UPPSALA
UNIVERSITET

Hur påverkar vindkraft djurlivet?

Philippa Björk

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2015
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag
Vindkraft är en kraftigt växande energikälla där målet i Sverige är att tredubbla den producerade energin till 2020. Precis som med all annan form av mänsklig påverkan riskerar vindkraftverk att orsaka skador på naturen, inte minst påverkas djurlivet. Förutom den uppenbara risken för kollisioner med flygande djur så skadas fladdermöss av tryckförändringar runt vindkraftverken och fiskar påverkas av ljudet under vattenytan. Det finns alltså en tydlig påverkan av vindkraft på djurlivet. Då vindkraft är ett miljövänligt sätt att skapa elektricitet ligger utmaningen i att hitta sätt och metoder för att få djurlivet och vindkraftverken att fungera tillsammans. Det finns metoder som kan underlätta för djurlivet, nackdelen är att det oftast är metoder som är dyra eller kräver stora omställningar. Det är troligtvis därför dessa inte används i någon större utsträckning idag. Detta leder till att vindkraft är farligare för djurlivet än den behöver vara, framförallt för fåglar och fladdermöss. I den här uppsatsen kommer jag att ta upp hur djurlivet allmänt påverkas av vidkraftverk och sen studera påverkan på tre specifika djurgrupper; fåglar, fladdermöss och fiskar. Jag kommer också att diskutera tekniker som kan användas för att minska den skadliga påverkan samt väga olika intressen mot varandra. För att vindkraften i framtiden ska skada djurlivet mindre är det viktigt att ta fram skyddsmetoder och ny teknik där den ekonomiska lönsamheten inte minskar.

Inledning
Människan har länge ändrat sin omgivning genom att skapa byggnader och strukturer som förändrar naturen vilket riskerar att påverka växter, djur och andra organismer. Det finns många exempel på mänskliga uppfinningar som haft miljöpåverkan, från plast som hamnar i haven och där orsakar skador (Derraik 2002) till att fåglar kolliderar med fönsterglas och andra strukturer av glas (Johson & Hudson 1976). En av dessa strukturer som nu påverkar omgivningen och naturen är vindkraftverk som är en starkt växande metod för att utvinna elektricitet.

Vid slutet av 2014 fanns det enligt branchorganisationen Svensk Vindenergi 3048 vindkraftverk i Sverige, vilket enligt deras prognos kommer öka till 3270 vid slutet av 2015 (Svensk Vindenergi 2015). Användningen av vindkraft för elutvinning ökar i Sverige och regeringen har som mål att öka produktionen till 30 TWh till 2020 (Regeringskansliet 2015) vilket är 3 gånger mer än dagens utvinning (Svensk Energi 2015). Ökande elproduktion från vindkraft sker globalt och under 2013 producerades totalt 318105 MW från vindkraft medan det tio år tidigare endast producerades 39431MW (Global Wind Energy Council 2014). Det är en ökning på mer än 800 % vilket tydligt visar på att vindkraftverk är ett sätt att utvinna energi som ökar kraftigt. Vindkraftverken blir inte bara fler, utan de görs ofta större idag än tidigare eftersom de då blir mer lönsamma och kan generera mer el. Med större vindkraftverk blir även utsläpp och andra föroreningar i samband med byggandet mindre då de kan producera mer el relativt mot utsläppen och då kompensera för de stora utsläppen vid byggandet (Caduff *et al.* 2012).

Vindkraft bidrar inte till utsläpp av växthusgaser (Saidur *et al.* 2011), men precis som med all annan mänsklig bebyggelse finns givetvis risken att det påverkar naturen och levande organismer på något sätt. Det är känt att vindkraft påverkar djurlivet och då det är en expanderande elutvinningskälla har debatten väckts kring hur stor denna påverkan egentligen är (Dai *et al.* 2015, Tabassum-Abbasi *et al.* 2014). Det är lätt att tänka sig hur vindkraftverk med sina roterande turbiner kan skada fåglar om de flyger in i dem. Men det har visat sig att vindkraftverk påverkar djurlivet i omgivningen även på andra sätt. Till exempel kan

fladdermöss skadas genom tryckförändringar i luften runt vindkraftverken (Baerwald *et al.* 2008) och fiskar kan påverkas framförallt av höga ljud i vattnet vid byggandet av vindkraftverk till havs (Slotte *et al.* 2004).

Syftet med den här uppsatsen är att sammanställa hur vindkraft påverkar djurlivet och vad som kan göras för att minimera denna påverkan, både vid nybyggnad och vid drift av vindkraftverk. Först kommer jag beskriva generella störningar av vindkraft på djurliv för att sedan granska hur tre olika djurgrupper påverkas. De tre grupperna fåglar, fladdermöss och fiskar är valda då de alla påverkas av vindkraft samt att det finns forskning gjord på dem. Slutligen kommer jag gå in på vad som kan göras för att minimera skadorna utan att i för stor utsträckning minska lönsamheten i att använda vindkraftverk.

Generella störningar av vindkraft

I början av vindkraftverkens historia låg fokus inte på hur de påverkade sin omgivning, utan snarare vad människor tyckte om vindkraftsverkens utseende (Thayer & Freeman 1987). Det var först senare som det istället fokuserades på vilka eventuella störningar som skulle kunna komma att uppstå. Det finns olika sätt som vindkraft kan påverka djurlivet, antingen direkt genom dess fysiska placering eller indirekt då det till exempel avger ljud som kan påverka djurlivet. För ett bergsområde i Portugal gjordes en simulering, baserad på data från platsen under två års tid, av förändringar i artrikedomen hos vertebrater vid byggnationen av en vindkraftspark. Efter vindkraftverken byggts visar simuleringen på en minskning i artrikedom av vertebrater som främst verkar bero på störning och inte att de exempelvis dödats vid kollision med rotorerna (Santos *et al.* 2010). En annan studie har jämfört förekomsten av tättingar på områden med och utan vindkraftverk och också kommit fram till det är färre som lever vid vindkraftverken till följd av generella störningar och inte kollisioner eller någon tydlig direkt påverkan (Leddy *et al.* 1999). Dessa studiers visar på att det finns någon form av generella störningar från vindkraftverk som påverkar djurlivet.

Ljud

Påverkar ljud människor är det ju rimligt att tänka att det även påverkar djur då alla vertebrater har liknande inneröron (Hudspeth 1989). Det har genomförts många studier som visar att människor upplever ljudet från vindkraftverk som störande (Bakker *et al.* 2012, Pedersen *et al.* 2009, Pedersen & Waye 2004, 2007). Förutom att ljudet upplevs som störande kan det orsaka psykiska påfrestningar och till exempel sömnsvårigheter.(Bakker *et al.* 2012). Enligt Naturvårdsverkets riktlinjer ska ljudnivån från vindkraftverk inte vara högre än 40 dB i bostadsområden förr att det inte ska upplevas som störande och riskera att vara skadligt. Dessa begränsningar gäller inte områden som är obebyggda, men viktiga områden för friluftsliv som inte störs av annat ljud, som från vägar, rekommenderas att ha ljudnivåer under 35 dB (Naturvårdsverket 2015).

Det som står för den största delen av ljudstörningen är det aerodynamiska ljudet, vilket är det ljud som uppstår när rotorbladen rör sig i luften. Det finns många olika faktorer som påverkar styrkan av det aerodynamiska ljudet så som i vilken vinkel rotorbladen är ställda och med vilken hastighet de roterar. Det finns flera olika sätt som det aerodynamiska ljudet kan uppstå. Rotorbladen tillsammans med vinden skapar ljud både vid den tjockare delen av rotorbladen som är riktade inåt och vid den smalare delen som är riktad utåt. Sen skapas även visst ljud som kommer av att tornet och rotorbladen interagerar så att ljud kan bildas, vilket dock inte är

speciellt högt. Det är inte helt fastställt vilken del av rotorbladen som orsakar störst del av det aerodynamiska ljudet (Oerlemans *et al.* 2007). Vissa ljudstörningar kan komma från det mekaniska ljudet från vindkraftverk, främst från generatorn. Moderna vindkraftverk ger ifrån sig lägre mekaniskt ljud än tidigare konstruktioner och är oftast inte något som orsakar större störningar. Precis intill ett vindkraftverk kan det enbart från det mekaniska ljudet tillfälligt fås ljudnivåer på över 100 dB, vid vindhastigheter över 8 m s^{-1}, men detta avtar snabbt med avståndet. Ljudet ökar med ökad längd på rotorbladen vilket betyder att vindkraftverk som producerar mer el även låter mer då de har större rotorblad (Tabassum-Abbasi *et al.* 2014).

Ljus

En annan faktor som kan påverka omgivningen är ljus som reflekteras och skuggor från vindkraftverken (Saidur *et al.* 2011). Precis som för ljud är det rimligt att tänka sig att något som påverkar människor även påverkar djur, även om det inte nödvändigtvis är på samma sätt. Själva tornet till vindkraftverken kan reflektera solskenet och på så sätt koncentrera ljussken till samma ställe vilket kan vara störande. Det kallas disco-effekten och går att undvika genom att göra tornet i ett material som inte reflekterar (Saidur *et al.* 2011).

När solen skiner skapar rotorbladen flimrande skuggor när de roterar som kan upplevas som störande eller i vissa möjligen framkalla epileptiska anfall hos människor (Harding *et al.* 2008). Ju snabbare turbinen roterar ju snabbare flimrar skuggorna vilket ger större störning samt risk för epileptiska anfall. Flera vindkraftverk på ungefär samma plats ökar också frekvensen av skuggorna vilket förstärker effekten (Harding *et al.* 2008). Skuggorna når långt och från ett vindkraftverk med 22 meter långa rotorblad syns skuggorna upp till ett avstånd 4,8 km. Skuggbildning varierar mellan olika dagar, tider på året och under dygnet (Katsaprakakis 2012).

Habitatsförändringar och barriärer

Byggandet av vindkraftverk kan lokalt påverka habitaten för olika djur, vilket dock troligtvis inte borde vara ett större problem (Langston & Pullan 2003). Att själva området görs otillgängligt genom byggande av vindkraftverk påverkar givetvis de djuren som lever just där då deras levnadsmiljö förstörs, vilket framförallt är ett problem om det exempelvis berör arter som redan hotas av andra faktorer. Det största problemet med byggandet av vindkraftverk är istället att det skapar barriärer vilket kan leda till habitatfragmentering (Kuvlesky *et al.* 2007). Det är inte bara något som byggandet av vindkraft orsakar, utan det är snarare en generell störning till följd av mänsklig påverkan i form av byggnationer. Även vägar bidrar till att habitat fragmenteras och riskerar att förstöras (Saunders *et al.* 2002), något som även kan vara aktuellt när det handlar om vindkraft eftersom det krävs vägar till och från vindkraftverken.

Områden med vindkraft riskerar att skapa barriärer genom att de gör att djur inte kan ta sig fram som de annars skulle gjort. Barriäreffekten är mest studerad hos fåglar som flyttar och ger problem i form av att de tvingas flyga längre för att nå sitt mål, eftersom de tvingas undvika vindkraftverk (Drewitt & Langston 2006). En studie på ejder (*Somateria mollissima)* gjord söder om Danmark efter att det på ett område byggts 72 vindkraftverk visade att ejdrarna undvek området och istället flög 500 m extra (Masden *et al.* 2009). Det är inte speciellt mycket extra, men om det sker runt varje område med vindkraftverk blir det snart en längre sträcka. Drewitt & Langston (2006) har sammanfattat olika studier och sett att avståndet som fåglar undviker vindkraftverk med varierar mellan 100 meter till närmare 3

kilometer. Det skulle kunna betyda att barriäreffekten kan påverka olika arter olika mycket. Även vissa fladdermöss migrerar (Ahlén *et al.* 2009) vilket borde kunna betyda att vinskraftverk även skulle kunna ha samma påverkan på fladdermöss. Även andra djurgrupper skulle kunna tänkas undvika vindkraftverk vilket då gör landskapet fragmenterat, men det har inte studerats speciellt mycket. En studie gjord i USA tyder dock på att stora klövdjur inte verkar påverkas av vindkraftverk i sin utbredning (Walter *et al.* 2006).

Påverkan på djurgrupper

Förutom de generella störningarna som i olika grad påverkar alla djur så kan vindkraft även ha ytterligare effekter på olika djurgrupper eller arter. I den här uppsatsen kommer jag att ta upp tre djurgrupper och beskriva hur dessa specifikt påverkas av vindkraft.

Fåglar

Den första djurgruppen där skador orsakade av vindkraftverk studerades var fåglar, kanske främst för att det är lätt att tänka sig hur de påverkas genom kollisioner med turbinerna. För att fungera krävs det att vindkraftverk byggs där det är öppet och blåsigt, till exempel längs kuster. Dessa platser kan ofta även vara platser som fåglar använder när de flyttar eller häckar. Detta gör då att fåglarna ofta befinner sig på samma platser som vindkraftverken byggs på vilket ökar risken för att de skadas (Drewitt & Langston 2006).

Fåglar som flyger riskerar att kollidera med vindkraftverk och kan få skador eller dö av att flyga in i själva turbinen, men även resten av vindkraftverket så som fundament, maskinhus eller torn kan orsaka skador vid en kollision (Drewitt & Langston 2006). Flera studier har gjorts i olika delar av världen om mortalitet orsakad av vindkraftverk. Detta har mätts på olika sätt, ofta antingen per vindkraftverk, per område eller per produceras enhet elektricitet. Erickson *et al.* använde 116 studier från USA på mortalitet orsakad av vindkraftsverkskollisioner hos tättingar. 0 till 18,54 tättingar dog per producerad MW och år (Erickson *et al.* 2014). Smallwood & Thelander studerade istället en vindkraftpark, också den i USA, och kom fram till att årligen dör minst 1127 rovfåglar och 2710 andra fåglar i den parken, men troligen så mycket som det dubbla antalet rovfåglar och 11520 andra fåglar (Smallwood & Thelander 2008). Everaert & Stienen studerade antalet döda fåglar i ett område i Belgien med resultatet att varje vindkraftverk dödade 20, 9 respektive 19,1 fåglar de två år deras studie ägde rum (Everaert & Stienen 2006). Enligt en uppskattning gjord av Loss *et al.* så skulle det varje år i USA dö mellan 140000 och 328000 fåglar. Det motsvarar i medelvärde 5,25 döda fåglar per vindkraftverk och år (Loss *et al.* 2013). Enligt en global sammanfattning av Naturvårdsverkets ligger medianvärdet för dödade fåglar på 2,3 per vindkraftverk och år. Dock är det svårt att få ett egentligt värde som på ett korrekt sätt beskriver alla vindkraftverken då antalet döda på vissa verk är få eller noll medan det på andra är väldigt många (Rydell *et al.* 2011). Även om siffrorna varierar så visar dessa studier tydligt att vindkraftverk dödar fåglar.

Det finns en rad olika faktorer som kan tänkas påverka hur många kollisioner som sker och vissa av dem är väl undersökta medan andra mer är spekulationer. En studie har undersökt hur väl bedömningar om miljöpåverkan innan byggande av vindkraftverk stämmer överens med den faktiska påverkan. Resultatet visade på att förutsägelsen, som i princip bara bygger på fågeltätheten i området, ofta inte alls stämde överens med resultatet (Ferrer *et al.* 2012). Just tätheten av fåglar är en faktor där olika studier har fått olika resultat. En studie visar att

antalet kollisioner är störst när det finns flest fåglar i området (Barrios & Rodríguez 2004) medan en annan visar att antalet inte beror på tätheten (De Lucas *et al.* 2008). Detta visar på att det ofta är svårt att förutse vilka faktorer som påverkar kollisionsrisken då mycket beror på varje enskilt fall.

Olika fågelarter löper olika stor risk att skadas av vindkraftverk. Större fåglar har generellt sett svårare att navigera undan från ett hinder (Drewitt & Langston 2006). Till exempel gjordes en undersökning i Storbritannien där den vanligaste dödsorsaken för svanar var, 22 respektive 23 % för vuxna och juvenila, att flyga in i olika objekt (Brown *et al.* 1992). Vissa fågelarter förlitar sig mer på vindar än aktiv flygning när de flyttar och har då sämre manövreringsmöjligheter vilket ökar risken för att kollidera med objekt (Pennycuick 1998). En viktig faktor när det gäller kollisioner är att fåglar dras till upplysta byggnader när det annars är mörkt, något som varit känt länge (Avery *et al.* 1976, Cochran & Graber 1958). Framförallt i områden längs kuster verkar byggnader med ljus utgöra en stor risk för fåglar (Hüppop *et al.* 2006). Enligt transportstyrelsen måste vindkraftverk i Sverige ha varningsljus. Vindkraftverk under 150 meter ska ha ett blinkande rött ljus när det är mörkt medan vindkraftverk med en högre totalhöjd ska förses med ett blinkande vitt ljus dygnet runt (Transportstyrelsen TSFS 2010:155). Dessa regler finns till med människors flygsäkerhet i åtanke och det är troligtvis inte den bästa lösningen med fåglars flygsäkerhet i åtanke istället. Årstiden påverkar också antalet skadade eller döda fåglar då majoriteten av olyckorna sker under tiden fåglarna flyttar (Crawford & Engstrom 2001). Höjden på byggnaderna påverkar hur många fåglar som kolliderar med dem och det verkar som att högre torn ökar risken för kollisioner (Crawford & Engstrom 2001). Det är alltså flera olika faktorer som påverkar hur skadligt varje enskilt vindkraftverk är för fåglarna och det är inte heller helt klart hur alla dessa faktorer faktiskt påverkar eller om vissa av faktorerna i sin tur kan påverkas av varandra.

Fåglar kan såklart försöka undvika att flyga in i vindkraftverk genom att styra undan, antingen genom att väja undan från områden med vinkraftverk eller genom att undvika enskilda vindkraftverks rotorblad. Att undvika hela området med vindkraftverk kallas för makro-undvikande. En studie har studerat hur fåglar beter sig på nära avstånd till ett vindkraftverk och hur stor del som gör ett försök att undvika vindkraftverket, ett så kallat micro-undvikande, vilket i medel var 96,9 % (Everaert 2014). Det betyder att endast 3,1 % av förbipasserande fåglar ens riskerade att kollidera med vindkraftverket då resten väjt undan. I en studie på gäss och änder var det endast 1 % av alla fåglar som passerade förbi som hade en risk att kollidera med vindkraftverken (Desholm & Kahlert 2005). Även en annan studie, vilken gjordes på rovfåglar, visar på att antalet fåglar som befinner sig i ett område minskar om det byggs vindkraftverk på platsen(Baerwald *et al.* 2008) (Garvin *et al.* 2011). Att fåglar undviker platser med vindkraftverk hindrar kollisioner, men istället bildar områdena barriärer vid fåglars migration. Det skulle kunna leda till en högre energiåtgång och minskad överlevnad för fåglarna (Dai *et al.* 2015). Regn eller dimma är två faktorer som ökar risken för kollisioner då det minskar sannolikheten att fåglarna ska uppfatta vindkraftverket i tid för att väja undan. Förutom försämrade möjligheter att upptäcka vindkraftverken så tvingar dimma och regn fåglarna att flyga på lägre höjd, vilket ökar risken för kollisioner då de riskerar att komma i nivå med rotorerna (Drewitt & Langston 2006).

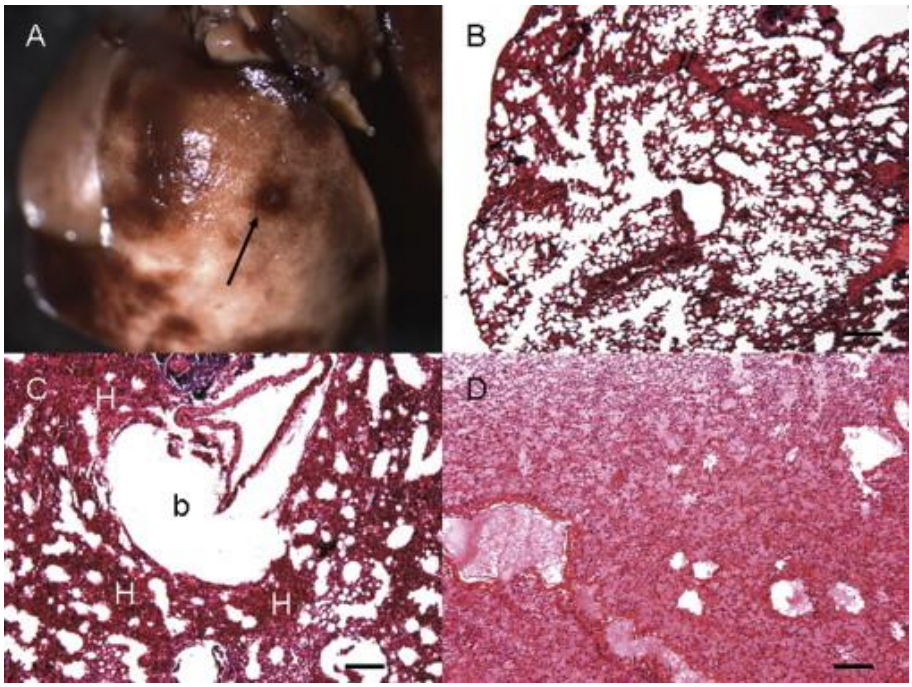
Det är svårt, näst intill omöjligt, att faktiskt räkna det exakta antalet dödade fåglar vid vindkraftverk och ofta används metoder som både baseras på sökningar i området kring vindkraftverket och uppskattningar. Vanligast är att sökningar kompletteras med en uppskattning av antalet döda fåglar som inte hittats eller som ätits upp av asätare baserat på matematiska modeller (Smallwood 2007). I princip alla studier av fåglars mortalitet vid

vindkraftverk kompenserar för de fåglar som inte hittas, men de kan använda sig av lite olika modeller för att göra uppskattningen. En annan sak som bör has i åtanke när man pratar om dödligheten hos vindkraftverk är att all form av mänskliga bebyggelser påverkar djurlivet. En uppskattning av antalet döda fåglar i USA och Kanada till följd av kollisioner med höga master av olika slag, så som radiomaster, kom fram till att 6,8 miljoner fåglar dör varje år (Longcore *et al.* 2012). Det är ett mycket större antal än de som dör av kollisioner med vindkraftverk. Troligen finns det dock färre vindkraftverk än höga torn.

Fladdermöss

Fladdermöss kan precis som fåglar skadas av själva rotorbladen, fundament eller liknande på vindkraftverken, men kan dessutom drabbas av så kallat barotrauma (Baerwald *et al.* 2008). Barotrauma innebär att skillnader i tryck skadar luftfyllda vävnader, så som lungor, tarmar eller bihålor. För fladdermöss är främsta skadeorsaken att det bildas blödningar eller luftfickor som spricker i lungorna (Baerwald *et al.* 2008, Biörklund 2015) (Figur 1). I luften runt vindkraftverk är det lägre tryck än annars vilket gör att när fladdermöss flyger i närheten av vindkraftverk riskerar de barotrauma (Baerwald *et al.* 2008). Barotrauma verkar inte alls drabba fåglar i samma utsträckning (Baerwald *et al.* 2008). Det finns ingen egentlig teori om varför inte fåglar drabbas, men som exempel kan nämnas att lungorna hos fladdermöss och fåglar ser olika ut (Piiper & Scheid 1972) vilket skulle kunna vara en möjlig anledning till att fåglar inte drabbas.

Det råder delade åsikter om huruvida barotrauma står för en stor del av fladdermöss dödsfall runt vindkraftverk eller inte. I en studie i Kanada hade 57 % av de döda fladdermössen vid vindkraftverken tecken i lungorna som tyder på att de ha drabbats av barotrauma utan någon form av fysiska skador från en kollision med vindkraftverket, till exempel brutna vingar eller sår. 34 % av fladdermössen hade både tecken på barotrauma och fysiska skador. Det var bara 8 % som endast hade fysiska skador utan tecken på barotrauma (Baerwald *et al.* 2008). En annan studie har undersökt metoderna för att upptäcka tecken på att fladdermöss dött av barotrauma och kommit fram till att många olika faktorer, så som exempelvis tid innan obduktion, kan påverka dessa tecken och eventuellt felaktigt påvisa barotrauma trots att tecknen egentligen uppstått post mortem (Rollins *et al.* 2012). Baserat på sin studie ifrågasätter då Rollins *et al.* om andelen fladdermöss som egentligen dör av barotrauma är så pass stor som Baerwald *et al.* påstår. En tredje studie kom fram till att det var svårt att avgöra vad fladdermössen runt vindkraftverken dött av då de flesta hade både fysiska skador samt drabbats av barotrauma (Grodsky *et al.* 2011). Sammanfattningsvis kan sägas att barotrauma förekommer hos fladdermöss i anslutning till vindkraftverk men att det ännu är oklart och omdebatterat hur stor fara det egentligen innebär.



Figur 1. Barotrauma i fladdermuslungor. (A) Lunga från *Lasionycteris noctivagans* med flera inre blödningar och en sprucken luftficka (pilen) till följd av barotrauma. (B) Normal lunga från *L. noctivagans.* (C) Lunga från *Eptesicus fuscus* drabbad av barotrauma med blödningar (H) och luftficka (b). (D) Lunga från *L. Cinereus* med brutna ben och vätskefylld lunga. Bild från Baerwald *et al.* (2008) med tillstånd.

Fladdermöss lokaliserar sig med ekolokalisering och beroende på storleken på objektet tar det olika tid för fladdermössen att upptäcka det (Grinnell & Griffin 1958). För rotorblad med en hastighet på 75 m/s ger det fladdermöss en reaktionstid på 0,25 sekunder för att undvika skador antingen från själva rotorbladet eller från barotrauma (Grodsky *et al.* 2011). Det gör att även många fladdermöss träffas av själva rotorbladen. En studie i USA uppskattar antalet döda fladdermöss till 1,78 per vindkraftverk och år (Johnson *et al.* 2003). I en sammanfattande studie av olika europeiska studier kom Rydell *et al.* (2010) fram till att olika många fladdermöss skadas i olika miljöer. I låga och platta miljöer var antalet dödade fladdermöss per år mellan 0-3 för varje vindkraftverk medan det i mer varierande miljöer så som jordbrukslanskap var mellan 2-5. Högst antal dödade fladermöss hade vindkraftverk placerade längs kuster eller skogskanter, där dog 5-20 fladdermöss per vindkraftverk och år (Rydell *et al.* 2010).

En studie har iakttagit ett stort antal av fladdermöss runt vindkraftverk genom att analysera filmer av aktiviteten runt vindkraftverk under natten. En teori till det höga antalet skulle kunna vara att fladdermöss faktiskt dras till vindkraftverk av olika anledningar. I studien användes belysta respektive obelysta vindkraftverk utan signifikant skillnad i antalet fladdermöss, vilket tyder på att belysningen inte spelar roll. Vädret under natten verkar dock påverka antalet fladdermöss, främst genom att insektsaktiviteten varierar beroende på vädret. Ett alternativ skulle kunna vara att fladdermössen letar efter lämpliga viloplatser och misstar vindkraftverket för en sådan (Horn *et al.* 2008).

Fiskar
I Sverige planeras en tredjedel av vindkraftsenergin år 2020 komma från vindkraftverk lokaliserade till havs (Regeringskansliet 2015). När vindkraftverk placeras till havs tillkommer ytterligare negativa effekter på naturen i form av påverkan på vattenlevande organismer, vilket framförallt studerats hos fiskar och akvatiska däggdjur. Ljud från vindkraftverk kan påverka fiskar genom primära, sekundära och tertiära effekter (Nedwell *et al.* 2003). Primära effekter innebär direkt, eller något fördröjd, död till följd av ett väldigt högt ljud så som en explosion vid byggandet som kan orsaka barotrauma hos fiskar till följd av tryckförändringar i vattnet. Sekundära effekter innebär skador till följd av höga ljud, till exempel dövhet vilket då till exempel påverkar framtida överlevnadschanser. Tertiära effekter innebär beteendeförändringar till följd av störande ljud, vilket kan innebära att vissa viktiga områden som platser för lek exempelvis undviks. (Nedwell *et al.* 2003). Primära och sekundära effekter riskeras främst vid byggande av vindkraftverk och inte vid drift.

Det finns fyra olika sätt som ljud från vindkraftverk i drift kan skapa vibrationer i vattnet, vilka då främst kan orsaka tertiära effekter på fiskar. Aerodynamiskt ljud från turbinen ovan vattnet kan färdas ner i vattnet och där skapa vibrationer. På samma sätt kan även vibrationer från motorhus, rotor eller torn skapa ljud som då kan färdas ner i vattnet. Vibrationerna som skapas i vindkraftverket kan också färdas ner genom tornet och avges till vattnet eller fortsätta till fundament för att sen avges till botten och färdas upp till vattnet (Kikuchi 2010). Det har inte studerats speciellt mycket hur ljudet från vindkraftverk i drift, vilka avger relativt låga ljud jämfört med ljud vid byggandet, långvarigt påverkar fiskar. Det är ändå rimligt att tro att det kan ha en tertiär effekt (Kikuchi 2010). Vibrationerna som orsakas av vindkraftverkens mekaniska ljud ligger inom det område som kan uppfattas av både fiskar och vattenlevande däggdjur medan det aerodynamiska ljudet endast verkar kunna uppfattas ibland. Det finns dock en möjlighet att även vibrationerna från själva turbinen skulle kunna påverka beteendet hos vattenlevande organismer (Bergström *et al.* 2014). Till exempel kom en studie gjord på tumlare (*Phocoena phocoena)* i Östersjön fram till att det var mindre aktivitet i området efter att det byggts vindkraftverk där. Det mättes genom att med undervattenssonder mäta de klickljud som tumlare ger ifrån sig (Teilmann & Carstensen 2012). En studie gjord på 20 olika fiskarter i Sverige med avseende på biodiversitet, abundans, artsammansättning och spatial distribution visade på att vindkraftverken placerade till havs inte verkade ha någon större påverkan på fiskarna (Bergström *et al.* 2013).

De ledningar som dras längs botten från vindkraftverk till havs omges av magnetiska fält, vilket i vatten som rör på sig kan bli inducerade elektriska fält (Gill *et al.* 2012). Det finns en möjlighet att detta då kan påverka olika fiskar som använder sig av elektromagnetiska signaler. Detta rör till exempel ål *(Anguilla anguilla*) och lax *(Salmo salar)* som använder elektromagnetiska signaler för att navigera samt broskfiskar (Chondrichthyes) som använder det för att upptäcka byten (Bergström *et al.* 2014, Gill *et al.* 2012). Det är dock fortfarande oklart om dessa inducerade elektriska fält faktiskt påverkar deras beteende då det finns väldigt lite forskning på området. I en studie på småfläckig rödhaj, *Scyliorhinus canicula,* gjorde dessa ingen skillnad på naturliga och artificiella elektromagnetiska signaler (Kimber *et al.* 2010). Det tyder på att de inducerade elektriska fälten riskerar att störa beteendet hos vattenlevande djur som använder sig av elektromagnetiska signaler.

Det finns studier på att fiskars öron skadas av höga ljud, till exempel har det studerats hur *Pagrus auratus* hörsel förändras efter upprepade skjutningar med en specialiserad luftpistol, som ofta används för att studera geologin på havsbottnar till exempel för att studera eventuell förekomst av olja. Efter skjutningarna visades att hårceller, sensoriska receptorer som används för hörsel, skadats eller helt försvunnit på många av fiskarna (McCauley *et al.* 2003).

I en annan studie gjord på torsk, *Gadus morhua*, och kolja, *Melanogrammus aeglefinus*, studerades hur förekomsten av dessa fiskar i ett område förändrades efter upprepade skjutningar med specialiserad luftpistol. Resultatet blev att förekomsten (vilket mättes i massa) av båda arterna minskade till ungefär hälften. Även undersökningar av nätfiske i området som besköts visade att den fångade torsken minskade med upp till 70 %. I utkanten av området minskade torskfångsten med minst 50 % trots att det var på ett relativt stort avstånd från skjutningarna (Engås *et al.* 1996). Slotte *et al.* (2004) gjorde en liknande studie där förekomsten av fiskar inom ett område utanför Norges kust studerades. Resultatet där visade inte på någon kortvarig reaktion på själva skjutandet, men på den långvariga effekten att de undvek områdena där det sköts. I ett laboratorieförsök på guldfisk studerades stress, genom att till exempel mäta glukosnivåer i blodet, när de utsattes för ljud. Guldfiskarna utgav initialt stressresponser på ljudbehandlingarna, men ingen långvarig effekt kunde konstateras. Dock styrkte även denna studie att fiskars hörsel långvarigt skadats av ljudnivåerna och att det sen tar tid för dem att kunna återfå hörseln (Smith *et al.* 2004).

Fiskar attraheras ofta av mänskliga konstruktioner som placeras på havsbotten. Dessa strukturer bildar då så kallade artificiella rev, även om syftet med konstruktionen inte alltid är just att underlätta för fiskar eller andra vattenlevande organismer (Seaman Jr & Sprague 1991). Till exempel har en sjunken oljerigg gett en artrik fauna då det skapat ett habitat som framförallt passade musslor och ostron (Ponti *et al.* 2002). Även objekt som istället är placerade i vattnet och inte bara på botten har visat sig attrahera fiskar (Castro *et al.* 2004). I en studie i Sverige studerades fisktäthet och täckningen av blåmusslor samt rödalger runt vindkraftverksfundament. Dessa har både strukturer på botten och i det fria vattnet vilket gör att de borde kunna fungera som artificiella rev. Resultatet blev att det var en högre densitet av fisk, blåmusslor och rödalger vid fundamenten än längre bort från dem. Detta antyder att vindkraftverk kan underlätta för fiskar och andra vattenlevande djur eftersom de kan fungera som artificiella rev (Wilhelmsson *et al.* 2006).

Åtgärder för att minska vindkraftverkens påverkan på djurlivet

Vindkraftverk påverkar djurlivet på flera olika sätt och för att minimera skadorna finns det olika åtgärder som kan minska eller ta bort riskerna. Ofta är det dock ett problem att det inte finns en enkel lösning, då anledningarna till kollisioner eller annan påverkan beror på kombinationer av olika faktorer (Marques *et al.* 2014). Ibland kan det också vara svårt att förstå om det egentligen är vindkraftverk som står för påverkan på djurlivet, framförallt när det rör en mer indirekt påverkan som i form av ljud. Ofta kan det istället vara byggandet av vindkraftverken som orsakar de största störningarna. Ett exempel på detta är att flera fågelarter minskar i antal under byggandet av vindkraftverk. Efter att den tillfälliga störningen i form av byggnationen är slut ökar de dock i antal igen och håller sig på stabila nivåer när vindkraftverket är i drift. Andra arter återhämtar sig dock inte efter en sådan störning eller påverkas även senare av de färdiga vindkraftverken (Pearce-Higgins *et al.* 2012).

Placering

Den faktor som kanske är allra viktigast att ta hänsyn till när det kommer till att förebygga skador på djurlivet är placering. Genom att undvika områden med mycket eller sårbara djur minskar risken för stora skador. Flera olika studier har arbetat med att ta fram kartor som pekar ut riskområden för fågelkollisioner för att på så sätt kunna planera för nyetablering av

vindkraftverk eller kunna identifiera befintliga riskområden. Bright *et al.* (2008) har gjort en karta baserat på förekomst av sällsynta arter i Irland som identifierar områden med hög risk och som bör undantas från vindkraft. Liechti *et al.* (2013) har tagit fram kartor över Schweiz där de också med hjälp av olika modeller identifierar områden med hög risk baserat på topografi och radarbilder över flyttande fåglar från tidigare år. Det finns många olika faktorer som måste tas hänsyn till när en plats slutgiltigt ska väljas för placering av vindkraftverk för att det i framtiden ska orsaka så lite skador som möjligt på djurlivet. Valet kan dock underlättas av att det finns generella kartor över områden (Liechti *et al.* 2013).

Det är även viktigt att ta hänsyn till djurlivet under själva byggnationen. En tillfällig störning under byggnationsprocessen påverkar fåglar negativt vilket leder till att många arter minskar i antal under nybyggnation av vindkraftverk. För att minimera den påverkan är det lämpligt att förlägga byggandet till perioder då fåglar inte häckar om det är möjligt (Pearce-Higgins *et al.* 2012). Så både placering av själva vindkraftverken och placering i tid är viktig för att undvika skador på djurlivet.

Ett alternativ, för vindkraftverk placerade i områden med stor skaderisk för fåglar, är att stänga av vindkraftverken under perioder med mycket migrerande fåglar, eftersom flest skador sker under just migration. Dock är det ju då ett problem att det minskar elproduktionen och minskar lönsamheten. Det finns metoder där radar används för att detektera fåglar och då tillfälligt kan stänga av vindkraftverk endast när fåglar är närvarande. Detta är en metod som till exempel börjat användas i Texas, USA (Khan 2014, Levitan 2011). För olämpliga områden med befintliga vindkraftverk är det en metod som kan vara mycket användbar.

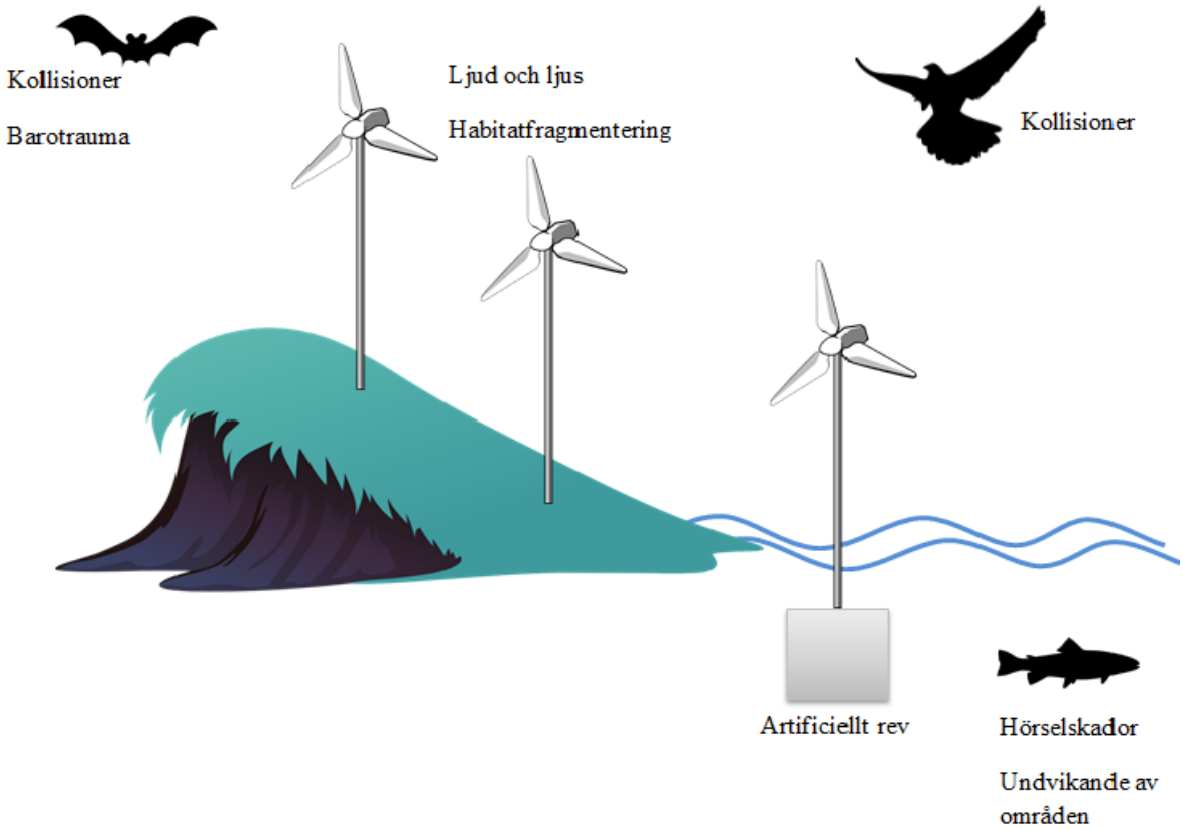
Hastighet och tillfälliga stopp

För att undvika kollisioner med fladdermöss har flera studier gjorts för att se hur hastigheten på de roterande rotorbladen kan påverka. Fladdermöss verkar söka upp både stillastående och roterande vindkraftverk, men endast de som är i gång dödar fladdermöss (Horn *et al.* 2008). Frågan har då varit om det på något sätt går att undvika att ha vindkraftverken igång när det är allra mest fladdermöss i området. Baerwald *et al.* (2009) studerade två olika metoder för att försöka minska antalet fladdermuskollisioner. En var att utforma rotorbladet på ett sätt som minskade hastigheten på dem, vilket då även minskade antalet döda fladdermöss. Den andra metoden, som också fick en minskning i antalet döda fladdermöss, var att inte låta vindkraftverken generera elektricitet förrän vindstyrkan var över 5,5 m s^{-1}, i motsatts till 4 m s^{-1} som är den vanligaste gränsen. Den första metoden minskade antalet döda fladdermöss med 57,5 % och den andra en minskning på 60 %. Även Arnett *et al.* (2011) har studerat hur en höjning av gränsen när vindkraftverken börjar producera elektricitet påverkar fladdermössens kollisionsrisk. De provade höjningar av elproduktionsgränsen från normala 4 m s^{-1} till 5 respektive 6,5 m s^{-1}, vilket gav resultatet att dödligheten för fladdermöss minskade med minst 44 % för varje vindkraftverk. Det var dock ingen skillnad mellan de två olika hastigheterna som vindkraftverket startades vid. Den faktor som spelar in vid denna typ av åtgärd är främst ekonomi, då det påverkar elutvinningen negativt att utvinning börjar vid högre vindhastigheter. Tiden som vindkraftverken kunde producera ström minskade med i genomsnitt 42,3 % i studien av Baerwald *et al.*. Arnett *et al.* ansåg att minskningen i elproduktion inte borde bli så stor utan att det produktionsbortfall endast var 0,3 % när starthastigheten sänktes till 5 m s^{-1} respektive 1 % för 6,5 m s^{-1} av den totala årsproduktionen. Detta visar på att det är möjligt att minska fladdermusdödligheten genom att höja elproduktionsgränsen, dock riskerar det i vissa fall att starkt minska lönsamheten av vindkraftverken.

Färgval
Fladdermöss dras till insekter och en hög densitet av insekter ökar sannolikheten att fladdermöss söker sig dit (Grinnell & Griffin 1958). Runt vindkraftverk finns det ofta just en hög densitet av insekter och för att undvika att fladdermöss dras till vindkraftverken för att jaga insekter borde den höga densiteten minskas. Insekter attraheras av olika färger och i en undersökning studerades vilka färger som attraherar flest insekter, med resultatet att gult var allra mest attraktivt tätt följt av de två vanligaste vita/ljusgråa nyanserna som används på vindkraftverk (Long *et al.* 2010). Eftersom fladdermöss dras till insekter skulle det eventuellt vara möjligt att minska antalet skadade fladdermöss om vindkraftverken utformades med en annan färg. Det är även rimligt att fåglar som lever av insekter kan dras till områden med hög densitet av insekter. Den färg som hade lägst attraktionsförmåga på insekter var lila (Long *et al.* 2010), vilket antyder att en möjlig lösning är att istället konstruera vindkraftverk i en svagt lila nyans.

Varningar
Ett sätt att undvika skador på djurlivet är att se till att djuren undviker vindkraftverken genom olika former av varningar. För fåglar har det diskuterats om det går att använda sig av ljud som gör dem uppmärksamma på vindkraftverken eller skrämmer bort dem, till exempel någon form av obehagligt ljud eller artspecifikt varningsljud. Det vara en fördel om det inte heller är hörbart för människor (Khan 2014). I en studie gjord i Skottland användes elektromagnetiska fält som ett försök att få fladdermöss att undvika vindkraftverk, vilket ledde till att antalet upptäckta fladdermöss i området minskade (Nicholls & Racey 2007). Ett fungerande varningssystem skulle troligtvis kunna leda till färre skador på fåglar och fladdermöss, men problematiken ligger i att utforma ett system som fungerar på stora delar av grupperna.

Diskussion
Vindkraftverk orsakar olika typer av skador på djurlivet, antingen i form av mer allmänna skador eller mer specifikt på olika djurgrupper eller arter (Figur 2). Ljud och ljus är två allmänna faktorer som främst riskerar att påverka djurlivet genom att de kan störa djuren så att de undviker områden (Saidur *et al.* 2011). Även själva vindkraftverken, framförallt när de finns många på samma plats, riskerar att skapa barriärer i naturen vilket kan fragmentera djur habitat (Kuvlesky *et al.* 2007). Den djurgrupp som verkar påverkas mest är fladdermöss som utöver de allmänna störningarna även riskerar att kollidera med vindkraftverken *(Johnson et al.* 2003) eller drabbas av barotrauma av tryckförändringarna kring dem (Baerwald *et al.* 2008). Även fåglar riskerar att flyga in i vindkraftverken (Erickson *et al.* 2014) medan fiskar istället verkar störas genom att de undviker områden där vindkraftverk byggs på grund av de höga ljudnivåerna (McCauley *et al.* 2003). För att minimera skaderisken på olika djurgrupper är det främst placeringen av vindkraftverken som är viktig. De bör placeras på områden med så få arter som möjligt och som inte är av särskild vikt för hotade arter (Liechti et al. 2013). Annat som kan göras för att förhindra skador på djurlivet är att utveckla teknik som på olika sätt gör att skadorna minskar, så som att med hjälp av radar detektera fåglar i området och då tillfälligt stänga av vindkraftverken.



Figur 2. Översikt över vindkraftverkens allmänna och specifika påverkan på tre olika djurgrupper.

Att vindkraftverk skadar djurlivet är fastställt, men det bör också jämföras med att även andra energialternativ skadar djurlivet. Dödligheten för fåglar och fladdermöss på grund av olika energialternativ jämfördes, genom att sammanfatta flera olika studier, och visade på att vindkraftverk dödar färre antal fåglar och fladdermöss än både kärnkraft och användandet av fossila bränslen (Sovacool 2009). I en jämförelse mellan hur stor påverkan vindkraft jämfört med fossila bränslen har blev resultatet att båda metoderna har betydande påverkan på naturen och att båda metoderna i många avseenden hade en liknande påverkan. Jämförelsen baserades på olika indikatorer, till exempel habitatsförlust inom området, koldioxidutsläpp, risken för introduktion av invasiva arter och vattenanvändning (Jones & Pejchar 2013). Men det är svårt att göra någon jämförelse mellan olika energialternativ som rättvist täcker in all form av påverkan så att den görs jämförbar. Energiutvinning överlag påverkar naturen och då människan skapat ett behov av elektricitet är den största utmaningen att klara av att utvinna energi utan att ha allt för stor påverkan på naturen. Så även om vindkraftverk, precis som andra mänskliga byggnader och strukturer, har en miljöpåverkan så handlar frågan egentligen i första hand om att minimera konflikterna mellan vindkraftverk och djurliv.

En faktor som är viktig att ta hänsyn till när det gäller vindkraftverk är ekonomi. El från vindkraft är idag en ökande energikälla som många vill investera i då den inte bidrar till växthuseffekten. Dock finns det, som det tagits upp i detta arbete, vissa problem när vindkraftverk och djurliv ska samsas. Vissa problem har relativt enkla lösningar, så som att exempelvis byta färg på de vindkraftverk som kommer byggas i framtiden. Det är dock svårare när det handlar om saker som antingen stora investeringar i ny teknik eller som drastiskt påverkar lönsamheten på vindkraftverken. Även om det är så att bevarandet av

djurliv ofta ställs mot ekonomiska intressen så går de två ibland ihop. Till exempel när det gäller fisk, eftersom fisket är en stor industri berör inte påverkan på fisk endast bevarandet av den biologiska mångfalden utan även ekonomiska intressen från fiskeindustrin.

Det är också en fråga om vilket intresse som väger tyngst då djurliv ställs mot behovet av energiförsörjning utan fossila bränslen. Så länge man kan hålla expanderingen av vindkraft till områden som är lämpliga för vindkraft, till exempelvis vad gäller flyttsträckor för fåglar och förekomst av fladdermöss, så orsakar vindkraften inte speciellt stora problem. Men när det inte längre finns platser som helt lämpar sig för vindkraftverk men ändå en vilja att expandera uppstår frågan om vad som är viktigast.

Slutsats

Regeringen har i Sverige satt upp ett mål på en trefaldig ökning av vindkraft till 2020 (Regeringskansliet 2015) vilket betyder att om det efterlevs kommer det bli betydligt fler vindkraftverk i Sverige. Fler vindkraftverk kommer innebära att dess påverkan på djurlivet kommer att ge större effekter och att fler djur riskerar att skadas än i dagsläget. Eftersom det är känt att vindkraftverk orsakar skador på djurlivet är det därför ett aktuellt område där det behövs mer kunskap för att kunna minimera skadorna vid utbyggandet av vindkraft. Även om det redan finns metoder för att minimera skadorna så saknas det ännu forskning på metoder som minskar skadorna utan minskad lönsamhet. Vindkraftverk påverkar naturen, precis som allt annat människan gör, och jag tror att fokus borde ligga på att på ett så bra sätt som möjligt hitta metoder för att få vindkraftverk och djur att kunna existera tillsammans. För att kunna uppnå detta behövs det mer forskning inriktad på att ta fram metoder eller ny teknik som fungerar bättre tillsammans med djurlivet.

Tack

Jag vill ge ett stort tack till min handledare David Berger för bra synpunkter och all hjälp på vägen till färdig uppsats. Jag vill också tacka Cecilia Böhme, Anton Johansson, Sofie von Knorring och Arvid Löf som läst, granskat och kommit med konstruktiva förslag på förbättringar.

Referenser

Ahlén I, Baagøe HJ, Bach L. 2009. Behavior of Scandinavian Bats during Migration and Foraging at Sea. Journal of Mammalogy **90**: 1318–1323.

Arnett EB, Huso MM, Schirmacher MR, Hayes JP. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. Frontiers in Ecology and the Environment **9**: 209–214.

Avery M, Springer PF, Cassel JF. 1976. The Effects of a Tall Tower on Nocturnal Bird Migration: A Portable Ceilometer Study. The Auk **93**: 281–291.

Baerwald EF, D'Amours GH, Klug BJ, Barclay RMR. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Current Biology **18**: R695–R696.

Baerwald EF, Edworthy J, Holder M, Barclay RMR. 2009. A Large-Scale Mitigation Experiment to Reduce Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. The Journal of Wildlife Management **73**: 1077–1081.

Bakker RH, Pedersen E, van den Berg GP, Stewart RE, Lok W, Bouma J. 2012. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological

distress. Science of The Total Environment **425**: 42–51.
Barrios L, Rodríguez A. 2004. Behavioural and Environmental Correlates of Soaring-Bird Mortality at On-Shore Wind Turbines. Journal of Applied Ecology **41**: 72–81.
Bergstrm L, Sundqvist F, Bergstrm U. 2013. Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. Marine Ecology Progress Series **485**: 199–210.
Bergström L, Kautsky L, Malm T, Rosenberg R, Wahlberg M, Capetillo NÅ, Wilhelmsson D. 2014. Effects of offshore wind farms on marine wildlife—a generalized impact assessment. Environmental Research Letters **9**: 034012.
Biörklund A. 2015. Barotrauma. Nationalencyklopedin. WWW-dokument: http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/barotrauma. Hämtad: 2015-04-20.
Bright J, Langston R, Bullman R, Evans R, Gardner S, Pearce-Higgins J. 2008. Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: A tool to aid planning and conservation. Biological Conservation **141**: 2342–2356.
Brown MJ, Linton E, Rees EC. 1992. Causes of mortality among wild swans in Britain. Wildfowl **43**: 70–79.
Caduff M, Huijbregts MAJ, Althaus H-J, Koehler A, Hellweg S. 2012. Wind Power Electricity: The Bigger the Turbine, The Greener the Electricity? Environmental Science & Technology **46**: 4725–4733.
Castro JJ, Santiago JA, Santana-Ortega AT. 2004. A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis. Reviews in Fish Biology and Fisheries **11**: 255–277.
Cochran WW, Graber RR. 1958. Attraction of Nocturnal Migrants by Lights on a Television Tower. The Wilson Bulletin **70**: 378–380.
Crawford RL, Engstrom RT. 2001. Characteristics of avian mortality at a north florida television tower: a 29-year study. Journal of Field Ornithology **72**: 380–388.
Dai K, Bergot A, Liang C, Xiang W-N, Huang Z. 2015. Environmental issues associated with wind energy – A review. Renewable Energy **75**: 911–921.
De Lucas M, Janss GFE, Whitfield DP, Ferrer M. 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. Journal of Applied Ecology **45**: 1695–1703.
Derraik JGB. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. Marine Pollution Bulletin **44**: 842–852.
Desholm M, Kahlert J. 2005. Avian collision risk at an offshore wind farm. Biology Letters **1**: 296–298.
Drewitt AL, Langston RHW. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. Ibis **148**: 29–42.
Engås A, Løkkeborg S, Ona E, Soldal AV. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod ((Gadus morhua) and haddock)(Melanogrammus aeglefinus). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **53**: 2238–2249.
Erickson WP, Wolfe MM, Bay KJ, Johnson DH, Gehring JL. 2014. A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. PLoS ONE **9**: e107491.
Everaert J. 2014. Collision risk and micro-avoidance rates of birds with wind turbines in Flanders. Bird Study **61**: 220–230.
Everaert J, Stienen EWM. 2006. Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). Biodiversity and Conservation **16**: 3345–3359.
Ferrer M, de Lucas M, Janss GFE, Casado E, Muñoz AR, Bechard MJ, Calabuig CP. 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. Journal of Applied Ecology **49**: 38–46.

Garvin JC, Jennelle CS, Drake D, Grodsky SM. 2011. Response of raptors to a windfarm. Journal of Applied Ecology **48**: 199–209.
Gill AB, Bartlett M, Thomsen F. 2012. Potential interactions between diadromous fishes of U.K. conservation importance and the electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments. Journal of Fish Biology **81**: 664–695.
Global Wind Energy Council. 2014. Global wind report annual market update 2013.
Grinnell AD, Griffin DR. 1958. The Sensitivity of Echolocation in Bats. Biological Bulletin **114**: 10–22.
Grodsky SM, Behr MJ, Gendler A, Drake D, Dieterle BD, Rudd RJ, Walrath NL. 2011. Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. Journal of Mammalogy **92**: 917–925.
Harding G, Harding P, Wilkins A. 2008. Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. Epilepsia **49**: 1095–1098.
Horn JW, Arnett EB, Kunz TH. 2008. Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. Journal of Wildlife Management **72**: 123–132.
Hudspeth A. 1989. How the Ears Works Work. Nature **341**: 397–404.
Hüppop O, Dierschke J, Exo K-M, Fredrich E, Hill R. 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. Ibis **148**: 90–109.
Huso MMP. 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics **22**: 318–329.
Johnson GD, Erickson WP, Dale Strickland M, Shepherd MF, Shepherd DA, Sarappo SA. 2003. Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. The American Midland Naturalist **150**: 332–342.
Johson RE, Hudson GE. 1976. Bird Mortality at a Glassed-in Walkway in Washington State. Western Birds **7**: (1977).
Jones NF, Pejchar L. 2013. Comparing the Ecological Impacts of Wind and Oil & Gas Development: A Landscape Scale Assessment. PLoS ONE **8**: e81391.
Katsaprakakis DA. 2012. A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. Renewable and Sustainable Energy Reviews **16**: 2850–2863.
Khan S. 2014. Warning sounds and color for reducing bird and bat mortality at wind turbines., in: 2014 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Presented at the 2014 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), pp. 322–325.
Kikuchi R. 2010. Risk formulation for the sonic effects of offshore wind farms on fish in the EU region. Marine Pollution Bulletin **60**: 172–177.
Kimber JA, Sims DW, Bellamy PH, Gill AB. 2010. The ability of a benthic elasmobranch to discriminate between biological and artificial electric fields. Marine Biology **158**: 1–8.
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. Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues.
Leddy KL, Higgins KF, Naugle DE. 1999. Effects of Wind Turbines on Upland Nesting Birds in Conservation Reserve Program Grasslands. The Wilson Bulletin **111**: 100–104.
Levitan D. 2011. Radar Systems A Solution to Wind Power's Bird and Bat Problem? IEEE Spectrum.
Liechti F, Guélat J, Komenda-Zehnder S. 2013. Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. Biological Conservation **162**: 24–32.
Longcore T, Rich C, Mineau P, MacDonald B, Bert DG, Sullivan LM, Mutrie E, Gauthreaux

SA Jr, Avery ML, Crawford RL, Manville AM II, Travis ER, Drake D. 2012. An Estimate of Avian Mortality at Communication Towers in the United States and Canada. PLoS ONE **7**: e34025.

Long CV, Flint JA, Lepper PA. 2010. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? - Springer.doi:10.1007/s10344-010-0432-7.

Loss SR, Will T, Marra PP. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. Biological Conservation **168**: 201–209.

Marques AT, Batalha H, Rodrigues S, Costa H, Ramos Pereira MJ, Fonseca C, Mascarenhas M, Bernardino J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. Biological Conservation **179**: 40–52.

Masden EA, Haydon DT, Fox AD, Furness RW, Bullman R, Desholm M. 2009. Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil **66**: 746–753.

McCauley RD, Fewtrell J, Popper AN. 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. The Journal of the Acoustical Society of America **113**: 638–642.

Naturvårdsverket. 2015. Riktvärden för ljud från vindkraft. WWW-dokument: http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Buller/Buller-fran-vindkraft/buller-vindkraft-riktvarden/. Hämtad: 2015-04-20.

Nedwell J, Langworthy J, Howell D. 2003. Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. (No. Rapport nr 544 R 0424). COWRIE och Subacoustech Ltd.

Nicholls B, Racey PA. 2007. Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? PLoS ONE **2**: e297.

Oerlemans S, Sijtsma P, Méndez López B. 2007. Location and quantification of noise sources on a wind turbine. Journal of Sound and Vibration **299**: 869–883.

Pearce-Higgins JW, Stephen L, Douse A, Langston RHW. 2012. Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. Journal of Applied Ecology **49**: 386–394.

Pedersen E, Berg F van den, Bakker R, Bouma J. 2009. Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. The Journal of the Acoustical Society of America **126**: 634–643.

Pedersen E, Waye KP. 2004. Perception and annoyance due to wind turbine noise—a dose–response relationship. The Journal of the Acoustical Society of America **116**: 3460–3470.

Pedersen E, Waye KP. 2007. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. Occupational and Environmental Medicine **64**: 480–486.

Pennycuick CJ. 1998. Field Observations of Thermals and Thermal Streets, and the Theory of Cross-Country Soaring Flight. Journal of Avian Biology **29**: 33–43.

Piiper J, Scheid P. 1972. Maximum gas transfer efficacy of models for fish gills, avian lungs and mammalian lungs. Respiration Physiology **14**: 115–124.

Ponti M, Abbiati M, Ceccherelli VU. 2002. Drilling platforms as artificial reefs: distribution of macrobenthic assemblages of the “Paguro” wreck (northern Adriatic Sea). ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil **59**: S316–S323.

Regeringskansliet. 2015. Vindkraft. WWW-dokument: http://www.regeringen.se/sb/d/12245/a/132642. Hämtad: 2015-04-15.

Rollins KE, Meyerholz DK, Johnson GD, Capparella AP, Loew SS. 2012. A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? Veterinary Pathology Online **49**: 362–371.

Rydell J, Bach L, Dubourg-Savage M-J, Green M, Rodrigues L, Hedenström A. 2010. Bat Mortality at Wind Turbines in Northwestern Europe. Acta Chiropterologica **12**: 261–274.
Rydell J, Engström H, Hedenström A, Kyed Larsen J, Pettersson J, Green M. 2011. Vindkraftens effekter på fåglar och fladdermöss - syntesrapport. Naturvårdsverket.
Saidur R, Rahim NA, Islam MR, Solangi KH. 2011. Environmental impact of wind energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**: 2423–2430.
Santos M, Bastos R, Travassos P, Bessa R, Repas M, Cabral JA. 2010. Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal. Ecological Indicators **10**: 192–205.
Saunders SC, Mislivets MR, Chen J, Cleland DT. 2002. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. Biological Conservation **103**: 209–225.
Seaman Jr W, Sprague LM. 1991. Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries. Academic Press.
Slotte A, Hansen K, Dalen J, Ona E. 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. Fisheries Research **67**: 143–150.
Smallwood KS. 2007. Estimating Wind Turbine-Caused Bird Mortality. The Journal of Wildlife Management **71**: 2781–2791.
Smallwood KS, Thelander C. 2008. Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. The Journal of Wildlife Management **72**: 215–223.
Smith ME, Kane AS, Popper AN. 2004. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (Carassius auratus). Journal of Experimental Biology **207**: 427–435.
Sovacool BK. 2009. Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity. Energy PolicyChina Energy Efficiency **37**: 2241–2248.
Svensk Energi. 2015. Vindkraft. WWW-dokument: http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elproduktion/Vindkraft/. Hämtad: 2015-04-15.
Svensk Vindenergi. 2015. Vindkraftstatistik och prognos kvartal 4 2014.
Tabassum-Abbasi, Premalatha M, Abbasi T, Abbasi SA. 2014. Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. Renewable and Sustainable Energy Reviews **31**: 270–288.
Teilmann J, Carstensen J. 2012. Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the Baltic—evidence of slow recovery. Environmental Research Letters **7**: 045101.
Thayer RL, Freeman CM. 1987. Altamont: Public perceptions of a wind energy landscape. Landscape and Urban Planning **14**: 379–398.
Transportstyrelsen. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten. Transportstyrelsens författningssamling (TSFS) 2010:155.
Walter WD, Leslie DM, Jenks JA. 2006. Response of Rocky Mountain elk (Cervus elaphus) to wind-power development. American Midland Naturalist **156**: 363–375.
Wilhelmsson D, Malm T, Öhman MC. 2006. The influence of offshore windpower on demersal fish. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil **63**: 775–784.