



UPPSALA
UNIVERSITET

Fåglar och Vindkraftverk



Erik Hartwig

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, höstterminen 2010
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

Världens energibehov ökar vilket leder till att behovet av förnyelsebar energi också ökar. Vindkraften som förnyelsebar energikälla kommer att byggas ut ytterligare, både till havs och på land. I och med den utökade vindkraftsbyggnationen är det viktigt att ytterligare undersöka de ekologiska konsekvenser som vindkraftverk medför för fåglar, både kollisionsrisk och habitateffekter. Antalet fåglar som dör på grund av kollisioner med rotorblad är inte särskilt stor, däremot kan felplacerade vindkraftverk skörda onödigt många offer och i värsta fall av en art som redan är utrotningshotad. Det finns metoder för att öka vindkraftverkens synlighet för fåglar. Genom att måla ett av rotorbladen minskar rörelseoskärpan och fågeln kan uppfatta att något rör sig även om föremålet snurrar väldigt fort. I samband med vindkraftuppsättningar minskar fåglars habitat och det finns risk att vi får negativa effekter på grund av habitatfragmenteringen, vilket är det största hotet mot biologisk mångfald. Habitatfragmentering är kanske den allra största faran som vindkraften utgör för fåglar. Det är av stor vikt att utforska riskerna med vindkraft ordentligt innan man sätter igång med ett vindkraftbygge på ett specifikt område.

Inledning

I samband med att det fossila bränslets klimatpåverkan blivit alltmer uppenbar har vindkraften framställts som en möjlig ersättare. Vindkraften framställs ofta som ofarlig för miljön och människan och såväl enskilda vindsnurror som vindkraftsparker byggs ut. Men hur påverkas fåglar av uppsättandet av vindkraftverk? Det finns inte mycket publicerat om vilka effekter vindkraften har på olika arter (Larsen & Madsen 2000, Kuvlesky et al. 2007). I de publikationer som finns skiljer sig resultaten ifrån varandra beroende på var vindkraftverken är placerade och vilka fåglar som undersökts (Bevanger *et al.* 2006). Man kan även tänka sig att det föreligger delade meningar mellan intresseorganisationer och vindkraftsäljare kring huruvida snurrorna utgör ett problem för fåglar. Finns det åtgärder man kan vidta för att effekterna ska bli så skonsamma som möjligt för fågelarter? Finns det andra djurarter som missgynnas/gynnas av vindkraftverk? Det finns tre huvudsakliga hot som vindkraften utgör för fåglar. Det första är störning av habitatet, till exempel barriäreffekter. Det andra hotet är kollisionsrisken och det tredje är förstörelse eller förlust av habitat (Langston & Pullan 2003).

På 1990-talet började vindkraften byggas ut på allvar i Sverige. I slutet av 2009 fanns 1 359 vindkraftverk uppsatta som tillsammans genererade 2,5 TWh det året (Energimyndigheten 2010). Under de senaste sju åren har nettoproduktionen av energi från vindkraftverk nästan fördubblats men utgör trots detta endast 1,9 % av Sveriges totala nettoproduktion av energi. Energimyndigheten (2010) har satt upp en plan som säger att år 2020 ska vindkraften producera 30 TWh, där en tredjedel av vindkraftverken är kustplacerade (inräknat kustplacerade och ute till havs) och två tredjedelar placerade på land. För att detta ska lyckas måste vi få fler och effektivare vindkraftverk än de vi har idag. Förblir effektnivån i höjd med den som finns idag skulle det krävas 16 308 vindkraftverk, förutsatt att energibehovet är konstant. Trots att vi kan förvänta oss betydligt mer effektiva vindturbiner i framtiden kommer vi få ett ökat antal vindkraftverk vilket gör det intressant och aktuellt att se till vilka eventuella negativa effekter som vindkraften för med sig. Rotorbladen kanske inte ser ut att snurra fort från marken och upplevs, av människan, inte som ett hot mot fåglar men spetsen av rotorbladet kan snurra i upp till 300 km/h (Ahlén 2010). I detta arbete kommer vindkraftverk, vindsnurra och vindmølla användas synonymt.

Följande problemformuleringar ska försöka besvaras. Utgör vindsnurror ett stort problem för fåglar och i så fall hur? Varför har fåglar svårt att navigera kring vindsnurrorna? Hur kan vindkraftsnurror anpassas till fåglar? Hur påverkas habitat kring vindsnurror? Är det specifika arter som berörs? Hur hotad är kungsörnen av vindkraftsutbyggnad?

Rörelseoskärpa

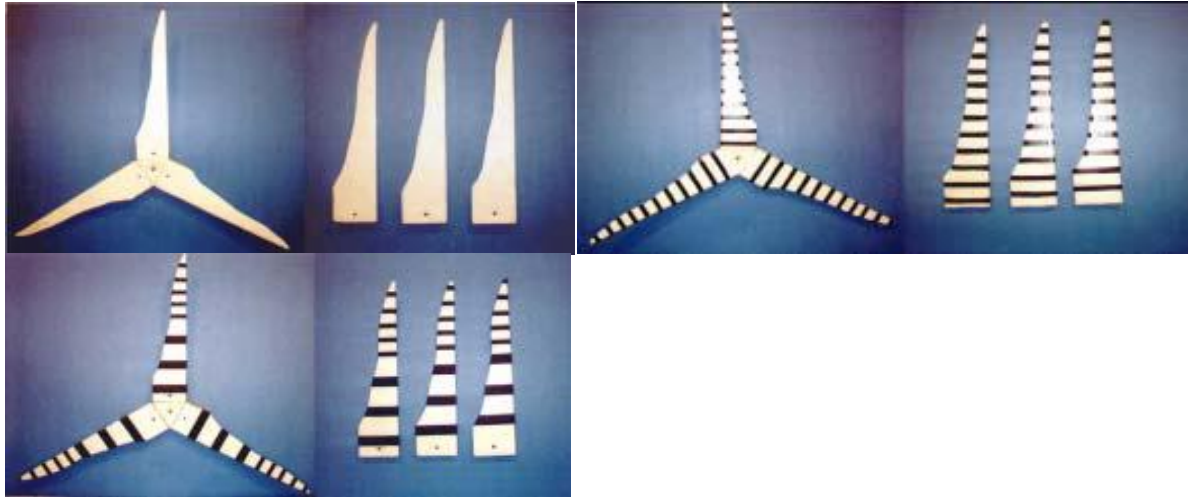
Objekt som rör sig långt borta från vårt öga har vi lättare att fokusera på jämfört med objekt som rör sig nära. Rörelsen ger en oskärpa vilket gör att vi har svårt att uppfatta objektet som rör sig. Detta kan enkelt testas genom att röra pekfingret fram och tillbaka i konstant hastighet med utsträckt arm. Gör sedan samma sak med något böjd arm. När pekfingret är närmre ögonen har vi svårare att uppfatta vad vi ser, vi får en rörelseoskärpa (på engelska: motion smear). Fingret i detta fall får illustrera ett av rotorbladen i en vindsnurra. En rotor med 20 meter i diameter vilken snurrar 70 varv per minut uppnår en hastighet vid rotorspetsen av 264 km/h. Hastigheten som uppfattas av fåglar beror på fågelns avstånd till vindkraftverket (Hodos 2003).

Kontrastskillnader beroende av mönster

Man kan mäta kontrastskillnader i näthinnan hos fåglar genom PERG (mönster-elektroretinodiagram). Rör man till exempel en svart pinne över en vit bakgrund registreras det av PERG. En randig pinne ger större amplitud/utslag än en blank (Hodos 2003) då det hela tiden sänds nya nervsignaler när man gång på gång får en kontrastskillnad av den randiga pinnen mot den vita bakgrunden. I en studie använde man använd 15 stycken sparvfalkar (*Falco sparverius*) vilka lugnats med kloralhydrat ($C_2H_3Cl_3O_2$). Sedan fästes platina elektroder i ögonlocken så att de kom i god kontakt med senhinnan. En tredje elektrod fästes i skalpen för att tillhandahålla grundvärden. Sparvfalkens huvud fixerades sedan i ett avstånd på 57,3 cm från rotorbladen vilka var 32 cm långa. Sedan sattes en lins upp två centimeter framför sparvfalkens öga för att ställa in rätt fokus, detta behövdes då ögats förmåga att fokusera bedövats (Hodos 2003).

För att beräkna hur snabbt rotorbladens spets snurrar användes graden av visuell vinkel per sekund (dva/sec) vilken mäts genom att ta 57,3 (konverteringsfaktorn från radian till grader) multiplicerat med storleken på föremålet dividerat med avståndet till föremålet, $57,3 \times h/c$. Detta är den information som når fågelns hjärna och berättar om den upplevda hastigheten av rotorbladet på näthinnan (Hodos 2003). Från 32 meters avstånd uppfattas rotorbladets spets snurra med hastigheten 131 dva/sec medan den vid avståndet 8 meter upplevs ha hastigheten 525 dva/sec (Hodos 2003). Alltså ju närmare vindkraftverket är desto snabbare upplevs rotorbladen snurra och ännu svårare blir de att upptäcka. Vad kan man göra för att öka synligheten av rotorbladen och minska effekten av rörelseoskärpan?

Försök har gjorts där man målat rotorblad för att se var kontrastskillnaderna mot bakgrunden är som störst. En uppsättning (tre rotorblad) var helt vita, den andra var målad med smala svarta band som inte gick omlott och den sista var målad med tjocka svarta band som inte heller gick omlott. Genom att inte låta färgerna gå omlott minskar man rörelseoskärpan (Hodos 2003). Alla tre uppsättningar porträtterades mot vit bakgrund (Figur 1).



Figur 1. Olikmålade rotorblad vilka porträtterades mot vit bakgrund för sparvfalken. Rotorbladen är 32 cm långa. Från Hodos (2003) med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Resultaten visar att sparvfalken såg rotorbladen med de tunna svarta banden fyra gånger så bra som de vita rotorbladen. De tjockmålade bladen syntes knappt dubbelt så bra som de vita. När fågeln kommer närmare vindkraftverken och rotorbladen upplevs snurra fortare minskar skillnaden mellan de olika målade snurrorna så pass mycket att det är svårt att avgöra någon skillnad mellan vilket mönster som syns tydligast (Hodos 2003). Vid ett räkneexempel på en turbin som har 20 meter i diameter och snurrar med 40 varv per minut upplevs de smala svarta banden på rotorbladen bäst vid 21 meters avstånd från vindsnurran men minskar sedan. Vid 15 meters avstånd är samtliga rotorblad osynliga för sparvfalken, rotorbladen ger således inga stimuli (Hodos 2003). För en sparvfalk är ett avstånd på 20 meter mycket kort och det är tveksamt om fågeln hinner avvika från kollisionskursen, men med större turbindiameter och lägre hastighet syns rotorbladen tydligt även närmare än 20 meter (Hodos 2003).

Vid ytterligare försök gjorda mot vit bakgrund av Hodos (2003) färgade man ett rotorblad helt svart medan de andra två behölls vita (Figur 2). Denna undersökning visar att turbinen med ett svartmålat rotorblad syns betydligt bättre än tre helvita. Uppställningen med ett svartmålat rotorblad syntes också bättre än smala svarta band på rotorbladen, denna skillnad var dock inte signifikant.

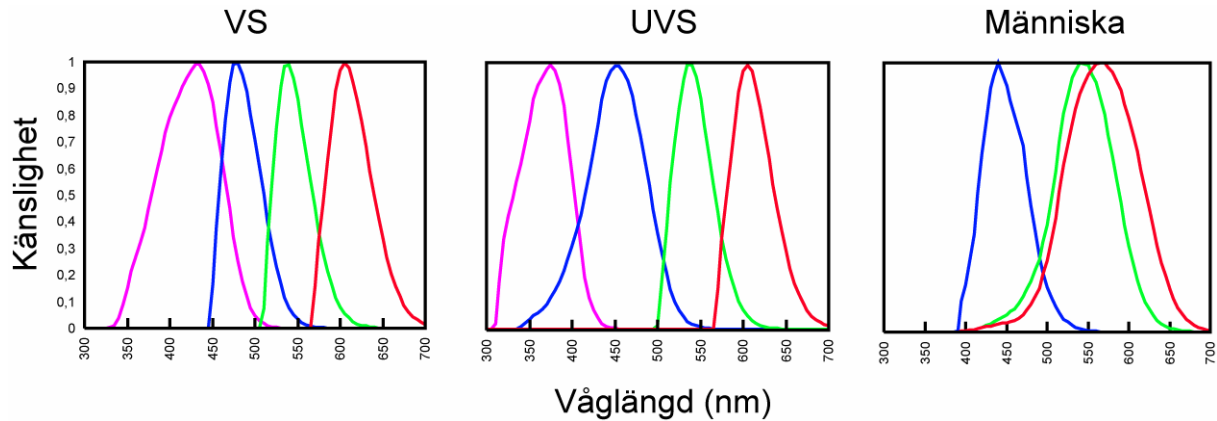


Figur 2. Ett av de tre bladen målade helsvart för att pröva synligheten. Från Hodos (2003) med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Fåglars seende

Färgseende innebär att man kan särskilja objekt ifrån varandra beroende av våglängd och alltså inte av ljusintensitet (Hart 2001). En stor skillnad mellan fåglars seende och människors är att fåglar har fyra stycken tappar i näthinnan jämför med människans tre. Den fjärde tappen

är inom det ultraviolette (UV) området vilket gör att fåglar kan uppfatta UV-ljus (Ödeen & Håstad 2003). Fåglar kan delas in i två skilda ögonfysiologiska grupper nämligen VS och UVS. Violettskänslig (VS) har den högsta känsligheten på denna fjärde tappen på en våglängd över 400 nm medan de ultraviolette känsliga (UVS) har en maxkänsligheten under 400 nm (Hart 2001). Se Figur 3 för en jämförelse mellan VS, UVS och människan.



Figur 3. Känsligheten vid specifika våglängder där känsligheten är störst vid 1. Violettskänsliga (VS) och ultraviolette känsliga (UVS) med fyra tappar och människan med tre. Från Ödeen & Håstad (2007), med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Genom att fåglar uppfattar kontrastskillnader vid lägre våglängder än vad människan gör innebär det att man skulle kunna ha rotorblad i en färg som ligger inom det ultraviolette spektrumet där det kan uppfattas tydligt av fåglar men inte av människan. De flesta fågelarter har en tapp som toppar vid det violetta fältet, VS fåglar, till exempel småfåglar och måsfåglar. De arter som ser ultraviolett, UVS fåglar, är många sjöfåglar och rovfåglar (Ödeen & Håstad 2003).

Vindkraftverkens synlighet för fåglar

I en undersökning där man läst av hur mycket havsplacerade vindkraftverk urskiljer sig mot sin bakgrund har Ödeen och Håstad (2007) använt sig av en UV-känslig telespektrofotometer vilken kan avläsa ljus i våglängden 320-700 nm. I de fall där planerade vindsnurror inte kommit på plats ännu har en fyr använts som referenspunkt mot bakgrunden. Beroende på vädret som råder vid mätstillfällena och kontrasten mot bakgrundshimlen eller vattnet, skiljer sig urskiljbarheten mycket från olika tillfällena. Efter respektive före solnedgång upplevs kontrasten mot bakgrunden som kritiskt låg. Vid ett mätstillfälle under dimma och från 2 470 meters avstånd var inte kraftverken urskiljbara mot bakgrunden under halva dagen, urskiljbarheten var något bättre för UVS fåglar än för människan och VS fåglar. Vid sådana förhållanden ökar risken att en fågel kolliderar med vindkraftverket (Ödeen & Håstad 2007). Slår man ihop alla separata mätningar i undersökningen visar det sig att kontrasten mellan vindkraftverket och bakgrunden är större för UVS fåglar än för VS fåglar. Båda fågelgrupperna ser tydligare än människan (Ödeen & Håstad 2007).

Färgsättning

Vid modellering med olika färgsättning av vindkraftverk har man lyckats öka synligheten för UVS fåglar medan urskiljbarheten för VS fåglar och människan knappt förändras (Ödeen & Håstad 2007). Man kan tänka sig att applicera en färg på vindsnurrorna så att de utgör en tydligare kontrast mot bakgrunden åtminstone för UVS fåglar. Problemet är att kontrasten är beroende av bakgrunden som i sin tur beror av väderförhållandena, varför det blir svårt att

hitta en lösning som alltid fungerar. Vidare skriver Ödeen och Håstad (2007) att den färg som är vanligast idag (vit) är en bra kompromiss mellan att fåglar uppfattar kraftverken ganska bra samt att den vita färgen inte har så negativ inverkan på människans inställning till vindkraftverk.

En aspekt när man talar om vindkraft är just hur människan ställer sig till vindsnurrorna rent kosmetiskt, här går naturligtvis åsikterna isär beroende på tycke och smak. Man kan anse att havsbaserade vindkraftparker kunde placeras långt ut utom synhåll från land men då får man problematiken att det kostar mer att sätta upp och driva en vindkraftpark långt från land och på ett stort djup (Ödeen & Håstad 2007, Energimyndigheten 2010).

Insekters dragningskraft till olika färger

En hög koncentration av insekter är attraktivt för insektsätande fåglar och fladdermöss. Svalor (familjen Hirundinidae) och tornseglare (*Apus apus*) är arter som jagar insekter i höjd med vindkraftverk (Ahlén 2010). Long *et al.* (2010) har undersökt om insekters attraktion till vindkraftverk påverkas av deras färg. Genom att placera ut tio stycken färgade kort cirka 5 meter från basen av en 13 meter hög vindsnurra har man undersökt om något av korten lockar till sig signifikant fler insekter än någon annan. Korten var 2,15 x 3,03 dm stora och lades upp i två rader med ett mellanrum om 2 cm. Varje insekt som landade eller uppehöll sig inom en decimeters avstånd till kortet registrerades. Varje kort granskades under 5 sekunder, därefter gick man vidare till nästa. Hela avläsningen gjordes under 10 minuter. Därefter omplacerades korten och försöket replikerades tre till fem gånger. Försöken gjordes under tre år mellan juni och oktober, då fladdermössen är som mest aktiva (Long *et al.* 2010). Drygt 2 000 insekter observerades under försöket och av dem landade 90 % på ett kort.

Resultaten visar att färgen på korten har en signifikant betydelse. Gul var den färg som var mest attraktiv följd av vit och grå, vilka är de vanligaste färgerna på idag uppsatta vindkraftverk. Lila var den färg som lockade lägst antal insekter (Long *et al.* 2010). Long *et al.* (2010) föreslår en annan färgsättning av vindturbiner än vit/grå, åtminstone i de områden där andelen insektivorer är hög. Att gul färg har störst attraktionskraft för insekter kan bero på att färgen förknippas med blommornas pollen och nektar (Prokopy & Boller 1971 i Long *et al.* 2010). Färger som är bra på att reflektera UV ljus har större attraktionskraft för insekter. Vit, grå, röd och gul reflekterar mycket ljus inom våglängder synliga för människan (Long *et al.* 2010).

Inventeringsmetodik

I de undersökningar där man försöker klargöra vilken påverkan vindkraftverk har på populationsstorlek eller habitat krävs oftast någon form av inventering av de fågelarter som uppehåller sig i området. Här presenteras en kortare beskrivning av två vanliga metoder inom svensk fågeltaxering och vad som skiljer de två åt. Metoderna finns beskrivna i Ekblom (2007).

Linjetaxering går ut på att man rör sig längs ett linjetranssekt och registrerar de arter man både ser och hör. Det gäller att man inte går för snabbt längst transekten, ungefär ett par kilometer i timmen är att rekommendera. Tekniken är bra om man planerar att utföra undersökningen flera gånger för att se bestandsstorlek över tid. Dock får man ta hänsyn till risken att räkna en och samma individ flera gånger samt att tysta och skygga arter är svåra att upptäcka. Linjetaxering ger ett relativt index på antalet individer som finns inom området.

Punkttaxering är en lättare metod att genomföra än linjetaxering men ger ungefär samma typ av resultat. Metoden går ut på att man väljer ett antal punkter där man lyssnar och håller utkik efter arter under ett bestämt tidsintervall. I skog ska inte observationspunkterna vara närmare än 250 meter från varandra och i öppet landskap ej närmare än 350 meter. Liksom vid linjetaxering finns risken att dubbelräkna individer, i synnerhet på lätesobservationer, men punkttaxering ger en indikation om i vilket habitat en art trivs. En nackdel med metoden är att när observatören närmar sig den förvalda punkten kan den skrämman iväg fåglar på sin väg dit. Precis som linjetaxering ger punkttaxering ett relativt index på antalet individer som finns i området.

Kollisionsrisk

Under flyttperioder är det vanligt att fåglar flyger i flockformationer. Man talar om sträckande fåglar (flyttfåglar i större flockar) som till exempel kan ha formen av ett V när de flyger. När sträckande fåglar närmar sig ett vindkraftverk gäller det att turbinen upptäcks i tid, annars finns risken att formationen inte hinner flyga tillräckligt långt från turbinen och fåglarna längst ut på formationen tvingas då flyga igenom med risk att träffas av rotorbladen.

Vid Zeebrugge i Belgien har man undersökt mortaliteten hos några tärnarter vid en vindkraftpark placerad i direkt anslutning till en konstgjord ö där tärnor häckar. I tärnkolonin finns fisktärna (*Sterna hirundo*), kentsktärna (*Sterna sandvicensis*) samt småtärna (*Sterna albifrons*). I vindkraftparken finns 25 stycken vindsnurror varav fyra står på ena kanten av ön medan de andra står ute på pirar. Ön byggdes år 2000 och är nu 8,5 hektar stor. För att ta reda på mortaliteten har man två gånger i veckan letat efter döda fåglar. Man kontrollerade ett område på 50 meter från vindsnurrorna (samma längd som snurran). Under häckningsperioden genomsöktes området oftare, nästan dagligen. Då vindsnurrorna är placerade på en pir går det inte att genomsöka hela området kring vindsnurran. Istället har man skattat hur stor mortaliteten är (författarna har dock utgått ifrån antal funna arter i beräkningarna). Förutom sökarea och funna arter har man tagit hänsyn till predation på dödade fåglar samt sökmetodens effektivitet när man beräknat mortaliteten. Utöver tärnor var måsar också vanligt förekommande bland funna kadaver (Everaert & Stienen 2007) (Tabell 1).

Tabell 1. Beräknat antal dödade fåglar av vindkraftverk i Zeebrugge. Hänsyn har tagits till asätare och att det har varit omöjligt att genomsöka hela området kring vindkraftverken. Det faktiska antalet funna döda individer inom parentes. n = antalet vindkraftverk i bruk. Omgjord efter Everaert & Stienen (2007).

År	Tärnor	Andra arter	Totalt	Antal döda fåglar per turbin och år
2004 n=25	168,3 (50 funna)	345,6 (71 funna)	523,0 (121 funna)	20,9
2005 n=24	160,9 (52 funna)	298,3 (53 funna)	459,2 (105 funna)	19,1

Bland tärnorna var fisktärnan den som oftast förolyckades följt av kentsktärna, detta trots att kentsktärnor i något större utsträckning passerade rotorbladen än fisktärnor (Tabell 2).

Tabell 2. Antal dödade tärnor av vindkraftverk i Zeebrugge under häckningsperioden. Hänsyn har tagits till asätare och att det har varit omöjligt att genomsöka hela området kring vindkraftverken. Det faktiska antalet funna döda tärnor inom parentes. Omgjord efter Everaert & Stienen (2007).

År	Småtärna	Kentsktärna	Fisktärna
2004	5 (3 funna)	54 (12 funna)	109 (35 funna)
2005	2 (1 funnen)	30 (10 funna)	129 (41 funna)

Samtliga kollisioner mellan tärnor och vindkraftverk under år 2004 skedde under perioden maj till augusti. De allra flesta av kollisionerna skedde mellan maj och juni vilket överrensstämmer med den tid då tärnorna förflyttade sig mest mellan kolonin och havet för att leta föda. Från mitten av april till slutet av juli påträffades 1,6 döda tärnor per dag, ungefär samma antal gäller för både 2004 och 2005 (Everaert & Stienen 2007).

För att kunna beräkna sannolikheten för en fågel att träffas av ett rotorblad har man under två dagar från gryning till skymning observerat de sex vindkraftverk i Zeebrugge där mortaliteten var som störst. Det är även dessa sex vindkraftverk som står i direktanslutning till ön. Man har även undersökt med hjälp av nattkikare om tärnorna är aktiva under natten men inte funnit någon aktivitet (Everaert & Stienen 2007). Genom att dividera korrigerat antal förolyckade tärnor med antalet tärnor som flög inom vindturbinens radie erhålls en uppskattning av hur stor sannolikheten är att träffas av ett rotorblad om man flyger genom rotorområdet. I juni 2004 flög det 1 808 stycken tärnor genom rotorområdet per dag och av dessa träffades 1,6. Sannolikheten att kollidera är knappt en på tusen (Everaert & Stienen 2007).

En liknande undersökning som den i Zeebrugge fast i mer kuperad terräng, gjordes i Altamont i Kalifornien, USA. Där har man påträffat ett större antal fågelarter dödade av vindkraftverk (Smallwood & Thelander 2008). Man sökte efter kadaver upp till 50 meter ifrån vindsnurrorna och använde sig av linjetransekt i sitt sökande. Mellan mars 1998 till september 2002 ingick 1 526 vindsnurror i undersökningen och mellan november 2002 till maj 2003 utökades antalet till 2 548 stycken. Under hela undersökningsperioden påträffades 941 fåglar varav 434 rovfåglar. Efter att ha korrigerat resultatet till sökandets omfång och till asätare beräknas 2 710 fåglar ha döats varav 1 127 rovfåglar. 67 kungsörnar beräknas ha förolyckats och 348 stycken sparvfalkar (Smallwood & Thelander 2008).

Om man studerar problemet med mortalitet orsakad av vindkraftverk från ett populationsperspektiv, är det intressanta inte hur många individer av en art som dör, utan snarare möjligheten för arten att klara av att fortsätta upprätthålla sin populationsstorlek (Watts 2010). Smallwood och Thelander (2008) nämner att från den dagen då en lokal population producerar färre ungar än antalet som dödas av vindkraftverken utgör vindkraftsparken ett ekologiskt hot.

Habitatförändringar

I en jämförelse mellan fungerande snurrande vindkraftverk och stillastående vindkraftverk i Kalifornien har man funnit att förekomsten av fåglar generellt är betydligt lägre nära vindkraftverken (0-25 m från basen av vindkraftverket) under de perioder som vindkraftverken snurrar jämfört med när vindkraftverken är ur funktion. Det innebär att det kan utgöra en risk att ha trasiga vindkraftverk under en längre tid eftersom fåglar då lär sig att det går bra att vistas i rotorområdet.

Ytterligare ett sätt att minska dödlighet på grund av vindkraftkollisioner, är att ha stora avstånd mellan vindkraftgrupper. På detta sätt kan fåglar röra sig mer obehindrat utan att riskera att komma för nära en rotor (Smallwood *et al.* 2009). Med små avstånd mellan vindparkerna bildas spridningsbarriärer vilket begränsar fåglarnas framkomlighet. En nackdel med alltför tydliga och synliga vindkraftverk är att de då kommer att medföra barriäreffekter (Ödeen & Håstad 2007). Flera mindre vindkraftparker med litet avstånd från varandra kan då upplevas som en stor kraftpark där det inte går att passera obehindrat. I sådana fall kan det eventuellt vara bättre att inte ha för tydliga vindkraftverk, annars kan barriäreffekten bli stor.

För att se om fåglar påverkas av vindkraftverk har man i en studie gjord i Storbritannien under vinterhalvåret av Devereux *et al.* (2008) studerat fåglar som uppehåller sig vid två vindkraftparker ute på åkrar. Området kring varje turbin delades in i olika block. Alla blocken hade storleken 150 x 150 meter. Varje block kategoriserades efter avstånd till närmaste vindkraftverk. Mätningar slutade 750 meter från vindsnurrar. Mellan klockan 9 och 15 under totalt elva dagar, fem dagar vid ena vindkraftparken och sex dagar vid den andra var forskarna ute i fält och gjorde observationer. Observationerna gjordes endast då det blåste tillräckligt för att rotorbladen skulle snurra. Forskarna använde linjetaxering för att bestämma artinnehållet. Vid varje observation lades en 7,5 kilometer lång linjetranspekt och totalt under undersökningsperioden har man täckt av $7,5 \times 11 = 82,5$ km genom linjetaxering. De flest förekommande fåglarna som besökte området kring vindkraftverken delades in i fyra grupper; fröätare, sånglärka (*Alauda arvensis*), kråkfåglar och viltfåglar. Man fann inte något signifikant samband mellan avståndet från snurrar och förekomsten av de olika grupperna (Devereux *et al.* 2008). Vindkraftverken i denna undersökning hade en kapacitet på 2,0 MW, de var 60 meter höga och rotorbladen var 20 meter ovan mark när bladet pekade nedåt. Med andra modeller av vindkraftverk finns risken att det blir en påverkan på fåglarnas habitat. I undersökningen framkom dock att den största fågeln i testet, fasanen (*Phasianus colchicus*) tenderade att uppehålla sig i områden något längre bort från snurrorna (Devereux *et al.* 2008).

På ett 40 km² stort område beläget på norra Jylland, Danmark, landar uppemot 11 000 spetsbergsgäss (*Anser brachyrhynchus*) varje vår på väg till/från populationens häckningsplats på Svalbard. Platsen har blivit en av de allra viktigaste under vintertid för hela gåspopulationen (Larsen & Madsen 2000). Danmark är även ett av de länder i Europa som satsat mest på vindkraft och har den högsta andelen av sitt energibehov täckt av vindkraft, 20 % av landets energibehov utvinns från vindkraften (Europakommissionen 2010). Inom området där spetsbergsgässen uppehåller sig finns olika fysiska objekt vilka mer eller mindre undviks av gässen. Objekten är skog, gårdar, vägar (både några större vilka trafikerar dagligen och andra mindre som trafikerar mer sällan), vindbarriärer i form av barrträd och lövträd samt två kraftledningar. Inom området finns numera även 61 stycken vindkraftverk, de flesta arrangerade på rad. Det är inte fler än 5 stycken på ett och samma ställe förutom ett område vilket är ordnat som ett kluster bestående av 35 vindsnurror. Larson och Madsen (2000) har kategoriserat ett område som ”undviks” som: område där färre än hälften av den befintliga gåsdensiteten längst transekten uppehåller sig. Mätningar är gjorda i 25 meters intervall i vinkelräta transekt från objekten. Resultaten visar att det totala området som är ostört är endast 11 km² av totalt 40 km² (28 %) (Larsen & Madsen 2000) (Tabell 3).

Tabell 3. Olika fasta fysiska objekten inom ett område vilka undviks av fåglar samt hur stor del av hela området som objektet upptar för fåglar uträknat i area och andel av hela området. Den procentuella delen överstiger 100 % då flera objekt ligger omlott. Omgjord efter Larsen & Madsen (2000).

Objekt	Avstånd som undviks (m)	Påverkat område	
		km ²	%
<i>Enskilda objekt</i>			
Gårdar	150	10,8	27,0
Vägar			
stor	150	8,4	21,0
liten	50	4,1	10,2
Kraftledning	50	1,7	4,3
Vindbarriär	100	18,4	46,2
Vindkraftverk			
kluster	200	2,8	7,1
på rad	100	0,5	1,4
<i>Alla objekten</i>			
Exklusive vindkraftverk		27,3	68,3
Inklusive vindkraftverk		28,9	72,4

Gässen undviker ett område på 200 meter från de klusterplacerade vindsnurrorna och 100 meter från de vindsnurror som är placerade på rad, vilket innebär att klusterplacerade vindkraftverk utgör större förlust av habitat än de som är placerade på rad. De uppsatta vindkraftverken upptog en yta av 4 % vilket i sig är en förlust av habitat, men totalt blir hela 13 % av ytan obrukbar då den undviks av gässen (Larsen & Madsen 2000).

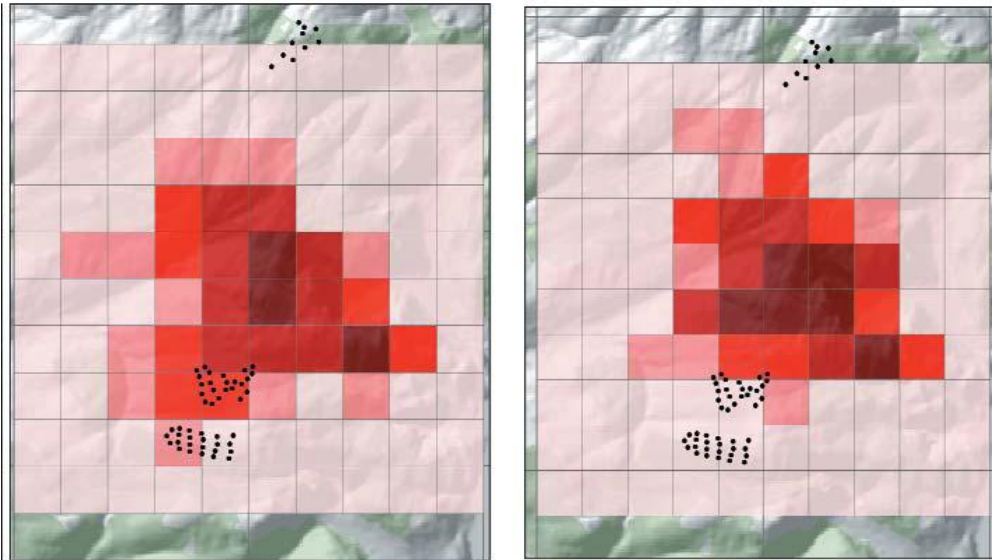
Ingen av de barriäreffekter man känner till hittills har visat någon signifikant negativ påverkan på populationer men en illa placerad vindkraftpark, exempelvis i en passage genom en dal kan få till följd att fåglar tvingas göra milsvida omvägar, vilket kostar energi (Drewitt & Langston 2006). I fallet med spetsbergsgässen på Jylland blir habitatförlusten många gånger större än själva förlusten av ytan som vindkraftverken upptar. Att habitatet blir mindre och delas upp i mer åtskilda delar är det störta hotet för biodiversiteten (Geneletti 2003).

Kungsörnen

Att undersöka hur kungsörnen (*Aquila chrysaetos*) klarar av förändringarna som sker i samband med vindkraftexploateringen är intressant ur ett svenskt perspektiv. Kungsörnen har under flera decennier varit kraftigt utrotningshotad men börjar nu återhämta sig. Kungsörnen är dock fortfarande rödlistad och finns listad i Artdatabanken under kategorin Nära hotad (Gärdenfors 2010) medan den internationellt är kategoriserad som Livskraftig (IUCN 2010). Vindkraften nämns som ett orosmoment för kungsörnen (Tjernberg 2010).

Vid ett planerat vindkraftbygge i Skottland där kungsörn uppehåller sig har man undersökt hur vindkraftverken påverkar kungsörnens flygrutter före, under och efter installationen. Man har genom punktaxering vid fyra olika platser gjort observationer åtta gånger per år från november 1997 till april 2004 (Walker *et al.* 2005). Totalt gjordes observationer under 392 timmar före bygget, 68 timmar medan bygget pågick och 316 timmar då vindkraftparken var färdigställd och i bruk. Samtliga kungsörnar som rörde sig inom området plottades på en karta. Under projektets gång fälldes även ett område med träd, cirka 280 hektar för att

kompensera för den förlust av öppen mark som vindkraftverken nu täcker. Resultatet visade att kungsörnarna efter byggnationen har kvar sitt kärnrevir men att ytterkanterna av reviret har flyttats bort från vindkraftparken till andra områden (Figur 4). Det är endast om det kommer in andra örnar i reviret som kungsörnen passerar vindkraftparken för att försvara sitt revir.



Figur 4. Före och efter vindkraftbyggnation. Vindkraftverken visas som svarta punkter. Ju mörkare ruta desto frekventare uppehåller sig kungsörnen i området. Från Walker *et al.* (2005) med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Tillgången på byten för kungsörnen har flyttats från vindkraftområdet till det nyhuggna skogsområdet. Utbudet av dalripor (*Lagopus lagopus*) har ökat sedan trädfällningen och området blir mer och mer attraktivt ju fler byten som etablerar sig i det nya området vilket gör att attraktionskraften till området kring vindkraftverken successivt minskar. Vad som är extra intressant är att kärnan av habitatet där kungsörnarna uppehåller sig inte ändras i samband med vindkraftbygget vilket tyder på att kärnan av habitatet är av stor betydelse för arten (Walker *et al.* 2005). Man vet fortfarande väldigt lite om hur kungsörnens habitat påverkas av vindkraftverk och det finns därför behov av fler studier (Fielding *et al.* 2006).

Situationen i Sverige

I en sammanställning av de arter som är funna döda kring svenska vindkraftverk fram till sommaren 2010 finns 53 fågelarter. Observationerna kommer från Jägarförbundet, några universitet och länsstyrelser, Sveriges Ornitologiska förening, Naturhistoriska riksmuseet samt observationer privatpersoner gjort på olika ställen i landet. Bland de funna arterna finns allt från småfåglar till rovfåglar och änder. Man har bland annat hittat 12 stycken röd glador (*Milvius milvius*), 3 stycken berguvar (*Bubo bubo*), 3 stycken ormvråkar (*Buteo buteo*) samt 13 stycken havsörnar (*Haliaeetus albicilla*) (Ahlén 2010). En fullständig lista över påträffade arter finns i Appendix 1.

För att kunna säga något mer definitivt om hur många arter det rör sig om måste mer forskning utföras. I och med att fågelkadaver utgör föda för rovdjur, till exempel varg måste man kontrollera området både morgon och kväll för att kunna göra en korrekt uppskattning av mortaliteten (Ahlén 2010). De förolyckade fåglarna som påträffats har hittats vid 25 % av de

granskade vindkraftverken (Ahlén 2010) vilket innebär att vissa vindmøllor orsakar större fågeldöd än andra, det innebär att platsen för vindkraftverk är av stor betydelse.

Diskussion

Att fåglar lättare kan urskilja vindkraftverk än vad människan klarar av är kanske inte svårt att tänka sig om man minns att fåglar kan uppfatta ett större ljusspektrum än vad vi människor kan (Hart 2001). I och med att fåglar är uppdelade i två fysiologiskt skilda ögongrupper (Ödeen & Håstad 2007) blir det svårt att hitta kontraster som passar alla fågelarter. Svårigheten med att få vindmøllorna att synas tydligt för fåglar beror på rörelseoskärpa och att den kontrast vindkraftverken utgör mot bakgrunden skiljer sig åt beroende på vilken vinkel fågeln närmar sig ifrån, samt beroende på rådande väderlek (Ödeen & Håstad 2003). Från en vinkel kan en färg på vindkraftverken vara optimal medan det från en annan vinkel är en annan färg som är bäst lämpad. Den färgkonstellation som syns bäst för fåglar, efter vad som är känt idag, är att ha ett svartmålat rotorblad och de två övriga vitmålade (Hodos 2003).

Den färg som lockar till sig minst mängd insekter och därmed också fladdermöss och fåglar är lila (Long *et al.* 2010). Det är alltså väldigt svårt att besluta om en färg som är bäst från alla utgångspunkter och från olika synvinklar. Däremot kan man fråga sig hur mycket fåglarna är ute och flyger under dåliga väderförhållanden. Är det låg flygaktivitet behöver man inte ta hänsyn till hur fåglar uppfattar färger i dessa väder. Mer forskning inom området kring hur vindkraftverk kan anpassas till fåglar vad gäller färg och mönster behövs (Hodos 2003, Ödeen & Håstad 2003, Long *et al.* 2010).

Mindre fåglar räds inte att uppehålla sig i närheten av vindkraftverk. Man ser ingen minskning i förekomst av en art ju närmre vindkraftverket man är (Devereux *et al.* 2008). Att större fåglar, till exempel fasan och kungsörn, undviker att uppehålla sig kring vindkraftverken (Walker *et al.* 2005, Devereux *et al.* 2008) innebär att vindkraftparker kan fungera som en frizon för mindre fåglar. Det är kanske just därför småfåglar väljer att uppehålla sig nära vindsnurrorna?

De uppgifter om döda fåglar som kolliderat med vindkraftverk bygger på kadaver funna kring vindmøllor. Dessa uppgifter är korrigerade för påverkan från asätare och från otillgänglig sökterräng men är ändå inte helt tillförlitliga. Mindre fåglar kan krossas av vindkraftverken så pass att det helt enkelt inte går att hitta dem, därför går det inte att uppge ett helt säkert värde (Everaert & Stienen 2007). För att få en exakt uppfattning skulle man behöva granska vindkraftverken hela tiden under en längre period, vilket är mycket arbetskrävande.

Vikten av att välja en bra plats för vindkraftparker, där ordentliga undersökningar om lämpligheten är utförda, är av stor betydelse för fåglar (Barrios & Rodriguez 2004, Everaert & Stienen 2007, Tjernberg 2010). Risken med vindkraftverk är att de bildar barriärer i fåglars habitat, detta kan vara det största hotet som vindkraften har på naturen. Habitatfragmentering ger stor negativ inverkan på arters levnadsmiljö (Geneletti 2003). Örnar och fladdermöss har låg reproduktionshastighet vilket kan innebära att även en liten minskning i populationsstorlek övertid kan ge stor påverkan på arten.

Det kan finnas en fördel med att placera vindkraftverk där människan redan skapat störning för att på så sätt förhindra att skapa störningar på nya platser. En nackdel är dock att man skapar ett område som störs än mer vilket utgör en ännu kraftigare spridningsbarriär, inte bara för fåglar utan även för andra djur och växter vilka får svårt att sprida sig. Kollisionsrisken

verkar inte var det största hotet som vindkraften utgör utan det största hotet är habitatminskningen. Men man får sätta detta problem i relation till alternativen till vindkraft. Vilka andra energikällor skulle då behövas – kol, olja? Att minska eller effektivisera världens energibehov är önskvärt men innan det är uppnått behövs energi. Användandet av vindkraft är ett miljövänligt energialternativ men innan uppsättande av nya vindkraftparker måste man försöka minimera vindkraftens bieffekter. Till exempel val av placering och vägar fram till vindsnurrorna som negativt påverkar habitatet och som på lång sikt även i värsta fall kan ha en negativ inverkan på populationsstorlekar.

Tack

Stort tack till studenterna Petter Persson och Nina Brunåker för kommentarer på uppsatsens innehåll, upplägg och språk. Jag vill även passa på att tacka Oscar Hagberg som varit ett allsidigt bollplank under arbetets gång, Anders Ödeen på Zoökologen vid Uppsala universitet för tips om artiklar samt sist men absolut inte minst min handledare Katariina Kiviniemi Birgersson, tack.

Referenser

- Ahlén I. 2010. Fågelarter funna under vindkraftverk i Sverige. *Vår fågelvärld* **69**: 8-11.
- Gärdenfors U. 2010. Rödlitade arter i Sverige 2010. – The 2010 Red list of Swedish species. Artdatabanken, SLU, Uppsala.
- Barrios L, Rodriguez A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* **41**: 72-81.
- Bevanger K, Follestad A, Halley D, Nygård T, Reitan O, Johnsen L, Steinheim Y, Desholm M, Langston R, Håstad O, Røskaft E. 2006. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway. Project proposal 8 juni. Norska institutet för Natur research, Trondheim, Norge.
- Devereux CL, Denny MJH, Whittingham MJ. 2008. Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. *Journal of Applied Ecology* **45**: 1689-1694.
- Drewitt AL, Langston RHW. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* **148**: 29-42.
- Eklom R. 2007 Ny vår för fågelinventeringar en översikt av de vanligaste metoderna för att inventera fåglar. Sveriges Ornitologiska Förening.
- Energimyndigheten. 2010. Vindkraftsstatistik 2009. ES 2010:03.
- Europakommissionen. 2010. Guidance document, Wind energy developments and Natura 2000. WWW-dokument 2010-10: http://ec.europa.eu/energy/renewables/wind_energy/doc/guidance_wind_farms.pdf. Hämtad 2010-12-09.
- Everaert J, Stienen EWM. 2007. Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). *Biodiversity and Conservation* **16**: 3345-3359.
- Fielding AH, Whitfield DP, McLeod DRA. 2006. Spatial association as an indicator of the potential for future interactions between wind energy developments and golden eagle *Aquila chrysaetos* in Scotland. *Biological conservation* **131**: 359-369.
- Geneltti D. 2003. Biodiversity impact assessment of roads: an approach based on ecosystem rarity. *Environmental impact assessment review* **23**: 343-365.
- Hart NS. 2001. The visual ecology of avian photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research* **20**: 675-703.
- Hodos W. 2003. Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. Subcontractor report NREL/SR-500-33249. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.
- IUCN. 2010. IUCN Red list of Threatened Species. WWW-dokument 2010-4: www.iucnredlist.org. Hämtad 2010-12-03.
- Kuvlesky WP, Brennan LA, Morrison ML, Boydston KK, Ballard BM, Bryant FC. 2007. Wind energy development and wildlife conservation: Challenges and opportunities. *Journal of wildlife management* **71**: 2487-2498.
- Langston RHW, Pullan JD. 2003. Windfarms and birds: an analysis of the effects of windfarm on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Standing Committee), Council of Europe, Strasbourg, Frankrike.
- Larsen JK, Madsen J. 2000. Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): A landscape perspective, *Landscape Ecology* **15**: 755-764.
- Long CV, Flint JA, Lepper PA. 2010. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research*. Doi: 10.1007/s10344-010-0432-7.
- Smallwood KS, Thelander C. 2008. Bird mortality in the Altamont Pass wind resource area, California. *Journal of wildlife management* **72**: 215-223.

- Smallwood KS, Rugge L, Morris ML. 2009. Influence of Behavior on Bird Mortality in Wind Energy Developments. *Journal of wildlife management* **73**: 1082-1098.
- Tjernberg M. 2010. *Aquila chrysaetos*, kungsörn. ArtDatabanken, SLU.
- Walker D, McGrady M, McCluskie A, Madders M, McLeod DRA. 2005. Resident Golden Eagle ranging behavior before and after construction of a windfarm in Agryll. *Scottish Birds* **25**:24-40.
- Watts BD. 2010. Wind and waterbirds: Establishing sustainable mortality within the Atlantic Flyway. Center for Conservation Biology Technical Report Series, CCBTR-10-05. Collage of William and Mary Commonwealth University, Williamsburg.
- Ödeen A, Håstad O. 2003. Complex Distribution of Avian Color Vision Systems Revealed by Sequencing the SWS1 Opsin from Total DNA. *Molecular Biology and Evolution* **20**: 855-861.
- Ödeen A, Håstad O. 2007. Havsbaserad vindenergi ur ett fågelperspektiv – kraftverkens synlighet för fågelögat. Naturvårdsverket, Stockholm.

Appendix 1

Tabell 1: Funna fåglar förolyckade av svenska vindkraftverk fram till 2010. (-) = ingen uppgift om antal. Omgjord efter (Ahlén 2010).

Svenskt artnamn	Latinskt artnamn	Antal funna individer
Duvhök	<i>Accipiter gentilis</i>	1
Sånglärka	<i>Alauda arvensis</i>	-
Stjärtand/skedand	<i>Anas acuta/clypeata</i>	-
Kricka	<i>Anas crecca</i>	-
Gräsand	<i>Anas platyrhynchos</i>	-
Snatterand	<i>Anas strepera</i>	-
Grågås	<i>Anser anser</i>	-
Tornseglare	<i>Apus apus</i>	-
Kungsörn	<i>Aquila chrysaetus</i>	-
Vitkindad gås	<i>Branta leucopsis</i>	-
Berguv	<i>Bubo bubo</i>	3
Ormvråk	<i>Buteo buteo</i>	3
Fjällvråk	<i>Buteo lagopus</i>	1
Altfågel	<i>Clangula hyemalis</i>	-
Skogsduva	<i>Columba oenas</i>	-
Ringduva	<i>Columba palumbus</i>	-
Korp	<i>Corvus corax</i>	-
Kråka	<i>Corvus corone</i>	-
Råka	<i>Corvus frugilegus</i>	-
Knölsvan	<i>Cygnus olor</i>	-
Hussvala	<i>Delichon urbica</i>	-
Större hackspett	<i>Dendrocopos major</i>	-
Gulsparv	<i>Emberiza citrinella</i>	-
Rödhake	<i>Erithacus rubecula</i>	-
Bofink	<i>Fringilla coelebs</i>	-
Enkelbeckasin	<i>Gallinago gallinago</i>	-
Strandskata	<i>Haematopus ostralegus</i>	-
Havsörn	<i>Haliaeetus albicilla</i>	13
Ladusvala	<i>Hirundo rustica</i>	-
Havstrut	<i>Larus marinus</i>	-
Skrattmå	<i>Larus ridibundus</i>	-
Gråtrut	<i>Larus argentatus</i>	-
Fiskmå	<i>Larus canus</i>	-
Silltrut	<i>Larus fuscus</i>	-
Röd glada	<i>Milvus milvus</i>	12
Storspov	<i>Numenius arquata</i>	-
Fiskgjuse	<i>Pandionhaliaetus</i>	2
Storskarv	<i>Phalacrocorax carbo</i>	-
Fasan	<i>Phasianus colchicus</i>	-
Lövsångare	<i>Phylloscopus trochilus</i>	-
Ljungpipare	<i>Pluvialis apricaria</i>	-
Järnsparv	<i>Prunella modularis</i>	-
Kungsfågel	<i>Regulus regulus</i>	-
Morkulla	<i>Scolopax rusticola</i>	-
Ejder	<i>Somateria mollissima</i>	-
Fisktärna	<i>Sterna hirundo</i>	-
Kattuggla	<i>Strix aluco</i>	1
Rödbena	<i>Tringa totanus</i>	-
Koltrast	<i>Turdus merula</i>	-

Taltrast	<i>Turdus philomelos</i>	-
Björktrast	<i>Turdus pilaris</i>	-
Tofsvipa	<i>Vanellus vanellus</i>	-
