

Kraftledninger og fugl

Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger

Kjetil Bevanger



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Norsk institutt for naturforskning

Kraftledninger og fugl

Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger

Kjetil Bevanger

Bevanger, K. 2011. Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. - NINA Rapport 674. 60 S.

Trondheim, februar 2011

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2258-7

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Kjetil Bevanger

KVALITETSSIKRET AV

Roel May

ANSVARLIG SIGNATUR

Signe Nybø

OPPDRAKSGIVER

Direktoratet for naturforvaltning

KONTAKTPERSONER HOS OPPDRAGSGIVER

Odd Kristian Selboe, Svein Grotli Skogen

FORSIDEBILDE

Død tiur, drept ved kollisjon mot 132 kV ledning. Foto: K. Bevanger

NØKKEWORD

Norge, fugler, kraftledninger, nett

KEY WORDS

Norway, birds, power lines, grid

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Polarmiljøsenteret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

Sammendrag

Bevanger, K. 2011. Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. - NINA Rapport 674. 60 s.

For å nå de overordnede klimapolitiske målsettinger i Europa, samt sikre forsyningen av elektrisitet i alle deler av landet, er det nødvendig med en omfattende utbygging og opprusting av kraftledningsnettet i Norge. For sentralnettet (300–420 kV) opererer Statnett med investeringer på i størrelsesorden 40 milliarder de neste 10 årene. Selv med en så vidt omfattende investering utgjør imidlertid antall km med nye høyspentledninger bare en liten del av det norske ledningsnettet. Av ca. 193 000 km utgjør distribusjonsnettet (opp til 24 kV) ca. 85 %. Foreliggende rapport diskuterer hvilke utfordringer som er knyttet til ulike deler av det norske kraftledningsnettet når det gjelder fugl. Alle luftledninger representerer en potensiell kollisjonsrisiko for fugl, med en kollisjonsrisiko som øker med antall luftledninger pr. arealenhet. Når det gjelder elektrokusjon utgjør ikke regional- og sentralnettet noen særlig fare for fugl, i og med stor avstand mellom de strømførende ledningene, mens problemet er markant for de mindre ledningene. Både kollisjonsrisiko mot luftledninger og elektrokusjonsrisiko er sterkt artsspesifikke problemer. I de senere år har flere undersøkelser gitt gode indikasjoner på hvilke arter og artsgrupper som er mest utsatt. Det mangler imidlertid fremdeles mye kunnskap, eksempelvis for å forstå hvorfor det skjer flere kollisjoner langs enkelte avsnitt av en kraftledning enn andre. Dette er kunnskap som er nødvendig for å kunne bidra til så miljøvennlige trasevalg som mulig når nye kraftledninger skal bygges. Det er også noe den nye energiloven poengterer og åpner opp for. Både når det gjelder opprusting av gamle systemer og nybygging, bør det i fremtiden i langt større grad benyttes jordkabel. Dette vil redusere omfanget av fugledød som følge av kollisjon og elektrokusjon betraktelig. Ut fra en kost/nytte-betraktning er det liten tvil om at det er mest å hente ved å redusere omfanget av distribusjonsnettet, dvs. legge dette i bakken.

Kjetil Bevanger, NINA, kjetil.bevanger@nina.no

Abstract

Bevanger, K. 2011. Power lines and birds. A summary of general and grid-specific issues. - NINA Report 674. 60 pp.

To achieve European-level policy goals on climate change challenges, as well as securing the electricity supply within Norway, it will be necessary to increase power-line construction efforts significantly, as well as to upgrade the existing grid. Statnett have estimated an approximately 40 billion NOK investment over the next 10 years will be required for the central grid. Although this is a huge investment, the length of the new transmission lines constructed will only comprise a small part of the Norwegian grid. Of approximately 193 000 km of overhead power lines in Norway the distribution grid (i.e. up to 24 kV) comprises 85%. In this report we discuss the ornithological challenges connected to the different elements of the Norwegian grid. All overhead wires pose a potential risk to flying birds; however, the risk increases with the number of lines and wire length per unit of land area. The central and regional grid, in general, represents no electrocution threat, as the distances between the phase conductors and/or the distance between a phase conductor and an earthed device is rather wide. Thus the electrocution problem is a distribution grid specific problem. Both the collision and the electrocution risk are highly species-specific problems. Over the last years several research projects have collected data enabling an identification of the bird species and bird species groups facing a particular risk. However, there is still a lack of knowledge in several respects, for example why the number of collisions is not evenly distributed along a power line section, but is frequently concentrated at a few spots. This type of knowledge is crucial to contribute to the selection of as environmentally friendly power line routing as possible when new power lines are constructed. This is also stressed in the new Energy Act of 2009. With respect to both upgrading, and to new power line constructions, underground cabling should be used to a much greater extent. This will significantly reduce the extent of bird mortality due to collision and electrocution. A cost-benefit evaluation indicates that underground cabling is the best method to reduce the extent of conflict.

Kjetil Bevanger, NINA, kjetil.bevanger@nina.no

Innhold

Sammendrag.....	3
Abstract.....	4
Innhold.....	5
Forord.....	6
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn.....	7
1.2 Generelle betraktninger i forhold til det norske ledningsnettet	7
1.3 Luftledninger - generelt om fugl og andre miljøutfordringer.....	10
1.4 Konflikter knyttet til ulike spenningskategorier	12
2 Elektrokusjon	13
2.1 Fuglearter som er sårbare for elektrokusjon	15
2.2 "Strakstiltak" for å hindre elektrokusjon	22
3 Kollisjon	23
3.1 Biologi	23
3.1.1 Arter involvert i kollisjonsulykker.....	24
3.1.2 Kollisjonsregulerende faktorer	25
3.1.2.1 Morfologi	25
3.1.2.2 Syn	26
3.1.2.3 Atferd	27
3.2 Topografi.....	28
3.3 Meteorologiske og geografiske faktorer	32
3.4 Kraftledningsdesign.....	34
3.5 Teknologiske løsninger for å redusere kollisjoner	38
3.5.1 Linefarging.....	38
3.5.2 Fysisk forstørrelse	40
3.5.3 Silhuetter og predatoretterligninger	42
3.5.4 Bruk av lys.....	42
3.5.5 Akustiske skremmemetoder	42
3.6 Vurdering av effekt.....	43
3.6.1 Avbøtende, kollisjonsreduserende tiltak oppsummert	44
4 Dødelighet og bestandsregulering.....	45
5 Arealendringer og arealbeslag	47
6 Jordkabling som alternativ	49
7 Referanser.....	52

Forord

For å kunne øke produksjonen av fornybar energi og bidra i forhold til de overordnede klimapolitiske målsettinger i Europa, samt sikre forsyningen av elektrisitet i alle deler av landet, er det nødvendig med en omfattende utbygging og opprusting av kraftledningsnettet i Norge. Vi står med andre ord foran en periode med store økonomiske investeringer i tilknytning til nybygging og oppgradering av kraftledningsnettet. Dette aktualiserer naturlig nok mange problemstillinger som gjelder forholdet mellom ulike utbyggingsløsninger og naturmiljøet. Det gjelder også kabling som alternativ til luftspenn, vurdert ut fra andre interesser enn det rent visuelle.

På denne bakgrunn drøftet NINA og DN høsten 2010 muligheten av å utarbeide en kortfattet kunnskapsoppsummering omkring emnet. Det ble spesielt understreket at miljøutfordringer knyttet til kraftledninger for ulike spenningsnivå, typisk 22, 66, 132 og 300/420 kV, skulle vektlegges så sant det er faglig grunnlag for dette. Målsettingen er å komme et skritt videre i diskusjonen rundt prioritering av ulike ledningstyper i forhold til forebyggende tiltak, inkludert kabling som erstatning for luftspenn. Utgangspunktet er at prioriteringen av hvilke avbøtende tiltak som gir størst nytte for fugl, i øyeblikket ikke bygger på noen klar forståelse av forskjellene mellom luftspenn av ulike dimensjoner.

Jeg vil takke Odd Kristian Selboe og Svein Grotli Skogen ved DN for godt samarbeid under utformingen av rapporten og for konstruktive innspill.

Trondheim mars 2011

Kjetil Bevanger

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Mange fuglearter er i dag utsatt for menneskeskapte trusler i nær sagt alle faser av sin livssyklus, enten de er stasjonære eller trekkende, og det blir stadig vanskeligere å forutsi effekter av dødelighetsfaktorer, hver for seg eller samlet, på enkeltbestander. I og med at det til syvende og sist er den samlede (kumulative) effekten av enkeltinngrep som bestemmer bestandsutviklingen hos en art, er det viktig å få et så reelt bilde som mulig av de enkelte dødelighetsfaktorene. Det er imidlertid generelt vanskelig å forutsi de langsiktige, bestandsmessige konsekvensene av menneskeskapt dødelighet, som selvsagt alltid er å betrakte som et tillegg til en arts naturlige dødelighet.

Dette betyr at det er av interesse å få kartlagt omfanget av dødelighet som skyldes forhold som tidligere var forholdsvis upåaktet, og som nærmest var å betrakte som "kuriosa". Går vi 30-40 år tilbake var dødelighet hos fugl som følge av kollisjon med luftledninger eller elektrokusjon et slikt kuriosum. Nå vet vi at omfanget av dødelighet som skyldes kraftledninger noen steder, og for enkelte arter, er av et slikt omfang at problemet må tas på alvor. På mange måter er den perioden forbi da det viktigste var å få dokumentert at fugler ble drept. Arbeidet med problematikken har gått over i en fase med hovedfokus på tiltak, selv om det fremdeles gjenstår mye i forhold til å forstå hvorfor eksempelvis enkelte steder opplever en overhyppighet når det gjelder kollisjoner. Uten at slike fenomen er gitt en forklaring, er det også vanskelig å sette inn effektive tiltak. Manglene til tross, den eksisterende kunnskapen er likevel så stor at det er mulig å vurdere kostnadseffektive tiltak som reduserer dødeligheten hos fugl.

1.2 Generelle betraktninger i forhold til det norske ledningsnett

Det norske kraftledningsnett består av luftledninger, jord- og sjøkabler, og det er vanlig å dele hele forsyningssystemet inn i distribusjonsnett, regionalnett og sentralnett. Transport av elektrisitet trenger ulike støttestrukturer avhengig av hvilken spenning strømmen har. Jo høyere spenning, jo høyere vil mastene være og jo bredere vil sikkerhetssonen til sidene for kraftledningene være (**Figur 1**). Totalt sett er det arealet som båndlegges gjennom eksempelvis byggeforbudsso- ne på grunn av kraftledningene stort også i Norge, og avhengig av hvordan en regner vil det dreie seg om mellom 1500 og 2000 km².

Sentralnettet er selve hovedpulsåren i energidistribusjonen, og består av overføringsledninger opp til 420 kV, men ledninger ned til spenningsnivå på 132 kV hører også inn under denne nettkategorien. Sentralnettet er hovedansvaret til Statnett, og utgjør knapt 10 700 km luftledninger, og er slik sett bare en liten del av den totale mengden av kraftledningsspenn i Norge (**Tabell 1**).

Regionalnettet, eller hovedfordelingsnettet som det også ofte kalles, har funksjon for større områder, eksempelvis deler av ett eller flere fylker. De regionale nettene representerer bindeledd mellom sentralnett og distribusjonsnett. Kraftintensiv industri, og de fleste produksjonsselskape- ne, er knyttet både til regionalnettene og sentralnettet. I overgangen fra sentralnettet til regional- nettet transformeres spenningen vanligvis ned til 132 eller 66 kV, men regionalnettet kan omfatte ledninger med spenningskategorier fra 33 til 145 kV (jfr. **Tabell 1**). Statnett er også inne på eier- siden i regionalnettet, men hoveddelen eies av offentlig/kommunalt eide nettselskap, og er å reg- ne som "fylkesveiene" innen kraftforsyningen. Regionalnettenes oppgave er å føre energien fra sentralnettet til distribusjonsnettene. I alt utgjør regionalnettene vel 17 200 km med luftledninger.

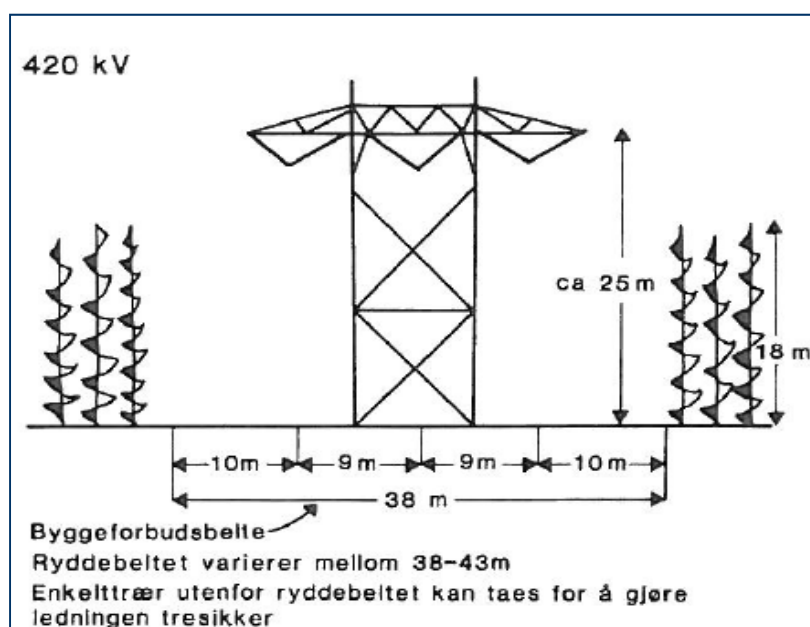
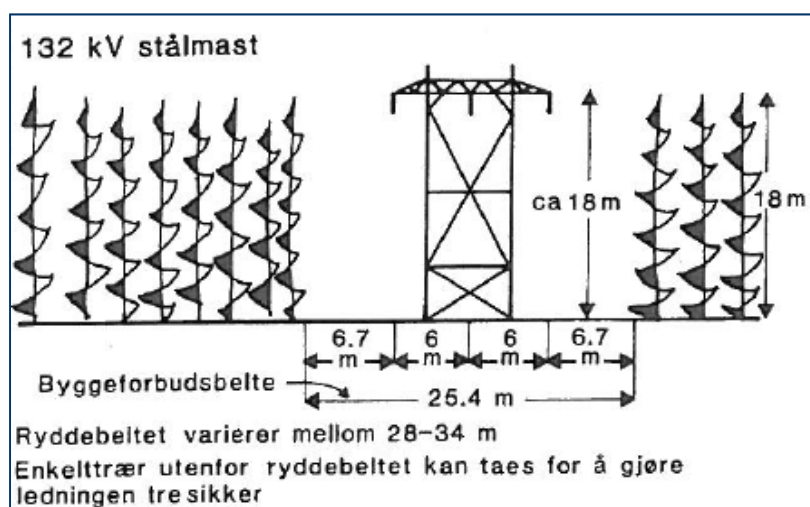
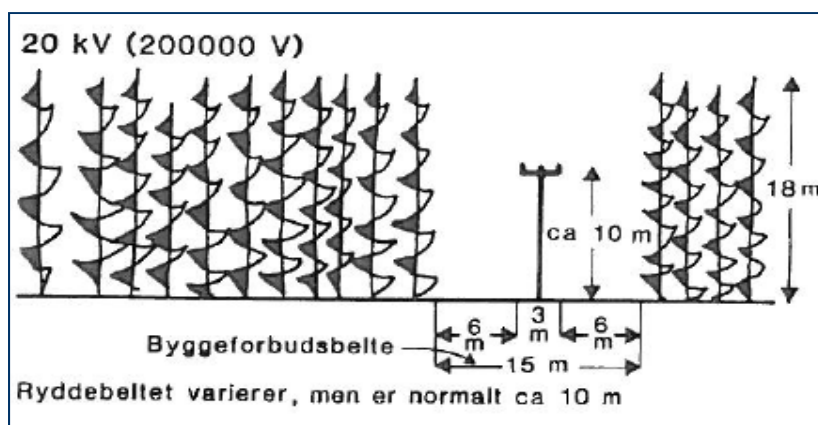
Distribusjonsnettene, eller fordelingsnettene, utgjør den desidert største del av det norske kraft- forsyningsnett, med i alt over 165 800 km luftledninger, dvs. ca. 85 % av hele det norske luft- ledningsnett. Det er her verdt å merke seg at det i tillegg også er over 130 000 km med jordka- bel innen dette nettet, en andel som stadig vokser. Det er dette nettet som sørger for at kraften kommer frem til den enkelte forbruker. Som det går frem at **Tabell 1** omfatter dette nettet spen- ningsstyrker fra 0,2 til 24 kV, dvs. at det også omfatter høyspentnettets laveste kategori i tillegg til

lavspenningforsyningen (230-400 V). Fra regionalnettene transformeres spenningen med andre ord ned til et nivå som er egnet for det daglige "konsum" for den enkelte av oss. En rekke transformatorer er spredt rundt i distribusjonsnettet og transformerer spenningen fra det laveste høyspenningnivået (vanligvis 22 kV) til 230 eller 400 V.

For å bygge og drive et distribusjonsnett, kreves som regel en områdekonsesjon i henhold til energiloven. Norge er delt inn i geografiske områder, der et nettselskap har fått tillatelse til å bygge og drive et elektrisk fordelingsnett med spenning opp til og med 22 kV. Eksempelvis kan et slikt geografiske område være en kommune. I noen byer er områdekonsesjonen utvidet til å omfatte kabelanlegg med spenning opp til 132 kV, dvs. at dette kan gjøres uten at den enkelte sak behøves lagt fram for NVE. Det er da en forutsetning at nettselskapet selv legger fram tiltaket for de berørte interessenter, slik som grunneiere, kommuner og fylkesmenn. Ved vesentlige innvendinger mot tiltaket skal imidlertid saken fremlegges for NVE. For å bygge og drive et regionalnett, kreves det som regel en anleggskonsesjon i henhold til energiloven, slik som for bygging av sentralnett.

Kraftledningsnettet er i stadig og kraftig ekspansjon over hele verden, og i enkelte områder er tettheten av luftledninger pr. arealenhet svært høy. I Norge var det totale antall km kraftledninger ved utgangen av 2008 i følge Statistisk Sentralbyrå (2008) 193 656 km (**Tabell 1**). Sannsynligvis kommer dette tallet til å synke i årene som kommer, til tross for betydelig vekst i sentralnettet. I Ot. prp. nr. 62 (2008–2009) *Om lov om endringer i energiloven* (behandlet av Stortinget våren 2009) er dette temaet viet betydelig oppmerksomhet, og det understrekes at "i tillegg til alternative trasévalg, er kamuflasjetiltak, tiltak av hensyn til fugl, og kabling sentrale tema innen avbøtende tiltak. [...] Bruk av kabel som alternativ til luftledning skal alltid vurderes når nye kraftledninger på alle spenningsnivåer skal bygges. Særlig kan jordkabel være et godt tiltak i distribusjonsnettet. For 22 kV er nedgraving av kabel et langt mindre naturinngrep enn på høyere spenningsnivå. Slike kraftledninger går tett på der folk bor og ekstrakostnadene sammenliknet med luftledning er moderate. Mens kabling av 60 kilometer kraftledning med 22 kV spenning vil kunne gjøre over 600 master overflødig, vil en tilsvarende sum brukt til å kable sentralnett med 420 kV spenning kun rekke til en kilometer og gjøre to til tre master overflødige. [...] Områdekonsesjonærer vil i egen veiledning fra NVE med kopi til kommunene bli oppfordret til som hovedregel å benytte jordkabel på overføringsforbindelser inntil 22kV der naturgitte forhold tilsier at dette gir moderate naturinngrep og ekstrakostnader. Dette vil bli lagt inn som vilkår i nye og fornyede områdekonsesjoner. Kommunene oppfordres til å gå i dialog med nettselskapene om hvor kabling bør prioriteres innenfor områdekonsesjonene. [...] Kabling skal også alltid vurderes når nye kraftledninger i regional- og sentralnettet skal bygges, men bruken skal være gradvis mer restriktiv med økende spenningsnivå. Jord- eller sjøkabel er mest aktuelt på begrensede strekninger med betydelige verneinteresser eller store estetiske ulemper på 66kV og 132kV, men kan også være aktuelt på strekninger der det gir særlige miljøgevinster på 300kV og 420kV."

Dette innebærer at en ved aktiv bruk av kabling i distribusjonsnettet vil kunne oppleve redusert belastning på fugl selv ved restriktiv bruk av kabling i regional- og sentralnett. Som en målestokk for de tiltakene dette vil kreve i distribusjonsnettet, kan en sette Statnetts (2010) forventede ombygginger og nybygginger i sentralnettet for 10-årsperioden 2010–2020 på i størrelsesorden 3 500 km, med kostnader i størrelsesorden 40 milliarder kroner.



Figur 1. Transport av elektrisitet trenger ulike støttestrukturer avhengig av hvilken spenning strømmen har. Jo høyere spenning, jo høyere master og bredere sikkerhetssone også til sidene for kraftledningene (etter Bevanger & Thingstad 1988).

Tabell 1. Liner (2008) ved slutten av året, etter type line og systemspenning. Km¹ (<http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elektrisitetaar/tab-2010-05-26-05.html>).

	I alt	Luftledninger	Jordkabler	Sjøkabler
I alt	331 017	193 656	135 007	2 354
Distribusjonsnett	301 579	165 789	133 812	1 978
0,2 - 0,4 KV ²	201 693	102 847	98 611	235
0,5 - 1,0 KV	2 601	2 026	464	111
3,3 og 6,6 KV	620	314	195	111
11, 22 og 24 KV	96 665	60 602	34 542	1 521
Regionalnett	18 638	17 182	1 147	309
33, 47 og 66 KV	10 957	9 807	954	196
110, 132 og 145 KV	7 681	7 375	193	113
Sentralnett	10 800	10 685	48	67
132 og 145 KV	2 933	2 901	3	29
220 og 300 KV	5 404	5 337	45	22
420 KV	2 463	2 447	-	16

¹Lengden er gitt pr. kurs

²Inkludert gate- og veglys

1.3 Luftledninger - generelt om fugl og andre miljøutfordringer

Død fugl i tilknytning til kraft- og telegrafledninger er beskrevet for godt over 100 år siden (se Coues 1876, Grotli 1922, Michener 1928), dvs. helt siden telegraf, telefon og elektrisk strøm ble tatt i bruk. Dette er i og for seg i tråd med dagens erkjennelse, nemlig at i et område hvor det både er luftledninger og fugl, vil det alltid være en viss sannsynlighet for at fugler drepes. Mengden av så vel kraft- som telefonledninger økte dramatisk etter den industrielle revolusjon, en utvikling som har fortsatt bortsett fra at telegraf- og telefonledninger i de fleste land har blitt overflødiggjort av trådløs teknologi. Dessverre tok det lang tid før mange av de telefonledningene som ble overflødiggjort ble tatt ned, og fremdeles står noen av disse igjen. På forespørsel fra Direktoratet for naturforvaltning i januar 2011, svarte Telenor følgende i forhold til situasjonen for telefonlinjer:

"De linjene som vi vet har tatt en del fugl gjennom tidene i visse områder, er de gamle blanktrådd-linjene. Det var særlig i de nordlige og/eller høytliggende områdene at ryer fløy på disse i svakt lys. I visse områder på 50- og 60-tallet plukket lokalbefolkningen nyfalte ryer tidlig på morgenen, langs visse kurser med mye blanktråd. Videre vet vi at i spesielle områder med luftlinjer lavt langs slake ller, kunne det fly på skogsfugl som slapp seg ned i terrenget sent på ettermiddagen. Med innføring av tykk og svart, godt synlig kabel og dermed også mindre omfang av ledninger, kjenner vi ikke til merkbare fugletap. I dag er det nok reingjerdene og andre nettinggjerd i høytliggende områder som tar mest fugl på denne utilsiktede måten. Vi fører ikke kartotek, verken fysisk eller elektronisk over de linjene som tas bort. De fjernes fra vårt dokumentasjonssystem når de er re-vet. Sist på 1990-tallet og først på 2000-tallet fjernet vi utrangerte luftlinjer for mange millioner kroner. Størst innsats på området var da i de tre nordligste fylkene der omlegginger og fraflytting medførte en del utfasing. I dag er behovet for riving langt mindre. Det finnes nesten ikke blank-tråddlinjer igjen i Telenors nett. De få som eksisterer, faser vi ut straks anledningen byr seg."

En rekke miljørelaterte problemstillinger er knyttet til selve kraftledningsstrukturene og de areale- ne/habitatene de krysser over. Ikke minst er spørsmål om hvorvidt tilleggsdødelighet hos en be- stemt fugleart som følge av kollisjoner mot kraftledninger kan virke negativt på bestandsutvikling- en viktig. Andre biologiske og økologiske aspekter er bl.a. knyttet til fare for spredning av botulis- me på grunn av fuglekadavre som råtner under kraftledninger (Malcolm 1982, Eklund & Dowell 1987). Stor dødelighet av fugl i bestemte områder vil også kunne bidra til å opprettholde en kuns-

tig stor bestand av åtseletere og rovdyr (Bevanger m.fl. 1994, 1999). På samme måte som næringssubsidier i form av avfall fra hyttebebyggelse og veier i fjellområdene kan bidra til å opprettholde en kunstig stor bestand av rødrev og andre generalister, kan også kraftledninger gjøre det. Fugler som drepes ved at de flyr på kraftledninger er god revemat, og rødreven lærer raskt at ved å patruljere langs kraftledningene så finner den til livets opphold. Kraftledninger vil på denne måten virke som korridorer for reven – fra lavlandet til høyfjellet. Dette kan i sin tur påvirke økosystemene gjennom endret faunasammensetning. Det er eksempelvis antatt at rødrev bidrar til å utkonurrere fjellrev, som er en kritisk truet dyreart i Norge (Kålås m.fl. 2010).

Strømbrudd på grunn av at fugl enten kolliderer med kraftledninger eller forårsaker kort- eller jordslutning (elektrokusjon), kan ha betydelige økonomiske konsekvenser i forhold til økende krav om stabil strømforsyning (Bevanger 1994a). Et annet aspekt av økonomisk betydning er at hakkespetter årlig ødelegger kraftledningsstolper av tre for store summer (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1995a, 1997). Nedsatt jaktutbytte og forringelse av jaktområders utleieverdi som følge av kryssende kraftledninger skaper også økonomiske problemstillinger. Dette er spørsmål som har vært gjenstand for rettssaker både i Amerika og Europa, særlig i forhold til våtmarksfugl (Hobbs 1987). I Norge er tilsvarende spørsmål brakt inn for domstolene på grunn av hønsefugl (jfr. Nordmøre herredsrett 1988, Frostating lagmannsrett 1989).

De etiske aspektene er, ved siden av at mange reagerer følelsesmessig på at fugl lemlestes og drepes på grunn av luftledninger, knyttet til sårbare og truede arter (Bevanger 1993a, 1998). Spørsmål knyttet til bevaring av biologisk mangfold inneholder elementer så vel av økonomisk som etisk karakter. **Tabell 2** gir en enkel oppsummering av miljørelaterte tema knyttet til ulike kraftledningskategorier, med indikasjon av ulike nettspesifikke konfliktnivå. Det må imidlertid understrekes at disse vurderingene vil kunne fremstå helt forskjellig hvis en legger inn de kvantitative komponentene, dvs. hva distribusjons-, regional- og sentralnett representerer i forhold til antall km pr. arealenhet (jfr. 1.4).

Tabell 2. Vanlige, miljørelaterte tema knyttet til ulike kraftledningskategorier, med indikasjon av ulike nettspesifikke konfliktnivå (H=høy, M=middels, L=lav).

Innflytelse	220 V-24 kV	66 -132 kV	220-420 kV
Fugledød - kollisjon	H	H	H
Fugledød - elektrokusjon	H	L	L
Bestandsreduksjon av rødlistede og jaktbare arter	M	M	M
Strømbrudd	H	M	L
Spredning av botulisme	L	L	L
Spredning av generalistarter/økte bestander av åtseletere	M	M	M
Unnvikelseeffekter	M	M	M
Barriereeffekter	M	M	M
Fortrenging/forstyrrelse av fugl/pattedyr (anleggsfase/vedlikehold)	M	M	M
Tap av leveområder (nedbygging/habitatendringer)	M	M	M
Fragmentering (oppstyking av leveområder)	H	H	H
Stråling	L	M	H
Visuell "forurensing"	M	M	H

Problematikken fugl-kraftledninger fikk økt oppmerksomhet i Norge i løpet av 1980- årene, og ulike initiativ ble tatt i denne sammenheng både fra energi- og miljøforvaltningen (se for eksempel

Hillestad m.fl. 1981, Ålbu 1983, Bevanger 1988, Bevanger & Thingstad 1988, Forprosjektet kraftledninger og fugl 1988). Utover 1990-tallet ble det også lagt frem en del grunnleggende forskningsresultater fra norske forhold (Bevanger 1990, 1993, 1994a, b, 1995, 1998, 1999, Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Overskaug 1998, Bevanger & Brøseth 2001, 2004). Etter dette skjedde lite før opprettelsen av CEDREN i 2009, da et av prosjektene her (OPTIPOL) viet problematikken ny oppmerksomhet (Bevanger m.fl. 2009, 2010).

Det viktigste fremskrittet gjennom forskningen som fant sted på 1990-tallet er erkjennelsen av at problemer knyttet til kraftledninger og fugl er sterkt arts-, steds- og årstidsspesifikke. Å spørre om hva som kan gjøres "for å løse problemet kraftledninger og fugl" er følgelig en lite hensiktsmessig spørsmålsstilling. Blant verdens over 9000 fuglearter finnes knapt to fuglearter som kan rangeres likt i forhold til kollisjonsutsatthet ettersom morfologi, fysiologi, aerodynamiske ferdigheter og generell adferd er sterkt varierende arter imellom. For å forstå hvorfor luftledninger, vindturbiner og andre menneskeskapte strukturer kan medføre problemer for fugler, er det viktig å huske at enhver art er fange av en evolusjonær fortid. I dette ligger blant annet at det er begrensninger for hvordan enkeltindivider klarer å tilpasse seg nye miljøbetingelser. Naturen kan selv være voldsom når det gjelder å endre miljø, men det er tross alt mennesket som i stadig økende grad opptre som modifierende faktor i forhold til omgivelsene. Kraftledninger og andre tekniske installasjoner som er knyttet til den kraftforsyning et moderne samfunn er avhengig av, er i løpet av de siste 100 år blitt en del av miljøet i de fleste naturtyper. Disse konstruksjonene har ingen fugleart gjennom noen form for evolusjon og seleksjon blitt programmert til å unngå eller omgås på en måte som utelukker konflikter. I årenes løp har millioner av fugler blitt drept - ikke bare mot luftledninger, men mot barduner i TV- og radiomaster, gjerder, vinduer, vindturbiner, oljeinstallasjoner, fyrlykter, biler, tog osv. (se for eksempel Avery 1979, Trapp 1998, Bevanger 1994a, Hebert m.fl. 1995, Lehman m.fl. 2007, Drewitt & Langston 2008, Klem 2009).

1.4 Konflikter knyttet til ulike spenningskategorier

Kraftledningsstrukturenes design varierer mye – det være seg selve støttekonstruksjonene, dvs. mastene eller linene. Generelt gjelder at strukturenes størrelse øker med spenningsnivået, dvs. at støttekonstruksjonene både blir høyere og mer ruvende, samtidig som luftlinene, dvs. faselederne og jordlinene, blir tykkere. Både sentral-, regional- og distribusjonsnett representerer en fare for at fugler skal kollidere med ledningene, selv om en generelt må gå ut fra at linene på de høyere spenningsnivåene (regional- og sentralnett) er mer synlige, også for fugl. Det regional- og sentralnett derimot ikke representerer noen fare for, er elektrokusjon av fugl. Til det er avstandene mellom faselederne og til de jordede komponentene generelt for store. Unntaksvis kan det imidlertid forekomme at tette flokker av fugl kan føre til strømgjennomgang ved at strømmen går gjennom mange individer. Det kan også skje ved at fugler sitter på en høyspentmast og sender en stråle med ekskrementer ned på en faseleder. Strømmen vil da kunne passere gjennom strålen av ekskrementer opp til fuglen slik at den dør av strømslag.

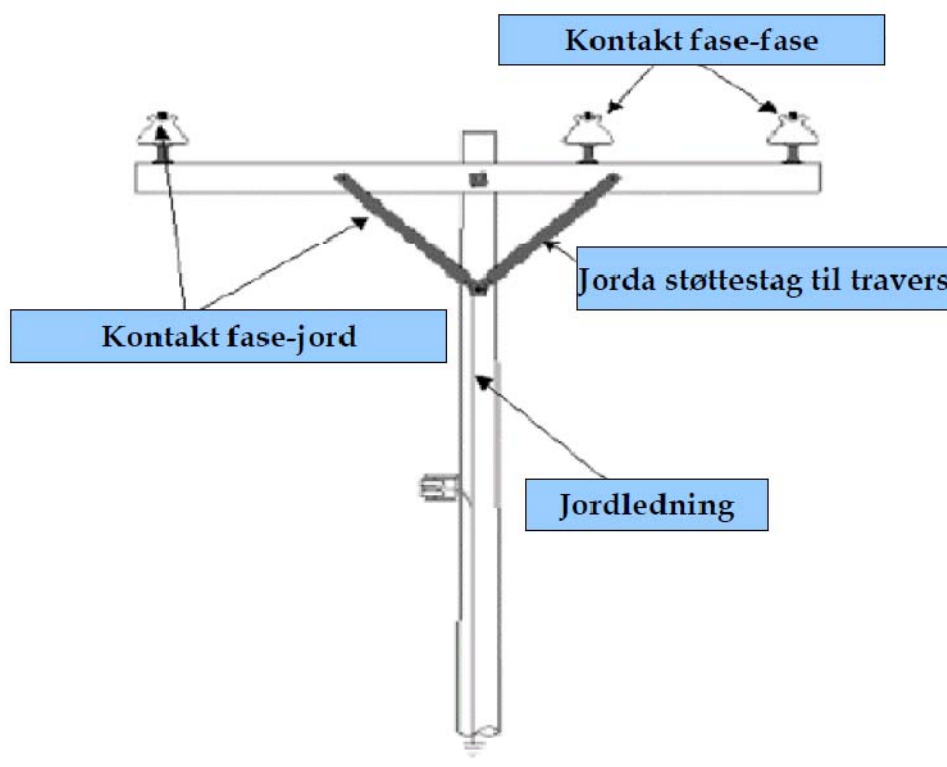
Det vil være ønskelig med en nærmere vurdering av hvilke spenningsspesifikke konflikter som er knyttet til ulike kraftledningskategorier, dvs. fra distribusjonsnett til sentralnett. Dette vil imidlertid være et omfattende arbeid som vil kreve diskusjoner omkring hva som er mest hensiktsmessig for å synliggjøre kost/nytteeffekter av tiltak på de ulike nettkategoriene. For å få sammenlignbare mål på hvilke investeringer som er mest lønnsomme, kan en tenke seg sammenligninger som tar utgangspunkt i nytteverdi pr. lengdeenhet luftledning eller jordkabel, eller mengde energi transportert. Tilsvarende tilnærming kan også benyttes for å sammenligne nytteeffekter av avbøtende tiltak som merking av luftliner eller kostnader knyttet til forlengelse av ledninger ved omlegging av ledningstraseer. Antall luftledninger pr. arealenhet er også en viktig del av denne diskusjonen, og det er i andre land vist at for en del fuglearter synes det å være mulig å identifisere terskelverdier for hva de kan tåle av antall km luftledninger pr. arealenhet før det utgjør en påviselig fare for bestandene.

Et viktig delprosjekt i OPTIPOL tar opp deler av disse spørsmålene i sammenheng med utvikling av en "least-cost path" (LCP) GIS-basert applikasjon for et miljøvennlig trasévalg av kraftledning-

er basert på økologiske, tekniske og økonomiske kriterier. En pilotversjon av en "LCP-GIS-toolbox" er utviklet og vil bli videreutviklet i 2011. Hovedfokus vil være rettet mot å identifisere tema og parametre, samt forberede disse for en geodatabase. Det vil bli nedsatt en ekspertgruppe som gjennom arbeidsmøter skal komme frem til omforente verdikriterier, og hvordan disse skal vektlegges.

2 Elektrokusjon

Elektrokusjon innebærer at en fugl samtidig kommer i berøring med to strømførende ledninger eller en strømførende ledning og en jordet del av et elektrisk anlegg. Det betyr at avstanden mellom faseledere og/eller faseleder må være forholdsvis liten (**Figur 2**). Elektrokusjon og kollisjon er følgelig to høyst forskjellige fenomener, både med hensyn til hvilke fuglearter som rammes og hvordan slike ulykker kan forklares. Det er imidlertid ikke uvanlig at disse begrepene blandes sammen.



Figur 2. Skisse som viser hvor elektrokusjonsulykker kan oppstå i tilknytning til eksempelvis en stolpe med piggisolatorer.

Problemet elektrokusjon ble underkastet systematisk analyse flere år før kollisjoner mot kraftledninger ble seriøst fokusert, trolig på grunn av at elektrokusjonsproblematikken har innebygget betydelige økonomiske aspekter. Elektrokusjon av fugl medfører ofte korte strømbrydd, som selv om det knapt er synlig for det menneskelige øye, kan føre til alvorlige konsekvenser, ikke minst for følsomt elektronisk utstyr (Bevanger 1994a). Alt i alt er eksisterende kunnskap om hvilke tekniske konstruksjoner som oftest er involvert når elektrokusjonsulykker skjer, betydelig, og forutsigbarheten i forhold til slike ulykker er også forholdsvis høy. Imidlertid er det langt igjen før en på tiltakssiden kan si seg fornøyd.

På tross av at forskere i flere europeiske land var blant de første til å fokusere problemet (Riegel & Winkel 1971, Haas 1980), gjorde den omfattende oppmerksomheten spørsmålet fikk i USA tid-

lig på 1970-tallet, med særlig fokus på miljøtilpasset utforming av støttekonstruksjonene, Nord-Amerika til et senter for forskning på fugl og elektrokusjon (Boecker & Nickerson 1975, Miller m.fl. 1975, Olendorff m.fl. 1981, 1986, Benson 1981, 1982). Aktivitetene i USA har vært koordinert av APLIC (*Avian Power Line Interaction Committee*) (jfr. APLIC 2006), som ble etablert på slutten av 1980-tallet. Imidlertid har også den forskningen som er gjort i Sør-Afrika (Ledger & Annegarn 1981, Ledger 1984) og mange europeiske land (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1994a, 1998, Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995, Bevanger & Overskaug 1998, Rubolini m.fl. 2001, Haas 2008) så vel som Israel (Leshem 1985) og India (Sundar & Choudhury 2005) hatt stor betydning for forståelse og problemløsning av elektrokusjonsproblematikken.

På tross av at det altså finnes mye litteratur omkring elektrokusjonsproblematikken, konkluderer en nylig utgitt revyartikkel skrevet av Lehman m.fl. (2007) (**Tabell 3**) med at "...with a few notable exceptions, we cannot say with certainty that the incidence of electrocutions has fallen since mitigation programs began in the 1970s. Reliable estimates of electrocution mortality, including numbers of birds killed and rate estimates for different habitats and pole designs, are unavailable for most areas of the world."

Tabell 3. Faktorer som bidrar til elektrokusjonsrisiko hos rovfugl og utvalgte studier som inneholder underbyggende data (etter Lehman m.fl. 2007).

Source	Pole design	Topography	Habitat	Prey	Season	Weather	Age	Gender	Size	Human dist. ^a	Behavior ^b
Benson (1981)	x	x	x	x	x	x	x		x	x	s, w
Ledger and Annegarn (1981)	x	x	x			x			x		r
Ledger (1984)	x						x		x		r
O'Neil (1988)	x	x	x								
Ferrer et al. (1991)	x		x		x	x					
Ferrer and Hiraldo (1992)							x	x	x		p
Garrett (1993)	x			x							s
Lawson and Wyndham (1993)	x										s
Dawson and Mannan (1994)					x		x	x		x	s
Bevanger and Overskaug (1998)					x		x	x	x		
Janss and Ferrer (1999a)	x		x				x	x	x		
van Rooyen and Ledger (1999)	x										r, p
Janss (2000)									x		p
Harness and Wilson (2001)	x			x	x		x		x		
Janss and Ferrer (2001)	x		x				x				
Mañosa (2001)	x	x	x								
Real et al. (2001)			x						x		
Rubolini et al. (2001)				x			x		x	x	
Marchesi et al. (2002)										x	
Olson (2002)	x						x		x		
Schomburg (2003)	x	x	x				x	x	x		s
Krüger et al. (2004)	x										s, r, p, w
Sergio et al. (2004)	x	x	x		x		x		x	x	
Cartron et al. (2005)	x			x	x				x	x	r

a Human disturbance.

b Behaviors that contribute to electrocution risk: perching (p) and roosting (r) on electric power structures, s = social interactions, and w = wingspreading (to dry wet feathers).

Blant annet på bakgrunn av dette tok NINA i 2008 initiativ til en prosjektsøknad (OPTIPOL - *Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives*) til NFR der dette problemet var en integrert del av et større forskningsprosjekt med fokus på miljøeffekter av kraftledninger; et prosjekt som i 2009 ble en integrert del av CEDREN (*Centre for Environmental Design of Renewable Energy*). Da elektrokusjonsproblematikken i OPTIPOL primært baserer seg på "desk"-studier, ble det i 2010 sendt en ny søknad til NFR (GREMLIN - *Grid retrofitting to mitigate lethal bird electrocution in Norway*) der målet var å samle inn nye, feltbaserte data fra utvalgte og representative områder knyttet til det norske ledningsnettet. Dessverre ble denne søknaden avslått.

2.1 Fuglearter som er sårbare for elektrokusjon

Årsaken til at elektrokusjonsproblematikken har vært et tema i over 40 år skyldes at så mange rovfugler og rødlistede fuglearter rammes. I fuktig vær, og særlig når det regner, øker elektrokusjonsfaren vesentlig fordi våt fjærdrakt leder strøm mye bedre enn tørr. Morfologi i kombinasjon med bestemte atferdstrekk, gir svar på hvorvidt en art er et potensielt elektrokusjonsoffer. Vingespenn, fotlengde og kroppsstørrelse, vil være bestemmende for om en elektrisk konstruksjon skal fremstå som en elektrokusjonsfelle for en fugl. Arter som i tillegg gjerne vagler seg høyt og foretrekker oppstikkende strukturer i terrenget som utkikksposter, vil være å betrakte som høyrisikoarter. I de fleste tilfellene drepes fuglene gjennom omfattende forbrenninger (**Figur 3**). De topografiske særtrekkene er viktig å ta i betraktning hvis potensielle høyrisiko-områder for elektrokusjon skal kunne identifiseres. For en del fuglearter er bruk av oppstikkende strukturer som kan tjene som utkikksposter en del av deres jaktstrategi. I flatt landskap med få trær eller andre forhøyninger, blir det vanskelig å speide etter byttedyr slik at kraftledningsstolper og luftliner blir attraktive sitteplasser for rovfugl, ugler, kråkefugl og andre arter som er avhengige av å ha god oversikt over terrenget.

På grunn av at fugler er relativt små skapninger, vil elektrokusjonsfaren primært være knyttet til kraftforsyningsstrukturer med spenninger under ca. 132 kV. Det betyr også at arter under kråkestørrelse har forholdsvis liten sjanse for å bli et elektrokusjonsoffer (Bevanger 1993a). Et spørreskjema sendt alle norske energiverk (Bevanger & Thingstad 1988) viste forøvrig at stolpemonterte transformatorer var den konstruksjon som energiverkene erfaringsmessig mente var mest utsatt for elektrokusjonsulykker.



Figur 3. Klassiske elektrokusjonsskader hos rovfugl; føtter kan brennes helt av, vingeknoker får brannsår eller det meste av fjærdrakten blir svidd av. Etter Dwyer (2004). Photos: James Dwyer.

Data innsamlet fra bl.a. Tyskland, Sveits, Spania, Sverige og Norge bekrefter at det er mellomstore rovfugler og ugler (men også kråke- og måkefugler) som figurerer blant ofrene, sammen med større fugler som stork, havørn, kongeørn og hubro (Fiedler & Wissner 1980, Haas 1980, Stolt m.fl. 1986, Larsen & Stensrud 1988, Grischtschenko & Gaber 1990, Bevanger 1994b, 1998, Bevanger & Overskaug 1998, Bevanger m.fl. 2009) (**Tabell 4**). I forhold til stork og hubro er det indikasjoner på at dødeligheten er så stor at det kan ha en populasjonsregulerende effekt (Bevanger 1998).

Tabell 4. Fuglegrupper representert blant elektrokusjonsofre i en tysk undersøkelse (etter Haas 1980).

Order	Family	No. of genera	No. of species	No. of individuals
Ciconiiformes	Ciconiidae (storks)	1	2	14
Falconiformes	Accipitridae (hawks, vultures, eagles)	9	13	430
	Falconidae (falcons and allies)	1	1	88
Charadriiformes	Laridae (gulls)	1	1	1
Columbiformes	Columbidae (pigeons)	1	3	12
Strigiformes	Tytonidae (barn owls and allies)	1	1	14
	Strigidae (typical owls)	3	3	54
Passeriformes	Turdidae (chats, thrushes)	2	4	15
	Sturnidae (starlings)	1	1	18
	Lanidae (shrikes)	1	1	1
	Corvidae (crows and allies)	2	4	382

Dødelighet hos ørn grunnet elektrokusjon har vært et tema i flere land. Et treårig prosjekt som omfattet flere stater i USA registrerte 416 døde kongeørner (Benson 1981), og sammen med andre studier i USA har elektrokusjon blitt identifisert som en av de aller viktigste dødsårsakene hos denne

arten. I Sør-Afrika ble flere hundre individer av den sårbare og endemiske kappgribben funnet drept pga. elektrokusjon (Markus 1972, Ledger & Annegarn 1981). Et stort antall av den egyptiske gribben, som er regnet som en truet art i Sør-Afrika, ble funnet drept i Sudan (Nikolaus 1984). Også fra Spania og andre deler av Sør-Europa er det kommet meldinger om funn av døde ørner, og særlig har det vært stor bekymring knyttet til keiserørn (Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995).

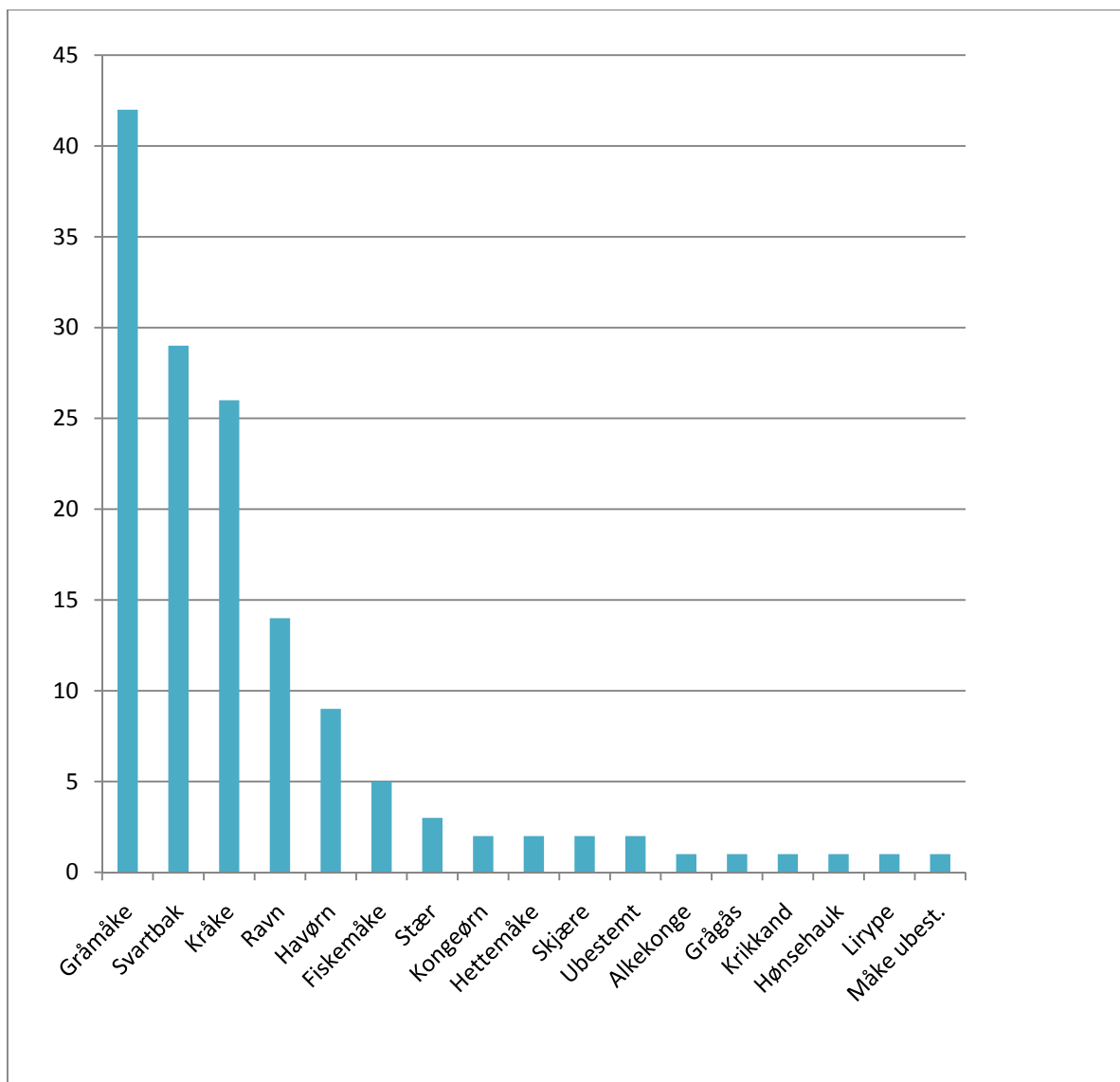
Studier i Nord-Norge i tilknytning til OPTIPOL, har bekreftet at hubro er en art som hyppig blir drept pga. elektrokusjon (Bevanger m.fl. 2009, 2010a) (**Figur 4**). Også i Sør-Norge er elektrokusjon fastslått å være en regelmessig dødsårsak hos hubro (Oddane & Undheim 2007, Oddane m.fl. 2008). Den norske hubrobestanden har vært synkende i flere år, og antall hekkende par er estimert til 408-658 (Jacobsen m.fl. 2008), men en større nasjonal registrering i 2008 bekreftet hekking i kun 59 territorier mens det var fugler til stede i 271 (Øien m.fl. 2009). Arten er kategorisert som truet (EN) på den norske rødlista (Kålås m.fl. 2010). Basert på innspill fra NINA lanserte forvaltningsmyndighetene en nasjonal forvaltningsplan for arten i 2009 (Direktoratet for naturforvaltning 2009). Ansvar for gjennomføring av denne er gitt til Fylkesmannen i Nordland.



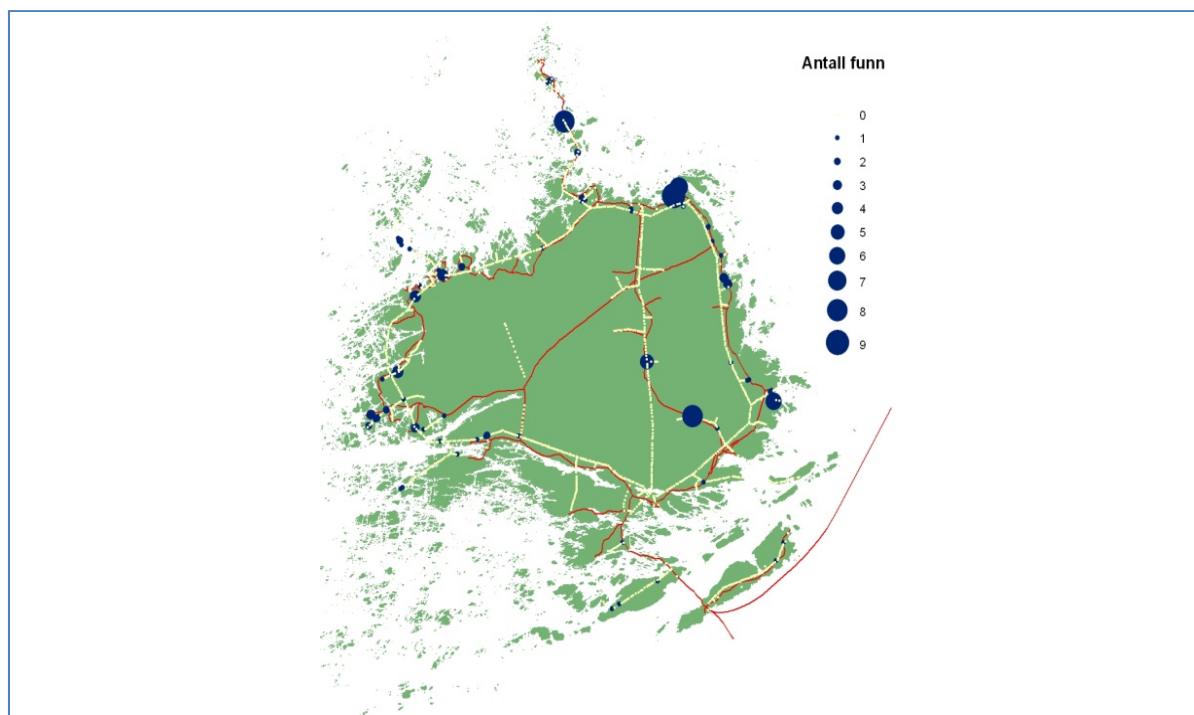
Figur 4. Hubro er oppført på den norske rødlista, og det er dokumentert at den største dødsårsaken hos arten skyldes elektrokusjon. Hubrobestanden er ofte størst i kyststrøk, dvs. områder med begrenset tilgang på steder det er mulig og vagle seg for å holde utkikk etter byttedyr. Traverser på kraftledningsstolper er derfor et yndet tilholdssted. Foto: Jan Over Gjershaug.

I november 2009 ble det gjennomført en kontroll av ca. 750 stolpepunkt ansett for å være elektrokusjonsfarlige på Smøla. Dette ble gjort blant annet for å se om havørn, som er et vanlig kollisjonsoffer i vinkraftverket på Smøla, også drepes pga. elektrokusjon. Nordmøre Energiverk (NEAS) oversendte på forespørsel fra NINA oversikt over stolper i sitt forsyningsområde som på forhånd ble antatt å være elektrokusjonsfarlige. I alt ble det funnet 142 individer av minst 17 arter (**Figur 5**). Noen av de minste artene (eksempelvis krikkan og alkekonge) kan ha blitt fraktet til stolpene av rovfugl som benytter dem som utkikkspunkt (Bevanger m.fl. 2010a). Slik **Tabell 5**

viser var det spesielt i tilknytning til stolpemonterte transformatorer og stolper med piggisolatorer at det ble funnet mange elektrokusjonsofre.



Figur 5. Fugler funnet som elektrokusjonsoffer på Smøla etter kontroll av ca. 750 stolpepunkt ansett for å være elektrokusjonsfarlige. Noen av de minste artene (eksempelvis krikkand og alkekonge) kan ha blitt fraktet til stolpene av rovfugl som benytter dem som utkikkspunkt (etter Bevangen m.fl. 2010a).



Figur 6. Funn av elektrokusjonsdrepte fugler på Smøla fordelt geografisk. Som det går fram er det størst dødelighet i tilknytning til strukturer lokalisert lengst ut mot åpent hav hvor det er liten tilgang på naturlige, oppstikkende strukturer som kan tjene som utkikksposter (etter Bevanger m.fl. 2010a).

Tabell 5. Elektrokusjonsdrepte fugler funnet på Smøla i tilknytning til ca. 750 antatt, farlige strukturer fordelt på strukturtype (* for 4 av de 142 funnene er det usikkert hvilken struktur de tilhører, disse er utelatt fra tabellen).

	Alle	Trafo	Bryter	Avgreining	Pigg	Bryter & avgreining
Antall punkt	740	87	34	36	571	12
Antall funn	138*	49	21	19	47	2
Funn pr punkt	0,19	0,56	0,62	0,53	0,08	0,17

Også fra Bonn- og Bernkonvensjonenes side har det vært uttrykt bekymring for at så mange fugler drepes pga. elektrokusjon (og kollisjon) (*Resolution 7.4 – Electrocution of migratory birds* og *Recommendation No. 110*) (Bern Convention 2004). Dette er konvensjoner Norge har ratifisert. Som understreket av Lehman m.fl. (2007) er det et klart behov for ny og bedre informasjon, med utgangspunkt i solid forskning, slik at så vel netteiere som miljø- og energiforvaltningen kan gripe fatt i denne problematikken på en bedre måte. Dessverre er kunnskapen om omfanget i tilknytning til dødelighet hos fugl som skyldes elektrokusjon fremdeles et åpent spørsmål i de fleste land, Norge inkludert. Det er et klart behov for storskala undersøkelser som kan gi langt mer systematiske data ettersom kunnskapen i dag for en stor del er basert på anekdoter og tilfeldige observasjoner og funn av døde fugler.

Som nevnt er elektrokusjon i første rekke et problem knyttet til distribusjonsnettene, og delvis regionalnettene (dvs. spenninger opp til ca. 66 kV). Irregulære og uventede elektrokusjonsulykker kan imidlertid forekomme pga. det store mangfoldet i hvordan elektriske strukturer er utformet (Kroodsma & Van Dyke 1985, Negro & Ferrer 1995). Ut fra en slik synsvinkel kan det fortone seg noe paradoksalt at den største miljødebatten i Norge særlig knytter seg til sentralnettet.



Figur 7. Stolpemontert transformatorer i tilknytning til distribusjonsnettet er blant de strukturer som oftest forårsaker elektrokusjonsulykker hos fugl pga. de korte avstandene mellom strømførende ledninger og/eller strømførende ledning og jordet del. Foto: Kjetil Bevanger.



Figur 8. Avgreiningmaster er konstruert på mange måter. Ofte fremstår de som strukturer hvor fugler finner gode sitteplasser. I åpne landskap med lite skog blir derfor disse attraktive utkikksposter for fugler som ønsker å få oversikt og speide etter bytte. Det gjelder bl.a. rovfugl og måker. I kyststrøk, bl.a. på Smøla, er det dokumentert at slike konstruksjoner årlig tar livet av et betydelig antall havørn, kråkefugl og måker. De fortjener derfor med rette betegnelsen "killerpoles". Ved å utforme disse på en måte som reduserer attraktiviteten som sitteplass, samt isolere ledninger og traverser, vil dette problemet reduseres betydelig. Foto: Kjetil Bevanger.

2.2 "Strakstiltak" for å hindre elektrokusjon

Forslag til tekniske løsninger for å unngå elektrokusjonsulykker er utviklet av flere, særlig i USA (se for eksempel Olendorff m.fl. 1981, VDEW 1986, Harness 2000, 2002, Harness & Garrett 1999, Harness & Wilson 2001, APLIC 2006, Haas 2008). I Sverige ble et eget prosjekt i regi av Vattenfall igangsatt allerede på 1980-tallet med målsetting om å utvikle tekniske løsninger slik at hubro ikke ble drept i tilknytning til stolpetransformatorer (Lindgren 1984). Hovedprinsippene var ganske enkle, nemlig isolering av strømførende ledninger med kort, innbyrdes avstand, dvs. i første rekke nedføringene til transformator (jfr. Bevanger & Thingstad 1988). Merkostnadene ved dette isoleringsarbeidet ble beregnet til 150-200 SVK. En stolpetransformator kostet 25000-30000 SVK avhengig av type (Lindgren 1984). I sitt handlingsprogram sa Vattenfall bl.a. at *"Befindtliga stolptransformator åtgärdas i samband med inspektionen och ordinarie tillsynsarbeten på transformatorerna. Om byte av slackar kan utföras i samband med ordinarie arbete på transformatorn kan kostnaden uppskattas till ca. 1000 kr. per transformator. I annat fall blir kostnaden 1500-2000 kr. per transformator. Linskydd monteras på transformatorstolpar generellt samt på vanliga ledningsstolpar i områden som kan bedömas känsliga (utsläppsområden, kända häckningsplatser etc.)"*.

Tilsvarende initiativ har ikke vært tatt fra norske myndigheter til tross for at "Forprosjektet kraftledninger og fugl" (1988) summerte sine anbefalinger i forhold til elektrokusjonsulykker i følgende punkter:

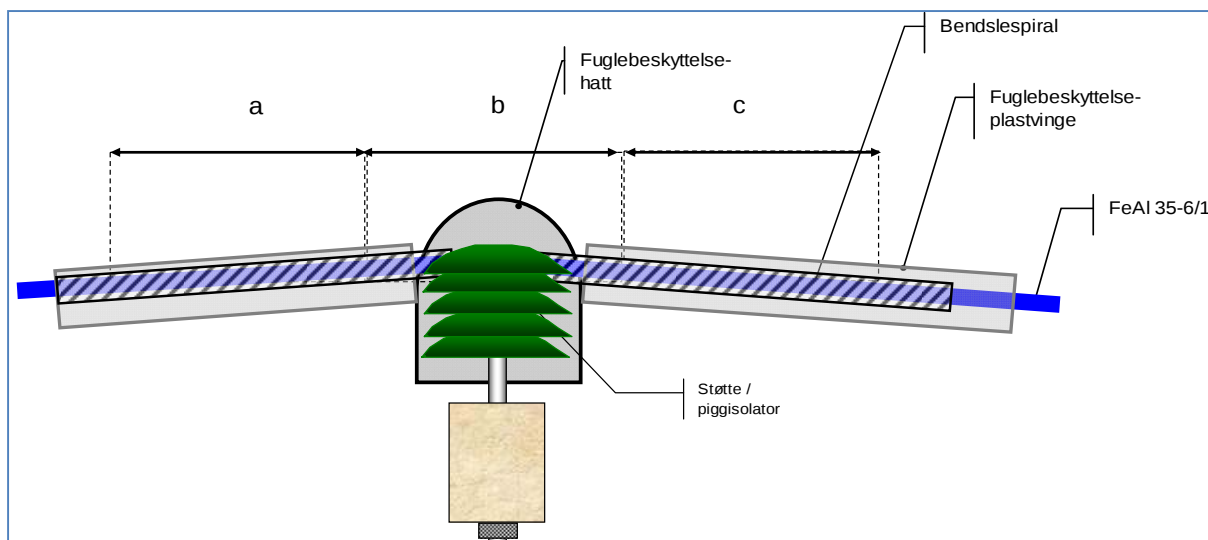
- isoler nedføringslinjer til bryter og transformator
- bruk fuglevern på gnistgap
- isoler gjennomføringstopp på stolpetransformatorer
- vurder bruk av isolasjonskappe på ståltraverser
- vurder isolering av faseleder ved mast
- vurder montering av egnede sitteplasser for fugl i stolper og transformatorer

Ved nybygging ble det påpekt at følgende tiltak burde vurderes:

- benytt tretravers; jordtråd på undersiden
- benytt isolertravers
- benytt hengekjedeisolatorer (unngå piggisolatorer)
- unngå bruk av mastetransformatorer eller utføre disse isolert
- benytt isolerte hengekabler

I 2010 ba NVE om at det i tilknytning til OPTIPOL ble utarbeidet en liten håndbok som kunne gi råd om strakstiltak (Bevanger & Refsnæs in prep.) i påvente av at en mer grundig utredning i regi av OPTIPOL blir ferdigstilt.

I teorien synes det relativt enkelt å skulle modifisere tekniske installasjoner slik at elektrokusjonsfaren elimineres – i første rekke ved å isolere de strømførende ledningene. Dessverre er det ikke så enkelt, og spesielt gjelder det i kyststrøk med stor saltholdighet i lufta. Faren for korrosjonsproblemer og strømbrydd er overhengende hvis metalldeleer innkapsles slik at luft og fuktighet over tid virker sammen. En av de tingene som gjøres i tilknytning til OPTIPOL er derfor korrosjonstester i kammer som kan fortelle om isolasjonsmaterialenes påvirkning på linenes nedbrytning mht. slitasje, korrosjon, utmatting m.m. En av disse er den forholdsvis kjente "Uven-Huven" som ble utviklet i Sverige på 1980-tallet (**Figur 9**).



Figur 9. Stilisert versjon av "Uven-huven", dvs. en fuglebeskyttelseshatt på toppisolator kombinert med plastovertrekk på faselederen som er festet til isolatoren et stykke ut fra denne.

3 Kollisjon

Først på 1970-tallet ble kollisjonsproblematikken satt på dagsorden for alvor, i første rekke i USA (se for eksempel Avery 1978) etter som en der fikk lovbestemmelser som påbød konsekvensanalyser i forbindelse med kraftledningsbygging for å sikre at miljøinteresser ble ivaretatt på lik linje med økonomiske og tekniske vurderinger (Hobbs 1987). Frem til 1990-tallet ble svært mange av de undersøkelser ble utført i tilknytning til kollisjonsproblematikk utført som "worst case studies" - enten knyttet til rike våtmarkslokaliteter, med for eksempel store mengder hekkende eller overvintrende fugler, eller til kraftledninger som krysser sentrale trekkveier. Dette bidro trolig også til at temaet frem til da ble sett på mer som et tilfeldig fenomen eller kuriosum, enn som en regulær dødelighetsfaktor.

Etter at problematikken ble underkastet mer systematiske undersøkelser, med utgangspunkt i å finne fram til hvilke arts-, steds- og årstidsspesifikke faktorer som kunne bidra til å forklare hvorfor kollisjoner skjedde, ble det også gjort fremskritt i forhold til avbøtende tiltak (Morkill & Anderson 1991, Alonso m.fl. 1994, Bevanger 1994a, Brown & Drewien 1995); se Jenkins m.fl. (2010) for oversikt.

For å forstå hvorfor enkelte fuglearter er mer utsatte for å kollidere mot kraftledninger enn andre, samt for å forstå hvor og når flest kollisjoner skjer, må flere aspekter tas i betraktning og det vil normalt være et sett av faktorer som virker sammen. Årsaksfaktorene kan grovt sett samles i fire grupper:

- Biologiske (jfr. 3.1)
- Topografiske (jfr. 3.2)
- Meteorologiske (og geografiske) (jfr. 3.3)
- Kraftledningsdesign (jfr. 3.4)

3.1 Biologi

Biologiske aspekter knyttet til kollisjoner kan grupperes i forhold til tre tema:

- Hvilke arter er involvert i kollisjonsulykker, dvs. hva er den artsspesifikke sårbarheten?

- Hvilke avgjørende biologiske og økologiske faktorer gjør en fugl til et kollisjonsoffer, inklusive syn, morfologi og livshistoriestrategier?
- Kan denne type ekstradødelighet påvirke populasjonene hos sterkt berørte arter?

3.1.1 Arter involvert i kollisjonsulykker

Sammenlignet med elektrokusjon er det langt vanskeligere å forutsi hvor og når en kollisjon mot en kraftledning vil finne sted, eller hvilken art som vil være involvert. Gjennom de mange undersøkelser som er foretatt i tilknytning til fuglekollisjoner rundt omkring i verden kan det trolig slås fast at enhver fugl som kan fly løper en viss risiko for å bli et kollisjonsoffer hvis den opptrer i et område med luftledninger. En gjennomgang av 16 undersøkelser viste at 15 ordener, 41 familier, 129 slekter og 245 arter var registrert blant kollisjonsoffrene (**Tabell 6**).

Tabell 6. Fugler registrert som kollisjonsoffer mot kraftledninger i 16 undersøkelser^s (etter Bevanger 1998).

Order	Family	Genera	Species	Individuals
Gaviformes	Gavidae (divers)	1	2	3
Podicipediformes	Podicipedidae (grebes)	4	7	303
Procellariiformes	Procellariidae (fulmars, petrels, shearwaters)	1	1	4
Pelecaniformes	Pelecanidae (pelicans)	1	2	4
	Sulidae (boobies, gannets)	1	1	1
	Phalacrocoracidae (cormorants, shags)	1	2	62
Ciconiiformes	Ardeidae (bitterns, herons)	4	6	79
	Ciconiidae (storks)	1	1	5
	Threskiornithidae (ibises, spoonbills)	2	3	13
	Phoenicopteridae (flamingoes)	1	1	8
Anseriformes	Anatidae (wildfowl)	14	37	2983
Falconiformes	Accipitridae (hawks, vultures, eagles)	3	4	7
	Falconidae (falcons and allies)	1	4	7
Galliformes	Phasianidae (partridges, quails, pheasants and allies)	7	9	321
Gruiformes	Rallidae/Gruidae (rails, coots, cranes)	6	9	1653
Charadriiformes	Haematopodidae (oystercatchers)	1	1	54
	Recurvirostridae (stilts, avocets)	2	3	12
	Burhinidae (stone-curlews, stone-plovers)	1	1	1
	Charadriidae (plovers, lapwings)	3	7	520
	Scolopacidae (snipes, sandpipers and allies)	19	48	2833
	Laridae (gulls)	5	16	1447
Apodiformes	Apodidae (swifts)	1	1	6
Columbiformes	Columbidae (pigeons)	3	7	374
Cuculiformes	Cuculidae (cuckoos)	1	1	2
Strigiformes	Tytonidae (barn owls and allies)	1	1	1
	Strigidae (typical owls)	2	3	4
Passeriformes	Tyrannidae (tyrant flycatchers)	2	2	6
	Alaudidae (larks)	1	1	68
	Hirundinidae (swallows)	1	1	9
	Motacillidae (pipits, wagtails)	2	3	34
	Troglodytidae (wrens)	2	3	3
	Turdidae (chats, thrushes)	6	12	420
	Sylviidae (warblers and allies)	5	12	117
	Muscicapidae (flycatchers)	1	2	3
	Emberizidae (buntings and allies)	7	11	86
	Parulidae (wood-warblers)	3	4	7
	Icteridae (blackbirds, orioles and allies)	3	3	87
	Fringillidae (finches)	2	4	25
	Ploceidae (weavers and allies)	1	1	46
	Sturnidae (starlings)	4	6	590
	Corvidae (crows and allies)	2	2	18

^s Scott m.fl. 1972, McKenna & Allard 1976, Anderson 1978, Gylstorff, 1979, Meyer 1978, Christensen 1980, Grosse m.fl. 1980, Heijnis 1980, Willdan Associates 1982, Longridge 1986, Rusz m.fl. 1986, Bevanger 1988, Thingstad 1989, Hartman m.fl. 1992, Bevanger 1993a, Bevanger & Sandaker 1993)

Ser en disse tallene i sammenheng med en tidligere gjennomgang foretatt i USA i 1978 (Thompson 1978), er det bare to fugleordener (vel og merke av dem som har flygende arter) som ikke er registrert som kollisjonsoffer; nemlig musfugler (Coliiformes) og trogoner (Trogoniformes). Musfugler er imidlertid registrert som kollisjonsoffer ved en undersøkelse i det sørlige Afrika (Hobbs 1987). Trogoner er knyttet til områder i Sør-Amerika, Afrika og Sørøst-Asia hvor svært få undersøkelser med henblikk på problematikken kraftledninger-fugl er utført.

Blant annet på grunn av det mangfold av datainnsamlingsprosedyrer som er benyttet i tilknytning til undersøkelser av kollisjonsdødelighet, er det vanskelig uten videre å si hvilke arter som er mest kollisjonsutsatt. Det vil ofte være vanskelig å bedømme antall kollisjonsfunn av en art i forhold til artens relative opptreden og forekomst. Mindre spurvefugler – for eksempel troster og vade- og vadefugler, registreres ofte som hyppige kollisjonsofre når undersøkelser gjøres i tilknytning til kraftledningsnett som krysser sentrale trekkveier. Ser en på antall kollisjoner i forhold til totalt antall kryssende individer, vil imidlertid den prosentvise andel som regel bli bagatellmessig. Noe helt annet blir det når f.eks. traner, pelikaner, storker og hønsefugler kolliderer, etter som totalbestandene og antall kryssende individer av disse artene ofte bare utgjør brøkdeler i forhold til spurvefugler og vadefugler.

3.1.2 Kollisjonsregulerende faktorer

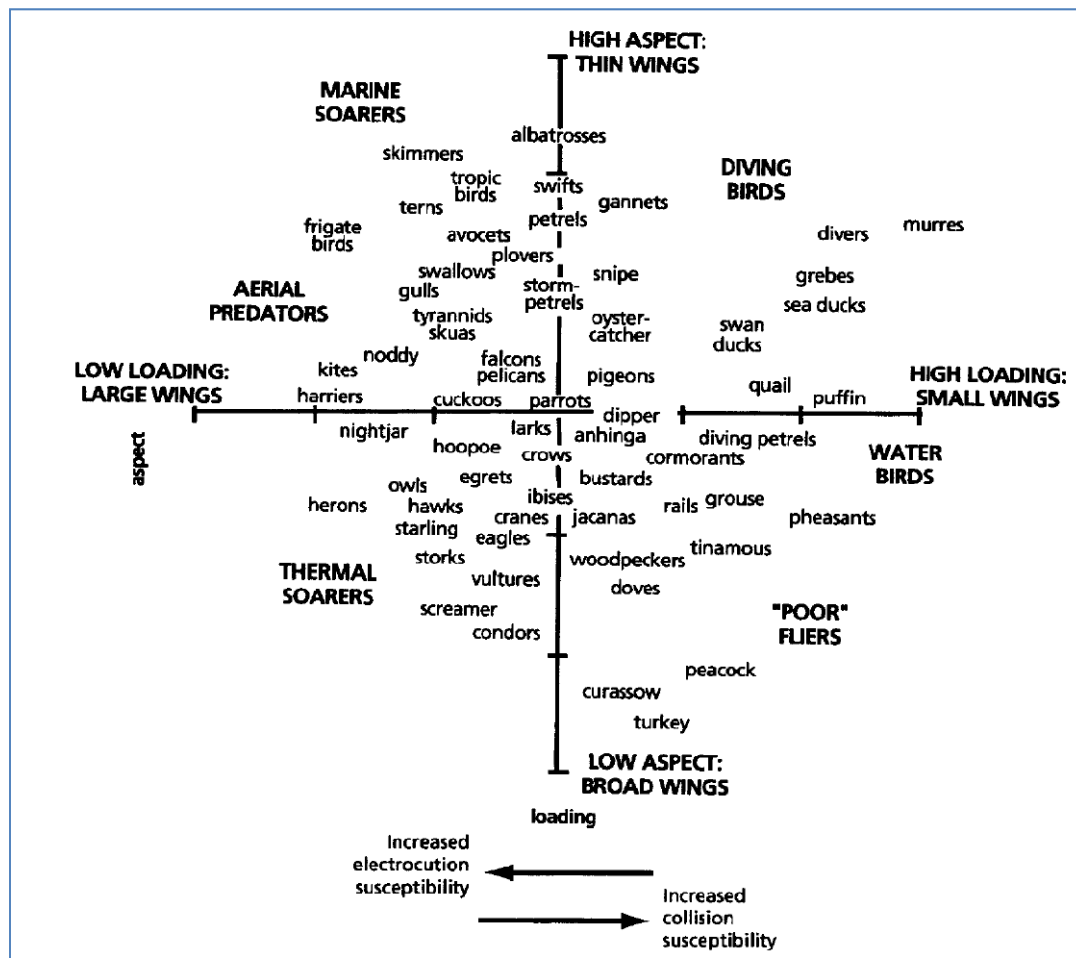
3.1.2.1 Morfologi

En metode som har vist seg å være relativt effektiv for å forutsi ulike fuglegruppers sårbarhet i forhold til kunstige lufthindringer generelt, har vært å se på deres aerodynamiske ferdigheter, dvs. flygemorfologi. Den vil nødvendigvis måtte utvikle seg innen et mangfold av biomekaniske og økologiske rammebetingelser på en måte som tillater individet å optimalisere overlevelse og reproduksjon. Seleksjonen kan for eksempel favorisere evnen en fugl har til å utnytte tilvokste og vanskelig fremkommelige habitater ved at vingespennet blir mindre eller ved at manøvreringsdyktigheten øker. Vingeladning, dvs. forholdet mellom kroppsvekt og vingeflate, og aspekt, dvs. forholdet mellom vingespenn og kvadratet av vingeflaten, er avgjørende for fuglers flyveferdighet (se for eksempel Norberg 1990).

Ved å bruke multivariate analysemetoder i forhold til uavhengige mål av kroppsstørrelse og vingeproporsjoner (se f.eks. Rayner 1988, Norberg 1990) er det mulig å gruppere taksonomiske hovedgrupper av fugl i forhold til vingemorfologi og kroppsvekt. Denne metoden er spesielt nyttig ved at det er mulig å identifisere hva vi kan kalle "dårlige flyvere" (**Figur 10**).

Generelt synes det å være betydelig overvekt av arter med høy vingeladning blant kollisjonsofre; for eksempel rikser, tinamuer og hønsefugl. Når det gjelder riksefugler finnes mye empiriske data som støtter opp om en slik antagelse. Tinamuer, som utelukkende finnes i Sør-Amerika, og som rent morfologisk har mange fellestrekk med hønsefugl, beskrives som særdeles klønete flyvere som både flyr inn i husvegger og andre hindringer som står i veien (del Hoyo m.fl. 1992, Roselli & Zerda 1997).

I Norge og andre nordiske land har det vært mulig å studere kollisjonsutsatthet hos hønsefugl. Helt fra århundreskiftet finnes beretninger i bl.a. Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskrift, Villmarksliv og Norsk ornitologisk tidsskrift som uttrykker bekymring for at både rype, storfugl og orrfugl ble funnet drept under kraft- og telefonledninger (se for eksempel Wadén 1904, Grotli 1922, Sørum 1950, Wilse 1951, Johannessen 1952, Hiltunen 1953, Heitkøtter 1972, Anon. 1973, Swensen 1975, Stanghelle 1985). For å undersøke om dette var en regulær dødelighetsfaktor for hønsefugl ble det i perioden 1984-87 foretatt regelmessige patruljeringer av utvalgte høyspentledningsavsnitt i Orkdal, Meldal og Rennebu kommuner (Bevanger 1988). Denne undersøkelsen ga et relativt entydig bilde av at både rype, storfugl og orrfugl var utsatt for å kolliderer mot kraftledninger både høst, vinter og vår. Jerpe derimot ble ikke funnet. Senere undersøkelser i boreal bjørkeskog både i Sør- og Nord-Norge har bekreftet at rype regelmessig kolliderer mot luftledninger, særlig om vinteren og tidlig på våren (Bevanger 1993b, Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2001, 2004).



Figur 10. Taksonomiske grupper av fugl arrangert i forhold til vingemorfologi, uttrykt gjennom principal komponentanalyse der statistiske, uavhengige mål av kroppsstørrelse og vingeporsjoner er utledet. Figuren er basert på et scatterplot av størrelsesuavhengige faktorer hos flygende fugler (basert på Rayner 1988) (etter Bevanger 1998).

3.1.2.2 Syn

Det synes å være generell mangel på artsspesifikk detaljkunnskap når det gjelder fuglers syn. Men etter som temaet både er komplekst og fasinende, har det vært gjenstand for betydelig forskningsinnsats opp gjennom årene (Sillman 1973, Martin 1985, 1990, 2007, 2009, 2010, Schmidt-Morand 1992). Da hønsefugler gjerne er lett tilgjengelige forskningsobjekter er synsfysiologien hos disse relativt godt kartlagt. Blant annet ser det ut til at mange arter er afoveale, dvs. at de mangler eller har et dårlig utviklet område på netthinnen med spesielt høy tetthet av synsceller (se for eksempel Sillman 1973). Dette innebærer bl.a. at synsskarpheten kan forventes å være redusert. Teoretisk sett må antas at synsskarphet og evne til dybdesyn hos en fugl vil berøre dens evne til å se og eventuelt unngå uventede lufthindringer.

Kort summert består øyet hos høyere virveldyr, av hornhinnen (*cornea*), som er den første, brytende flaten i øyet. Etter hornhinnen følger fremre øyekammer, som er fylt med en vannlignende væske (*kammervann*). Pupillen virker som en blender, og kan i bredde variere med mange millimeter avhengig av lysstyrken mot netthinnen. Regnbuehinnen (*iris*) innehar samme fargestoff hos f.eks. mennesker med blå eller brune øyne; det er mengden som avgjør om øynene fremstår som blå eller brune. Øyelinsen er et elastisk legeme som er festet til ciliarmuskulaturen (akkomodasjonsmuskler). Når disse trekker seg sammen blir det en spenningsreduksjon som gjør at linsen er fokusert på "uendelig". Resultatet blir en mindre krummingsradius på linsen og endret "skarpheitsinnstilling". Glasslegemet er betegnelsen på en geléaktig masse som bidrar til at øyeeplet beholder sin form på grunn av et indre væsketrykk. Senehinnen (*sclera*) er øyets ytre membran som holder det sammen, og kan

ses som "det hvite" i øyet. Netthinnen (*retina*) er øyets "billedplan" og dets nervenettverk. Her finnes sterkt lysfølsomme nerveceller – fotoreseptorer. En skiller normalt mellom to hovedtyper – staver – som er spesielt følsomme for svakt lys – og tapper – som er viktig i dagslys og for fargesyn. Synssgropen (*fovea*) er en liten fordypning i netthinnen, og er stedet for skarpest syn. Den kalles også gjerne den gule flekk eller *makula lutea* fordi den normalt har en svak gulffarge. Synsgropens sentrale del – *fovea centralis* – inneholder bare tapper. I og med at tettheten av tapper er svært stor i synsgropen, er dette et punkt med særdeles stor "oppløsningsevne", dvs. synsskarphet (Martin 1990). Tilstedeværelsen av en eller flere synsgroper er trolig svært viktig for den evne en fugl har til å unngå å kolliderer med uventede hindringer (som f.eks. kraftledninger) i det luftrommet den benytter.

I løpet av de siste 20-30 år har ny forskning bidratt vesentlig til vår kunnskap om fugleøyet, og forståelse av fuglenes syn – både de optiske egenskaper hos selve øyet, netthinnens morfologi, øyets og det visuelle systemets anatomi, samt den funksjonelle organiseringen av fuglehjernen. Det er blitt mer og mer klart at relativt store morfologiske forskjeller mellom de visuelle organer og systemer hos fugler og pattedyr i virkeligheten har bidratt til å kamuflere store likheter. Fugler, slik som mennesker, er primært dagaktive, og deres opplevelse av verden er i stor utstrekning "visuell", og intuitivt langt mer "tilgjengelig" for oss enn den "verden" de fleste pattedyr opplever, som i stor utstrekning er nattaktive. Det må imidlertid understrekes at fugleøyet er konstruert på en rekke måter, og avspeiler de høyst ulike økologiske tilpasninger og leveområder en finner hos denne dyregruppen. Ikke minst bør fuglers ekstraordinære utviklede fargesyn understrekes, øyets ulike plasseringer – fra lateralt (eksempelvis bekkasiner) til frontalt (eksempelvis ugler) – hvorvidt det er to eller flere synsgroper, muligheten til uavhengige bevegelser av det enkelte øye samt evne til å se både i luft og vann.

Karakteristiske trekk hos våre skogsfuglarter støtter opp under en antagelse om at de ikke har spesielt skarpt syn. Det er for eksempel ikke uvanlig å oppleve at storfugl braser inn i kvister og småtrær når de skremmes. For å få indirekte holdepunkter for hvorvidt syn har betydning for kollisjonshyppigheten, ble kollisjonssårbarhet om vinteren hos ryer i Sør- og Nord-Norge undersøkt (Bevanger 1993a). Tanken bak dette var at fordi lysmengden om vinteren vil avta med økende breddegrad vil en forvente at det er vanskeligere for ryer i Finnmark å se lufthindringer enn i Sør-Norge. Som et sammenlignende mål for kollisjonssårbarhet ble benyttet forholdet mellom antall kollisjonsofre funnet og antall observasjoner av levende fugl. Det ble imidlertid ikke funnet noen entydig forskjell på bakgrunn av de statistiske tester som ble benyttet.

Det er minst to måter å tolke et slikt resultat, fordi det er to variable inne i bildet som vanskelig kan betraktes uavhengig av hverandre; nemlig lysmengde og synsskarphet. Evnen til å se tydelig øker vanligvis med lysmengden. Hvis det derfor om vinteren påvises større kollisjonshyppighet i nord enn i sør kan det bety at det blir vanskeligere å se ledningene fordi lysmengden minker. Hvis det ikke påvises forskjeller kan det imidlertid også tolkes dit hen at ryer generelt ser så dårlig at litt lys fra eller til ikke har avgjørende betydning.

Tilnærmet samme resonnement kan brukes i forhold til tykkelsen av luftlinjer. I undersøkelsesområdet i sør går det flere typer kraftledninger. Størst diameter har faseledere og jordline på en 300 kV-ledning. Linediameter på 66 og 22 kV-ledningene er betydelig mindre (Bevanger & Sandaker 1993, Bevanger m.fl. 1998). Hvis ryer ser godt, kan det forventes at de ikke vil kolliderer så ofte mot tykke som tynne linjer. Hvis de derimot generelt ser dårlig og uskarpt, vil forskjeller i linetykkelse neppe gi større utslag. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mht. kollisjonssårbarhet i tilknytning til de ulike kraftledningstraséene på bakgrunn av forholdet mellom antall kollisjonsoffer funnet og antall observasjoner av levende fugl (Bevanger m.fl. 1998).

3.1.2.3 Atferd

Bestemte atferdskarakteristika vil bidra til å øke faren for kollisjoner. Arter som tilbringer mye tid i luften vil for eksempel måtte antas å kolliderer oftere enn dem som tilbringer det meste av livet på bakken. Hønsefuglarter har alle sine bestemte atferdsmønstre, for eksempel i forhold til parringsspill om våren, til bruk av dokk (dvs. nedgraving i snøen) om vinteren, døgnaktivitet i forhold til næringsinntak osv. Det vil derfor være interessant å se om mønsteret som er funnet ved kartlegging av kollisjonsomfang hos hønsefugl kan forklares ut fra karakteristiske atferdstrekk hos den enkelte art.

Det ville for eksempel ikke være rimelig å forvente å finne mye ledningsdrept hønsefugl om sommeren etter som dette er en periode der fuglene i stor utstrekning holder seg på bakken, både på grunn av hekking og kyllingpass og overflod av mat i nærområdene. Ved de undersøkelser som er foretatt (Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2004) ble det da heller ikke med sikkerhet

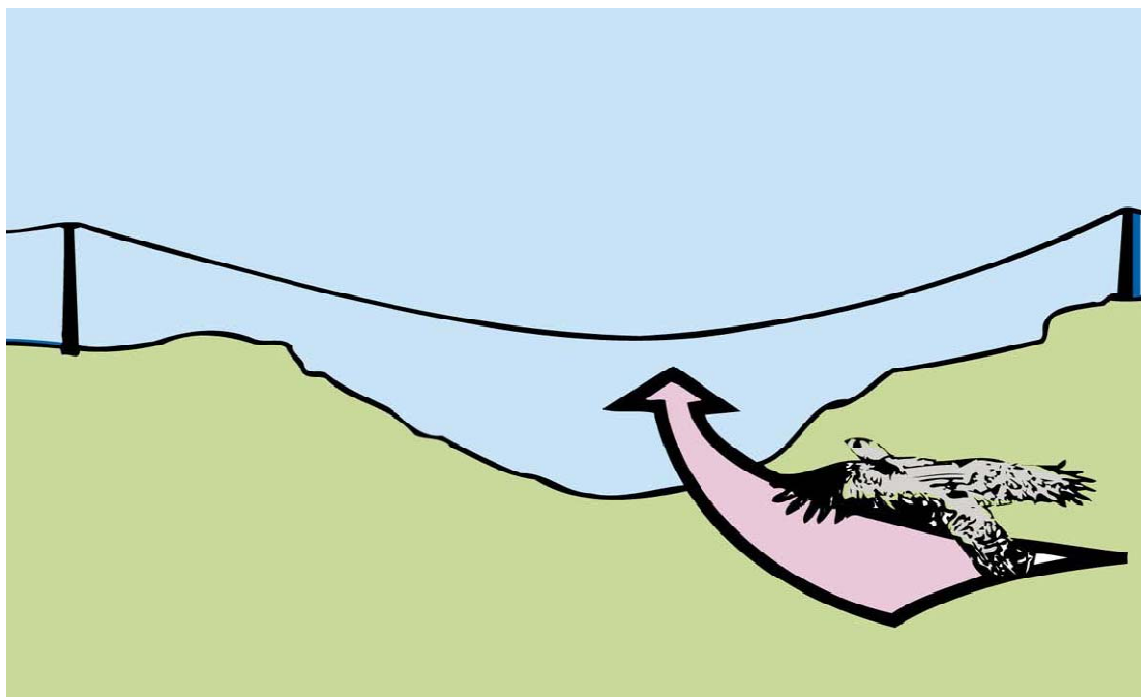
registrert kollisjonsdrept hønsefugl i perioden juni-august. Høst-, vinter- og vårmønsteret er ikke like lett å forutsi. Det er imidlertid ikke unaturlig å forvente høy dødelighet om vinteren på grunn av dårlig sikt. En dramatisk forbedring i lysforholdene utover våren ville umiddelbart kunne tenkes å fjerne enhver kollisjonsfare. I denne perioden øker imidlertid også aktiviteten hos hønsefuglene sterkt i forbindelse med parringslek, noe som vil forventes å trekke i motsatt retning. En undersøkelse i Sør-Norge viste at kollisjonsrisikoen hos skogsfugl økte dess nærmere ledningene lå i forhold til spillplassene (Bevanger m.fl. in prep.)

Jerpe er ikke blitt registrert som kollisjonsoffer (Bevanger 1993a). Dette innebærer neppe at arten er bedre til å fly eller har andre egenskaper som gjør den bedre skikket til å unngå kollisjoner enn andre hønsefugler. Svaret ligger trolig i artens økologi. For det første er jerpe sterkt knyttet til bestemte biotoper som har begrenset utstrekning og vil følgelig ha et flekkvist utbredelsesmønster (jfr. Swenson & Angelstam 1993). Kraftledninger som ikke grenser inn til eller krysser disse flekkene vil generelt ikke innebære noen risiko for jerpe. Sannsynligheten for at noen av de patruljerte kraftledningene skulle krysse eller ligge opp til et slikt jerpehabitat, er rett og slett liten. For det andre lever jerpe i tett skog og tar sjelden til vingene. For å kunne forklare hvorfor hønsefugl er spesielt utsatt for å kollidere mot kraftledninger, må følgelig både flygemorfologi, syn og atferdsøkologi trekkes inn i bildet.

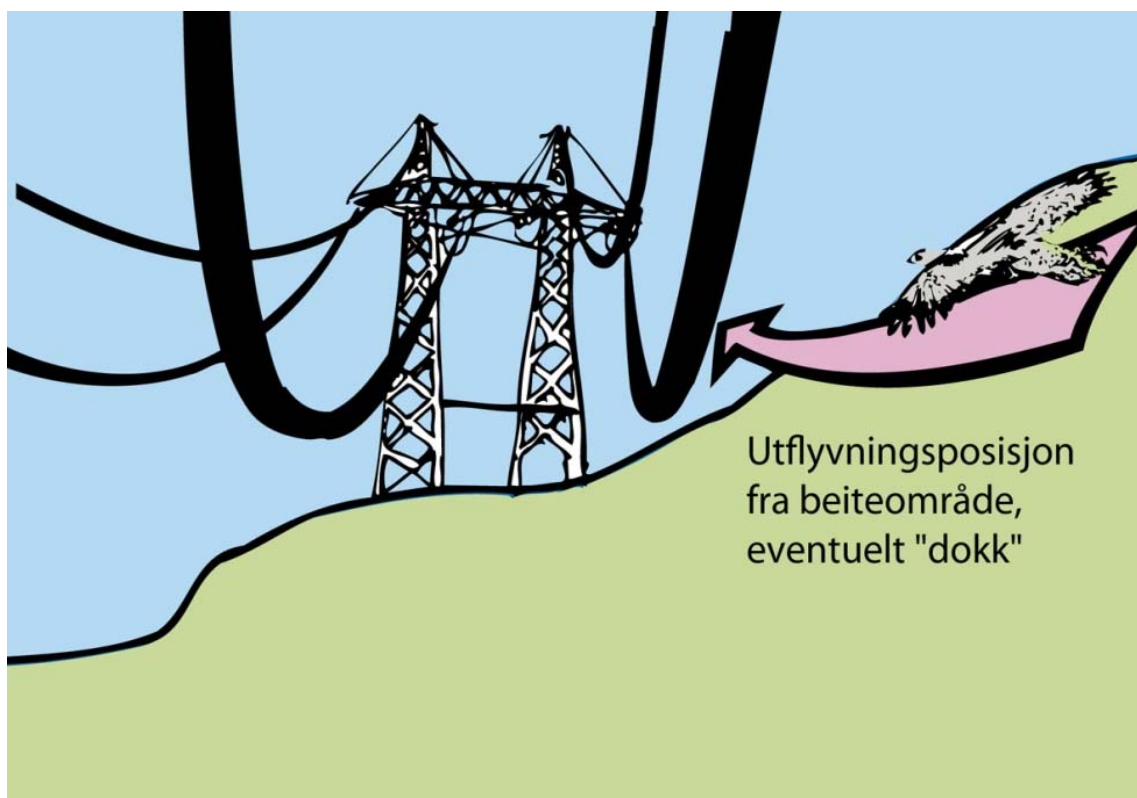
Arter som tilbringer mye tid i lufta, slik som rovfugl, må forventes å være mer utsatt for å kollidere enn arter som primært holder seg på bakken. Generelt synes imidlertid rovfugl ikke å være spesielt hyppig involvert i kollisjonsulykker (Olendorff & Lehman 1986), men enkelte arter er sårbare for å kollidere på grunn av sin jaktatferd - i første rekke høy hastighet når de forfølger et bytte (for eksempel jaktfalk, vandrefalk, hønsehauk, myrhauk og kongeørn) (Bevanger & Thingstad 1988, Rose & Baillie 1992, Bevanger 1998).

3.2 Topografi

Det er vanskelig å vurdere hvordan landformasjoner innvirker på det valg fuglene gjør mht. flygerute. Det er utvilsomt viktig å skille mellom makro- og mikroformer. Geyr von Schweppenburg (1929, 1933, 1963) innførte det klassiske begrepet "ledelinje" for å beskrive makroformer som er viktige for trekkfugler og som kan være med å skape sentrale trekkveier (Dobben & Makkink 1933, Dobben 1955, Malmberg 1955). En slik ledelinje kan for eksempel være en kystlinje. Generell kunnskap om ledelinjer som har betydning for fuglers navigering, lokalt eller i forbindelse med langdistanseforflytninger (se for eksempel Mueller & Berger 1967, Alerstam 1977), kan være viktig for å forklare hvorfor det enkelte steder er en overhyppighet i kollisjonsomfang ("hot spots"). Lokale ledelinjer kan være større og mindre forsenkninger og daler (**Figur 11**) eller treløse områder som myrdrag som tillater fugler å fly lavere enn de ellers ville kunne gjøre. En trenet ornitolog kan til en viss grad være i stand til å forutsi ledelinjer i terrenget i forhold til eksisterende topografi og kunnskap om de enkelte faglearters atferdsmønster men grundige feltundersøkelser er nødvendig for å gi råd ut over det generelle. Det kan hindre trasévalg som øker kollisjonsrisikoen for fugler som eksempelvis flyr ut fra en beite- eller reirplass (**Figur 12**).



Figur 11. Fugler beveger seg vanligvis ikke tilfeldig i terrenget, men benytter topografiske strukturer som ledelinjer, eksempelvis større og mindre elve- og bekkedaler. Hvis kraftledninger plasseres på tvers av slike ledelinjer øker faren for at fugler kolliderer med linene (etter Bevanger 1994).

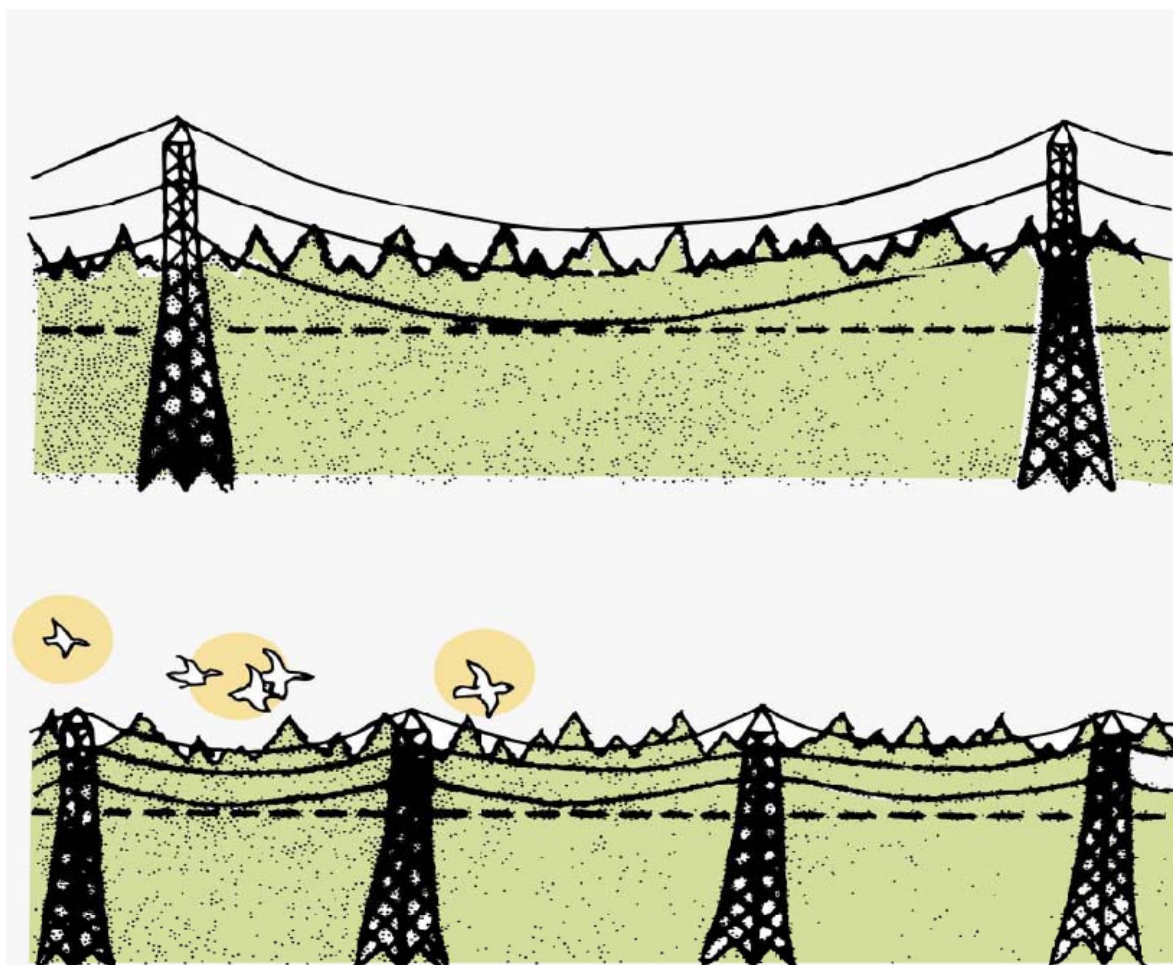


Figur 12. Det er viktig med grundige undersøkelser langs aktuelle kraftledningstraseer for å unngå plasseringer som øker kollisjonsrisikoen for fugler som eksempelvis flyr ut fra en beite- eller reirplass (etter Bevanger 1994).

En kraftledning som er plassert mellom et område fugler benytter til å hente mat og et område de tilbringer natten, kan være katastrofal (se for eksempel McNeil m.fl. 1985, Crivelli m.fl. 1988), spesielt når det bare er kort avstand mellom områdene slik at fuglene flyr i et kritisk høydenivå. Fugler som er avhengige av spesielle spillplasser om våren (for eksempel storfugl og orrfugl) er sårbare for å kollidere hvis kraftledninger og gjerder er lokalisert i nærheten, siden de ofte foretar korte forflytninger i kritiske høydenivå (Bevanger 1990, Bevanger m.fl. in prep.).

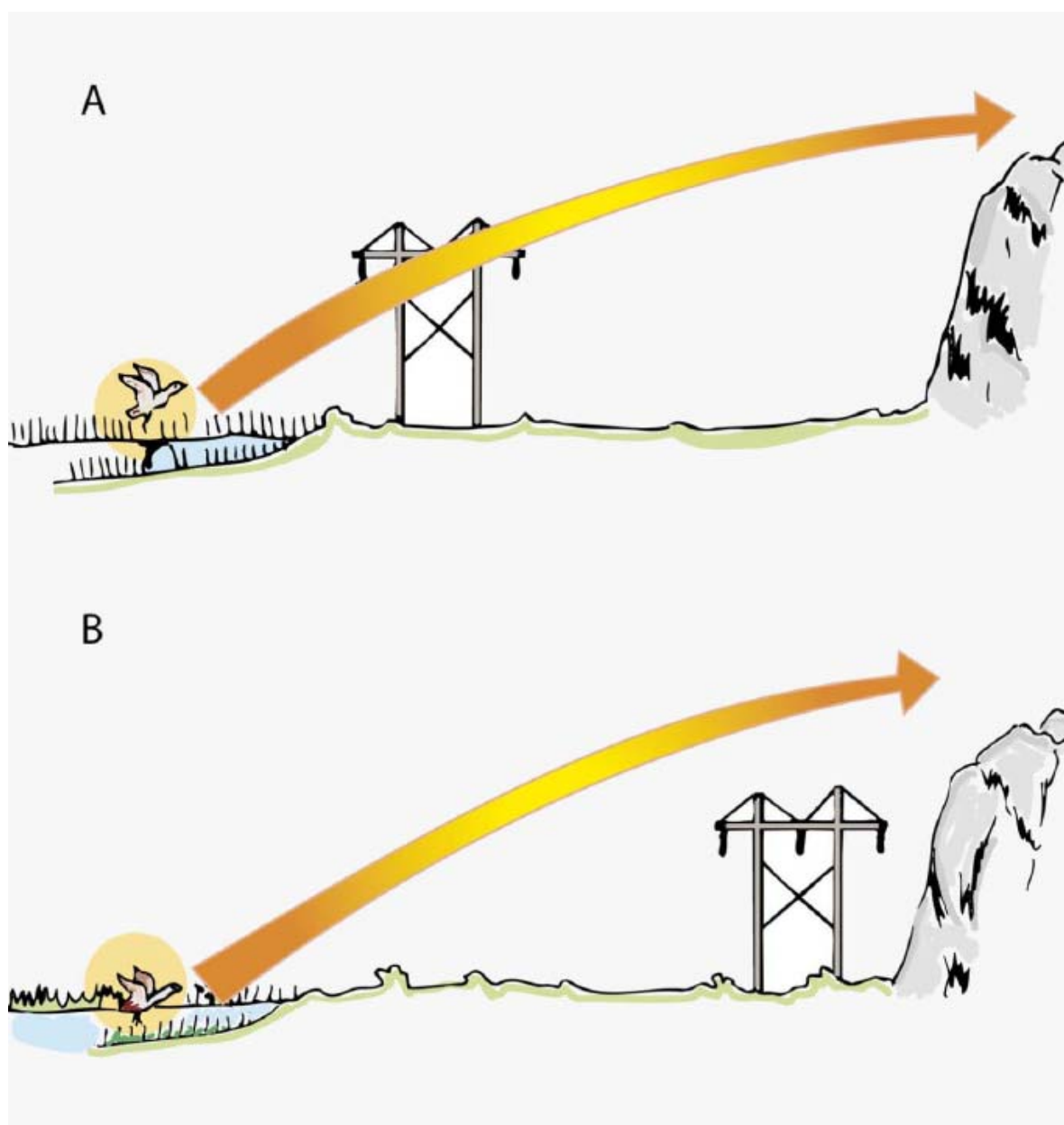
Et hovedprinsipp i forbindelse med trasévalg for kraftledninger som for eksempel passerer nært inn til ornitologiske nøkkelområder (næringslokaliteter, hekkeplasser osv.) bør være at de legges slik i forhold til topografiske strukturer og vegetasjon at fugler tvinges til å fly over linene (jfr. Thompson 1978). Skogsvegetasjon langs kraftledninger, der trærne når over linene, vil ofte være en effektiv hindring og garanti mot kollisjoner (**Figur 13**). I den sammenheng kan det i enkelte tilfeller tenkes at restriksjoner på skogbehandling langs kraftledninger bør vurderes. For at faseledere og jordliner lettere skal kunne oppdages bør kraftledninger også lokaliseres slik at de skaper kontraster i forhold til en bakgrunn. Dette vil utvilsomt komme i konflikt med krav som ofte stilles om at kraftledninger skal plasseres slik at de er så anonyme som mulig sett med et menneskelig øye. NVE har nylig utarbeidet en rapport som spesielt fokuserer på "anonymisering" av kraftledninger gjennom fargekamuflering (Johnson 2008). I OPTIPOL vil vi forsøke å få svar på om dette kan ha negative effekter for fugl ved samle inn overvåkingsdata gjennom bruk av radar.

Undersøkelsene i tilknytning til kollisjoner mellom skogsfugl og kraftledninger i Midt-Norge (Bevanger 1990) indikerte at hyppige kollisjoner fant sted i tilknytning til områder der faselederne lå like over tretoppene. Dette tolkes dit hen at tretoppene generelt representerer en lavere grense for hvor fuglene kan fly seg uten hindringer. Økt kollisjonsrisiko syntes også å oppstå hvor kraftledningene krysset en forhøyning eller forsenkning i terrenget, mens få kollisjoner ble registrert der det var tett skog enten på den ene eller begge sidene av ledningstraséen. Hogstformer vil derfor tenkes å kunne ha innvirkning på kollisjonshyppighet. Flatehogster kan åpne områder slik at kollisjonsfaren øker. I tilknytning til spillplasser og andre viktige områder for fugl bør slike aspekter vurderes nøye.



Figur 13. Fugler flyr vanligvis over tretoppene. Når linene er lokalisert lavere enn tretoppene reduserer dette kollisjonsfaren. Omarbeidet etter Thompson (1978).

I tillegg til prinsippet om å plassere ledningene i tilknytning til strukturer som tvinger fuglene til å øke flygehøyden (**Figur 14**), bør ledningene plasseres parallelt i forhold til sentrale trekkveier og ledelinjer (Scott m.fl. 1972). Disse prinsippene ble illustrert av Thompson (1978), som ikke bare understreket betydningen av å lokalisere linene parallelt med topografiske elementer som daler, rygger og forkastninger, men også parallelt i forhold til dominerende vindretninger slik at fugler ikke ble blåst inn i linene. I praksis har imidlertid økonomiske, estetiske og andre hensyn så langt overskygget økologiske vurderinger når trasévalgene er blitt gjort (Bevanger 1994a).



Figur 14. Topografiske strukturer som tvinger fugler til å fly over kraftledningen reduserer faren for at fugler skal kollidere med linene. A viser uheldig lokalisering sammenlignet med B. Omarbeidet etter Thompson (1978).

3.3 Meteorologiske og geografiske faktorer

Fuglers forflyttningsmønster er i stor grad influert av vær og atmosfæriske forhold (se for eksempel Alerstam & Ulfstrand 1975). Flygemønster og variasjoner i flygehøyde er viktige faktorer når sannsynligheter for at kollisjoner skal finne sted skal vurderes. Radarstudier og visuelle observasjoner fra bakken og fra fly (se for eksempel Eastwood 1967, Able 1970, Bruderer & Steidinger 1972, Pennycuick 1972, Alerstam & Ulfstrand 1974, Durman 1976, Pennycuick m.fl. 1979, Richardson 1976, 1978, 1979, Alerstam 1985, Bevanger m.fl. 2010) har i vesentlig grad bidratt til å øke kunnskapen om betydningen av slike faktorer. Kerlinger & Moore (1989) laget en samlet fremstilling omkring effektene av variasjoner i atmosfæriske forhold i relasjon til fugletrekk. Martin (1990) gjorde det samme i tilknytning til hvilke sensoriske problemer nattaktive arter, inklusive arter som trekker om natten, møter. Martin (1990) konkluderte med at arter som trekker om natten trolig utfører den mest fremtredende nattaktive atferd hos fugler overhodet, men sier også at

det ikke synes å være noen art som kan betegnes som rent nattaktiv i forhold til trekkatferd, og at de fleste arter som trekker om natten også kan fly på dagtid.

De fleste trekkfugler, dvs. de som flyr aktivt ("aktive flygere"), trekker normalt om natten eller tidlig om morgenen, før kl 1000. Større arter, slik som de fleste vannfuglartene, har større tendens til å trekke på dagtid enn mindre spurvefugler (Evans 1990). Trekkfugler med passivt forflyttningsmønster ("passive flygere"), dvs. større arter som er avhengige av termikk og oppadgående luftstrømmer, trekker i stor utstrekning midt på dagen (Kerlinger & Moore 1989). Hovedfaktorene som er med å bestemme trekkmønstrene er lufttemperatur og vindforhold.

Værforholdene influerer på atferden hos trekkfugler, så vel som hos stasjonære arter, og det er viktig å skille mellom stasjonære populasjoner og trekkfugler når effekter av atmosfæriske forhold og værforhold vurderes. Disig, overskyet vær, og spesielt tykk tåke og vind, er kjent for å påvirke den generelle flygehøyden slik at fuglene flyr lavere, ofte like over bakken (Avery m.fl. 1977, Elkins 1988, Kerlinger & Moore 1989). Noen av de mest dramatiske beretninger om fuglekollisjoner mot konstruksjoner oppført av mennesker beskriver nettopp slike værforhold (se for eksempel Kemper 1964, Aldrich m.fl. 1966, Blokpoel & Hatch 1976, Schroeder 1977, Verheijen 1981). Når det er sterk vind vil de fleste fugler slå seg ned på bakken for å unngå å kolliderer med et eller annet (Elkins 1988). Aktive flyvere endrer normalt flygehøyden i forhold til vindretning og -hastighet (Kerlinger & Moore 1989). Motvind tvinger fugler til å fly lavere enn medvind (se for eksempel Bergman 1978, Perdeck & Speek 1984). Fra et energetisk synspunkt er det fordelaktig å fly lavt ved motvind etter som vindhastigheten er lavest nær bakken. Lokalt nedsatt sikt på grunn av tåke, regn eller snø, gjør at luftliner blir spesielt vanskelig å oppdage.

Meteorologiske, så vel som biologiske og topografiske aspekter, er viktige i forbindelse med planlegging av en kraftledningstrasé. Fra et ornitologisk synspunkt sier det seg selv at økologisk, følsomme områder, slik som våtmarker hvor fugler samler seg for å finne næring under trekk, hekke, hvile eller overvintre, må unngås. Omhyggelig planlegging er uansett blant de beste og billigste metoder for å redusere fuglekollisjoner mot kraftledninger (jfr. Miller 1978, Thompson 1978). Detaljert kunnskap om lokale trekk og forflyttningsveier er her avgjørende. Dessverre er slik kunnskap oftest mangelfull. Det hjelper lite at konsesjonsgiver opererer med påbud om kartlegging av fugletrekk når det er praktisk umulig å innhente data om det. Det finnes bare ett redskap som så langt kan benyttes til sikker kartlegging av dag- og natttrekk i ulike høydenivå, og det er radar. Så langt er imidlertid undersøkelsene på Smøla i tilknytning til vindkraftverket der den eneste undersøkelsen i Norge der radar er benyttet (Bevanger m.fl. 2010b). Forhåpentligvis vil både kompetanse og radarteknologi utvikles videre i årene som kommer slik at bruk av radar kan bli en del av standardprosedyrene i tilknytning til grundige forundersøkelser.

Det er et klart behov for mer detaljert kunnskap om trekkruiter for fugl i Norge. Slik kunnskap etterspørres enten det er snakk om å etablere vindkraftverk eller bygge nye kraftledninger. Økt kunnskap om trekkruiter vil gi mer nøyaktige konsekvensutredninger før utbygging og på den måten minimalisere potensialet for eventuelle fremtidige konflikter med trekkende fugl. Men bedre kjennskap til hvor og når fugl trekker i våre områder, antas også å være informasjon som kan bidra til å øke den generelle flysikkerheten i norsk luftrom.

For å bygge opp slik kunnskap må en ha mulighet til å gjøre observasjon av trekkende fugl over store områder, under varierende lys- og værforhold, og helst 24 timer i døgnet året rundt. De mest effektive instrumenter for denne type datainnsamling vil være langtrekkende, bakkebaserte radarer. Dette er svært kostbare systemer både i innkjøp og drift, og det er derfor ikke realistisk å få stilt til rådighet egne dedikerte radarsystemer for en slik oppgave. Et prosjekt for kartlegging av trekkruiter må derfor søke å nyttiggjøre seg eksisterende nasjonale ressurser. Luftforsvaret og Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) er statlige organisasjoner som begge opererer radar systemer med 3D dekning så godt som over hele landet og til et godt stykke ut i Nordsjøen og Norskehavet. Luftforsvarets oppgave er militær luftromskontroll mens DNMI driver innsamling av værd data for mer presis værvarsling. Det er to svært forskjellige radarapplikasjoner, men begge har potensial til å bli benyttet til observasjon av fugl.

NINA har rettet forespørsel både til Luftforsvaret og DNMI om bruk av radardata fra deres systemer til formålet, og begge er positive til et slikt prosjekt. Men før et større prosjekt med datainnsamling kan defineres og settes i gang, bør det gjennomføres en mulighetsstudie som kan kartlegge mer konkret hvilke muligheter og begrensninger som ligger i å benytte seg av radardata fra DNMI og Luftforsvaret. Foreløpig mangler NINA en finansiell løsning for å kunne starte et slikt pilotprosjekt.

Den overordnede målsettingen for OPTIPOL-prosjektet er å utvikle kunnskap og verktøy som bedrer grunnlaget for en mest mulig miljøvennlig utforming av, og et miljøtilpasset trasevalg, for kraftledninger. Det innbefatter utvikling av en "*least-cost path*" GIS-basert applikasjon for et miljøvennlig trasévalg basert på økologiske, tekniske og økonomiske kriterier. For å danne et bedre grunnlag for å finne optimale traseløsninger i forhold til å redusere omfanget av kollisjoner hos fugl er det viktig å kunne identifisere områder med høy kollisjonsfrekvens. I denne sammenheng er det avgjørende å kunne forstå hvilke topografiske og andre miljøfaktorer, f.eks. vegetasjonsstruktur, som bidrar til økt kollisjonsrisiko. I OPTIPOL er dette arbeidet basert både på reanalyse av eksisterende data fra tidligere prosjekter, og de dataene vi vil få gjennom feltarbeidet i Ognålen (Bevanger m.fl. 2010a).

Fugler som lever på nordlige breddegrader om vinteren må nødvendigvis utøve en viss aktivitet under dårlige lysforhold. Det er enighet om at slik aktivitet ikke finner sted uten risiko, og Martin (1990) understreker at "*nocturnal behaviour in birds requires an unobstructed habitat*". Midtvintertsbelysningen (inkludert skumringsperiode) ved 66 °N er 62 % av det den er ved 45 °N (Elkins 1988). Teoretisk skulle derfor fugler ved høyere breddegrader om vinteren ha større sannsynlighet for å fly mot luftliner og kunstige lufthindringer enn fugler lengre sør, og generelt må kollisjonsrisikoen for samme fugleart antas å øke med økende breddegrad etter som lysforholdene forverres i takt med økende breddegrad i vinterhalvåret. Som tidligere nevnt kunne dette ikke påvises å være tilfellet for rype. Trekkfugler som hekker nord for Polarsirkelen (dvs. 66 °N) har ikke opplevd nattemørke på mange uker når de starter på trekket sørover om høsten, og ungfugler har ikke opplevd mørke over hodet. Motsatt opplever fugler som kommer trekkende nordover om våren en dramatisk lysperiodeøkning. Å spekulere om hvorvidt høsttrekket er farligere enn vårtrekket sett i relasjon til kollisjoner, vil trolig forbli spekulasjoner i og med at mulighetene til å teste dette er små. Trekkfugler krysser imidlertid enorme mengder luftliner på sin vei, enten de flyr sørover eller nordover, og det vil derfor kanskje være naturlig å anta at i alle fall noen trekkfuglarter generelt vil være mer utsatt for kollisjoner enn stasjonære arter.

3.4 Kraftledningsdesign

På tross av at flygehøyden hos en fugl aldri kan bli en forutsigbar parameter på grunn av at så mange modifierende faktorer er inne i bildet, så kan kollisjonshyppigheten mot kraftledninger påvirkes gjennom design og utforming av energioverføringssystemene, for eksempel i forhold til faseledernes og jordlinenes høyde, innbyrdes avstand og plassering (konfigurasjon), linediameter og antall kurser. Mellom kraftledningsmastene vil linene normalt henge i buer på grunn av egen tyngde. Linehøyden over bakken vil midt mellom to stolper kanskje bare være halvparten av høyden linen har ved stolpene. Dette betyr at fugler eksponeres for kollisjonsfare ved en rekke høydenivåer. Metallekspansjon gjør at linehøyden også varierer mye (1-2 m) i forhold til temperatur, som varierer både med lufttemperatur, men særlig med belastningen i faselederen, dvs. hvor mye strøm som kjøres igjennom. For å oppnå en jevnere og mer stabil bakkehøyde ville det være nødvendig med langt flere master, noe som igjen bl.a. ville fordyre kraftledningsbygging betydelig.

En flat linekonfigurasjon er å foretrekke sammenlignet med en vertikal, dvs. liner bør samles i så få plan som mulig (Bevanger 1994a). I Nederland viste det seg at kollisjonshyppigheten betydelig redusert ved å gå over til en mastekonstruksjon med bare to ledningsnivå (Renssen m.fl. 1975). Mange norske energiverk understreket i sine svar på et spørreskjema (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1994a), at de hadde observert at trekantoppheng (**Figur 15**) i særlig grad forårsaket fuglekollisjoner.

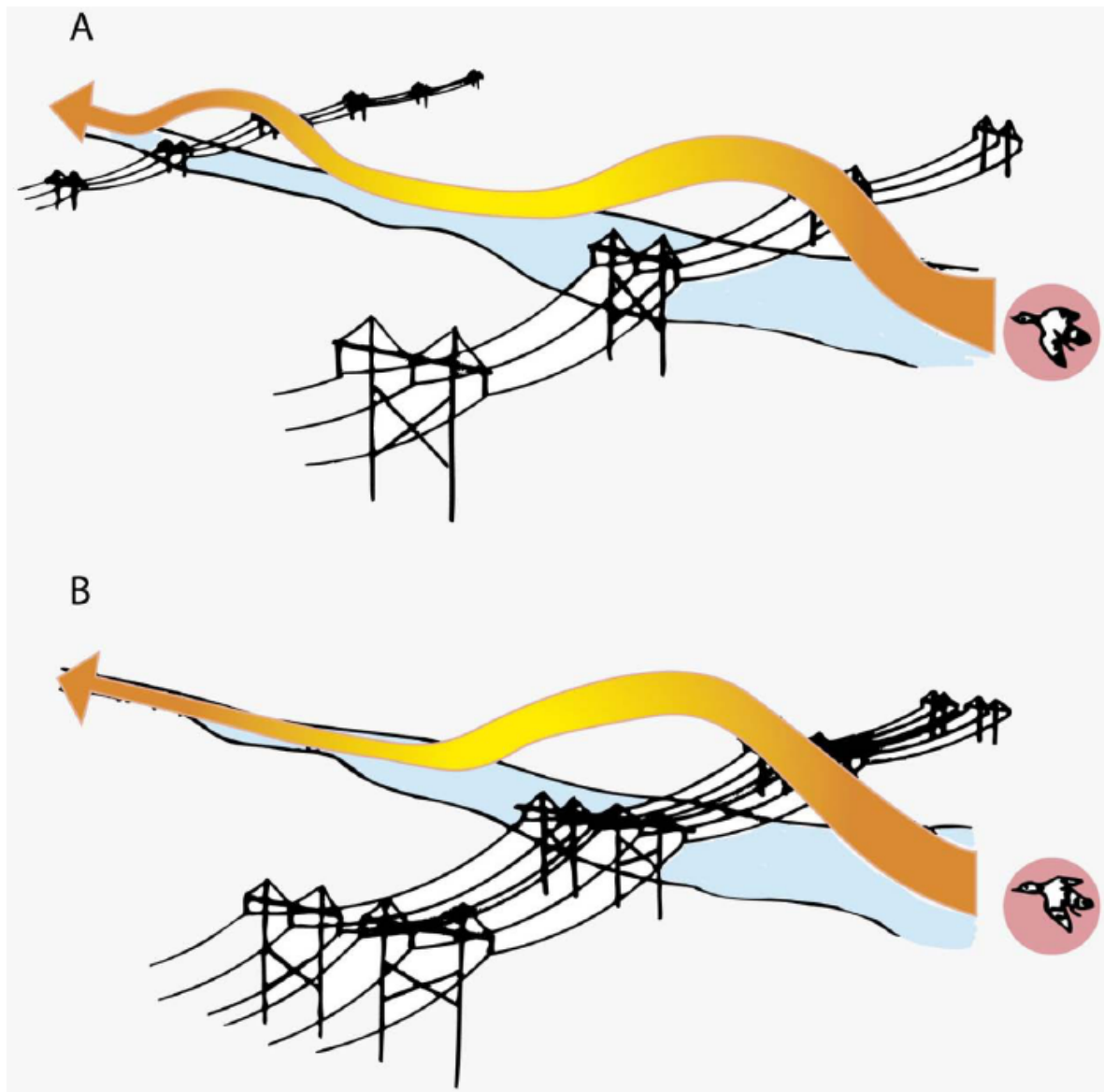


Figur 15. En flat konfigurasjon er å foretrekke fremfor trekantoppheng slik som bildet viser – mye tyder på at kollisjonsfaren noen steder reduseres proporsjonalt med reduksjon i antall "etasjer" med ledninger. Foto Kjetil Bevanger.

Effekten av å redusere antall linenivå ble testet i Hemsedal over en 6-årsperiode (Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2001). En 2,5 km lang strekning av en 22 kV ledning eid av Hemsedal Kommunale Elektrisitetsforsyning med underliggende jordline ble patruljert ukentlig i perioden april 1989 til mars 1992. Da ble jordlinen fjernet og samme strekning ble patruljert ukentlig i nye 3 år. Det viste seg at antall kollisjoner hos rype ble redusert med 51 % etter at jordlinen ble fjernet (Bevanger & Brøseth 2001).

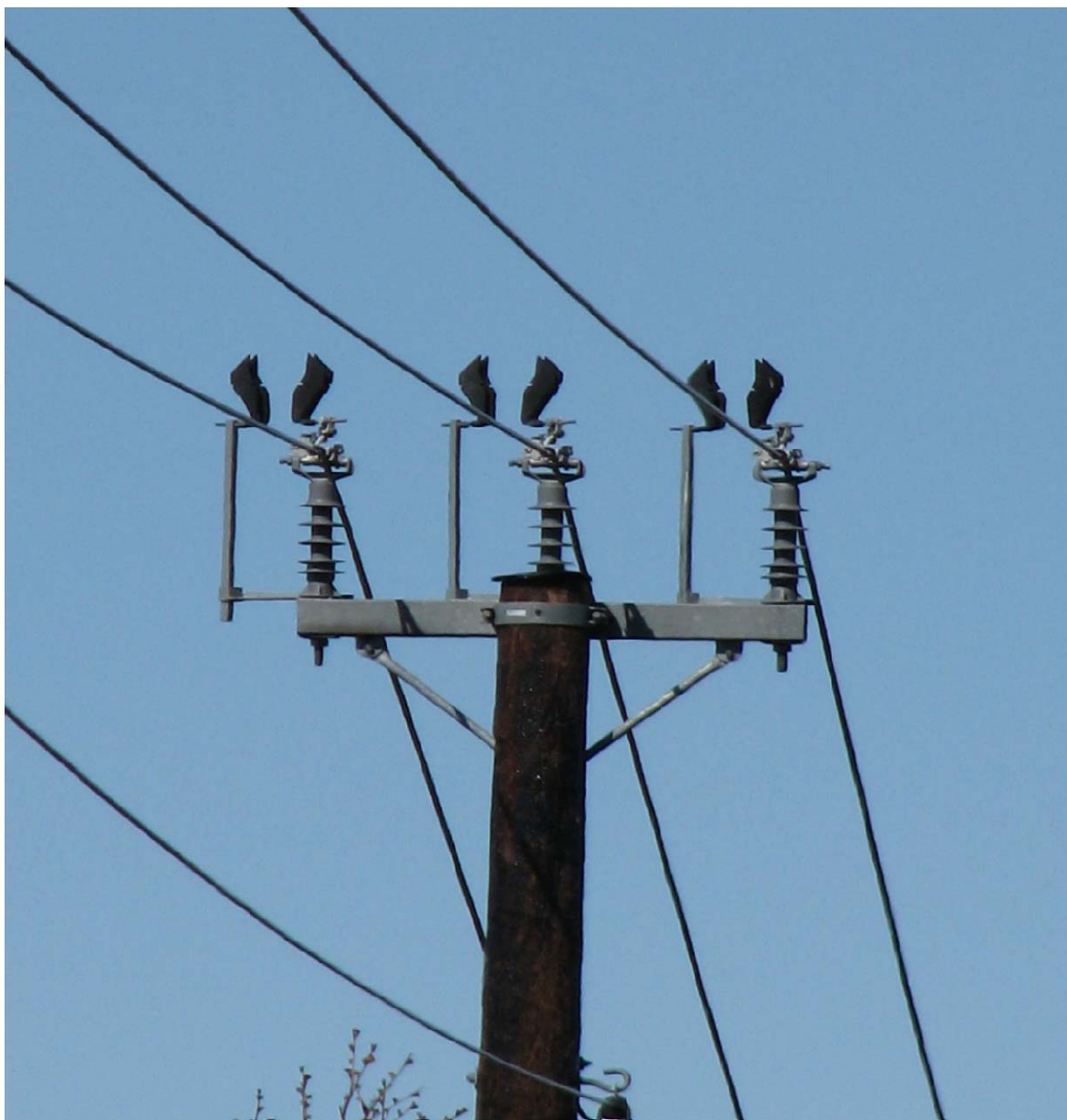
Det kan være fornuftig å samle flere kraftledninger langs en felles trasé (Thompson 1978) (**Figur 16**). Dette kan medføre at linene blir lettere å oppdage og at det totalt sett blir båndlagt mindre arealer. Fugler vil i tilknytning til slike lett synlige kraftledningskorridorer være nødt til å foreta én i

stedet for flere unnvikende manøvre. Kraftledningstraséer som ligger parallelt, men med noe avstand til hverandre, tvinger fugler til å foreta en rekke unnvikende manøvre, med en derav følgende økning i kollisjonsrisiko. På en annen side vil kraftledninger samlet i én felles korridor og med liner i mange høydenivå kunne medføre betydelig kollisjonsrisiko for fugler når det er dårlig vær og redusert sikt.



Figur 16. Kraftledningstraséer som ligger parallelt, men med noe avstand til hverandre, tvinger fugler til å foreta en rekke unnvikende manøvrer, og følgelig økt kollisjonsrisiko. Dette er særlig uheldig ved kryssing av ledelinjer i terrenget som fuglene benytter seg av, slik som f.eks. elver. Kraftledninger samlet i en felles korridor, og med liner i mange høydenivå, vil imidlertid kunne medføre betydelig kollisjonsrisiko for fugler når det er dårlig vær og redusert sikt (etter Thompson 1978).

Nettselskapene har i økende grad tatt i bruk forskjellige typer luftkabler i fordelingsnett, både høyspent og lavspent. Den vanligste type luftkabel ved 22 kV er BLX-line (eventuelt AXUS) (**Figur 17**). Dette er en "vanlig" luftline med isolasjon for å kunne ha et smalere ryddebelte i forhold til trær etter som de kan tåle en viss periode med innbyrdes berøring uten å forårsake overslag. Dette er trolig en fordel i forhold til å unngå kollisjoner (jfr. Bevanger 1990). Disse kablene har så pass stor diameter at de blir mer synlige enn vanlige faseledere av FeAl. I tilfelle kollisjon mot en luftkabel må det også antas at eventuelle skader ikke i samme grad får dødelig utgang som ved påflygning mot en metalline.



Figur 17. BLX-line er en “vanlig” luftline med isolasjon for å kunne ha et smalere ryddebelte i forhold til trær da de tåler en viss periode med innbyrdes berøring uten å forårsake overslag. BLX line reduserer trolig kollisjonsfaren for fugl i og med at kablene har så pass stor diameter at de blir mer synlige enn vanlige faseledere av FeAl. Bildet viser en BLX line med selvslukkende gnistgap og underliggende jordline. Foto Kjetil Bevanger.

Luftledninger for høyspente overføringssystemer har ofte én eller flere jordleder(e) til vern mot lyn og andre overspenninger. Jordliner er enten plassert over eller under faselederne. Fjerning av jordliner har vist seg å føre til redusert kollisjonshyppighet (Beaulaurier 1981, Beaulaurier m.fl. 1984). Flere har understreket at jordlinene i særdeleshet mistenkes for å forårsake mange kollisjoner (se for eksempel Meyer 1978, James & Haak 1979, Willdan Associates 1982). Øyenvitneberetninger om svaner som har vært i stand til å unngå kollisjoner mot faselederne, men som ved å stige har fløyet inn i jordlinene, finnes det flere av (Bevanger 1994c).

Overføringsledninger i Sverige ble tidlig utstyrt med tykkere jordliner (Lindgren 1984). Det mangler imidlertid empiriske data som kan gi klare bevis for at det er et generelt inverst forhold mellom

kollisjonsfrekvens og jordline- og faselederdiаметer. Undersøkelser omkring rypekollisjoner i Sør-Norge fant ingen sammenheng mellom linediаметer og kollisjonsomfang (Bevanger m.fl. 1998).

Alternativer til jordliner er generelt vanskelig å finne og må vurderes etter spenningsnivå. For distribusjonsnettet (inntil 24 kV) er gjennomgående jordline relativt lite brukt. Der den er brukt, er den lokalisert under faselederne. På dette spenningsnivået er jordlinens funksjon knyttet til jording, og ikke til vern mot overspenninger som skyldes lyn slik som toppliner på høyere spenningsnivå. Bruk av gjennomgående jordline på 22 kV er i stor utstrekning basert på skjønn og tildels "tradisjon" (Bevanger 1994a). Det er grunn til å se kritisk på slik jording, spesielt i områder med mye fugl. Alternativer til gjennomgående jordline på 22 kV er først og fremst bedre jording rundt transformatoranlegg, eventuelt å grave jordlina ned over kortere eller lengre strekk.

For spenninger fra 45 kV og oppover er gjennomgående jordline plassert på toppen av mastene, og kalles toppline. Funksjonen til topplina er vern mot lynoverspenninger. Over kortere strekning er kan det være aktuelt å grave den ned, for eksempel over ledningsstrekk der fugl er spesielt utsatt. Nedgraving av topplina over en lang strekning er ikke ønskelig fordi man da mister topplinas vernevirksomhet mot lynoverspenninger.

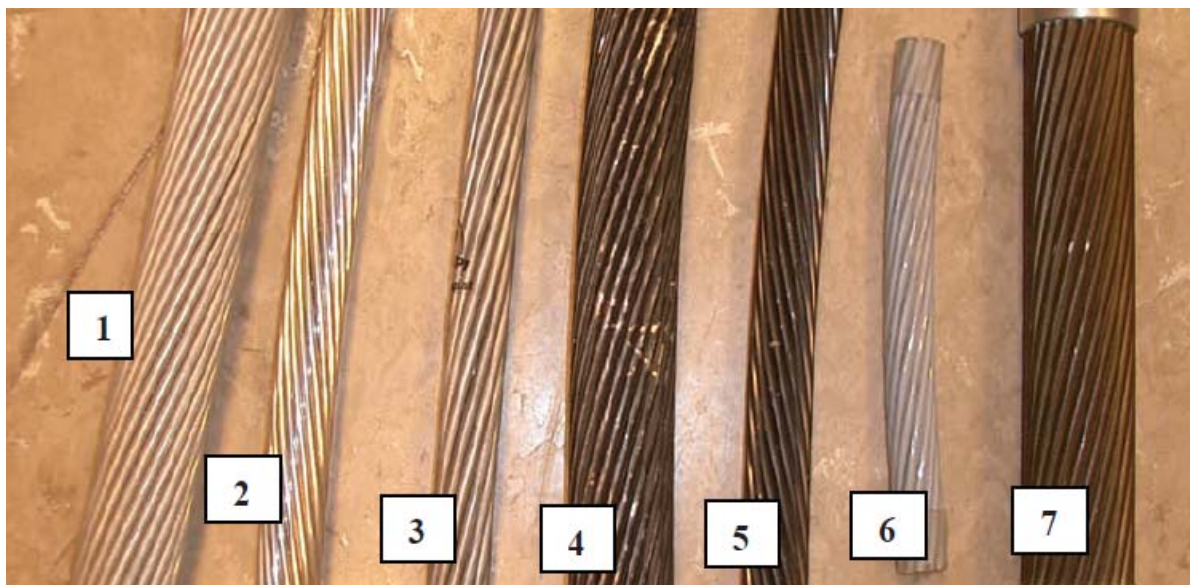
3.5 Teknologiske løsninger for å redusere kollisjoner

Det er i det foregående pekt på hvordan kollisjonsomfang hos fugler kan påvirkes, og tildels reduseres, ved å ta i bruk eksisterende kunnskap om hvilke landskapselementer som er viktige for fugler og hvordan topografiske, meteorologiske og geografiske betingelser er med og styrer fuglers atferd. Det er imidlertid viktig å evaluere hvordan utstyr, spesielt utviklet med det for øyet å redusere fuglekollisjoner mot kraftledninger, fungerer. Den vanlige "løsningen" når fuglekollisjoner mot kraftledninger skal reduseres, er linemerking. Linemerking (inklusive akustiske hjelpemidler) har vært omfattet med betydelig oppmerksomhet i nærmere 40 år, og en rekke ulike merkemetoder er utviklet slik at et imponerende utvalg av "skremsler" som kan festes til enten faseledere eller jordliner eller begge deler, er kommet på markedet.

Det er vanskelig for energiforvaltningsmyndighetene å komme med påbud om tiltak overfor netteier som allerede har en konsesjon og konsesjonsbestemmelser å forholde seg til. Det er derfor i første rekke ved nybygging og opprusting av eldre ledninger at nye erkjennelser om mer miljøvennlige løsninger kan materialiseres. Den overordnede målsettingen når nybygging og restaurering gjøres må naturligvis være å få lagt det meste av ledningsmassen under 24 kV i bakken. Det løser både problemer med kollisjon og elektrokusjon hos fugl. Den økonomiske siden ved slik omlegging vil trolig være uproblematisk, ikke minst fordi eventuelle merkostnader og nyinvesteringer vil skje over et relativt langt tidsrom.

3.5.1 Linefarging

Vellykket linefarging (kulørte plastikkovertrekk, maling av liner) ble rapportert fra Norge på et svært tidlig tidspunkt. Et stadig økende antall meldinger om sangsvaner som kolliderte mot høyspentledninger på nordvestlandet, resulterte i at et farget (fosforiserende) plastikkovertrekk ble montert på linene på det kollisjonsutsatte spennet. Faselederne på et annet ledningsavsnitt ble malt signalrøde. Disse tiltakene førte tilsynelatende til en nedgang i kollisjonshyppighet (Folkestad 1978, 1980). Svakheten ved disse undersøkelsene, slik som for de fleste andre av tilsvarende type, var at det ikke var datagrunnlag for statistisk testing.



Figur 18. Faseledere og jordlinjer kan farges og overflatebehandles på ulike måter slik at de blir mindre synlige (etter Johnson 2008).

Langt større oppmerksomhet og forskningsinnsats skulle knyttes til hvilken farge som bør brukes ved linefarging (**Figur 18**), og i tilknytning til OPTIPOL-prosjektet vil det bli foretatt en gjennomgang av dette temaet. Den rolle fargesyn spiller for et dyrs persepsjon, atferd, økologiske tilpassning osv., varierer sterkt mellom ulike dyregrupper. Fugler har imidlertid generelt det best utviklede og komplekse fargesyn av alle.

Senere års forskning har vist dette både gjennom molekylærbiologiske og cytologiske studier, så vel som atferdsmessige eksperimenter. Det er tappene som spiller den sentrale rollen for evnen til fargesyn. Tettheten av staver (antall pr. mm²) øker med avstanden fra synsgropen, samtidig som tettheten av tapper avtar. Mennesket har tre typer tapper, med særegne, spektrale følsomheter, og dette gjør *trikromatisk fargesyn* mulig. Mangler én av disse tre, oppstår en vanlig form for fargesynsdefekt, nemlig *dikromasi*, hvilket fører til fargeforvekslinger, som f.eks. manglende evne til å skille mellom røde og grønne farger ("fargeblindhet").

I fugleøyet fanges lyset av fotoreseptorene ved at energien i lyskvantene som absorberes i reseptorenes fotpigmenter omgjøres til elektriske potensialforskjeller. I tappene skjer dette ved et pigment som består av et protein (*opsin*) bundet til et fettløselig molekyl - *retinal* (som er aldehydet av A-vitamin). At tapper har ulik følsomhet i ulike deler av spekteret (de har m.a.o. ulik spektral absorpsjon), skyldes tilstedeværelsen av ulike opsiner. Generelt synes tappene i netthinnen hos fugler å ha tre eller flere typer opsiner. Tre eller fire tapp-pigmenter er funnet hos et relativt stort antall fuglearter. Ettersom et pigment kan være assosiert med ulike typer av små oljedråper ("oil droplets"), vil det mulige antall kromatiske kanaler, i prinsippet, kunne være større enn antall tapp-pigmenter. Hos de fleste virveldyr er tilstedeværelse av små oljedråper vanlig i tappene (men ikke i stavene). Oljedråpene består av lipider, der karotenoidpigmenter (vanligvis *xantophyller*), er oppløst. Avhengig av type og mengde av karotenoid, fremstår dråpene transparente, klare, blekgul til grønn, oransje eller rød. Ettersom de er lokalisert til den distale enden hos det innerste tapp-segmentet, dekker de reseptorens totale utstrekning. Lyset må derfor passere gjennom dråpen før det entrer det ytre, fotosensitive segmentet.

Hos alle fuglearter som er undersøkt så langt, er pigmentet som absorberer ved de lengste bølglengdene (nær 570 nm, grovt sett det spektrale området som representerer "rødt"- og "grønt"-sensitive pigmenter i primatenes retina), mest utbredt. Dette er *iodopsin*, som først ble ekstrahert fra kylling (*Gallus* sp.). Dette synes å være det synspigmentet som dominerer den fotopiske, spektrale følsomheten hos fugler. Det optiske systemet hos fugleøyet er i stand til å overføre alle bølglengder fra rødt til ultrafiolett. Mikrospektrofotometriske studier har vist at fargesyn-systemet hos mange fugler er basert på fire pigmenter med absorpsjonstopper i fargespekterets røde-, grønne-, blå- og UV-region. Muligheten til å "se" nær UV-delen i spekteret, går trolig på bekostning av skarpheheten av det bildet som dannes, på grunn av kromatiske avvik. Ved å absorbere korte bølglengder, vil de fargede, små oljedråpene hos fugler - på samme måte som den gule øyelinsen hos

mange pattedyr – redusere skarpheten, og i tillegg kunne frembringe en selektiv beskyttelse mot skadelige effekter av UV-stråling. På grunn av at de små oljedråpene er med og modifierer den spektrale sammensetningen av lyset som treffer fotopigmentene, har det lenge vært antatt at de spiller en rolle i tilknytning til fuglenes fargesyn.

Tilstedeværelsen av et fjerde pigment (UV), utgjør den store forskjellen mellom menneskets *trikromatiske* og fuglers *tetrakromatiske* syn (f.eks. Wilkie m.fl. 1998, Ödeen & Håstad 2003). Undersøkelser har vist at dette kan spille en avgjørende rolle i tilknytning til ulike aspekter av fuglers atferd, f.eks. i tilknytning til valg av mate (seksuell seleksjon, se f.eks. Bennett m.fl. 1996, 1997) og det å kunne oppdage mat. Vokslag hos frukt reflekterer UV, noe også skinn og andre overflattetyper hos en del blå- og grønnfargede bær, grønnsaker og frukter kan gjøre (Burkhardt 1982, Siitari m.fl. 1999). Blant røde, gulgrønne, blå og fiolette fjær er det også mange som reflekterer i den synlige delen av spekteret så vel som i UV-regionen. Undersøkelser gjort i Sverige (Lind & Kelber 2009) der papegøyer er brukt som forsøksdyr har vist at fargesynet hos fugler slutter å fungere ved langt høyere lysmengde enn det en trodde tidligere, dvs. at de ser dårlig når det begynner å skumre. I følge Lind & Kelber (2009) trenger fugler mellom 5 og 20 ganger så mye lys som mennesker for å se farger.

3.5.2 Fysisk forstørrelse

Merkeutstyr med forskjellig utseende og farge (ballonger, kuler, spiraler, plastikkstrimler osv) kan festes på faseledere og/eller jordlinjer (se for eksempel Renssen m.fl. 1975, Koops 1985). Fugleavvisere ("Plastic Bird Flight Diverter") (**Figur 19, 20**) er det utstyr som er mest brukt. Disse forekommer også i forskjellige farger og med forskjellig fasong. Fugleavvisere i form av spiraler monteres på fase- og jordlinjer. Spiralene kan monteres som AUS (arbeid uten spenning) på fasen ved hjelp av isolerstang. Avstanden mellom merkene må ikke bli for stor slik at fuglene oppfatter mellomrommene som potensielle kryssingspunkter. Dette må vurderes i forhold til hvilke arter som er "målarter". Spiralene kan også bidra til å redusere antall driftsforstyrrelser i nettet pga. fasesammenslag etter kollisjon med bl.a. svaner, men økt vindfang og mulige isproblemer kan gi økt slitasje i lineoppheng. Erfaring med lignende objekt kan tyde på at de åpne PVC-spiralene ikke gir vesentlig slitasje eller korrosjon på selve linen. Spiralene kan muligens dempe vibrasjoner og redusere faren for utmatting i opphengspunkt. Vi vet lite om merkeanordningens materialbestandighet. Fugleavvisere kan av enkelte oppfattes å "gi et mer uryddig visuelt inntrykk". Kostnaden for slik merking utgjør ca. 15 000-20 000 kr/km (Bevanger & Refsnæs in prep.).



Figur 19. Såkalte "Plastic Bird Flight Diverter" er de mest benyttede merkemethodene av faseledere og jordlinjer. Dette er en eller annen form for "spiral" som kan variere i farge og utforming avhengig av produsent.

Merking av liner bør gjøres i tilknytning til fuglerike områder, f.eks. våtmarker og verneområder hvor vernet er begrunnet i rikt fugleliv. Ved kryssing av elver og andre potensielle trekkleder vil merking også være å anbefale. Blant annet kan data fra feil og avbruddstatistikk hos kraftselskapene benyttes for kartlegging av utsatte soner. Som for linemerking generelt finnes få vitenskapelige eksperimenter som har vist at kollisjonshyppigheten hos enkeltarter reduseres. Noen eksperimenter, bl.a. i Spania og England, har imidlertid vist signifikant nedgang både i kollisjonshyppighet og kryssingsintensitet hos flere fuglearter etter merking av jordliner og faseledere med fargede PVC spiraler.

På overføringsledninger med duplex, triplex eller quadriplex konfigurasjon, er de enkelte linene i en "bunt" holdt i permanent avstand fra hverandre ved at det er satt på en "avstandsholder" med jevne mellomrom. Disse avstandsholderne kan i seg selv virke som merker ved siden av at slike linebunter også blir lettere synlig (jfr. Renssen m.fl. 1975).

Det er viktig også når det gjelder spørsmål om merking av kraftledninger at en står overfor så vel arts- som stedsspesifikke utfordringer og det er følgelig svært vanskelig å gi generelle råd om når og hvor merking bør foretas. Selv om det foreligger dårlig dokumentasjon på effektene av merking kan følgende tommelfingerregler benyttes:

- Kjente kollisjonspunkt ("hot spots")
- Områder med mye fugl
- Linespenn over opplagte ledelinjer (f.eks. elver, trange daler og sund)
- Kryssing av lokale trekkveier mellom funksjonsområder (f.eks. hekkeplass og næringsområde)
- Fokus på dagaktive arter og arter kjent for å kollidere (f.eks. svaner og traner)



Figur 20. I løpet av de siste 40-50 år er en rekke metoder brukt for rent fysisk å "forstyrre" linene og gjøre dem mer synlige ved å bruke ballonger, kuler, spiraler, ribber, plastikkstrimler osv. Ved de fleste forsøkene er det benyttet metoder som ikke har tatt i betraktning faktorer som flygeintensitet, værforhold, habitattype/topografi, tidspunkt på året eller artsspesifikke faktorer. Ved merking med gule, vibrerende spiraler eller gule, svingende fiberglassplater i USA ble det imidlertid registrert en signifikant reduksjon (>50 %) i kollisjonsomfang hos traner og ender langs de merkede avsnittene. Til venstre "Fågelavvisare Firefly för linmontage (E0668347 - Hammarprodukter)". Til høyre "Fågelavvisare Firefly för linmontage (E0668349 - Hammarprodukter)".

3.5.3 Silhuetter og predatoretterligninger

Etter som mange kollisjoner finner sted under dårlige lysforhold er merkemetoder som også er synlige i dårlig lys å foretrekke. Nederlandske ornitologer har eksperimentert med rovfuglsilhuetter (Heijnis 1980). Forskjellige typer ble testet ved nattekvarter og rasteplass i et fuglereservat på flere arter. Den mest effektive silhuetten, som var en etterligning av en hauk/falk, ble satt opp i 1977 på en 150 kV overføringsledning og resulterte i en signifikant nedgang i kollisjonsfrekvens (Heijnis 1980). Effekten av silhuetten syntes heller ikke å avta over tid. Skremselsinnretninger for fugl er vanligvis virksom for fugl på trekk, dvs. fuglene oppholder seg ikke i området lenge nok til at de blir vant til dem.

3.5.4 Bruk av lys

Nattaktive arter, og dagaktive som trekker om natten, representerer naturlig nok en spesiell utfordring. Stasjonær belysning gjennom bruk av sterke lyskilder er ikke noe alternativ. Det er for eksempel vel kjent at et meget stort antall fugler hvert år drepes langs de skandinaviske kystområdene ved at de kolliderer mot fyrtårn (Mehlum 1977) og off-shore oljeanlegg (Lid 1977). Fuglene blendes og blir desorientert (se for eksempel Alerstam & Karlsson 1977). I USA har det vært rapportert om store tapstall i forbindelse med at fugler har kollidert mot barduner festet til lystårn (ceiometre eller skyhøydemålere) eller at de også har blitt blendet og utmattet og drept mot bakken (Arend 1970, Avery m.fl. 1976). Longridge (1986) rapporterte at ESCOM (The Electricity Supply Commission) i Sør-Afrika har forsøkt å utvikle lysrør festet til toppliner på høyspentledninger som skal kunne gløde ved å utnytte energien i det elektromagnetiske feltet rundt faselederne (lavenergetisk, luminiserende lys). Det gjenstår imidlertid mye forskning omkring bruk av lys – eksempelvis pulserende lyskilder og bruk av UV. Det er tidligere foreslått å teste hvorvidt UV-coating kan bidra til å gjøre kraftledninger mer synlig for fugl (Bevanger 1998b), og også søkt Norges forskningsråd om økonomisk støtte til å forske på dette (Bevanger m.fl. 2004, 2005) uten at finansiering ble gitt.

3.5.5 Akustiske skremmemetoder

Akustiske metoder kan, ifølge Blokpoel (1976), deles i a) ultrasoniske lyder (dvs. over 20 000 Hz), b) kunstige lyder, for eksempel kanoner, klokker, alarmer og fløyter, c) lydopptak av naturlige varslingslyder hos fugl og d) syntetiske lyder (eksperimentelt utviklede lyder). I første rekke er det vinddrevne fløyter og bjeller som kan festes til luftliner.

Ulike fuglearter har ulik sensitivitet overfor ulike bølgelengder av lyd. Det er imidlertid generell enighet om at fugl ikke responderer på ultrasonisk lyd (Boudreau 1968, Catchpole 1979). Når det gjelder kunstig lyd ("støy" som gasskanoner og varselsskrik) (**Figur 21**) er dette en alminnelig brukt metode for å skremme vekk arter som er å betrakte som "pestarter" (for eksempel i forhold til korn og frukt dyrking) og arter som kan være en trussel mot flysikkerheten. Det er derfor utviklet en rekke hjelpemidler for å produsere skremmelyder (se for eksempel Frings & Frings 1967, Anon. 1986). Test av en "høyteknologisk skremmekråke" som har vært i salg i Australia (dvs. en lydproduserende konstruksjon som frembringer hørbar og ultrasonisk lyd) viste seg å være uten virkning i forsøk på å skremme stær (Bomford 1990). Høye lyder i seg selv synes ikke å affisere fugl (se Blokpoel 1976). For eksempel assosierer småviltarter lyden fra en gasskanon med fare, og er således effektiv for disse, mens arter som ikke utsettes for jakt, ikke lar seg skremme. Habituering er imidlertid alltid et problem.

Blokpoel (1976) laget en oversikt over hva som er gjort innen bioakustisk forskning i forhold til det å kunne få fugl til å holde seg vekk fra flyplassområder. Varsellyder fra fugler har vært brukt rutinemessig i skremmeøyemed og Blokpoel (1976) påpekte at videre forskning kan komme til å vise at andre typer naturlige lydytringer fra fugl kan vise seg å være mer effektiv. Moderne teknikk har "skapt" syntetisk lyd, dvs. naturlig lyd kan forvrenges og nye lyder kan skapes for å produsere superstimuli (Tinbergen 1956) for fugl. I løpet av de 30-40 årene som er gått siden den gang er

det fremdeles ikke utviklet auditive systemer som er effektive for å holde fugler på avstand fra flyplasser eller andre steder de er uønsket (se for eksempel Dooling 2002, Drewitt & Langston 2006, Kålås & Johnsen 2007).



Figur 21. Gasskanon er brukt hyppig til å skremme vekk fugler fra områder de har vært uønsket, det være seg gjess fra beitemark eller fugler fra flyplasser. Foto: Arne Follestad.

3.6 Vurdering av effekt

Etter som fuglekollisjoner mot kraftledninger i stor utstrekning finner sted under dårlige vær- og lysforhold, er merkemetodene nevnt ovenfor av tvilsom verdi og vil i beste fall bare kunne være til nytte for dagaktive arter. Merking har imidlertid blitt hevdet ikke bare å øke synbarheten av linene, men også å hjelpe fugl til bedre å kunne bedømme avstanden til dem slik at de i tide kan foreta unnvikende manøvre (se for eksempel Koops 1986). Det er imidlertid også hevdet at merking av typen ballong/kuler/spiraler ("spacer type") resulterer i at fugler ser dem, korrigerer kursen for å passere mellom dem, men slik at de like fullt kolliderer. Koops (1986) hevdet at det er sterke indier på at kollisjonsfrekvensen går ned når avstanden mellom utplasserte merker langs en line er kort, for eksempel 5 m (hvilket bl.a. kan oppnås med alternerende merking av parallelle liner). Koops (1986) støttet sin argumentasjon på det faktum at de fleste fuglearter har øynene festet på siden av hodet slik at det synsfeltet som fremtrer stereoskopisk eller flerdimensjonalt, og følgelig tillater avstandsbedømmelse (dvs. det felt som oppfattes samtidig av begge øynene når blikket er rettet forover), er relativt smalt. Dette samsvarer imidlertid dårlig med det som i dag er den vanlige oppfatning blant forskere (se for eksempel Martin 1985, 1990, 2007, 2009, 2010, Schmidt-Morand 1992). Den optiske struktur hos fugleøyet, dets plassering og bevegelsesmuligheter i øyehulen, gjør at majoriteten av fuglearter er i stand til visuell dekning av det meste av verden rundt seg. Om ikke nødvendigvis på en stereoskopisk måte, så gir dette fuglene en enestående

mulighet til å oppfatte en romlig virkelighet og til å bedømme relative avstander og vurdere strukturer og topografiske forhold av betydning. Økt kunnskap om ulike fuglearters syn vil utvilsomt vise seg å være svært nyttig i arbeidet med å utvikle nye "fugleavvisere" og "fugleskremser" som kan brukes til å synliggjøre luftlinjer og andre kunstige lufthindre.

Det første merkingseksperimentet som fant sted i tilknytning til kraftledninger synes å ha vært i England ved Teesmouth i 1964 (Scott m.fl. 1972). Det ble her benyttet 15 cm lange, sorte plaststrimler og resultatet var en tilsynelatende nedgang i kollisjonsfrekvens. Senere merkingsforsøk, hvor det ble brukt forskjellige varieteter av disse strimlene, ribber, ballonger etc., klarte imidlertid ikke å frembringe empirisk støtte for noen entydig, positiv effekt. Ved de fleste forsøkene er det dessverre benyttet metoder som ikke har tatt i betraktning faktorer som flygeintensitet, habitattype/topografi, tidspunkt på året eller artsspesifikke egenskaper når det gjelder sensitivitet i forhold til lys og værforhold. Muligheter til å foreta pålitelige sammenligninger av kollisjonsrater før og etter merking er følgelig betydelig redusert.

Et eksperiment utført i Colorado, USA der kollisjonshyppighet mot merkede/umerkede avsnitt av en kraftledning ble sammenlignet, viste en signifikant reduksjon (>50 %) i kollisjonsomfang hos traner og ender langs de merkede avsnittene (Brown & Drewien 1995). Merkingen var i dette tilfellet utført med gule, vibrerende spiraler eller gule, svingende fiberglassplater. Morkill & Anderson (1991, 1993) registrerte også signifikant nedgang i kollisjonshyppighet hos "sandhill crane" i Nebraska langs merkede/umerkede ledningsavsnitt. Merkingen var i dette tilfellet utført med gule kuler. Av andre undersøkelser som til dels er internasjonalt publisert kan nevnes Alonso m.fl. (1994), Savereno m.fl. (1996), Janss & Ferrer (1998), Crowder (2000), Anderson (2002), De la Zerda & Roselli (2003), Yee (2008). Jenkins m.fl. (2010) har nylig publisert en omfattende oversikt over temaet.

"Reaksjonsstudier", dvs. observasjoner av hvordan fugler i flukt reagerer når de blir oppmerksomme på en luftline foran seg, har vært utført i tilknytning til flere studier (se for eksempel Meyer 1978, James & Haak 1979, Willdan Associates 1982, Fredrickson 1983, Brown m.fl. 1987, Faanes 1987, Bevanger 1994c). Dette kan være en nyttig metode for å lære mer om hvilke sensoriske effekter ulike merkemetoder har i forhold til ulike arter.

3.6.1 Avbøtende, kollisjonsreduserende tiltak oppsummert

Kort summert har linemerking så langt ikke vist seg å være noen "endelig" løsning på kollisjonsproblematikken, på tross av at enkelte merkeforsøk synes og ha vært vellykket på enkelte ledningsavsnitt i forhold til enkelte arter. Det kan derfor sies at utgifter i forbindelse med merking primært kan forsvares når det er snakk om kortere ledningsavsnitt som krysser fuglerike områder. Det er imidlertid ingen bred konsensus blant biologer om disse spørsmålene, noe som blant annet må ses i sammenheng med mangel på tilfredsstillende dokumentasjon. Med referanse til "føre vår prinsippet" kan det imidlertid hevdes at merking likevel bør gjennomføres i en del tilfeller. Det bør imidlertid nevnes at fra et teknisk synspunkt er linemerking ikke uproblematisk. Merkeutstyr som medfører fysisk "forstørrelse" av linene kan skape problemer, bl.a. ved å virke som vindfang og ved å forårsake ekstra store islaster om vinteren slik at linene kan ryke. Den generelle bestandsnedgangen som er observert hos en rekke fuglearter er, sammen med behov for mer kunnskap om virkninger av linemerking, utvilsomt et godt argument for å intensivere forskningsinnsatsen på området kraftledning-fugl. Dette er derfor også tatt opp som tema i OPTIPOL.

Når det bl.a. gjelder hønsefugl synes det så langt å være få aktuelle tiltak i forhold til den eksisterende ledningsmassen som vil hindre kollisjonsulykker uten betydelige kostnader. For enkelte andre arter som for eksempel svaner, kan mindre ressurskrevende tiltak som linemerking trolig bidra til mindre kollisjonsomfang. Et viktig element i forundersøkelser når nye kraftledninger skal bygges må være kartlegging av sentrale trekkveier (med bl.a. registrering av flygehøyde og døgn- og årstidsvariasjoner i flygeintensitet) hos fugl og kartlegging av nøkkelbiotoper for ulike arter i tilknytning til potensielle traséer. Bruk av fugleradar vil her kunne være et avgjørende hjelpemiddel.

4 Dødelighet og bestandsregulering

Noe av det vanskeligste innen økologisk forskning er å vurdere populasjonsmessige konsekvenser av en bestemt dødelighetsfaktor. For det første er det vanskelig å isolere den faktor det er ønskelig å studere fra andre faktorer; for det andre er det vanskelig å frembringe gode nok estimater for tapsomfang, og for det tredje er det vanskelig å frembringe bestandsestimater og andre nødvendige demografiske data for den populasjonen det er ønskelig å vurdere. De vurderinger som kan gjøres blir følgelig av relativt generell karakter.

Det kan være illustrerende å benytte kaliforniakondoren *Gymnogyps californianus* som eksempel. Arten har hatt en dramatisk tilbakegang i løpet av de siste 100 årene og vært utsatt for en rekke dødelighetsfaktorer; særlig har bønder vært raske til å ta frem hagla når en kondor har dukket opp. Utlagt åte med gift har også hatt dramatiske konsekvenser for bestanden. Kraftledninger har vært kjent som en av flere, mer kuriøse dødelighetsfaktorer, men uten å ha vært tillagt noen større betydning.

Midt på 1980-tallet ble de siste ville kondorene innfanget og det har de siste årene vært arbeidet intenst for å berge arten fra utryddelse gjennom et kunstig oppdrettsprogram. I 1992 ble det satt ut 8 kondorer i deler av det gamle utbredelsesområdet for arten. Høsten 1993 ble det meldt at bare 4 av disse fuglene var i live. Én hadde mistet livet på grunn av forgiftning, tre andre var døde på grunn av elektrokusjon. De tre individene som ble drept i tilknytning til kraftledninger representerer med andre ord over 37 % av totalbestanden (Mestel 1993). Dette illustrerer et viktig økologisk prinsipp, nemlig at når det dreier seg om truede og sårbare arter er det spesielt viktig å være klar over at de omstendigheter eller den faktor som til syvende og sist medfører at en art blir utryddet, kan være helt forskjellig fra det som i utgangspunktet fikk artens bestandsstørrelse til å falle til et sårbart nivå (se for eksempel Temple 1986).

Når det gjelder omfang av kraftledningsdødelighet i forhold til norske hønsefuglarter, vekker det interesse av helt andre årsaker. Her er det ikke snakk om at arter står i fare for å bli utryddet, men de er økonomisk interessante i forhold til jakt. Omfanget av dødeligheten er naturlig nok et sentralt punkt. På tross av at det de siste 25 årene er dokumentert at kraftledninger er en regulær dødelighetsfaktor for hønsefugler (Bevanger 1988, 1995, Thingstad 1989, Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2001, 2004), har det vært vanskelig å komme frem til pålitelige estimater for hvor mye fugl som drepes lokalt, regionalt eller nasjonalt.

Bevanger (1995) benyttet et digitalisert kartgrunnlag for høyspentnettet som dekket relativt store deler av landet, sammen med andre digitaliserte kartdata, for å beregne hvor mange km kraftledninger som var knyttet til henholdsvis rype-, storfugl- og orrfuglterreng. På bakgrunn av en korrigert funnfrekvens og antall km høyspentledninger som krysser et artsspesifikt habitat, ble de totale tap for ulike årstider estimert. Sammenlignes de estimerte kollisjonstapene med det årlige jaktuttaket av de samme artene, representerer de henholdsvis 9 %, 47 % og 90 % for rype, orrfugl og storfugl. Estimert, årlig, gjennomsnittlig jaktuttak for perioden 1987/88 til 1991/92 var 572 000 ryper, 55 500 orrfugl og 22 200 storfugl (Statistisk sentralbyrå 1992). Denne beregningsmodellen var naturlig nok beheftet med mange usikkerhetsfaktorer, ikke minst på grunn beregningsgrunnlaget. Det antall kollisjonsoffer som blir funnet når kraftledninger patruljeres, representerer minimumstall og det er derfor viktig å finne korreksjonsmuligheter (Bevanger m.fl. 1994, Bevanger 1999). De viktigste feilkilder er knyttet til (i) fugl som blir oversett under patruljeringen, for eksempel fordi patruljøren "har en dårlig dag" eller fordi offeret er nedsnødd eller ligger gjemt i ufremkommelig og uoversiktlig busk og kratt; (ii) fugl som fjernes av åtseletere før patruljøren kommer til stedet, og (iii) fugl som får dødelige skader, men som klarer å fjerne seg tilstrekkelig fra ledningene til at de ikke blir funnet under feltarbeidet. Ved å bruke spesialtrent hund til å finne kollisjonsofre (Bevanger m.fl. 2010b), samt bruk av bedre analysemetoder basert på digitaliserte data for kraftledninger og bruk av GIS, vil det i årene som kommer være mulig å få langt bedre estimater for regionale og nasjonale tap.

Mange fuglearter og andre dyregrupper er utsatt for en rekke både åpenbare og skjulte farer i de fleste faser av sin livssyklus, og det blir stadig vanskeligere å forutsi virkningene av de enkelte,

negativt influerende faktorer. Sumvirkninger har derfor blitt et stadig viktigere tema (se for eksempel May m.fl. 2010). Dette er en realitet for så vel for truede og sårbare arter, som småviltarter. Til syvende og sist er det den kumulative effekt av de destruktive faktorer, antropogene som naturlige, som bestemmer om en arts populasjonsutvikling blir påvirket. Lokalt har det vist seg at selv arter med høy reproduksjonsevne kan være truet. Fra Skottland er det for eksempel rapportert at fjellrype ble utryddet i et område med stor tetthet av skiheiser, på grunn av at fuglene kolliderte mot luftwirene (Watson 1982), og i Frankrike ble det funnet at luftliner var en alvorlig trussel mot orrfuglbestanden (Miquet 1990). For å ta hensyn til overordnede nasjonale og internasjonale politiske beslutninger som er fattet med hensyn til bl.a. vern av biologisk mangfold, kan det rent faglig utvilsomt være misvisende å vurdere omfanget av en bestemt kilde til dødelighet isolert.

Generelt må det antas at dødsulykker knyttet til kraftledninger opptrer tetthetsuavhengig uten å medføre langsiktig, negativ bestandsutvikling. (Tetthetsuavhengig dødelighet innebærer dødelighet som opptrer uavhengig av individtetthet i en bestand, dvs. ytre faktorer som jakt, predasjon, kollisjon mot kraftledninger etc. Tetthetsavhengig dødelighet betyr dødelighet pga. at det er for mange individer i forhold til ressurstilgang m.m. Tetthetsavhengig/-uavhengig dødelighet har ofte helt forskjellige konsekvenser for dødelighetsomfang, bestandens evne til å bygge seg opp igjen osv.). De senere år er det imidlertid vist at bl.a. jakt kan ha en bestandsregulerende virkning (Pedersen m.fl. 2004), og det er også naturlig å anta at det kan være situasjonen også når det er snakk om dødelighet som skyldes kraftledninger. Det er viktig å understreke at menneskelig aktivitet har ødelagt store områder med naturlige habitater og ressurser, eksempelvis hekkeplasser og jaktposter for enkeltarter (jfr. hubro og stork). Arter som er sterkt avhengige av slike elementer vil derfor kunne oppleve en ressursmangel. Det vil si at de må kjempe om begrensede ressurser der tapere kan bli tvunget til å ta i bruk suboptimale områder. Økologer har forøvrig lenge understreket at antropogent induerte begrensende faktorer ofte kan forventes å forårsake en reduksjon i habitatets bæreevne.

For enkelte utryddingstruede arter som har vist seg å være sårbare for elektrokusjon eller kollisjonsulykker (jfr. kaliforniakondor og hubro), er det åpenbart at kraftledninger kan være farlige for bestanden. Kaliforniakondoren er en art med bl.a. høy levealder, dvs. høy overlevelse hos voksne individer, men med relativt lav reproduksjonsevne. På den andre siden har småviltarter, slik som de fleste hønsefugler, høy reproduksjonsevne og kort levetid. Teoretisk vil derfor en ekstra dødelighet hos norske hønsefugler, forårsaket av kraftledninger, isolert sett ikke forventes å ha negative konsekvenser for populasjonsutviklingen. Dette er imidlertid et av spørsmålene en vil forsøke å få svar på gjennom OPTIPOL-prosjektet. Men selv om det ikke er grunn til å dramatisere tapsestimatene for norske hønsefugler i forhold til kraftledninger, er det viktig å legge merke til at tapstallene for storfugl kan vise seg å ligge i samme størrelsesorden som jaktuttaket på landsbasis (Bevanger 1995). Etter som beregningene bare bygger på eksisterende nett rent nasjonalt, kan det tenkes lokale situasjoner der den totale luftledningsbelastningen er så høy at det kan ha negative virkninger for bestanden lokalt.

De undersøkelser som er utført viser at kraftledninger tar flest storfugl og rype på etterjuls vinteren og vårparten. En god del orrfugl blir også drept vinter og vår. En del av disse er utvilsomt individer som skal reprodusere. Kraftledninger representerer med andre ord fangstinnretninger som dreper fugl gjennom store deler av året innen avgrensede områder. Uttaket gjennom vanlig jakt skjer over større områder og er begrenset i tid til noen få høst- og vintermåned. Det er derfor berettiget grunn til å mistenke disse to "høstingsmetodene" for å ha forskjellig innvirkning på bestandsutviklingen. Kraftledninger og andre luftledninger som krysser rype- og skogsfuglhabitatene i tilstrekkelig omfang kan tenkes å holde den lokale bestand under det nivå området har ressurser til, og/eller forårsake bestandsnedgang av kortere eller lengre varighet. På grunn av både langsiktige og kortsiktige, regelmessige og uregelmessige fluktuasjoner i bestanden av hønsefugl, og mangfoldet av faktorer som må antas å ha innvirkning på bestanden, vil det imidlertid kreve omfattende og ressurskrevende undersøkelser over tid for nærmere å kvantifisere betydningen av én dødelighetsfaktor i forhold til en annen.

5 Arealendringer og arealbeslag

Kraftledninger berører og båndlegger store arealer med ulike naturtyper, fra lavland til høyfjell, fra kystlynghei til granskog, og grovt regnet kan det i Norge dreie seg mellom 1500 og 2000 km² (Tabell 7). Til sammenligning er arealet av Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark 1693 km².

Tabell 7. Grovt anslag av arealbeslag knyttet til kraftledningsnett i Norge (luftledninger) (tall basert på Statistisk Sentralbyrå <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elektresitetaar/tab-2010-05-26-05.html>).

Nettkategori	Arealbeslag basert på ryddebeltets bredde	Totalt
Sentralnett	10 685 km x 0,04 km	427 km ²
Regionalnett	17 182 km x 0,025 km	430 km ²
Distribusjonsnett	60 600 km x 0,015 km	909 km ²
Totalt		1766 km²

Selv om det bare er selve stolpepunktene som i og for seg kan sies å være et fysisk inngrep, vil kravet til at traseen skal være fri for skog medføre store, båndlagte "kunstige" habitater. Slike båndlagte arealer med bl.a. en betydelig byggeforbudssone, er en stor utfordring mange steder i verden. Det var derfor naturlig å ta opp denne problemstillingen da OPTIPOL-prosjektet ble utført, og her ser vi på mulighetene for å øke attraktiviteten til ryddebeltene for både småvilt og hjortevilt ved å etablere bestemte rydderegimer, dvs. et studium av effekten av en mer selektiv rydding der vegetasjonshøyde og artssammensetning hos busker og trær vektlegges. At kraftledningenes ryddebelter i skogsterreng representerer et skarpt skille mellom skog og åpent landskap, og på den måten skaper kantsoner (økotoner), gjør at det tiltrekkes en rekke fuglearter som med sammenhengende skog ikke ville klart seg. I en del tilfeller vil derfor kraftledninger virke positivt på det biologiske mangfoldet, men totalt sett er trolig de negative effektene størst ettersom det i første rekke er de vanligste artene, som generelt har vid utbredelse, som tjener på etablering av kunstige kantsoner.

Bygging av kraftledninger, på samme måte som nedbygging og oppdyrking av arealer, flatehogst, bygging av veier osv., representerer inngrep som kan få betydelige konsekvenser for relativt mange arter ved at enkeltindivider og bestander får problemer med at miljøtilstanden i leveområdene endres. Felles for slike inngrep er at de bidrar til å redusere størrelsen på tilgjengelige leveområder. Tidligere sammenhengende leveområder blir i delt opp i mindre enheter og landskapet blir fragmentert. Den økologiske betydningen av slik fragmentering vil imidlertid henge nøye sammen med enkeltfragmentenes isolasjonsgrad, dvs. inngrepenes barriereeffekt. Det må også sies at en landskapsmosaikk med habitatøyer mer er å betrakte som et «filter» enn en barriere. En slik mosaikk vil slippe igjennom individer hos noen arter, men ikke alle. Strukturer som kraftledninger og veier, fungerer som «filtre» fordi enkeltindivider hos noen arter er i stand til å krysse dem, mens andre ikke klarer det. Overlevelsesmuligheter for metapopulasjoner, dvs. en populasjon spredt ut over flere habitatøyer med subpopulasjoner, kan være avhengig av at enkeltindivider har bevegelsesmuligheter mellom habitatøyer nok til å balansere en utdøing fra de lokale habitatflekkene. Den evne individenes hos en art har til å forsere menneskeskapte barrierer mellom subpopulasjoner innen utbredelsesområdet kan m.a.o. være avgjørende for populasjonenes levedyktighet.

Bygging av kraftledninger inn i uberørte områder bidrar til bl.a. å åpne opp for økt ferdsel, på samme måte som veibygging. Det er eksempelvis praktisk å bruke ryddebeltet under kraftledning ved skiturer i områder som ellers har tett skog. Det har de senere år generelt vært en betydelig økning i forskningsaktiviteten knyttet opp mot effekter av arealinngrep og forstyrrelser, noe som bl.a. har økt forståelsen for den evolusjonære bakgrunn og de bakenforliggende mekanismene for hvordan ulike arter responderer på ulike stimuli. Et viktig prinsipp som har fått stadig større tilslutning er at ikke-dødelige forstyrrelsesstimuli forårsaket av mennesker er analogt med preda-

sjonsrisiko. Bakgrunnen for dette er at responser både i forhold til forstyrrelsesstimuli og predasjonsrisiko stjeler tid fra andre fitness-økende aktiviteter som næringsinntak, omsorg for avkom og reproduksjonsatferd. Effekter av forstyrrelser kan derfor betraktes som avveinger ("trade-offs") i forhold til ressursbruk på samme måte som predasjonsrisiko har vist seg å endre enkeltindividers valg av leveområde (habitatseleksjon) og områdebruk. En slik tilnærmingssmåte kan benyttes både til å finne ut om forstyrrelse virker begrensende på antall individer som benytter et område, og til å forutsi lokal endring i antall individer som en forandring i forstyrrelse kan føre til. Det er derfor utbredt enighet om at forstyrrelsesreaksjoner hos dyr er dynamiske prosesser som er avveinger mellom konsekvenser av forstyrrelser og kostnader knyttet opp mot økt bestandstetthet og konkurranse om ressurser i uforstyrrede områder (Gill m.fl. 2001a,b, Frid & Dill 2002).

At kraftledningenes ryddebelter bokstavelig talt fremstår som korridorer i skogsterreng er det lite tvil om. I økologisk sammenheng defineres "korridorer" gjerne som smale, lineære habitatstriper som har verdi for viltet, særlig på grunn av gjenstående skog og vegetasjon. Med ryddbeltet under en kraftledning er det imidlertid noe annerledes. Det er liten tvil om at ryddbeltene også kan fremstå som "spredningskorridorer", eksempelvis for rødvov som går og leter etter døde fugler under kraftledningene og som kanskje derfor havner på fjellet. Spredning ("dispersal") er en nøkkelfaktor for fragmenterte populasjoners overlevelsesmulighet. Det er foretatt få kritiske analyser av korridorers betydning på artsnivå for fugler og pattedyr. Selv om Fennoskandia ennå ikke har opplevd samme dramatiske fragmentering av naturarealer som mange andre europeiske land, endrer dette seg nå raskt. Kraftledninger og andre barrierer/semibarrierer har også hos oss en rekke uoversiktlige, økologiske langtidseffekter. Selv om kvantitative og kvalitative konsekvenser av direkte dødelighet, som følge av for eksempel fuglekollisjoner mot kraftledninger eller at dyr blir påkjørt av bil og tog, ikke lett kan påvises, er det teoretisk sett liten tvil om at områder gjennomvevd av antropogene barrierer, får redusert bæreevne og lavere produksjon i forhold til enkeltarter. Årsaken til det er en destabilisering av økosystemene gjennom endret mattilgang, inter- og intraspesifikk konkurranse, predasjonstrykk osv. For eksempel vil arter som kan karakteriseres som generalister, og som er tilpasningsdyktige, komme bedre ut enn habitatspesialister.

Hvorvidt kraftledninger og kraftledningenes ryddebelter fremstår som barrierer eller semibarrierer er ikke enkelt å besvare. I biogeografisk sammenheng er barrierer analogt med naturgitte, topografiske og miljømessige forhold som begrenser enkelte arters spredningsmuligheter. Barrierer deles gjerne inn i fysiske og økologiske. Fysiske barrierer på land omfatter for eksempel høye fjellkjeder og dype daler, mens ødemarksområder som ørken og bart fjell mer er å betrakte som økologiske barrierer. Med menneskeskapte barrierer/semibarrierer som kraftledninger, veger og gjerder blir det noe annerledes, og effekten av disse vil nødvendigvis variere sterkt i forhold til ulike arters biologiske og økologiske særtrekk.

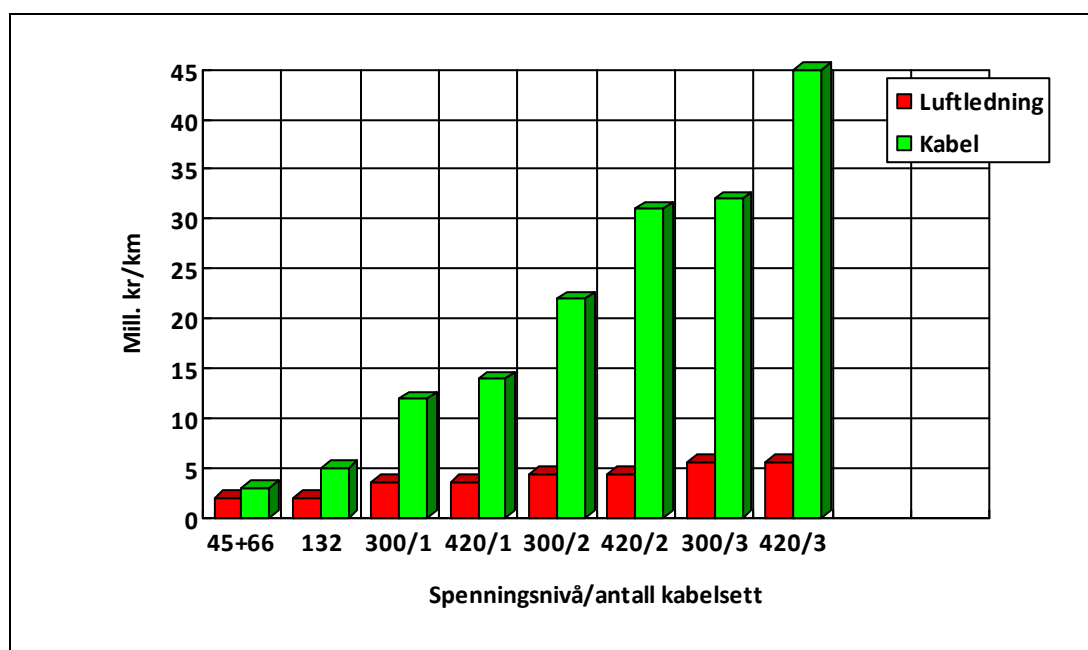
Den båndlegging, isolasjon og destruksjon som skjer i forhold til bestemte biotoper når barrierer etableres kan ha komplekse, økologiske bivirkninger. Generelt medfører utbygging av veier, kraftledninger og andre barrierer en kontinuerlig reduksjon i det biologiske mangfoldet som rammer alle biologiske nivå. Fragmenteringsprosessene som slik utbygging er en del av går stadig raske, og stadig mindre områder gjenstår som kan sies å være upåvirket. Situasjonen er komplisert, og prosessene er i seg selv meget vanskelig å kontrollere. Det skyldes til dels også de mange samfunnsorganer og beslutningstakere som er inne i bildet ved naturinngrep, slik at selve beslutningsprosessene kan sies å bli «fragmentert». Tapsprosessene vis a vis det biologiske mangfoldet er «resultanten» av en kumulativ miljøpåvirkning, og av tallrike, isolerte beslutninger innen forvaltning og politiske fora. Ikke minst gjelder det utbygging av kraftledningsnett der områdekonsesjonssystemet fører til en lite helhetlig vurdering av utbyggingene.

Dette er forhold som så langt er lite fokusert i Norge, det være seg i forhold til kraftledninger, gjerder, veier, jernbane eller andre typiske "barrierekonstruksjoner". Ved siden av å fremstå som barrierer i klassisk forstand, vil det økologiske influensområde i tilknytning til denne typen lineære strukturer kunne være meget bredt. Selv om størst oppmerksomhet er blitt viet den direkte dødelighet som forårsakes av at fugl flyr mot kraftledninger, er det godt tenkelig at de indirekte og langsiktige økologiske effekter av slike «barrierekonstruksjoner» er vel så alvorlig. Fragmentering og oppstyking av habitater, samt forstyrrelse og destruksjon av de dynamiske prosesser som et økosystem er avhengig av for at det biologiske mangfold skal kunne opprettholdes, er resultater

av en kontinuerlig prosess der tallrike enkeltinngrep er gjennomført uten at det har vært mulig å koordinere eller overskue konsekvensene i et større tids- og romperspektiv.

6 Jordkabling som alternativ

Den eneste sikre måten å hindre at fugler skal fly inn i kraftledninger eller bli drept pga. elektro-kusjon, er at de fjernes, dvs. kables. Det er gjort flere beregninger som viser hvilke kostnader kabling medfører (for eksempel Madsen 1979). En omfattende analyse ut fra norske forhold ble utført av NVE for en del år siden (Trophjell & Vognild 1993) (**Figur 22**), men også dette vil underkastes nærmere analyse i OPTIPOL. De sentrale punkter når kostnader knyttet til kabelanlegg og luftledningsanlegg sammenlignes, er spenningsnivå og overføringskapasitet. Ved kostnadssammenligninger er det nyttig å bryte de totale kostnadene ned til nærmere spesifiserte områder. De totale kostnadene (TK) omfatter investeringskostnader (IK) (dvs. kostnader knyttet til master, montasje, kabel, grøfter osv.), drifts- og vedlikeholdskostnader (DVK), tapkostnader (TAK) (energitap i form av varme til omgivelsene) og avbruddskostnader (AK). Investeringskostnadene for kabelanlegg vil ligge fra 3-12 ganger over luftledninger, mens DVK er høyere for luftledning enn for jordkabel opp til og med 132 kV. Over dette spenningsnivået vil kabelanlegg ha høyere DVK. DVK utgjør imidlertid en liten del av TK. TAK er betydelig lavere ved kabelanlegg enn ved luftledninger opp t.o.m. 132 kV. For 300 og 420 kV er TAK for kabel omtrent som ved luftledning-er. AK for luftledning og kabel er vanskelig å sammenligne og komplisert å måle på grunn av en rekke forutsetninger som må legges inn, men kan generelt sies å utgjøre en relativt liten del av TK.



Figur 22. Totale kapitaliserte kostnader ved et valgt overføringsnivå for ulike spenningsnivåer og ulike antall kabelsett (300 og 420 kV) (etter Trohjel & Vognild 1993).

Som det går frem av **Figur 22** øker de totale kostnadene knyttet til kabelanlegg dramatisk ved spenninger over 132 kV og når det stilles krav til stor overføringskapasitet. Det som i første rekke er funnet å påvirke kostnadsforholdene mellom kabel og luftledning er materialpriser, entreprenørpriser, grøfte- og terrengforhold, mastetype, trasélengde, levetid og elektrisk tap. I praksis ville krav om jordkabling av det norske luftledningsnettet på 45 og 66 kV kreve investeringer på flere milliarder kroner. Hvis alle luftledninger fra 45 kV og oppover skulle kables ble det beregnet å

koste 250-300 milliarder kroner fore ca. 20 år siden (Trophjell & Vognhild 1993). Beløpet er i dag naturlig nok betydelig høyere.

Som tidligere omtalt utgjør den totale lengde luftledninger over 24 kV en svært liten del (<15 %) av det norske luftledningsnettet. Tyngden av problemer knyttet til fuglekollisjoner mot luftledninger er følgelig å finne i tilknytning til forsyningsnettene. På denne delen av nettet er kostnadsforskjeller mellom jordkabel og luftledning relativt sett små.

På bakgrunn av de signaler som bl.a. Ot. prp. 62 gir, vil kabling av nye anlegg på de lavere spenningsnivåene være et reelt alternativ i årene som kommer. Hvorvidt generell kabling ved lavere spenningsnivå blir et krav fra miljø- og energiforvaltningen, gjenstår å se. Men for å redusere fuglekollisjoner ville dette utvilsomt være et effektivt tiltak. Kabling på lavere spenningsnivå bør uansett bli mer benyttet på steder det er dokumentert omfattende kollisjons- og/eller elektrokusjonsulykker. Dette gjelder særlig ledningstraséer som planlegges nært inn til ornitologiske nøkkelområder, for eksempel våtmarker, spillplasser og hekkeplasser for rovfugl og ugler. Ved kryssing av typiske trekkleder som for eksempel elver og dalfører bør også kabling benyttes.

Mer komplisert blir avgjørelser i forhold til kabling ved høyere spenningsnivå. De samfunnsøkonomiske konsekvensene vil i de fleste tilfeller vurderes som så store at det fra et politisk ståsted er vanskelig å sette verdien av sparte fugleliv opp mot dem. Det må derfor generelt antas at kabling bare unntaksvis vil komme på tale. Enkelte steder langs kysten, og i innlandet, er det imidlertid våtmarksområder med så store konsentrasjoner av fugl at etablering av luftspenn vil kunne ha dramatiske følger. Krav om kabling av kortere strekninger på slike steder vil trolig bli et tema i miljødebatten i årene fremover. Kabling ved kryssing av verneområder, og særlig der vern er begrunnet ut fra rikt fugleliv, vil trolig være den situasjon hvor krav om kabling vil ha størst berettigelse, selv i forhold til høyspentledninger. Hvis kabling i slike tilfeller ikke aksepteres vil selve grunnidéen for vern falle bort.

Krav om kabling, også i forhold til sentralnettet, vil være særlig relevant i to typer situasjoner:

- i områder med fare for at store mengder fugl skal drepes
- i situasjoner der sårbare og truede arter påviselig er utsatt for stor dødelighet fra høyspentledninger.

Det vil i slike tilfeller naturlig nok stilles krav til dokumentasjon av dødelighetsomfang og bestandsmessige konsekvenser. De mest sårbare og viktigste områder i Norge, sett fra et ornitologisk synspunkt, begynner imidlertid å bli relativt godt kartlagt, gjennom fylkesvise verneplaner, landsplaner for vern av skog, våtmarker, viltbiotopkartlegging m.m., og det bør derfor være gode muligheter til å planlegge fremtidige ledningstraséer slik at antall konflikter kan reduseres.

Når det gjelder kabling av høyspentledninger krever så er det viktig å huske at det krever forholdsvis store naturinngrep, som er langt mer irreversible enn bygging av en mastekonstruksjon. De enkelte faselederne må ligge med god avstand og grøftene blir slik sett brede. Der er nødvendig å sprengne fjellgrøft vil inngrepene naturlig nok bli ekstra store, og eksempelvis i fjellområder er omfattende sprengningsarbeider uunngåelig. I tillegg må det opparbeides atkomstvei langs kabelgrøftene for å sikre tilgang for vedlikehold og reparasjon. Der høyspentledninger enten går fra luftspenn til jordkabel eller omvendt, er det nødvendig å bygge såkalte muffestasjoner som også legger beslag på et betydelig areal. I tilknytning til kraftledningen mellom Sima og Samnanger er det nylig gjort grundige vurderinger av miljøeffekter av sjøkabel som viser at heller ikke det er tiltak som han ha betydelige konsekvenser for så vel marine som terrestriske miljø.

Hovedbudskapet bør uansett være at vektlegging av økologisk og biologisk relaterte aspekter ved kraftledningsbygging må økes i årene fremover. Det synes å være behov for at berørte forvaltningsorganer (NVE, DN) tar initiativ til at tilfredsstillende rutiner etableres. Det apparat som etter hvert er utbygd innen miljø- og energisektoren, burde danne et godt utgangspunkt for en praktisk og forsvarlig håndtering av traséplanlegging, sett fra et teknisk/økonomisk så vel som fra et miljømessig ståsted.



Figur 23. Kabling av høyspentledninger krever store naturinngrep. De enkelte faselederne må ligge med god avstand og grøftene blir slik sett brede. I tillegg må det opparbeides atkomstvei langs kabelgrøftene for å sikre tilgang for vedlikehold og reparasjon. Foto: Statnett.



Figur 24. Der høyspentledninger enten går fra luftspenn til jordkabel eller omvendt, er det nødvendig å bygge såkalte muffestasjoner som beslaglegger et betydelig areal. Foto: Statnett.

7 Referanser

- Able, K.P. 1970. A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. - *Bird Banding* 41: 282-290.
- Aldrich, J.W., Graber, R.R., Munro, D.A., Wallace, G.J., West, G.C. & Gahalane, V.H. 1966. Mortality at ceilometers. - *Auk* 83: 465-467.
- Alerstam, T. 1977. Why do migrating birds fly along coastlines? - *Journal of Theoretical Biology* 65: 699-712.
- Alerstam, T. 1985. Radar. - S. 492-494 i Campell, B. & Lack, E. (red.). *A dictionary of birds*. - T. & A.D. Poyser.
- Alerstam, T. & Ulfstrand, S. 1974. A radar study of the autumn migration of wood pigeons *Columba palumbus* in southern Sweden. - *Ibis* 116: 522-542.
- Alerstam, T. & Ulfstrand, S. 1975. Diurnal migration of passerine birds over south Sweden in relation to wind direction and topography. - *Ornis Scandinavica* 6: 135-149.
- Alerstam, T. & Karlsson, J. 1977. Fåglarnas flyghöjder och fågelkollisioner med byggnadsverk. En utredning för bedömning av risikoen för fågelkollisioner med vindkraftverk. - Department of Zoology, University of Lund. Report. 29 s.
- Alonso, J.C., Alonso, J.A. & Munoz-Pulido, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. - *Biological Conservation* 67: 129-134.
- Anderson, M.D. 2002. Karoo Large terrestrial bird powerline project. Report No. 1. Johannesburg: Eskom (Unpublished report).
- Anderson, W.L. 1978. Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. - *Wildlife Society Bulletin* 6: 77-83.
- Anon. 1973. Biotopvernvalg i foreningene. - *Jakt - fiske - friluftsliv* 102: 22-23, 62.
- Anon. 1986. Shriekers and bangers amongst new bird devices. - *International Pest Control*: 106.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee). 2006. Suggested practices for avian protection on power lines: The State of the Art in 2006. - Edison Electric Institute, APLIC and California Energy Commission. Washington, DC and Sacramento, CA.
- Arend, P.H. 1970. The ecological impacts of transmission lines on the wildlife of San Francisco Bay. - A report by Wildlife Associates to Pacific Gas and Electrical Company, San Remo, California. 21 s.
- Avery, M.L. (red.) 1978. Impacts of transmission lines on birds flight. - *Proc. Oak Ridge Ass. Univ. Tennessee*: 151 s.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Cassel, J.F. 1976. The effects of a tall tower on nocturnal bird migration - a portable ceilometer study. - *Auk* 93: 281-291.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Cassel, J.F. 1977. Weather influences on nocturnal bird mortality at a North Dakota tower. - *Wilson Bulletin* 89: 291-299.
- Avery, M.L. 1979. Review of avian mortality due to collisions with manmade structures. - U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, Michigan.
- Beaulaurier, D.L. 1981. Mitigation of bird collisions with transmission lines. - Bonneville Power Administration, U.S. Dept. of Energy, Oregon. Report. 83 s.
- Beaulaurier, D.L., James, B.W., Jackson, P.A., Meyer, J.R. & Lee, J.M. jr. 1984. Mitigating the incidence of bird collisions with transmission lines. - S. 539-550 i Crabtree, A.F. (red.). *Proc. 3rd Int. Symp. Environ. Concerns in Rights-of-Way Management*, Mississippi State University.
- Bennett, A.T.D., Cuthill, I., Partridge J.C. & Lunau, K. 1997. Ultraviolet plumage colors predict mate preferences in starlings. - *Proceedings National Academy of Science USA* 94: 8618-8621.
- Bennett, A.T.D., Cuthill, I., Partridge, J.C. & Maier, E.J. 1996. Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches. - *Nature* 380: 433-435.
- Benson, P.C. 1981. Large raptor electrocution and power pole utilization: a study in six western states. - Ph.D. Dissertation. Brigham Young University, Provo, Utah. 98 s.
- Benson, P.C. 1982. Prevention of golden eagle electrocution. - EPRI, EA-2680, Project 1002. Electric Power Research Institute.
- Bergman, G. 1978. Effects of wind conditions on the autumn migration of waterfowl between the White Sea area and the Baltic region. - *Oikos* 30: 393-397.

- Bern Convention 2004. Recommendation No. 110 on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds (<https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?id=847305&BackColorInternet=DBDCF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogged=FDC864#Top>)
- Bevanger, K. 1988. Skogsfugl og kollisjoner med kraftledninger i midt-norsk skogsterreng. - Øko-forsk Rapport 9. 53 s.
- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazards to game birds in the Central Norwegian coniferous forest. - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 13: 11-18.
- Bevanger, K. 1993a. Avian interactions with utility structures - a biological approach. - University of Trondheim. Dr. Scient. Thesis.
- Bevanger, K. 1993b. Fuglekollisjoner mot en 220 kV kraftledning i Polmak, Finnmark. - NINA Forskningsrapport 40. 26 s.
- Bevanger, K. 1994a. Bird interactions with utility structures; collision and electrocution, causes and mitigating measures. - Ibis 136: 412-425.
- Bevanger, K. 1994b. Three questions on utility structures and avian mortality - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 17: 107-114.
- Bevanger, K. 1994c. Konsekvenser av en 66 kV kraftledning for fuglelivet ved Borrevann, Vestfold. - NINA Forskningsrapport 52. 37 s.
- Bevanger, K. 1995a. Hakkespetter som konfliktfaktor for elektrisitetsforsyningen. - NINA Oppdragsmelding 333. 30 s.
- Bevanger, K. 1995b. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. - Journal of Applied Ecology 32: 745-753.
- Bevanger, K. 1997. Woodpeckers, a nuisance to energy companies. - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 20: 81-92.
- Bevanger, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. - Biological Conservation 86: 67-76.
- Bevanger, K. 1998b. Kamuflering av kraftledninger – en ornitologisk vurdering. – Upublisert notat til Statnett.
- Bevanger, K. 1999. Estimating bird mortality caused by collision with power lines and electrocution; a review of methodology. – S. 29-56 i Ferrer, M. & Janss, G.F.E. (red.). Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding. Querqus, Spania.
- Bevanger, K., Bakke, Ø. & Engen, S. 1994. Corpse removal experiments with Willow Ptarmigan (*Lagopus lagopus*) in power-line corridors. – Ökologie der Vögel (Ecol. Birds) 16: 597-607.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2009. "Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives" (OPTIPOL). Progress Report 2009. – NINA Report 504. 46 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2010a. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2010. – NINA Report 619. 51 s.
- Bevanger, K., Berntsen, F., Clausen, S., Dahl, E.L., Flagstad, Ø. Follestad, A., Halley, D., Hanssen, F., Johnsen, L., Kvaløy, P., Lund-Hoel, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Røskoft, E., Steinheim, Y., Stokke, B. & Vang, R. 2010b. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (Bird-Wind). Report on findings 2007-2010. - NINA Report 620. 152 s.
- Bevanger, K., Brøseth, H. & Sandaker, O. 1998. Dødelighet hos fugl som følge av kollisjoner mot kraftledninger i Mørkedalen, Hemsedalsfjellet. - NINA Oppdragsmelding 531. 41 s.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2001. Bird collisions with power lines – 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 and Conservation 27: 67-77.
- Bevanger, K., Brøseth, H., Bjerkan, L., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. & 2004. Energy production and avian interactions – UV and colour coating as mitigating measures. – Application to NFR 15.06.2004.

- Bevanger, K., Brøseth, H., Cuthill, I., Halley, D., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. 2005. Energy production and avian interactions – UV and colour coating as mitigating measure. - Application to NFR 01.09.2004.
- Bevanger, K. & Overskaug, K. 1998. Utility structures as a mortality factor for raptor and owls in Norway. – S. 381-392 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. & Ferrero, J.J. (red.). Proceedings Holarctic Birds of Prey; ADENEX-WWBP, Badajoz, Extremadura, Spain, 17-22 April 1995.
- Bevanger, K. & Sandaker, O. 1993. Power lines as a mortality factor for willow grouse in Hem-sedal. - NINA oppdragsmelding 193. 25 s.
- Bevanger, K. & Thingstad, P.G. 1988. Forholdet fugl-konstruksjoner for overføring av elektrisk energi. En oversikt over kunnskapsnivået. - Økoforsk Utredning 1. 133 s.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. (in prep.) Fugler og kraftledninger. Tilrådninger om tiltak, som kan redusere fugledød pga. kollisjon med fase- eller jordliner, samt strømgjennomgang ved kortslutning eller jordslutning i spesielt utsatte mastekonstruksjoner (elektrokusjon).
- Blokpoel, H. 1976. Bird hazards to aircraft. - Books Canada Limited, London. 236 s.
- Blokpoel, H. & Hatch, D.R.M. 1976. Snow Geese, Disturbed by Aircraft, Crash into Power Lines. - Canadian Field Notes 90: 195.
- Boeker, E.L. & Nickerson, P.R. 1975. Raptor electrocutions. - Wildlife Society Bulletin 3: 79-81.
- Bomford, M. 1990. Ineffectiveness of a sonic device for deterring starlings. - Wildlife Society Bulletin 18: 151-156.
- Boudreau, G.W. 1968. Alarm sounds and responses of birds and their application in controlling problem species. - Living Bird 7: 27-46.
- Braaksma, S. 1966. Vele draadslachtoffers in de ringverslagen. - Het Vogeljaar 14: 147-152.
- Brown, W.M., Drewien, R.C. & Bizeau, E.G. 1987. Mortality of cranes and waterfowl from power-line collisions in the San Luis Valley Colorado. - Proceedings 1985 Crane Workshop: 128-185.
- Brown, W.M. & Drewien, R.C. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. - Wildlife Society Bulletin 23: 217–227.
- Bruderer, B. & Steidinger, P. 1972. Methods of quantitative and qualitative analysis of bird migration with a tracking radar. - NASA Spec. Publ. 262: 151-167.
- Burkhardt, D. 1982. Birds, berries and UV. - Naturwissenschaften 69: 153–157.
- Cartron, J.-L.E., Harness, R.E., Rogers, R.C. & Manzano-Fischer, P. 2005. Impact of concrete power poles on raptors and ravens in northwestern Chihuahua, Mexico. - S. 357–369 i: Cartron, J.-L.E., Ceballos, G., Felger, R.S. (red.). Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Oxford University Press, New York, USA.
- Catchpole, C.K. 1979. Vocal communication in birds. - Studies in Biology 115. Inst. of Biol. Camelot Press Ltd., Southampton.
- Christensen, H. 1980. Undersøgelser over fuglekollisioner mod højspændingsledninger gennem det naturvidenskabelige reservat Vejlerne - efteråret 1979. - Naturhistorisk Museum, Århus. Rapport. 25 s.
- Coues, E. 1876. The destruction of birds by telegraph wire. - American Naturalist 10: 734.
- Crivelli, A.J., Jerrentrup, H. & Mitchev, T. 1988. Electric power lines: a cause of mortality in *Pelecanus rispus* Bruch, a world endangered bird species. - Colonial Waterbirds 11: 301-305.
- Crowder, M.R. 2000. Assessment of devices designed to lower the incidence of avian power line strikes. - Unpublished MSc Thesis. Purdue University, West Lafayette.
- Dawson, J.W. & Mannan, R.W. 1994. The ecology of Harris' hawks in urban environments. - Unpublished Report, Arizona Game and Fish Department, Tucson, Arizona, USA. Available from the U.S. Geological Survey, Richard R. Olendorff Memorial Library, 970 Lusk St., Boise, ID 83706.
- del Hoyo, J., Elliott, A. & Sargatal, J. (red.). 1992. Handbook of the birds of the world, vol. 1. Ostrich to Ducks. - Lynx Edicions, Barcelona.
- De la Zerda, S. & Roselli, L. 2003. Mitigación de collision de aves contra líneas de transmisión eléctrica con marcaje del cable de guarda. Ornithología Colombiana 1: 42–62.
- Direktoratet for naturforvaltning 2009. <http://www.dirnat.no/content.ap?thisId=425>
- Dobben, W.H. van & Makkink, G.F. 1933. Der einfluss der Leitlinien an die Richtung der Herbstzuges am Niederländischen Wattenmeer. - Ardea 22: 30-48.
- Dobben, W.H. van. 1955. Nature and strength of the attraction exerted by leading lines. - Acta XI Congr. Internat. Ornith. Basel: 165-16.

- Dooling, R. 2002. Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines. - NREL/TP-500-30844, Maryland.
- Drewitt, A. & Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. In *Wind, Fire and Water: Renewable Energy and Birds*. - *Ibis* 148 (Suppl. 1): 29–42.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W. 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. - *New York Academy of Sciences* 1134: 233–266. doi: 10.1196/annals.1439.015.
- Durman, R. 1976. Bardsey. - S. 29-46 i Durman, R. (red.). *Bird Observatories in Britain and Ireland*. - T. & A.D. Poyser.
- Dwyer, J.F. 2004. Investigating and mitigating raptor electrocution in an urban environment. M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Eastwood, E. 1967. *Radar Ornithology*. - Methuen.
- Eklund, M.W. & Dowell, V.R. jr. (red.). 1987: *Avian botulism. An international perspective*. - Charles C. Thomas, Illinois. 405 s.
- Elkins, N. 1988. *Weather and Bird Behaviour*. - T. & A.D. Poyser, Calton. 239 s.
- Evans, P.R. 1990. Strategies of migration in waders. - I Gwinner, E. (red.). *Bird migration: The physiology and ecophysiology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Ferrer, M., De La Riva, M. & Castroviejo, J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. - *Journal of Field Ornithology* 62: 181-190.
- Ferrer, M. & Hiraldo, F. 1991. Evaluation of management techniques for the Spanish imperial eagle. - *Wildlife Society Bulletin* 19: 436–442.
- Ferrer, M. & Hiraldo, F. 1992. Man-induced sex-biased mortality in the Spanish imperial eagle. - *Biological Conservation* 60: 57–60.
- Fiedler, G. & Wissner, A. 1980. Freileitungen als tödliche Gefahr für Störche *Ciconia ciconia*. – *Ökologie der Vögel, Sonderheft* 2: 59-109.
- Folkestad, A.O. 1978. Kraftlinjer og fugl. En oppsummering av problemer og erfaringer med merking av kollisjonsutsatte spenn. - *Fossekalen* 25: 10-11.
- Folkestad, A.O. 1980. Kraftlinjekollisjonar som tapsfaktor for overvintrande songsvane, *Cygnus cygnus*, i Møre og Romsdal. - S. 169-175 i Kjos-Hanssen, O, Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.). *Vassdragsregulerings virkninger på vilt*. Proc. NVE, DVF, Oslo/Trondheim.
- Forprosjektet kraftledninger og fugl. 1988. Prosjektet kraftledninger og fugl. Forprosjektets slutt-rapport. - DN Rapport 7. 19 s.
- Fredrickson, L.H. 1983. Bird response to transmission lines at a Mississippi river crossing. - *Transactions, Missouri Academy of Science* 17: 129-140.
- Frid, A. & Dill, L. 2002. Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. - *Conservation Ecology* 6 (1): 11.
- Frings, H. & Frings, M. 1967. *Animal communication*. - Blaisdell Publ. Co., New York, Toronto, London. 204 s.
- Frostating lagmannsrett 1989. - Overskjønnssak 46/1988.
- Faanes, C.A. 1987. Bird Behavior and Mortality in Relation to Power Lines in Prairie Habitats. - U.S. Fish Wildl. Serv. Tech. Rep. 7: 1-24.
- Garrett, M.G. 1993. PacifiCorp program for managing birds on power lines, a case study. – S. 18-1–18-5 i Huckabee, J.W. (red.). *Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures, International Workshop*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1929. "Zugstrassen" - Leitlinien. - *J. Orn. Festschr. Hartert*: 17-32.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1933. Zur Theorie der Leitlinie. - *Ardea* 22: 83-92.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1963. Zur Terminologie und Theorie der Leitlinie. - *J. Ornith.*, 104: 191-204.
- Gill, J.A., Norris, K. & Sutherland, W.J. 2001a. Why behavioural responses may not reflect the population consequences of human disturbance. - *Biological Conservation* 97: 265-268.
- Gill, J.A., Norris, K. & Sutherland, W.J. 2001b. The effects of disturbance on habitat use by black-tailed godwits *Limosa limosa*. - *Journal of Applied Ecology* 38: 846-856.
- Grischtschenko, V. & Gaber, N. 1990. Analyse der Todesursachen des Weisstorchs in der Ukraine. - *Ornitologische Mitteilungen* 42: 121-123.
- Grotli, S. 1922. Fugledrap ved luftledninger. - *Norsk ornitologisk tidsskrift* 1: 125-126.

- Grosse, H., W. Sykora & Steinbach, R. 1980. Eine 220-kV-Hochspannungstrasse im Überspannungsgebiet der Talsperre Windischleuba war Vogelfalle. - *Falke* 27: 247-248.
- Gylstorff, N.-H. 1979. Fugles kollisioner med elledninger. - M.S. Thesis, Univ. Århus, Århus.
- Hartman, P.A., Byrne, S. & Dedon, M.F. 1992. Bird mortality in relation to the Mare Island 115-kV transmission line: Final report 1988-1991. - Dept. of Navy, Western Div., Cal. PG&E Report 443-91.3.
- Haas, D. 1980. Gefährdung unserer Grossvögel durch Stromschlag - eine Dokumentation. - *Ökologie der Vögel* 2, Sonderheft 1980: 7-57.
- Haas, D. (red.). 2008. Stromtod von Vögeln. Grundlagen und Standards zum Vogelschutz an Freileitungen. - *Ökologie der Vögel*, 26. 303 s.
- Harness, R.E. 2000. Effectively retrofitting powerlines to reduce raptor mortality. - S. D2-1-D2-8 i: *Proceedings of the Rural Electric Power Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA.
- Harness, R.E. 2002. Raptors: Test to Protect: Utilities Provide Alternative Perches for Migratory Birds. - March ed. *Transmission & Distribution World*: 18-21.
- Harness, R.E. & Garrett, M. 1999. Effectiveness of perch guards to prevent raptor electrocutions. - *Journal of the Colorado Field Ornithologists* 33: 215-220.
- Harness, R.E. & Wilson, K.R. 2001. Utility structures associated with raptor electrocutions in rural areas. - *Wildlife Society Bulletin* 29: 612-623.
- Hebert, E., Reese, E. & Mark, L. 1995. Avian collision and electrocution: an annotated bibliography. - *California Energy Comm.* http://www.energy.ca.gov/reports/avian_bibliography.html.
- Heijnis, R. 1980. Vogeltod durch Drahtanflüge bei Hochspannungsleitungen. - *Ökologie der Vögel* 2, Sonderheft 1980: 111-129.
- Heitkøtter, O. 1972. Utvalg for biotopvern i foreningene. - *Jakt - fiske - friluftsliv* 101: 170-171.
- Hillestad, K.O., Sæveraas, J.M., & Lid, G. 1981. Stolper & spetter. - *VN Rapport* 6. NVE, Natur- og landskapsavdelingen. 16 s. + vedlegg.
- Hiltunen, E. 1953. Sähkö- ja puhelinlankoihin lentäneistä linnuista. - *Suomen Riista* 8: 70-76.
- Hobbs, J.C.A. 1987. Powerlines and gamebirds: North American experiences for southern Africa. - *South African Wildlife Research*, Suppl. 1: 24-31.
- Jacobsen, K.-O., Øien, I.J., Steen, O.F., Oddane, B. & Røv, N. 2008. Hubroens bestandsstatus i Norge. - *Vår Fuglefauna* 31: 150-158.
- James, B.W. & Haak, B.A. 1979. Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. - *Bonneville Power Administration Report*. Portland, Oregon. 108 s.
- 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. 1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wiremarking. - *Journal of Field Ornithology* 69: 8-17.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 1999. Avian electrocution on power poles: European experiences. - S. 145-164 i Ferrer, M., Janss, G.F. (red.). *Birds and Power Lines: Collision, Electrocution, and Breeding*. Quercus, Madrid, Spain.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 2001. Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. - *Bird Conservation International* 11: 3-12.
- 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.
- Johannessen, E. 1952. Ledningene dreper. - *Jeger og Fisker* 81: 143-144.
- Johnson, N.H. (red.). 2008. Kamouflasjetiltak på kraftledninger. - *NVE Rapport* 4/2008. 109 s.
- Kemper, C.A. 1964. A tower for TV, 30 000 dead birds. - *Audubon Magazine* 66: 89-90.
- Kerlinger, P. & Moore, F.R. 1989. Atmospheric structure and avian migration. - S. 109-142 i *Power*, D.M. (red.). *Current Ornithology*, vol. 6. Plenum, New York.
- Klem, Jr., D. 2009. Preventing Bird-Window Collisions. - *Wilson Journal of Ornithology* 121: 314-321.
- Koops, F.B.J. 1985. Gemarkerde bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland. Situatie in mei 1985. - *KEMA VII85-51 MOB*. Report, Arnhem. 9 s.
- Koops, F.B.J. 1986. Draadslachtoffers in Nederland en effecten van markering. - *KEMA 01282-MOB 86-3048*. Report, Arnhem.

- Kroodsmas, R.L. & Van Dyke, J.W. 1985. Technical and environmental aspects of electric power transmission. - Oak Ridge Nat. Lab. Environ. Sci. Div., Publ. No. 2067: 1-85.
- Krüger, R., Maritz, A. & van Rooyen, C. 2004. Vulture electrocutions on vertically configured medium voltage structures in the Northern Cape Province, South Africa. - S. 437–441 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. (red.). *Raptors Worldwide*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, Germany, and MME/BirdLife Hungary, Budepest.
- Kolås, T. & Johnsen, L. 2007. Forslag til tiltak for å unngå at fugler kolliderer med vindturbiner. - Intern rapport til NINA. SINTEF Project no. 90J287. 27 s.
- Kålås, J.A., Viken, Å., Henriksen, S. & Skjelseth, S. (red.). 2010. Norsk rødliste for arter 2010. Artsdatabanken, Norge.
- Lawson, A.B. & Wyndham, M.J. 1993. A system of monitoring wildlife interactions with electricity distribution installations in a supply region of the Cape Province in Southern Africa. - S. 5.1-5.14 i Colson, E. & Huckabee, J. (red.). *Avian Interactions with Utility Structures*, EPRI TR-103268, eds.. Proceedings International Workshop Miami 13-15 September 1992.
- Ledger, J.A. 1984. Engineering solutions to the problem of vulture electrocutions on electricity towers. - *Cert. Engineer* 57: 92-95.
- Larsen, R.S. & Stensrud, O.H. 1988. Elektrisitetsdøden - den største trusselen mot hubrobstanden i Sørøst-Norge? - *Vår Fuglefauna* 11: 29-33.
- Ledger, J.A. & Annegarn, H.J. 1981. Electrocution hazards to the Cape vulture. - *Biological Conservation* 20: 15-24.
- 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.
- Leshem, Y. 1985. Griffon Vultures in Israel: Electrocution and other reasons for a declining population. - *Vulture News* 13: 14-20.
- Lid, G. 1977. Fugler brennes ihjel av gassflammer i Nordsjøen. - *Fauna* 30: 185-190.
- Lind, O. & Kelber, A. 2009. Avian colour vision: Effects of variation in receptor sensitivity and noise data on model predictions as compared to behavioural results. - *Vision Research* 49: 1939–1947.
- Lindgren, R. 1984. Fågelskydd. Miljøfrågor 8, kraftledningar. - *Vattenfall Rapport*. Vällingby: 1-7.
- Longridge, M.W. 1986. The impacts of transmission lines on bird flight behaviour, with reference to collision mortality and systems reliability. - *Bird Res. Comm., ESCOM, Johannesburg*. Report. 279 s.
- Madsen, J.O. 1979. Luftledninger eller jordkabler - hvad skal vi have i fremtiden? - *Elektrotekniker* 75: 313-321.
- Malcolm, J.M. 1982. Bird collision with a power transmission line and their relation to botulism at a Montana wetland. - *Wildlife Society Bulletin* 10: 297-304.
- Malmberg, T. 1955. Topographical concentration of flight-lines. - *Acta XI Congr. Internat. Ornith.* Basel: 161-164.
- Mañosa, S., 2001. Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. - *Biodiversity and Conservation* 10: 1997–2012.
- Marchesi, L., Sergio, F. & Pedrini, P. 2002. Costs and benefits of breeding in human-altered landscapes for the eagle owl *Bubo bubo*. - *Ibis* 144: 164–177.
- Markus, M.B. 1972. Mortality of vultures caused by electrocution. - *Nature* 238: 228.
- Martin, G.R. 1985. Eye. - S. 311-373 i King, A.S. & McLelland, J. (red.). *Form and function in birds*. vol. 3.
- Martin, G.R. 1990. *Birds by night*. - T. & A.D. Poyser, London. 227 s.
- Martin, G. R. 2007. Visual fields and their functions in birds. - *Journal of Ornithology* 148: 547–562.
- Martin, G.R. 2009. What is binocular vision for? A birds' eye view. - *Journal of Vision* 9(11): 14, 1–19.
- Martin, G.R. 2010. Bird collisions: a visual or a perceptual problem? BOU Proceedings – Climate Change and Birds. <http://www.bou.org.uk/bouproc-net/ccb/martin.pdf>.
- May, R., Dahl, E.L., Follestad, A., Reitan, O. & Bevanger, K. 2010. Samlet belastning av vindkraftutbygging på fugl – standardvilkår for for- og etterundersøkelser. – NINA Rapport 623. 34 s.
- McKenna, M.G. & Allard, G.E. 1976. Avian mortality from wire collisions. - *North Dakota Outdoors* 39: 16-18.

- McNeil, R., Rodriguez, S.J.R. & Ouellet, H. 1985. Bird mortality at a power transmission line i Northeastern Venezuela. - *Biological Conservation* 31: 153-165.
- Mehlum, F. 1977. Innsamling av fyrfalne trekkfugler fra Færder fyr og noen betraktninger om årsakene til fuglekollisjoner mot lysende installasjoner. - *Fauna* 30: 191-194.
- Mestel, R. 1993. Reckless young condors moved away from temptation. - *New Scientist* 1901: 4.
- Meyer, J.R. 1978. Effects of transmission lines on bird flight behavior and collision mortality. – Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Michener, H. 1928. Where engineer and ornithologist meet: transmission line troubles caused by birds. - *Condor* 30: 169-175.
- Miquet, A. 1990. Mortality in Black grouse *Tetrao tetrix* due to Elevated cables. - *Biological Conservation* 54: 349-355.
- Miller, W.A. 1978. Transmission line engineering and its relationship to migratory birds. - S. 129-141 i Avery, M.L. (red.). Impacts of transmission lines on birds flight. Proc. Oak Ridge Ass. Univ. Tennessee.
- Miller, D., Boeke, E.L., Thorsell, R.S. & Olendorff, R.R. 1975. Suggested practices for raptor protection on power lines. - Raptor Research Foundations, Provo, Utah. Report. 21 s.
- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1993. Effectiveness of yellow aviation balls in reducing sandhill crane collisions with powerlines. - S. 21.1-21.17 i EPRI (red.). Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures. International Workshop Miami 13-15 september 1992. EPRI Report TR-103268.
- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1991. Effectiveness of marking powerlines to reduce Sandhill Crane collisions. *Wildlife Society Bulletin* 19: 442-449.
- Mueller, H.C. & Berger, D.D. 1967. Wind drift, leading lines, and diurnal migrations. - *Wilson Bulletin* 79: 50-63.
- Negro, J.J. & Ferrer, M. 1995. Mitigating measures to reduce electrocution of birds on power lines: a comment on Bevanger's review. - *Ibis* 137: 423-424.
- Nikolaus, G. 1984. Large numbers of birds killed by electric power line. - *Scopus* 8: 42.
- Norberg, U.M. 1990. Vertebrate flight. - Springer-Verlag. 291 s.
- Nordmøre herredsrett: 1988. - Rettsbok for Nordmøre herredsrett 22/08/88.
- Oddane, B. & Undheim, O. 2007. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren- våren 2007. - Naturforvalteren AS. Rapport nr 2007-7.
- Oddane, B., Undheim, O. & Magersnes, R. 2008. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren-hekkesesongen 2007. - Naturforvalteren AS 2008-1.
- Olendorff, R.R., Miller, A.D. & Lehman, R.N. 1981. Suggested practices for raptor protection on power lines. The state of the art in 1981. - *Raptor Res. Found. Raptor Res. Report* 4. 111 s.
- Olendorff, R.R. & Lehman, R.N. 1986. Raptor collision with utility lines: an analysis using subjective field observations. - *Pacific Gas and Electric Company, California*: 1-73.
- Olson, C.V., 2002. Human-related causes of raptor mortality in western Montana: things are not always as they seem. – S. 71-82 i Carlton, R.G. (red.). Avian Interactions with Utility and Communication Structures, Proceedings of a Workshop. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.
- O'Neil, T., 1988. An analysis of bird electrocutions in Montana. - *Journal of Raptor Research* 22: 27-28.
- Ot.prp. nr. 62 (2008-2009). Om lov om endringer i energiloven. Det kongelige olje- og energidepartement. 45 s.
- Pedersen, H.C., Steen, H., Kastdalen, L., Brøseth, H. Ims, R.A., Svendsen, W. & Yoccoz, N.G. 2004. Weak compensation of harvest despite strong density-dependent growth in willow ptarmigan. - *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 271: 381-385.
- Pennycuik, C.J. 1972. Soaring behaviour and performance of some East African birds, observed from a motor-glider. - *Ibis* 114: 178-218.
- Pennycuik, C.J., Alerstam, T. & Larsson, B. 1979. Soaring migration of the common crane *Grus grus* observed by radar and from an aircraft. - *Ornis Scandinavica* 10: 241-251.
- Perdeck, A.C. & Speek, G. 1984. A radar study of the influence of expected ground speed, cloudiness, and temperature on diurnal migrating intensity. - *Ardea* 72: 189-198.
- Rayner, J.M.V. 1988. Form and function in avian flight. - S. 1-66 i Johnston, R.F. (red.). Current Ornithology, vol. 5. Plenum, New York.

- Real, J., Grande, J.M., Mañosa, S. & Sánchez-Zapata, J.A. 2001. Geographic variation of the causes of death of Bonelli's eagle *Hieraaetus fasciatus* in Spain. - Bird Study 48: 221-228.
- Renssen, T.A., Bruin, A. de, Doorn, J.H. van, Gerritsen, A., Greven, N.G., Kamp, J. van de, Linthorst, H.D.M. & Smit, C.J. 1975. Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringen met hoogspannings-lijnen. – Report Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem. 64 s.
- Riegel, M. & Winkel, W. 1971. On death causes of white storks (*C. ciconia*) according to ringing recovery reports. - Vogelwarte 26(1): 128-135.
- Richardson, W.J. 1976. Autumn migration over Puerto Rico and the Western Atlantic: a radar study. - Ibis 118: 309-332.
- Richardson, W.J. 1978. Reorientation of nocturnal landbird migrants over the Atlantic Ocean near Nova Scotia in autumn. - Auk 95: 717-732.
- Richardson, W.J. 1979. Radar techniques for wildlife studies. - Nat. Wildl. Fed. Sci. Tec. Ser. 3: 171-179.
- Rose, P. & Baillie, S. 1992. The effects of collisions with overhead wires on British birds: an analysis of ringing recoveries. - BTO Res. Rep. 42: 227 s.
- Rosselli, L., & De La Zerda, S. 1997. Colombian fauna and transmission lines. - Interconexión Eléctrica S. A. (Reportsammendrag på engelsk oversendt fra forfatterne).
- Rubolini, D., Bassi, E., Bogliana, G., Galeotti, P. & Garavaglia, R. 2001. Eagle owl *Bubo bubo* and power line interactions in the Italian Alps. - Bird Conservation International 11: 319–324.
- Rusz, P.J., H.H. Prince, R.D. Rusz & Dawson, G.A. 1986. Bird collisions with transmission lines near a power plant cooling pond. - Wildlife Society Bulletin 14: 441-444.
- Savereno, A.J., Savereno, L.A., Boettcher, R. & Haig, S.M. 1996. Avian behaviour and mortality at power lines in coastal South Carolina. - Wildlife Society Bulletin 24: 636–648.
- Schmidt-Morand, D. 1992. Vision in the animal kingdom. - Veterinary International 4: 3-32.
- Schomburg, J.W. 2003. Development and evaluation of predictive models for managing golden eagle electrocutions. - M.S. Thesis, Montana State University, Bozeman, MT, USA.
- Schroeder, C. 1977. Gees Hit Power Transmission Line. - North Dakota Outdoors 40: (2. omslagsside).
- Scott, R.E., Roberts, L.J. & Cadbury, C.J. 1972. Bird deaths from power lines at Dungeness. - British Birds 65: 273-286.
- Sergio, F., Marchesi, L., Pedrini, P., Ferrer, M. & Penteriani, V. 2004. Electrocution alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. - Journal of Applied Ecology 41: 836-845.
- Sillman, A.J. 1973. Avian vision. - S. 349-387 i Farner, D.S. & King, J.R. (red.). Avian biology, vol. III. Academic Press, New York & London.
- Siitari, H., Honkavaara, J. & Viitala, J. 1999. Ultraviolet reflection of berries attracts foraging birds. A laboratory study with redwings (*Turdus iliacus*) and bilberries (*Vaccinium myrtillus*). – Proc. R. Soc. Lond. B. 266: 2125-2129.
- Statnett 2010. Nettutviklingsplan 2010. Nasjonal plan for neste generasjon kraftnett. - Statnett, Oslo. 92 s.
- Stanghelle, E. 1985. Jo, høyspentlinjene tar mye fugl! - Villmarksliv 13: 73.
- Sundar, K.S.G. & Choudhury, B.C. 2005. Mortality of sarus cranes (*Grus antigone*) due to electricity wires in Uttar Pradesh, India. - Environmental Conservation 32: 260–269.
- Swensen, G. 1975. Unødige naturforringelser. - Jakt Fiske Friluftsliv 104: 23, 43.
- Swenson, J. & Angelstam, P. 1993. Habitat separation by sympatric forest grouse in Fennoscandia in relation to boreal forest succession. - Canadian Journal of Zoology 71: 1303-1310.
- Statistisk sentralbyrå 1992. Jaktstatistikk 1992. - Statistisk sentralbyrå, Oslo-Kongsvinger.
- Stolt, B.-O., Fransson, T., Åkersson, S. & Sällström, B. 1986. Luftledningar och fågeldöd. - Naturhistoriska Riksmuseet, Ringmärkningscentralen, Stockholm.
- Sørum, L. 1950. Fugleviltundersøkelser på laboratoriet. - Jeger og Fisker 79: 55-65.
- Temple, S.A. 1986. The problem of avian extinctions. - S. 453-485 i Johnston, R.F. (red.). Current ornithology, vol. 3. Plenum, New York.
- Thingstad, P.G. 1989. Kraftledning/fugl-problematikk i Grunnfjorden naturreservat, Øksnes kommune, Nordland. - Universitetet i Trondheim. Zoologisk avdeling, Vitenskapsmuseet. Notat 2. 26 s.

- Thompson, L.S. 1978. Transmission line wire strikes: mitigation through engineering design and habitat modification. - S. 51-92 i Avery, M.L. (red.). Impacts of transmission lines on birds in flight. Proceedings of a conference. Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, Tennessee.
- Tinbergen, N. 1956. Gråtruten. - Stockholm.
- Trapp, J.L. 1998. An annotated partial bibliography (1960-1998). - U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Migratory Bird Management. <<http://www.fws.gov/r9mbmo>>. Arlington, Virginia.
- Trohjell, J.E. & Vognild, I.H. 1993. Jordkabel som alternativ til luftledning. - Publikasjon 19/93. NVE.
- Van Rooyen, C.S. & Ledger, J.A. 1999. Birds and utility structures: Developments in southern Africa. - S. 205-230 i Ferrer, M. & Janns. G.F.M. (red.). Birds and Powerlines. Quercus, Madrid, Spain.
- VDEW Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke 1986. Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. - Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH, Frankfurt a.M.: 1-16.
- Verheijen, F.J. 1981. Bird kills at lighted man-made structures: not on nights close to full moon. - American Birds 35: 251-254.
- Wadén, D.J. 1904. Diskusjonskommentar. - Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskrift 33: 257.
- Watson A. 1982. Effects of human impact on ptarmigan and red grouse near skilifts in Scotland. - Report ITE 1981: 51.
- Wilkie, S.E., Vissers, P.M.A.M., Das, D., DeGrip, W.J., Bowmaker, J.K. & Hunt, D.M. 1998. The molecular basis for UV vision in birds: spectral characteristics, cDNA sequence and retinal localization of the UV-sensitive visual pigment of the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*). - Biochemical Journal 330: 541-547.
- Willdan Associates. 1982. Impact of the Ashe-Slatt 500 kV transmission line on birds at Crow Butte Island: Postconstruction study final report. - Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Wilse, E. 1951. Hvilken rolle spiller kraft- og telefonledninger når det gjelder desimeringen av vår bestand av matnyttig fuglevilt? - Jeger og Fisker 80: 197-198.
- Yee, M.L. 2008. Testing the effectiveness of an avian flight diverter for reducing avian collisions with distribution power lines in the Sacramento Valley, California. Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-122.
- Ödeen, A. & Håstad, O. 2003. Complex distribution of avian color vision systems revealed by sequencing the SWS1 opsin from total DNA. - Molecular Biology and Evolution 20: 855-861.
- Øien, I.J., Steen, O.F., Jacobsen, K.-O. & Oddane, B. 2009. Hubroen i Norge: Resultater fra nasjonal kartlegging i 2008. - Vår Fuglefauna 32: 150-156.
- Ålbu. Ø. 1983. Kraftlinjer og fugl. - K. norske Vidensk. Selsk. Rapp. Zool. Ser. 8. 60 s.

NINA Rapport 674

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426-2258-7



Norsk institutt for naturforskning

NINA hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, 7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: NO 950 037 687 MVA

www.nina.no