

Kraftledningars påverkan på fåglar

– en syntesrapport

RICHARD OTTVALL & MARTIN GREEN



LUNDS
UNIVERSITET

Kraftledningars påverkan på fåglar

– en syntesrapport

Richard Ottvall¹ & Martin Green²

¹ Ottvall Consulting AB, Höör, med tillfällig anknytning till Biologiska institutionen, Lunds universitet

² Biologiska institutionen, Lunds universitet

2020-02-18

Granskare och sakkunnig:

HENRI ENGSTRÖM, Naturvårdsverket

Beställd av E.ON Energidistribution AB, Vattenfall Eldistribution AB, Affärsverket svenska kraftnät, Ellevio AB och Skellefteå Kraft Elnät AB

Bör citeras: Ottvall, R. & Green, M. 2020. Kraftledningars påverkan på fåglar – en syntesrapport. Rapport, Lunds universitet.

Omslagsfoto: P-G Bentz/Sturnus (berguv), Richard Ottvall (transformatorstolpe och kraftledning)

Innehåll

Sammanfattning.....	7
Summary	10
Begreppsförklaring	13
1. Inledning.....	14
2. Metodik	15
2.1 Bedömning av artiklar	17
3. Frågeställningar	18
4. Teknisk genomgång av svenska kraftledningar.....	19
4.1 Det svenska elnätet	19
4.2 Elnätets omfattning och förändring	21
4.2.1 Ledningsnätens längd.....	21
4.2.2 Vädersäkringsprojektet och kabling.....	22
4.2.3 Framtidens elnät	24
4.3. Stolptyper	25
4.3.1 Transmissionsnätets stolpar.....	27
4.3.2 Regionnätets stolpar	28
4.3.3 Lokalnätets stolpar	30
4.3.5 Andra ledningsnät i luften	32
4.3.6 Varför väljs vissa stolptyper?.....	32
5. Fågelkollisioner med kraftledningar.....	33
5.1 Vilka arter och individer som drabbas.....	34
5.2 Var fågelkollisioner äger rum	35
5.3 Vertikala respektive horisontella kraftledningar.....	37
5.4 Ledningens höjd	37
5.5 Ledningstjocklek, jordlina och topplina.....	38
6. Eldöd hos fåglar	39
6.1 Vingmått för kritiskt avstånd.....	41
6.2 Rovfåglar och eldöd.....	43
6.3 Berguv och eldöd.....	45
7. Dödstal av fåglar och påverkan på populationsnivå	46
7.1 Metoder för att uppskatta dödstal.....	46
7.2 Dödstal.....	47
7.3 Dödlighet vid kraftledningar i förhållande till annan dödlighet	48

7.4 Påverkan på populationsnivå	49
8. Åtgärder för att minska dödsfall av fåglar	50
8.1 Trender i dödsfall av fåglar vid kraftledningar	50
8.2 Rekommendationer för att minska dödsfall vid kollisioner	51
8.3 Markering av kraftledningar för att förhindra kollisioner	52
8.3.1 Guide till att bedöma effektiviteten av fågelavvisare på olika arter	55
8.4 Åtgärder för att minska eldöd	58
8.4.1 Huvu Uven	58
8.4.2 Fågelskydd och sittpinnar på stolpar	59
8.4.3 Avstånd mellan faslinor	60
9. Åtgärder som gett resultat på fågelpopulationer	61
9.1 Spansk kejsarörn i Spanien	61
9.2 Hökörn i Frankrike	61
9.3 Örnar i Sverige	62
10. Studier av påverkan av anläggningsarbeten under fåglarnas häckningstid	63
11. Annan påverkan på fåglarnas livsmiljöer vid kraftledningar	64
11.1 Undvikande hos fåglar för kraftledningar	64
11.2 Fåglar som kan gynnas av nya livsmiljöer kring kraftledningar	64
12. Järnvägsledningar	66
13. Slutsatser - kunskapsluckor och forskningsbehov	67
14. Referenser	69

Sammanfattning

- I rapporten har litteratur om hur kraftledningar påverkar fåglar sammanställts och analyserats. Litteraturen omfattar framför allt undersökningar som genomförts i Europa, Nordamerika och Sydafrika. Riktade studier av enskilda arter eller av grupper av arter har oftast gjorts på sådana som normalt inte påträffas i Sverige. Dessutom skiljer sig elnätet tämligen mycket mellan länder med avseende på stolpkonstruktioner och ledningstyper. Det kan därför vara svårt att överföra resultat från studier som samlats in i andra europeiska länder och på andra kontinenter till förutsättningarna i Sverige. Arbetet har fokuserat på hur riskerna ser ut, skillnader mellan arter och risker mellan olika ledningstyper och stolpkonstruktioner i Sverige. Riskerna gäller främst två fenomen – kollisioner med ledningar och strömgenomgång eller eldöd.

KOLLISIONER

- I stort sett alla flygande fåglar riskerar att flyga mot en kraftledning och det är ofta svårt att förutsäga när och var kollisioner kommer att inträffa. Kunskapen är dock relativt stor om vilka fåglar som är mest utsatta för kollisioner. Det är främst stora fåglar med sämre manövreringsförmåga som svanar, gäss, storkar, tranor och hönsfåglar som drabbas. Rovfåglar med bra syn och som är goda flygare är bättre på att manövrera undan och därmed undvika kollisioner med ledningar. Småfåglar som är långt talrikare än dessa stora fåglar har också påträffats som kollisionsoffer, men då ofta i relativt låga antal. Det är svårt att bedöma ifall deras dödlighet har underskattats i genomförda studier eller om de kolliderar med kraftledningar i förhållandevis liten omfattning.
- Fler kollisionsolyckor sker i områden där många fåglar vistas. Sådana områden kan vara kustlinjer, våtmarker, över större vattendrag och längs bergsryggar. Miljöer med koncentrationer av rastande fåglar där fåglar flyger mellan sovplatser och födosöksområden är sådana där kollisionsriskerna kan vara särskilt stora. Likaså kan stråk där stora mängder flyttande fåglar koncentreras vara platser där risken för kollisioner är hög.
- Rekommendationer om vilka ledningstyper som innebär lägst risker för fåglarna och var ledningarna bör placeras i landskapet saknar ofta vetenskapligt stöd. Det beror sannolikt på att det är svårt att genomföra experimentella studier som skiljer på olika faktorer som kan påverka kollisionsrisken. Den översta linan, topplinan, verkar döda fler fåglar än övriga linor, vilket kan bero på att den sitter högst upp där fåglarna oftare flyger eller att den oftast är en tunnare lina, och därmed svårare för fåglarna att se. Ett antagande är att fler fåglar dödas vid faslinor på flera vertikala nivåer jämfört med om faslinor ligger i samma horisontella nivå. Den enda storskaliga studien som genomförts av denna fråga kommer från Portugal och där kunde man dock inte hitta någon signifikant skillnad i kollisionsrisk mellan dessa ledningstyper.

- Fågelavvisare är visuellt synliga markörer på ledningen som syftar till att göra ledningen lättare att se för fåglar. Tanken är att detta ska minska risken för kollisioner med luftledningar och därmed leda till minskad fågeldöd. Avvisare tycks i genomsnitt kunna minska antalet fågelkollisioner med 50–90 % även om det också finns exempel på mindre effekt än så. Utifrån vad som är känt om fåglars syn är det troligt att stora markörer, korta avstånd mellan markörer, ljusa färger och kontraster med rörliga delar är mest effektiva för att reducera antalet kollisioner.
- En genomgång av kunskapsläget kring fågelavvisares effektivitet när det gäller att minska kollisionsrisker kan användas för att bedöma hur väl dessa fågelavvisare minskar riskerna för olika fågelgrupper. Maximal reduceringseffekt kan förväntas för svanar, gäss, simänder och hägrar. Hög effekt kan även förväntas för lommar, doppingar, dykänder, trana och flera arter vadare. Måttlig effekt kan vi förvänta för tjäder, orre, ripor och några arter vadare. Ingen eller endast liten reduceringseffekt hittar vi för t.ex. vaktel, järpe, labbar och morkulla. Det är också troligt att även rovfåglar och ugglor finns i kategorin av fåglar där fågelavvisare har begränsad effekt.
- Det är oklart vilken typ av fågelavvisare som fungerar bäst. I Tyskland är det vanligt med svartvita reflexband som markörer medan den så kallade snurrande *Firefly* är vanligt förekommande i Sverige. Det är ännu för tidigt att utvärdera nyare fågelavvisare som reflekterar ljus eller är självlysande i mörker.

ELDÖD

- Fåglar dödas också vid strömgenomgång när de kommer i kontakt med spänningssatta delar. Det är främst fåglar i kroppsstorlek av kråka och större som drabbas av eldöd. Rovfåglar, stora ugglor, kråkfåglar och storkar är de fågelgrupper som oftast rapporteras som eldödade. Detta är fåglar som ofta använder kraftledningsstolpar som sittplatser och är stora nog att komma åt två strömförande komponenter samtidigt, vilket krävs för strömgenomgång. Vilka typer av stolpkonstruktioner, isolatorer och transformatorer som är farliga för fåglarna är relativt väl känt och det är ofta möjligt att åtgärda eller att ta hänsyn till detta vid anläggande av nya ledningar. Eldöd kan också uppstå vid kollision då en långsträckt fågel krockar med ledning och samtidigt kommer i kontakt med flera ledare.
- I Sverige förekommer eldöd av fåglar främst i lokalnätet upp till 24 kV. I takt med att detta nät läggs ner i marken eller genom att faslinor byts ut till isolerade ledningar samt att transformatorer isoleras eller markbyggs visar statistik från Naturhistoriska riksmuseet att andelen fåglar som dödas av kraftledningar har minskat från ca 12 % till 4 % under perioden 1990–2017. Det är alltså en relativt hög andel inrapporterade eldödade fåglar, vilket tyder på att det fortfarande finns många för fåglarna farliga ledningar och stolpar i det svenska elnätet.

OMFATTNING AV KRAFTLEDNINGSDÖD

- Kunskapsläget om påverkan av kraftledningsdöd på svenska fågelpopulationer är dålig. För flertalet talrika fågelarter har denna dödlighet ingen påverkan alls på populationsnivå. Flera av de mest utsatta arterna för kraftledningar är också hotade med små nationella populationsstorlekar. Kungsörn och berguv är arter där kraftledningsdöd av relativt få individer teoretiskt kan riskera att påverka populationsstorlekar negativt. Kraftledningar som dödsorsak har minskat för såväl kungsörn som berguv i Naturhistoriska riksmuseets analyser. I dagsläget är det mindre troligt att kraftledningar verkligen utgör något allvarligt hot mot dessa arter, åtminstone inte nationellt. Regionalt kan eldöd fortfarande utgöra ett hot, och det är fortsatt angeläget att minska denna påverkansfaktor.
- Kraftledningsdöd av fåglar förekommer i stort sett över hela landet. Flest fågelolyckor tycks äga rum under våren och sommarhalvåret, vilket sannolikt kan förklaras av att det finns allra flest fåglar då och att det under sommaren är många unga och oerfarna fåglar som drabbas.
- Det är svårt att beräkna antalet fåglar som dör vid kraftledningar i Sverige varje år. Publicerade studier från andra delar i världen är till viss del utförda i kända problemområden, vilket gör det svårt att överföra dessa dödstal till svenska förhållanden. Det finns endast ett fåtal studier av fågeldödlighet vid kraftledningar från Skandinavien och dessa är nästan enbart från Norge. De norska studierna som omfattar tjäder, orre och dalripa bör vara överförbara till svenska förhållanden i motsvarande terräng. Det är i vilket fall troligt att fågeldödligheten generellt är högre i södra Sverige än i norra delen av landet då fågeltätheten är betydligt högre längre söderut.
- Kraftledningsnätet i Sverige är långt och orsakar sannolikt fler fåglars död än nuvarande vindkraftparker i Sverige men färre än t.ex. trafiken. Det är dock svårt att jämföra betydelsen av olika dödsorsaker eftersom kraftledningsdöd, vindkraft och trafiken påverkar olika arter på olika sätt. Det är den samlade effekten av olika påverkansfaktorer som i slutändan avgör om en fågelart påverkas negativt. Sammanställningar från USA och Kanada bedömer att antalet eldödade fåglar är betydligt färre än de antal som kolliderar med ledningar. Från Sverige finns endast statistik från Naturhistoriska riksmuseet som ger en viss vägledning om kraftledningsdöd hos olika fågelarter, men den ger mest information om eldöd och omfattningen av fågelkollisioner i Sverige saknar vi i princip kunskap om.

Summary

- In the report, literature on the impact of power lines on birds has been compiled and assessed. The literature mainly covers studies conducted in Europe, North America and South Africa. Directed studies on individual species or a group of species have usually been done on bird species that are not normally found in Sweden. In addition, the electricity grid differs between countries in terms of pole constructions and types of power lines. Therefore, it can be difficult to transfer results from studies collected in other European countries and on other continents to the conditions in Sweden. The work has focused on what the risks look like, differences between bird species and risks associated with power line-specific factors. The risks mainly relate to two phenomena - collisions with wires and electrocution.

COLLISIONS

- Virtually all flying birds run the risk of colliding with a power line and it is often difficult to predict when and where collisions will occur. However, the knowledge is relatively extensive about which birds are most susceptible to collisions. It is mainly large birds with poor manoeuvrability such as swans, geese, storks, cranes and grouse that have been found to collide with wires relatively often. Good flyers such as raptors seem to be better at detecting overhead wires and thus avoiding collisions. Small birds that are far more numerous than these large birds have also been found as collision victims, but often in relatively low numbers. It is not really known whether their mortality has been underestimated in studies or whether they collide in relatively small numbers.
- More collision accidents occur in areas where birds are abundant. Such areas may be coastlines, wetlands, rivers and along mountain ridges. Landscapes with concentrations of birds where birds fly between roosting sites and feeding areas are those where collision risks can be particularly high. Similarly, areas where large quantities of migratory birds are concentrated can be places where the risk of collision is high.
- Recommendations on which configuration of power lines that involves the lowest risks for the birds often lack scientific support. This is probably because it is difficult to conduct experimental studies that differentiate on factors that can affect the collision risk. The top wire seems to kill more birds than the other wires, which may be because the birds fly more often at higher heights or that it is usually a thinner wire and more difficult for the birds to detect. One assumption is that collision risk depends on the number of vertical levels of wires with more birds killed at power lines with wires placed at several vertical levels. The only large-scale study conducted on this topic comes from Portugal where no significant relation between collision risk and number of vertical levels could be detected.

- Wire marking (bird diverters) is a mitigation measure to reduce bird mortality from collisions with overhead wires. On average, markers seem to be able to reduce the number of bird collisions by 50–90%, although there are also examples of less effect than that. Based on what is known about bird's vision it is likely that large markers, short spacing between markers, bright colours and contrasting moving parts are most effective in reducing the number of collisions.
- A recent review of the effectiveness of bird diverters in reducing collision risks can be used to assess how well these reduce the risks for different bird groups. Maximum reduction effect can be expected for swans, geese, dabbling ducks and herons. High effects can also be expected for divers, grebes, diving ducks and cranes. Moderate effects can be expected for grouse and most waders. The smallest effects can be expected for quails, rails and skuas. It is likely that bird diverters also have small effects in reducing collision risk for raptors and owls.
- It is unclear what types of wire markings that works best. In Germany, black and white reflex bands are commonly used as bird diverters, while the so-called spinning *Firefly* is regularly used in Sweden. It is still too early to evaluate newer bird diverters that reflect light or are self-luminous in the dark.

ELECTROCUTION

- Birds are also killed when they get into contact with two wires or energized parts of a power line. Electrocution is most likely to occur among birds in the body size of crows and larger. Mortality due to electrocution is most reported among raptors, large owls, crows and storks. These are birds that often use power line poles as viewing points, and they are large enough to access two tensioned components simultaneously. The types of pole structures, insulators and transformers that are dangerous to the birds are relatively well known and it is often possible to mitigate risks when constructing new power lines. Electrocution can also occur in the event of a collision when an elongated bird collides with the wire and at the same time gets in contact with two energized components.
- In Sweden, electrocutions of birds occur mainly in the local electric grid up to 24 kV. As this grid is buried underground and conductors are replaced with isolated wires and transformers are isolated, statistics from the Swedish Natural History Museum show that the proportion of birds killed by power lines has decreased from about 12% to 4% during the period 1990–2017. There is still a relatively high proportion of reported electrocuted birds, which indicates that there are still many dangerous overhead wires and poles in the Swedish electricity grid.

THE EXTENT OF POWER LINE MORTALITY

- The state of knowledge about the impact of power line mortality on Swedish bird populations is poor. For most species of birds, this mortality has no impact at all on the population level. Several of the species running the highest risks, especially to electrocution, are also threatened with small national population sizes. Golden

Eagle and Eagle Owl are species where mortality of relatively few individuals could theoretically impact population sizes. Power lines as a cause of death have decreased for both Golden Eagle and Eagle Owl in the Swedish Natural History Museum's analyses. At present, power lines are less likely to pose a significant threat to these species, at least not nationally. Regionally, power line mortality can still pose a threat and it is still important to reduce this impact factor.

- Power line mortality of birds occur largely across the country. Most bird accidents seem to occur during the spring and summer months, which can probably be explained by the fact that birds are most numerous then and that during the summer many young and inexperienced birds are killed.
- It is difficult to calculate the number of birds that annually die at power lines in Sweden. Published studies from other parts of the world are to a certain extent carried out in known problem areas, which makes it difficult to use these mortality rates for Swedish conditions. There are only a few bird mortality studies of power lines from Scandinavia and these are almost exclusively from Norway. The Norwegian studies that include Black Grouse, Capercaillie and Willow Ptarmigan should be transferable to Swedish conditions in corresponding terrains. In any case, it is likely that bird mortality is generally higher in southern Sweden than in the northern part of the country, as bird density is significantly higher further south.
- The power line grid in Sweden is long and is likely to cause more birds' deaths than current wind farms in Sweden, but fewer than, for example, traffic. However, it is difficult to compare the significance of different causes of death since all these mortality factors have different impacts on different species. It is the overall effect of various factors that ultimately determines whether a bird species is negatively affected or not. Reviews from USA and Canada estimate that the number of electrocuted birds is significantly less than the number of birds that collide with wires. From Sweden, there are only statistics from the Natural History Museum that provide some guidance on power line mortality among bird species. These data mainly provide information on electrocutions and the extent of bird collisions in Sweden is basically unknown.

Begreppsförklaring

Författare: Edström, L. (E.ON), Miliander, S. (Ellevio), Weinz, J. (Vattenfall), Spinnel, E. (Skellefteå Kraft), Norrlander, C. (Affärsverket svenska kraftnät). Sakgranskat av Ahlrot, C. (E.ON).

Faslina	Den lina (ledare) som leder ström. Normalt finns tre faslinor.
Topplina	Den lina som sitter över faslinorna på transmissionsnätsledningar och på vissa regionnätsledningar. Denna ledare är förbunden med jord och leder inte ström. Den är ofta tunnare än faslinan och har en funktion som åskskydd för ledningen och/eller kommunikationsledning, s.k. optofiber.
Jordledare/jordlina	Längs med transmissionsnätsledningar finns en längsgående lina nergrävd under luftledningen. Detta förekommer ibland också i regionnätet och ibland på vissa sträckor på lokalnätsledningar. På regionnätsledningar med lägre spänning kan en jordlina hänga under faslinorna. Topplinan är också en jordlina med den skillnaden att den hänger i toppen.
Portalstolpe	Stolptyp som består av två ben med en horisontell regel i vilken faslinorna hänger. Vanligen består benen av impregnerat trä men kan också bestå av en fackverkskonstruktion eller stålrör, då främst i transmissionsnätet.
Linepoststolpe	Benämning på en enbent eller portalstolpe med en regel där isolatorerna är upprättstående. Kan också benämnas som enbent stolpe med stödisolatorer. Stolpen består vanligen av impregnerat trä och enbenta linepoststolpar är den dominerade stolptypen i lokalnätet. Förekommer också i regionnätet på lägre spänningar. Fasavståndet varierar.
Stag	Vajrar som har till uppgift att stötta en stolpe. Förekommer som regel vid vinkelstolpar där ledningen byter riktning men behövs också vid dålig bärighet, bergförankring och ändstolpar.
Isolator	Den komponent som faslinorna sitter fast i och som är förbunden i regeln eller direkt på stolpen. Isolatorerna består av glas, keramiska skivor eller gummimaterial och har till uppgift att isolera den strömförande faslinan från regeln och stolpen i övrigt. Isolatorer kan vara både upprättstående, s.k. stödisolatorer, eller hängande. Isolatorernas längd varierar med spänningen med längre isolatorer vid högre spänning. Längden varierar från ett par decimeter på lokalnätsledningen till ca 4 meter på de största ledningarna med hängande isolatorer.
Lågspänning	Spänningsnivå <1 kV
Mellanspänning	Lokalnätet delas ibland upp i lågspänning och mellanspänning (10-20 kV). Definitionsmässigt är ledningar med mellanspänning att betrakta som högspänningsledningar.
Högspänning	Spänningsnivå >1 kV
Transmissionsnät	Har till uppgift att överföra el långa sträckor från produktion till transformering. Enligt ellagen 1 kap 4a§ utgör transmissionsnätet ett sammanhängande nät om 220 kV eller mer som sträcker sig över flera regioner.
Distributionsnät	Har till uppgift att fördela ut elen från transformatorstationer till slutanvändare. Regionnätet och lokalnätet har denna funktion.

1. Inledning

I Sverige saknas en kunskapssammanställning över kraftledningars påverkan på fåglar. Den här rapporten är ett resultat av ett uppdrag från E.ON Energidistribution AB, Vattenfall Eldistribution AB, Affärsverket svenska kraftnät, Ellevio AB och Skellefteå Kraft för att kritiskt sammanställa och utvärdera det som är känt om hur fåglar påverkas av kraftledningar. Eftersom det finns vissa likheter i hur fåglar reagerar vid kraftledningar och vid vindkraftverk kan rapporten med fördel läsas tillsammans med Vindvals syntesrapporter om vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss (Rydell m.fl. 2011, Rydell m.fl. 2017).

Driftsäkerheten i strömleverans är viktig för samhället. Vinterstormarna Gudrun och Per fällde mängder av träd i svenska skogar, varav många föll ner på luftledningar och orsakade strömavbrott under lång tid för många hushåll. Detta drabbade framförallt lokalnätet. Omfattande arbete har därefter lagts ned på att öka driftsäkerheten i elnätet. För att minska väderrelaterade fel och störningar har många mil med kraftledning vädersäkrats. Inom lokalnätet har det skett genom att luftledningar har ersatts med markförlagda ledningar eller att isolerade ledningar har ersatt blanktråd (oisolerede ledningar). Nya ledningar förläggs dessutom nästan alltid som markkabel. Inom region- och transmissionsnätet har driftsäkerheten ökat genom att skapa tillräckligt breda skogsgator, så kallade trädsäkra ledningsgator, för de ledningar som redan inte hade det.

Driftstörningar i strömleverans orsakas ibland av att fåglar får el genom kroppen vid kontakt med strömförande delar. Detta kan hända vid samtidig kontakt med två oisolerade ledningsdelar, en oisolerad ledningsdel och en jordad del av ledning eller vid transformatorer. När sådana händelser inträffar sker det ibland så snabbt att det aldrig blir en driftstörning, men att fågeln skadas eller avlider av skadorna. En fågel som flyger in i en luftledning orsakar i sig sällan driftstörning om den inte samtidigt får elström i sig.

Omfattningen av fåglar som dör till följd av kraftledningar är svår att fastställa. Problematiken med fågeldöd vid kraftledningar finns emellertid över hela världen och uppmärksammades mer allmänt på 1970-talet. Sedan dess har ett antal vägledningar med rekommendationer på åtgärder för att minska fågeldöd vid kraftledningar publicerats. Åtgärder för att installera säkra kraftledningar som minskar fågeldöd lyfts fram i en FN-konvention från 2002. Bernkonventionen fastställde 2004 i rekommendation 110 vägledning om hur negativ påverkan från kraftledningar på fåglar kan reduceras. Detta direktiv följdes upp av överenskommelsen i Budapestdeklarationen 2011 om att EU-länderna senast till 2020 ska implementera åtgärder för att eliminera faror som fåglarna konfronteras med vid kraftledningar. Dessa rekommendationer har inte införlivats i svensk lagstiftning.

Kraftledningar leder till att landskapet förändras när mark tas i anspråk. Detta kan innebära förlust av livsmiljöer för fåglarna, vilken kan omfatta arealer utanför det område som kraftledningarna upptar. De nya livsmiljöer som uppstår under kraftledningar kan å andra sidan skapa lämpliga biotoper för fåglar och andra organismer som annars har det svårt i andra miljöer där de förekommer.

2. Metodik

Den här rapporten baseras på kunskap som var tillgänglig 2019. Främst har kunskap hämtats från vetenskaplig litteratur och skriftliga rapporter som har påträffats vid sökning på Internet eller vid kontakt med experter. I några fall har publikationer erhållits efter direkt kontakt med författarna. Den övervägande majoriteten av de funna publicerade studierna härrör från Europa, Nordamerika och Sydafrika. Sökningar har gjorts med publikationer på engelska som utgångspunkt. Resultat som har publicerats på andra språk har ofta en engelsk sammanfattning som har använts för att bedöma undersökningens relevans i den här sammanställningen.

Elektroniska databaser och Internet användes för att hitta relevant vetenskaplig litteratur och publikationer inom vad som kallas den "grå" litteraturen, det vill säga arbeten som inte har publicerats i den vetenskapliga litteraturen. För att hitta vetenskapligt publicerade undersökningar av kraftledningars påverkan på fåglar användes sökmotorerna Google Scholar (www.scholar.google.com) och Web of Knowledge (BIOSIS; <http://apps.isiknowledge.com/BIOSIS>).

Från branschen (främst Linus Edström, E.ON) tillhandahölls rapporter och dataunderlag på fågeldödlighet. Hit räknas också statistik över strömavbrott som bedömts som orsakade av fåglar. Kontakt togs med BirdLife Sverige och ornitologer med god erfarenhet av praktiskt arbete med frågor som rör kraftledningar och fåglar, särskilt kungsörn och berguv. Parallellt med denna syntesrapport gjorde Thord Fransson och kollegor på Naturhistoriska riksmuseet en analys av återfynd av ringmärkta fåglar 2000–2017 för utvärdering av hur kraftledningar som dödsorsak förändrats över tiden (Fransson m.fl. 2019). En liknande analys gjordes 2000 av Fransson & Stolt (2000) och omfattade perioden 1960–1999. Några svenska undersökningar utförda i fält kunde inte hittas vid den här genomgången.

Följande söktermer användes för att hitta litteratur om fåglar och kraftledningar:

- bird* AND power line*
- bird collision* AND power line*
- bird mortality* AND power line*
- bird mitigation* AND power line*

Följande söktermer användes för att hitta litteratur om fåglar och eldöd:

- bird* AND electrocution*
- bird mortality* AND electrocution*
- bird mitigation* AND electrocution*

Vid litteratursök hittades flera kunskapssammanställningar som innehöll referenslistor på litteratur som författarna hade gått genom. I dessa sammanställningar fanns referenser som kompletterade de som hittades vid huvudsöket. Källan till samtliga dessa referenser har inte letats upp utan de har oftast ingått i de analyser som gjorts i kunskaps-sammanställningarna. I tabell 1 presenteras de viktigaste nyare sammanställningarna som fanns från och med 2007.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) i Trondheim har bedrivit mycket forskning kring fåglar och kraftledningar. Deras forskningsrapporter laddades ner från hemsidan www.nina.no. Ett besök gjordes också på NINA 4 juni 2018 för samtal med flera av de forskare som arbetat med undersökningar av kraftledningar och fåglar. Kontaktperson på NINA var Bård Stokke.

En del information som använts till den här syntesrapporten har varit dold i studier som inte haft för avsikt att i första hand studera kraftledningars påverkan på fåglar. Till exempel hittades en rapport om tjäder från Sverige där analyser gjordes av överlevnad hos tjädrar märkta med radiosändare i Västerbottens län (Hörnell-Willebrand 2012). I studien erhöles data på dödsorsaker där det fanns fynd av tjädrar som kolliderat med kraftledningar.

Tabell 1. Relevanta kunskapssammanställningar om kraftledningar och fåglar publicerade från och med 2007 och framåt.

Bernardino m.fl. 2019	Nyttan med markering av kraftledningar
Liesenjohann m.fl. 2019	Guide till bedömning av hur effektiva fågelavvisare är för olika fågelarter
Bernardino m.fl. 2018	Fågelkollisioner med kraftledningar fram till december 2016
Mojica m.fl. 2018	Eldöd hos kungsörn
Bevanger m.fl. 2016	Kunskapssammanställning på norska inom projektet OPTIPOL
Hovick m.fl. 2014	Effekter av mänskliga strukturer som kraftledningar på hönsfåglars överlevnad och beteenden
Loss m.fl. 2014	Uppdaterade dödstal av fåglar vid kraftledningar i USA baserat på sammanställning av publikationer från hela världen
Bevanger & Refsnæs 2013	Åtgärder för att minska risken för kollisioner och eldöd vid norska kraftledningar
APLIC 2012	Vägledning för att reducera fågelkollisioner med kraftledningar med fokus på USA
Barrientos m.fl. 2011	Nyttan med markering av kraftledningar
Jenkins m.fl. 2010	Fågelkollisioner med kraftledningar och fokus på Sydafrika
Lehman m.fl. 2007	Eldöd av rovfåglar

2.1 Bedömning av artiklar

Publikationer som enbart beskriver enskilda händelser där fåglar har dött vid kollisioner eller vid strömgenomgång genom kroppen har inte tagits med i den här sammanställningen.

Två sökningar gjordes i BIOSIS, en i tidigt stadium av arbetet och en kompletterande sökning 13 augusti 2019. I sökningen med termerna *bird* AND power line** erhöles 433 träffar i BIOSIS från perioden 1969–2019 där 158 artiklar från och med 1995 valdes ut som relevanta för den här rapporten. Från åren tidigare än 1995 fanns ytterligare 18 intressanta publikationer, vilket gav totalt 176 artiklar. Vid övriga sökningar med söktermer på sid. 13 tillkom 18 artiklar.

Ytterligare granskning och utvärdering av artiklar resulterade i en excel-fil med 142 vetenskapliga publikationer från sökningarna ovan (tabell 2). Av dessa fanns endast en sammanfattning utan fulltext i 21 artiklar.

Tabell 2. Fördelning av 142 vetenskapliga publikationer som hittades vid sökning i BIOSIS med beröring till kraftledningars påverkan på fåglar.

	Antal publikationer	Kommentar
<i>Översiktliga publikationer</i>		
Metodik/morfologi	5	
Kunskapssammanställningar	23	
<i>Riktade studier</i>		
Europa	58	25 från Spanien, 6 från Norge, 1 från Danmark
Nordamerika	32	30 från USA
Afrika	11	9 från Sydafrika
Asien	9	4 från Mongoliet
Sydamerika	2	Argentina, Brasilien
Mellersta Östern	1	Saudiarabien
Nya Zeeland	1	

3. Frågeställningar

Syntesrapporten försöker ge svar på följande:

1. Hur ser riskerna ut för att fåglar kolliderar med kraftledningar? Vilka skillnader finns mellan arter och olika typer av ledningar?
2. Hur ser riskerna ut för eldöd? Vilka arter är utsatta och vilka stolpkonstruktioner innebär risker?
3. Hur många fåglar dödas av kraftledningar? Finns uppskattningar/beräkningar av omfattningen? I vilka fall (för vilka arter) kan man misstänka påverkan på populationsnivå (lokal/regional/nationell)?
4. Vilka är effekterna av markeringar på ledningar (så kallade fågelavvisare) för att undvika kollisioner? Är de effektiva? I vilka lägen kan det vara befogat att sätta upp markeringar?
5. Finns studier av störningar under fåglarnas häckningstid av byggnadsarbeten, röjning eller avverkning av träd vid arbete med kraftledningar?
6. Vad är känt om förlust av fåglarnas livsmiljöer vid kraftledningar? Om fåglarna undviker att vistas i närheten av kraftledningar, hur kan det påverka fåglarna?

En avgränsning i uppdraget var att inte presentera anvisningar eller rekommendationer på hur man bör anlägga kraftledningar eller designa ledningsstolpar. Rapporten redovisar bara översiktligt behovet av ny forskning men inte specifika förslag på studier som bör genomföras.

4. Teknisk genomgång av svenska kraftledningar

För att kunna dra slutsatser från studier om kraftledningars påverkan för fåglar är det väsentligt att känna till hur elnätet är uppbyggt och vilka skillnader som finns mellan olika typer av stolpar. Detta är också en stor utmaning när det gäller att tolka och översätta utländsk forskning till svenska förhållanden. Ledningsnät och stolpar i utlandet ser i många fall helt olika ut jämfört med det svenska nätet och benämns på olika sätt. I många studier framgår det inte heller tydligt vilken typ av ledning och stolpe som studerats och ännu mindre hur måtten på ledningar och stolpar i studien ser ut. Det försvårar möjligheten att i generella ordalag diskutera risker med kraftledningar då ledningarna skiljer sig markant åt mellan olika typer av ledningar och stolpar. I detta kapitel redogörs för elnätets uppbyggnad i Sverige och begrepp och mått som är nödvändiga att känna till för att bedöma risker för fåglar.

4.1 Det svenska elnätet

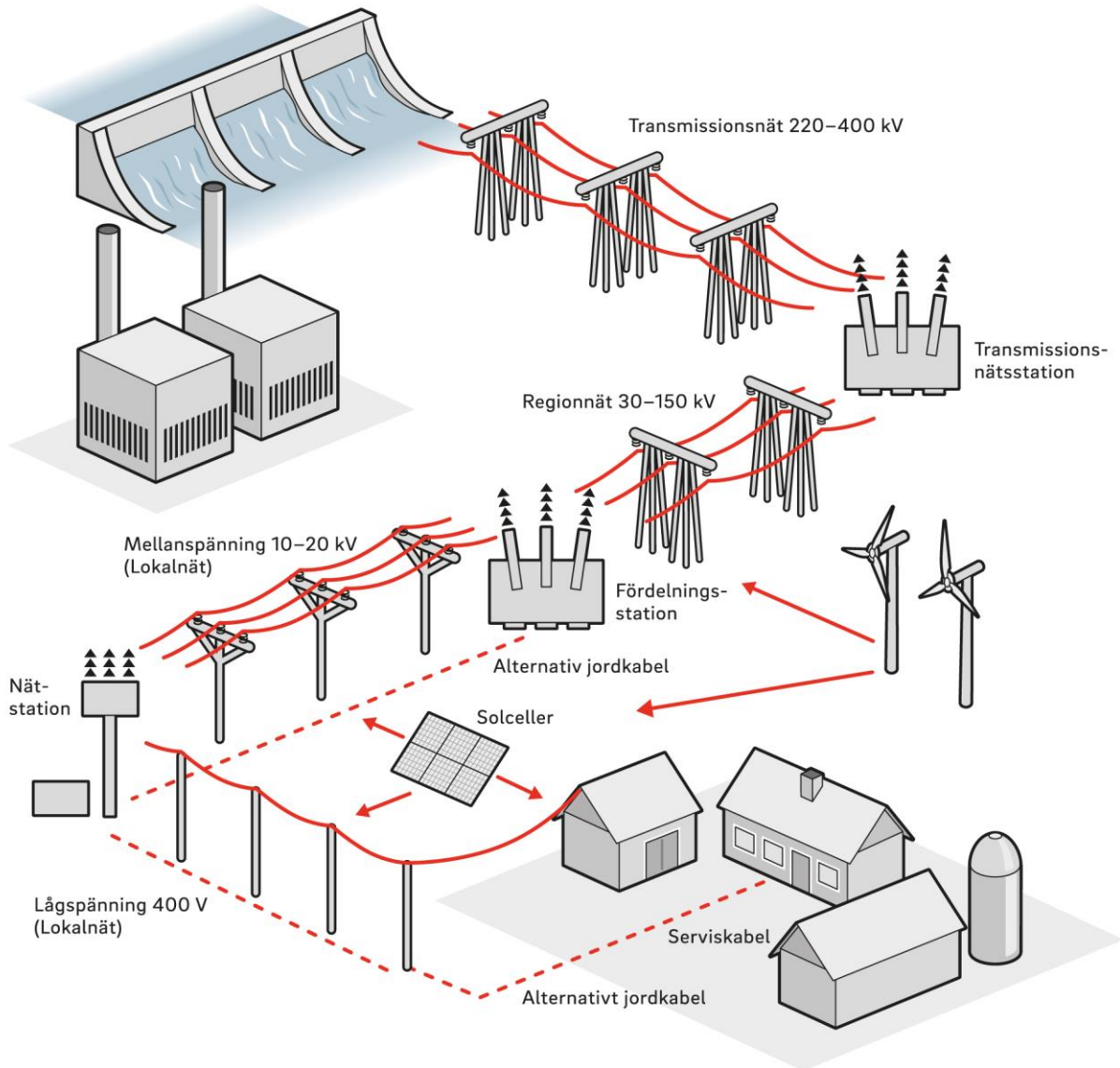
Det svenska elnätet har byggts upp för att fördela el från stora produktionsanläggningar såsom vattenkraft och kärnkraft ut i landet. De största ledningarna ingår i det som kallas transmissionsnätet (tidigare benämnt stamnätet) och som består av kraftledningar med 220–400 kV spänning (figur 1). Det är ett statligt affärsverk, Svenska kraftnät, som ansvarar för transmissionsnätet som också har förbindelser till utlandet.

Transmissionsnätets ledningarna går till transformatorstationer där transformering sker till en lägre spänning, vanligen 130 kV. Denna spänning ingår i det som kallas regionnätet och som fördelar strömmen ut i regionerna. Spänningsnivån på regionnätet är vanligtvis mellan 30 och 150 kV och det är ett fåtal företag som är regionnätsägare. Den undre gränsen för regionnätet varierar i olika delar av landet beroende på gränsen för områdeskoncession. I regionnätet finns en stor variation av stolpar och ledningstyper. Vissa större produktionsanläggningar och stora industrier är anslutna direkt till regionnätet.

Regionnätet går i sin tur vidare till transformatorstationer (fördelningsstationer) där transformering sker ner till lägre spänning, 10–20 kV (brukar kallas för mellanspänning). Mellanspänningsnätet leder vidare till lågspänningsnätet som har en spänningsnivå på 0,4 kV och det är denna nivå som leder till hushållskunder. Lågspänningsnätet är i ännu högre grad nergrävt och närmast slutkund används begreppet serviskabel. Låg- och mellanspänningsnätet ingår i det så kallade lokalnätet. Lokalnätet är de ledningar som har klart störst omfattning i antal kilometer och är mest utbredd och finmaskigt. Detta nät är under kraftig ombyggnad och förändring sedan drygt 10 år tillbaka.

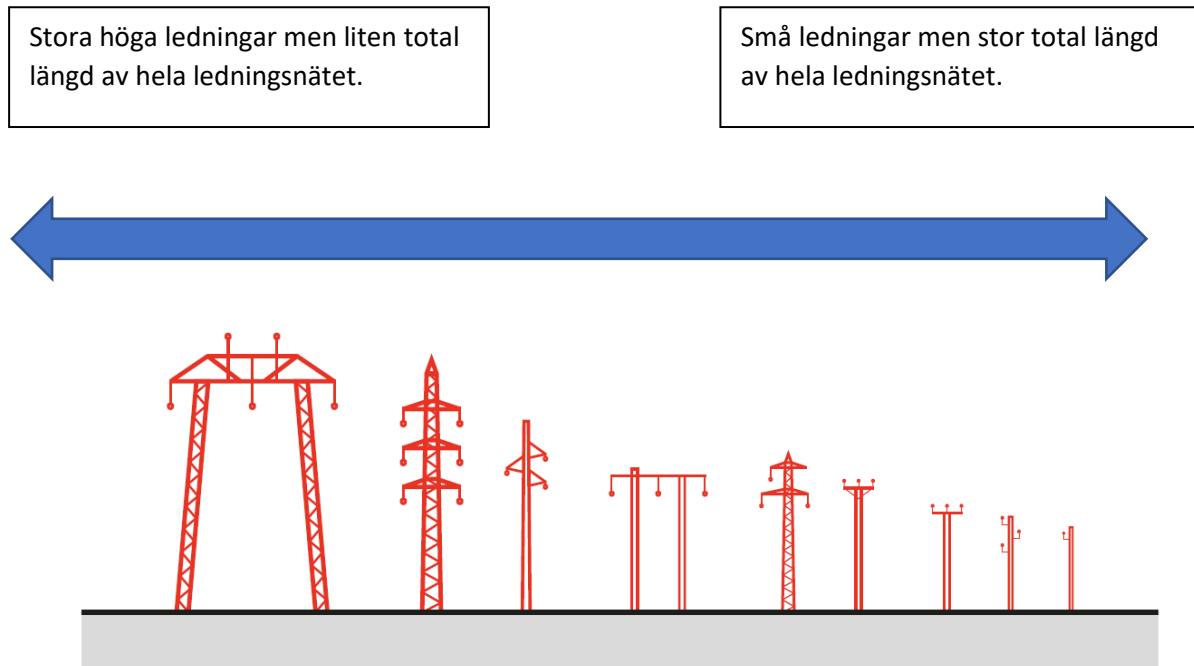
Framför allt i utländska rapporter används begreppen transmissionsnät och distributionsnät, vilket ännu inte är lika vanligt i Sverige. Transmissionsnätet har till uppgift att överföra el långa sträckor från produktion till transformering. I Sverige kan

transmissionsnätet och delar av regionnätet sägas utgöra transmissionsnätet. Distributionsnät har till uppgift att fördela ut elen från transformatorstationer till slutanvändare. Delar av regionnätet och lokalnätet har denna funktion.



Figur 1. Principskiss över kraftsystemet med några grundläggande begrepp. Transmissionsnät (som omfattar 220 kV), regionnät (som kan sträcka sig upp till 150 kV och ibland ner till 30 kV) och lokalnät. Ju högre upp i systemet desto mindre antal ledningar finns generellt men stolpar och ledningar är större. Ju längre ner i systemet desto mer finmaskigt nät och total längden blir stor. Samtidigt är stolpar och ledningar mindre och omfattningen av markkabel större.

Elsystemets luftledningar är uppbyggt med ett stort antal olika ledningar som skiljer sig åt i storlek, material, konstruktion och också miljöpåverkan, se figur 2. Det finns stora variationer utöver de som visas i principskissen och beskrivs i text. Utöver huvudtypen av stolpe på en ledning finns ofta olika typer av specialstolpar såsom vid vinklar, vissa passager med långa spann, ingångar till stationer och t.ex. där luftledning övergår i markkabel.



Figur 2. Typisk transmissionsnätledning till vänster och lågspänningsstolpe i lokalnätet till höger. Figuren är inte skalenlig och avser inte att visa några exakta mått eller konstruktioner utan är ett sätt att illustrera hur mycket kraftledningsstolpar kan variera.

4.2 Elnätets omfattning och förändring

4.2.1 Ledningsnätets längd

Transmissionsnätet har varit relativt oförändrat under de senaste decennierna även om ett antal förbindelser tillkommit. Även i regionnätet har endast relativt små förändringar skett. I lokalnätet pågår däremot ett omfattande ombyggnationsarbete, vilket framgår av tabell 3 och figur 3. Energimarknadsinspektionen (Ei) samlar varje år in data från elnätsägarna och sammanställer detta till statistik. Längre tillbaka än ca år 2000 är statistiken osäker då elnät bytt ägare och andra förändringar skett.

Av det totala ledningsnätets längd idag på ca 56 400 mil utgör lokalnätet den helt dominerande delen på ca 92 %. Totallängden i ledningsnätet motsvarar ca 14 varv runt jorden.

4.2.2 Vädersäkringsprojektet och kabling

Av siffrorna i tabell 3 kan uttydas att transmissionsnätet och även regionnätet är relativt stabilt över tiden. Den stora förändringen av luftledningsnätets längd har skett i lokalnätet. Detta har huvudsakligen sin grund i den intensifiering av vädersäkring som skedde efter stormen Gudrun 2005 och även stormen Per 2007, liksom även högre krav på leveranssäkerhet i lagstiftning och från myndigheter. Ombyggnation av elnätet påbörjades redan under 1990-talet men intensifierades i och med stormarna. Elnätsbolagen har sedan dess arbetat intensivt med att vädersäkra lokalnätet. Vädersäkra kan också benämnas trädssäkra, vilket innebär att man bygger och underhåller ledningarna så att dessa ska störas så lite som möjligt av stormar och fallande träd. Transmissionsnätet och regionnätet är redan idag vädersäkrat genom att tillräckligt breda skogsgator skapas kring ledningen (ca 30–40 meter breda). Det innebär att träd avverkas eller toppas så att inga träd ska kunna falla över ledningarna.

Tabell 3. Statistik på det svenska elnätet från Energimarknadsinspektionen (Ei) med siffror från 2001 och 2016.

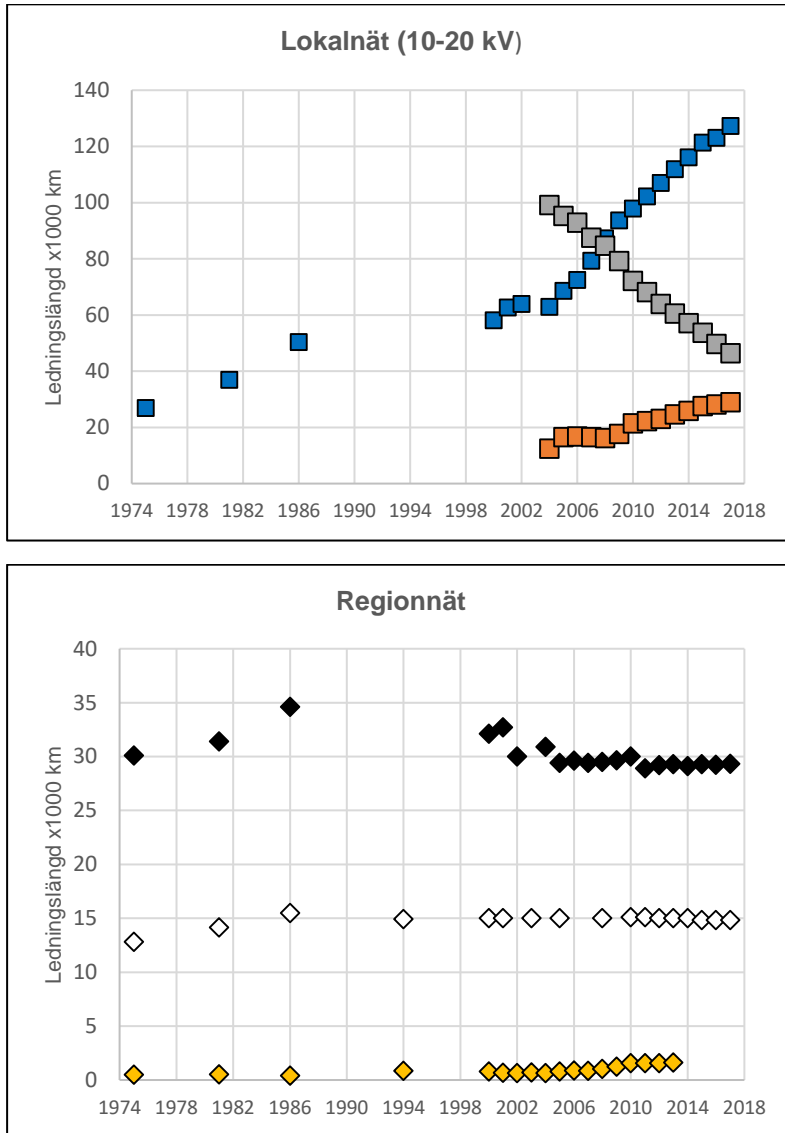
2016 års statistik från Ei	Spänning	Luftledning (km)	Luft oisolerat lokalnät (km)	Markkabel (km)	Sträcka totalt (km)
Transmissionsnät	220-400 kV	Ca 14 700	-	Ca 300	Ca 15 000
Region- och transmissionsnät	30-150 kV	Ca 29 200	-	Ca 1 600	Ca 31 000
Lokalnät	0,4-20 kV	Ca 83 200 (isolerat)	Ca 55 100	Ca 380 000	Ca 518 000

2001 års statistik från Ei*	Spänning	Luftledning (km)	Luft oisolerat lokalnät (km)	Markkabel (km)	Sträcka totalt (km)
Transmissionsnät	220-400 kV	-	-	-	Ca 15 000
Region- och transmissionsnät	30-150 kV	Ca 32 200	-	Ca 500	Ca 32 700
Lokalnät	0,4-20 kV	Ca 88 000 (isolerat)	Ca 126 500	Ca 248 000	Ca 462 500

* Lågspänning avser 2004 års statistik. Transmissionsnätet består nästan uteslutande av luftledning.

Figur 3 baseras på statistik från Ei:s sammanställning av elnätbolagens inrapporterade data. Statistik för 1975–1986 är hämtad från Statens planverks rapport 46 från 1978 med revidering 1985 samt i uppdaterad version 1989. Under 1990-talet skedde avreglering av elnätsmarknaden och samlad statistik har inte gått att finna. Dessutom finns delvis luckor i Ei:s statistik för åren 2000–2003. Ju äldre data desto större osäkerhet. De större trenderna är intressanta. Transmissionsnätet (som i stort sett bara består av luftledning) och regionnätet har varit relativt stabilt i decennier. Större förändringar skedde senast på 1980-

talet. En svag ökning av både regionnätets luft- och kabelsträckkor kan anas senare år, en tendens som sannolikt kommer öka i och med vindkraftsanslutningar och andra investeringar. Oisolerad luftledning (10–20 kV) har en brant nedåtgående trend och andelen jordkabel i denna spänningsnivå har ökat motsvarande.



Figur 3. Ledningsnätets utveckling i Sverige 1975–2017. Under 1990-talet skedde avreglering av elnätmarknaden och samlad statistik har inte gått att finna. Dessutom finns delvis luckor i Ei:s statistik för åren 2000–2003. Blå kvadrat = jordkabel; Grå kvadrat = oisolerad luftledning; Orange kvadrat = isolerad luftledning; Svart rutertecken = Regionnät luftledning; Vitt rutertecken = Transmissionsnät; Gult rutertecken = Regionnät jordkabel.

I Ei:s sammanställning över Sveriges elmarknad 2017 anges att av luftledningsnätet är 98 % av lågspänningsnätet isolerat och 75 % av övriga lokalnätet isolerat (siffrorna gäller för 2016 års inrapporterade data och andelen kan skilja sig åt mellan olika geografiska områden).

När det gäller lokalnätet så bedömdes att trädsäkring genom breda skogsgator inte var möjligt. Lokalnätet vädersäkras istället genom att man antingen gräver ner ledningarna under mark eller, där det inte är möjligt eller lämpligt, genom att bygga ledningar med plastöverdragna isolerade linor istället för blanka faslinor. De isolerade linorna brukar benämnas BLL eller BLX. En plastöverdragen lina klarar normalt att stå emot fallande träd utan att avbrott för kund uppstår. Vädersäkringsprojekt pågår hos alla elnätsägare och bedöms vara klart inom de närmaste tio åren med osäkerhet vad reglering av nätavgifter kan medföra för justeringar i investeringstakt.

Att kabelförlägga ledningar inom lokalnätet är mindre komplicerat (teknik- och arbetsmässigt) och mer kostnadseffektivt då det inte är lika grova kablar som för region- och transmissionsnät, och då det inte behövs lika breda schakt. Markförläggning av region- och transmissionsnät sker främst inom tätbebyggda och expansiva områden där det är svårt att anlägga luftledning av utrymmesskäl. Ett fel på en markkabel uppstår normalt mer sällan men när det uppstår är det avsevärt svårare att felsöka och felavhjälpa. Detta gäller inte minst i Sverige med långa avstånd och tjälad och snötäckt mark under en stor del av året. Uppstår ett avbrott på en region- eller transmissionsnätsledning kan det drabba betydligt fler kunder än ett fel på en lokalnätsledning. Lokalnätet är också mer finmaskigt och en felande ledning kan lättare kopplas bort och elen kan ta en annan väg så att antalet kunder som drabbas blir litet.

Det är inte realistiskt att tro att alla kraftledningar kommer att markförläggas. Redan idag anser många att elnätsföretagens avgifter är för höga. Markförläggning medför högre kostnader med generellt högre kostnad ju högre spänningsnivå det är. Markförläggning av allt ledningsnät skulle medföra stora samhällsekonomiska kostnader och oacceptabla avbrottsrisker med tanke på längre felsöknings- och avhjälpningstider.

4.2.3 Framtidens elnät

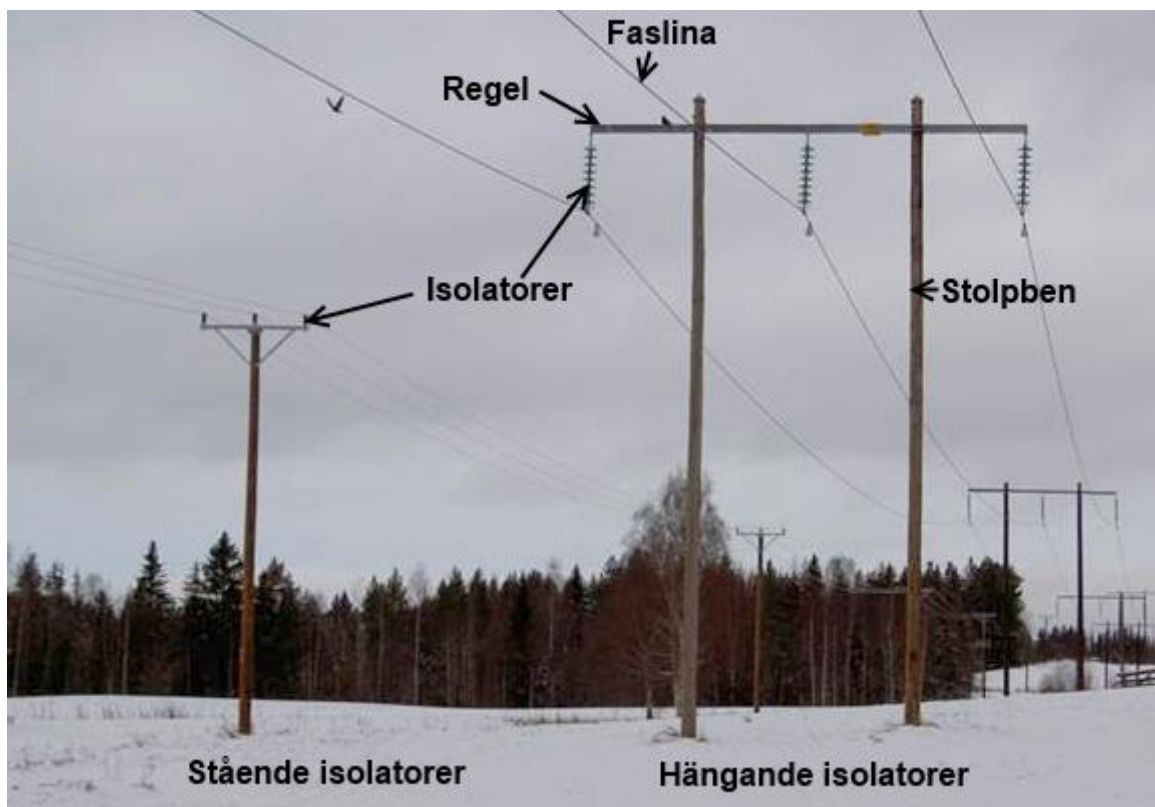
Hur framtidens energisystem kommer att se ut är svårt att förutse, men förändringar kan förväntas. Utfasningen av fossila bränslen innebär att betydelsen av elinfrastrukturen kommer att öka. För att klara framtidens utmaningar med fortsatt utbyggnad av vindkraft och etablering av elintensiva verksamheter såsom t.ex. serverhallar, datacenter eller batterifabriker krävs sannolikt fler transmissionsnäts- och regionnätetsledningar. Utvecklingen av solceller och behov av laddinfrastruktur för bland annat elbilar kommer att kräva ombyggnad och utbyggnad av främst lokalnätet. Försök pågår även med elvägar för tunga transporter. Ett sätt att lösa det på är genom kontaktledningar i luft liknande spårvagnslösningar. För att lyfta bort transporter från väg till järnväg kommer också fler elektrifierade järnvägar att krävas i framtiden, vilket också ökar behovet av kraftledningar.

I och med bredbandsutbyggnaden är det också vanligt att fiberoperatörer vill sambygga och hänga upp optofiber i elledningar. Det förekommer främst i lokalnätet och då hängs en separat optofiber upp, vanligen under faslinorna.

4.3. Stolptyper

Figur 4 visar grundbegreppen på kraftledningsstolpar. En kraftledningsstolpe kan bestå av impregnerat trä, fackverkskonstruktion i stål, stålrör, betong eller något kompositmaterial. Den helt dominerande konstruktionen sett till ledningslängd är trästolpar. Stolparna kan vara stagade med en eller flera stålvaror. På stolpen, eller stolparna, sitter en eller flera horisontella reglar. På reglarna är isolatorer fästade (figur 4). Isolatorer har till uppgift att isolera den strömförande faslinan från regeln och övriga stolpen. Isolatorn kan hänga nedåt eller vara upprättstående och längden på isolatorn kan variera från ett par decimeter till flera meter (figur 4 och 5). Faslinorna (tre på en ledning, sex om två ledningar sitter i samma stolpe) är ofta placerade horisontellt. Ibland, och ofta om det är sex faslinor, så sitter de vertikalt längs stolpen för att ledningen ska ta mindre mark i anspråk (figur 7).

Regeln på en trästolpe är normalt inte jordad (gäller upp till 50 kV). I framför allt transmissionsnätet löper en långsgående markförlagd jordlina under hela ledningen. Så är inte fallet i lokalnät. Vissa större regionnätetsledningar anläggs med medföljande jordlina men oftast i luften i form av topplina. I lokalnätet, och ibland på regionnätetsledningar i lägre spänningar, hänger en jordlina under faslinorna. Det kan också hänga en optofiberkabel under faslinorna. Topplina är vanligen en jordlina som placeras i toppen, dels för att fungera som åskskydd, dels med funktion att förhindra störningar på kringliggande utrustning. Jordlina som hänger under faslinorna utgör också ett åskskydd men blixtnedslag kan då träffa faslinan och skada denna. Topplina förekommer som regel i transmissionsnät och regionnätet på högre spänningar, 130–150 kV. Topplinan har också ofta funktion som kommunikationskabel, så kallad optokabel. I de fallen byter man ut en av tre trådar i topplinan mot en kommunikationskabel. Jordkabel kan alltså finnas längs en ledning på tre sätt; i marken, under faslinorna eller ovanför dessa.



Figur 4. Grundbegrepp på kraftledningsstolpar. Stolpen till vänster är en konstruktion med stående isolatorer som normalt förekommer på 10–50 kV ledningar. Dimensionerna på stolpen varierar dock. Stolptypen till höger är en så kallad portalstolpe och kan förekomma på 30–220 kV ledningar med varierande dimensioner.



Figur 5. Detalj på isolator som i detta fall hänger nedåt från regeln och utgörs av glasskivor, keramiska skivor eller något gummimaterial. Längden är ofta flera meter på ledningar med högre spänningar. Ju högre spänning desto längre isolator. På stolptyper med stående isolator kan höjden variera mellan ca 20–80 cm.

4.3.1 Transmissionsnätets stolpar

Transmissionsnätet är i huvudsak uppbyggt av portalstolpar i stål (vanligen med fackverkskonstruktion) som kan vara stagade med vajrar eller ostagade. Kännetecknande är höga stolpar (ca 20–45 m för portalstolpar) och grova faslinor (diameter 39,2 mm). Färgen på linorna är aluminiumgrå. Faslinorna kan hänga flera tätt tillsammans, så kallade duplex= två linor tillsammans eller triplex= tre faslinor tillsammans. Förutom portalstolpar används även enbenta stolpar som brukar kallas julgranstolpe eller kompaktstolpe. Dessa är betydligt högre än portalstolparna. I vinklar används speciella vinkelstolpar.

Stolparna är placerade med långa avstånd med ett normalspann på ca 300 m eller mer. Avståndet mellan strömförande faslinor kan vara mer än ca 9 m och längden på isolatorerna är normalt ca 4 m.

Exempelbilder från transmissionsnätet visas i figur 6 och 7.



Figur 6 och 7. Exempel på vanlig portalstolpe med ben i fackverkskonstruktion till vänster (figur 6). Stolparna kan vara stagade eller ostagade. Transmissionsnätet har alltid topplina som är tunnare. På bilderna är det tydligt att flera tätt sammankopplade linor hänger i varje isolator. Till höger (figur 7) en s.k. julgrans- eller kompaktstolpe med vertikalt hängande faslinor. Här är det alltså två ledningar, dvs. sex faser som sitter i stolpen. Även här kan man också tydligt se att på varje isolator hänger flera faslinor tätt tillsammans. Till vänster i julgranstolpen hänger två linor = duplex. Till höger hänger tre faslinor på varje = triplex.

4.3.2 Regionnätets stolpar

Regionnätets ledningar har en stor variation av stolptyper. Från de minsta enbenta stolparna i trä eller komposit med stående isolatorer, stolphöjder som kan vara under 10 m och där fasavståndet på äldre ledningar kan vara så litet som 80 cm, till de största 150 kV ledningarna där det finns både tvåbenta och enbenta stolpar och där materialet kan vara trä, stål, eller kompositmaterial. Fasavståndet på dessa är vanligen större än 4 m och höjder kan variera mellan ca 15 och 35 m. Faslinornas och topplinornas tjocklek varierar, t.ex. kan en 130–150 kV faslina ha en diameter på 31,7–39,2 mm och topplina på 130–150 kV ledning 20,1 mm. Isolatorernas längd kan variera från ca 50 cm till ca 3 m. Färgen på faslinorna är vanligen metallgråa. Några exempel på stolpar i regionnätet framgår av bilderna i figur 8, 9 och 10. Det finns dock åtskilliga varianter både med horisontella och vertikala faslinor och det förekommer olika typer av specialstolpar såsom vinkelstolpar, ändstolpar och även äldre konstruktioner.



Figur 8 och 9. Exempel på stolptyper i regionnätet med vertikala linor. Till vänster (figur 8) en ledning med stolpe i fackverkskonstruktion. På denna stolpe sitter två ledningar med tre faslinor på vardera sidan om stolpen, på vänstra sidan av stolpen i detta fall 130 kV och på högra sidan 50 kV i samma stolpe. Stolptypen går ofta under benämningen "julgransstolpe" och förekommer när man behöver sambygga flera ledningar i samma stolpe. Till höger (figur 9) en stolpe med vertikala linor och topplina. Denna stolpe består av ett stålror. Här är avstånden mellan strömförande delar stora.



Figur 10. Vanliga stolptyper i regionnätet med spänning 50-150 kV med horisontellt orienterade faslinor. Till höger en dominerande stolpe i 130 kV-nätet. Till vänster en motsvarande stolpe med 50 kV. Detta är portalstolpar med stolpben i impregnerat trä, nedhängande isolatorer och vanligen två topplinor. Avstånden mellan strömförande delar är vanligen stort.

I figur 11 visas till höger en enbent trästolpe som är en vanlig stolptyp för 30–50 kV ledningar i regionnätet. Avståndet mellan faslinorna är som standard (så kallad EBR-standard) 1,35 m på 40 kV ledningar. På äldre konstruktioner finns kortare fasavstånd. Det finns också ställen där man byggt med glesare avstånd (1,6 m), särskilt på 50 kV. Isolatorhöjden är normalt ca 60 cm. Stolpar med ledning i lokalnätet, till vänster i figur 11, har vanligtvis kortare isolatorer. Fasavståndet är vanligen 1 meter eller mindre. Nya lokalnätsledningar är plastbelagda och har då korta fasavstånd.



Figur 11. Ovan så kallad *linepost stolpe* eller enbent trästolpe med upprättstående stödisolatorer. Till höger en stolpe i regionnätet. Till vänster motsvarande konstruktion på lokalnätsledning där isolatorerna inte är lika höga. Avstånd i vertikal led från regeln upp till faslinan är på regionledning vanligtvis ca 60 cm på 40–50 kV stolpe och på lokalnätsstolpe ca 20 cm.

4.3.3 Lokalnätets stolpar

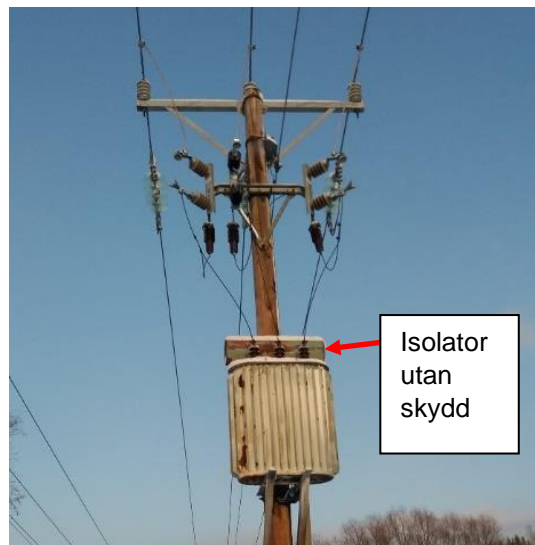
Luftledningar inom lokalnätet består av stolpar normalt lägre än 10 m, korta fasavstånd 1 m eller lägre och med avstånd mellan stolpar ofta under 100 m, se figur 12. En ansenlig del av lokalnätet består av markkabel.

På lokalnätet 10–20 kV innebär de plastbelagda, isolerade, ledningarna att faslinorna är något tjockare och kan ha en svart eller grön färgton. Blanklinor består ofta av någon form av aluminium/stållegering och ger en grå färgton. Variationen är stor. Som exempel kan nämnas att en isolerad lina i lokalnätet kan ha en diameter på 20,1 mm medan en isolerad plastbelagd lina kan ha en diameter på 25,5 mm. På vissa sträckor sitter en längsgående jordlina som hänger under faslinorna. Denna är normalt tunnare än faslinorna.

Vissa lokalnätsstolpar (10–20 kV) har en så kallad stolptransformator, se figur 13 och 14. Sedan lång tid är stolptransformatoren känd för att orsaka eldöd främst hos ugglearter. Sedan 1990-talet har konstruktionen därför utförts med fågelskydd, så kallade *Huven Uven* och med isolerade linor upp till ledningen (slackar), se figur 13. På lokalnätsledningar finns också andra komponenter med korta avstånd mellan strömförande delar som bland annat har till uppgift att hantera olika typer av fel, åsknedslag, jordfel etc.



Figur 12. Samma typ av lokalnätsstolpe som i figur 11 med stående isolatorer. Här kan dock ses att faslinorna sitter asymmetriskt, dvs. att två faslinor sitter närmare varandra vilket ger ett kortare avstånd mellan strömförande delar. Konstruktionen är av äldre typ. Till vänster synes en lina under faslinorna, en s.k. längsgående jordlina. I utländska studier benämns den ofta neutralledare.



Figur 13 och 14. En nybyggd lokalnätstolpe med stolptransformator till vänster (figur 13). Transformatorns strömförande delar på ovansidan är skyddad med *Huven Uven*. Linorna upp till faslinorna (slackarna) är isolerade och fasavståndet är kort. De isolerade plastöverdragna linorna har en grön färgton, men de kan också vara svarta eller blåaktiga. Till höger (figur 14) en äldre stolpe med motsvarande konstruktion. Strömförande delar är inte skyddade och faslinorna består av blanktråd.

4.3.5 Andra ledningsnät i luften

Förutom elnätsledningar för eldistribution så förekommer även elnät för järnvägens behov. Dels finns 130 kV ledningar som fördelar ut el till järnvägen, dels kontaktledningar längs järnvägarna. Detta nät ansvarar Trafikverket för. Kontaktledningarna har korta avstånd mellan strömförande delar och ett flertal olika linor. Trafikverket har gett ut en separat rapport om kontaktledningar och fåglar och avhandlas inte specifikt i föreliggande syntesrapport (Trafikverket 2018).

Det förekommer också fortfarande teleledningar och optokablar i luften. Dessa avhandlas inte i denna rapport.

4.3.6 Varför väljs vissa stolptyper?

Att projektera en kraftledning är komplext. Föreskrifter, elsäkerhet och annan lagstiftning anger ramverket. Ledningen måste tåla den strömlast som ska förflyttas längs ledningen. Terrängförhållanden och markens egenskaper ger sina förutsättningar för hur ledningen kan utformas. Ju högre spänning och mer ström som ska transporteras desto kraftigare konstruktion krävs. Ledningen måste också klara snö, is- och vindlaster. En ledning med faslinor med horisontell utbredning ger vanligen något högre magnetfält än en ledning med faslinor vertikalt. Ledningar med vertikala linor tar något mindre plats i bredd än horisontella linor. Ledningen måste vara kostnadseffektiv och lätt att underhålla. Andra hänsyn som vägs in vid val av stolptyp och konstruktion kan vara närboende och närhet till bebyggelse, annan infrastruktur och andra miljöintressen.

5. Fågelkollisioner med kraftledningar

Sannolikt riskerar alla flygande fåglar att under vissa omständigheter kollidera med en kraftledning, men det är ofta svårt att med nuvarande kunskaper i detalj förutsäga när och var (Bevanger m.fl. 2016). Det tycks vara oklart om kraftledningar i transmissionsnätet (i Sverige 220–440 kV) orsakar fler fågelkollisioner än vad kraftledningar med lägre spänning i distributionsnätet gör, även om några referenser antyder att det finns en sådan tendens (Manville II 2005, Shaw m.fl. 2018). Analyser vid Naturhistoriska riksmuseet av dödsorsaker hos i Sverige ringmärkta fåglar visade att för perioden 1990–2017 hade 921 individer av 51 arter rapporterats som döda under kraftledning (Fransson m.fl. 2019). Av dessa bedömde rapportörerna 38 % av fåglarna som eldödade och återstående 62 % inkluderade fynd med osäker dödsorsak och rapporter av troliga offer för kollision med ledning. Det är utifrån dessa rapporter svårt att fastställa andelen fåglar som dör i Sverige vid kraftledningar genom kollisioner respektive eldöd.

Den vetenskapliga kunskapen om samband mellan kraftledningar och fågelkollisioner och om effektiviteten av olika skyddsåtgärder har ökat de senaste decennierna, men det finns fortfarande betydande kunskapsluckor. De första sammanställningarna av kunskapsläget i den vetenskapliga litteraturen om orsaker bakom fågelkollisioner med kraftledningar samt information om skyddsåtgärder publicerades av Bevanger (1994, 1998). Sedan dess har en uppdatering av den vetenskapliga litteraturen i ämnet gjorts av Jenkins m.fl. (2010), vilken hade särskilt fokus på Sydafrika. I en kunskapsöversikt från 2018 publicerade nio forskare med stor erfarenhet av problematiken med fågelkollisioner de senaste forskningsrönen och identifierade områden med behov av ytterligare forskning (Bernardino m.fl. 2018). Forskarna fann 191 studier publicerade på detta tema från början av 1970-talet fram till och med 2016. Merparten av studierna (60 %) fokuserade på att uppskatta antalet förolyckade fåglar vid kollisioner. Studier av riskfaktorer för kollisioner avsåg arter i 51 % av fallen, lokala förhållanden 34 %, och olika kraftledningstyper i 11 %. Studier av åtgärder för att förhindra kollisioner fanns redovisade i 47 % av studierna. Flest studier har genomförts i Europa och Nordamerika.

När det gäller att försöka förstå varför fåglar kolliderar med kraftledningar har man länge utgått från människans synförmåga. Fåglars syn fungerar delvis annorlunda och de uppfattar inte omgivningen på samma sätt som vi människor gör. För detaljerad genomgång av fåglars syn rekommenderas referenserna Martin & Shaw (2010) och Martin (2011). Många fåglar har ögon placerade på huvudets sidor, vilket ger ett sidoställt seende som är användbart för att bättre kunna upptäcka predatorer, artfränder eller födomöjligheter. Men när en fågels huvud riktas nedåt kan fågeln vara närmast oförmögen att se det som ligger framåt i flygriktningen. Detta förklaras av att det binokulära synfältet är förhållandevis smalt och kort med blinda fläckar ovan och under. En trapp eller en trana behöver bara vrida huvudet nedåt 30–35° för att den blinda fläcken ska vara riktad rakt framåt. Andra arter (t.ex. vissa änder och vadare) kan ha ett bredare binokulärt synfält och därför ha större förmåga att upptäcka detaljer i omgivningarna medan de flyger.

5.1 Vilka arter och individer som drabbas

Kollisioner drabbar såvitt känt framför allt större fåglar med sämre manövreringsförmåga. Analyser vid Naturhistoriska riksmuseet pekar på att gäss, svanar, vit stork, gråhäger och trana är särskilt drabbade av kollisioner med kraftledningar (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019). Stortrapp, vilken inte finns i Sverige, rapporteras ofta kollidera med kraftledningar i södra Europa (Barrientos m.fl. 2012, Janss & Ferrer 2000). Fåglar med liknande vingmorfologi som borde vara ungefär lika utsatta för kollisioner kan dock uppvisa olika dödstal beroende på skillnader i flygbeteenden och hur talrika de är (Janss 2000). Det närmaste med stortrappens vingmorfologi som förekommer i Sverige är sannolikt tjäder, men de båda arterna lever i helt olika miljöer med olika levnadsmönster, och jämförelser dem emellan är svåra att göra. I Sverige finns dessutom få sammanställningar av hur många tjädrar och andra hönsfåglar som kolliderar med kraftledningar. I återfyndsanalyserna av ringmärkta fåglar påträffades 9,3 % (fyra återfynd) för perioden 1960–1999 respektive 14,3 % (ett återfynd) för perioden 2000–2017 av tjädrarna och 2,9 % (ett återfynd) av orrarna för perioden 1960–1999 som döda vid kraftledningar, sannolikt genom kollision (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019). I en studie under perioden 2000–2005 följdes 215 tjäderhönor med radiosändare i fjäll (nära Tärnaby) och skog (Åsele-Storuman), varav ca 85 % av hönorna med radiosändare kom från fjällena (Hörnell-Willebrand 2012). Av 215 hönor noterades 77 döda där predation av mård var den vanligaste dödsorsaken (66 i fjällena och 11 i skog). I fjällområdet hittades 13 döda (20 % av dödsfall) vid kraftledning jämfört med sju individer som dog av jakt, men i skogen påträffades ingen höna kollisiondödad. Norska studier i skogsmiljöer som liknar de svenska indikerar höga dödstal av tjäder, orre och dalripa vid kollisioner med ledningar, t.ex. upp mot drygt 9 döda dalripor/km kraftledning i ett 50 km² studieområde i södra Norge under 1989–1995 (Bevanger & Brøseth 2004). Även om dalripa överlag förekommer i mer subalpina miljöer överlappar förekomsten delvis med tjäder och i mindre utsträckning med orre.

Trana är en stor fågel med relativt dålig manövreringsförmåga och i analysen av återfynd för perioden 2000–2017 av fåglar ringmärkta i Sverige hittades 54,5 % (sex återfynd) av tranorna döda vid kraftledning, merparten bedömda som kollisionsoffer (Fransson m.fl. 2019). I Extremadura, sydvästra Spanien, där bl.a. våra tranor övervintrar, studerades vintrarna 1992–1995 förolyckade tranor under en 400 kV kraftledning (Janss & Ferrer 2000). Det påträffades sammanlagt 25 döda tranor vid systematiska eftersök under 3,5 km av kraftledningen. Baserat på detta uppskattades att 0,6–2,0 % av den övervintrande populationen av 350–1300 tranor dödades vid kollisioner med kraftledningar längs den studerade sträckan. I andra delar av världen finns uppgifter om relativt stor dödlighet vid kraftledningar av olika arter tranor (APLIC 2012).

Det anses att fågelarter som ofta flyger i flockar är mer utsatta för kollisioner än fåglar som uppträder ensamma (APLIC 2012). Vid längre flygsträckor under flyttning flyger fåglar generellt på höjder långt över kraftledningar (Newton 2010, Sjöberg m.fl. 2018), även om speciella väderförhållanden kan få fåglarna att flyga på betydligt lägre höjd än normalt. Det finns exempel på höga kollisionstal för aktivt flyttande fåglar. Nattflyttande fåglar

(exempelvis trastar) är möjligen mer utsatta än typiska dagflyttande fåglar (Drewitt & Langston 2008). Dagflyttande fåglar som tranor, rovfåglar, seglare, svalor och lärkor ser sannolikt ledningarna lättare i dagsljus än vad fåglar gör på natten (Luzenski m.fl. 2016).

Andra situationer där kollisionsrisken har föreslagits vara förhöjd är när fåglarna har ungar och för att spara energi vid förflyttningar mellan boplats och födosöksområden ofta flyger på lägre höjd och därmed riskerar att flyga in i kraftledningar i ökad grad. I vilken omfattning detta verkligen sker är ännu inte visat i någon vetenskaplig studie. När rovfåglar flyger lågt och snabbt vid jakt, vid revirmarkerande beteenden och i samband med spelflykt kan risken också tänkas öka (Eccleston & Harness 2018). Undersökningar i Tyskland, Frankrike och Spanien visade att vanligare rovfågelsarter som ormvråk, brun glada och tornfalk tillhörde den grupp av rovfåglar som oftast påträffades döda under kraftledningar (Bayle 1999). Analyserna från Naturhistoriska riksmuseet visar att minst 15 svenska rovfågelsarter har påträffats döda under kraftledningar i Sverige. Där ingår arter som sällan sitter på ledningsstolparna och där kollisioner med ledningar har varit den mest troliga dödsorsaken (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019). Flera studier tyder dock på att kollisioner utgör en mindre andel av det totala antalet dödade rovfåglar vid kraftledningar (Bayle 1999). Istället är det sannolikt ofta eldöd vid kraftledningar med lägre spänning än 60 kV som utgör den största risken för rovfåglar (se avsnitt 6.2).

Nattaktiva ugglor och nattskärror tycks kollidera med ledningar förhållandevis sällan (Alonso m.fl. 1994, Schaub m.fl. 2010), men de är också anpassade till ljusförhållanden på natten. Analyserna vid Naturhistoriska riksmuseet ger inte någon klarhet om riskerna med kraftledningar för dessa nattaktiva fåglar i Sverige även om ett fåtal ringmärkta individer av flera arter ugglor och även en nattskärra rapporterats återfunna som kollisionsdödade (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019).

Flera studier har funnit att yngre individer är mer utsatta för kollisioner än vuxna individer (referenser i Bernardino m.fl. 2018, Fransson m.fl. 2019). Det kan sannolikt förklaras av oerfarenhet hos de yngre fåglarna. Hos vissa hönsfåglar och trappar har man konstaterat en högre kollisionsdödlighet hos hanar, vilket kan bero på att de hos dessa fåglar är påtagligt större än honor och därmed har sämre manövreringsförmåga (Bevanger 1995, Jenkins m.fl. 2011), men de har också andra beteenden som kan utsätta dem för större risk att kollidera med kraftledningar.

5.2 Var fågelkollisioner äger rum

Fågelkollisioner är ofta mer frekventa på vissa platser än andra. Landskapsförhållanden kan sannolikt delvis förklara varför det finns "hot-spots" där kollisioner är vanligare. Fåglar följer ofta särskilda ledlinjer som kustlinjer, dalgångar och bergsryggar. Detta kan vara mer tydligt för flyttande fåglar. Man skulle förvänta att kraftledningar som korsar korridorer med koncentrationer av flyttande fåglar innebär en högre kollisionsdödlighet. Det finns dock endast litet vetenskapligt stöd för detta fenomen (Bernardino m.fl. 2018), åtminstone vid vissa platser. Vid ett betydande flyttningsstråk för tiotusentals rovfåglar längs Kittatinny

Ridge (USA) som korsades av en kraftledning konstaterades inte en enda kollision vid en studie som pågick 2013–2014. Detta eftersom rovfågeln där i stor utsträckning parerade och tog höjd för ledningarna (Luzenski m.fl. 2016). Även om det inte är relaterat till flyttning kunde inte kollision dödlighet hos hökörn i södra Frankrike förklaras av landskapets utseende utan berodde på andra okända faktorer (Rollan m.fl. 2010).

Störst kollisionsrisk är mest troligt vid kraftledningar som korsar fåglars regelbundna flygvägar, t.ex. mellan övernattning/viloplatser och födosöksområden. Dessa förflyttningar äger ofta rum på låg höjd i gryning och skymning vid sämre ljusförhållanden (APLIC 2012, Bevanger 1994).

Det anses generellt vara högre risk för fåglarna när kraftledningar passerar våtmarker, kustområden, öppna stäppområden eller andra miljöer med höga koncentrationer av fåglar (Bernardino m.fl. 2018). Denna förhöjda risk är ibland kanske en kombination av att flockar med många individer gör förflyttningar i luften vid sämre ljusförhållanden. Även kraftledningar som korsar vattendrag som älvar eller floder kan sannolikt utgöra en högre risk om vattendragen fungerar som ledlinje för flygande fåglar. Öppna miljöer som jordbruksmark innebär att fåglarna kan flyga på lägre höjd över marken än i skogsmiljöer, vilket utsätter fåglarna för högre risk att kollidera med ledningar.

I skogsmiljöer som domineras av högre träd tyder studier av hönsfåglar i centrala Norge på att kollisioner med kraftledningar framför allt sker när ledningarna når i jämnhöjd med eller över de högsta trädtopparna (Bevanger 1990, Bevanger & Brøseth 2004). Flera studier med eftersök av döda hönsfåglar (tjäder, orre och dalripa) har utförts i Norge (Bevanger 1990, Bevanger 1995, Bevanger & Brøseth 2001, Bevanger & Brøseth 2004, Bevanger m.fl. 2016). För eftersök har tränade hundar använts i flera av studierna. Den högsta dödligheten på grund av kollisioner tycks äga rum under vintern medan förhållandevis få kollisioner äger rum på sommaren. Detta kan ha med ljus- och siktförhållanden att göra, men också med skillnader i beteenden. På sommarhalvåret är hönsfåglar mer markbundna och flyger sannolikt färre längre transporter med risk för kollision än under vinterhalvåret. Tjäder påträffades oftast döda i anslutning till homogen skog (oftast gran) och i övergång mellan barrskog och blandskog (gran/löv) medan dalripor hittades i fjällbjörkskog där de är vanligare än i annan skog. I Bevanger (1990) påträffades få kollisioner där det fanns riktig tät skog på en eller båda sidor av kraftledningsgatan. Kollisioner var mer frekventa när det var mer öppen mark runt kraftledningen (avståndet från kraftledningen till skogskanten var mer än 50 m). Topografin i det närliggande området från kraftledningen hade betydelse där fler kollisioner hittades vid sluttningar, branter och högre punkter.

Vid en genomgång av funna döda vithövdade havsörnar vid kraftledningar i Maryland, USA konstaterades fler kollisioner vid ledningar som låg öppet och färre vid ledningar som inte nådde över skog (Mojica m.fl. 2009).

Incidenter med omfattande fågeldöd vid mänskliga konstruktioner (inte bara kraftledningar) äger vanligtvis rum vid besvärliga väderförhållanden med dimma, låga moln, regn eller snö (Hüppop m.fl. 2016). I Norge noterades vid studier genomförda under 1984–1995 en majoritet av fågelkollisionerna (hönsfåglar) med kraftledningar under vintern och tidig vår, en säsong som sammanfaller med dåliga ljusförhållanden och

återkommande sämre väder, men också med fler förflyttningar av fåglarna i luften (Bevanger 1995, Bevanger & Brøseth 2004). I Ungern tenderade dimma att öka risken för fågelkollisioner med kraftledningar, särskilt för trana (Pigniczki m.fl. 2019).

5.3 Vertikala respektive horisontella kraftledningar

Fågelkollisionsrisken antas ofta vara beroende av antalet vertikala nivåer på ledningarna och avståndet mellan dessa (Bevanger 1994, Drewitt & Langston 2008, Jenkins m.fl. 2010). Ledningar med faslinor på samma horisontella nivå skulle därför vara att föredra framför linor på flera vertikala nivåer. Ett fåtal riktade undersökningar av detta förhållande har genomförts och den enda storskaliga genomförda studien finns att hämta från Portugal. Där kunde man vid två omfattande fågeldödlighetsundersökningar vid 15–30 kV och 150–400 kV ledningar inte hitta något samband mellan fågeldödlighet och antal vertikala nivåer (Infante m.fl. 2005, Neves m.fl. 2005; båda publikationerna är på portugisiska). I ett område hade vertikala ledningsavsnitt ungefär dubbelt så hög fågeldödlighet som vid horisontella ledningar, men i övriga undersökta områden fanns ingen märkbar skillnad (Neves m.fl. 2005).

Bevinger & Brøseth (2001) fann vid en före-efter-studie på olyckor med dalripor att när en undre jordledning togs bort på en trefas 22 kV ledning med två vertikala nivåer resulterade detta i en 51 % minskning av antalet omkomna dalripor. I en studie (teknisk rapport) av Prinsen m.fl. (2011) i Nederländerna modifierades en kraftledning från tre till två vertikala nivåer intill en våtmark där antalet fågelkollisioner reducerades med 72 % från 0,51 individer/km/dag till 0,14 individer/km/dag. Problemet med utvärderingen av den senare studien är att modifieringen påverkade höjden på ledningarna och avståndet mellan stolparna. Det är därför svårt att bedöma vad som ledde till en reducering av antalet kollisioner.

Enligt Rioux m.fl. (2013) fann Brown m.fl. (1987) en 80 % reducering av kollisioner hos prärietrana och trumpetartrana i USA efter att en jordlina (*shield wire*) togs bort från en 116 kV kraftledning. Det framgår inte säkert att jordlinan var placerad högst upp ovanför faslinorna men så bör ha varit fallet utifrån det sammanhang som detta nämndes. Det kan ha varit så att jordlinan var tunnare och därmed svårare att se än de övriga linorna och att detta var en anledning till att tranorna krockade med kraftledningen.

5.4 Ledningens höjd

Det finns en generell uppfattning att högre kraftledningsstrukturer utgör en större kollisionsrisk för fåglarna (APLIC 1994, Haas m.fl. 2005, Prinsen m.fl. 2012) eftersom fåglar som närmar sig en kraftledning tenderar att ta höjd och flyga över hindret snarare än under det (Luzenski m.fl. 2016, Murphy m.fl. 2009). Däremot är det få studier som har försökt att utvärdera kollisionsrisk för fåglar enbart i förhållande till ledningens höjd. Neves

m.fl. (2005) fann att antalet fågelkollisioner vid överföringsledningar (150–400 kV) i Portugal ökade när ledningens höjd gick från 23 till 33 m höjd. Detta samband gällde bara vid en vertikal nivå på ledningen samt i öppet jordbrukslandskap. En studie på flyttande rovfåglar som koncentrerades vid en passage över en kraftledning i New Jersey, USA, som ersattes med en ny, väsentligt högre ledning resulterade inte i några konstaterade kollisioner vid totalt 8 180 observerade passager av rovfåglar (Luzenski m.fl. 2016). Den nya ledningen gick högt över trädtoppshöjd med 60 m höga torn jämfört med 25 m höga torn längs den gamla ledningen. Den nya ledningen hade tjockare linor och var utrustad med så kallade fågelavvisare (se avsnitt 8.3), vilket komplicerar en utvärdering av höjdens betydelse för kollisionsrisk. En tolkning av författarna till studien var att rovfågarna anpassade flyghöjden för att kunna passera ovanför den nya, högre kraftledningen.

5.5 Ledningstjocklek, jordlina och topplina

Kraftledningens lintjocklek anses allmänt vara av betydelse för kollisionsrisk hos fåglar (t.ex. Jenkins m.fl. 2010). En tjockare lina antas vara lättare för fåglarna att upptäcka, vilket minskar risken för kollisioner. Detta antagande baseras på studier där fåglar oftare har kolliderat med jordlinor än med faslinor vid överföringsledningar. På kraftledningar med 70 kV spänning och högre ligger jordlinan (ofta som åskskydd) högst upp över faslinorna samtidigt som de är tunnare än faslinan. I ett sådant sammanhang där det finns både jordlina och faslinor är det närmast omöjligt att särskilja på effekt av höjd och tjocklek på ledningen.

Topplinan som kan ha funktion som åskskydd, jordning och/eller optofiber tycks stå för merparten av fågelkollisioner vid överföringsledningar. Av totalt 208 kollisioner i fem studier med systematiska observationer var 84 % kollisioner med topplinan och 16 % med faslinor (referenser i Bernardino m.fl. 2018). Att det är just topplinan som orsakar flest fågelkollisioner kan bero på att den ligger högst upp och därför oftare sammanträffar med fåglarnas flyghöjder. Det är fortfarande oklart om den tunnare jordlinan är svårare för fåglarna att upptäcka. Experimentella studier där jordlinan tagits bort ger ytterligare stöd för att jordlinan när den är placerad en nivå högre än faslinor har betydelse för kollisionsrisken. Två studier (Beaulaurier 1981, Brown m.fl. 1987) citerade i Bernardino m.fl. (2018) observerade en reducering av kollisionsolyckor med 78 % respektive 48 % när jordlinan togs bort. Jordlinan kan också hänga under faslinorna (benämns i en del publikationer som neutralledare), vilket är fallet i lokalnätet och i förekommande fall i regionnät 40–50 kV. I en studie av Bevanger & Bøseth (2001) minskade kollisionsrisken hos dalripa efter att jordlinan på en 22 kV ledning tagits bort.

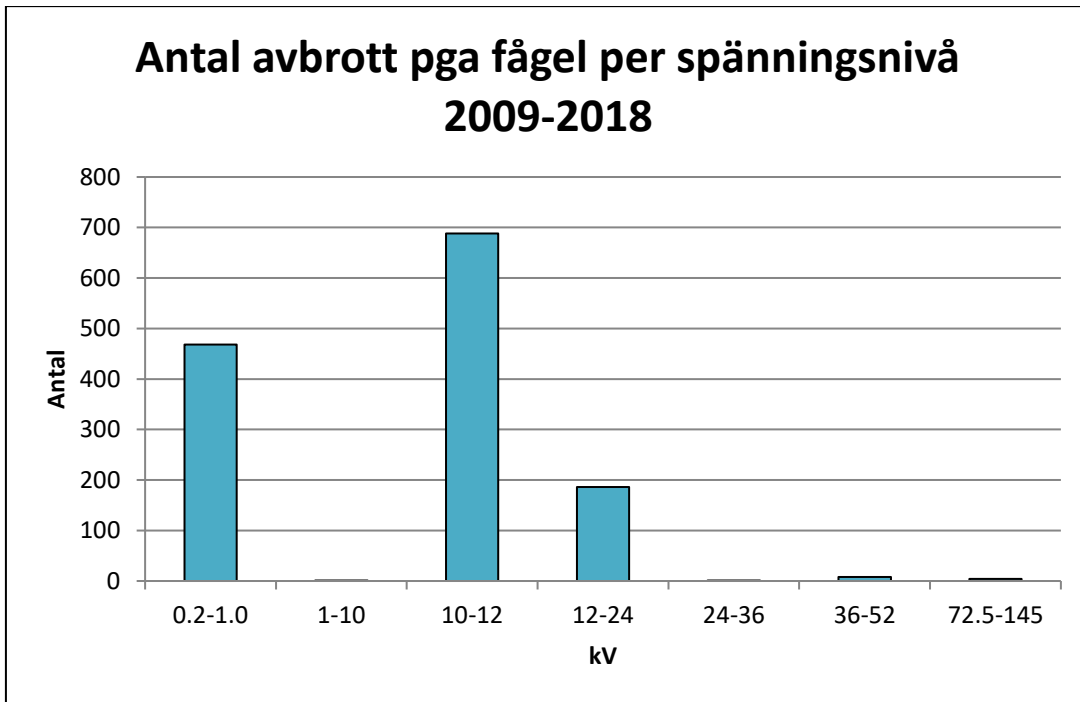
6. Eldöd hos fåglar

En fågel kan få strömföring genom kroppen när den samtidigt kommer i kontakt med två spänningssatta delar. Det kan t.ex. vara två strömförande ledningsdelar eller med en strömförande ledningsdel och en jordad del av en elektrisk anläggning. Strömgenomgång kan ske när en fågel breder ut vingarna, t.ex. vid start eller landning, eller när den flyger mot faslinor. Fågels storlek i relation till stolpens konstruktion är ofta avgörande för risken att råka ut för strömgenomgång, men också stolptypen förstås. Det är därför inte så vanligt att fåglar med mindre kroppsstorlek än en kråka råkar ut för strömgenomföring och eldöd.

Kunskapen om eldödsproblematiken är större än för kollisionrisker för fåglar med kraftledningar. Det finns många undersökningar av eldödade fåglar, varav flertalet är äldre studier som beskriver problemet och mer har karaktären av anekdotiska beskrivningar eller sammanställningar av antal funna döda fåglar. Högriskarter är fåglar som ofta väljer att sitta högt och därmed använder kraftledningsstolpar och luftledningar som utkiksposter. Dessa är främst kråkfåglar, rovfåglar och vissa ugglor. Rovfågglarna har fått mycket uppmärksamhet både i Sverige och i andra länder där de regelbundet har hittats vid kraftledningsstolpar (t.ex. Guil m.fl. 2011). Några arter är dessutom sällsynta och starkt hotade. En sammanfattning av kunskapsläget kring eldöd av rovfåglar görs i avsnitt 6.2.

I Sverige utmärker sig tre fågelarter med hög andel eldödade individer. Dessa är kungsörn, berguv och slaguggla där rapporterade eldödade individer utgjorde i genomsnitt 17–21 % av det totala antalet döda individer under perioden 2000–2017 (Fransson m.fl. 2019). Utmärkande för dessa arter är att de är stora fåglar och ofta använder kraftledningsstolpar som utsiktsplatser.

Kraftbolagens egna analyser av strömavbrott orsakade av fågel visar på en likartad problembild som vad i andra publikationer anges som kritiska för fåglar. Fördelningen av fel stämmer också väl överens med det som presenteras i Trafikverkets sammanställning från 2018 (se avsnitt 12). Viktigt att påpeka är att ett strömavbrott med bedömd fågel som orsak till felet inte nödvändigtvis innebär att en fågel alltid förolyckas. Fel orsakade av fåglar kan även bero på fågelbon i transformatorstationer eller fågelspillning som orsakar kortslutning. Av säkerställda fel med fågelorsak har en övervägande majoritet loggats i lokalnätet, i spänningsnivåer 0,2–24 kV (figur 15).



Figur 15. Antal strömavbrott med fågel som bedömd orsak uppdelat på olika spänningsnivåer. De vanligaste spänningsnivåerna är 10-20 kV. Data från E.ON:s statistik perioden 2009-2018.

Vattenfall, Ellevio, E.ON och Skellefteå kraft har fått ta del av fynddata av ringmärkta fåglar från Naturhistoriska riksmuseet för tiden 1990–2016 vars angivna lokaliseringar har legat inom respektive bolags områdeskoncession. Fyndpunkterna analyserades hos respektive bolag, dels geografiskt genom återfyndsplatsens belägenhet i förhållande till närliggande elnät, dels innehållsmässigt genom rapportörens information. Varje fynd har om möjligt klassats som sannolikt lokalnät/järnvägsfynd eller sannolikt regionnät/transmissionsnät. En bedömning har även gjorts om det utifrån fyndkommentarer går att säga huruvida orsaken varit eldöd eller kollision. Analysen innehåller många möjliga felkällor då bland annat elnäten förändrats över tid, noggrannheten på koordinatangivelser är ofta grov, upp till 2 km, rapportörer har olika kunskap och intresse, och fynden är inte representativt fördelade över landet. I många fall går det inte att fastslå vilken typ av ledning eller annan faktor som orsakat dödligheten. Givet dessa osäkerheter så går det ändå att utläsa vissa tendenser.

Inom E.ON:s område har fynden omfattat 236 platser. Framför allt är det fråga om eldödade fåglar, ofta upphittade på eller invid stolptransformatorer. I materialet finns tolv fynd kopplade till stam- eller regionnät och fynduppgifter tyder i samtliga dessa fall på kollisioner med ledningar. Det kan t.ex. vara uppgifter om skadade vingar, vilket beror på ledningens konstruktion och fasavstånd. Berguv är dominerande art bland eldödade fåglar, representerat med ca 40 %. Bland fynd där det sannolikt är fråga om kollisioner är det också arter som i litteraturen brukar anges som kollisionsbenägna arter såsom grågås, gråhäger, kanadagås, knölsvan, trana och vit stork. Rovfåglar och ugglor förekommer också såsom havsörn, kungsörn och lappuggla, men inte lika ofta. Måsfåglar förekommer också sporadiskt.

Inom Ellevios område finns 142 analyserade återfynd. Av dessa bedöms sex fynd härröra från stam- eller regionnät. Två av de sex fynden bedöms vara kollision, ett fynd eldödad och för övriga är det inte möjligt att fastställa dödsorsaken. Lokalnätsfynd och järnvägsfynd är dominerande. Den eldödade fågeln var en svan som uppgetts som bränd. Sannolikt har svanen kolliderat och samtidigt fått elström genom sig. Ca 33 % av fynden utgörs av berguv. Kollisionsfynd utgörs av enstaka fynd av knölsvan, sångsvan och gravand, trutar och skata. Rovfåglar förekommer med enstaka fynd av kungsörn och tornfalk.

Hos Skellefteå kraft återfanns endast 26 fynd, och bolagets nätområde är avsevärt mindre än de övriga. Endast två fynd (storskarv och gräsand) har gjorts sedan 2005. Berguv är dominerande art mellan 1990 och 2005 där fynden kommer från lokalnät 0,4–24 kV. Oftast har de drabbade berguvarna varit upphittade på eller invid stolptransformatörer.

Slutligen, inom Vattenfalls nätområde identifierades 171 döda fåglar. Dödsorsaker och drabbade fågelarter är likartade de övriga bolagens statistik.

Att få kollisionsolyckade fåglar hittas är logiskt då det normalt inte genererar något avbrott medan eldödade fåglar sannolikt hittas i högre grad då de också i många fall genererar driftstörning. Vidare är lokalnätets längd väldigt mycket större än region- och transmissionsnätet och har ledningskonstruktioner som medför ökad risk för eldöd. I synnerhet gäller detta oisolerade stolptransformatörer och oisolerade ledningar med korta fasavstånd, vilket inte förekommer i regionnätet. Det är dock möjligt att det finns ett mörkertal för fel i regionnätet då det sker snabbare återinkoppling av korta fel.

6.1 Vingmått för kritiskt avstånd

Fjädrar leder inte ström särskilt bra (utom möjligen när de är blöta) och det är därför måttet "hand-till-hand" på vingarna som räknas som kritiskt avstånd för när strömgenomföring och eldöd kan uppstå och inte vingbredden mellan de yttersta fjädrarna på vingarna (APLIC 2006, Dwyer m.fl. 2015, Edin 2017). Detta avstånd, som kallas för metakarpalmåttet, är det längsta horisontella avstånd som köttiga delar av fågelns vingar kan överbrygga och leda till strömgenomföring genom fågeln (figur 16). En kontakt mellan fågelns vingspetsar och två strömförande delar är alltså inte tillräckligt för en strömgenomföring hos fågeln. Ett försök på KTH:s Högspänningslaboratorium med en död duvhök (se figur 17) visade att för att det ska bli överslag mellan fågel och ledningar krävs det att fågelns mjukvävnader kommer så nära att det elektriska fältet blir tillräckligt starkt (Edin 2017). Vid en spänning av 40 kV behöver mjukvävnaderna komma så pass nära som några centimeter från ledarna för att överslag ska ske.

Det längsta avståndet från "hand-till-hand" hos nordamerikanska rovfåglar i studien av Dwyer m.fl. (2015) uppmättes till 112 cm hos en vithövdad havsörn och 102 cm hos en kungsörn. APLIC (2006) anger det längsta avståndet för kungsörn till 107 cm. Mätningar vid Naturhistoriska riksmuseet har visat att metakarpalmåttet för havsörn är ca 125 cm (vingspann ca 240 cm) hos de största individerna, ca 110 cm (vingspannsmått ca 220 cm)

för en maximalt stor kungsörn och ca 105 cm (vingspanssmått ca 180 cm) för en stor berguv (uppgifter från Peter Nilsson). Undersökningar av levande örnar i Nordamerika indikerade kortare avstånd i metakarpalmåttet jämfört med döda individer från nordamerikanska museum (APLIC 2006). De stickprov som har tagits har omfattat ett fåtal individer och det är oklart om hela variationen i måttet har fångats upp. Det finns en viss osäkerhet i mätningar av metakarpalmåttet samt i de exakta positionerna utanför mjukvävnader där överslag av ström är möjlig.



Figur 16. Pilen visar ungefär var området med mjukvävnader som täcker fästet för den yttersta handpennan är lokaliserad. Här sitter metakarpalbenet som utgör punkten där metakarpalmåttet ska mätas till motsvarande punkt på den andra vingen. Vingen ska sträckas fullt ut när måttet ska tas. Bilden visar en vinge av brun kärrhök.



Figur 17. Den röda pilen visar brännmärke där strömgenomföring uppkom vid försök med död duvhök på KTH:s Högspänningslaboratorium.

6.2 Rovfåglar och eldöd

Eftersom många rovfåglar använder kraftledningsstolpar som viloplats och utsiktsposter vid jakt är de särskilt utsatta för strömgenomgång och eldöd. En sammanställning av problemet gjordes av Lehman m.fl. (2007) med en genomgång av 110 artiklar på engelska. Drygt hälften av artiklarna omfattade studier som utförts i Nordamerika och en tredjedel i Eurasien (främst från västra Europa). Mojica m.fl. (2018) gjorde en genomgång för vad som var känt kring eldöd hos kungsörn i Nordamerika. Båda sammanställningarna kom fram till liknande resultat och sammanfattas här gemensamt.

Av 105 inrapporterade döda ringmärkta kungsörnar i Sverige 1990–2017 hittades 48,6 % döda under kraftledningar (Fransson m.fl. 2019). Knappt hälften av dessa (23,8 % av de 105 kungsörnarna) hade bedömts som eldödade. Då kungsörn ingår i Statens vilt skickas upphittade och till polisen inlämnade döda individer till Naturhistoriska riksmuseet. Flertalet av dessa har inte varit ringmärkta och kan analyseras skiljt från återfynden av ringmärkta kungsörnar. I detta material har dödsorsaken ibland fastställts vid en undersökning hos Statens Veterinärmedicinska Anstalt och inte av en rapportör som hittat en död, ringmärkt kungsörn. Bland 334 inlämnade kungsörnar till Naturhistoriska riksmuseet med känd dödsorsak 1990–2017 var andelen dödade av kraftledningar (kollisioner eller eldödade) knappt 20 %, alltså betydligt lägre än i materialet med återfynd av ringmärkta kungsörnar. Den skillnaden förklaras av att veterinärundersökningarna kan konstatera andra dödsorsaker som t.ex. blyförgiftning och påskjutning vid illegal jakt. Detta understryker svårigheten med att bedöma dödsorsaker hos fåglar som påträffas döda under kraftledningar.

Av 315 inrapporterade döda ringmärkta havsörnar i Sverige 1990–2017 hittades 18,4 % döda under kraftledningar (Fransson m.fl. 2019). En tredjedel av dessa (6 % av de 315 havsörnarna) hade bedömts av rapportörer som eldödade medan dödsorsak för övriga två tredjedelar var mer oklar. Liksom för kungsörn var andelen havsörnar med kraftledningar som dödsorsak lägre i materialet med örnar utan ring som inkommit inom Statens vilt. Av 410 döda havsörnar 1990–2017 bedömdes drygt 10 % ha dött av kraftledningar (kollisioner eller eldödade).

De största rovfågelsarterna och ugglor är som redan har nämnts mer utsatta för eldöd. Det är i undersökningar världen över nästan enbart ledningsstolpar i kraftledningar med spänningsnivå lägre än 69 kV som orsakar eldöd. Farliga stolpar vid högre spänningar finns i utlandet medan farliga konstruktioner med spänningar 40–50 kV saknas hos oss. I Sverige sker dessa dödsfall nästan uteslutande i nätet <30 kV (statistik från Naturhistoriska riksmuseet och kraftbolagen). Farliga stolpar är de där avståndet mellan spänningsatta delar är kortare än fåglarnas metakarpalmått. Stolptransformatorer som finns i lokalnätet är i Sverige och Norge kända riskobjekt då avståndet mellan strömförande delar är kort samtidigt som transformatorns ovansida inbjuder till sittplats. Att transformatorerna alstrar värme spelar kanske också in att fåglar gärna sätter sig där, men det nämns inte som en möjlig förklaring i någon studie.

Vissa stolpar vid vissa platser kan vara särskilt attraktiva och därmed utgöra en extra stor risk. Störst dödlighet genom eldöd påträffas i områden där det finns få andra utsiktsposter än kraftledningar i landskapet. I områden med god födotillgång och därmed bra jaktmarker som ligger i ett öppet landskap med få höga naturliga utsiktsposter kan kraftledningsstolpar innebära en högre risk. Hos övervägande skogslevande rovfågelsarter som sparvhök och duvhök, väljer dessa vanligen undanskymda sittplatser i träd och nyttjar därför endast sällan kraftledningsstolpar. Det finns flera studier från Nordamerika där antalet påträffade eldödade rovfåglar i skogsmiljöer varit lägre än i mer öppna biotoper (APLIC 2006). I både Frankrike och Tyskland utgjorde duvhök <5 % av funna eldödade rovfåglar i två stora studier, och i Spanien var motsvarande andel kring 1 % i två studier och mellan 5 och 10 % i en tredje studie (APLIC 2006), och detta fastän duvhöken är en av de allra vanligaste rovfågelnarna. I Sverige påträffades 14,4 % (61 individer) av 423 inrapporterade ringmärkta duvhökar under perioden 2000–2017 döda under kraftledningar varav 9 individer bedömdes vara eldödade (Fransson m.fl. 2019). För sparvhök var motsvarande andel 2,1 % (fyra återfynd) av 194 döda individer påträffade under kraftledning. Kungsörn har en jaktteknik där byten upptäcks från spaningsplatser, vilket kan vara en kraftledningsstolpe. Havsörn jagar inte på detta sätt i motsvarande utsträckning som kungsörn utan spenderar mer tid i luften. Det är därför logiskt att havsörnen inte drabbas lika ofta av eldöd vid kraftledningsstolpar som i kungsörnens fall.

Rovfågelsindividernas ålder har betydelse för olycksrisk där yngre oerfarna individer är mer utsatta. Av 34 återfynd under kraftledningar av svenskfödda ringmärkta kungsörnar under perioden 1990–2017 var drygt 40 % yngre än ett år (Fransson m.fl. 2019). Vid genomgång av nordamerikanska undersökningar var 88 % av funna döda kungsörnar under kraftledning yngre än 4,5 år (Mojica m.fl. 2018).



Figur 18. Ung kungsörn på oisolerad ledningsstolpe på Gotland. Foto: Fredrik Anmark.

6.3 Berguv och eldöd

Det går inte att skriva denna rapport utan att ta upp berguv i ett särskilt avsnitt. Berguv är en av de europeiska fågelarter som rapporterats vara särskilt drabbad av kraftledningar. Genomgång eller undersökningar av påträffade skadade eller döda berguvar vid kraftledningar har gjorts i bland annat Sverige, Norge, Italien, Spanien och Schweiz (Fransson & Stolt 2000, Rubolini m.fl. 2001, Martínez m.fl. 2006, Schaub m.fl. 2010, Bevanger m.fl. 2014, Fransson m.fl. 2019). En sammanställning av 25 undersökningar av dödsorsaker hos berguv från åtta europeiska länder gjordes i Sergio m.fl. (2004). I denna sammanställning orsakade strömgenomföring vid kraftledningsstolpar i genomsnitt 38 % av konstaterade dödsfall. I Sverige har andelen påträffade döda berguvar under kraftledningar varit på liknande nivå kring 39 % för perioden 1990–2017, men med 17 % bedömda av rapportörer som eldödade (Fransson m.fl. 2019). Materialet inom Statens Vilt ger liknande resultat. Trenden för andelen inrapporterade döda berguvar vid kraftledningar av totalt antal döda berguvar är dock tydligt minskande i Sverige över perioden 1990–2017 (Fransson m.fl. 2019).

Sergio m.fl. (2004) analyserade data från studier av två berguvspopulationer i Italien; en i italienska Alperna och den andra i Apenninerna i centrala Italien. Den analysen pekade på att de stolpar som orsakade flest dödsfall återfanns i mer öppna områden, troligen i bra jaktmarker, där stolparna utgjorde goda utsiktsplatser. I alppopulationen hade boplatser som låg i direkt närhet (inom 200 m) från en kraftledningsstolpe högre dödlighet hos ungarna efter att de hade lämnat boet och var självständiga. Denna dödlighet uppskattades för populationen i Alperna till 17 % av samtliga unga individer.

Även om stora ansträngningar har genomförts för att åtgärda eldöd hos berguv i Sverige saknas svenska undersökningar som i detalj studerat problematiken. En studie på Smøla i Norge under perioden 2008–2013 följde 22 berguvar utrustade med GPS-satellitändare och dokumenterade fem dödsfall under kraftledningsstolpar med spänningsnivå av 22 kV (Bevanger m.fl. 2014). Då det fanns få naturliga utsiktsposter i det öppna kustlandskapet använde berguvarna ofta stolparna och flera individer utsattes då för strömgenomgång.

Kort kan i detta sammanhang också slagugglan nämnas som tycks drabbas av eldöd i nästan samma utsträckning som berguv (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019). Den är därmed ett parallellfall till berguv och kan sannolikt gynnas av samma åtgärder som för berguv. Mer om detta i kapitel 8.

7. Dödstal av fåglar och påverkan på populationsnivå

Det har gjorts många försök att skatta omfattningen av fåglar som dör vid kraftledningar. Försök att skatta dödlighet är dock väldigt osäkra och mörkertalet är svårbedömt. Det är svårt att upptäcka fågelolyckor som oftast leder till väldigt korta avbrott som inte registreras. I Nordamerika konstaterades i tre olika studier av eldödade rovfåglar att mellan 6 och 16 % av dödsfallen registrerades som strömvabrott (i Mojica m.fl. 2018). Beräkningar utifrån återfynd av ringmärkta fåglar kan ge en uppskattning av andelen dödsfall som orsakas av kraftledningar, men olika dödsorsaker upptäcks med olika sannolikhet (Schaub & Pradel 2004). Genomgång av befintliga studier har kommit fram till att de flesta fåglar som dör av kraftledningar gör detta vid kollisioner (Loss m.fl. 2014). Som redan har nämnts finns det dock fågelgrupper där det omvända gäller. Den senaste analysen från Naturhistoriska riksmuseet indikerar möjligen att eldöd i dagsläget står för en högre andel av dödsfall hos fåglar jämfört med kollisioner i det svenska elnätet (Fransson m.fl. 2019). Men vi vet inte om dödsfall genom kollisioner underskattas genom att dessa kanske inte upptäcks i samma omfattning som vid eldöd.

7.1 Metoder för att uppskatta dödstal

Traditionellt har dödstal uppskattats genom att leta under kraftledningar efter döda, och rester av dödade fåglar, under kraftledningar. Det finns ett antal metodbeskrivningar för hur detta kan gå till, men det saknas en standardiserad metod, och variationen i utförandet är tämligen stor. Storleken på ytan på eftersöksområdet som har inventerats kan ha varierat och därtill är det nödvändigt att uppskatta effektiviteten hos inventerarna, det vill säga hur stor andel av det faktiska antalet dödade fåglar som upptäcks. Detta kan studeras genom att experimentellt lägga ut döda fåglar och studera hur snabbt de tas om hand av asätare eller hur lätta de är att upptäcka för en inventerare. I en del studier har man använt specialtränade hundar för att effektivare leta upp dödade fåglar.

I några studier har människor gjort observationer invid kraftledningar och registrerat antalet kollisioner. Ny teknik möjliggör dock mer effektiva sätt att insamla data om kollisionsfrekvenser. Med hjälp av exempelvis radarteknik kan fågelrörelser i närheten av kraftledningar registreras automatiskt (Stokke m.fl. 2017). En annan teknik är *Bird Strike Indicators* som kan registrera när något stöter emot kraftledningen, och har använts som komplement till radarteknik (Murphy m.fl. 2016a). Däremot har nog ingen teknik som visualiserar själva kollisionstillfället använts i någon större studie. Värmekamera har använts för detta ändamål vid t.ex. havsbaserade vindkraftparker och skulle kunna användas för att studera fågelkollisioner med kraftledningar i mer detalj.

Murphy m.fl. (2016a) visade att traditionella eftersök underskattade antalet kollisioner av prärietrana. Detta vid en 69 kV kraftledning med tre linor som passerade en upp till 400 m bred flod. Den översta linan på kraftledningen var utrustad med så kallade *Fire Fly Diverters* (en snurrande reflekterande skylt) och *“spiral vibration dampers”* (spiral som dämpar

vibrationer i linorna) för att göra kraftledningen mer synlig. Studien visade att vid traditionellt eftersök påträffades 17 fåglar medan 321 noterades med elektroniska *Bird Strike Indicators*. Flertalet av de tranor som kolliderade överlevde men försvann skadade bort från eftersöksområdet. Många kollisioner ägde rum nattetid när tranflockar blev störda bort från sina nattplatser.

Även om det saknas svenska undersökningar i fält av dödsfall vid kraftledningar har det gjorts analyser av fåglars död orsakad av kraftledningar (Fransson & Stolt 2000, Fransson m.fl. 2019). I Sverige har ringmärkning av fåglar använts i forskningssyfte sedan 1911. Fler än 150 000 ringmärkta fåglar har återfunnits levande eller döda och därmed bidragit till ökad kunskap om faktorer som livslängd, dödsorsaker och var de vistas under året. Ringmärkningscentralen vid Naturhistoriska riksmuseet administrerar verksamheten och får varje år in uppgifter om tusentals ringmärkta fåglar. De fåglar där upphittaren angett ström eller ledning som orsak till dödsfall har sannolikt förolyckats vid någon kraftledning. Dessa fåglar är givetvis bara en bråkdel av de fåglar som totalt förolyckas, men uppgifterna kan användas till att undersöka vilka arter som är utsatta för olyckor vid kraftledningar. De kan också i en del fall ge information om vilka ledningstyper som orsakar flest dödsfall. Döda fåglar under kraftledningar kan ha andra dödsorsaker än av själva ledningen som t.ex. blyförgiftning hos rovfåglar.

7.2 Dödstal

Även om det finns ett stort antal publicerade skattningar av dödstal är det svårt att använda dessa för att beräkna den totala fågeldödligheten vid kraftledningar. Det finns flera osäkerheter; bland annat vet vi inte hur representativa resultaten är för landskapet i stort. Studierna är ofta av tillfällig karaktär, och utförda i områden där det redan observerats eller funnits misstankar om hög dödlighet. Många av studierna har utförts i öppna miljöer på jordbruksmark eller stäpp. Att överföra resultaten från dessa studier till svenska förhållanden med delvis andra miljöer och en hög andel skogsmark blir därför mycket osäkert.

Loss m.fl. (2014) gick igenom ca 70 artiklar eller rapporter från hela världen som hade någon uppgift om dödstal av fåglar. Av dessa användes data från 26 studier för att beräkna medianvärden på 29,6 kollisiondödade fåglar/km/år (konfidensintervall 9–66) samt 0,03 eldödade fåglar/kraftledningsstolpe och år (konfidensintervall 0,005–0,062). Dödligheten varierade i studierna mellan nära noll och 480 döda fåglar/km ledning och år. Baserat på dessa studier skattades fågeldödligheten vid kraftledningar i USA till 9–69 miljoner (8–57 miljoner vid kollision och 0,9–11,6 miljoner vid eldöd) fåglar per år.

I Kanada gav en liknande beräkning baserad på i genomsnitt 42,3 fåglar/km/år en total dödlighet av 2,5–25,6 miljoner fåglar genom kollisioner (Rioux m.fl. 2013).

Bland andra studier som inte ingick i ovan nämnda sammanställningar kan nämnas skattningar av 3,45 dödade fåglar/km ledning och år i jordbruksmark (längs 900 km ledning), och 14 dödade fåglar/km ledning och år på stäpp i Portugal (Infante m.fl. 2005,

Neves m.fl. 2005). På sju lokaler i Italien registrerades upp till 2,7 fåglar/km och år (Costantini m.fl. 2016). Infante m.fl. (2005) rapporterade 18 beräknade eldödade fåglar/100 stolpar och år. I centrala Spanien hittades 2,6 döda örnar och 15,1 döda rovfåglar per 100 undersökta stolpar (Guil m.fl. 2011), en relativt hög siffra även om 28,2 döda rovfåglar/100 stolpar hittades i en studie 1998 (i Guil m.fl. 2011). De spanska dödstalen kom från ett område med ovanligt höga rovfågelstätheter och baserades på uppgifter från ett urval av stolpar som bedömts som särskilt farliga. De får därför anses vara exempel på särskilt hög dödlighet.

7.3 Dödlighet vid kraftledningar i förhållande till annan dödlighet

Det råder ingen tvekan om att kraftledningar orsakar många fåglars död. I Sverige finns ett omfattande elnät och härav är det inte konstigt om olyckor sker. Loss m.fl. (2014) uppskattade att fågeldödlighet av kraftledningar omfattade omkring 100 gånger fler individer jämfört med dödlighet vid dittills byggda vindkraftverk i USA. Schaub & Pradel (2004) modellerade återfynd av vita storkar ringmärkta i Schweiz och uppskattade att en av fyra unga storkar (25 %) och en av 17 vuxna storkar (6 %) dog varje år av kollisioner med kraftledningar. Detta motsvarade ca 35 % av den totala årliga dödligheten hos storkarna. Svenska analyser tyder på att dödligheten orsakad av kraftledningar kan vara hög hos vissa arter (Fransson m.fl. 2019). På Gotland anges kraftledningar stå för nästan hälften av dödligheten hos de bofasta kungsörnarna på ön (Hjernquist 2011). För några arter kan kraftledningar verkligen utgöra en stor dödlighetsfaktor i jämförelse med andra orsaker.

För den stora merparten av fågelarter är sannolikt antalet dödade individer vid kraftledningar marginellt totalt sett (se tabell 4). Däremot kan arterna som dödas i de olika kategorierna variera, och därmed kan olika dödsorsaker påverka populationer i olika grad. Risken för påverkan på populationer av kraftledningsdöd är likartad den för vindkraft. Fågelarter med långsam reproduktionstakt och relativt små populationsstorlekar löper störst risk för negativ påverkan. Detta gäller i Sverige fågelgrupper som rovfåglar och ugglor men också vit stork.

Tabell 4. Uppskattad fågeldödlighet (miljoner individer/år) av människorelaterade orsaker i USA och Kanada. Uppgifter hämtade från Loss m.fl. (2015).

	USA	Kanada
Katter	1300-4000	105-348
Byggnader	365-988	16-42
Vägtrafik	89-340	9-19
Kraftledningar – kollision	8-57	10-41
Kraftledningar – eldöd	0,9-12	0,2-0,8
Kommunikationstorn	7	0,2
Vindkraft	0,5-0,7	0,01-0,02

7.4 Påverkan på populationsnivå

Det finns få studier som har försökt att uppskatta kraftledningars påverkan på en fågelpopulation. För flertalet fågelarter innebär dödlighet orsakad av kraftledningar som ensam orsak inte någon påverkan på populationsnivå (Loss m.fl. 2015). Det finns dock exempel på fågelarter där omfattningen av kraftledningsdöd är så pass stor att den kan bidra till att reglera populationer. De tydligaste exemplen utgörs av stora, långlivade fåglar som berguv och vissa rovfåglar.

Bevanger (1995) uppskattade att 19 900 tjädrar dog vid kollisioner med kraftledningar i Norge under ett år, ungefär lika många som omfattades av den årliga jakten. I en studie utförd 2011–2013 i Ogdalen, Norge, inventerades orre och tjäder i anslutning till en 300 kV kraftledning inom projektet OPTIPOL (Bevanger m.fl. 2016). Fåglarna inventerades regelbundet med linjetaxering och DNA-insamlades från spillning för identifiering av individer för att uppskatta populationernas storlek, vilket gjordes på våren. Systematiska eftersök av döda fåglar gjordes under kraftledningarna med särskilt tränad hund. Det uppskattades att dödlighet vid kraftledningar under perioden reducerade beståndet av orre med 4,2–11,8 % och beståndet av tjäder med 1,4–8,1 %. Det gjordes inte några beräkningar om denna dödlighetsnivå riskerade att påverka populationsstorlekarna hos dessa arter långsiktigt.

Berguvs minskning i Norge sedan 1950-talet anges till viss del bero på eldöd vid kraftledningar (Bevanger m.fl. 2014). I Schweiz utgjorde eldöd 24 % av samtliga dödsfall hos alphäckande berguvar (Schaub m.fl. 2010). Bedömningen gjordes att den relativt stabila populationen av berguv hade minskat i storlek om det inte hade varit en invandring av nya individer som kompenserade för den höga dödligheten. Om eldöden kunde elimineras fullt ut förväntades populationen istället att öka.

Det finns några studier med fokus på rovfågelarter i Medelhavsområdet där eldöd har bedömts påverka populationsstorlek. I en population av hökörn i nordöstra Spanien påträffades 150 döda eller skadade hökörn under perioden 1990–2014 (Hernández-Matías 2015). Den dominerande orsaken till skadorna var strömgenomföring i ca 61 % av fallen. Några individer (omkring 5 %) hade kolliderat med kraftledningar och två tredjedelar av de skadade eller döda individerna orsakades av ledningar. Matematisk modellering indikerade att åtgärder som minskade eldödligheten skulle, förutsatt oförändrade förutsättningar i övrigt, förbättra artens bevarandestatus.

För flertalet talrika fågelarter i Sverige har dödlighet vid kraftledningar ingen påverkan alls på populationsnivå. Flera av de mest utsatta arterna för kraftledningar är hotade med små nationella populationsstorlekar. Kungsörn och berguv är arter där kraftledningsdöd av relativt få individer teoretiskt sett kan riskera att påverka populationsstorlekar negativt. Kraftledningar som dödsorsak har minskat för såväl kungsörn som berguv i Naturhistoriska riksmuseets analyser (Fransson m.fl. 2019). I dagsläget är det mindre troligt att kraftledningar nationellt verkligen utgör ett betydelsefullt hot mot dessa arter. Regionalt kan kraftledningsdöd fortfarande utgöra ett hot (t.ex. kungsörn på Gotland eller berguv i Norrland) och det är därför fortsatt angeläget att minska denna påverkansfaktor.

8. Åtgärder för att minska dödsfall av fåglar

8.1 Trender i dödsfall av fåglar vid kraftledningar

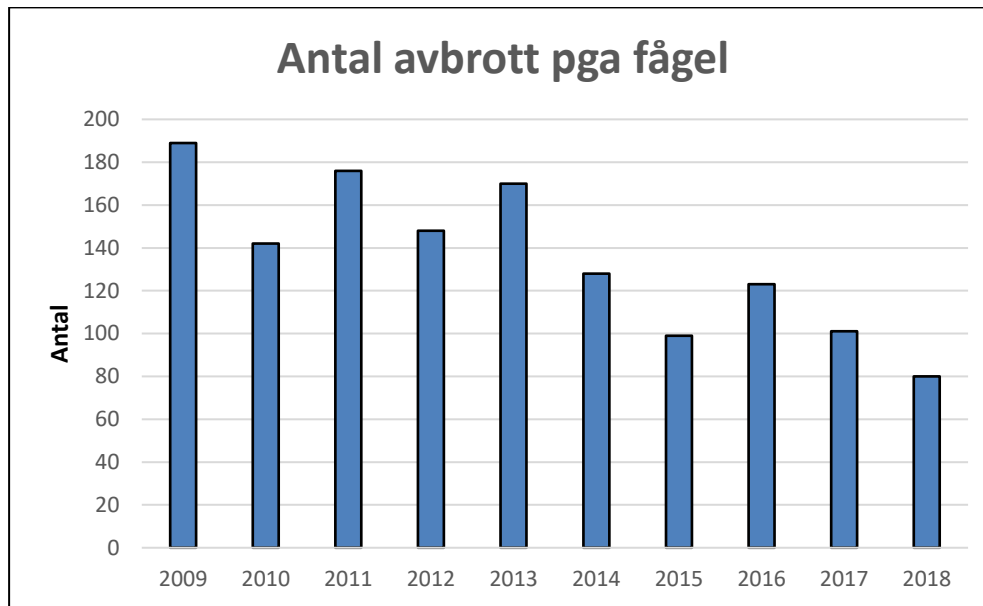
Flest fåglar har påträffats döda vid kraftledningar i Sverige under juli-oktober (juni-juli i E.ON:s databas) samt i mars-maj (Fransson m.fl. 2019). En högre dödlighet under sensommaren och höst förklaras sannolikt av att många yngre och oerfarna fåglar kommit på vingarna. På våren är fåglarna mer aktiva med fortplantning, uppfödning av ungar och försvar av reviren. Andelen fynd orsakade av ledningskollisioner och eldöd av det totala antalet återfynd av döda ringmärkta fåglar ökade under 1960–1985 (Fransson & Stolt 2000). Därefter stabiliserades den andelen bland återfunna dödade fåglar, men under 1995–1999 minskade den noterade dödligheten vid kraftledningar hos några särskilt utsatta arter som exempelvis berguv. Det kan ha varit en effekt av förbättringsåtgärder riktade mot just berguv och kanske också ett resultat av att arbetet med att lägga lokalnätsskablar i marken hade inletts.

Antalet dödsfall av fåglar vid kraftledningar har däremot minskat i landet på senare tid, åtminstone sedan omkring 1990. I en ny analys från Naturhistoriska riksmuseet sjönk andelen återfynd av döda fåglar under kraftledningar från knappt 12 % i början av 1990-talet till 4 % under 2014–2017 (figur 4 i Fransson m.fl. 2019). Samma mönster observerades hos t.ex. kungsörn, havsörn, berguv och slaguggla. Det är i stort sett halveringar av andelen dödsfall orsakad av kraftledningar för dessa fyra arter sedan början av 1990-talet. I hela materialet inkluderat samtliga fåglar var det framför allt dödsfall rapporterade som kollisioner som minskade kraftigt och åren 2014–2017 stod rapporter om eldöd för ca 75 % av dödsfallen vid kraftledningar. Minskningar av antalet dödade fåglar vid kraftledningar i Sverige kan sannolikt förklaras av att ledningar i allt större utsträckning lagts i marken samt att faslinorna i luftledningar isolerats på många sträckor i syfte att öka driftsäkerheten i elnätet (Fransson m.fl. 2019). Men analysen från Naturhistoriska riksmuseet indikerar ändå att det fortfarande finns många ledningssträckor där fåglar kan drabbas av eldöd.

E.ON Energidistribution AB har sammanställt data över driftstörningar som varat längre än 3 minuter och där felet fått en klassning som fågelfel. Data finns från perioden 2009–2017 och antalet strömavbrott orsakade av fåglar har minskat under perioden 2009–2018 (figur 20). Det finns dock liksom i materialet från Naturhistoriska riksmuseet flera felkällor i materialet som uppmanar till försiktighet vid tolkningen av data. Till exempel återfinns inte kortare fel med snabb återinkoppling av el och som kan ha orsakats av fågeldöd i statistiken. Teoretiskt kan sådana korta fel orsakad av fågel även bero på materialfel, jordfel, väderfel, grenar eller annat. En korrekt utvärdering bygger på att en tekniker eller driftspersonal gör en korrekt klassning. Det är troligt att fågelfel ibland får en annan felaktig klassning likväl som att fel som klassas som fågel kan ha en annan orsak.

Även utanför Sverige har sentida minskningar av antalet eldödade fåglar dokumenterats. Baserat på återfynd av ringmärkta fåglar i Spanien ägde en ökning av eldöd rum under

perioden 1980–2005 med 5 % årligen, medan antalet eldödade fåglar minskade med 16 % årligen under perioden 2006–2010 (Guil m.fl. 2015).



Figur 18. Antal årliga strömavbrott i E.ON:s statistik där orsaken bedömdes vara fågel under perioden 2009–2018.

8.2 Rekommendationer för att minska dödsfall vid kollisioner

Det enda sättet att helt och hållet förhindra kollisioner av fåglar med kraftledningar är markförläggning av kablar. Detta är inte alltid genomförbart och är ofta betydligt mer kostsamt jämfört med en luftledning.

Kraftledningar kommer sannolikt alltid att innebära att fåglar dödas. Vid nyanläggning av kraftledningar är planering av sträckningen det avgjort viktigaste för att minska risken för kollisioner (Bevanger & Refsnæs 2013, Silva m.fl. 2014). Det finns ett antal vägledningar om vad man kan göra för att reducera fågelkollisioner (bland annat framtaget av NABU i Bernkonventionens rekommendation 110). De rekommendationer som omfattar att man bör undvika känsliga fågelmiljöer där stora antal fåglar samlas har sin grund i att fågelrika platser normalt medför fler kollisioner. Rekommendationer om kraftledningarnas konfiguration (ta bort topplinan, ledningar ska hållas så lågt som möjligt, tjocka linor, horisontellt istället för vertikalt placerade linor i förhållande till varandra) har begränsat vetenskapligt stöd, delvis för att det är besvärligt att genomföra vetenskapliga studier för utvärdering av olika faktorer (Bernardino m.fl. 2018). Samtidigt är dessa rekommendationer logiska utifrån vad som är känt om fåglars beteenden och synförmåga. Det är dock inte säkert att det alltid gör skillnad för samtliga fågelarter. I avsnitt 8.3 görs en genomgång av markeringar (fågelavvisare) som monteras på kraftledningar för att få fåglarna att undvika kollisioner.

8.3 Markering av kraftledningar för att förhindra kollisioner

Med syftet att minska antalet fåglar som kolliderar med kraftledningar har olika varianter av fågelavvisare monterats på ledningar längs sträckor med hög risk för kollisioner. På engelska går dessa under den gemensamma beteckningen "bird flight diverters". De vanligaste åtgärderna har varit att montera plastattiraljer i form av spiral, platta, snurra eller sfär på linor (se exempel i figur 19 och 20). Oftast placeras dessa fågelavvisare på topplinan för att göra just den linan mer synlig för fåglarna. Den allmänna uppfattningen är att fågelavvisare i hög utsträckning får fåglarna att upptäcka kraftledningarna i tid så att de kan justera flygkursen och undvika kollision. Därmed reduceras dödligheten.



Figur 19. Exempel på fågelavvisare, en s.k. *Firefly* som roterar i vinden. Den har reflex och efterlysande material. Foto: Hammarprodukter.

Enklare utvärderingar av fågelavvisares nytta har gjorts av APLIC (1994), Bevanger (1994) och Jenkins m.fl. (2010). Jenkins m.fl. (2010) kom fram till att publicerade studier indikerar att fågelavvisare minskar antalet fågelkollisioner med 50–60 %. Dessa sammanställningar har inte varit fullständiga när det gäller de statistiska analyserna. Den första "riktiga" analysen av fågelavvisarnas effekt gjordes av Barrientos m.fl. (2011). I denna analys krävdes studier där bland annat eftersök gjorts av döda fåglar, och att enbart en typ av avvisare undersökts (med flera typer av avvisare riskerar det att uppstå kumulativa effekter). Vidare kontaktades flertalet av de forskare som låg bakom de publicerade studierna och förfrågningar gjordes hos företag, universitet och myndigheter där det kunde finnas opublicerade undersökningar. Detta skulle dels kunna öka det totala antalet studier som ingick i analysen, dels kanske minska risken för att studier med positiva resultat blev överrepresenterade i analysen. Totalt ingick 21 studier inkluderande 51 separata experiment. När fågelavvisare användes på ledningar minskade fågeldödligheten med i genomsnitt 78 %. Vid 15 studier gjordes räkningar av antalet förbiflygande fåglar för att

uppskatta kollisionsrisken. Då sju studier var publicerade i vetenskapliga tidskrifter och åtta publicerade som rapporter (möjligen utan tydliga resultat) är det troligt att dessa räkningar inte bara gjordes i särskilt kollisionsutsatta områden. Dessutom var kollisionsrisken tämligen låg även utan fågelavvisare i de flesta undersökningar. Från dessa studier beräknades kollisionsrisker med i genomsnitt 0,21 dödsfall/1000 förbiflygande fåglar vid ledningar utan fågelavvisare och i genomsnitt 0,05 dödsfall/1000 förbiflygande fåglar vid ledningar med fågelavvisare. I den här analysen kunde inte eventuella skillnader mellan olika färger och typ av avvisare undersökas. Sammanfattningsvis indikerade analysen alltså att fågelavvisare minskar kollisionsrisken ganska påtagligt. En motsvarande analys av Bernardino m.fl. (2019) omfattade 35 studier med resultatet att avvisare i genomsnitt minskade fågeldödligheten med 50 %, alltså en lägre minskning jämfört med analysen av Barrientos m.fl. (2011).

Martin & Shaw (2010) menade att fågelavvisare kanske inte gör någon större skillnad för arter med smalt synfält som trappar, storkar och tranor. Detta påstående motsägs av en sammanställning av Liesenjohann m.fl. (2019) som presenteras i avsnitt 8.3.1. Martin (2011) rekommenderar svartvita fågelavvisare, vilka skapar stor kontrast då de kraftigt reflekterar eller absorberar ljus. I andra länder används tydligen svartvita reflexband ofta som avvisare på kraftledningar (Liesenjohann m.fl. 2019). Barrientos m.fl. (2011) gick igenom ett flertal studier som undersökt om olika typer av fågelavvisare är effektivare än andra och kom fram till att det inte finns något entydigt mönster. Det har också kommit några nya typer av fågelavvisare på marknaden, men effekten av dessa är såvitt känt ännu inte utvärderade.

På senare år efter genomgången av Barrientos m.fl. (2011) har det publicerats ytterligare några studier kring fågelavvisares effekter på kollisionsrisk. I en studie i Norge (Stokke m.fl. 2017) användes "grå grisehale" (grå spiral) på en 420 kV ledning och utvärdering gjordes med radar och visuella observationer. Studien var främst en metodutveckling och test av radartekniken, men det fanns indikationer på att en del av fåglarna såg markeringarna och väjde för ledningarna.

Vid floden Oder i Tyskland placerades svartvita spiraler på en 380 kV kraftledning som ligger längs en flyttningsled för fåglar (Kalz m.fl. 2015). Under höstarna 2012 och 2013 eftersöktes kollisionsdödade fåglar längs en 2 400 m lång sträcka av kraftledningen. Antalet funna döda fåglar minskade från 42 till 19 efter att spiraler placerats på ledningen. Korrigerade värden som togs fram vid experiment med utlagda döda fåglar för att beräkna hur många fågeloffer som försvinner för att rävar och andra djur och fåglar äter upp dem resulterade i en minskning med 81 % från 201 till 38 fåglar.

Användning av fågelavvisare på en stor kraftledning (nio span) över en sjö i North Dakota, USA, minskade antalet kollisionsdödade fåglar med 43,7 % (Sporer m.fl. 2013). Fluorescerande fågelavvisare som monterades på en 69 kV kraftledning över en flod i Nebraska, USA, där det passerade många prärietranor förhindrade inte att kollisioner ägde rum (Murphy m.fl. 2016a, b). Fågelavvisarna tycktes fungera bättre på dagtid, och 94 % av kollisionerna observerades på natten (Murphy m.fl. 2016b).

När en kraftledning vid en "korridor" med dagflyttande rovfåglar i USA, med 20–25 höga torn, ersattes med nya ledningar (230 och 500 kV), som löpte parallellt på samma stolpar och 55–60 m höga torn, genomfördes en undersökning av rovfåglarnas flyghöjder före och efter den nya kraftledningen (Luzenski m.fl. 2016). Den nya ledningen som nådde över trädtopphöjd utgjordes av fyra vertikala nivåer och högst upp placerades s.k. "Swan Flight Diverters" var 10:e m längs totalt 1,4 km sträcka. Rovfåglarna svarade mot den nya kraftledningen genom att flyga på högre höjder jämfört med när de passerade den gamla ledningen. Inga kollisioner observerades vare sig före eller efter ombyggnationen.

I Österrike-Ungern minskade dödligheten hos den hotade arten stortrapp när ledningar grävdes ner i marken och fågelavvisare placerades på en sträcka av 89,7 km på 380 kV kraftledningar (Raab m.fl. 2011). Antalet stortrappar som kolliderade med kraftledningar med fågelavvisare var lägre än vid kraftledningar utan fågelavvisare.

Ett stort experiment i Spanien omfattande 72,5 km kraftledningar, såväl 220 kV som 15–45 kV minskade antalet fågelkollisioner med i genomsnitt 9,6 % vid kraftledningar som monterades med fågelavvisare (Barrientos m.fl. 2012). Fågelavvisarna var två olika storlekar av spiraler.

Enligt Koops (1997) reducerades antalet fågelkollisioner med drygt 20 % när de mest olycksdrabbade ledningarna i Nederländerna markerades med fågelavvisare, totalt ca 13 % av landets elnät på sammanlagt 4200 km. Antalet dödade fåglar skattades till mellan 500 000 och 1 miljon vid kollisioner med ledningar i Nederländerna innan fågelavvisarna monterades.

I Litauen användes fågelavvisare på ett antal kraftledningar, vilket bedömdes reducera kollisioner med 60–90 % och antalet dödade vita storkar minskade med 90 % (Raudonikis & Morkūnas 2018). Detaljer redovisas inte i detta dokument.



Figur 20. Två olika typer av fågelavvisare, klot och roterande markör, på kraftledning i östra Skåne. På flertalet av markörerna har den roterande delen lossnat.

8.3.1 Guide till att bedöma effektiviteten av fågelavvisare på olika arter

Det finns alltså stöd för att fågelavvisare kan vara ett effektivt sätt att reducera risken för fågelkollisioner med kraftledningar. Samtidigt behövs ökad kunskap om när fågelavvisare gör en stor skillnad. En nyligen producerad tysk rapport kan ge en viss vägledning.

En genomgång av effektiviteten hos fågelavvisare på artnivå presenteras i Liesenjohann m.fl. (2019). Rapporten är en sammanställning av kunskapsläget där relevanta publicerade studier har tagits fram och sammanställts med hjälp av internationell expertis och en workshop som hölls i Leipzig i juni 2017. Syftet med rapporten var bland annat att utveckla en guide till att bedöma nyttan av fågelavvisare vid nya kraftledningar för fågelarter där vi idag har begränsad kunskap om kollisionsrisker. Beroende på vilka fågelgrupper eller arter som bedöms vara i riskzonen i ett projekt kan det underlätta med en översikt som sammanfattar hur väl fågelavvisare kan förväntas fungera för att reducera kollisionsrisker för olika fågelarter.

Rapporten har utgått från undersökningar av fågelavvisares effekt på 14 referensarter. Referensarterna var stortrapp, trana, gråhäger, knölsvan, storskarv, tofsvipa, snatterand, bläsand, gräsand, ringduva, vitkindad gås, grågås, kråka och skrattnås. Därefter har flera kriterier bedömts för att kunna överföra reduceringseffekt från referensarterna till liknande arter. Kriterierna var släktskap, manövreringsförmåga, kroppsstorlek, flyghastighet, synförmåga i flygriktningen, biotopval, beteenden som flockbildningstendens vid flygningar, födosök och aktivitetsmönster. Reduceringseffekten av fågelavvisare justerades sedan utifrån likheten med referensarterna baserat på metoder beskrivna i Bernotat & Dierschke (2016) och Bernotat m.fl. (2018). Utifrån resultaten i Liesenjohann m.fl. (2019) delade vi in ett antal fågelarter med en viss grad av likhet med en eller flera referensarter i fyra kategorier av reduceringseffekt; Mycket hög reduceringseffekt (>80 % reducering av antalet kollisioner är att förvänta), hög reduceringseffekt (40–80 % reducering av kollisioner), måttlig reduceringseffekt (20–40 % reducering av kollisioner) samt liten effekt (<20 % reducering av kollisioner).

Högst reduceringseffekt hittar vi för svanar, gäss, simänder och hägrar. Hög reducering av kollisioner kan vi förvänta oss för lommar, doppingar, dykänder, vit stork, några arter vadare och trana. En måttlig reducering av kollisioner kan förväntas på tjäder, orre, dalripa, kornknarr, och flera vadare. En liten reducering av kollisioner kan förväntas på järpe, vaktel, morkulla och labbar. Det fanns inga lämpliga referensarter för rovfåglar och ugglor, men det är troligt utifrån befintlig kunskap att fågelavvisare har begränsad reduceringseffekt av kollisioner för dessa fåglar (Liesenjohann m.fl. 2019). I Bilaga 1 görs en genomgång av samtliga i Sverige bofasta fågelarter och som redovisas i Liesenjohann m.fl. (2019). Detta arbete är för närvarande den bästa referensen som finns att tillgå kring hur väl fågelavvisare skyddar olika fågelarter från kollisioner med kraftledningar. Då modellen baseras på relativt få studier kan förstås avvikelser från det generella mönstret uppstå i enskilda fall. Detta är ett dokument som sannolikt kommer att bli uppdaterat framöver, efterhand som ny kunskap insamlas.

I tabell 5 sammanfattas kunskapsläget kring olika faktorer och åtgärder som kan påverka antal fågelkollisioner med kraftledningar.

Tabell 5. Sammanfattning av kunskapsläget kring olika faktorer som kan påverka antalet kollisioner av fåglar med kraftledningar.

Faktor som kan påverka antalet kollisioner	Bedömd effekt och vad studier lett fram till	Referens
<p>Linor på höjden: antal vertikala nivåer antas påverka antal fågelkollisioner => bättre med horisontellt placerade linor än vertikalt placerade sådana</p>	<p>51% minskning av kollisioner hos dalripa efter att jordlina tagits bort på 22 kV ledning: Två linor blev en lina</p> <p>72% minskning av fågelkollisioner när ledning med 3 vertikala nivåer ersattes med ledning med 2 nivåer vid våtmark</p> <p>Två storskaliga studier vid 15–30 kV och 150–400 kV ledningar fann inget samband mellan antal vertikala nivåer och fågelkollisioner</p>	<p>Bevanger & Brøseth 2001</p> <p>Prinsen m.fl. 2011</p> <p>Infante m.fl. 2005 Neves m.fl. 2005</p>
<p>Ledningens höjd: högre ledningsstrukturer antas innebära större kollisionsrisk</p>	<p>Ledningar bör hållas så lågt som möjligt</p> <p>Generell observation att kollisionsrisken är högre vid högspänningsledningar än vid lägre spänningar</p> <p>Ökad kollisionsrisk vid högre stolphöjd inom intervallet 23–33 m (endast vid en vertikal nivå och jordbruksmark)</p>	<p>APLIC 2012, Jenkins m.fl. 2010, Shaw m.fl. 2010</p> <p>Manville II 2005; Shaw m.fl. 2018</p> <p>Neves m.fl. 2005</p>
<p>Linans diameter</p>	<p>Hypotes: tjockare lina ökar möjligheten för fåglar att upptäcka linan och därmed minskas kollisionsrisken</p> <p>Ej studerat/verifierat experimentellt</p>	<p>Jenkins m.fl. 2010</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p>
<p>Jordlinan dödar fler fåglar – kan vara att linan är högst placerad, inte jordlinan i sig</p>	<p>Av 208 observerade fågelkollisioner från fem studier utgjorde 84 % kollisioner med jordlinan. I alla studierna var jordlinan placerad över faslinor.</p> <p>När jordlinan tagits bort minskade antalet kollisioner med 48–78 %. Kan även bero på andra orsaker än just jordlinan</p>	<p>Bernardino m.fl. 2018</p> <p>Beaulaurier 1981 Brown m.fl. 1987 Bevanger & Brøseth 2001</p>

Faktor som kan påverka antalet kollisioner	Bedömd effekt och vad studier lett fram till	Referens
Nya kraftledningar bör placeras i anslutning till andra linjära strukturer (kraftledningar, vägar, järnvägar etc.)	<p>Kollisionsrisk bör minska när flera hinder ligger samlade och kan passeras vid en enda avvikelse från flygkursen</p> <p>Få studier har utvärderat detta (kollisionsrisk för trappar i Sydafrika var högre vid ledningar nära vägar)</p>	<p>APLIC 1994, Bevanger 1994, Thompson 1978</p> <p>Shaw 2013</p>
Avstånd mellan kraftledningsstolpar	<p>Hypotes: Kortare avstånd mellan ledningsstolpar ger lägre kollisionsrisk</p> <p>Saknas stöd för att avståndet mellan stolpar påverkar kollisionsrisk</p>	<p>APLIC 2012, Jenkins m.fl. 2010, Shaw m.fl. 2010</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p>
Fågelavvisare	<p>Antal kollisioner minskar med fågelavvisare, i genomsnitt 50–78 %</p> <p>Det går inte att säga vilken typ av fågelavvisare som är mest effektiv</p> <p>Nya fågelavvisare som är reflekterande eller självlysande i mörker har ännu inte utvärderats i vetenskapliga studier</p> <p>Optimalt avstånd mellan fågelavvisare är inte utvärderat men möjligen finns ett tröskelvärde där kollisioner minskar med kortare avstånd innanför tröskelvärdet</p> <p>Det finns tekniska begränsningar med att använda fågelavvisare som att många högspänningsledningar bara kan ha fågelavvisare på jordlinan då faslinor kan skapa för människor störande ljud, störa teknisk utrustning, leda till elförluster och framkalla korona (små elektriska urladdningar). Dessutom kan det bli isbildning eller de kan gå sönder eller ramla av inom kort tid. Kanske kommer tillverkarna att hitta lösningar på flera av dessa problem framöver</p>	<p>Barrientos m.fl. 2011 Bernardino m.fl. 2019</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p> <p>Bernardino m.fl. 2018</p>

8.4 Åtgärder för att minska eldöd

Världen över finns en mängd olika stolpkonstruktioner där fåglar kan vidröra spänningssatta delar och drabbas av en strömgenomgång. Det är vanligt på stolpkonstruktioner i utlandet med stålstolpar eller armerade betongstolpar, vilket gör regeln jordad och det räcker med att nudda en faslina för eldöd. Fåglar är utsatta när de landar på stolptoppar vid korta avstånd mellan faslinorna och avsaknad av fågelskydd. Överliggande faslinor med uppstickande isolatorer betraktas som farligare än underliggande linor med hängande isolatorer. En annan dödsorsak är när fåglar kommer åt oisolerade transformatorer och omkopplare. Eldöd förekommer ofta också vid oisolerade stolptransformatorer i mellanspänningsnätet.

Det är möjligt att minimera risken för strömgenomföring genom olika åtgärder. Detta kan göras vid nyanläggning av kraftledningar men också i efterhand på befintliga ledningsstolpar. Det finns ett antal tekniska lösningar som har utvecklats för att minimera riskerna för eldöd (t.ex. i Bevanger & Refsnæs 2013). Däremot finns få studier som har försökt eller lyckats utvärdera effekterna av åtgärderna (se avsnitt 9). Även om mycket studier har gjorts kring eldödsproblematiken saknas internationell standardisering i kraftledningsnätets utformning och stolparnas design, vilket kanske innebär att en åtgärd som fungerar i ett kraftledningsnät i ett land inte kan överföras till Sverige. Åtgärderna som redovisas i avsnitt 8.4.1 och 8.4.2 är dock relativt enkla att applicera i vårt land.

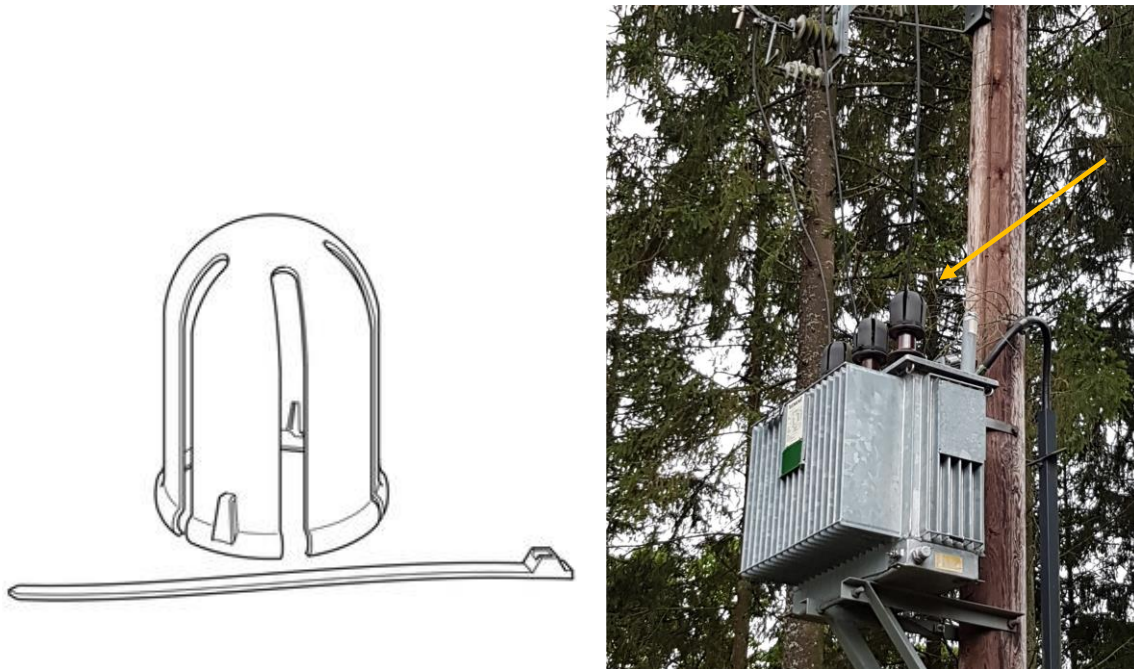
Det är nog inte realistiskt att få bort dödsfall helt och hållet även när åtgärder sätts in på farliga stolpar. Till exempel slits fågelskydd av plast sönder med tiden och den skyddande funktionen försvinner då. Därför är det nödvändigt med regelbunden kontroll av funktionaliteten av isolerande objekt. Till andra nackdelar hör att skydd över upprättstående isolatorer (se figur 21) kan vara svåra att besiktiga om de försetts med skyddande plasthölje samt att det kan uppstå korrosion och fuktproblem under plastskydden som påverkar driftsäkerheten av eldistributionen.

8.4.1 Huven Uven

Redan på 1980-talet startade Vattenfall i samarbete med Berguv Nord ett tekniskt projekt för att minska riskerna med eldöd av berguvar. Som ett resultat av detta utvecklades *Huven Uven*, ett skydd som monteras på de strömförande delarna på stolptransformatorn (se figur 13, 21 och 22). Den används som standard för isolering av stolptransformatorer sedan 1990-talet. Slackarna (linorna) som går upp från transformatorn till faslinorna isoleras också (figur 22).

Vid utvärdering av *Huven Uven* längs med kusten i Norge med hög salthalt i luften visade det sig att isoleringen av faslinorna ledde till korrosion (Bevanger & Refsnæs 2013). Förutom en förhöjd risk för strömavbrott uppskattades livslängden för plastskyddet på fasen till endast ca 10 år. I inlandsområden med mycket låga salthalter i luften (begränsat med luftföroreningar) ansågs det däremot oproblemiskt att använda *Huven Uven*.

I vilken utsträckning *Huven Uven* har reducerat dödligheten hos fåglar är inte utvärderat i Sverige. Då andelen eldödade berguvar har minskat sedan 1990 är det fullt möjligt att användandet av detta skydd har bidragit till att minska antalet eldödade berguvar. Om det i förlängningen kan ha hjälpt arten på populationsnivå är svårt att fastställa, men en sentida minskning av artens populationsstorlek i Sverige talar möjligen emot det. Det är kanske möjligt att undersöka hur många berguvar som har dödats vid oisolerade respektive isolerade transformatorer för att få mer klarhet i denna fråga.



Figur 21 och 22. *Huven Uven* som monteras med ett buntband (figur 21). På stolpen ses *Huven Uven* monterad på transformatorn (figur 22).

8.4.2 Fågelskydd och sittpinnar på stolpar

Då många rovfåglar och ugglor använder stolpregeln som sittplats och därmed riskerar att komma i kontakt med två strömförande ledningar vid kortare avstånd mellan dessa kan en lämplig åtgärd vara att isolera stolptoppen med plasthöljen (figur 23). Emellertid är oisolerade blanktrådar en övergående konstruktion i lokalnätet. Inom några år kommer majoriteten av dessa vara bortbyggda till markkabel eller isolerad plastlina.

I Norge utvecklade NINA, SINTEF och El-tjeneste AS sittpinnar eller förlängare av den horisontella stolpregeln. Sittpinnen i kombination med "spikmatta" på regeln ska förhindra att berguvar sätter sig på stolpen (Bevanger m.fl. 2014). Det tycks ha varit en effektiv åtgärd i Norge även om det varit svårt att exakt utvärdera nyttan.



Figur 23. Isolerande plasthöljen över isolatorer på kraftledning på Gotland. Plasthöljet täcker ca 1 m i båda riktningarna från isolatorerna på stolpregeln. Ung kungsörn på stolpregeln. Foto: Fredrik Anmark.

8.4.3 Avstånd mellan faslinor

För att minimera risken för strömöverföring vid stora fåglars start och landning vid stolpar fastställde APLIC (2006) ett kritiskt avstånd av 150 cm mellan spänningssatta delar för att fåglar som vithövdad havsörn och kungsörn inte skulle riskera att drabbas av eldöd. Bernkonventionen har satt 140 cm som gräns medan BirdLife International rekommenderar 160 cm som minsta mått. Det är fortfarande oklart om metakarpalmåttet av 125 cm för en havsörn täcker in de allra största individerna. Från metakarpalmåttet ska sannolikt ytterligare några cm läggas till som buffert för det område där överslag av ström kan ske. Med nuvarande kunskap bör 140 cm avstånd enligt Bernkonventionen vara tillräckligt för att i stort sett samtliga fåglar ska klara sig ifrån strömgenomföring.

9. Åtgärder som gett resultat på fågelpopulationer

Nedan ges två exempel från södra Europa där åtgärder för att minska påverkan av kraftledningar har utvärderats och i ett fall gett tydligt resultat på populationsnivå.

9.1 Spansk kejsarörn i Spanien

Spansk kejsarörn är en rovfågel som enbart förekommer i Spanien och Portugal på Iberiska halvön med en population av några hundra par. En studie i Andalusien, sydvästra Spanien, visade att 60 % av samtliga kända dödsfall från och med 1974 utgjordes av eldöd fram till införandet 1990 av obligatoriska åtgärder för att reducera eldöd vid kraftledningar (López-López m.fl. 2011). Mellan 1992 och 2009 säkrades 6 560 stolpar som identifierats som farliga längs 1 446 km kraftledningar i Andalusien. Vid anläggning av nya kraftledningar såg man till att stolpar inte skulle kunna orsaka eldöd genom isolering av strömförande delar och tillräckliga skyddsavstånd mellan faslinor. Områden med bofasta kejsarörnar undveks vid dragning av kraftledning. Kostnaden för dessa åtgärder landade på €2 624 000. Efter dessa åtgärder minskade antalet eldödade kejsarörnar med ca 80 % och andelen eldödade kejsarörnar reducerades till 40 % av samtliga dödsfall och populationen i Andalusien ökade från 31 till 60 par.

9.2 Hökörn i Frankrike

I södra Frankrike finns en liten population med några tiotal par hökörn. Eldöd utgjorde en av de viktigaste dödsorsakerna och för att minska denna dödlighet isolerades stolpar i närheten av boplatser. I 75 % av reviren isolerades 500 farliga stolpar under perioden 1997–2004 så att örnarna inte skulle kunna komma i kontakt med strömförande delar (Chevallier m.fl. 2015). Arbetet utfördes i samarbete mellan ideella naturvårdare och kraftbolagen. Åtgärderna ledde till att eldöd av hökörnar minskade och överlevnaden fram till könsmogen ålder ökade från ca 7 % till ca 20 %. Den årliga överlevnaden hos könsmogna hökörnar ökade från 77 % till 88 %. Populationen ökade inte omedelbart under studieperioden men när överlevnaden ökade i populationen hos yngre fåglar som före åtgärderna varit särskilt drabbade förbättrades också framtidsutsikterna för den hotade och utsatta populationen.

9.3 Örnar i Sverige

I dagsläget utgör nog inte kraftledningar något liknande hot mot örnar i Sverige som det gjorde för de sårbara örnarterna i södra Europa. De flesta dödsfall av kungsörnar i Sverige vid kraftledningar sker såvitt vi vet på Gotland (Fransson m.fl. 2019). På Gotland har det främst varit yngre fåglar som förolyckats, vilket inte är lika problematiskt som om det är äldre individer. Gotlandspopulationen är den mest framgångsrika i landet med hög ungpåproduktion utan dödsfall av tågtrafik som kanske är det största problemet i norra Sverige. Havsörnen har en betryggande populationsökning och kraftledningar utgör inte en lika omfattande dödsfaktor som för kungsörn.

Det som ovanstående två europeiska exempel visar är att om man har identifierat kraftledningar som det absolut största hotet mot en liten hotad rovfågelspopulation går det att vända utvecklingen till mer positiva framtidsutsikter. På Gotland diskuteras om riktade åtgärder för att minska eldöd på kungsörnar kan vara aktuellt om den nuvarande positiva trenden för arten förändras, inte minst med tanke på en fortsatt vindkraftsutbyggnad. Det är återigen viktigt att understryka att det vanligtvis är eldöd i det lokala nätet som kan vara ett problem för örnar och stora ugglor, och vad vi känner till är det inte kollisioner med de stora ledningarna som är ett problem för just dessa typer av fåglar.

10. Studier av påverkan av anläggningsarbeten under fåglarnas häckningstid

Det saknas i hög grad studier vid anläggningsarbeten av kraftledningar. Exempel kommer från andra anläggningsarbeten men det är oklart om de fullt ut är jämförbara. Anläggningsarbeten kan störa fågelfaunan, men påverkan som är begränsad till byggtiden är relativt kortvariga och har sannolikt i flertalet fall inte långsiktiga konsekvenser (Naturvårdsverket 2004). Det finns generellt få undersökningar kring påverkan på fågellivet av konstruktionsarbeten som äger rum under fåglarnas häckningstid. Till den här rapporten kunde ingen studie av effekter av kraftledningsbyggnation på fåglar hittas. I Naturvårdsverkets rapport från 2004 nämns en studie där vadare, tärnor och måsar minskade i antal i samband med oljeborrningsaktiviteter som pågick under två år på en ö i Texas, USA. När borrningen hade upphört ökade antalet fåglar igen redan året efter. Under tiden som byggandet av Öresundsbron ägde rum konstaterades störningar på vissa änder, grågås, knölsvan och vadare (referens i Naturvårdsverket 2004). Störningen sträckte sig upp till 500 m, men tycktes inte påverka fåglarnas kondition även om det blev mindre tid till födosök på grund av störningarna. När bron var färdigställd sågs inga kvarvarande effekter på fågellivet. Vid en grund havsvik i England observerades en minskad förekomst av änder och vadare i samband med byggandet av en motorvägsbro, men bedömningen var att det inte orsakade populationsminskningar i området (referens i Naturvårdsverket 2004).

Vid byggande av vindkraftverk kan en del arter minska i antal för att sedan återhämta sig när verksamheten kommit igång (Pearce-Higgins m.fl. 2012). Påverkan under konstruktionsfasen vid utbyggnad av vindkraftverk kan därför vara tillfällig och begränsad. Å andra sidan visade analysen av Pearce-Higgins m.fl. (2012) att i 18 vindkraftparker i högländsområden i Storbritannien uppvisade två arter (storspov och enkelbeckasin) av tio studerade på minskningar som höll i sig åren efter att vindkraftsparkerna var färdigbyggda och i drift.

I jämförelse med ovan nämnda exempel är anläggning av kraftledningar inte lika omfattande och utförs punktvis över längre sträckor i förhållandevis smala korridorer.

11. Annan påverkan på fåglarnas livsmiljöer vid kraftledningar

11.1 Undvikande hos fåglar för kraftledningar

I vilken utsträckning fåglar undviker att vistas i närheten av kraftledningar är dåligt undersökt. För några arter har man i ett fåtal studier konstaterat ett visst undvikande av fåglar för kraftledningar. Rastande och övervintrande sädgäss, bläsgäss och vitkindade gäss höll sig på avstånd av 40–80 m från lägre kraftledningar men tycktes ignorera 60 m höga kraftledningar (Percival 1993, Ballasus & Sossinka 1997). Bläsgäss och rödhalsade gäss uppvisade i ett övervintringsområde i Dobrudzha, Bulgarien, några hundra meters undvikande till kraftledningar liksom till vindkraftverk och trädrådäer (Harrison m.fl. 2018). Här går det inte att utesluta att detta beteende kan ha berott på ett högt jakttryck i området och att dessa strukturer förknippades med jaktrisken.

Småtrapp undvek att vistas i närheten av kraftledningar i södra Portugal (Silva m.fl. 2010), men det angavs inte i artikeln upp till vilket avstånd. Raab m.fl. (2011) redovisade påverkan på flyktbeteenden hos stortrapp upp till åtminstone 800 m och kanske även till 1600 m från kraftledningar. När stortrapparna lyfte inom 800 m avstånd från ledning flög de oftare i riktning bort från denna jämfört med flygstarter på längre avstånd från ledningarna.

Det kunde inte påvisas något undvikandebeteende vid en 345 kV kraftledning i en vinterstudie av strålstjærtshöns i Utah, USA (Hansen m.fl. 2016). Studien gjordes före och efter att kraftledningen byggts. En annan studie på samma fågelart i Wyoming fann att överlevnaden hos hönor var lägre där det fanns många kraftledningar (Dinkins m.fl. 2014). En förklaring kan vara att det fanns gott om rovfåglar som kunde använda kraftledningsstolpar som utsiktsposter och därmed lättare fånga och döda hönsen.

Det är ändå troligt att de flesta fåglar inte undviker kraftledningar, och när ett undvikande förekommer är avståndet relativt kort.

11.2 Fåglar som kan gynnas av nya livsmiljöer kring kraftledningar

Å andra sidan finns det fågelarter som gynnas av att ytor hålls någorlunda trädfrä och öppna under kraftledningar. Det är inte ovanligt att se t.ex. svalor använda luftledningar som viloplats. I Sverige är törnskatan ett exempel på en av de så kallade "hagmarksarter" i landet som minskat i antal i jordbruksbiotoper men som hittar attraktiva livsmiljöer i kraftledningsgator. I Forsmark har forskare från Lunds- och Köpenhamns universitet bedrivit specialstudier på törnskata. I kraftledningsgator lyckades törnskatorna väl med häckningarna och de återvände också till platsen efterföljande år (Martin Green). En studie från SLU undersökte fågelfaunan i kraftledningsgator i Uppland och konstaterade att dessa är relativt artrika fågelbiotoper (Berg & Svensson 2011). I västra Massachusetts fann King m.fl. (2009) att kraftledningsgator som var mer än 50 m breda var särskilt betydelsefulla för hotade fågelarter som trivs i buskmark.

Världen över finns exempel på hur stolpar kan användas som boplatser eller utsiktspunkter för olika fågelarter, särskilt rovfåglar och kråkfåglar. I Nordamerika finns flera exempel på lokala öknings av rovfågelspopulationer som en konsekvens av att kraftledningsstolpar erbjuder fler möjligheter till boplatser (APLIC 2006). Det samma gäller också vit stork i flera europeiska länder (figur 24). I Sverige är det ovanligt att rovfåglar påträffas bygga bon i kraftledningsstolpar, men fiskgjuse och lärkfalk är exempel på arter som observerats med bo.

När det blir många kråkfåglar längs med kraftledningar kan dessa påverka andra fåglar (Smith & Dwyer 2016). I Danmark undersöktes lärkfalkens häckningsframgång i bon byggda på kraftledningsstolpar (Tofft 2015). Lärkfalken tar över bon som kråkor har byggt. Av 20 häckningsförsök lyckades 16, vilket är en hög andel. Tofft (2015) går igenom liknande studier av lärkfalk som gjorts i Tyskland och Frankrike och tillsammans med utfallet i den danska studien tyder dessa på att lärkfalken lyckas föda upp fler ungar i bon i kraftledningsstolpar jämfört med i trädplacerade bon.

Fågelbon i kraftledningsstolpar är dock inget önskvärt ur nätbolagens perspektiv då det kan leda till driftstörningar på grund av spillning eller eldöd i samband med aktiviteter kring boet. I Nordamerika har olika metoder utvecklats för att få fåglar att acceptera artificiella bon, ofta i form av en plattform (APLIC 2006).



Figur 24. I flera europeiska länder väljer vit stork ofta kraftledningsstolpar som boplats.

12. Järnvägsledningar

Fåglar dör också längs vid järnvägar i kollisioner med ledningar och genom strömgenomgång. Järnvägens kontaktledningsnät är ca 12 000 km långt och Trafikverkets ledningar med matarledningar, det vill säga fristående kraftledningar, är drygt 2 000 km (Trafikverket 2018). En genomgång av problemet med driftstörningar som uppkommer när fåglar orsakar kortslutning vid kontaktledningsanläggningar har gjorts (Trafikverket 2018). Det verkar oftast vara kråkfåglar som drabbas då de har ett relativt stort vingspann och är vanligt förekommande invid järnvägsanläggningar. I Tyskland uppskattas minst 2 700 fåglar om året förolyckas av strömgenomgång längs 19 000 km elektrifierad järnväg (Trafikverket 2018). Detta antal är litet ställt till många arters populationsstorlekar och påverkan på bestånd är sannolikt låg. Däremot kan det ge upphov till driftstörningsproblem. Omfattningen av fågelkollisioner med järnvägsledningar i Sverige är nära nog ett okänt område. Tågekollisioner, däremot, med örnar är ett sedan länge känt problem och drabbar årligen upp till flera tiotal kungsörnars och havsörnars död. Även om det kan hända att örnar kolliderar med ledningar är det framför allt kollisioner med tågen som orsakar dödsfall.

13. Slutsatser - kunskapsluckor och forskningsbehov

Runt om i världen har ett omfattande arbete utförts för att öka kunskapen om hur kraftledningar påverkar fåglar. Stort fokus har legat på strömgenomgång och eldöd hos fåglar då detta kan få konsekvenser för driftsäkerheten med driftstopp och påföljande ekonomiska kostnader. Åtgärder i större skala med att isolera farliga stolpar i södra Europa har haft positiv effekt på populationer av sällsynta stora rovfåglar när fågeldödligheten minskat. I Sverige utvecklades relativt tidigt tekniska lösningar för att minska eldöd hos berguv, som kanske är den fågelart i Sverige som har varit mest utsatt för olyckor vid kraftledningar. Lokalt har samarbeten funnits mellan ornitologer och kraftbolag för att åtgärda farliga stolpar för såväl berguv som kungsörn. Markörer eller fågelavvisare har också använts på utsatta kraftledningssträckor för att minska risken för att fåglarna flyger in i ledningarna. Kraftbolagens ombyggnadsarbeten med det lokala kraftledningsnätet i syfte att öka driftsäkerheten har inneburit att många farliga transformatorstolpar och åtskilliga mil oisolerade faslinor har försvunnit. Sammantaget är det kanske inte så förvånande att andelen dödsfall orsakade av kraftledningar har minskat bland svenska fåglar under perioden 1990–2017.

Trenden med att alltfler tidigare luftledningar inom lokalnätet läggs som kablar i marken och att isolerade faslinor ersätter de oisolerade linorna kommer att fortsätta. Men det kommer att ta tid att åtgärda samtliga oisolerade transformatorstolpar och luftledningar i landet. Vilka åtgärder som krävs för att minska eldöden hos fåglar finns det kunskap om, men för att påskynda detta fågelskyddsarbete finns ett behov av utredningar som identifierar vilka platser som är mest angelägna att åtgärda och bör prioriteras. Stolpar där rovfåglar eller ugglor påträffas döda indikerar farliga platser. Med GIS-analyser är det sannolikt möjligt efterhand med ett växande dataunderlag att kunna identifiera ledningssträckor och stolptyper som kan utgöra särskilt stor risk för de mest utsatta fågelarterna.

Omfattningen av fågelkollisioner med luftledningar i Sverige är ett stort frågetecken. Vi kan komma med kvalificerade gissningar av dödstal baserat på undersökningar i andra länder, men det är osäkert i vilken grad dessa studier kan överföras till våra skogsdominerande arealer. Närmast till hands är att norska studier borde kunna användas också i Sverige. Vilka arter som är mest utsatta för kollisioner med luftledningar är tämligen väl känt, men det finns fortfarande kunskapsluckor om var riskerna är som störst. Analyser som identifierar vilka kraftledningstyper och vilka faktorer i landskapet som kan ha betydelse för kollisionsrisker är angelägna.

Huruvida antalet nivåer av ledningar (vertikalt eller horisontellt) påverkar kollisionsrisken är en av de frågeställningar som det inte finns ett entydigt svar på. Intuitivt kan man tycka att kollisionsrisken bör vara större med vertikala placerade linor, men en eventuell skillnad mellan de båda ledningstyperna är kanske inte så stora för de flesta fågelarter. Däremot kan det kanske göra skillnad för vissa arter och i vissa miljöer även om den kunskapen saknas idag.

Forskare är eniga om att fågelavvisare på ledningar reducerar antalet fågelkollisioner överlag, men fler studier behövs för att öka kunskapen om hur de kan fungera ännu bättre för att minska antalet fågelkollisioner. Nuvarande kunskapsläge tyder på att fågelavvisare är mest effektivt för att reducera antalet kollisioner för svanar, gäss, simänder och gråhäger, men också t.ex. för ringduva, stare och kråka. Fågelavvisare tycks inte ha någon mätbar eller åtminstone endast svag reduceringseffekt av kollisioner på rovfåglar och ugglor samt fågelarter som morkulla, enkelbeckasin och järpe.

Med en omställning i samhället till förnyelsebar energi och ökad elektrifiering kommer också mycket nya kraftledningar att anläggas. Nya sträckningar av kraftledningar kan i den mån det är möjligt undvika att passera särskilt fågelrika områden med kollisionsbenägna arter. Dessa situationer återfinns ofta vid våtmarksområden, längs kuster eller i öppna landskap där stora fågelflockar flyger mellan födosöksområden och övernattningsplatser. Samtidigt tycks fågelavvisare fungera bäst med att motverka kollisioner för många av de fågelarter som då är aktuella. Däremot tyder befintlig kunskap på att fågelavvisare i enhetliga skogsområden har liten eller måttlig effekt på att reducera kollisionsrisken för de fåglar som lever där. Också vad gäller kollisionsrisker finns ett behov av att identifiera "hotspots" där åtgärder kan vara mest angelägna (se t.ex. D'Amico m.fl. 2019).

14. Referenser

- Alonso, J.C., Alonso, J.A. & Muñoz-Pulido, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. *Biological Conservation* 67:129–134.
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). 1994. *Mitigating Bird Collisions with Power Lines: The State of the Art in 1994*. Washington, D.C. *Mitigating Bird Collisions with Power Lines: The State of the Art in 1994*. Washington, D.C.
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). 2006. *Suggested practices for avian protection on power lines: the state of the art in 2006*. Edison Electric Institute, APLIC, and the California Energy Commission, Washington, DC and Sacramento, CA U.S.A.
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). 2012. *Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012*. Washington, DC.
- Ballasus, H. & Sossinka, R. 1997. The impact of power lines on field selection and grazing intensity of wintering white-fronted and bean geese *Anser albifrons*, *A. fabalis*. *Journal für Ornithologie* 138:215–228.
- Barrientos, R., Alonso, J.C., Ponce, C. & Palacín, C. 2011. Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. *Conservation Biology* 25:893–903.
- Barrientos, R., Ponce, P., Palacín, C., Martín, C.A., Martín, B. & Alonso, J.C. 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *PLoS One* 7, e32569.
- Bayle, P. 1999. Preventing birds of prey problems at transmission lines in western Europe. *Journal of Raptor Research* 33:43–48.
- Berg, Å. & Svensson, R. 2011. Fågelfaunan i kraftledningsgator – effekt av skötsel och landskap. CBM:s skriftserie 57.
- Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J.F., Marques, A.T., Martins, R.C., Shaw, J.M., Silva, J.P. & Moreira, F. 2018. Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation* 222:1–13.
- Bernardino, J., Martins, R.C., Bispo, R. & Moreira, F. 2019. Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: a meta-analysis and guidelines for field studies. *Journal of Environmental Management* Volume 252, 15 December 2019, 109651.
- Bernotat, D. & Dierschke, V. 2016. *Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen - 3. Fassung - Stand 20.09.2016*, – Leipzig (Bundesamt für Naturschutz, 463 S.
- Bernotat, D., Rogahn, S., Rickert, C., Follner, K & Schönhofer, C. 2018. *BfN-Arbeitshilfe zur arten- und gebietsschutzrechtlichen Prüfung bei Freileitungsvorhaben*. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). BfN-Skripten 512, 200 S.

- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazard to game birds in Central Norwegian forest. *Fauna Nor. Ser. C Cinclus* 13:11–18.
- Bevanger, K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigation measures. *Ibis* 136:412–425.
- Bevanger, K. 1995. Tetraonid mortality caused by collisions with power lines in boreal forest habitats in Central Norway. *Fauna norv. Ser. C., Cinclus* 18:41–51.
- Bevanger, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86:67–76.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kleven, O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J. 2014. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Final Report; findings 2009–2014. – NINA Report 1012. 92 pp.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2001. Bird collisions with power line – an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). *Biological Conservation* 99:341–346.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2004. Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. *Animal Biodiversity Conservation* 27:67–77.
- Bevanger, K., May, R. & Stokke, B. 2016. Dyreliv och kraftledningar. Miljø- og forsyningsmessige utfordringer. NINA Temahefte 67. 120 sid.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektrokusjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge. - NINA Rapport 763. 62 s.
- Chevallier, C., Hernandez-Matias, A. & Real, J. 2015. Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: An example with the endangered Bonelli's Eagle. *Journal of Applied Ecology* 52:1465–1473.
- Costantini, D., Gustin, M., Ferrarini, A. & Dell'Omo, G. 2016. Estimates of avian collision with power lines and carcass disappearance across differing environments. *Animal Conservation* 20:173–181.
- D'Amico, M., Martins, R.C., Álvarez-Martínez, J.M., Porto, M., Barrientos, R. & Moreira, F. 2019. Bird collisions with power lines: Prioritizing species and areas by estimating potential population-level impacts. *Diversity Distributions* 25:975–982.
- Dinkins, J.B., Conover, M.R., Kirol, C.P., Beck, J.L. & Frey, N. 2014. Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*) hen survival: effects of raptors, anthropogenic and landscape features, and hen behavior. *Canadian Journal of Zoology* 92:319–330.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W. 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:233–266.
- Dwyer, J.F., Kratz, G.E., Harness, R.E. & Little, S.S. 2015. Critical dimensions of raptors on electric utility poles. *Journal of Raptor Research* 49:210–216.

- Eccleston, D. & Harness, R.E. 2018. Raptor electrocutions and power line collisions. I: Sarasola, J., Grande, J. & Negro, J. (eds) *Birds of Prey*, pp. 273-302. Springer, Cham.
- Fransson, T. & Stolt, B-O. 2000. Fåglar och ledningar – en analys baserad på återfynd av fåglar ringmärkta i Sverige. Naturhistoriska riksmuseet. Ringmärkningscentralen, Stockholm.
- Fransson, T., Jansson, L., Kolehmainen, T. & Wenniger, T. 2019. Collisions with power lines and electrocutions in birds – an analysis based on Swedish ringing recoveries 1990–2017. *Ornis Svecica* 29:37–52.
- Guil, F., Fernández-Olalla, M., Moreno-Opo, R., Mosqueda, I., Gómez, M.E., Aranda, A., Arredondo, A., Guzmán, J., Oria, J., González, L.M. & Margalida, A. 2011. Minimising Mortality in Endangered Raptors Due to Power Lines: The Importance of Spatial Aggregation to Optimize the Application of Mitigation Measures. *PLoS ONE* 6(11): e28212. doi:10.1371/journal.pone.0028212
- Guil, F., Colomer, M.À., Moreno-Opo, R. & Margalida, A. 2015. Space-time trends in Spanish bird electrocution rates from alternative information sources. *Science of the Total Environment* 625:460–469.
- Haas, D., Nipkow, M., Fiedler, G., Scheneider, R., Haas, W. & Schürenberg, B. 2005. Protecting birds from powerlines. *Nature and Environment* 140. Bernkonventionen.
- Hansen, E.P. 2016. Influence of transmission line construction on winter sage-grouse habitat in southern Utah. *Human-Wildlife Interactions* 10: Iss. 2, Article 5.
- Harrison, A.L., Petkov, N., Mitev, D., Popgeorgiev, G., Dove, B. & Hilton, G.M. 2018. Scale-dependent habitat selection by wintering geese: implications for landscape management. *Biodiversity and Conservation* 27:167–188.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F. & Pradel, R. 2015. Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. *Biological Conservation* 191:110–116.
- Hjernquist, M. 2011. Åtgärdsprogram för kungsörn 2011–2015. Rapport 6430, Naturvårdsverket.
- Hovick, T.J., Elmore, R.D., Dahlgren, D.K., Fuhlendorf, S.D. & Engle, D.M. 2014. Evidence of negative effects of anthropogenic structures on wildlife: a review of grouse survival and behaviour. *Journal of Applied Ecology* 51:1680–1689.
- Hüppop, O., Hüppop, K., Dierschke, J. & Hill, R. 2016. Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. *Bird Study* 63:73–82.
- Hörnell-Willebrand, M. 2012. Tjädern i Sverige – utvärdering och analys av insamlad data. Slutrapport Viltvårdsfonden, projekt nr 802-0151-07.
- Infante, S., Neves, J., Ministro, J. & Brandão, R. 2005. Impact of distribution and transmission power lines on birds in Portugal (på portugisiska). Castelo Branco, Portugal.

- Janss, G.F.E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphological approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95:353–359.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 2000. Common crane and great bustard collision with power lines: collision rate and risk exposure. *Wildlife Society Bulletin* 28:675–680.
- Jenkins, A.R., Smallie, J.J., Diamond, M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International* 20:263–278.
- Jenkins, A.R., Shaw, J.W., Smallie, J.J., Gibbons, B., Visagie, R. & Ryan, P.G. 2011. Estimating the impacts of power line collisions on Ludwig's Bustards *Neotis ludwigii*. *Bird Conservation International* 20:263–278.
- Kalz, B., Knerr, R., Brennenstuhl, E., Kraatz, U., Dürr, T. & Stein, A. 2015. Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen an einer 380-kV Freileitung im Nationalpark Unteres Odertal. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47:109–116.
- King, D.I., Chandler, R.B., Collins, J.M., Petersen, W.R. & Lautzenheiser, T.E. 2009. Effects of width, edge and habitat on the abundance and nesting success of Scrub-shrub birds in powerline corridors. *Biological Conservation* 142:2672–2680.
- Koops, F.B.J. 1997. Markierung von Hochspannungsfreileitungen in den Niederlanden. - *Vogel und Umwelt* 9, Sonderheft: 276-278.
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L. & Savidge, J.A. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: a global review. *Biological Conservation* 136:159–174.
- Liesenjohann, M., Blew, J., Fronczek, S., Reichenbach, M. & Bernotat, D. 2019. Artspezifische Wirksamkeiten von Vogelschutzmarkern an Freileitungen. *Methodische Grundlagen zur Einstufung der Minderungswirkung durch Vogelschutzmarker – ein Fachkonventionsvorschlag*. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). BfN-Skripten 537: 286 S.
- López-López, P., Ferrer, M., Madero, A., Casado, E. & McGrady, M. 2011. Solving man-induced large-scale conservation problems: the Spanish Imperial Eagle and power lines. *PLoS ONE* 6(3): e17196. doi:10.1371/journal.pone.0017196.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2014. Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. *PLoS ONE* 9(7):e101565. doi:10.1371/journal.pone.0101565.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2015. Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 46:99–120.
- Luzenski, J., Rocca, C.E., Harness, R.E., Cummings, J.L., Austin, D.A., Landon, M.A. & Dwyer, J.F. 2016. Collision avoidance by migrating raptors encountering a new electric power transmission line. *Condor* 118:402–410.
- Manville II, A.M. 2005. Bird Strikes and Electrocutions at Power Lines, Communication Towers, and Wind Turbines: State of the Art and State of the Science – Next Steps toward Mitigation.

- Martin, G.R. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153:239–254.
- Martin, G.R. & Shaw, J.M. 2010. Bird collisions with power lines: failing to see what is ahead? *Biological Conservation* 143:2695–2702.
- Martínez, J.A., Martínez, J.E., Mañosa, S., Zuberogoitia, I. & Calvo, J.F. 2006. How to manage human-induced mortality in the Eagle Owl *Bubo bubo*. *Bird Conservation International* 16:265–278.
- Mojica, E.K, Watts, B.D., Paul, J.T., Voss, S.T. & Pottie, J. 2009. Factors contributing to Bald Eagle electrocutions and line collisions on Aberdeen Proving Ground, Maryland. *Journal of Raptor Research* 43:57–61.
- Mojica, E.K., Dwyers, J.F., Harness, R.E., Williams, G.E. & Woodbridge, B. 2018. Review and synthesis of research investigating golden eagle electrocutions. *Journal of Wildlife Management* 82:495–506.
- Murphy, R.K., McPherron, S.M., Wright, G.D. & Serbousek, K.L. 2009. Effectiveness of Avian Collision Averters in Preventing Migratory Bird Mortality From Powerline Strikes in the Central Platte River, Nebraska. Grand Island, Nebraska, USA.
- Murphy, R.K., Mojica, E.K., Dwyer, J.F., McPherron, M.M., Wright, G.D., Harness, R.E., Pandey, A.K. & Serbousek, K.L. 2016a. Crippling and nocturnal biases in a study of Sandhill Crane (*Grus canadensis*) collisions with a transmission line. *Waterbirds* 39(3):312–317.
- Murphy, R.K., Dwyer, J.F., Mojica, E.K., McPherron, M.M. & Harness, R.E. 2016b. Reactions of Sandhill Cranes approaching a marked transmission power line. *Journal of Fish and Wildlife Management* 7:480–489.
- Naturvårdsverket. 2004. Effekter av störningar på fåglar – en kunskapssammanställning för bedömning av inverkan på Natura 2000-objekt och andra områden. Rapport 5351.prinsen
- Neves, J., Infante, S., Ministro, J. & Brandão, R. 2005. Impact of transmission lines on birds in Portugal (på portugisiska). Castelo Branco, Portugal.
- Newton, I. 2010. *Bird Migration*. Collins, 598 sid.
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Douse, A. & Langston, R.H.W. 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.
- Percival, S.M. 1993. The effects of reseeding, fertilizer application and disturbance on the use of grasslands by barnacle geese, and the implications for refuge management. *Journal of Applied Ecology* 30:437–443.
- Pigniczki, C., Bakró-Nagy, Z., Bakacsi, G., Barkóczi, C., Nagy, T., Puskás, J. & Enyedi, T. 2019. Preliminary results on bird collision with overhead power lines in Hungary: a case study around Pusztaszer Landscape Protection Area. *Ornis Hungarica* 27:221–238.

- Prinsen, H.A.M., Boere, G.C., Pires, N. & Smallie, J.J. (Compilers). 2011. Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region. AWEA/CMS Technical Series No. 42. Bonn, Germany.
- Raab, R., Spakovszky, P., Julius, E., Schütz, C. & Schulze, C.H. 2011. Effects of power lines on flight behavior of the West-Pannonian Great Bustard *Otis tarda* population. *Bird Conservation International* 21:142–155.
- Raudonikis, L. & Morkūnas, J. 2018. Birds' protection and electricity transmission lines. Lithuanian Ornithological Society (LOS).
- Rioux, S., Savard, J.-P.L. & Gerick, A.A. 2013. Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conservation and Ecology* 8(2): 7. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00614-080207>.
- Rollan, À., Real, J., Bosch, R., Tintó, A., Hernández-Matías, A. 2010. Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* and its conservation complications. *Bird Conservation International* 20:279–294.
- Rubolini, D., Bassi, E., Bogliani, G., Galeotti, P. & Garavaglia, R. 2001. Eagle Owl *Bubo bubo* and power line interactions in the Italian Alps. *Bird Conservation International* 11:319–324.
- Rydell, J., Engström, H., Hedenström, A., Larsen, J.K., Pettersson, J. & Green, M. 2011. Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss – Syntesrapport. Naturvårdsverket, Rapport 6467.
- Rydell, J., Ottvall, R., Pettersson, S. & Green, M. 2017. Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss. Uppdaterad syntesrapport 2017. Naturvårdsverket, Rapport 6740.
- Schaub, M., Aebischer, A., Gimenez, O., Berger, S. & Arlettaz, R. 2010. Massive immigration balances high anthropogenic mortality in a stable eagle owl population: Lessons for conservation. *Biological Conservation* 143:1911–1918.
- Sergio, F., Marchesi, L., Pedrini, P., Ferrer, M. & Penteriani, V. 2004. Electrocutation alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. *Journal of Applied Ecology* 41:836–845.
- Schaub, M. & Prader, R. 2004. Assessing the relative importance of different sources of mortality from ringing recoveries of marked animals. *Ecology* 85:930–938.
- Shaw, J.M., Reid, T.A., Schutgens, M., Jenkins, A.R. & Ryan, P.G. 2018. High power line collision mortality of threatened bustards at a regional scale in the Karoo, South Africa. *Ibis* 160:431–446.
- Silva, J.P., Santos, M., Queirós, L., Leitão, D., Moreira, F., Pinto, M., Leqoc, M. & Cabral, J.A. 2010. Estimating the influence of overhead transmission power lines and landscape context on the density of little bustard *Tetrax tetrax* breeding populations. *Ecological Modelling* 221:1954–1963.

Silva, J.P., Palmeirim, J.M., Alcazar, R., Correia, R., Delgado, A. & Moreira, F. 2014. A spatially explicit approach to assess the collision risk between birds and overhead power lines: a case study with the little bustard. *Biological Conservation* 170:256–263.

Sporer, M.K., Dwyer, J.F., Gerber, B.D., Harness, R.E. & Pandey, A.K. 2013. Marking power lines to reduce avian collisions near the Audobon National Wildlife Refuge, North Dakota. *Wildlife Biology* 19:368–373.

Sjöberg, S., Pedersen, L., Malmiga, G., Alerstam, T., Hansson, B., Hasselquist, D., Thorup, K., Tøttrup, A.P., Andersson, A. & Bäckman, J. 2018. Barometer logging reveals new dimensions of individual songbird migration. *Journal of Avian Biology* 49:e01821.

Smith, J.A. & Dwyers, J.F. 2016. Avian interactions with renewable energy infrastructure: an update. *The Condor* 118:411–423.

Stokke, B.G., Åström, J., Bevanger, K., Hamre, Ø. & May, R. 2017. En radarbasert undersøkelse av effekten på fugl av markering av høyspentledninger. *Pilotprosjekt: Uttesting av metodik*. NINA Kortrapport 59. 23 sid.

Tofft, J. 2015. Iagttagelser over Laerkefalkens ynglebiologi ved reder i sonderjyske elmaster. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift* 110:207–213.

Trafikverket. 2018. Fåglar – kontaktledning. UHte 17–143. Rapport Trafikverket. Författare: Jan Hjort.

Dokument och vägledningar:

BirdLife Sverige. 2017. Riktlinjer för kraftledningar.

Edin H. 2017-09-19. Resistansmätning och överslagsprov med fågel. KTH

Prinsen, H.A.M., Smallie, J.J., Boere, G.C. & Pires, N. (Compilers), 2012. *Guidelines on How to Avoid or Mitigate Impact of Electricity Power Grids on Migratory Birds in the African-Eurasian Region*. AEWA Conservation Guidelines No. 14, CMS Technical Series No. 29, AEWA Technical Series No. 50, CMS Raptors MOU Technical Series No. 3, Bonn, Germany.

T-PVS/Inf. 2003. *Protecting birds from powerlines: a practical guide on the risks to birds from electricity transmission facilities and how to minimise any such adverse effects*. Rapport sammanställd av BirdLife International på uppdrag av Europarådet. Författare var Haas m.fl. Bernkonventionen Standing Committee fastställde 2004 *Recommendation No. 110 on minimising adverse effects of above ground power lines*. I 2002 fastställde The Convention on Migratory Species CMS (Bonnkonventionen)/COP 7 en resolution *No. 7.4 "Electrocution of Migratory Birds"* baserad på en sammanställning av Naturschutzbund Deutschland (NABU).

T-PVS/Inf. 2011. *Budapest Declaration on Bird Protection and Power Lines* fastställdes vid konferensen *Power lines and bird mortality in Europe* i Budapest 13 april 2011.

Scottish Heritage. 2016. *Assessment and mitigation of impacts of power lines and guyed meteorological masts on birds*.

Statens planverk. 1978. Kraftledningar i fysisk planering. Rapport 46. (Statens industriverk var medarbetare). Reviderades 1985 samt i rapport 27 från Statens energiverk. 1989. (Statens vattenfallsverk, Boverket, Statens naturvårdsverk, Statens energiverk var medarbetare).

Bilaga 1. Bedömd reduceringseffekt av kollisioner med fågelavvisare på kraftledningar för olika fågelarter med häckningsförekomst i Sverige. Listan omfattar inte samtliga bofasta arter utan enbart de som är listade i Liesenjothann m.fl. (2019). För att erhålla en bedömd reduceringseffekt fanns en viss grad av likhet med en eller flera referensarter, vilket redovisas i ovan nämnda referens.

Fågelgrupp	Artnamn	Referensart	Reduceringseffekt
Storkar och tranor	Vit stork	Vit stork	Hög
	Trana	Trana	Hög
Hägrar	Rördrom	Gråhäger	Måttlig
	Gråhäger	Gråhäger	Mycket hög
	Ägretthäger	Gråhäger	Mycket hög
Vadare	Strandskata	Tofsvipa	Måttlig
	Skärfläcka	Tofsvipa	Liten
	Ljungpipare	Tofsvipa	Hög
	Tofsvipa	Tofsvipa	Hög
	Större strandpipare	Tofsvipa	Måttlig
	Mindre strandpipare	Tofsvipa	Måttlig
	Svartbent strandpipare	Tofsvipa	Måttlig
	Fjällpipare	Tofsvipa	Måttlig
	Småspov	Tofsvipa	Måttlig
	Storspov	Tofsvipa	Måttlig
	Rödspov	Tofsvipa	Måttlig
	Myrspov	Tofsvipa	Måttlig
	Morkulla	Tofsvipa	Liten
	Dvärgbeckasin	Tofsvipa	Liten
	Dubbelbeckasin	Tofsvipa	Liten
	Enkelbeckasin	Tofsvipa	Måttlig
	Smalnäbbad simsnäppa	Tofsvipa	Måttlig
	Drillsnäppa	Tofsvipa	Liten
	Svartsnäppa	Tofsvipa	Måttlig
	Rödbena	Tofsvipa	Måttlig
	Gluttsnäppa	Tofsvipa	Hög
	Skogssnäppa	Tofsvipa	Måttlig
	Grönben	Tofsvipa	Måttlig
	Brushane	Tofsvipa	Hög
	Roskarl	Tofsvipa	Måttlig
	Myrsnäppa	Tofsvipa	Måttlig
	Mosnäppa	Tofsvipa	Liten
Skärsnäppa	Tofsvipa	Måttlig	
Kärrsnäppa	Tofsvipa	Måttlig	
Hönsfåglar	Vaktel	Stortrapp	Liten
	Rapphöna	Stortrapp	Måttlig
	Järpe	Stortrapp	Liten
	Dalripa	Stortrapp	Måttlig
	Tjäder	Stortrapp	Måttlig
	Orre	Stortrapp	Måttlig
Svanar	Knölsvan	Knölsvan	Mycket hög
	Sångsvan	Knölsvan	Mycket hög
Gäss	Vitkindad gås	Vitkindad gås	Mycket hög
	Sädgås	Grågås	Mycket hög
	Fjällgås	Vitkindad gås	Mycket hög
	Grågås	Grågås	Mycket hög
	Gravand	Vitkindad/Grågås	Hög
Simänder	Snatterand	Snatterand	Mycket hög
	Bläsand	Bläsand	Mycket hög
	Gräsand	Gräsand	Mycket hög
	Stjärtand	Snatterand	Mycket hög
	Kricka	Snatter/bläsand	Mycket hög

Fågelgrupp	Artnamn	Referensart	Reduceringseffekt
Simänder forts	Ärta	Snatter/bläsand	Hög
	Skedand	Snatterand	Mycket hög
Dykänder	Brunand	Snatterand	Mycket hög
	Bergand	Snatter/bläs/gräsand	Mycket hög
	Vigg	Snatterand	Mycket hög
	Ejder	Snatter/bläsand	Hög
	Alfågel	Snatter/bläsand	Hög
	Sjööorre	Snatterand	Hög
	Svärta	Snatterand	Hög
	Knipa	Gräsand	Hög
Doppingar	Smådopping	Snatterand	Hög
	Skäggdopping	Gräsand	Mycket hög
	Gråhakedopping	Snatterand	Hög
	Svarthakedopping	Snatter/bläsand	Hög
	Svarthalsad dopping	Snatterand	Hög
Storskarv	Storskarv	Storskarv	Mycket hög
Lommar	Storlom	Storskarv	Hög
	Smålom	Storskarv	Hög
Skrakar	Storskrake	Snatter/gräsand	Hög
	Småskrake	Gräsand	Mycket hög
	Salskrake	Snatterand	Hög
Rallar	Vattenrall	Tofsvipa	Hög
	Kornknarr	Tofsvipa	Måttlig
	Småfläckig sumphöna	Tofsvipa	Liten
	Rörhöna	Tofsvipa	Hög
	Sothöna	Tofsvipa	Hög
Måsfåglar och labbar	Kustlabb	Skrattmås	Liten
	Fjällabb	Skrattmås	Liten
	Tretåig mås	Skrattmås	Hög
	Dvärgmås	Skrattmås	Måttlig
	Skrattmås	Skrattmås	Hög
	Fiskmås	Skrattmås	Hög
	Havstrut	Skrattmås	Måttlig
	Gråtrut	Skrattmås	Måttlig
	Silltrut	Skrattmås	Måttlig
Tärnor	Småtärna	Skrattmås	Liten
	Skräntärna	Skrattmås	Liten
	Svarttärna	Skrattmås	Måttlig
	Kentsk tärna	Skrattmås	Måttlig
	Fisktärna	Skrattmås	Måttlig
	Silvertärna	Skrattmås	Måttlig
Duvor	Ringduva	Ringduva	Hög
Trastar och stare	Taltrast	Taltrast	Hög
	Stare	Stare	Mycket hög
Kråkfåglar	Kråka	Kråka	Mycket hög
	Korp	Kråka	Hög