

Kjetil Bevanger

Kraftledninger og fugl

Oversikt og tilrådninger

Delprosjekt innen NVEs utredningsprosjekt:
"Miljøkriterier for valg av kabel"

Trondheim, januar 1995

INNHOLD

1 Kraftledninger og fugl - generelle betraktninger.....	3
2 Problemstillinger knyttet til elektrokusjon	5
3 Problemstillinger knyttet til kollisjoner.....	8
3.1 Biologiske aspekter.....	8
3.1.1 Arter involvert i kollisjonsulykker.....	8
3.1.2 Kollisjonsregulerende faktorer.....	10
3.1.3 Populasjonsmessige aspekter.....	14
3.2 Topografiske aspekter.....	17
3.3 Meteorologiske og geografiske aspekter.....	18
3.4 Tekniske aspekter.....	20
4 Andre tiltak for å hindre kollisjoner.....	22
4.1 Merkemeter og «fugleskremser».....	22
4.2 Vurdering av effekt.....	24
5 Jordkabling som alternativ.....	26
6 Kabling, fugl og nøkkelområder.....	28
7 Referanser.....	29

1 Kraftledninger og fugl - generelle betraktninger

Uforutsette effekter av kombinasjonen kraft-/telegrafledninger og fugl ble påpekt av såvel ornitologer som ingeniører relativt tidlig (e.g. Coues 1876, Grotli 1922, Michener 1928), og problematikken kan grovt grupperes innen to hovedtema; (i) biologiske og økologiske, og (ii) sosioøkonomiske/-politiske (e.g. Bevanger 1994b) (Fig 1).

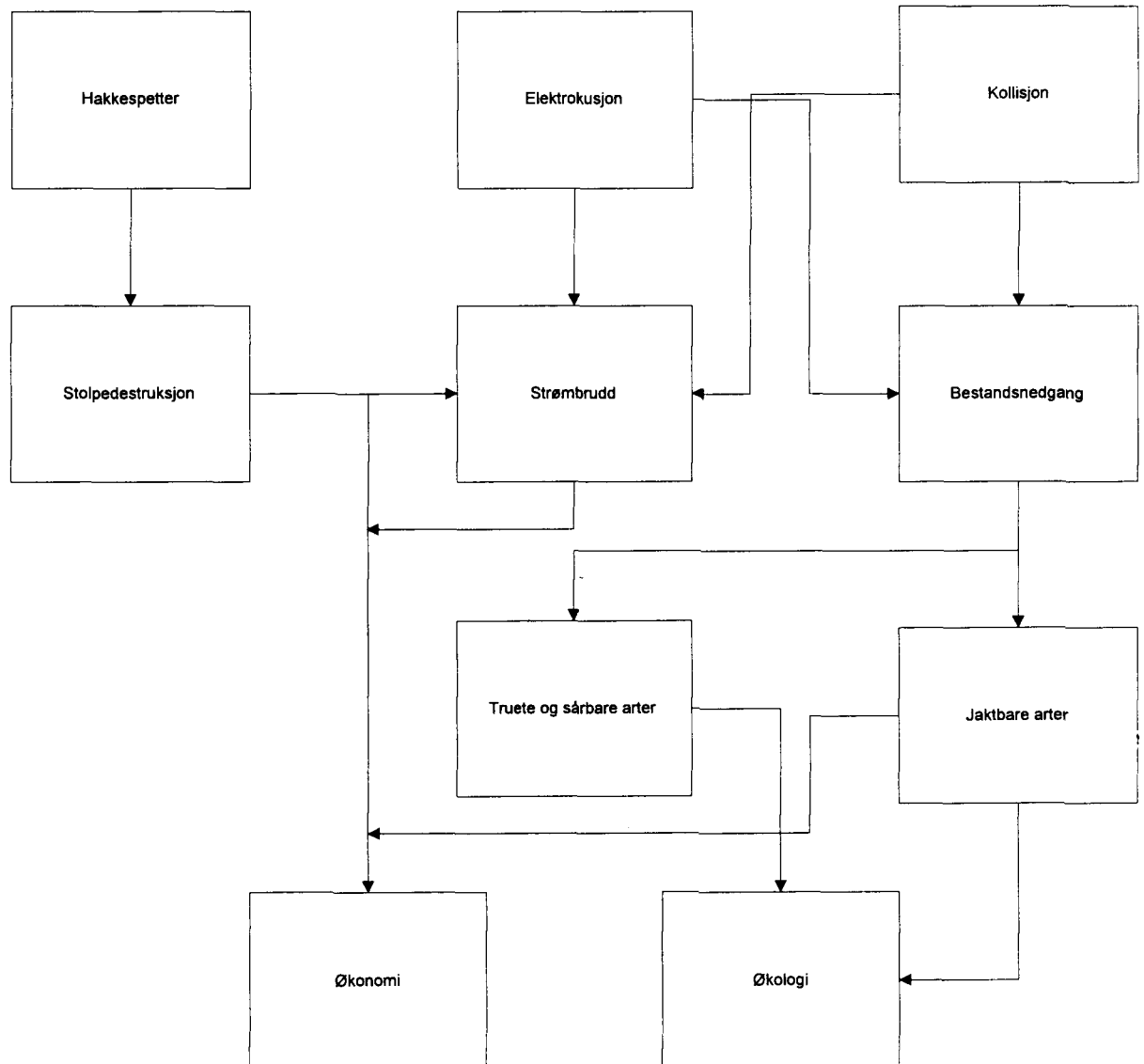
Biologiske problemstillinger er i første rekke knyttet opp mot populasjonsmessige forhold, f eks om tilleggsdødelighet hos en bestemt fugleart som følge av kollisjoner mot kraftledninger kan virke negativt på bestandsutviklingen. Økologiske aspekter er bl a knyttet til fare for spredning av botulisme på grunn av fuglekadavre som råtner under kraftledninger (e.g. Malcolm 1982, Eklund & Dowell 1987). Stor dødelighet av fugl i bestemte områder kan også tenkes å bidra til å opprettholde stor bestand av åtseletere og rovdyr (Bevanger et al. 1994).

Sosioøkonomiske/-politiske aspekter er knyttet til økonomiske og etiske forhold. Strømbrydd 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). Nedsatt jaktutbytte og forringelse av jaktområders utleieverdi som følge av kryssende kraftledninger skaper også økonomiske problemstillinger. Dette er spørsmål som har vært gjenstand for rettsaker både i Amerika og Europa, særlig i forhold til våtmarksfugl (Hobbs 1987). I Norge er tilsvarende spørsmål bragt inn for domstolene på grunn av hønsefugl (jf Nordmøre herredsrett 1988, Frostating lagmannsrett 1989).

De etiske aspektene er, ved siden av at mange reagerer sterkt følelsesmessig på at fugl lemlestes og drepes på grunn av luftledninger, knyttet til sårbare og truede arter (Bevanger 1993a). Spørsmål knyttet til bevaring av biologisk mangfold inneholder elementer såvel av økonomisk som etisk karakter.

Problemer i tilknytning til hakkespettødeleggelse av trestolper, kollisjoner mot kraftledninger og elektrokusjon fikk økt oppmerksomhet også i Norge i løpet av 1980-årene, og ulike initiativer ble tatt i denne sammenheng både fra energi- og miljøforvaltningssektorene (e.g. Hillestad et al. 1981, Ålbu 1983, Bevanger 1988, Bevanger & Thingstad 1988, Forprosjektet kraftledninger og fugl 1988). Men på tross av at det de siste 25 år kan sies å ha akkumulert en betydelig mengde data i tilknytning til dette problemkomplekset, har informasjonen tildels vært vanskelig tilgjengelig fordi det meste har vært publisert som interne rapporter eller mindre notiser i lokale tidsskrifter. Avifaunistiske utredninger og konsekvensanalyser i tilknytning til kraftledningsprosjekter har i stor utstrekning fokusert på kvantitative aspekter samt tekniske løsninger og forebyggende tiltak. Slike konsekvensutredninger har naturlig nok hatt små ressurser til faglig fordypning, noe som bl a har resultert i at kompleksiteten i disse spørsmål har vært dårlig forstått og at det i mange tilfeller er forsøkt å finne generelle løsninger i forhold til

problemer som krever spesifikk behandling. Det finnes knapt to fuglearter som f eks kan rangeres helt likt i forhold til kollisjonsutsatthet med en luftledning etter som morfologi, aerodynamiske ferdigheter og generell atferd er sterkt varierende.



Figur 1. Skjematisk fremstilling av konfliktområder knyttet til energiforsyning og fugler.

For å forstå hvorfor luftledninger og andre menneskeskapte lufthindringer kan skape problemer for fugler, er det viktig å huske at enhver art er fange av en evolusjonær fortid (e.g. Futuyma 1986). 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 større utstrekning opptrer som modifierende faktor i forhold til omgivelsene. Ulike dyregrupper har forskjellige

forutsetninger for å kompensere for endringer i miljøet, det være seg endringer av temporær eller permanent karakter. Selv om f eks fugler morfologisk og aerodynamisk er tilpasset et liv i luften, så vil en slik tilværelse alltid være en hårfin balanse, med små marginer i forhold til det å skulle overleve eller ikke. Det finnes flere observasjoner av at fugl ikke har vært istand til å hankes med naturens egne luner - f eks sjøfugl som er blitt tatt av bølgene eller har krasjlandet i fuglefjellet på grunn plutselige kastevinder.

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 naturlig 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, vindmøller, fyrlykter, biler, tog osv (e.g. Avery et al. 1980, Bevanger 1994a).

2 Problemstillinger knyttet til 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. Elektrokusjon og kollisjon er følgelig to høyst forskjellige fenomener, både med hensyn til hvilke fugler som rammes og hvordan slike ulykker kan forklares. Det er imidlertid vanlig at disse begrepene blandes sammen, selv blant fagfolk. 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 for bl a datastyrt prosesser (Bevanger 1994a).

Eksisterende kunnskap om hvilke tekniske konstruksjoner som oftest er involvert når elektrokusjonsulykker skjer, er betydelig, og forutsigbarheten i forhold til slike ulykker er relativt høy. Det er imidlertid fremdeles mangel på detaljert kvalitativ og kvantitativ informasjon, etter som det i realiteten bare er utført én bredt anlagt undersøkelse omkring elektrokusjonsulykker (jf Haas 1980) (Tabell 1). De fleste rapporter er knyttet opp mot bestemte arter eller gjengir enkeltulykker.

Tabell 1. Fugler registrert som elektrokusjonsoffer ved en undersøkelse i Tyskland (basert på Haas 1980). S=antall slekter, A=antall arter, I=antall individer.

Orden	Familie	S	A	I
Ciconiiformes (Storkefugler)	Ciiconiidae	1	2	14
Falconiformes (Rovfugler)	Accipitridae	9	13	430
	Falconidae	1	1	88
Charadriiformes (Vade-, måke- og alkefugler)	Laridae	1	1	1
Columbiformes (Duefugler)	Columbidae	1	3	12
Strigiformes (Ugler)	Tytonidae	1	1	14
	Strigidae	3	3	42
Passeriformes (Spurvefugler)	Turdidae	2	4	15
	Sturnidae	1	1	18
	Lanidae	1	1	1
	Corvidae	2	4	382

Dette innebærer imidlertid ikke at det er behov for noen storstilt feltinnsats for å samle ytterligere informasjon; eksisterende forståelse av problemet bør være tilstrekkelig til å løfte det fra et vitenskapelig plan til et forvaltnings- og politisk nivå. På grunn av at så vidt mange sårbare og truede arter er registrert som elektrokusjonsoffer, vil dette, som så mange andre av dagens biologiske problemstillinger, i sin ytterste konsekvens ende opp i et klassisk filosofisk og etisk spørsmål om å sette en pris på biologisk mangfold (e.g. Ehrenfield 1988, Randall 1988). Tekniske løsninger for å unngå elektrokusjonsulykker er utviklet (Olendorff et al. 1981, VDEW 1986, Bevanger 1994a). Økonomisk sett bør forebyggende tiltak heller ikke by på uoverstigelige problemer.

Svenske tiltak for å hindre elektrokusjon av hubro illustrerer dette. Et egen prosjekt i regi av Vattenfall ble igangsatt på 1980-tallet der en av målsettingene var å utvikle tekniske løsninger slik at hubro ikke ble drept i tilknytning til stolpetransformatorer (Lindgren 1984). Hovedprinsippene var ganske enkle, nemlig isolasjon 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 SVK 150-200. En stolpetransformator koster SVK 25000-30000 avhengig av type (Lindgren 1984). I sitt handlingsprogram sier Vattenfall bl a: «Befindliga 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 vanlige ledningsstolpar i områden som kan bedømmes känsliga (utsläppsområden, kända häckningsplatser etc.)».

Forprosjektet kraftledninger og fugl (1988) summerte sine anbefalinger i forhold til elektrokusjonsulykker i følgende punkter:

- isoler nedføringsliner 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 bør dessuten følgende tiltak vurderes:

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

Morfologi i kombinasjon med bestemte atferdstrekk, gir svar på hvorvidt en art er et potensielt elektrokusjonsoffer. Vingspenn, 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 høgt og foretrekker oppstikkende strukturer i terrenget som utkikksposter, vil være å betrakte som høgrisikoarter. På grunn av at fugler er relativt små skapninger, vil elektrokusjonsfaren primært være knyttet til kraftforsyningsstrukturer med spenninger under ca 130 kV. Det betyr også at arter mindre enn f eks en kråke har liten sjanse for å bli et elektrokusjonsoffer (Bevanger 1993a). Etter som en rekke rovfugler og ugler er avhengige av forhøyede strukturer som jaktposter, er de derfor ikke uventet å finne blant de desidert hyppigst registrerte elektrokusjonsoffer (e.g. Haas 1980). De arter som hyppigst er involvert er storkefugler (Ciconiiformes), rovfugler (Falconiformes), ugler (Strigiformes) og spurvefugler (Passeriformes). 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.

Dette innebærer også at en rekke sårbare og truede arter er involvert i elektrokusjonsulykker (e.g. Olendorff et al. 1981, Nelson 1982, Hobbs & Ledger 1986, Hobbs et al. 1993, Bevanger 1993a). I Norge og Europa forøvrig er det vist at særlig hubro er utsatt for elektrokusjonsulykker (Haas 1975, Larsen & Stensrud 1988, Bevanger 1993a). På grunn av at elektriske konstruksjoner knyttet til energioverføring har så mange utforminger (e.g. Kroodsmå & Van Dyke 1985), er det i praksis vanskelig å fjerne elektrokusjonsproblemer på kort sikt, men stadig flere nasjonale og regionale energiforvaltningsorganer går sterkt inn for å bekjempe problemet (jf Miller et al. 1975, Hobbs & Ledger 1986, VDEW 1986).

3 Problemstillinger knyttet til kollisjoner

Først på 1970-tallet ble kollisjonsproblematikken satt på dagsorden for alvor, i første rekke i USA (e.g. 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 (e.g. Hobbs 1987).

De fleste undersøkelser tilknyttet kollisjonsproblematikken har vært utført som "worst case studies" - enten knyttet til rike våtmarkslokaliteter, med f eks store mengder hekkende eller overvintrende fugler, eller til kraftledninger som krysser sentrale trekkveier, hvilket kanskje også er noe av bakgrunnen for at fuglekollisjoner mot kraftledninger tildels har vært sett på mer som et tilfeldig fenomen eller kuriosum, enn som en regulær dødelighetsfaktor.

For å gi uttømmende svar på hvorfor fugler kolliderer mot kraftledninger, må flere aspekter analyseres; det vil normalt være et sett av faktorer som virker sammen. Disse årsaksfaktorene kan grovt sett samles i fire grupper:

- * biologiske
- * topografiske
- * meteorologiske (og geografiske)
- * tekniske

3.1 Biologiske aspekter

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

- * Hvilke arter er involvert i kollisjonsulykker?
- * Hvilke avgjørende biologiske og økologiske faktorer gjør en fugl til et kollisjonsoffer?
- * 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 kollisjonsofferne (Tabell 2).

Tabell 2. Fugler registrert som kollisjonsoffer mot kraftledninger i 16 undersøkelser (Scott et al. 1972, McKenna & Allard 1976, Anderson 1978, Gylstorff 1979, Meyer 1978, Christensen 1980, Grosse et al. 1980, Heijnis 1980, Willdan Associates 1982, Longridge 1986, Rusz et al. 1986, Bevanger 1988, Thingstad 1989, Hartman et al. 1992, Bevanger 1993, Bevanger & Sandaker 1993). Antall slekter, arter og individer er angitt for hver familie. Etter Bevanger (1993a). S=antall slekter, A=antall arter, I=antall individer.

Orden	Familie	S	A	I
Gaviformes (Lommer)	Gavidae	1	2	3
Podicipediformes (Lappdykkere)	Podicipedidae	4	7	303
Procellariiformes (Stormfugler)	Procellariidae	1	1	4
Pelecaniformes (Pelikanfugler)	Pelecanidae	1	2	4
	Sulidae	1	1	1
	Phalacrocoracidae	1	2	62
Ciconiiformes (Storkefugler)	Ardeidae	4	6	79
	Ciiconiidae	1	1	5
	Threskiornithidae	2	3	13
	Phoenicopteridae	1	1	8
Anseriformes (Andefugler)	Anatidae	14	37	2983
Falconiformes (Rovfugler)	Accipitridae	3	4	7
	Falconidae	1	4	7
Galliformes (Hønsfugler)	Phasianidae	7	9	321
Gruiformes (Riksefugler)	Rallidae	6	9	1653
Charadriiformes (Vade-, måke- og alkefugler)	Haematopodidae	1	1	54
	Recurvirostridae	2	3	12
	Burhinidae	1	1	1
	Charadriidae	3	7	520
	Scolopacidae	19	48	2833
	Laridae	5	16	1447
Apodiformes (Seilere)	Apodidae	1	1	6
Columbiformes (Duefugler)	Columbidae	3	7	374
Cuculiformes (Gjøkefugler)	Cuculidae	1	1	2
Strigiformes (Ugler)	Tytonidae	1	1	1
	Strigidae	2	3	4

Orden	Familie	S	A	I
Passeriformes (Spurvefugler)	Tyrannidae	2	2	6
	Alaudidae	1	1	68
	Hirundinidae	1	1	9
	Motacillidae	2	3	34
	Troglodytidae	2	3	3
	Turdidae	6	12	420
	Sylviidae	5	12	117
	Muscicapidae	1	2	3
	Emberizidae	7	11	86
	Parulidae	3	4	7
	Icteridae	3	3	87
	Fringillidae	2	4	25
	Ploceidae	1	1	46
	Sturnidae	4	6	590
	Corvidae	2	2	18

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 flyvende 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 kraftledninger forekommer relativt sparsomt og hvor slike undersøkelser ikke er kjent utført.

Blant annet på grunn av det mangfold av datainnsamlingsprosedyrer som er benyttet i tilknytning til undersøkelser omkring 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 - f eks troster og vadefugler, registreres ofte som tallrike kollisjons ofre når undersøkelser gjøres i tilknytning til kraftledningsspenn 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 hønefugler kolliderer, etter som totalbestandene og antall kryssende individer av disse artene ofte bare utgjør brøkdeler i forhold til spurvefugler og vadefugler (Bevanger 1993a).

3.1.2 Kollisjonsregulerende faktorer

Morfologi. En fugls flyvemorfologi vil måtte utvikle seg innen et mangfold av biomekaniske og økologiske rammebetingelser på en måte som tillater individet å optimalisere overlevelse og reproduksjon. Seleksjonen kan f eks favorisere evnen en fugl har til å utnytte tilvokste og vanskelig fremkommelige habitater ved at

vingespennet blir mindre eller ved at manøveringsdyktigheten øker. Vingeladning, dvs forholdet mellom kroppsvekt og vingereale, og aspekt, dvs forholdet mellom vingespenn og kvadratet av vingereale, er avgjørende for fuglers flyveferdighet (e.g. Norberg 1990).

Forskere har de senere år brukt multivariate analysemetoder for å studere fuglers flyveevne i forhold til anatomi og økologisk tilpasning (e.g. Rayner 1988, Norberg 1990). Rayner (1988) har bl a gruppert taxonomiske hovedgrupper av fugl i forhold til vingemorfologi ved å benytte uavhengige mål av kroppsstørrelse og vingeporsjoner. Denne metoden er spesielt nyttig ved at det er mulig å identifisere hva vi kan kalle "dårlige flyvere".

Generelt synes det å være en betydelig overvekt av arter med høy vingeladning blant kollisjonsofre; f eks rikser, tinamuer og hønefugl. Når det gjelder riksefugler finnes betydelige mengder empiriske data som støtter opp om en slik antagelse. Tinamuer, som utelukkende finnes i Sør-Amerika, og som rent morfologisk har mange fellestrekk med hønefugl, beskrives som særdeles klønete flyvere som både flyr inn i husvegger og andre hindringer som står i veien (del Hoyo et al. 1992). Publiserte data omkring fugl og kollisjoner mot kraftledninger fra Sør-Amerika er imidlertid ikke funnet.

I Norge og andre nordiske land har det vært mulig å studere kollisjonsutsatthet hos hønefugl. Helt fra århundreskiftet finnes beretninger i bl a Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskrift som uttrykker bekymring for at både rype, storfugl og orrfugl ble funnet drept under kraft- og telefonledninger (e.g. Wadén 1904, Grotli 1922, Sørum 1950, Wilse 1951, Johannessen 1952, Hiltunen 1953, Heitkøtter 1972, Anon. 1973, Swensen 1975, Stanghelle 1985). For å se om dette var en regulær dødelighetsfaktor for hønefugl ble det i perioden 1984-87 foretatt regelmessige patruljeringer av utvalgte høgspenningsavsnitt 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 kollidere 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 vår (Bevanger 1993b, Bevanger & Sandaker 1993).

Syn. Det synes å være generell mangel på artsspesifikk detaljkunnskap når det gjelder fuglers syn. Men etter som temaet både er komplekst og fasinerende, har det vært gjenstand for betydelig forskningsinnsats opp gjennom årene (Sillman 1973, Schmidt-Morand 1992).

Da hønefugler 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 (e.g. 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.

Visse karakteristiske trekk hos våre skogsfuglarter kan være med å støtte opp under en antagelse om at de ikke har spesielt skarpt syn. Det er f eks 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 f eks 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 resonnerer i forhold til 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 mellom nord og sør 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 luftliner. 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). Hvis ryer ser godt, kan det forventes at de ikke vil kollidere så ofte mot tykke som tynne liner. Hvis de derimot generelt ser dårlig og uskarpt, vil forskjeller i wire-tykkelse 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 1993a).

Atferdsøkologi. Bestemte atferdskarakteristika vil bidra til å øke faren for kollisjoner. Arter som tilbringer mye tid i luften vil f eks måtte antas å kollidere oftere enn dem som tilbringer det meste av livet på bakken. Hønsefuglarter har alle sine bestemte atferdsmønstre, f eks 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 det mønster som er blitt funnet ved kartlegging av kollisjonsomfang hos hønsefugl kan forklares ut fra karakteristiske atferdstrekk hos den enkelte art.

Det ville f eks 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 1993a) 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.

Når forholdet mellom antall kollisjonsdrepte fugler funnet og antall observasjoner av levende fugl ble benyttet som en kollisjons-sårbarhetsindeks, viste det seg at flest storfugl kolliderte om vinteren, mens flest orrfugl kolliderte om høsten (Bevanger 1993a). Et arbeid omkring skoghønsenes aktivitetsrytme som ble publisert i Finland nylig (Marjakangas 1992) kan kanskje bidra til å forklare denne forskjellen i kollisjonsmønster. Det ble funnet at orrfugl om vinteren har en aktivitetsperiode i forhold til næringssøk om morgenen omkring soloppgang. Resten av tiden, i gjennomsnitt ca 94%, tilbringer den nede i snøen, i dokk. Dette gjør at orrfuglens aktivitetsmønster skiller seg fra det som er funnet hos storfugl og rype, som har en aktivitetstopp mot kvelden når lysforholdene er dårlige. I tillegg må understrekes at orrfugl relativt hyppig spiller om høsten, hvilket fører til at fuglene beveger seg en del i terrenget (Bevanger 1993a).

Jerpe er ikke blitt registrert som kollisjonsoffer (Bevanger 1993a). Dette innebærer neppe at arten er bedre flyver eller har andre egenskaper som gjør den bedre skikket til å unngå kollisjoner mot kraftledninger enn andre hønsefugler. Svaret ligger trolig gjemt i artens økologi. For det første er jerpe sterkt knyttet til bestemte biotoper som har begrenset utstrekning og vil følgelig ha et flekkvist utbredelsesmønster (jf 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.

Sammenfatningsvis kan altså sies at for å kunne forklare hvorfor hønsefugl synes å være spesielt utsatt for å kollidere mot kraftledninger, må både flyvemorfologi, syn og atferdsøkologi trekkes inn i bildet. Det er mange indikasjoner på at hønsefugl er spesielt utsatt for å kollidere med luftledninger både på grunn av syn, flyveferdigheter og bestemte atferdskarakteristika knyttet til de enkelte årstider.

Arter som tilbringer mye av sin tid i luften, i førtste rekke predatorer, 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 (f eks jaktfalk, vandrefalk, hønsehauk, myrhauk og kongeørn) (Bevanger & Thingstad 1988, Rose & Baillie 1992).

3.1.3 Populasjonsmessige aspekter

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.

Tapstall. Som tidligere understreket dreper kraftledninger likt og ulikt av fuglearter, både arter med livskraftige populasjoner og arter som så å si er utryddet. Det kan være illustrerende å benytte kaliforniakondoren *Gymnogyps californianus* som eksempel. Arten har hatt en dramatisk tilbakegang gjennom hele dette hundreåret og vært utsatt for en rekke dødelighetsfaktorer; særlig har farmere raskt tatt frem hagla når en kondor har vært i nærheten. 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 (e.g. Temple 1986).

Når det gjelder omfang av kraftledningsdødelighet i forhold til norske hønefuglarter, 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 10 årene er dokumentert at kraftledninger er en regulær dødelighetsfaktor for hønefugler (Bevanger 1988, 1993a og b, Thingstad 1989, Bevanger & Sandaker 1993), har det vært vanskelig å komme frem til pålitelige estimater for hvor mye fugl som drepes lokalt, regionalt eller nasjonalt. Det er derfor utarbeidet forslag til en metode for hvordan antall kraftledningsdrepte hønefugler kan beregnes (Bevanger 1993a, 1995b). Som grunnlag for denne beregningen er brukt "funnfrekvens", dvs antall ledningsdrepte storfugl og orrfugl funnet pr km patroljert kraftledning i Midt-Norge (Bevanger 1988, 1993a) og

tilsvarende for rype basert på gjennomsnittstall fra Hemsedal og Polmak (Bevanger 1993b, Bevanger & Sandaker 1993).

Det antall kollisjonsoffer som blir funnet når kraftledninger patroljeres, representerer minimumstall og det er derfor viktig å finne korreksjonsmuligheter (Bevanger 1993a). De viktigste feilkilder er knyttet til (i) fugl som blir oversett under patroljeringen, f eks fordi patroljøren "har en dårlig dag" eller fordi offeret er nedsnødd eller ligger gjemt i ufremkommelig busk og kratt; (ii) fugl som fjernes av åtseletere før patroljøren kommer til stede (jf Bevanger et al. 1994), og (iii) fugl som får dødelige skader, men som klarer å fjerne seg tilstrekkelig fra ledningene til at de ikke blir funnet under feltarbeidet.

I tillegg til korreksjoner for funnfrekvens, er det nødvendig å kjenne kraftledningenes fordeling i terrenget, dvs antall km som f eks krysser rypeterreng. Av ca 215 000 km kraftledninger i Norge, er ca 95 000 høyspent, dvs fra 11-420 kV (Statistisk sentralbyrå 1993). Alle undersøkelser i tilknytning til hønsefugl og kraftledninger som er utført i Norge er knyttet til høgspennettet og denne delen av nettet er derfor benyttet som grunnlag for en mer landsomfattende beregning for kollisjonstap.

Et digitalisert kartgrunnlag for høgspennettet som dekket relativt store deler av landet, sammen med andre digitaliserte kartdata, ga grunnlag for å beregne hvor mange km kraftledninger som var knyttet til henholdsvis rype-, storfugl- og orrfuglterreng (Bevanger 1993a, 1995b). På bakgrunn av en korrigert funnfrekvens og antall km høgspennledninger som krysser et artsspesifikt habitat, er totale tap for ulike årstider estimert. Sammenligner en de estimerte kollisjonstapene med det årlige jaktuttaket av de samme arter, representerer de henholdsvis 9%, 47% og 90% for rype, orrfugl og storfugl (Bevanger 1993a). Estimert, årlig, gjennomsnittlig jaktuttak for perioden 1987/88 til 1991/92 var 572000 ryper, 55500 orrfugl og 22200 storfugl (Statistisk sentralbyrå 1992).

Konsekvenser for bestandsutvikling. I dagens situasjon er mange fuglearter og andre dyregrupper 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. Dette er en realitet såvel for truede og sårbare arter, som småviltarter. Situasjonen er forøvrig enkelte steder slik at småviltarter også er truede arter. I Tsjekkia er for eksempel orrfugl nå oppført som truet art. Også i Norge er flere fuglearter ansett for å ha truet eller sårbar status (e.g. Christensen & Eldøy 1988, Størkersen 1992). 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 f eks 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 faglig sett

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 av 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). Det er imidlertid viktig å understreke at menneskelig aktivitet har ødelagt store områder med naturlige habitater og ressurser, som f eks hekkeplasser og jaktposter for enkeltarter, eksempelvis 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 induserte 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 (f eks kaliforniakondoren), er det liten grunn til å diskutere hvorvidt kraftledninger er farlige for bestanden eller ikke. 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 hønsfugler, høy reproduksjonsevne og kort levetid. Teoretisk vil derfor en ekstra dødelighet hos norske hønsfugler, forårsaket av kraftledninger, isolert sett ikke forventes å ha negative konsekvenser for populasjonsutviklingen.

Men selv om det ikke er grunn til å dramatisere tapsestimatene for norske hønsfugler i forhold til kraftledninger, er det viktig å legge merke til at tapstallene for f eks storfugl kan vise seg å ligge i samme størrelsesorden som jaktuttaket på landsbasis. Etter som beregningene bare bygger på eksisterende høgspennnett, kan det tenkes lokale situasjoner der den totale luftledningsbelastningen er så høy at det kan ha negative virkninger for bestanden. Undersøkelser foretatt i Hemsedal over en treårsperiode (Bevanger 1993c, Bevanger & Sandaker 1993) viste at det i dette området ble drept flere ryer mot kraftledninger enn det som ble tatt ut i samme område under jakta (Bevanger 1993c). Selv om dette naturlig nok beror på at et bestemt antall jegere jakter i området, dvs at jaktuttaket kan økes ved å øke antall jegerdøgn, så illustrerer det at kraftledninger lokalt kan være en betydelig beskatningsfaktor.

De undersøkelser som er utført viser at kraftledninger tar flest storfugl og rype på etterjulsvinteren 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 vintermånedene. 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 fluktasjoner i bestanden av hønefugl, og det mangfold 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.

Best kan dette gjøres ved å utstyre en del av bestanden i et område med radiosendere og så følge fuglene for å se hvordan de mister livet. Et pilotprosjekt i denne sammenheng ble startet i Hemsedal våren 1994, der 6 ryper ble utstyrt med radiosendere. I løpet av 10 måneder var 2 av fuglene drept ved at de hadde fløyet inn i kraftledninger, to var tatt av rovfugl mens to fremdeles var i livet (Bevanger unpubl.). Det er imidlertid neppe en realistisk strategi - f eks for å øke jaktutbytte - hverken å fjerne rovviltet eller kable alle kraftledninger.

3.2 Topografiske aspekter

Det er vanskelig å vurdere hvordan landformasjoner innvirker på det valg fuglene gjør mht flyverute. 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 f eks være en kystlinje. Generell kunnskap om ledelinjer som har betydning for fuglers navigering, lokalt eller i forbindelse med langdistanseforflytninger (e.g. 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 eller treløse områder som myrdrag som tillater fugler å fly lavere enn de ellers ville kunne gjøre. En trent 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 fuglearters atferdsmønstre.

En kraftledning som er plassert mellom et område våtmarksfugler benytter til å hente mat og et område de tilbringer natten, kan være katastrofal (e.g. McNeil et al. 1985, Crivelli et al. 1988), spesielt når det bare er en kort distanse mellom områdene slik at fuglene flyr i et kritisk høydenivå. Fugler som er avhengige av spesielle spillplasser om våren (f eks storfugl og orrfugl) er sårbare for å kollidere hvis kraftledninger og gjerder er lokalisert i nærheten, siden de ofte foretar korte forflytninger i kritiske høyder (Bevanger 1990).

Et hovedprinsipp i forbindelse med trasévalg for kraftledninger som f eks 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 (jf Thompson 1978). Skogsvegetasjon langs kraftledninger, der trærne når over linene, vil ofte være en effektiv hindring og garanti mot kollisjoner. 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.

Undersøkelser 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. 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.

I tillegg til prinsippet om å plassere ledningene i tilknytning til strukturer som tvinger fuglene til å øke flyvehøyden, bør ledningene plasseres parallellt i forhold til sentrale trekkveier og ledelinjer (Scott et al. 1972). Disse prinsippene ble illustrert av Thompson (1978), som ikke bare understreket betydningen av å lokalisere linene parallellt med topografiske elementer som daler, rygger og forkastninger, men også parallellt 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).

3.3 Meteorologiske og geografiske aspekter

På tross av at fuglers trekkmønster er en del av deres livshistoriestrategi, og følgelig kunne vært behandlet i tilknytning til de biologiske aspektene (2.2.1), synes det naturlig å diskutere dette i tilknytning til meteorologiske aspekter etter som fuglers forflyttingsmønster i stor grad synes å være influert av vær og atmosfæriske forhold (e.g. Alerstam & Ulfstrand 1975).

Flyvemønster og variasjoner i flyvehøyde er viktige faktorer når sannsynligheter for at kollisjoner skal finne sted skal vurderes. Radarstudier og visuelle observasjoner fra bakken (fugleobservatorier) og fra fly (e.g. Easwood 1967, Able 1970, Pennycuick 1972, Alerstam & Ulfstrand 1974, Durman 1976, Pennycuick et al. 1979, Richardson 1976, 1978, 1979, Alerstam 1985) har i vesentlig grad bidratt til å øke vår kunnskap om betydningen av slike faktorer de senere årene. Kerlinger & Moore (1989) har laget en samlet fremstilling omkring effektene av variasjoner i atmosfæriske forhold i relasjon til fugletrekk. Martin (1990) har gjort det samme i tilknytning til hvilke sensoriske problemer nattaktive arter, inklusive

arter som trekker om natten, møter. Martin (1990) slår fast at arter som trekker om natten trolig utfører den mest fremtredende nattaktive atferd hos fugler overhodet.

De fleste trekkfugler, dvs de som flyr aktivt ("aktive flyvere"), trekker normalt om natten eller tidlig om morgenen, før kl 1000. Trekkfugler med passivt forflyttningsmønster ("passive flyvere"), dvs større arter som er avhengig av oppadgående luftstrømmer, trekker i stor utstrekning midt på dagen (Kerlinger Moore 1989). Større arter, slik som de fleste vannfuglartene, har større tendens til å trekke på dagtid enn mindre spurvefugler (Evans 1990). Hovedfaktorene som er med å bestemmer disse trekkmønstrene er lufttemperatur og vindforhold. Martin (1990) understreket 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. Det er enighet blant forskere om at det generelt er svært vanskelig å komme med bastante utsagn i forbindelse med det å skulle beskrive fuglers trekkmønstre og trekkstrategier.

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 vær-situasjoner vurderes. Disig, overskyet vær, og spesielt tykk tåke og vind, er kjent for å påvirke den generelle flyvehøyden slik at fuglene flyr lavere, ofte like over bakken (Avery et al.1977, Elkins 1988, Kerlinger & Moore 1989). Noen av de mest dramatiske beretninger om fuglekollisjoner mot konstruksjoner oppført av mennesker beskriver nettopp slike værforhold (e.g. Kemper 1964, Aldrich et al. 1966, Blokpoel & Hatch 1976, Schroeder 1977, Verheijen 1981). Når det er meget 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 flyvehøyden i forhold til vindretning og -hastighet (Kerlinger & Moore 1989). Motvind tvinger fugler til å fly lavere enn medvind (e.g. 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.

De meteorologiske så vel som biologiske og topografiske aspektene, er viktige i forbindelse med planlegging av en kraftledningstrasé. Omhyggelig planlegging er blant de beste og billigste metoder for å redusere fuglekollisjoner mot kraftledninger (jf Miller 1978, Thompson 1978). Detaljert kunnskap om lokale trekk og forflyttningsveier er her avgjørende. Dessverre er slik kunnskap ofte mangelvar. Generelt må økologisk, følsomme områder, slik som våtmarker hvor fugler samler seg for å finne næring under trekk, hekke, hvile eller overvintre, unngås. I enkelte deler av verden, f eks USA, er såkalte periodiske våtmarksområder et godt eksempel på områder som bør unngås, men som ikke alltid er like åpenbare nøkkelområder for fugl. Slike områder er i første rekke produktive når de blir oversvømmet, men kan fremstå som tørre områder det meste av tiden og følgelig ikke bli vektlagt under planleggingsprosessen.

Etterhvert som kunnskap om hva som karakteriserer et særdeles kollisjonsutsatt ledningsavsnitt akkumulerer, vil forhåpentligvis dette bidra til mer optimale

ledningstraséer velges. Utvelgelse av kraftledningstraséer er derfor ikke bare en oppgave for teknikere og ingeniører, men i høyeste grad en prosess der økologer må inn i bildet fra første stund. Det er imidlertid en rekke andre interessekonflikter knyttet til kraftledningsbygging, f eks økonomiske, landbruks- og skogbruksinteresser og estetiske/frilufsmessige hensyn. Det må derfor bli opp til miljø- og energiforvaltningsmyndighetene å avgjøre hvilke hensyn som skal veie tyngst i det enkelte tilfelle.

Som det ble nevnt under 3.1.2 "Atferdsøkologi", så er det store forskjeller med hensyn til når ulike fuglearter har sin største aktivitet, både i forhold til en døgnrytme og i forhold til en årsrytme. Arter som har stor aktivitet ved dårlig belysning, dvs nattaktive og skumringsaktive arter, kan forventes å være sårbare i forhold til det å skulle fly inn i konstruksjoner oppført av mennesker (Elkins 1988, Martin 1990). Aktivitet under dårlige lysforhold er et stort og komplekst problemområde knyttet til fuglers atferd. Det er enighet om at slik aktivitet ikke finner sted uten risiko, og Martin (1990, s. 115) sier det så sterkt som at "nocturnal behaviour in birds requires an unobstructed habitat". Lysforhold avhenger av breddegrad og årstid. Midtvintersbelysningen (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 enn fugler lengre sør, og kollisjonsfrekvensen må antas å øke med økende breddegrad etter som lysforholdene forverres i takt med økende breddegrad i vinterhalvåret. 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, er imidlertid ikke spesielt konstruktivt etter som mulighetene til å teste dette er minimale. 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 trekkfugler generelt er mer utsatt for kollisjoner enn stasjonære arter.

3.4 Tekniske aspekter

På tross av at flyvehøyden 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 luftledninger påvirkes gjennom design og utforming av energioverføringssystemene, f eks 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 bli 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 Holland viste det seg at ved å gå over til en mastekonstruksjon med bare to ledningsnivå, så ble kollisjonshyppigheten betydelig redusert (Renssen et al. 1975). Mange norske energiverk understreket i sine svar på et spørreskjema (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1994a), at de hadde observert at trekantoppheng i særlig grad forårsaket fuglekollisjoner.

Det kan være fornuftig å samle flere kraftledninger langs en felles trasé (Thompson 1978). 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 parallellt, men med noe avstand til hverandre, tvinger fugler til å foreta en rekke unnvikende manøvrer, med en derav følgende økning i kollisjonsrisiko. På en annen side vil kraftledninger samlet i en felles korridor og med liner i mange høydenivå kunne medføre betydelig kollisjonsrisiko for fugler når det er dårlig vær og redusert sikt.

Det er de senere år, bli a i Norge, i økende grad tatt i bruk forskjellige typer luftkabler i fordelingsnettet, både høyspent og lavspent. Den vanligste type luftkabel ved 22 kV er BLX-line (eventuelt AXUS). Dette er en «vanlig» luftline med isolasjon for å kunne ha et smalere ryddebelte for f eks trær etter som de kan tåle en viss periode med innbyrdes berøring uten å forårsake overslag. Dette er trolig en fordel i forhold til det å skulle unngå kollisjoner (jf 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 påflyvning mot en metallwire.

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 et al. 1984). Flere forfattere har understreket at jordlinene i særdeleshet mistenkes for å forårsake mange kollisjoner (e.g. 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.

Overføringsledninger i Sverige har de senere årene blitt 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 faselederdiametere. Undersøkelser omkring rypekollisjoner i Sør-Norge (Bevanger & Sandaker 1993) synes tvert imot å indikere at det ikke er noen sammenheng mellom linediameter og kollisjonsomfang.

Alternativer til jordliner er generelt vanskelig å finne og må vurderes etter spenningsnivå. For distribusjonsnettet (22 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 lynoverspenninger slik som toppliner på høyere spenningsnivåer. 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 utsatte fugleområder. Alternativer til gjennomgående jordline på 22 kV er først og fremst bedre jording rundt transformatoranlegg, eventuelt å grave jordlina ned over korte 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 strekninger kan det være aktuelt å grave den ned, f.eks. over ledningsstrekking der fugl er spesielt utsatt. Nedgraving av topplina over en lang strekning er ikke ønskelig fordi man da mister topplinas vernevirking mot lynoverspenninger.

4 Andre tiltak for å hindre 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 også å evaluere eksisterende metoder spesielt utviklet med det for øyet å redusere fuglekollisjoner mot kraftledninger.

Den vanlige "løsningen" når fuglekollisjoner mot kraftledninger skal reduseres, er linemerking. Linemerking (inklusive akustiske metoder) har vært omfattet med betydelig oppmerksomhet de senere år slik at det nærmest er blitt utviklet en egen linemerkingindustri. Et imponerende utvalg av "skremsler" som kan festes til enten faseledere eller jordliner eller begge deler, er kommet på markedet.

4.1 Merketoder og "fugleskremsler"

(1) Linefarging (kulørte plastikkovertrekk, maling av liner). Vellykket linefarging har vært rapportert fra Norge (Folkestad 1978, 1980). 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 til en nedgang i kollisjonshyppigheten.

Større oppmerksomhet skulle knyttes til hvilken farge som bør brukes ved linefarging. Ved svak belysning absorberer synspigmentet i fugleøyet best ved ca 500 nm (dvs i den blågrønne del av spekteret). I dagslys er det mye som tyder på

at maksimal absorpsjon skjer ved ca 560 nm (dvs i den gulgrønne del av spekteret). De som fabrikerer og designer "lineskremser" bør ta hensyn til dette for å optimalisere effekten, og benytte farger tilpasset om det er ønskelig å gjøre linene mer synlige for typisk dagaktive arter eller arter som også er natt- og skumringsaktive.

(2) Fysisk forstørrelse (ballonger, kuler, spiraler, plastikkstrimler osv). Merkeutstyr med forskjellig utseende og farge kan festes på faseledere og/eller jordliner (e.g. Renssen et al. 1975, Koops 1985). Fugleavvisere ("Plastic Bird Flight Diverters") er det utstyr som er mest brukt. Disse forekommer også i forskjellige farger og med forskjellig fasong. 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 (jf Renssen et al. 1975).

(3) Silhuetter/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 nattkvarter 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. Skremmelsinnretninger (punkt 3 og 5) for fugl er vanligvis virksomme for fugl på trekk, dvs fuglene oppholder seg ikke i området lenge nok til at de blir vant til dem. Bruk av utstoppede predatorer er ikke rapportert brukt.

(4) Bruk av lys. De metoder som er nevnt i det forgående (1-3) har naturlig nok liten effekt på nattaktive arter og dagaktive arter som trekker om natten. 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 f.eks. Alerstam & Karlsson 1977). I USA har det vært rapportert om store tapstall i forbindelse med at fugler har kollidert mot barduner festet til lystårn (ceilmåtere eller skyhøydemålere) eller at de også har blitt blendet og utmattet og drept mot bakken (Arend 1970, Avery et al. 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).

(5) Akustiske skremmemetoder. Akustiske metoder kan, ifølge Blokpoel (1976), deles i a) ultrasoniske lyder (dvs over 20 000 Hz), b) kunstige lyder, f.eks. 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") er dette en alminnelig brukt metode for å skremme vekk arter som er å betrakte som "pestarter" (f eks i forhold til korn og frukt dyrking) og arter som kan være en trussel mot flysikkerheten. Det er derfor utviklet en rekke metoder for å produsere skremmelyder (se f eks 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.

Blokpoel (1976) har gitt 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. Så langt synes bare varsellyder fra fugl å ha vært brukt rutinemessig i skremmeøyemed og Blokpoel (1976) påpeker 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 (Blokpoel 1976). Denne forskningen er imidlertid så langt på begynnerstadiet.

4.2 Vurdering av effekt

Etter som fuglekollisjoner mot kraftledninger i stor utstrekning finner sted under dårlige vær- og lysforhold, er merke metodene nevnt under 1, 2 og 3 av tvilsom verdi og vil i beste fall bare kunne være til nytte for nattaktive 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 f eks Koops 1986). På en annen side er det blitt 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 understreker at det er sterke indisier på at kollisjonsfrekvensen går ned når avstanden mellom utplasserte merker langs en line er kort, f eks 5 m (hvilket bl a kan oppnås med alternerende merking av parallelle liner). Koops (1986) støtter 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 (e.g. Martin 1985, 1990, Schmidt-Morand 1992). Den optiske struktur hos fugleøyet, dets plassering og bevegelsesmuligheter i øyehulen, gjør at majoriten 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 romlige virkelighet og til å bedømme relative avstander og vurdere strukturer og topografiske forhold av

betydning (Martin 1985, 1990). Mer detaljert kunnskap omkring ulike fuglearters syn vil trolig vise seg å være svært nyttig i arbeidet med å utvikle nye "fugleavvisere" og "fugleskremser" som kan brukes til å synliggjøre luftliner.

Netthinnen hos fugl er i prinsippet ikke forskjellig fra hva en finner hos andre dyrearter, og har både «staver» og «tapper», nerveceller som er følsomme for henholdsvis lave og høye lysmengder (jf e.g. Sillman 1973). Som andre dyr med dobbel netthinne, så har fugler utviklet «områder» eller sentralflekker. Sillmann (1973, s. 357) definerer et område som «et sted på netthinnen hvor tettheten av «tapper» er mindre på bekostning av «staver»». I godt utviklede sentralflekker er det også dannet en fovea, dvs en forsinking med stor tetthet av synsceller og følgelig et område som har evne til å oppfatte skarpe bilder av omverdenen. Tilstedeværelsen av en eller flere foveaer er opplagt avgjørende for en fugls evne til å oppfatte og å unngå uventede lufthindringer. På grunn av at den foveale struktur i fugleøyet antas å være av spesiell betydning for posisjonsbestemmelse og for å kunne oppfatte bevegelser (Pumphrey 1948), må stasjonære merkemeter antas å være mindre effektive enn merker som er i bevegelse.

Det første merkingeksperimentet som fant sted i tilknytning til kraftledninger synes å ha vært i England ved Teesmouth i 1964 (Scott et al. 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 flyveintensitet, 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 kraftig 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 1993). Merkingen var i dette tilfellet utført med gule, vibrerende spiraler eller gule, svingende fiberglassplater. Morkill & Anderson (1993) observerte også signifikant nedgang i kollisjonshyppighet hos «sandhill crane» i Nebraska langs merkede/umerkede ledningsavsnitt. Merkingen var i dette tilfellet utført med gule kuler.

"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 (e.g. Meyer 1978, James & Haak 1979, Willdan Associates 1982, Fredrickson 1983, Brown et al. 1987, Faanes 1987, Bevanger 1994b). Dette kan være en nyttig metode for å lære mer om hvilke sensoriske effekter ulike merkemeter har i forhold til ulike arter.

Linemerking har så langt ikke vist seg å være noen "endelig" løsning på kollisjonsproblematikken, på tross av at enkelte merkeforsøk utvilsomt har vært

vellykket. Det kan derfor fremdeles med betydelig tyngde hevdes at utgifter i forbindelse med merking primært kan forsvares når problematikken dreier seg om truede og sårbare arter. Det er imidlertid ingen bred konsensus blant biologer eller andre fagfolk om disse spørsmålene, noe som blant annet må ses i sammenheng med mangel på tilfredsstillende dokumentasjon. Med referanse til «føre vår prinsippet» er det imidlertid blitt hevdet at merking likevel bør gjennomføres, dvs til tross for sprikende resultater ved virkningsanalyser.

Fugleverngrupper og andre interesseorganisasjoner har hevdet at kollisjonsproblematikken også har relevans i forhold til generelle trender i bestandsutvikling hos mange fuglearter. Kraftledninger dreper utvilsomt millioner av fugler hvert år, stasjonære så vel som trekkende arter (e.g. Braaksma 1966, Renssen et al. 1975, Gylstorff 1979, Hoerschelmann et al. 1988). Den generelle bestandsnedgang som er observert hos en rekke trekkfuglearter (Lövei 1989) er, sammen med behov for mer kunnskap om virkninger av linemerking, utvilsomt et godt argument for å intensivere forskningsinnsatsen på området kraftledning-fugl. Ikke minst i tilknytning til hvilke populasjonsmessige virkninger ekstra dødelighetsfaktorer som kraftledninger kan ha. Mer sofistikerte matematiske metoder er også i ferd med å gjøre slike beregninger mulig og mer pålitelig (e.g. Akcakaya 1993) når et visst datagrunnlag finnes.

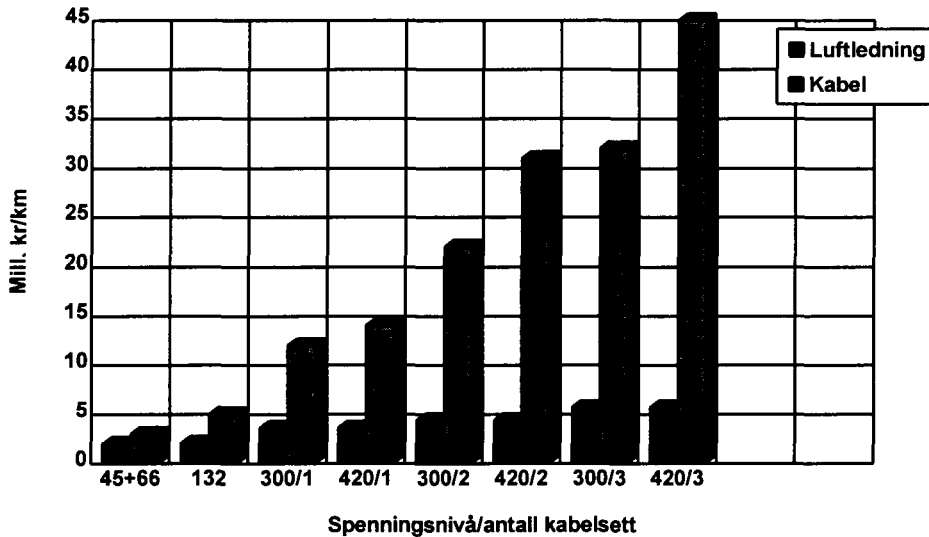
Fra et teknisk synspunkt er linemerking ikke uproblematisk. Merkeutstyr som medfører fysisk "forstyrrelse" av linene kan skape problemer, bl a ved å virke som vindfang og ved å forårsake ekstra store islaster om vinteren slik at linene kan kuttes.

5 Jordkabling som alternativ

Hverken optimalt korridorvalg eller merking kan fullstendig fjerne kollisjonsproblemet. Den eneste sikre metode mot at fugler skal fly inn i kraftledninger, er jordkabling.

Det er gjort flere beregninger som viser hvilke kostnader kabling medfører (e.g. Madsen 1979). En omfattende analyse ut fra norske forhold er nylig utført av NVE (Trophjell & Vognild 1993). 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), tapskostnader (TAK) (energitap i form av varme til omgivelsene) og avbruddskostnader (AK). IK 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 lavere 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 luftledninger. 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. I sin rapport har Trohjell & Vognhild (1993) sett bort fra AK ved beregning av TK.



Figur 2. Totale kapitaliserte kostnader ved et valgt overføringsnivå for ulike spenningsnivåer og ulike antall kabelsett (300 og 420 kV). Etter Trohjell & Vognhild (1993).

Som det går frem av figur 2 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 (10 500 km) kreve investeringer på ca 20 mrd. kroner. Hvis alle luftledninger fra 45 kV og oppover skulle kables ville dette koste 250-300 mrd. kr (Trohjell & Vognhild 1993). Ut fra dette kan det uten videre slås fast at generell kabling ved slike spenningsnivå for å unngå problemer knyttet til fuglekollisjoner, er urealistisk.

Det er imidlertid grunn til å understreke at den totale lengde luftledninger fom 45 kV og oppover relativt sett utgjør en svært liten del (<15%) av det norske luftledningsnettet. Tyngden av problemer knyttet til fuglekollisjoner mot luftledninger er følgelig å finne i tilknytning til lavere spenningsnivåer. Kostnadsforskjeller mellom jordkabel og luftledning på spenningsnivåer under 45 kV, er relativt sett små.

6 Kabling, fugl og nøkkelområder

Det synes å være relativt bred enighet om at kabling av nye anlegg på de lavere spenningsnivåene vil være et reelt alternativ i årene som kommer. Hvorvidt generell kabling ved lavere spenningsnivå (f eks t.o.m. 22 kV) blir et ønske eller krav fra miljø- og energiforvaltningsmyndighetene, gjenstår å se. For å redusere fuglekollisjoner ville dette utvilsomt være et effektivt tiltak. Kabling på lavere spenningsnivå bør uansett bli mer benyttet på steder en vet er utsatt for kollisjoner - og elektrokusjon. Dette gjelder særlig ledningstraséer som planlegges nært inn til ornitologiske nøkkelområder, f eks våtmarker, spillplasser og hekkeplasser for rovfugl og ugler. Ved kryssing av typiske trekkleder som f eks elver bør også kabling benyttes.

Mer komplisert blir avgjørelser i forhold til kabling ved høyere spenningsnivå. De samfunnsøkonomiske konsekvensene vil i de fleste tilfeller bli så store at det vil være vanskelig å sette verdien av sparte fugleliv opp mot dem. Det må derfor generelt antas at kabling bare vil komme på tale rent unntaksvis. Enkelte steder langs kysten, og i innlandet, er det imidlertid våtmarksområder med så store konsentrasjoner av fugl at etablering av luftspenn vil kunne ha katastrofale følger. Krav om kabling av kortere strekninger på slike steder vil trolig bli et tema i miljødebatten fra tid til annen. Krav om kabling vil, i tillegg til områder med fare for at store mengder fugl skal drepes, også reises med berettigelse når sårbare og truede arter påviselig er utsatt for utstrakt dødelighet i tilknytning til høgspennetledninger. Det vil i slike tilfeller naturlig nok stilles krav til dokumentasjon av dødelighetsomfang og betydning av en spesiell dødelighetsfaktor, noe som ofte kan være svært vanskelig.

De mest sårbare og viktigste områder i Norge, sett fra et miljøsynspunkt, begynner imidlertid å bli relativt godt kartlagt, gjennom fylkesvise verneplaner, landsplaner for vern av skog, våtmarker, viltbiotopkartlegging m.m. (e.g. Erikstad & Hardeng 1988, Korsmo et al. 1989, Sørensen & Reitan 1990, Løfaldli & Bodsberg 1991, Moe & Vistad 1992), og det bør derfor være rimelige muligheter til å planlegge fremtidige ledningstraséer slik at antall konflikter kan reduseres betydelig.

I forhold til hønsefugl synes det så langt å være lite som kan iverksettes av tiltak for å hindre kollisjonsulykker uten betydelige kostnader, hvis det tenkes i forhold til eksisterende ledningsmasse. Hva angår enkelte andre arter som f eks svaner, kan mindre ressurskrevende tiltak som linemerking trolig bidra til mindre kollisjonsomfang. Når det gjelder nykonstruksjoner er det i USA, som har vært ledende innen forskning på dette området, generell enighet mellom økologer og ingeniører innen energiforsyningen om at nært faglig samarbeid i en tidlig fase av planleggingen - ut fra kost-/nyttebetraktninger - gir størst gevinst (se f eks Miller 1978, Thompson 1978). Det er avgjørende at slikt samarbeid kommer i stand før planleggingen er kommet så langt at det i realiteten dreier seg om et valg mellom to eller tre traséer. I USA er dette normalt ikke noe problem etter som de fleste energiverk har ansatt egne biologer. Et viktig element i slike forundersøkelser er kartlegging av sentrale trekkveier (med bl a registrering av flyvehøyde og døgn- og årstidsvariasjoner i flyveintensitet) hos fugl og kartlegging av nøkkelbiotoper for ulike arter i tilknytning til potensielle traséer. Etter som biologisk

kartleggingsarbeid og dokumentasjon nødvendigvis må gå over tid er samarbeid på et tidlig tidspunkt den eneste reelle mulighet for å unngå forsinkelser i planlegging og bygging av kraftledninger.

Tilstrekkelig vektlegging av økologisk og biologisk relaterte aspekter ved kraftledningsbygging synes så langt ikke å ha funnet sted i Norge, hvor tradisjonelt forhold knyttet til estetikk, økonomi, kulturminner, jord- og skogbruksinteresser m.m. har vært fokusert. Det synes her å være behov for at berørte forvaltningsorganer (NVE, DN) tar initiativ slik at tilfredsstillende rutiner blir etablert. Det apparat som etter hvert er utbygd innen miljøsektoren, med miljøkonsulenter både på kommunalt og fylkeskommunalt nivå, burde danne et godt utgangspunkt for en praktisk og forsvarlig håndtering av traséplanlegging, sett såvel fra et teknisk/økonomisk som miljømessig ståsted.

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 høgspenteledninger. Hvis kabling i slike tilfeller ikke aksepteres vil selve grunnidéen for vern falle bort.

7 Referanser

- Able, K.P. 1970. A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. - *Bird Banding* 41: 282-290.
- Akcakaya, R. 1993. Risk analysis applied to bird populations. - s. 29.1-29.15 i EPRI (red.). *Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures. International Workshop Miami 13-15 september 1992.* EPRI Report TR-103268.
- 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? - *J. Theor. Biol.* 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 Scand.* 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, Univ. of Lund. Report: 1-29.
- Anderson, W.L. 1978. Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. - *Wildl. Soc. Bull.* 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.

- 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. 1-21.
- Avery, M.L. (ed.) 1978. Impacts of transmission lines on birds flight. - Proc. Oak Ridge Ass. Univ. Tennessee: 1-151.
- 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 Bull. 89: 291-299.
- Avery, M. L., Springer, P. F. & Dailey, N. S. 1980 Avian mortality at man-made structures: An annotated bibliography (revised). - U. S. Fish and Wildl. Serv., Biol. Serv. Prog., Nat. Power Plant Team, FWS/OBS-80/54. 154 s.
- Beaulaurier, D.L. 1981. Mitigation of bird collisions with transmission lines. - BPA, U.S. Dept. of Energy, Oregon. Report: 1-83.
- Beaulaurier, D.L., B.W. James, P.A. Jackson, J.R. Meyer & 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.
- 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.
- Bevanger, K. 1988. Skogsfugl og kollisjoner med kraftledninger i midt-norsk skogsterrang. - Økoforsk Rapport 9: 1-53.
- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazards to game birds in the Central Norwegian coniferous forest. - Fauna norv. 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: 1-26.
- Bevanger, K. 1993c. Hunting mortality versus wire-strike mortality of willow grouse *Lagopus lagopus* in an upland area of Southern Norway. - s. 11.1-11.10 i EPRI (red.). Proceedings: Avian interactions with utility structures. International workshop, september 13-16, Miami, Florida. EPRI Report TR-103268.
- Bevanger, K. 1994a. Bird interactions with utility structures; collision and electrocution, causes and mitigating measures. - Ibis 136: 412-425.
- Bevanger, K. 1994b. Konsekvenser av en 66 kV kraftledning for fuglelivet ved Borrevann, Vestfold. - NINA Forskningsrapport 52: 1-37.
- Bevanger, K. 1995a. Hakkespetter som konfliktfaktor for elektrisitetsforsyningen. - NINA Oppdragsmelding 333: (i trykk).
- Bevanger, K. 1995b. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. - J. Appl. Ecol. (i trykk).
- Bevanger, K. & Thingstad, P.G. 1988. Forholdet fugl-konstruksjoner for overføring av elektrisk energi. En oversikt over kunnskapsnivået. - Økoforsk Utredning 1: 1-133.

- Bevanger, K. & Sandaker, O. 1993. Kraftledninger som mortalitetsfaktor for rype i Hemsedal. - NINA Oppdragsmelding 135: 1-25.
- Bevanger, K, Bakke, Ø. & Engen, S. 1994. Corpse removal experiments with Willow Ptarmigan (*Lagopus lagopus*) in power-line corridors. - Ökol. Vögel. (Ecol. Birds) 16: (i trykk).
- 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. - Can. Field Notes 90: 195.
- Bomford, M. 1990. Ineffectiveness of a sonic device for deterring starlings. - Wildl. Soc. Bull. 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 powerline collisions in the San Luis Valley Colorado. - Proceedings 1985 Crane Workshop: 128-185.
- Brown, W.M. 1993. Marking power lines to reduce avian collision mortality in the San Luis Valley, Colorado. - s. 20.1 i EPRI (red.). Avian Interactions with Utility Structures. - Proceedings: Avian interavctions with utility structures. International Workshop Miami 13-15 september 1992. EPRI Report TR-103268.
- Bruderer, B. & Steidinger, P. 1972. Methods of quantitative and qualitative analysis of bird migration with a tracking radar. - NASA Spec. Publ. 262: 151-167.
- 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. - Naturhist. Mus., Århus. Rep.: 1-25.
- Christensen, H. & Eldøy, S. 1988. Truede virveldyrarter i Norge. Direktoratet for naturforvaltning. - DN Rapport 2: 1-99.
- Coues, E. 1876. The destruction of birds by telegraph wire. - Am. Nat. 10: 734.
- del Hoyo, J., A. Elliott & Sargatal, J. (Red.). 1992. Handbook of the birds of the world, vol. 1. Ostrich to Ducks. - Lynx Edicions, Barcelona.
- Dobben, W.H. van & Makkink, G.F. 1933. Der einfluss der Leitlinien av 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. ??
- Duke-Elder, S. 1958. The eyes of birds. - s. 397-427 i System of Ophthalmology: The eye in evolution, vol. I. Kimpton, London.
- Durman, R. 1976. Bardsey. - s. 29-46 i Durman, R. (red.). Bird Observatories in Britain and Ireland. T. & A.D. Poyser.
- Eastwood, E. 1967. Radar Ornithology. - Methuen.
- Ehrenfield, D. 1988. Why put a value on biodiversity? - s. 212-216 i Wilson, E.O (red.). Biodiversity. National Academy Press, Whashington D.C.

- 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.
- Erikstad, L. & Hardeng, G. Naturvernområder i Norge. - MD Rapport T-713: 1-147.
- Evans, P.R. 1990. Strategies of migration in waders. - I Gwinner, E. (red.). Bird migration: The physiology and ecophysiology. Springer-Verlag, Berlin.
- Folkestad, A.O. 1978. Kraftlinjer og fugl. En oppsummering av problemer og erfaringer med merking av kollisjonsutsatte spenn. - Fossekallen 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 sluttrapport. - DN Rapport 7: 1-19.
- Fredrickson, L.H. 1983. Bird response to transmission lines at a Mississippi river crossing. - Transactions, Missouri Academy of Science 17: 129-140.
- Frings, H. & Frings, M. 1967. Animal communication. - Blaisdell Publ. Co., New York, Toronto, London. 204 s.
- Frostating lagmannsrett 1989. - Overskjønnssak 46/1988.
- Futuyma, D.J. 1986. Evolutionary biology. - Sinauer Ass. Publ.
- 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.
- 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.
- Gollop, M.A. 1965. Bird migration collision casualties at Saskatoon. - Blue Jay 23: 15-17.
- Grotli, S. 1922. Fugledrap ved luftledninger. - Norsk orn. tidsskr. 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., S. Byrne & 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. 1975. Uhus enden auf dem "Electrischen Stuhl". - Tier: 45-47.
- Haas, D. 1980. Gefährdung unserer Grossvögel durch Stromschlag - eine Dokumentation. - Ökol. Vögel 2, Sonderheft 1980: 7-57.
- Heijnis, R. 1980. Vogeltod durch Drahtanflüge bei Hochspannungsleitungen. - Ökol. 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. - S. Afr. Wildl. Res., Suppl. 1: 24-31.
- Hobbs, J.C.A. & Ledger, J.A. 1986. Some environmental impacts of electricity transmission and distribution lines. - Association of Municipal Electricity Undertakings of South Africa. Proc. 11th Tech. Meeting: 41-46
- Ledger, J.A., Hobbs, J.C.A., & Smith, T.V. 1993. Avian interactions with utility structures: Southern African experiences. - s. 4.1-4.11 i EPRI (red.). Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures. International Workshop Miami 13-15 september 1992. EPRI Report TR-103268.
- Hoerschelmann, H., Haack, A. & Wohlgemuth, F. 1988. Verluste und Verhalten von Vögeln an einer 380 kV Freileitung. - Ökol. Vögel 10: 85-103.
- James, B.W. & Haak, B.A. 1979. Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. - BPA Report. Portland, Oregon. 108 s.
- Johannessen, E. 1952. Ledningene dreper. - Jeger og Fisker 81: 143-144.
- Kemper, C.A. 1964. A tower for TV, 30 000 dead birds. Audubon Mag. 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.
- Koops, F.B.J. 1985. Gemarkerde bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland. Situatie in mei 1985. - KEMA VII85-51 MOB. Report, Arnhem: 1-9.
- Koops, F.B.J. 1986. Draadslachtoffers in Nederland en effecten van markering. - KEMA 01282-MOB 86-3048. Report, Arnhem.
- Korsmo, H., Angell-Petersen, I., Bergmann, H.H. & Moe, B. 1989. Verneplan for barskog. Regionrapport for Midt-Norge. - NINA Utredning 6: 1-99.
- Kroodsma, 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.
- Ledger, J.A. 1984. Engineering solutions to the problem of vulture electrocutions on electricity towers. - Cert. Engineer 57: 92-95.
- Larsen, R. S., O. H. Stensrud. 1988. Elektrisitetdøden - den største trusselen mot hubrobestanden i Sørøst-Norge? - Vår Fuglefauna 11: 29-33.
- Lid, G. 1977. Fugler brennes ihjel av gassflammer i Nordsjøen. - Fauna 30: 185-190.
- Lindberg, P., T. Järås & Olsson, B.O. 1983. Fjällvråk, stenfalk och kråka häckande i kraftledningsstolpar. - Vår Fågelvärld 42: 97-98.
- 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: 1- 279.
- Løfaldli, L. & Bodsberg, K. 1991. Naturforhold og verneinteresser i et utvalg vassdrag vernet i Verneplan I og II. - DN notat 14: 1-56.

- Lövei, G.L. 1989. Passerine migration between the Palearctic and Africa. - s. 143-174 i Power, D.M. (red.). Current Ornithology, vol. 6. Plenum, New York.
- Madsen, J.O. 1979. Luftledninger eller jordkabler - hvad skal vi have i fremtiden? - Elektroteknikeren 75: 313-321.
- Malcolm, J.M. 1982. Bird collision with a power transmission line and their relation to botulism at a Montana wetland. - Wildl. Soc. Bull. 10: 297-304.
- Malmberg, T. 1955. Topographical concentration of flight-lines. - Acta XI Congr. Internat. Ornith. Basel: 161- 164.
- Marjakangas, A. 1992. Winter activity patterns of the black grouse *Tetrao tetrix*. - Ornis Fennica 69: 184-192.
- Martin, G. R. 1985. Eye. - s. 311-373 i King, A.S. & Mclelland, J. (red.). Form and function in birds. vol. 3.
- Martin, G. 1990. Birds by night. - T. & A.D. Poyser, London. 227 s.
- McKenna, M.G. & Allard, G.E. 1976. Avian mortality from wire collisions. - N. Dak. Outdoors 39: 16-18.
- McNeil, R., Rodriguez, S.J.R. & Ouellet, H. 1985. Bird mortality at a power transmission line i Northeastern Venezuela. - Biol. Conserv. 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 transmissio lines on bird flight behavior and collision mortality. - BPA 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. - Biol. Conserv. 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: 1-21.
- Moen, E. & Vistad, O.I. 1992. Verneplan I og II for vassdrag. En oversikt over kunnskapsnivået innenfor naturfag og friluftsliv. Verneplanens regionvise dekning. - DN Rapport 7: 1-192.
- 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.
- Mueller, H.C. & Berger, D.D. 1967. Wind drift, leading lines, and diurnal migrations. - Wilson Bull. 79: 50-63.
- Nelson, M.W. 1982. Human impacts on golden eagles: a positive outlook for the 1980s and 1990s. - Raptor Res. 16: 97-103.
- Norberg, U.M. 1990. Vertebrate flight. - Springer-Verlag. 291 s.
- Nordmøre herredsrett: 1988. - Rettsbok for Nordmøre herredsrett 22/08/88.

- 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. Rep. 4: 1-111.
- 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.
- 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 Scand. 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.
- Pumphrey, R.J. 1948. The theory of the fovea. - J. Exp. Biol. 25: 299-312.
- Randall, A. 1988. What mainstream economists have to say about the value of biodiversity. - s. 217-223 i Wilson, E.O. (red.). Biodiversity. National Academy Press, Washington D.C.
- 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.
- 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. - Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem: 1-64.
- 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: 1-227.
- Rusz, P.J., H.H. Prince, R.D. Rusz & Dawson, G.A. 1986. Bird collisions with transmission lines near a power plant cooling pond. - Wild. Soc. Bull. 14: 441-444.
- Schmidt-Morand, D. 1992. Vision in the animal kingdom. - Veterinary International 4: 3-32.
- Schroeder, C. 1977. Gees Hit Power Transmission Line. - N. Dak. 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.
- 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.
- Stanghelle, E. 1985. Jo, høyspentlinjene tar mye fugl! - Villmarksliv 13: 73.
- Statistisk sentralbyrå 1992. Jaktstatistikk 1992. - Statistisk sentralbyrå, Oslo-Kongsvinger.
- Statistisk sentralbyrå 1993. Elektrisitetsstatistikk 1991. - Ukens statistikk, 4. Statistisk sentralbyrå, Oslo-Kongsvinger.

- Stout, I.J. 1967. The nature and pattern of non-hunting mortality in fledged North American Waterfowl. - M.S. Thesis. Vir. Poly. Inst. and State University, Backsburg. 329 s.
- 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. - Can. J. Zool. 71: 1303-1310.
- Størkersen, Ø.R. 1992. Truete arter i Norge. - Direktoratet for naturforvaltning. DN Rapport 6: 1-66.
- Sørensen, O.J. & Reitan, O. 1990. Norwegian wildlife area maps designed for nationwide useage. - s. 1050-1062 i Proc. XVI Congress IUBG 1983, Strbské Pleso, Czechoslovakia.
- 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. - Univ. i Trondheim. Zool. avd., Vit. mus. Notat 2: 1-26.
- 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 transmisson lines on birds in flight. Proceedings of a conference. Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, Tennessee.
- Tinbergen, N. 1956. Gråtruten. - Stockholm.
- Trohjell, J.E. & Vognild, I.H. 1993. Jordkabel som alternativ til luftledning. - Publikasjon 19/93. NVE.
- 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. - Am. Birds 35: 251-254.
- Wadén, D. J. 1904. Diskusjonskommentar. - Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskr. 33: 257.
- Watson A. 1982. Effects of human impact on ptarmigan and red grouse near skilifts in Scotland. - Report ITE 1981: 51.
- Willdan Associates. 1982. Impact of the Ashe-Slatt 500 kV transmission line on birds at Crow Butte Island: Postconstrucion study final report. - BPA 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.
- Ålbu. Ø. 1983. Kraftlinjer og fugl. - K. norske Vidensk. Selsk. Rapp. Zool. Ser. 8: 1-60.