för alla observerade fynd borde vara tillämpligt. Fördelningen av fynd över året visade en tydlig topp på våren och en dipp under vintermånaderna (figur 8).

Vindkraftsorsakad mortalitet kopplat till verkens placering i vindkraftsparken:

Antalet döda fåglar varje vindkraftverk orsakade summerades för perioden före och efter generationsskiftet av delområdena VK och S (figur 10). Detta gjordes eftersom vindkraftverksamheten i studieområdet ändrades vid generationsskiftet. En skillnad mellan

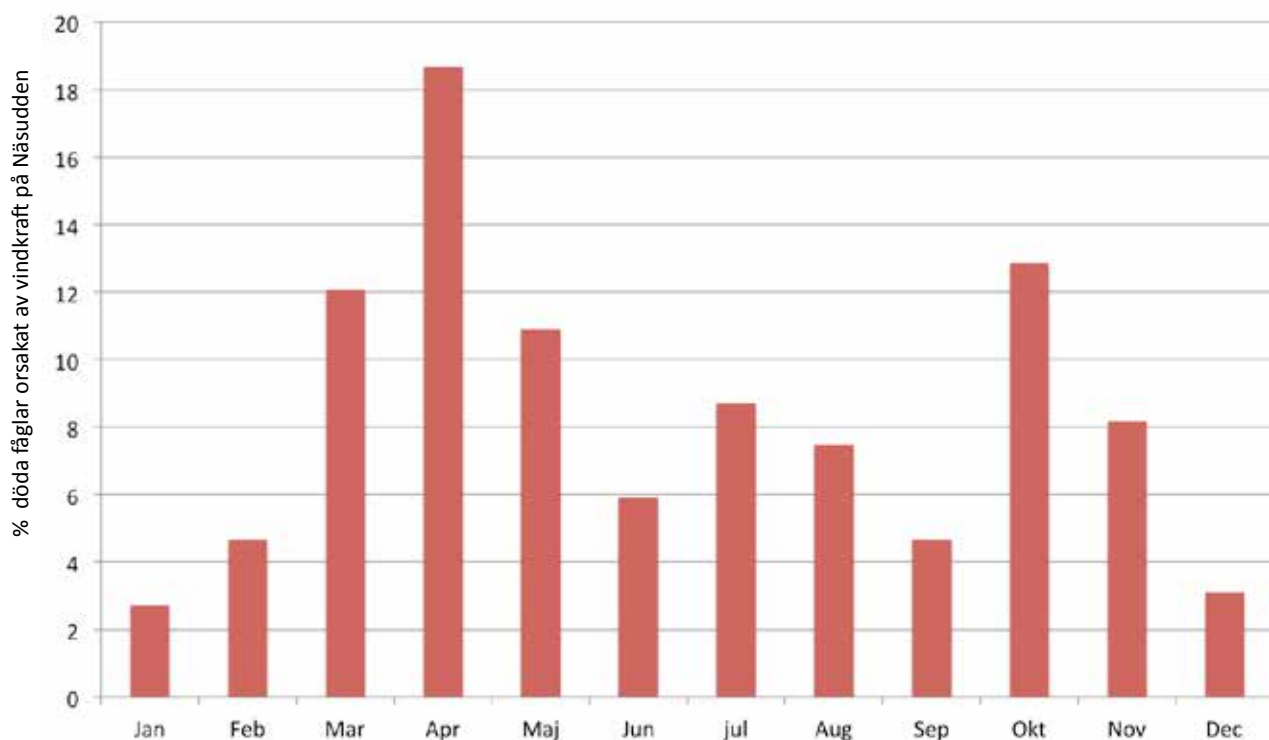
verkens placering i förhållande till strandlinjen och antalet fynd kunde noteras både före och efter generationsskiftet. De vindkraftverk som står närmast kusten dödade 3,6 gånger fler ($t = -4,7$, $P < 0,001$, $N = 32$) och 3,0 gånger fler ($t = -2,8$, $P = 0,015$, $N = 30$) fåglar jämfört med de vindkraftverk som står placerade längre in på land, före respektive efter generationsskiftet (figur 10).

Vindkraftsorsakad mortalitet fördelat på artgrupper:

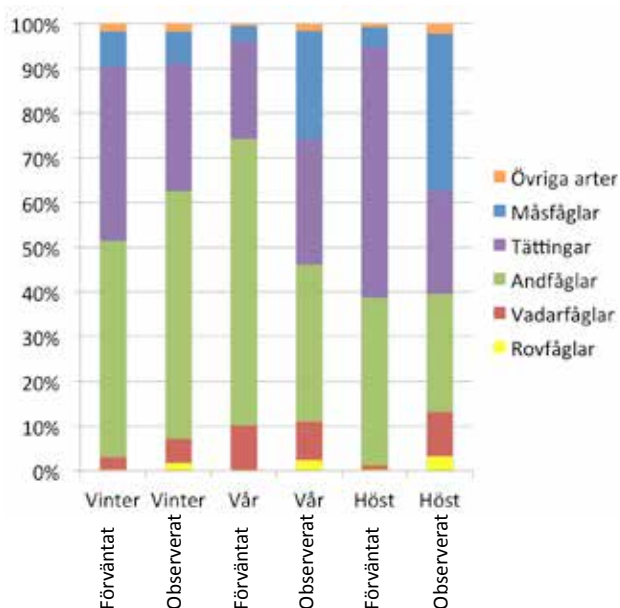
Om den vindkraftsorsakade dödligheten är slumpmässig i förhållande till artgrupper förväntas fördelningen av vindkraftsdödade fåglar spegla fågelförekomsten i området. Den förväntade och den observerade dödligheten fördelat på artgrupper presenteras i figur 9. Rovfåglar utgör exempelvis 0,3 procent av fåglarna på Näsudden under hela året och därför är det förväntat att de utgör 0,3 procent av de fåglar som observerats kollidera med vindkraftverken. Utslaget på hela året utgjorde rovfåglar istället cirka 2,5 procent av vindkraftsdödade fåglar som observerats. Den största skillnaden kunde även noteras för rovfåglar som under hela året var överrepresenterade gällande vindkraftsdödligheten (figur 11). Under vintern dog 5,4 gånger fler rovfåglar jämfört med förväntat baserat på deras förekomst i förhållande till andra artgrupper (figur 11). Under våren respektive hösten var överrepresentationen än mer markant med 11,5 och 11,9 gånger fler rovfåglar jämfört med förväntat (figur 11). Skillnaderna var signifikanta under höst och vår (Chi-square test: alla $P < 0,001$) men inte under vintern (Chi-square test: $P = 0,206$). Utöver rovfåglar var vadarfåglar överrepresenterade under hösten samt måsfåglar under vår och höst (figur 11).

Väder och vindkraftsorsakad mortalitet:

Inga effekter av väderlek på kollisionfrekvensen kunde noteras. En sådan effekt är dock förväntad då andra studier har påvisat en koppling mellan dåliga siktförhållanden, så som dimma och antalet vindkraftsdödade individer. Analyserna i den här rapporten utgår ifrån veckovisa summeringar (alla $P > 0,1$ och $r < 0,09$) och maxvärden (alla $P > 0,1$ och $r < 0,11$) av temperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet och lufttryck



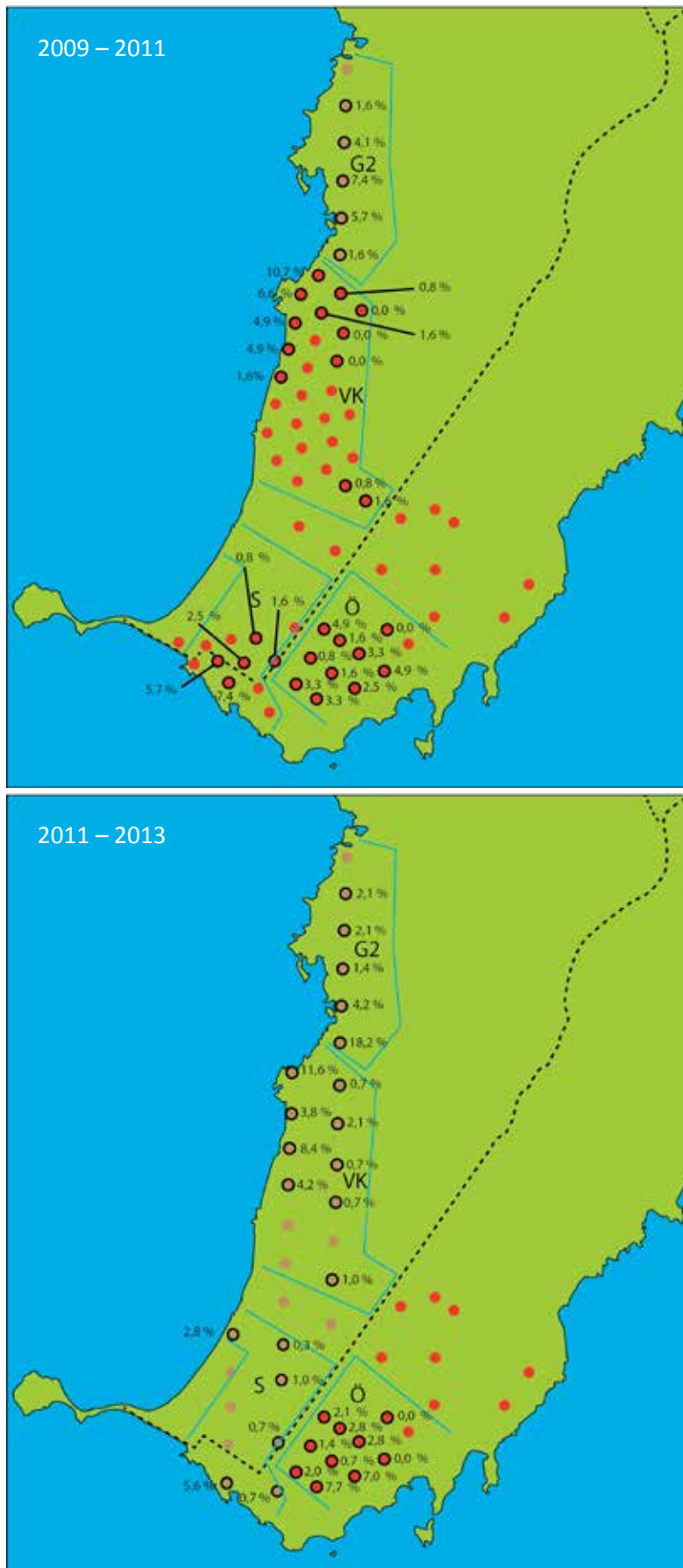
Figur 8. Den genomsnittliga andelen fåglar i procent som har hittats döda under vindkraftverken på Näsudden fördelat över årets tolv månader.



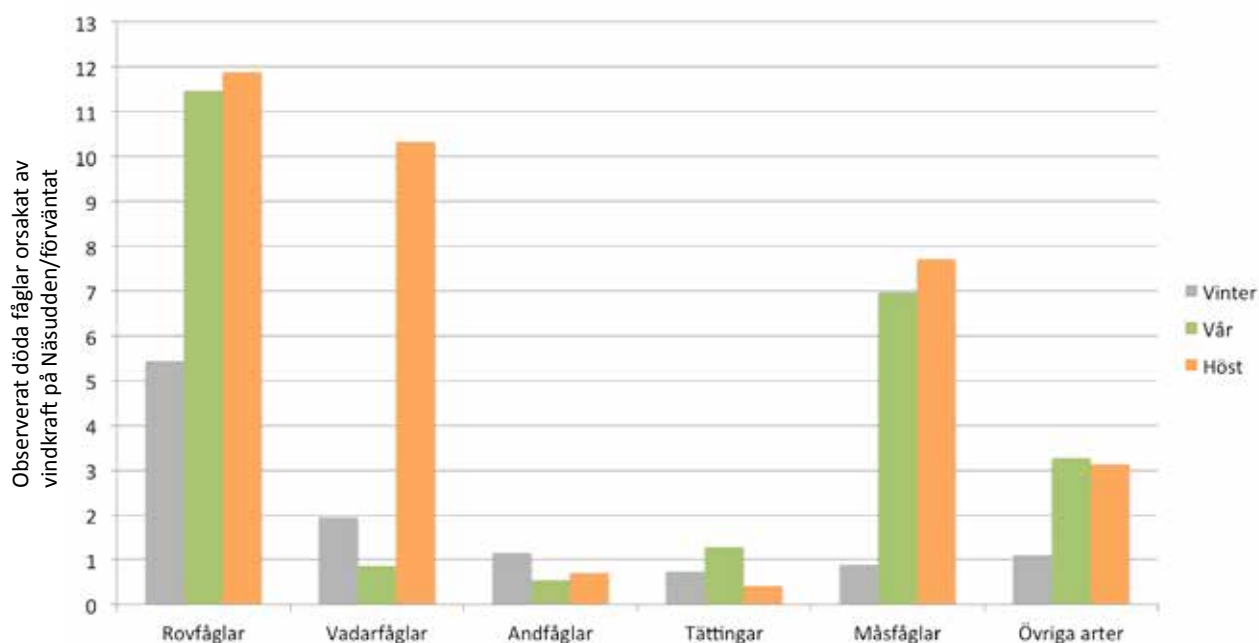
Figur 9. Den förväntade och observerade andelen vinkraftsorsakad dödlighet för fåglar uppdelade på artgrupper (måsfåglar – blåa staplar, tättningar – lila staplar, andfåglar – gröna staplar, vadarfåglar – röda staplar, rovfåglar gula staplar och övriga arter – orange staplar) under vinter, vår och höst. Förväntade värden är baserade på fördelningen av förekomsten av individer från de olika artgrupperna under respektive årstid.

Tabell 1. Antalet fåglar inom respektive artgrupp samt fördelningen mellan artgrupper:

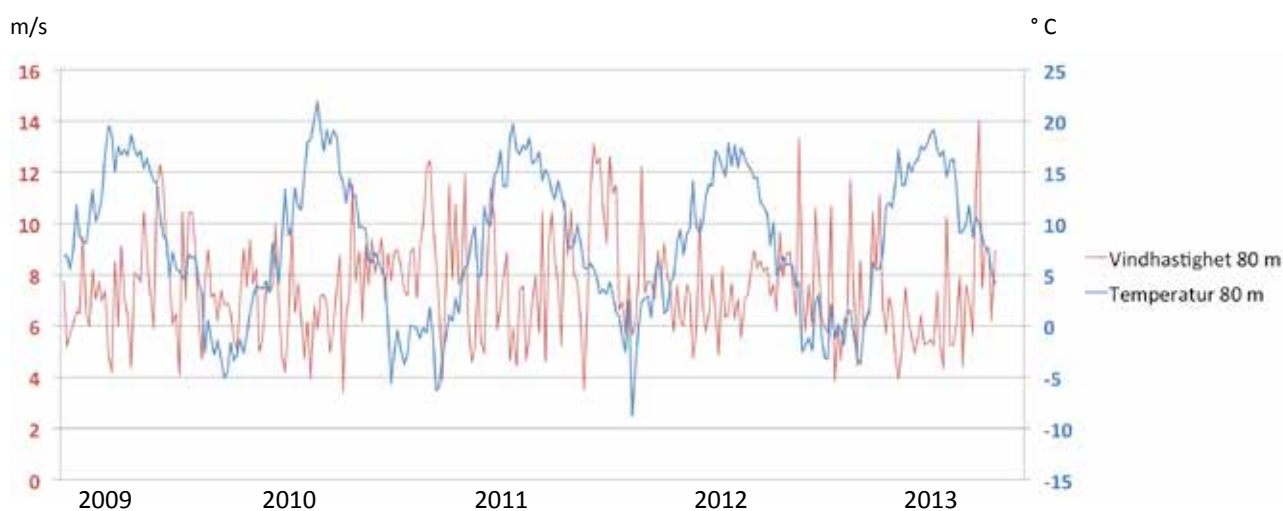
Andfåglar:	100	35,6 %
Vadarfåglar:	23	8,1 %
Måsfåglar:	67	23,8 %
Tättningar:	73	25,9 %
Rovfåglar:	7	2,5 %
Övriga arter:	5	3,9 %
Totalt:	281	100 %



Figur 10. Andelen vindkraftsdödade fåglar per inventerat verk uppdelat på före (översta kartan) och efter (nedersta kartan) generationsskiftet. Hänsyn har tagits till om hela inventeringsytan runt vindkraftverken kunde inventeras eller inte. Det finns en signifikant skillnad mellan de vindkraftverk som står närmast kusten jämfört med de som står på raderna innanför både före ($P < 0,001$) och efter ($P = 0,015$) generationsskiftet.



Figur 11. Skillnaden mellan observerat antal vindkraftsdödade fåglar och förväntat antal, baserat på förekomst uppdelat på artgrupp (rovfåglar, vadarfåglar, andfåglar, tättningar, måsfåglar och övriga arter) och årstid. Om vindkraftsmortaliteten inte skiljer sig mellan artgrupper förväntar man sig att andelen döda individer av en artgrupp speglar den andelen de utgör av fågelförekomsten på Näsudden. Rovfåglar utgör exempelvis 0,3 procent av fåglarna på Näsudden under året medan de står för 2,5 procent av fynden av fåglar som kolliderat med vindkraftverkn. Värderna över 1,0 visar på en överrepresentation medan värden under 1,0 visar på en underrepresentation.



Figur 12. Veckovisa förändringar för vindhastighet i m/s (röd linje, axel till vänster) och temperatur ° C (blå linje, axel till höger) på 80 meters höjd vid Näsudden under studieperioden (maj 2009 till november 2013). Data från vädermasten på Näsudden (Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet). Veckovisa medel- och maxvärden har beräknats utifrån tiominutersmedelvärden under hela studieperioden.

vid 80 meters höjd (motsvarande navhöjden på de nya vindkraftverken), eftersom vindkraftsdödade fåglar inventerades med det tidsintervallet. Data för till exempel dimma saknas, vilket kan förklara avsaknaden av samband mellan väderförhållanden och antal vindkraftsdödade fåglar i den här studien. Mer djupgående analyser av väderdata och observationer skulle kunna ge klarhet i hur vädret påverkar förhållanden gällande vindkraftsdödade fåglar på Näsudden. Dock finns det ingen rimlig orsak att anta att någon skillnad föreligger före och efter generationsskiftet (figur 12).

Den faktiska vindkraftsorsakade mortaliteten

För att uppskatta det verkliga antalet fåglar som kolliderar med vindkraftverken på Näsudden måste hänsyn tas till hur fort asätare tar bort döda fåglar i området. Dessutom måste man kontrollera för hur stor andel av döda fåglar som faktiskt hittas vid inventeringarna. Därför genomfördes ett experiment vid fyra tillfällen där tio döda fåglar placerades ut i inventeringsområdet på slumpmässigt utvald platser för varje tillfälle. Antalet valdes för att överstiga 30 observationer eftersom estimatet av standardavvikelsen och dess konfidensintervall generellt är mindre tillförlitligt med färre observationer. Ytterligare observationer förbättrar dock inte säkerheten nämnvärt. För mer information om stickprovsstorlek och antalet observationer som en urvalsgrupp ska utgöra se till exempel Quinn och Keough (2002). Inventerarna hade inte kännedom om att fåglarna placerades ut. Fåglar som placerades tillhörde någon av följande arter: bläsand, gräsand, kricka, storskrake och tamduva.

Under de första tolv timmarna försvann 17,5 procent av fågelkropparna helt, dock var det spår kvar från 95 procent av fåglarna. Ytterligare 12,5 procent försvann efter ett dygn vilket betyder att totalt 30 procent av fågelkropparna nu var borta. Efter två dygn hade 42,5 procent försvunnit och efter tre dygn 60 procent. Efter en vecka var endast tre fågelkroppar kvar av de 40 som placerats ut, alltså 7,5 procent av de döda fåglarna. En av dessa hade då hittats av asätare som börjat äta på fågeln men inte fört bort kroppen. Efter flera av de bortförda döda fåglarna hittades spår i form av fjädrar och dun och ibland delar av vingar. Dessa

spår skulle vara möjliga för inventerarna att hitta. Efter en vecka fanns det sådana spår eller hela kroppar kvar av 27,5 procent av de fåglar som placerades ut.

Inventerarna observerade 13 av 40 utplacerade fåglar, alltså 32,5 procent. Vid den slumpmässiga utplaceringen av de döda fåglarna inom inventeringsområdet noterades om fågel placerats ut nära buskar som möjligen skulle kunnat försvåra för både asätare och inventerare att hitta den döda fågeln. Även om det fanns en skillnad mellan andelen som hittades av inventerarna om fågeln var placerad invid en buske (22,2 procent hittades) eller på öppen mark (35,5 procent hittades) var skillnaden inte statistiskt signifikant (t-test: $t = 0,77$, $P = 0,22$). Även en liknande icke signifikant skillnad noterades för asätare (t-test: $t = 0,40$, $P = 0,35$). Ingen hänsyn har tagits till detta i övriga analyser. Att det ändå fanns en trend öppnar för möjligheten att ytterligare studera detta för att kunna förbättra uppskattningen av den verkliga mortaliteten orsakad av vindkraft.

Om man utgår från andelen som inventerarna hittade (p) och den andel som de har möjlighet att hitta; där asätarna antingen inte hittat det döda djuret eller fört bort men lämnat spår efter fågeln (R), kan vi beräkna den verkliga dödligheten (Ma) med utgångspunkt från antalet observerade fåglar som kolliderat med vindkraftverken (Mu). Det görs genom att beräkna (för ytterligare information se Smallwood 2007):

$$Ma = \frac{Mu}{(R \times p)}$$

De små äldre vindkraftverken på Näsudden har under studieperioden medfört en årlig dödlighet på 21,2 fåglar per vindkraftverk. De stora nya vindkraftverken, som ersatte de äldre och mindre verken, har i genomsnitt medfört en dödlighet på 37,4 fåglar per vindkraftverk och år. Det innebär 1,77 gånger högre mortalitet för de nya större vindkraftverken. Om en jämförelse görs med genomsnittet för Europa, som ligger på 6,5 fåglar per vindkraftverk och år, är mortaliteten på Näsudden betydligt högre. De

Box 1: Exempel på fågelarter som kolliderat med vindkraftverk på Näsudden.



Rovfåglar:
Brun kärrhök född i Finland tidigare samma år (ringmärkt).



Andfåglar:
Del av gräsand under ett av de kustnära vindkraftverken.



Tättingar:
Kråka som kolliderat med ett verk i delområde G2.



Vadarfåglar:
Tofsvipa hörde till en av de vanligare vadararterna.



Måsfåglar:
Skrattmåsvingar. Kroppen har förts bort av asätare.



Övrigt:
Storskarv, kolliderade med ett av verken närmast kusten.

små vindkraftverken på Näsudden dödar ungefär 3,3 gånger så många fåglar medan de nya större vindkraftverken istället har en 5,8 gånger så hög dödlighet, jämfört med genomsnittet i Europa. Man ska dock vara medveten om att jämförelser av det här slaget inte tar hänsyn till vindkraftverkens storlek, energiproduktion, lokalisering och markytanspråk eller vilka arter som påverkas och hur den vindkraftsorsakade mortaliteten påverkar populationers livskraftighet.

Eftersom mortaliteten orsakad av vindkraft varierar mellan år bör man dock kontrollera för det och även jämföra områdena före och efter generationsskiftet, precis som vid analyserna av fågelförekomst. När man gör den jämförelsen visar det sig att endast år ser ut att påverka variationen i antal döda fåglar om än icke signifikant (År: $F_{1,17} = 3,49$, $P = 0,079$; Före/Efter: $F_{1,17} = 0,15$, $P = 0,707$; Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,2} = 0,09$, $P = 0,791$; Före/Efter x Kontroll/Gen.skift.: $F_{1,381} = 0,25$, $P = 0,621$), samt att områdesspecifika skillnader står för ungefär 35 % av variationen. Anledningen till detta är att antalet döda fåglar har ökat markant i delområde G2 efter generationsskiftet medan endast en svag ökning har skett i delområde Ö (figur 13). Delområdena G2 och Ö fungerade som kontrollområden där inga förändringar inträffade under studieperioden, men i G2 hade vindkraftverken redan generationsskiftats innan studien startade. I delområde S och VK har mortaliteten per vindkraftverk och år också ökat markant efter generationsskiftet (figur 13). Eftersom vindkraftverken i G2 var generationsskiftade innan studien började kan ökning i G2 möjligen vara en effekt av till exempel storleken på vindkraftverken, vilket i så fall maskerar en möjlig effekt av generationsskiftet i analyserna.

Om man istället utgår ifrån en modell som klassificerar delområden efter om de har blivit generationsskiftade eller inte, samt kontrollerar för effekter av år och interaktionen dem emellan kan man få ytterligare en indikation på påverkan av generationsskiftet som inte påverkas av att vindkraftverken i G2 redan har generationsskiftats. En sådan analys visar på signifikanta skillnader mellan områden som generationsskiftats eller inte samt att mortaliteten ökar över

tid, framförallt i de generationsskiftade områdena (År: $F_{1,20} = 5,95$, $P = 0,024$; Generationsskiftat eller inte: $F_{1,20} = 8,59$, $P = 0,008$; År x Generationsskiftat eller inte: $F_{1,20} = 4,87$, $P = 0,039$). Det är också det sambandet som framgår när man granskar områdesspecifika data, vilket framgår av figur 13. Utifrån antalet fåglar som de olika vindkraftverken dödar kan man beräkna den totala mortaliteten per år för hela vindkraftsparken på Näsudden, före och efter generationsskiftet. Då rörde det sig om 1751 fåglar per år innan generationsskiftet och 1578 efter. Alltså en minskning av det totala antalet fåglar som dör trots att mortaliteten per verk är större efter generationsskiftet. Det beror på att det totala antalet vindkraftverk har halverats inom de områden som generationsskiftats. Om man bara ser till de delområden som har generationsskiftat vindkraftverken (delområde G2, VK och S) är förändringen större. Då går den årliga mortaliteten från 1290 fåglar före generationsskiftet till 1048 efteråt. En minskning på ungefär 19 procent

Om man utgår från att hela vindkraftsparken tar i anspråk en yta på ungefär 660 hektar innebär det att det innan generationsskiftet dog 2,65 fåglar per hektar och år. Följaktligen minskade den siffran till 2,39 efter generationsskiftet. De generationsskiftade områdena (G2, VK och S) utgör tillsammans cirka 460 hektar. Där har antal årligen dödade fåglar per hektar sjunkit från ungefär 2,80 till 2,28.

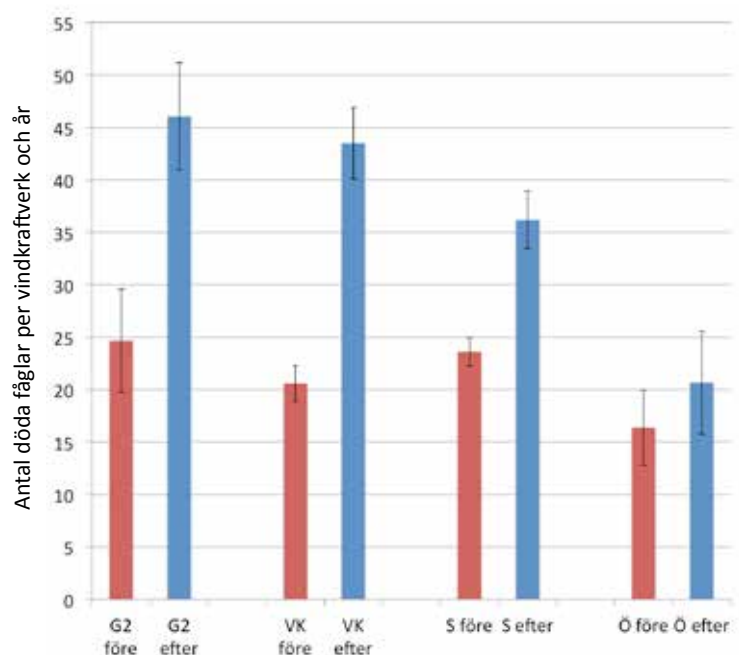
Hitintills har jämförelser gjorts för antalet fåglar som kolliderar och dör per vindkraftverk och år samt per ytenhet och år. En annan jämförelse som är relevant är antalet fåglar som vindkraftverken dödar per producerad elenergienhet. Eftersom vindkraftverken inom delområde G2, VK och S hade en samlad kapacitet att producera ungefär 22,6 MW innan generationsskiftet och ungefär 84 MW efter generationsskiftet har kapaciteten ökat med i storleksordningen fyra gånger (3,71). Innan generationsskiftet var den vindkraftsorsakade mortaliteten för fåglar 56,98 individer per megawatt och år (1290 dödade fåglar per år / 22,6 megawatt). Efter generationsskiftet hade antalet döda fåglar sjunkit till 12,48 individer per megawatt och år (1048 dödade fåglar per år / 84 megawatt). Det

är en minskning av den årliga vindkraftsorsakade mortaliteten på 78,1 procent per megawatt. Denna jämförelse förutsätter att vindkraftverken faktiskt producerar efter sin kapacitet och att vindkraftverken efter generationsskiftet också producerar fyra gånger så mycket elenergi. Även om elenergiproduktionen skulle vara något lägre är skillnaden före och efter markant. I Nordamerika har liknande resultat nåtts vid generationsskiften av vindkraftverk där mortaliteten per producerad elenergienhet minskat efter ett generationsskifte (Smallwood och Karas 2009). Mortaliteten per verk förändrades inte efter generationsskiftet men eftersom de nya verken producerade tre gånger så mycket elenergi minskade antalet dödade fåglar per installerad megawatt. Att antalet kollisioner minskar med vindkraftverkens uteffekt har också visats i andra studier (se till exempel Barclay m.fl. 2007) som dock inte har jämfört förhållanden före och efter ett generationsskifte.

Vilken av dessa jämförelser som är relevant att göra beror självfallet på frågeställningen. Om man vill jämföra olika elenergiproduktionsmetoders påverkan på fågellivet är det givetvis relevant att ta hänsyn både till markanspråk och elenergiproduktion. Funderar man istället

över effekterna av att installera olika typer av vindkraftverk vid uppförandet av vindkraftparker, så är givetvis jämförelser på vindkraftverknivå relevant, givet att antalet vindkraftverk är konstant oavsett vilken storlek av vindkraftverk man tänker uppföra. En sådan jämförelse är också relevant gällande installation av enskilda vindkraftverk. För de flesta frågeställningar kopplat till arters populationsdynamiska processer ska fokus istället riktas på hur individerna och deras livsmiljöer påverkas. På Näsudden är det till exempel effekten på fågellivet från hela parken som är väsentlig för att bedömma påverkan på olika arters populationsutveckling och deras livskraftighet, oavsett hur många megawatt vindkraftverken producerar. En svårighet består dock i att få kunskap om hur stort markområde vindkraftsparken faktiskt påverkar, vilket skiljer sig mellan arter och populationer. Påverkan på havsörnar av vindkraft på ön Smöla i Norge sker exempelvis flera kilometer från vindkraftsparken (Dahl m.fl. 2012). För det här kontrollprogrammet är det totala antalet fåglar som dog på grund av vindkraftverken före och efter generationsskiftet det som är relevant gällande vindkraftsorsakad mortalitet. Det antalet har sjunkit med cirka 19 procent efter generationsskiftet.

Figur 13. Antalet döda fåglar per vindkraftverk och år ($\pm$ SE) före (röda staplar) och efter (blåa staplar) generations-skiftet uppdelat i delområden (G2, VK, S och Ö). I delområde Ö noterades en mycket liten ökning medan den var markant för G2. I båda områdena har inga förändringar av vindkraftverken genomförts under studieperioden, dock har vindkraftverken i G2 generationsskiftats innan studien påbörjades. För delområde VK och S noterades en markant ökning av vindkraftsdödade fåglar efter generations-skiftet.



STUDIENS BEGRÄNSNINGAR OCH IMPLIKATIONER

Generationsskiftet på Näsudden har medfört att färre fåglar dör på grund av vindkraften där, men dock är mortaliteten ur ett europeiskt perspektiv fortsatt väsentligt högre än genomsnittet. Vid eventuella generationsskiften av befintliga vindkraftsparker på andra lokaler borde det rimligtvis innebära att färre fåglar förolyckas, givet att förhållandena för fågellivet och generationsskiftet är jämförbara med Näsudden. Inga effekter av generationsskiftet på den totala förekomsten av fåglar under någon årstid kunde noteras. Inte heller häckfåglar verkade påverkas av generationsskiftet. Därför kan man anta att generationsskiften av vindkraftsparker rimligen inte innebär någon ytterligare förändring av fågellivet utöver de eventuella effekter som redan skett vid anläggandet av vindkraftparken. Dessa resultat bör även kunna ge vägledning vid ett eventuellt generationsskifte av övriga äldre vindkraftverk på Näsudden.

Att antalet rovfågelarter och individer minskade i de områden som generationsskiftades kan tyda på en negativ påverkan på rovfågelförekomsten. Dock var dessa förändringar kopplade till generationsskiftet inte statistiskt signifikanta ($P=0,08$ och $0,17$) och man bör därför vara försiktig när man tolkar dessa tendenser, eller utgår ifrån dem för att formulera generella slutsatser av generationsskiften av vindkraftsparker. Man bör också vara medveten om att P-värden enbart är ett sannolikhetsvärde och att skillnaden mellan en signifikant effekt och en icke signifikant är att P-värdet är mindre eller större än $0,05$. Det är därför möjligt att om man generationsskiftar andra vindkraftsparker på övriga Gotland eller resterande delområden på Näsudden, där rovfågelförekomsten är likvärdig, så kan det ha en negativ effekt på rovfågelförekomsten.

Det är också värt att notera att även om detta kontrollprogram genomfördes under flera år så är det omöjligt att uttala sig om eventuella långtidseffekter. Populationsförändringar tar i regel längre än två år och behöver heller inte ske linjärt, utan kan istället ske stegvis (se till exempel Turchin 2003 för mer information om

populationsdynamik). Därför är det möjligt att generationsskiftet har inneburit en påverkan som inte kan noteras inom studieperioden. Därtill har inte viktiga populationsdynamiska parametrar, som till exempel häckningsframgång studerats. Ingen hänsyn har heller tagits till att de flesta populationer är uppdelade i mindre enheter med utbyte av individer dem emellan – en så kallad metapopulation bestående av flera subpopulationer (för en utförlig beskrivning av metapopulationsbiologi se till exempel Hanski och Gilpin 1997). Påverkan i en subpopulation kan därför inverka på de andra subpopulationerna. Förändringar i till exempel antal individer i ett område kan kompenseras av immigration och emigration och därmed döljas i studier av enbart en population. Det är därför möjligt att generationsskiftet kan ha påverkat populationsdynamiska processer under studieperioden som inte har studerats inom detta kontrollprogram.

De vindkraftverk som var placerade närmast stranden gav upphov till flest kollisioner. Om man vill minska påverkan på fågellivet vid anläggandet av vindkraftsparker eller vid generationsskiften i kustnära miljöer bör man därför ta hänsyn till den kunskapen. Placering av vindkraftverk längre bort från strandlinjen bör leda till en mindre påverkan. Den här studien ger inget svar på exakt vilka avstånd från strandlinjen som vore lämpligt, och hänsynsavstånd för att minska påverkan på fågellivet kan antas vara platsspecifika och därför variera mellan lokaler. Tidigare studier av vindkraftverkens placering i förhållande till kusten och deras påverkan på fågellivet har visat på liknande skillnader kopplade till verkens placering. Everaert och Steinen (2007) studerade vindkraftsorsakad mortalitet under två år i Belgien och fann att för tärnor, som häckade vid kusten, dog 1,6 gånger fler individer vid de kustnära vindkraftverken jämfört med genomsnittet för hela vindkraftparken. Om alla fåglar inkluderades i analysen var mortaliteten 1,5 gånger högre än genomsnittet för vindkraftverken närmast stranden.

Syftet med kontrollprogrammet var inte att studera effekterna på fågellivet av vindkraftsutbyggnaden på Näsudden. För att kunna göra det måste man jämföra förekomsten

Sidensvansar framför ett vindkraftverk på Näsudden.



Genomförandet av generationsskifte av ett vindkraftverk på Näsudden.



av fågel före vindkraftsparken byggdes med inventeringar efter att vindkraftsparken uppförts. Det går inte att idag utföra sådana studier eftersom standardiserat data för hela vindkraftsparken saknas för förekomsten av fåglar innan vindkraftsparken byggdes. Dock finns ett fåtal inventeringar inom vissa delområden i anslutning till vindkraftsparken som skulle kunna ligga till grund för en sådan analys. Frågeställningarna för det här kontrollprogrammet fokuserar istället på effekter av generationsskiftet.

Inga fåglar kolliderade med vindkraftverk och dog innan vindkraftsparken byggdes. Det fanns helt enkelt inga vindkraftverk för fåglarna att kollidera med. Därför är det korrekt att hävda att utbyggnaden har lett till att drygt 1700 fåglar årligen dött och att den siffran sjunkit med 19 procent för de områden som generationsskiftat vindkraftverken, till drygt 1500. Om vi antar att förhållandena på Näsudden gäller för övriga lokaler med vindkraft på Gotland och att en tredjedel av vindkraftverken finns på Näsudden, innebär det att vindkraften på Gotland årligen dödar ungefär 4700 fåglar ($1578 / (1/3) = 4734$). Sådana antaganden är givetvis behäftade med osäkerhet. På Näsudden är förekomsten av fågel rikt vilket skiljer sig från flera inlandslokaler på Gotland. Till exempel skiljer förekomsten av vadarfåglar, där Näsudden med sina strandängar självklart inte kan påstås vara likvärdigt med ett intensivt brukat jordbrukslandskap. Den totala mortaliteten orsakad av vindkraft på Gotland kan därför antas vara lägre än 4700 fåglar.

De flesta vindkraftverken på ön är dock placerade på södra Gotland i närheten till Näsudden i kända fågelsträckslokaler där fågellivet är rikt. Man kan därför anta att det verkliga antalet inte är avsevärt mycket mindre än om man utgår från de förhållandena som råder på Näsudden. Förhållandena på Näsudden är också mer jämförbara med andra områden för vissa artgrupper, till exempel rovfåglar. Örnförekomsten på Gotland är ganska jämt fördelad, även om de mest centrala regionerna på ön har en lägre förekomst (Hjernquist m.fl. 2008).

Om man utgår från andelen örnar som uppskattas dö årligen på Näsudden och extrapolerar det för

alla vindkraftverk på Gotland (utgår från 150 stycken vindkraftverk) betyder det att 33,7 örnar årligen skulle kollidera med vindkraftverk på Gotland. Den siffran utgår från beräkningarna som baserats på hur fort asätare tar bort döda fåglar och hur stor andel inventerarna hittar på Näsudden. Att rävar och andra asätare kan föra bort stora fåglar har observerats vid flera tillfällen i den här studien. Till exempel hittades enbart en vinge och delar av kroppen av en havsörn som kolliderat med vindkraftverk på Näsudden vid inventeringarna. Resten av örnen var bortförd. Även svanar som observerats intakta vid ett inventeringstillfälle har varit borta vid nästa tillfälle en vecka senare. Dessutom delas majoriteten av fåglar som kolliderar med vindkraftverk upp i mindre delar vid kollisionen med rotorbladen vilket gör det lättare för asätare att föra bort även större fåglar. Därför är antagandet att även örnar försvinner på grund av asätare högst troligen korrekt.

Studier från andra länder har visat att storleken på fågeln påverkar sannolikheten för att den ska hittas vid inventeringarna (Smallwood 2007). Om vi därför utgår från att inventerarna hittar 100 procent av de örnar som dött på Näsudden i inventeringsområdet och från den siffran beräknar påverkan för alla Gotlands vindkraftverk blir antalet årligen vindkraftsdödade örnar på Gotland istället 9,3. Den verkliga mortaliteten torderimligen vara någonstans mellan 9,3 och 33,7. Effekterna på populationsnivå har inte studerats inom ramarna för detta kontrollprogram men man kan självklart använda sig av den kunskap som erhållits i och med denna studie för sådana uppskattningar. Då bör populationsökningen av både havs- och kungsörn vägas in samt hänsyn tas till vilka individer som drabbas. En större effekt förväntas till exempel om det är främst vuxna individer som förolyckas och vice versa.

Av samma anledningar som det är troligt att större fåglar är lättare för inventerarna att observera vid inventeringen av vindkraftdödade fåglar, är det troligt att mindre fåglar är svårare att observera (Smallwood 2007). Små tättingar hittades i regel mycket sällan vid inventeringarna. Ingen hänsyn till det har tagit i uträkningarna och uppskattningarna som presenteras i den här rapporten. Den uppskattade fågeldödligheten är



Västra sidan av vindkraftsparken på Näsudden efter generationsskiftet av vindkraftverken. Antalet fåglar som kolliderar med vindkraftverken har minskat med 19 procent efter generationsskiftet, samtidigt som inga större förändringar av förekomsten av arter och individer kunde noteras. Möjligen påverkades antalet arter av måsfåglar och både antalet arter och individer av rovfåglar negativt av generationsskiftet.

därför högst troligen i underkant av den verkliga mortaliteten, eftersom de mindre tättingarna är mest talrika på Näsudden och därmed borde förolyckas mest frekvent.

Det bör dock påpekas att denna typ av uträkningar bara är uppskattningar och att de påverkas av det data man utgår ifrån och de antaganden man gjort. Med mer data kan mer tillförlitliga uppskattningar göras. Därtill kan de underliggande antagandena självklart förbättras med mer information om förutsättningarna i ett område eller med mer kunskap om arterna.

Vid framtida planering av vindkraftparker och generationsskiften kan man utgå från de skillnader som observerades på Näsudden mellan de olika typerna av vindkraftverk för att minska påverkan på fågellivet. Man måste då vara medveten om att man gör antagandet att förhållandena på Näsudden även gäller för andra lokaler. Hur påverkan är för än större vindkraftverk än de som installerats på Näsudden kan man inte med säkerhet avgöra från den här studien. Troligt är dock att mortaliteten per vindkraftverk och år ökar ytterligare något med vindkraftverkens storlek, medan påverkan på fågelförekomsten förblir oförändrad. Som tumregel kan man utgå från att färre vindkraftverk per ytenhet innebär en mindre påverkan på fågellivet. På Näsudden minskade dödligheten med 19 procent när vindkraftverken halverades i antal och de nya vindkraftverken fyrdubblade elenergiproduktionen.

Resultat från kontrollprogrammet i korthet

- Generationsskiftet har inte inneburit någon statistiskt signifikant påverkan på häckfåglar eller på fågelförekomsten på vintern, våren och hösten under studieperioden utöver en utebliven ökning av antalet måsfågelarter.
- Generationsskiftet har inneburit att ungefär 1,77 gånger fler fåglar dör per vindkraftverk och år. De nya större vindkraftverken dödar årligen 37,4 fåglar per verk och år. Högst är dödligheten för de vindkraftverk som är placerade närmast kusten.
- Eftersom antalet vindkraftverk halverats har det inneburit att det totala antalet fåglar som dör inom det generationsskiftade områdena ändå har minskat med i storleksordningen 19 procent. Vindkraftsutbyggnaden på Näsudden, innan moderniseringen till större vindkraftverk, dödade årligen drygt 1700 fåglar. Efter generationsskiftet har antalet sjunkit till drygt 1500. Nästan fyra gånger så mycket elenergi kan produceras på samma yta efter generationsskiftet och mortaliteten per producerad megawatt har därför minskat med nästan 80 procent.
- Vissa artgrupper var överrepresenterade gällande vindkraftsrelaterad fågel mortalitet – fler individer kolliderade med vindkraftverk än vad som är förväntat baserat på andelen artgruppen utgjorde av den totala förekomsten av fåglar. Det gäller främst rovfåglar där mellan 5,4 och 11,9 gånger fler än förväntat kolliderade med vindkraftverk, beroende på årstid.

LITTERATUR

- Barclay R M R, Baerwald E F & Gruver J C (2007) Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology* 85: 381-387.
- Bellebaum J, Korner-Nievergelt F, Dürr T & Mammen U (2013) Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *Journal for Nature Conservation* 21: 394-400.
- Dahl E L, Bevanger K, Nygård T, Røskoft E & Stokke B G (2012) Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biological Conservation* 145: 79-85.
- Desholm M (2006) Wind farm related mortality among avian migrants – a remote sensing study and model analysis. Doktorsavhandling National Environmental Research Institute, Ministry of Environment, Denmark.
- Everaert J & Stienen E W M (2007) Impact of windturbines on birds in Zeebrugge (Belgium). *Biodiversity and Conservation* 16: 3345-3359.
- Hanski I A & Gilpin M E (1997) *Metapopulation Biology – ecology, genetics and evolution*. Academic Press, London.
- Hastings A (1997) *Population Biology – concepts and models*. Springer-Verlag New York.
- Hjernquist M.B. (2011a) Inventering av fågelförekomst på Näsudden, hösten 2011. Karl Mårten Hjernquist Konsult. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB.
- Hjernquist M.B. (2011b) Inventering av häckande, rastande och flyttande fågel på Näsudden, våren 2011. Karl Mårten Hjernquist Konsult. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB.
- Hjernquist M B (2012a) Inventering av häckande, rastande och flyttande fågel på Näsudden, våren 2012. Karl Mårten Hjernquist Konsult. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB.
- Hjernquist M B (2012b) Inventeringsrapport: fåglar på Näsudden vintern 2012 (Januari-mars). Karl Mårten Hjernquist Konsult. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB.
- Hjernquist M B (2013) Inventeringsrapport: fåglar på Näsudden hösten 2012. Karl Mårten Hjernquist Konsult. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB.
- Hjernquist M B, Hjernquist M, Hägerroth J-E, Johansson T & Martinsson M (2008) Kungsörnsymposium 2007. (Sympoiserapport från Kungsörn Sverige kan laddas ner på <http://www.kungsorn.se>)
- Quinn G P & Keough M J (2002) *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rydell J, Engström H, Hedenström A, Kyed Larsen J, Pettersson J & Green M (2011) Vindkraftens effekter på fåglar och fladdermöss – en syntesrapport. Rapport 6467, Naturvårdsverket.
- Schaub M (2012) Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. *Biological Conservation* 155: 111-118.
- Smallwood K S (2007) Estimating wind turbine-caused bird mortality. *Journal of Wildlife Management* 71: 2781-2791.
- Smallwood K S & Karas B (2009) Avian and Bat Fatality Rates at Old Generation and Repowered Wind Turbines in California. *Journal of Wildlife Management* 73, 1062-1071.
- Stewart G B, Pullin A S & Coles C F (2007) Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation* 34: 1-11.
- Turchin P (2003) *Complex Population Dynamics – a theoretical/empirical synthesis*. Princeton University Press, Princeton.
- Widemo F (2007) Vindkraftens inverkan på fågelpopulationer – kunskap, kunskapsbehov och förslag på åtgärder. Sveriges Ornitologiska Förening.

Mårten B. Hjernquist, 2014. *Effekter på fågellivet vid ett generationsskifte av vindkraftverk kontrollprogram, Näsudden, Gotland 2009 – 2013*. Karl Mårten Hjernquist Konsult, Havdhem.
På uppdrag av Stugyl AB, Vindkompaniet O2 AB, Näsudden Väst Administration AB och Slitevind AB
i samarbete med Wickman Wind AB.