

# Dyreliv og kraftledninger

## Miljø- og forsyningsmessige utfordringer

Kjetil Bevanger, Roel May og Bård Stokke



Oppsummering av CEDRENs forskning på dyreliv og kraftledninger

**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



**FM**  
CENTRE FOR  
ENVIRONMENT-  
FRIENDLY ENERGY  
RESEARCH



# Dyreliv og kraftledninger

## Miljø- og forsyningsmessige utfordringer

Kjetil Bevanger, Roel May og Bård Stokke

Bevanger, K., May, R. & Stokke, B. 2016. Dyreliv og kraftledninger.  
Miljø- og forsyningsmessige utfordringer. – NINA Temahefte 67. 120 s.

Trondheim, oktober 2016

ISSN: 0804-421X

ISBN: 978-82-426-2959-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

GRAFISK FORMGIVNING

Kari Sivertsen/NINA

OMSLAGSFOTO

Foto: Kjetil Bevanger

OPPLAG

250



KONTAKTOPPLYSNINGER

**Norsk institutt for naturforskning (NINA)**

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen,

7485 Trondheim

Besøksadresse: Høgskoleringen 9,

7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

[www.nina.no](http://www.nina.no)

**CEDREN**

SINTEF Energi AS,

Postadresse: Postboks 4761 Sluppen,

7465 Trondheim

Besøksadresse: Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim

Telefon 73 59 72 00

[www.cedren.no](http://www.cedren.no)

*CEDREN - Centre for Environmental Design of Renewable Energy: Forskning for teknisk og miljøriktig utvikling av vannkraft, vindkraft, overføringslinjer og gjennomføring av miljø- og energipolitikk.*

*SINTEF Energi, NINA og NTNU er hovedforskningspartnere, med en rekke energiselskaper, norske og internasjonale FoU-institutter og universiteter som partnere.*

*Senteret finansieres av Forskningsrådet, energiselskaper og forvaltning gjennom ordningen med forskingssentre for miljøvennlig energi (FME). FME-ordningen består av tidsbegrensede forskingssentre som har en konsentrert, fokusert og langsiktig forskningsinnsats på høyt internasjonalt nivå for å løse utpekte utfordringer på energi- og miljøområdet.*

# Forord

Forskningsprosjektet *Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives* (OPTIPOL) fikk finansiering fra Norges forskningsråd i 2008. *Da Centre for Environmental Design of Renewable Energy* (CEDREN) ble etablert av Norges forskningsråd i 2009, var det naturlig at OPTIPOL sammen med andre forskningsprosjekter finansiert fra RENERGI-programmet, ble lagt inn i forskningssenteret. CEDREN har, ved siden av Norges forskningsråd, finansiell støtte fra brukerpартnerne innen industri, forvaltning og forskningsinstitusjoner. Hovedfokus for CEDRENs virksomhet er teknologiske og miljømessige utfordringer for framtidens vannkraft, miljøforhold knyttet til vindkraft og kraftledninger, samt forskning på hvordan miljø- og energipolitikk kan forenes. Det var følgelig naturlig at miljøpåvirkninger knyttet til nett ble en del av forskningssenterets virksomhet og satsingsområde, ikke minst på grunn av CEDRENs grunnleggende ide om at naturinngrep som følge av fornybar energiproduksjon skal «miljødesignes». Et annet CEDREN-prosjekt med fokus på kraftledninger er SusGrid, som fokuserer hvordan kunnskap om økonomiske, sosiale og miljømessige interesser kan bidra til en god og forutsigbar prosess i nettutviklingsprosjekter.

Boka er i stor utstrekning basert på forskningsprosjektet OPTIPOL, som har frambrakt ny kunnskap om fugl og kraftledninger, men også nye spørsmål. CEDREN ønsker at kunnskapen skal nå ut til netteiere, miljø- og energiforvaltning og andre interesserte, og har derfor funnet det riktig å lage en populærvitenskapelig oppsummering av prosjektet. Dette gjøres imidlertid som en integrert

del av en større kunnskapsoppsummering om miljøeffekter av kraftledninger på fugl, elg og rein, og sammenstiller kunnskap fra forskning i inn- og utland. Forsyningsmessige utfordringer som følge av at fugl flyr på luftledninger eller setter seg på elektriske installasjoner og forårsaker kort- og jordslutning (elektrokusjon), er også et tema som diskuteres. Videre omtales dagens forvaltningspraksis og tilgjengelige løsninger som finnes for å redusere negative effekter av kraftledninger på naturen. Det er lagt vekt på å tydeliggjøre hva som kan betegnes som kunnskapshull, og hva som bør prioriteres ved framtidig forskning.

Vi vil takke Statnett, NVE og Miljødirektoratet for godt samarbeid over flere år. Takk også til Ursula Bartzke, doktorgradsstudent i OPTIPOL. Mange ansatte i NINA og SINTEF har gjort en formidabel innsats i OPTIPOL innen en rekke fagområder. En hjertelig takk til dere alle! Ikke minst ønsker vi å takke Kari Sivertsen ved NINA for et omfattende og solid grafisk arbeid slik at sluttproduktet fikk en fin design!

Trondheim september 2016

Kjetil Bevanger  
Norsk institutt for naturforskning og Prosjektleder  
OPTIPOL

# Innhold

Forord .....	4
Innhold .....	5
1 Innledning .....	6
2 Det norske ledningsnettet .....	12
3 Forvaltningsmyndighetenes rolle .....	16
3.1 Konsekvensutredninger, forundersøkelser og etterundersøkelser .....	18
4 Kraftledninger og «visuell forurensing» .....	20
5 Kraftledningskorridorer som økologisk faktor .....	22
5.1 Barriereeffekter .....	22
5.2 Spredningsveier .....	27
5.3 Økotoneffekter .....	28
6 Hjørtevitl og luftledninger .....	30
6.1 Rein .....	30
6.2 Elg .....	33
7 Fugl og luftledninger .....	36
7.1 Fuglekollisjoner .....	41
7.2 Kollisjonsregulerende faktorer .....	43
7.3 Landskapets ledelinjer .....	49
7.4 Fugl og elektrokusjon .....	55
7.5 «Dødelige stolper» .....	58
7.6 Responser på bestandssnivå .....	60
7.7 Samlet belastning .....	65
8 Elektromagnetiske felt (EMF) .....	66
9 Tiltak for å avbøte effekter av kraftledninger på fuglelivet .....	72
9.1 Tiltakshierarkiet .....	72
9.2 Tiltak mot kollisjoner hos fugl .....	74
9.3 Tiltak mot elektrokusjon hos fugl .....	88
10 Fugler som problem for energiforsyningen .....	90
10.1 Tekniske utfordringer ved merking og fjerning av jordliner .....	90
10.2 Tekniske utfordringer for å hindre elektrokusjon av hubro .....	92
10.3 Tekniske utfordringer ved trestolpeskade forårsaket av hakkespetter .....	94
11 Kunnskapsbehov og veien videre .....	100
12 Referanser .....	102
13 Appendix .....	120

# 1 Innledning

**Effekter knyttet til kraftledninger omfatter alt fra visuell «forurensing», til dødelighet hos fugl og bedret beitetilgang for elg**

Verdiskaping er avhengig av elektrisitet, noe Norge har hatt god tilgang på i godt over 100 år takket være store vannkraftressurser. For å distribuere den elektriske energien dit det er behov for den kreves et utstrakt kraftledningsnett. Til sammen har Norge flere hundretusen kilometer med luftspenn, jord- og sjøkabler, som både distribuerer strøm innenlands, men som også benyttes for salg og kjøp av elektrisk energi. En slik omfattende infrastruktur knyttet til strømmettet vil nødvendigvis ha flere effekter, bl.a. miljømessige.

I dag krever de overordnede klimapolitiske målsettingene økt produksjon av fornybar energi, noe som bl.a. innebærer omfattende utbygging og opprusting av det norske kraftledningsnettet. Vi står med andre ord foran en periode med store økonomiske investeringer i tilknytning til nybygging og oppgradering, særlig av sentralnettet. I følge Statnett sin nettutviklingsplan for 2015 vil det være et historisk høyt investeringsnivå i selskapet de neste fem årene. Planlegging og gjennomføring av prosjekter i perioden 2016-2020 medfører investeringer på mellom 40-55 milliarder, og anslaget for de neste fem årene (fram til 2025) er på 10-15 milliarder. En slik omfattende utbygging aktualiserer også mange problemstillinger knyttet til miljøpåvirkninger, miljødesign og optimalisering av traseføringer.

I 1984 publiserte NVE temaheftet «*Kraft, ledning og landskap*» (Hillestad 1984) der problematikken knyttet til kraftledninger og naturmiljø ble tatt opp i full bredde; både estetiske faktorer knyttet til materialvalg, form og farge så vel som biologiske aspekter som fuglekollisjoner. Etter dette ble problematikken mer segregert ved at tekniske, estetiske/landskapsarkitektoniske og biologiske/økologiske problemstillinger i økende grad ble underlagt faginstusjoner uten tilknytning til hverandre. Begrenset tverrfaglig kommunikasjon har bidratt til at helhetsspektivet i en del utbyggingsaker har vært fraværende, noe bl.a. «monstermastdebatten» i Hardanger i 2010 demonstrerte.

For å dempe negative, visuelle effekter av kraftledninger, begynte NVE i 1992 å sette krav om kamuflerende tiltak når konsesjon ble gitt. Dette gjaldt både





*Det var amper stemning i Hardanger i tilknytning til bygginga av overføringsledningen mellom Sima og Samnanger. Foto: © Helge Sunde / Samfoto*

liner, master, traverser og isolatorer, samt vilkår knyttet til kraftledningens ryd-  
debelte (Johnson 2008). Fargekamouflering ble tatt opp som tema i et eget  
prosjekt finansiert av NVE i 1994 ut fra en målsetting om å *«gi et teoretisk grunn-  
lag for å forstå og forholde seg til kraftledninger og estetikk, landskap og landskaps-  
opplevelse på en systematisk måte»* (Berg 1996). Sluttrapporten omhandlet ikke  
konflikter i forhold til fugl/pattedyr eller tekniske begrensninger. I 1998 publi-  
serte NVE en rapport om valg av kraftledningsmaster (Widenoja & Hemstad  
1998), med fokus på estetiske og visuelle utfordringer, og senere en rapport  
om «Landskapstilpasset mastedesign» (Widenoja m.fl. 2009).


«Kamouflering» er også nevnt i den nye nettmeldingen «Vi bygger Norge –  
om utbygging av strømmettet» (Meld. St. 14 (2011–2012)). Her understrekes at  
*«utvikling og bruk av kamuflasjetiltak og landskapstilpassede master ikke må gå på  
bekostning av kraftledningens driftssikkerhet. Hensynet til å redusere visuelle virk-  
ninger må også avveies blant annet mot hensynet til å unngå fuglekollisjoner og  
behovet for tilstrekkelig skogrydding av sikkerhetsmessige årsaker»*. For å etterleve  
intensjonen i denne Stortingsmeldingen er det nødvendig med økt kunnskap  
om temaet.

Nett og miljø var utgangspunkt for problemstillingene i OPTIPOL (Bevanger m.fl.  
2009, 2010, 2011, 2012, 2014), men observert dødelighet hos fugl, som følge av  
kollisjon med kraftledningenes faseledere eller jordliner, eller pga. av strømslag  
(elektrokusjon) ble naturlig nok dominerende fokusområder. Ekstra dødelighet  
hos fugl som skyldes at de flyr inn i vindusruter, vindturbiner, blir påkjørt av  
bil, tog eller dør på grunn av andre menneskeskapt «dødsfeller», er vanskelig  
å eliminere. Slike ulykker bør imidlertid begrenses av bl.a. økologiske, dyrevel-  
ferdsmessige og etiske hensyn. Et grunnleggende, og mer komplisert spørsmål  
er hvorvidt kraftledninger bidrar til å redusere dyrebestander til et kritisk lavt  
nivå. Bestandeffekter er meget vanskelig å avdekke og krever store ressurser.  
OPTIPOL har hatt ressurser til å nærme seg svar på bestandsmessige effekter når  
det gjelder storfugl og orrfugl. I boka bruker vi disse artene for å illustrere det  
omfattende arbeidet som må til for å kunne besvare slike spørsmål.


Utfordringer knyttet til fugl har generelt fått bred plass i framstillingen. Imidlertid  
er det andre dyregrupper som kommer i fokus i tilknytning til kraftledninger,  
bl.a. hjortevilt som elg og rein. Vi har derfor tatt med en del overordnede kon-  
klusjoner fra forskning som berører effekter av kraftledninger på disse artene,  
samt hvordan kraftledningskorridorer kan påvirke økologiske systemer generelt.

**NINA Rapport 255**

Dialogprosjektet  
"Felles politikk for fjellområdene"  
Dialogkonferanse Vauldalen Fjellhotell  
14. – 16. mars 2007



Jørn Thomassen  
Dagmar Hagen  
Kjetill Bevinger  
Frank Hanssen



Statnett

**NINA Report 504**

"Optimal design and routing of power lines, ecological, technical and economic perspectives" (OPTIPOL)  
Progress Report 2009

Kjetill Bevinger, Gundula Barzke, Henrik Brønseth, Jan Ove Døtt, Jan Ove Gjenshaug, Frank Hanssen, Kari-Orto Jacobsen, Pål Kvaløy, Rolf May, Torger Nygård, Hans Christian Refsum, Ole Røntveit, Steinar Refsum, Sigbjørn Stokke, Knut Vang



Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Statnett

**NINA Report 619**

Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL)  
Progress Report 2010

Kjetill Bevinger, Gundula Barzke, Henrik Brønseth, Espen Lie Dahl, Jan Ove Gjenshaug, Frank Hanssen, Kari-Orto Jacobsen, Pål Kvaløy, Rolf May, Roger Mads, Torger Nygård, Steinar Refsum, Sigbjørn Stokke, Ole Røntveit



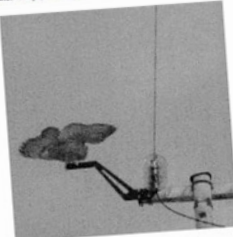
Kjetill Bevinger, Steinar Refsum




Statnett

**762** Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL)  
Progress Report 2011

Kjetill Bevinger, Gundula Barzke, Henrik Brønseth, Espen Lie Dahl, Jan Ove Gjenshaug, Frank Hanssen, Kari-Orto Jacobsen, Pål Kvaløy, Rolf May, Roger Mads, Torger Nygård, Steinar Refsum, Sigbjørn Stokke, Jørn Thomassen



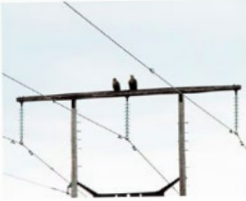
Kjetill Bevinger, Steinar Refsum




Statnett

**763** Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektruksjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge

Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Statnett

**878** Kamouflering av kraftledninger  
Evaluering av økologiske og økonomiske implikasjoner

Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Statnett

**907** OPTIPOL Least Cost Path dialog 2  
Rapport fra dialogseminar 2 - kriterier og kriterieverdier i OPTIPOL-LCP versjon 1.0

Jørn Thomassen  
Frank Hanssen  
Rolf May  
Kjetill Bevinger



Jørn Thomassen  
Frank Hanssen  
Rolf May  
Kjetill Bevinger




Statnett

**1012** Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL)  
Final Report: Findings 2009 – 2014

Kjetill Bevinger, Gundula Barzke, Henrik Brønseth, Espen Lie Dahl, Jan Ove Gjenshaug, Frank Hanssen, Kari-Orto Jacobsen, Oddmund Mjølhus, Pål Kvaløy, Rolf May, Roger Mads, Torger Nygård, Steinar Refsum, Sigbjørn Stokke, Jørn Thomassen



Kjetill Bevinger, Steinar Refsum



Statnett

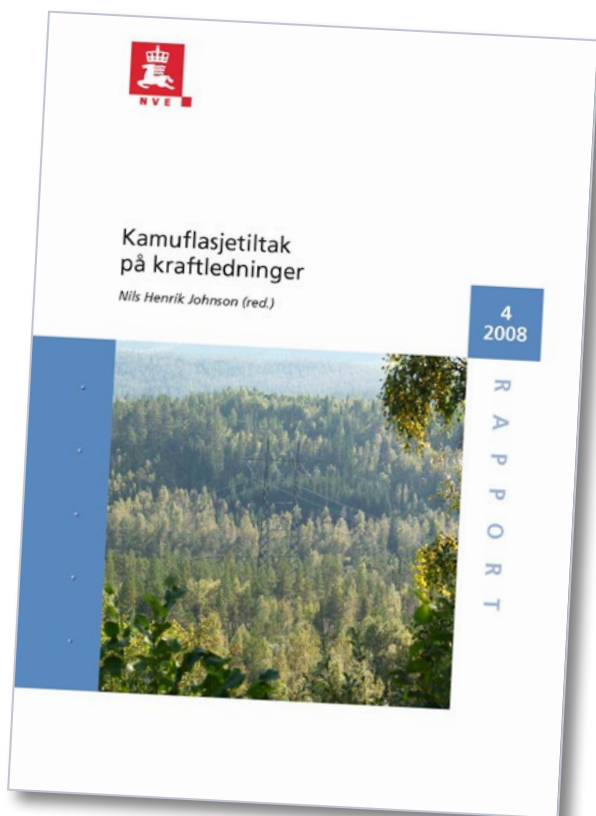
Resultatene fra OPTIPOL-prosjektet er publisert i en rekke NINA-rapporter.

Dyr og fugler kan også bidra til å destabilisere strømforsyningen. Fugler bruker eksempelvis transformatorer og andre elektriske strukturer som utkikkspost under jakt, for reirbygging eller andre formål og forårsaker forholdsvis ofte kortslutning og strømutfall. Klatrende pattedyr som mår og ekorn kan gjøre det samme (Bevanger & Refsnæs 2013a). Slike strømbrydd 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, 1995b, 1997). Nedsatt jaktutbytte og forringelse av jaktområders utleieverdi som følge av kryssende kraftledninger skaper også økonomiske problemstillinger. Dette er spørsmål som har vært gjenstand for rettsaker både i Amerika og Europa, særlig i forhold til våtmarksfugl (Hobbs 1987). I Norge er tilsvarende spørsmål brakt inn for domstolene på grunn av hønsfugl (jfr. Nordmøre herredsrett 1988, Frostating lagmannsrett 1989).

Kraftledninger kan også påvirke pattedyr. Det er godt dokumentert at rein er sårbar for fysiske inngrep i naturen, tekniske installasjoner og forstyrrelser forårsaket av menneskelig ferdsel. Særlig har barriereeffekter av tekniske konstruksjoner og infrastruktur som kraftledninger, rørledninger og hyttebygging, samt inngrep i form av kunstige vannmagasin og veier, vært i fokus (Bevanger & Jordhøy 2004). De nordamerikanske forskningsmiljøene var tidlig ute (Klein 1971, 1980, Thompson 1972, Bergerud 1974), og utgangspunktet for mye av forskningen ble lagt gjennom omfattende konsekvensutredninger i tilknytning til byggingen av oljerørledningen gjennom Alaska og annen industriell relatert virksomhet i arktiske områder.

En art det har vært mindre fokus på er elg. Det var derfor naturlig at en av arbeidspakkene i OPTIPOL ble viet elg med hovedfokus på effekter av kraftledningens ryddebelte (Bevanger m.fl. 2014, Bartzke 2014). Skogslevende hjortedyr som elg kan gjøre seg nytte av beitemulighetene i ryddebeltene i tilknytning til kraftledninger hvis disse pleies slik at de representerer en næringsressurs. Størst fordel kan forventes når kraftledninger går gjennom gammel barskog som i seg selv tilbyr dårlig beite. Selektiv hogst av tre som når opp i omkring fem meter sikrer kontinuerlig mattilgang samt skjul.



*I 2008 publiserte NVE en rapport som omhandlet temaet kamuflering av kraftledninger. Bakgrunnen var ønske om å minske strukturenes synlighet i terrenget gjennom ulike former for overflatebehandling.*

## 2 Det norske ledningsnett

### Distribusjonsnett

**Distribusjonsnett**et utgjør størstedelen av kraftledningsnett

et i Norge med bl.a. ca. 372 000 km luftledninger

Det norske kraftledningsnett

et består av luftledninger, jord- og sjøkabler, og deles inn i distribusjonsnett, regionalnett og sentralnett. Transport av elektrisitet trenger ulike støttestrukturer avhengig av hvilken spenning strømmen har. Jo høyere spenning, jo høyere vil mastene være og jo bredere vil sikkerhetssonen til sidene for kraftledningene være. Totalt sett er det betydelige areal som båndlegges gjennom eksempelvis byggeforbudssone i tilknytning til kraftledninger. Avhengig av hvordan en regner vil det i Norge dreie seg om mellom 1500 og 2000 km<sup>2</sup> (Bevanger 2011).

Sentralnett

et er «hovedpulsåren» i energidistribusjonen, og består av overføringsledninger opp til 420 kV, men ledninger ned til spenningsnivå på 132 kV hører også inn under denne nettkategorien. Sentralnett

et er hovedansvaret til Statnett. Regionalnett

et, eller hovedfordelingsnett

et som det ofte kalles, har funksjon for større områder, eksempelvis deler av ett eller flere fylker. De regionale nettene representerer bindeledd mellom sentralnett og distribusjonsnett. Kraftintensiv industri, og de fleste produksjonsselskapene, er knyttet både til regionalnettene og sentralnett

et. I overgangen fra sentralnett til regionalnett transformeres spenningen vanligvis ned til 132 eller 66 kV, men regionalnett

et omfatter vesentlig ledninger med spenningskategorier fra 22 til 72,5 kV. Statnett er også inne på eiersiden i regionalnett

et, men hoveddelen eies av offentlige og eller kommunale nettselskap, og er å regne som «fylkesveiene» innen kraftforsyningen. Regionalnett

enes oppgave er å føre energien fra sentralnett

et til distribusjonsnettene.

Distribusjonsnett

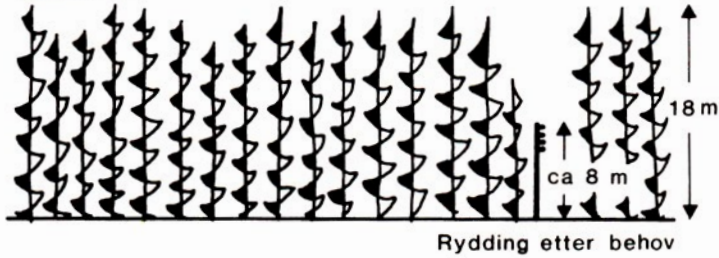
ene, eller fordelingsnett

ene, utgjør størstedelen av kraftforsyningsnett

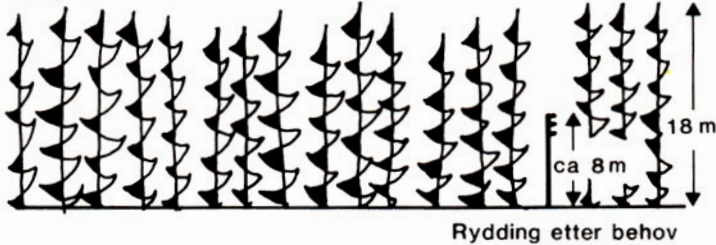
et. Det er også flere tusen km jord- og sjøkabel knyttet til dette nettet, en andel som stadig vokser. Dette nettet sørger for at kraften kommer fram til den enkelte forbruker og omfatter spenninger fra 0,2 til 24 kV, dvs. at det også omfatter høyspentnettets laveste kategori i tillegg til lavspentforsyningen (230-400 V). Fra regionalnettene transformeres spenningen med andre ord ned til et nivå som er egnet for det daglige «konsum» for den enkelte av oss. En rekke transformatorer er spredt rundt i distribusjonsnett

et og transformerer spenningen fra det laveste høyspentnivået (vanligvis 22 kV) til 230 eller 400 V.

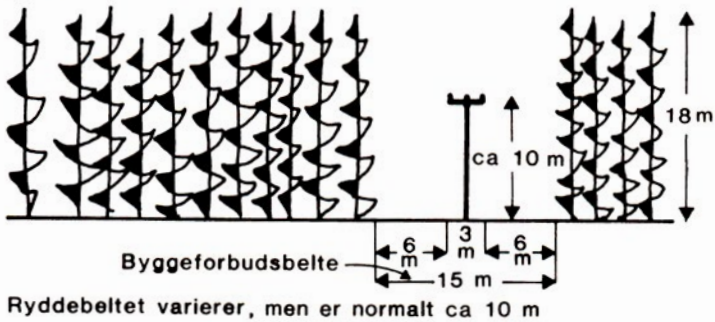
### TELEFON



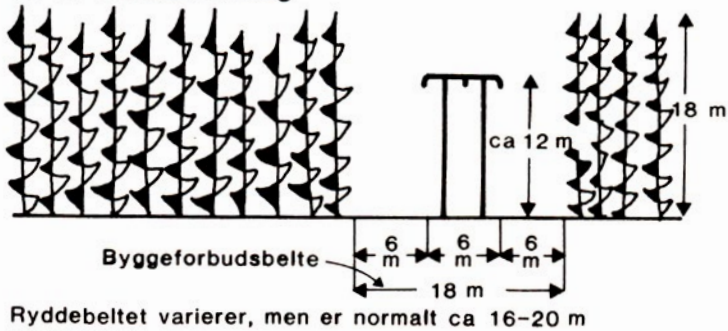
### 220 V



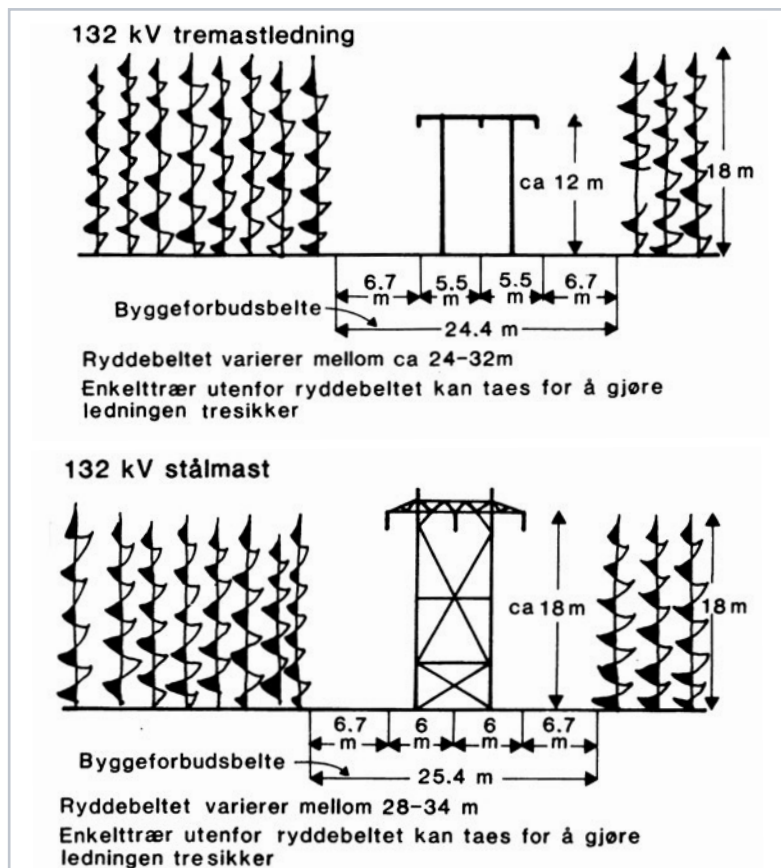
### 20 kV (200000 V)



### 66 kV tremastledning



*Illustrasjon fortsetter på neste side.*

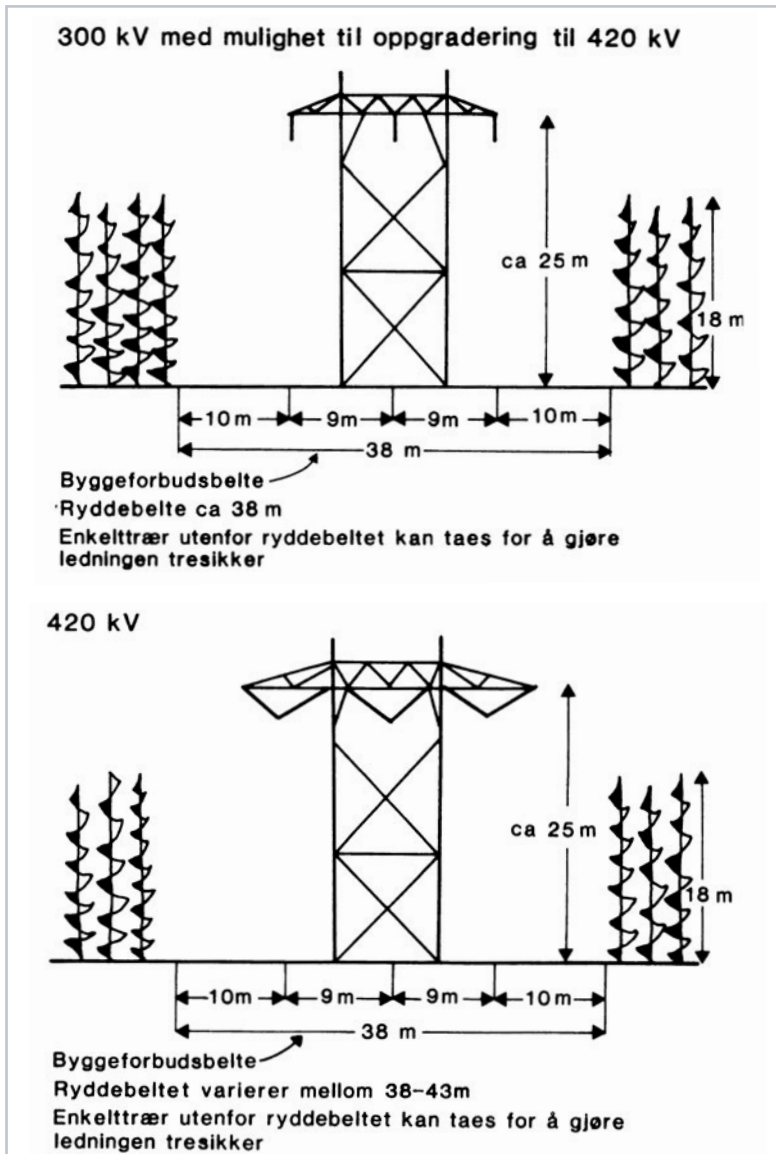


Illustrasjon fortsetter på neste side.

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

Kraftledningsnettet er i stadig og kraftig ekspansjon over hele verden, og i enkelte deler av den industrialiserte verden er tettheten av luftledninger pr. areal enhet svært høy. I følge statistikk fra 2008 for det globale nettet var det på dette tidspunkt





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

omkring 65 millioner km kraftledninger som distribuerte elektrisitet lavere enn 22 kV. Den årlige veksten ble i 2008 estimert til 5 % (ABS Energy Research 2008). I Norge var det totale antall km luftledninger (0,2-420 kV) ved utgangen av 2015 ifølge NVE 372 252 km (NVE i epost 15.4.2916). Distribusjonsnettet (0,2-24 kV) utgjorde 312 912 km, regionalnettet (22-72,5 kV) utgjorde 36 353 km og sentralnettet (132 – 420 kV) utgjorde 22 987. Sannsynligvis kommer antall km luftledning i distribusjonsnettet til å synke i årene som kommer på grunn av økt jordkabling.

# 3 Forvaltningsmyndighetenes rolle

## Et omfattende lovverk regulerer bygging av kraftledninger, bl.a. Energiloven og Naturmangfoldloven

Energilovens § 3-1 fastsetter krav om konsesjon for å bygge, eie og drive elektriske anlegg, og det er NVE som er delegert myndighet til å fatte vedtak om bygging og drift av slike anlegg, herunder kraftledninger. Ved bygging av kraftledninger setter Plan- og bygningsloven krav til konsekvensutredninger. Vedtak om elektriske anlegg som krever anleggskonsesjon fattes alene av energimyndighetene, og øvrige myndigheter er høringsinstanser. Statlige, regionale og lokale myndigheter har imidlertid innsigelsesrett og klagerett på NVEs konsesjonsvedtak etter energiloven.

For anlegg med konsesjon etter energiloven har NVE utgitt en veileder for utarbeidelse av miljø- transport- og anleggsplan (MTA) (NVE 2011). Den er utformet som en sjekklister/disposisjon for hvilke forhold det normalt vil være aktuelt å omtale i en slik plan. Tiltakshaver er selv ansvarlig for å vurdere relevante tema for det enkelte anlegg med bakgrunn i gjeldende anleggskonsesjon. Formålet med MTA er å sikre at utbygger og entreprenør under bygging og drift av anlegget tar hensyn til miljøinformasjon som er framkommet i konsekvensutredningene og de kravene som er satt i konsesjonen. Det skal ikke gjennomføres nye miljøundersøkelser dersom det ikke er satt spesielle krav om det i anleggskonsesjonen. MTA skal godkjennes av NVE før oppstart av anleggsarbeidet.

Naturmangfoldloven omfatter all natur og alle sektorer som forvalter natur eller som tar beslutninger som har konsekvenser for naturen. Lovens formål er å ta vare på naturens biologiske, landskapsmessige og geologiske mangfold, samt økologiske prosesser gjennom bærekraftig bruk og vern. Loven skal gi grunnlag for menneskers virksomhet, kultur, helse og trivsel, både nå og i framtida, også som grunnlag for samisk kultur. Loven fastsetter alminnelige bestemmelser for bærekraftig bruk, og skal samordne forvaltningen gjennom felles mål og prinsipper. Loven fastsetter videre forvaltningsmål for arter, naturtyper og økosystemer, og lovfester en rekke miljørettslige prinsipper, blant annet føre-var-prinsippet og prinsippet om økosystemforvaltning og samlet belastning.



Naturmangfoldlovens prinsipper skal trekkes inn i den skjønsmessige vurderingen som gjøres når det fattes vedtak om å gi konsesjon etter energiloven, til hvilken løsning og på hvilke vilkår. I henhold til naturmangfoldloven § 7 skal prinsippene i naturmangfoldloven §§ 8–12 legges til grunn som retningslinjer ved utøving av offentlig myndighet. Det skal framgå av begrunnelsen hvordan prinsippene om bærekraftig bruk er anvendt som retningslinjer. Tiltakets betydning for forvaltningsmål for naturtyper, økosystemer eller arter, jf. naturmangfoldloven §§ 4 og 5 drøftes der det er aktuelt. Miljøkonsekvenser av tiltaket skal vurderes i et helhetlig og langsiktig perspektiv, der hensynet til det planlagte tiltaket og eventuelt tap eller forringelse av naturmangfoldet på sikt avveies.

Nylig presenterte regjeringen en norsk handlingsplan for naturmangfoldet gjennom en melding til Stortinget (Meld. St 14 (2015-2016) – *Natur for Livet*). Den inneholder en rekke forslag til tiltak som bør få følger for kvalitet og kvantitet også når det gjelder for- og etterundersøkelser ved kraftledningsbygging. Tidligere har det vært spesielt fokus på leveområder til arter som er «kritisk truet», «sterkt truet» eller «sårbar» i Norge (jfr. Henriksen & Hilmo 2015), i leveområder til internasjonalt truede og trekkende dyrearter (Bonn- og Bernkonvensjonen), i områder med svært viktige naturtyper (DN 2007, 2011), samt viltområder (DN 2000) og ferskvannslokaliteter (DN 2001). I årene framover vil det være viktig å ta et videre perspektiv, ikke minst sett på bakgrunn av de samlede effektene av naturinngrep ny infrastruktur medfører.

*Forvaltningsmyndighetene setter klare krav til at bygging av kraftledninger skal skje på en så miljøvennlig måte som mulig og i forhold til gjeldende lovverk.*

## 3.1 Konsekvensutredninger, forundersøkelser og etterundersøkelser

**Grundige forundersøkelser med innsamling av basisdata er avgjørende for å kunne foreta en god konsekvensutredning ved bygging av nye kraftledninger**

Begrepe ne konsekvensutredninger, forundersøkelser og etterundersøkelser blir til dels blandet sammen. Generelt utføres forundersøkelser (også kalt førundersøkelser) gjerne for å få et bilde av hvilke naturverdier som finnes i et område før et inngrep eller en utbygging finner sted. Forundersøkelsen ses gjerne i sammenheng med en etterundersøkelse (effektstudie) slik at det er mulig å måle effekten av inngrepet og av eventuelle avbøtende tiltak som settes i verk. Dette gjøres fortrinnsvis før og etter utbygging både i tiltaksområdet og et kontrollområde («Before-After-Control-Impact» eller BACI-design; Stewart-Oaten m.fl. 1986, May m.fl. 2010).

Det er imidlertid avgjørende at det finnes basisinformasjon om miljøverdiene i et utbyggingsområde for å foreta en god konsekvensutredning, eksempelvis hvilke fuglearter som finnes og den funksjon området har for de forskjellige artene. Ofte har det vært slik at konsekvensutredningen er gjort på bakgrunn av eksisterende informasjon, noe som i flere tilfeller i etterkant har vist seg å være utilstrekkelig og ført til forsinkelser i utbyggingen. Ressursinvestering i innhenting av fylldig basisinformasjon er i et slikt perspektiv en god investering.

NVE gjennomfører en omfattende behandling i tilknytning til søknad om konsesjon, inklusive offentlige høringer og møter med berørte interesser og sørger for at saken blir tilstrekkelig opplyst. I tillegg til energiloven gir *forskrift om konsekvensutredninger etter sektorlover og forskrift om ekstern kvalitetssikring og vedtaksmyndighet etter energiloven* nærmere spesifiserte krav til utredninger og behandlingsprosess for kraftledninger. NVE har laget egen veileder for utforming av søknader om anleggskonsesjon (Bihli 2013). I denne veilederen heter det at «*For anlegg som omfattes av § 2 i forskrift om konsekvensutredninger etter sektorlover (krav til melding), vil det gis spesifikke utredningskrav i utredningsprogrammet og for slike saker vil konsekvensutredningen dekke dette kapitlet. Et sammendrag av de viktigste virkningene anlegget kan få for miljø, naturressurser og samfunn skal likevel fremkomme i søknaden etter energiloven, med henvisning til konsekvensutredningen for utfyllende informasjon*».

Det understrekes at «Opplysninger om temaer innenfor miljø og naturressurser kan i stor grad baseres på eksisterende informasjon. Slik informasjon finnes for eksempel hos kommunene, Fylkesmannens miljøvern-avdeling, fylkeskommunens kulturminneforvaltning, Samisk kulturminneråd og Direktoratet for naturforvaltning sine naturdatabaser».

Det er store forskjeller mellom de enkelte land når det gjelder krav til omfang av forundersøkelser og miljøundersøkelser og hvilke miljøhensyn som skal tas i tilknytning til bygging av kraftledninger. Dette gjenspeiler naturlig nok den enkelte nasjons lovverk og hvordan dette håndheves. En sterk lovgivning gjorde USA (NEPA – National Environmental Act) til et foregangsland i forhold til tiltak som kunne forebygge konflikter mellom kraftledninger og fugl, selv om også de økonomiske aspektene ved konflikten var en viktig drivkraft. Sammenlignet med land som USA, Sør-Afrika og Tyskland, ligger Norge langt bak når det kommer til gjennomføring av avbøtende tiltak, spesielt i forebygging av elektroklusjonsulykker. Dette gjelder også hvilke restriksjoner som settes i verk under selve anleggsarbeidene for ikke å skremme eller skade sårbare og truede arter.

Selv om Norge har et sterkt lovverk gjennom Naturmangfoldloven, er det et betydelig forbedringspotensial når det gjelder tolking og håndheving i tilknytning til infrastrukturetablering. Når det gjelder utfordringer mellom kraftledninger og fugl har vi imidlertid lenge hatt forpliktelser i forhold til konvensjoner som Biomangfold-konvensjonen, Bern- og Bonn-konvensjonene, EU SEA og IEA Direktivene. Fra Bonn- og Bernkonvensjonenes side har det i flere sammenhenger vært uttrykt bekymring for at så mange fugler drepes pga. elektroklusjon (og kollisjon) (se f.eks. Resolution 7.4 – Electrocutation of migratory birds og Recommendation No. 110) (Bern Convention 2004). Dette er konvensjoner Norge har ratifisert.

### I forhold til naturmangfold heter det:

- Arter og naturtyper som berøres må fremgå, konsekvenser for rødlistearter, ansvarsarter, prioriterte arter og utvalgte eller truede naturtyper.
- Konsekvenser for områder med stort biologisk mangfold og/eller med særlig viktig økologisk funksjon.
- Konsekvenser for særlig verdifulle naturområder, herunder verdifulle naturtyper.
- Andre konsekvenser for plante- og dyrelivet, f.eks. hjortedyr, skogsfugl osv.
- Konsekvenser for områder som er vernet, midlertidig vernet eller foreslått vernet etter naturmangfoldloven eller markaloven, samt ev. behov for søknad om dispensasjon fra vernebestemmelser.
- Konsekvenser for vernede vassdrag og eventuelle virkninger for laksebestander i nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder.
- Påvirkning av sammenhengende naturområder med urørt preg.
- Kunnskap om naturmangfold skal i hovedsak bygges på eksisterende dokumentasjon. Se vedlegg 2 for tips til hvor man kan finne informasjon.
- Det må fremgå hvor kunnskapen om naturmangfold er hentet fra.
- Kart som viser registrert naturmangfold skal vedlegges, unntatt offentlighet.

# 4 Kraftledninger og «visuell forurensing»

**«Monstermastdebatten» viste at mange oppfatter høyspentledninger som et forstyrrende element i naturen og en «visuell forurensing»**

Støtte- og bærekonstruksjonene til høyspentledninger er til dels store konstruksjoner som nødvendigvis vil være synlige. Kabling av ledninger med spenning høyere enn 200 kV vil bare være aktuelt i unntakstilfeller på grunn av kostnadene. I takt med andre samfunnsendringer har kraftledninger blitt stadig vanligere både i våre kultur- og naturlandskap. Blant annet er det nødvendig å la overføringsledninger krysse gjennom nasjonalparker og andre typer verneområder for å sikre strømforsyning til ulike landsdeler og utkantområder.

Hva som oppfattes som pene eller stygge landskapsformer, med eller uten infrastruktur som kraftledninger, er og vil være forskjellig fra person til person. Det har opp gjennom årene vært diskutert mye hva som er gode utforminger av kraftledninger i forhold til naturlandskapet, uten at det har kommet fram noen felles forståelse eller oppfatning av dette. Bevisstheten om å beholde ulike landskapstyper så intakte som mulig har imidlertid ført til at det er tatt mange grep for å redusere ledningenes synlighet i terrenget (Hillestad 1984). De to viktigste virkemidlene i så måte er å velge en trase der terrenget i seg selv «skjuler» ledningen. I senere år er også kamuflering gjennom utforming og bruk av farger både på bærekonstruksjoner og liner blitt stadig mer vanlig. Dette kan ha noen tekniske utfordringer og er omtalt annet sted i boka. Hensikten med slik kamuflering er i første rekke å dempe kontrastvirkningen av konstruksjonene i forhold til resten av terrenget. En utfordring er imidlertid at Norge gjerne har 3-4 årstider der de dominerende bakgrunnsfargene varierer.

Erfaringsmessig blir vi imidlertid over tid vant til nye byggverk i vårt nærmiljø, det gjelder også kraftledninger. Det har vært utkjempet mange kamper for å hindre etablering av overføringsledninger. I tilknytning til byggingen av ledningen fra Hol i Hallingdal til Sogn i Oslo ble det en svært opphetet debatt om traseføringen (<https://www.nve.no/vann-vassdrag-og-miljo/kulturminner/kraftledninger/hol-oslo/>). Da den ble spennings satt i 1949 var dette både den lengste høyspentledningen, og den med høyest spenning i Norge. En del av



traseen skulle imidlertid gå gjennom Nordmarka, og dette førte til at byggingen ble betydelig forsinket. Årsaken var stor motstand blant folk flest og en stor mobilisering fra blant andre privatpersoner, turistforeninger, sportsfiskere og politiske ungdomsorganisasjoner, fra høyre til venstre fløy. Media spilte i denne sammenheng en vesentlig rolle ved å ta inn utallige avisinnlegg.

*Høyspentledninger kan framstå som dominerende elementer i vår fjellnatur.  
Foto. Kjetil Bevanger*

En parallell til dette kom til uttrykk i tilknytning til 420-kV ledningen mellom Sima kraftverk i Eidfjord kommune til Samnanger transformatorstasjon i Samnanger kommune, via Ulvik, Granvin og Kvam i Hordaland fylke. En oppsummering av prosessen i regi av CEDREN (Ruud 2011) og forskningsprosjektet SusGrid, med målsetting om å utvikle gode og forutsigbare prosesser knyttet til myndighetenes behandling av nettutviklingsprosjekter, gjorde interessante observasjoner. Prosjektet analyserte både mediedekningen og konsesjonsprosessen i tilknytning til byggingen av kraftledningen for å avdekke hvorfor den såkalte «monsternestdebatten» ble en av de mest omtalte nyhetssakene i 2010.

En viktig konklusjon fra Ruud (2011) var følgende: «Sammenlikningen av argumentasjonen i den formelle prosessen med argumentasjonen i media, viser at flere aktører har begrenset sin deltakelse til kun å komme med utspill i media. Dette gjelder blant annet størstedelen av miljøbevegelsen. På bakgrunn av at studien har gitt klare indikasjoner på at mediedekningen var sentral for nedsettelsen av ekspertutvalgene, stiller vi spørsmål ved om uformelle prosesser er i ferd med å ta over for formelle prosesser. Hvilke implikasjoner har dette for videre konsesjonspraksis? Hvordan sikrer man for eksempel at konsesjonsmyndighetene har full oversikt over de ulike argumenter i en sak dersom man bruker media som påvirkningskanal og ikke spiller inn sine synspunkter gjennom formelle kanaler?»

# 5 Kraftledningskorridorer som økologisk faktor

## 5.1 Barriereeffekter

**Ulike typer menneskeskapte byggverk kan splitte opp sammenhengende leveområder og oppfattes som større eller mindre barrierer for dyr**

Bygging av kraftledninger og annen infrastruktur, nedbygging og oppdyrking av arealer, flatehogst osv., representerer inngrep som kan få betydelige konsekvenser for relativt mange dyrearter ved at enkeltindivider og bestander får problemer når miljøfaktorer i leveområdene endres. Felles for slike inngrep er at de bidrar til å redusere størrelsen på tilgjengelige leveområder. Tidligere sammenhengende leveområder blir delt i mindre enheter og landskapet fragmenteres. Den økologiske betydningen vil imidlertid avhenge av enkeltfragmentenes isolasjonsgrad, dvs. inngrepenes barriereeffekt.

En landskapsmosaikk med habitatøyer er imidlertid mer å betrakte som et «filter» enn en barriere. En slik mosaikk vil slippe igjennom individer hos noen arter, men ikke alle. Strukturer som kraftledninger og veier, fungerer som «filtre» fordi enkeltindivider hos noen arter er i stand til å krysse dem, mens andre ikke klarer det. Overlevelsesmuligheter for metapopulasjoner, dvs. en populasjon spredt ut over flere habitatøyer med subpopulasjoner, kan være avhengig av at enkeltindivider har bevegelsesmuligheter mellom habitatøyer nok til å balansere en utdøing fra de lokale habitatflekkene, samt størrelsen på «øyene». Evnen enkeltindivider hos en art har til å forsure menneskeskapte barrierer mellom subpopulasjoner innen utbredelsesområdet kan m.a.o. være avgjørende for populasjonenes levedyktighet.

Selv om Fennoskandia ennå ikke har opplevd samme dramatiske fragmentering av naturarealer som mange andre europeiske land, endrer dette seg nå raskt. Kraftledninger og annen infrastruktur som kan virke som en slags

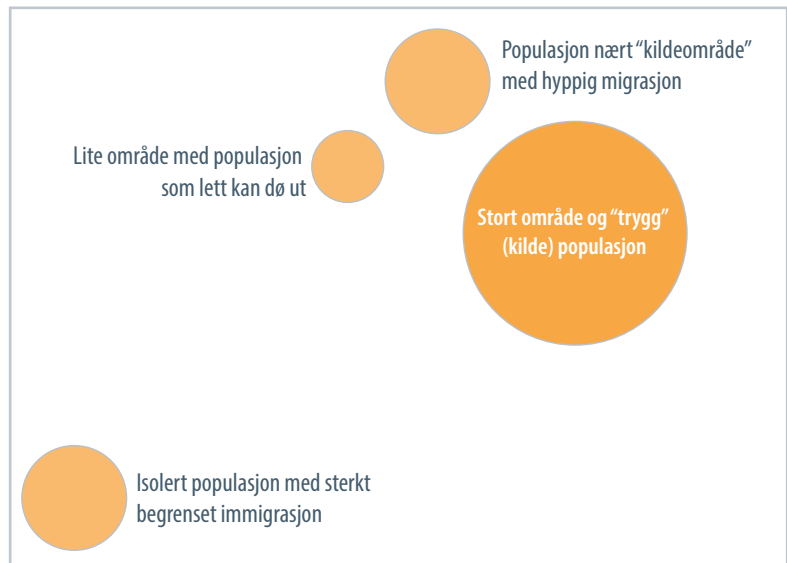
*Tamrein som beiter under kraftledning i Finnmark. Foto: Frode B. Johansen*





barriere for enkelte arter, har en rekke uoversiktlige, økologiske langtidseffekter. Kvantitative og kvalitative konsekvenser av direkte dødelighet, som følge av for eksempel fuglekollisjoner mot kraftledninger eller at dyr blir påkjørt av bil og tog, er ikke lett å påvise. Det er imidlertid liten tvil, rent teoretisk, om at områder gjennomvevd av antropogene barrierer får redusert bæreevne og lavere produksjon i forhold til enkeltarter. Økosystemene destabiliseres gjennom endret mattilgang, innen og imellom arter, økt predasjonstrykk osv. For eksempel vil arter som kan karakteriseres som generalister, og som er tilpasningsdyktige, komme bedre ut enn habitatspesialister eller arter med begrenset spredningspotensial.

Hvorvidt kraftledninger og kraftledningenes ryddebelter framstår som (partielle) barrierer avhenger av mange faktorer, ikke minst hvilke arter det er snakk om. I biogeografisk sammenheng er barrierer analogt med naturgitte, topografiske og miljømessige forhold som begrenser enkelte arters spredningsmuligheter. Barrierer deles gjerne inn i fysiske og økologiske. Fysiske barrierer på land omfatter for eksempel høye fjellkjeder, dype daler og elver, mens ødemarksområder som ørken og bart fjell mer er å betrakte som økologiske barrierer. Med menneskeskapte (partielle) barrierer som kraftledninger, veier og gjerder blir det annerledes, og effekten av disse vil nødvendigvis variere sterkt i forhold til ulike arters biologiske og økologiske særtrekk.



*En metapopulasjon består av en gruppe av romlig separerte bestander av samme art som på en eller annen måte har kontakt med hverandre.*

Den båndlegging, isolasjon og destruksjon som skjer i forhold til bestemte biotoper når barrierer etableres kan ha komplekse, økologiske bivirkninger. Generelt medfører utbygging av veier, kraftledninger og annen infrastruktur en kontinuerlig reduksjon i det biologiske mangfoldet som rammer alle biologiske nivå. Fragmenteringsprosessene slik utbygging er en del av, går stadig raskere noe som medfører at færre arealer med upåvirkede områder gjenstår. Situasjonen er kompleks, og prosessene er i seg selv meget vanskelig å kontrollere. Det skyldes til dels også de mange samfunnsorganer og beslutningstakere som er inne i bildet ved naturinngrep, slik at selve beslutningsprosessene kan sies å bli «fragmentert». Tapsprosessene i henhold til det biologiske mangfoldet er «resultanten» av en samlet miljøpåvirkning, og av tallrike, isolerte beslutninger innen forvaltning og politiske fora. Ikke minst gjelder det utbygging av kraftledningsnettet der bl.a. områdekonsesjonssystemet kan føre til en lite helhetlig vurdering av utbyggingene.

Dette er forhold som så langt er lite fokusert i Norge, når det gjelder kraftledning, gjerder, veier, jernbane og tilsvarende «barrierekonstruksjoner». Ved siden av å fremstå som barrierer i klassisk forstand, vil det økologiske influensområde i tilknytning til denne typen lineære strukturer kunne være forholdsvis bredt. Selv om størst oppmerksomhet er viet den direkte dødelighet som forårsakes av at fugl flyr mot kraftledninger, er det tenkelig at indirekte og langsiktige økologiske effekter av slike «barrierekonstruksjoner» er vel så alvorlig.

Lineære strukturer som kraftledninger og veier er kjent for å påvirke hjorteviltarter som rein (og caribou, dvs. nordamerikansk rein). Høsting av rein har vært et fundament for overlevelse for svært mange som har bodd i Norge siden landet ble isfritt. Selv om det i dag trekkes forholdsvis klare skiller mellom tam og vill rein, er det snakk om samme dyreart. Artens betydning som ressurs har imidlertid endret seg gjennom flere kulturelle prosesser, og dagens situasjon med tam rein fra Midt-Norge og nordover, og villrein i Sør-Norge, er et resultat av et komplekst sett av historiske hendelser. Leveområdene for villrein i Norge deles inn i 23 forskjellige forvaltningsområder. I noen områder er det meste av arealene knyttet til snaufjell mens andre har store områder som ligger godt under skoggrensa (Bevanger m.fl. 2013). Det er derfor store forskjeller med hensyn til om villreinen oppholder seg i områder som gjennomskjæres av kraftledningskorridorer. Alle leveområdene for rein har imidlertid en god del kraftledninger, og det har vært mye diskutert i hvilken utstrekning disse virker som barrierer for reinen.

Tam og vill rein er underlagt samme grunnleggende, biologiske og økologiske «lover», og reagerer i stor grad likt på miljømessige påvirkninger. Rein, og mange andre klauvdyrarter, har en kompleks utnyttelse av sine leveområder i tid og rom. Topografi og andre landskapselementer, samt en sesongvis og romlig fordeling av tilgjengelige beiteressurser er viktige faktorer for å forklare klauvdyrs områdebruk generelt (Fryxell m.fl. 1988). Villreinens nomadiske atferd, der dyrene gjennom året beveger seg langs lange miljøgradienter, fører til ekstensiv bruk av, og behov for, store leveområder. Migrerende arter er derfor gjerne betraktet som viktige nøkkelarter i forhold til bevaring av økosystemprosesser, og har ofte mange typer leveområder og habitater som til sammen huser et stort biologisk mangfold. Bevaring av slike arter er særlig krevende da menneskelig aktivitet og infrastruktur har lett for bl.a. å stenge viktige trekkorridorer (Berger 2004).

De migrerende villreinstammene i Nord-Amerika og Sibir representerer noen av de mest spektakulære naturfenomener vi kjenner, men er også blant de mest debatterte eksempler på konflikter mellom bevarings- og utbyggingsinteresser (Martell & Russell 1985). De relativt små, norske villreinbestandene skiller seg i vesentlig grad fra de store subarktiske villreinstammene ved at de er henvist til å leve på små, fragmenterte «habitatøyer» omgitt av områder som i vesentlig grad er påvirket av menneskelig aktivitet (Bevanger & Jordhøy 2004).

Indirekte konsekvenser av forstyrrelser og naturinngrep kan være midlertidig tap av beiteområder og at tilgjengeligheten til beitearealer reduseres sammen med økt stress for dyrene, noe som kan slå negativt ut både for vill og tam rein. Arealenes bærekraft, dvs. hvor mange individer et nærmere definert areal kan ha i forhold til tilgjengelige ressurser, er viktig. Aktiviteter som medfører bortfall av beitearealer vil føre til færre ressurser og behov for bestandsreduksjon for å unngå overbeiting.

Den samlede effekten av flere mindre inngrep og forstyrrende aktiviteter er gjerne større enn hva konsekvensene av de enkelte inngrep skulle tilsi. Over tid vil flere mindre inngrep kunne føre til oppstykking og fragmentering av beiteområder slik at trekkveier blokkeres og tilgang til større, sammenhengende arealer blir vanskeliggjort. Denne utviklingen har de siste 50 år stått fram som en stadig tydeligere trussel mot reinens leveområder.

## 5.2 Spredningsveier

### Kraftledningskorridorer kan representere spredningsveier for enkeltarter

Spredning («dispersal») er en nøkkelfaktor for fragmenterte populasjoners overlevelsesmulighet, men det er foretatt få kritiske analyser av betydningen av korridorer på artsnivå for fugler og pattedyr. I skogsterreng fremstår kraftledningenes ryddebelter bokstavelig talt som korridorer. I økologisk sammenheng defineres «korridorer» gjerne som smale, lineære habitatstriper som har verdi for viltet, særlig på grunn av gjenstående skog og vegetasjon. Med ryddebeltet under en kraftledning er det imidlertid noe annerledes.

Stor dødelighet av fugl kan bidra til å opprettholde en kunstig stor bestand av åtseletere og rovdyr i enkelte områder (Bevanger m.fl. 1994a, 1999). På samme måte som næringssubsidier i form av avfall fra hyttebebyggelse og veier i fjellområdene kan bidra til å opprettholde en stor bestand av rødrev og andre generalister, kan døde fugler under kraftledninger gjøre det. Rødrev lærer raskt å patruljere langs kraftledninger for å plukke fugl. Kraftledninger kan på denne måten virke som spredningskorridorer for rødrev, slik at dyrene eksempelvis kan vandre fra lavlandsområder til høyfjellet. Dette kan i sin tur påvirke økosystemene gjennom endret faunasammensetning. Det antas at rødrev bidrar til å utkonkurrere fjellrev, som er en kritisk truet dyreart i Norge (Henriksen & Hilmo 2015).

## 5.3 Økotoneffekter

**Kraftledningenes ryddebelter i skogsterreng skaper skiller mellom ulike terrengtyper og leveområder for dyr og planter**

Ryddebelter under kraftledninger i skogsterreng representerer et skarpt skille mellom skog og åpent landskap, og skaper kantsoner (økotoner). Begrepet økoton (ecotone på engelsk) ble først benyttet av Clements (1905) som definerte dette som stabile skiller mellom distinkte plantesamfunn. Begrepet var med andre ord i utgangspunktet knyttet til vegetasjon. Senere forskning



*Ved dobbel traseføring  
kan ryddebeltet og det  
båndlagte arealet bli  
forholdsvis stort.  
Foto: Kjetil Bevanger*

har imidlertid tatt begrepet i bruk også i tilknytning til andre organismer. Van der Maarel (1990) diskuterte begrepet ut fra et syn der det snakkes om en økologisk overgangssone, dvs. snevre, stokastiske, ustabile økologiske soner som innehar en blanding av to forskjellige, homogene samfunnstyper. Landskapsøkologer begynte å bruke begrepet i tilknytning til avgrensningen av små og store homogene landskapsenheter, selv om det fremdeles var snakk om skiller mellom forholdsvis homogene vegetasjonstyper (Risser 1995, Fortin m.fl. 2000) som kunne betraktes som separate elementer i landskapet.

Interessant ut fra et økologisk perspektiv er at det dreier seg om overgangssonen mellom to forskjellige vegetasjonstyper som både kvalitativt, kvantitativt og fysiognomisk er forskjellig. I forhold til dyr vil to vegetasjonstyper representere forskjellige ressurser, både hva næring angår, og muligheter til beskyttelse og skjul. Det er liten tvil om at kantsonene i kraftledningsgater kan tiltrekke flere fuglearter som med sammenhengende skog ikke ville klart seg. I en del tilfeller vil derfor kraftledninger virke positivt på fuglemangfoldet. Det er imidlertid gjort få studier på dette som kan bidra til å kaste mere lys over situasjonen. Mange mener de negative effektene av en kraftledningstrase er størst hva angår fuglelivet ettersom det i første rekke er de vanligste artene, som generelt har vid utbredelse, som tjener på etablering av kunstige kantsoner. En annen effekt er at mens kantsoner tilsynelatende øker artsmangfoldet, har studier samtidig påvist at predasjon også er større der (Gorini m.fl. 2012). Dermed kan kantsoner representere et attraktivt, men «farlig» habitat for en del av artene.

I OPTIPOL ble effekten av kraftledningenes ryddebelte på elg undersøkt. Resultatene viste at elg ikke unngikk kraftledningsgata som ble undersøkt, men tvert om ofte benyttet den som beiteområde. Elg så ut til å bruke mye tid i kraftledningsgata og andre økotoner i studieområdet, trolig på grunn av god næringstilgang og bedre skjul sammenlignet med åpne områder (Bevanger m.fl. 2014, Bartzke 2014).

Skogslevende hjortedyr kan gjøre seg nytte av beitemulighetene i ryddebeltene hvis disse pleies slik at de representerer en næringsressurs og gir skjul. Størst fordel kan forventes når kraftledninger går gjennom gammel barskog som i seg selv tilbyr dårlig beite. Selektiv hogst av trær som når opp i omkring fem meter sikrer kontinuerlig mattilgang samtidig som det gir skjul. Alternativt kan løvtrær kuttes til ca. en meters høyde eller halvfelles (dvs. skjæres over slik at de kan veltes, men fremdeles holder seg i live – «hinge-cutting») i stedet for total rydding. Dette vil korte ned perioden med dårlig næringstilgang etter at kraftledningsgata ble ryddet.

# 6 Hjortevilt og luftledninger

## 6.1 Rein

**Infrastruktur påvirker både tamrein og villrein. I enkelte sammenhenger kan kraftledninger virke som en barriere**

Det er publisert mange undersøkelser som både har sett på hvordan ulike typer forstyrrelser og infrastruktur kan skape unnvikelses- og barriereeffekter hos rein. Hvordan kraftledninger påvirker rein er uklart til tross for at et større forskningsprosjekt i regi av Norges Forskningsråd (REIN-Prosjektet) hadde dette som hovedfokus. Enkelte konklusjoner fra REIN-prosjektet viste at kraftledninger ikke syntes å ha større innvirkning på reinens arealbruk lokalt (Flydal & Reimers 2002), men at lineære strukturer kan føre til regionale effekter i den forstand at arealer nær kraftledningene over tid blir mindre beitet enn områder i noen kilometers avstand fra ledningene (Nellemann m.fl. 2002). Tilsvarende konklusjoner er også trukket tidligere (Nellemann m.fl. 2001, Vistnes & Nellemann 2001, Vistnes m.fl. 2001).

Hvorvidt rein registrerer støy fra kraftledninger og vindturbiner har vært testet under kontrollerte betingelser. Det er konkludert med at rein oppfatter slik støy, men at mennesker hører denne formen for støy bedre enn rein i størstedelen av frekvensområdet. At reinen oppfatter støy fra kraftledninger og vindturbiner er imidlertid ikke ensbetydende med at støyen virker forstyrrende (Flydal & Reimers 2002).

Atferdsresponser hos to enkeltindivider fra forskjellige tamreinflokker (henholdsvis Vågå tamreinlag og Kautokeino) ble testet i tilknytning til REIN-prosjektet (Flydal & Reimers 2002). De to dyrene ble observert i en innhegning ved en kraftledning i Lesja, og det ble ikke funnet indikasjoner på at kraftledningen førte til økning i urolig atferd. Dyret fra Vågå viste imidlertid betydelig større urolig atferd enn reinen fra Kautokeino, noe som ble vurdert å ha sammenheng med tamhetsgraden hos dyrene. Det ble også konkludert med at direkte eksponering for kraftledninger og vindturbiner isolert har liten effekt på atferden hos reinen lokalt.





Det er påvist betydelige toleranseforskjeller hos forskjellige bestander av tam og vill rein (og caribou) (NFR 2002). Men alle studier av rein av forskjellig tamhetsgrad har vist unnvikelses- og barriere-effekter av kraftledninger. På grunn av variasjoner i tamhetsgrad kan det forventes effekter på rein i intervaller fra 2-4 km fra kraftledninger. Studier indikerer imidlertid at unnvikelsessoner i skog er opp mot 75 % mindre enn på fjellet. Det er følgelig viktig at effekter av terreng (topografi) og vegetasjon tas i betraktning. Store deler av tamreindriften drives i skogbevokste beiteområder (NFR 2002).

*Reinens atferd og reaksjoner på kraftledninger og annen infrastruktur er avhengig av i hvilken grad dyrene er domestisert. Enkelte steder er rein et vanlig husdyr, slik som hos evenkene i Russland der dette bildet er tatt. Foto: Nils Røv*

I 1998 og 1999 ble reinens bruk av områder med kraftledninger, veg og hyttefelt i Repparfjorddalen i Vest-Finmark undersøkt (Nellemann m.fl. 2002). Disse to årene ble det funnet 87 % lavere tetthet av reinsdyr 0-4 km fra utbygging sammenlignet med områder 8-12 km fra utbygging. Det ble også registrert betydelige forskjeller i atferdsrespons hos simler med kalv sammenlignet med bukk og fjorårskalv i Repparfjorddalen. Simlene trakk lengst unna, mens bukker og fjorårskalver var mer tolerante overfor inngrepene.

I ulike sammenhenger er det registrert unntakelsesvis responser hos rein i tilknytning til kraftledning, uten at det så langt er gitt gode forklaringer på hvorfor det skjer. I senere år er det kommet opp en diskusjon om UV-lys generert av kraftledningenes korona kan bidra til å skremme rein. UV-lys har bølgelengder under 400 nm, og generelt har det vært antatt at pattedyr ikke kan oppfatte lys i denne delen av spekteret. Det har lenge vært kjent at de fleste fuglearter kan oppfatte UV-stråling. Forskning har nå vist at også pattedyrarter utenom primater kan se innenfor UV-spekteret (Hogg m.fl. 2011, Tyler m.fl. 2014, 2016a, b).

Konsekvenser av forstyrrelser kan betraktes som avveininger («trade-offs») i forhold til ressursbruk på samme måte som predasjonsrisiko har vist seg å endre enkeltindividets valg av leveområde og områdebruk (habitatseleksjon). En slik tilnærming kan benyttes både til å studere om forstyrrelser virker begrensende på antall individer som benytter et område, og til å forutsi lokal endring i antall individer som en forandring i forstyrrelser kan føre til (Gill & Sutherland 2000). Det er utbredt enighet om at forstyrrelsesreaksjoner hos dyr er dynamiske prosesser som er avveininger mellom konsekvenser av forstyrrelser og kostnader knyttet opp mot økt bestandstetthet og konkurranse om ressurser i uforstyrrede områder (Gill m.fl. 2001 a,b, Frid & Dill 2002).

På bakgrunn av reinens økologi og biologi kan det generelt sies at å forutsi effekter av infrastruktur, tekniske inngrep og forstyrrelser er vanskelig. Rein har en kompleks, nomadisk levemåte som varierer i tid og rom, nært knyttet opp mot bestandsstørrelser, beitegrunnlag og det habitat som til enhver tid er tilgjengelig. I tillegg lever dyrene i en sosial struktur som gjør at individer av ulik alder og kjønn har ulik sårbarhet overfor inngrep og forstyrrelser gjennom året. Disse økologiske og biologiske faktorene danner et avgjørende grunnlag for hvorvidt det vi foretar oss i reinens leveområder oppleves som en barriere eller trussel av dyrene. Barriereeffekten er m.a.o. en variabel størrelse der barriereterskelens høyde hos en bestemt art eller individ på et gitt tidspunkt er relatert til den «livssituasjon» dyrene befinner seg i (Bevanger m.fl. 2005).

En omfattende litteraturstudie av hvordan menneskelig aktivitet påvirket domestisert rein, dvs. tamrein (Skarin & Åhman 2014) konkluderte bl.a. med at det er nødvendig å ha et regionalt og langsiktig (måned/år) perspektiv hvis en skal kunne fange opp dyrenes responser på menneskelige forstyrrelser og infrastruktur. Et mindre, småskala perspektiv vil ikke fange opp mulige implikasjoner av barrierer i terrenget som kan hindre reinen i å unnslipe en

forstyrrelse og som tvinger dyrene til å velge et bestemt habitat. Et slikt perspektiv vil stort sett bare vise reinens habitatseleksjon i forhold til beitekvalitet innenfor en viktig del av dyrenes leveområde. Tamreins midlertidige leveområder inkluderer bl.a. kalvingsområder, sommer- og vinterbeiteområder. Alle leveområdene er knyttet sammen via spesifikke trekkruiter. Til tross for en lang domestiseringsprosess har tamrein lignende storskala unnavikelsesrespons i forhold til menneskeskapte forstyrrelser som villrein, men styrken på responsene kan noen ganger være forskjellig (Skarin & Åhman 2014).

Det synes i noen grad å være kortere unnavikelsesavstand hos tamrein, men det er en klar øvre grense for hvor mye forstyrrelser dyrene tolererer. De største forskjellene mellom tam og vill rein er påvist i lokale og kortvarige studier. Effekten av menneskelig forstyrrelser kan imidlertid ikke evalueres på et slikt nivå. For å få et riktig bilde av hvordan reinen bruker leveområdene sine er det helt avgjørende at responsene studeres på en romlig og midlertidig skala som er relevant for reinen, det være seg tam eller vill rein. Ut fra et forvaltningsperspektiv er det viktig å kunne kvantifisere unnavikelsessoner for tamrein, og hvilken effekt de har for dyrenes kondisjon og produktivitet. Kunnskap om dette mangler.

## 6.2 Elg

### **Ryddebeltet under høyspentledninger i skogsterreng kan være en positiv beiteressurs for elg**

Overføringsledninger med spenninger opp til 420 kV har en sikkerhetssone på hver side på ca. 20 m, noe som i skogsterreng skaper et ryddebelt på omkring 40 m. Som tidligere nevnt har det vist seg at rein reagerer på kraftledninger, det være seg koronastøy og assosiert UV-lys eller den fysiske strukturen et ryddebelt representerer. Slike ryddebelt representerer imidlertid også et potensiale for næring for elg (Ricard & Doucet 1999), ettersom de ryddes regelmessig. Selv om elg generelt unngår åpne habitater da slike gjerne har et dårlig tilbud av mat og skjul, kan slike områder benyttes når de representerer god næringstilgang, spesielt når de ligger i tilknytning til skogkanter. I OPTIPOL ble elg valgt som modellart på bakgrunn av det vi vet om artens preferanse for områder som både tilbyr næring og skjul, og på grunn av artens betydning i tilknytning til jakt og skogbruk (Storaas m.fl. 2001).

I undersøkelsesområdet i Bangdalen ble det samlet data i 528 prøveruter med diameter på 4 m. I hver rute ble elgbeiting registrert gjennom antall skudd fjernet i forhold til antall tilgjengelige skudd. Mengde elgskremer i hver rute ble også registrert (antall dunger med ekskrementkuler). Det var forventet at tilgjengeligheten av beitebusker, habitatbruk og beiteintensitet skulle øke i tilknytning til kraftledningens ryddebelte og andre typer kantsoner. Det viste seg imidlertid at den viktigste beiteplanten (bjørk) ikke forekom i størst omfang i kantsonen, men omkring 100 m unna, trolig som følge av at det der var en god del åpne skogsområder.

Antall bjørkeskudd økte fra indre skogsområder ut mot åpne områder, trolig som følge av mer lys. Kraftledningens ryddebelte hadde større oppslag av bjørkeskudd sammenlignet med andre åpne områder, men færre enn i skogen. Det viste seg at områdebruken til elgen ikke var størst i kantsonen som forventet, men i skogen ca. 50 m fra kanten, trolig på grunn av at det her var bedre skjul. Resultatene fra Bangdalen indikerte at elg særlig benytter skogsområder som ligger 50 til 100 m fra kraftledningens ryddebelte og andre skogkanter, og at den er tolerant i forhold til kraftledningen.

For å vurdere om det ville være mulig å forbedre ryddebeltets kvalitet som beiteområde, ble en 2,5 km lang strekning underlagt et spesielt rydderegime. I 2010 ble alle løvtrestammer her kuttet i ca. en meters høyde fra bakken, mens de resterende 3,6 km av den utvalgte kraftledningsstrekningen ble brukt som

*Elg bruker ofte ryddebeltet under kraftledninger som beiteområde.*

*Foto: viltkamera/NINA*



kontrollområde. Dessverre var bare trærne over en strekning på 1 km høye nok for å utføre kutting på 1 m, noe som medførte at datagrunnlaget ble lite. Resultatet indikerer imidlertid at dette hadde en positiv effekt på bruken av ryddebeltet som beiteområde for elg.

Størst effekt av selektiv rydding kan trolig forventes i områder der kraftledningen går igjennom gammel barskog uten godt næringstilbud. Selektiv kutting av trær som er omkring 5 m høye sikrer kontinuerlig, godt beitetilbud uten at det går ut over mulighetene for skjul. Kutting av løvtrær ca. 1 m over bakkenivå vil også være et godt alternativ til å kutte ved bakkenivå, men på bakgrunn av erfaringene fra Bangdalen krever dette videre uttesting.

Alt i alt viste undersøkelsene i Bangdalen at elg ikke unngår kraftledninger, men tvert imot ofte bruker ryddebeltet som beitehabitat. Dyrene syntes å bruke mye tid i ryddebeltets nærområder og andre økotoner i undersøkelsesområdet, trolig som følge av god næringstilgang og bedre skjul sammenlignet med åpne områder.



*Ryddebelstet under høyspentledningen i Bangdalen ble selektivt ryddet. Der bildet er tatt ble gran og or fjernet mens beitetrær ble kuttet på 1 meter dersom de var over 1 meter høye.  
Foto Sigbjørn Stokke*

# 7 Fugl og luftledninger

**Problemer knyttet til fugl og luftledninger har vært diskutert i over 100 år, men først fått en vitenskapelig tilnærming de siste 20-30 årene**

Død fugl i tilknytning til kraft- og telegrafledninger er beskrevet for godt over 100 år siden (Coues 1876, Grotli 1922, Michener 1928), dvs. helt siden telegraf, telefon og elektrisk strøm ble tatt i bruk. Dette er i og for seg i tråd med dagens erkjennelse, nemlig at i et område hvor det både er luftledninger og fugl, vil det alltid være en viss sannsynlighet for at fugler drepes. Mengden av så vel kraft- som telefonledninger økte dramatisk etter den industrielle revolusjon, en utvikling som har fortsatt, bortsett fra at telegraf- og telefonledninger i de fleste land har blitt overflødiggjort av trådløs teknologi.

Dessverre tok det lang tid før mange av de telefonledningene som ikke var i bruk ble tatt ned, og fremdeles står noen igjen. På forespørsel fra Direktoratet for naturforvaltning i januar 2011, svarte Telenor følgende i forhold til situasjonen for telefonliner (Bevanger 2011):

*«De linjene som vi vet har tatt en del fugl gjennom tidene i visse områder, er de gamle blanktrådlinjene. Det var særlig i de nordlige og/eller høytliggende områdene at ryer fløy på disse i svakt lys. I visse områder på 50- og 60-tallet plukket lokalbefolkningen nyfalte ryer tidlig på morgenen, langs visse kurser med mye blanktråd. Videre vet vi at i spesielle områder med luftlinjer lavt langs slake ller, kunne det fly på skogsfugl som slapp seg ned i terrenget sent på ettermiddagen. - Sist på 1990-tallet og først på 2000-tallet fjernet vi utrangerte luftlinjer for mange millioner kroner. Størst innsats på området var da i de tre nordligste fylkene der omlegginger og fraflytting medførte en del utfasing. - Det finnes nesten ikke blanktrådlinjer igjen i Telenors nett. De få som eksisterer, faser vi ut straks anledningen byr seg».*

Først på 1970-tallet ble dødelighet hos fugl på grunn av kraftledninger (kollisjon og elektrokusjon) spesielt fokusert i USA (Avery 1978) ettersom lovbestemmelser påbød konsekvensanalyser når kraftledninger ble konstruert for å sikre at miljøinteresser ble ivaretatt på lik linje med økonomiske og tekniske vurderinger (Hobbs 1987). Fram til 1990-tallet var mange undersøkelser «worst case studies» - enten knyttet til rike våtmarkslokaliteter, med for eksempel store mengder hekkende eller overvintrende fugler, eller kryssing av sentrale



*De gamle telegraflinene hadde mange etasjer med metalltråd som ofte fungerte som dødsfeller for fugl.*

*Foto: Kjetil Bevanger*

fugletrekk. Dette bidro lenge til at temaet ble sett på mer som et tilfeldig fenomen eller kuriosum, enn som en regulær dødelighetsfaktor.

Etter at mer systematiske undersøkelser ble igangsatt, med utgangspunkt i å finne fram til hvilke arts-, steds- og årstidsspesifikke faktorer som kunne bidra til å forklare hvorfor kollisjoner skjedde, ble det også gjort framskritt i forhold til avbøtende tiltak (Morkill & Anderson 1991, 1993 Alonso m.fl. 1994, Bevanger 1994a, Brown & Drewien 1995); se Jenkins m.fl. (2010) for oversikt.

I årenes løp har millioner av fugler blitt drept - ikke bare mot luftledninger, men mot barduner i TV- og radiomaster, gjerder, vinduer, vindturbiner, oljeinstallasjoner, fyrlykter, biler, tog osv. (Avery 1979, Trapp 1998, Bevanger 1994a, Hebert m.fl. 1995, Lehman m.fl. 2007, Drewitt & Langston 2008, Klem 2009).

Noen steder har fugledødelighet på grunn av kraftledninger vært så høy at det har vært fare for spredning av botulisme på grunn av omfanget av råtne fuglekadavre (Malcolm 1982, Eklund & Dowell 1987).

Kraftledninger og andre tekniske installasjoner knyttet til den kraftforsyning et moderne samfunn er avhengig av, er i løpet av de siste 100 år blitt en del av miljøet i de fleste naturtyper. Disse konstruksjonene har ingen fugleart gjennom noen form for evolusjon og seleksjon blitt programmert til å unngå eller omgås på en måte som utelukker konflikter. For å forstå hvorfor luftledninger, vindturbiner og andre menneskeskapte strukturer kan medføre problemer for fugler, er det viktig å huske at enhver art er fange av en evolusjonær fortid. I dette ligger blant annet at enkeltindivider i begrenset utstrekning kan klare å tilpasse seg nye miljøbetingelser på kort tid.

Selv om dødelighet hos fugl på grunn av luftledninger har vært et velkjent fenomen i lang tid, ble det ikke et tema for miljø- og energiforvaltningen i Norge før på 1980-tallet. I april 1980 arrangerte Direktoratet for naturforvaltning og Norges vassdrags- og energidirektorat et symposium med hovedfokus på effekter av vannkraftutbygging på vilt. Dette var første forsøk på å få en kunnskapsoversikt om biologiske og økologiske effekter av vannkraftutbygging, med tilhørende infrastruktur, inklusive kraftledninger (Kjos-Hanssen m.fl. 1980). Problematikk tilknyttet kraftledninger var dekket gjennom fire



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



presentasjoner (Folkestad 1980; Kjos-Hanssen 1980; Lund-Tangen 1980; Strømsøe 1980).

Oppdragsvirksomheten ved Vitenskapsmuseet i Trondheim, Zoologisk avdeling fikk i 1983 oppdrag fra Viltkontoret ved Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk å lage en kunnskapssammenstilling basert på et litteraturstudium om problematikken kraftledninger-fugl (Ålbu 1983). Da ØKOFORSK ble etablert som et ikke tidsavgrenset forskningsprogram av Norges Allmennvitenskapelige Forskningsråd i 1984, ble problematikken kraftledning-fugl et naturlig forskningstema å videreføre for enheten som var lokalisert ved Vitenskapsmuseet i Trondheim (Bevanger 1984, 1988 a,b,c; Bevanger & Thingstad 1988).

Da ØKOFORSK ble en del av det nyetablerte NINA i 1988 ble også forskning på kraftledninger og fugl videreført. I årene som fulgte ble det publisert mange rapporter i tilknytning til oppdrag finansiert av ulike nettselskaper, samt vitenskapelige artikler i internasjonale tidsskrifter (Bevanger 1990, 1994 a,b, 1995, 1997, 1998, 1999; Bevanger m.fl. 1994, Bevanger & Overskaug 1998; Bevanger & Brøseth 2001, 2004) som dokumenterte at ulike fuglearter ble drept i betydelig omfang i tilknytning til elektriske strukturer. De etiske aspektene er, ved siden av at mange reagerer følelsesmessig på at fugl lemlestes og drepes på grunn av luftledninger, knyttet til sårbare og truede arter som hubro og bevaring av biologisk mangfold og økosystemtjenester i sin alminnelighet (Bevanger 1993a, 1998).



*Avgreiningmaster er konstruert på mange måter. Ofte fremstår de som strukturer hvor fugler finner gode sitteplasser. I åpne landskap med lite skog blir derfor disse attraktive utkikksposter for fugler som ønsker å få oversikt og speide etter bytte. Det gjelder bl.a. rovfugl og måker i kyststrøk. De fortjener derfor med rette betegnelsen "killerpoles". Ved å utforme disse på en måte som reduserer attraktiviteten som sitteplass, samt isolere ledninger og traverser, vil dette problemet reduseres betydelig.*  
Foto: Kjetil Bevanger

Det er følgelig ingen som lenger benekter at kraftledninger dreper mye fugl, og det kan sies at dokumentasjonsperioden på mange måter er forbi. Arbeidet har gått over i en fase med fokus på tiltak, selv om det fremdeles gjenstår mye i forhold til å forstå hvorfor eksempelvis enkelte steder opplever en overhyppighet når det gjelder kollisjoner («hotspots»). Uten at slike fenomen er gitt en forklaring, er det også vanskelig å sette inn effektive tiltak i forhold til traseføring. Manglene til tross, eksisterende kunnskapen gir et godt grunnlag for å kunne iverksette kostnadseffektive, dødelighetsreducerende tiltak i flere sammenhenger.

Hovedkonklusjonene fra forskningen i ØKOFORSK og NINA i denne perioden var at problematikken vedrørende kraftledninger og fugl, ved siden av å være geografisk betinget, var utpreget artsspesifikk og at hønsefugl er en spesielt utsatt gruppe med omfattende dødelighet. Å spørre om hva som kan gjøres «for å løse problemet kraftledninger og fugl» er følgelig en lite hensiktsmessig tilnærming. Blant verdens over 9000 fuglearter finnes knapt to som kan rangeres likt i forhold til kollisjonsutsatthet ettersom morfologi, fysiologi, aerodynamiske ferdigheter og generell adferd varierer sterkt arter imellom.

### Faktaboks

For å forstå hvorfor enkelte fuglearter er mer utsatt for å kolliderer mot kraftledninger enn andre, samt hvor og når flest kollisjoner skjer, må flere aspekter tas i betraktning og det vil normalt være et sett av faktorer som virker sammen. Årsaksfaktorene kan grovt sett relateres til aspekter med tilknytting til

- biologi/økologi
- topografi og habitattyper
- geografi og sesongrelaterte forhold (lys og værforhold)
- kraftledningkategori og design

Biologiske/økologiske aspekter knyttet til kollisjoner kan grupperes i flere hovedtema:

- arter involvert; artsspesifikk sårbarhet, inklusive trekkfugler kontra stasjonære arter
- trekkveier – lokale, regionale, nasjonale
- ressursområder – hekkeplasser, næringslokaliteter, overvintringsområder etc.
- avgjørende biologiske og økologiske faktorer som gjør at fugler kolliderer; inklusive syn, morfologi og livshistoriestrategier
- effekter av denne type ekstradødelighet på populasjonsnivå

## 7.1 Fuglekollisjoner

### Store mengder fugl av ulike arter dør hvert år i ulike deler av verden på grunn av at de kolliderer med kraftledninger

Sammenlignet med elektrokusjon er det langt vanskeligere å forutsi hvor og når en fugl vil fly mot en kraftledning, eller hvilken art det vil være. På bakgrunn av tallrike undersøkelser kan det imidlertid slås fast at enhver fugl som kan fly løper en viss risiko for å bli drept ved å fly mot en luftledning 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 kollisjonsofrene (**Tabell 1**) (Bevanger 2011).

Sammen med en tidligere gjennomgang fra USA (Thompson 1978) viser dette at bare to fugleordener (vel og merke av de med flyvende arter) ikke er registrert som kollisjonsd drept; nemlig musfugler (Coliiformes) og trogoner (Trogoniformes). Musfugler er imidlertid registrert som kollisjonsd drept ved en undersøkelse i det sørlige Afrika (Hobbs 1987). Trogoner er knyttet til områder i Sør-Amerika, Afrika og Sørøst-Asia hvor det er gjort få undersøkelser med henblikk på problematikken.

Blant annet på grunn av mange ulike datainnsamlingsmetoder, kan det være vanskelig å si sikkert hvilke arter som er mest kollisjonsutsatt, særlig fordi antall kollisjonsfunn må vurderes opp mot artens relative opptreden og forekomst. Mindre spurvefugler, for eksempel troster samt vadefugler, registreres ofte som hyppige kollisjons ofre i tilknytning til ledningsspenn som krysser sentrale trekkveier. Antall kollisjoner sett i forhold til totalt antall kryssende individer, gir imidlertid en prosentvis andel som normalt blir bagatellmessig. Noe helt annet er det når traner, pelikaner, storker og hønsefugler kolliderer, etter som totalbestandene og antall kryssende individer ofte bare utgjør brøkdeler i forhold til spurve- og vadefugler.

Tabell 1. Fugler registrert drept som følge av kollisjon mot kraftledninger i 16 undersøkelser\*(etter Bevanger 1998).

Order	Familie	Slekt	Art	Antall individer
Gaviformes	Gavidae (lommer)	1	2	3
Podicipediformes	Podicipedidae (lappedykkere)	4	7	303
Procellariiformes	Procellariidae (petreller, lirer havhester)	1	1	4
Pelecaniformes	Pelecanidae (pelekaner)	1	2	4
	Sulidae (havsuler)	1	1	1
	Phalacrocoracidae (skarver)	1	2	62
Ciconiiformes	Ardeidae (rørdrummer, hegrer)	4	6	79
	Ciconiidae (storker)	1	1	5
	Threskiornithidae (ibiser, skjenebber)	2	3	13
	Phoenicopteridae (flamingoer)	1	1	8
Anseriformes	Anatidae (ender)	14	37	2983
Falconiformes	Accipitridae (hauker, gribber, ørner)	3	4	7
	Falconidae (falkefugler)	1	4	7
Galliformes	Phasianidae (hønsfugler)	7	9	321
Gruiformes	Rallidae/Gruidae (rikser, traner m.fl.)	6	9	1653
Charadriiformes	Haematopodidae (tjeld)	1	1	54
	Recurvirostridae (stillits, avosett m.fl.)	2	3	12
	Burhinidae (trieler)	1	1	1
	Charadriidae (loer m.fl.)	3	7	520
	Scolopacidae (bekkasiner m.fl.)	19	48	2833
	Laridae (gulls)	5	16	1447
Apodiformes	Apodidae (seilere)	1	1	6
Columbiformes	Columbidae (duer)	3	7	374
Cuculiformes	Cuculidae (gjøker)	1	1	2
Strigiformes	Tytonidae (kattugler)	1	1	1
	Strigidae (typiske ugler)	2	3	4
Passeriformes	Tyrannidae (div. spurvfugler)	2	2	6
	Alaudidae (lerker)	1	1	68
	Hirundinidae (svaler)	1	1	9
	Motacillidae (piplerker, erler m.fl.)	2	3	34
	Troglodytidae (gjerdesmetter)	2	3	3
	Turdidae (chats, thrushes m.fl.)	6	12	420
	Sylviidae (sangere)	5	12	117
	Muscicapidae (fluesnappere)	1	2	3
	Emberizidae (spurver)	7	11	86
	Parulidae (spurvefugler)	3	4	7
	Icteridae (trupialer, orioler m.fl.)	3	3	87
	Fringillidae (finker)	2	4	25
	Ploceidae (vevere)	1	1	46
	Sturnidae (stær)	4	6	590
	Corvidae (kråkefugler)	2	2	18

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

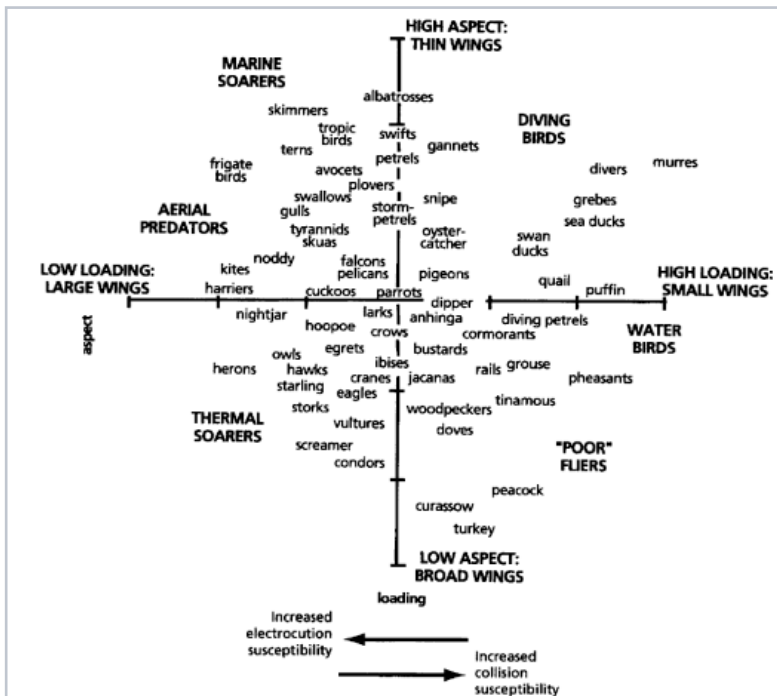
## 7.2 Kollisjonsregulerende faktorer

### 7.2.1 Morfologi og anatomi

Fugler har forskjellig anatomi, noe som gir store forskjeller i artenes flyveferdigheter

For å forstå ulike fuglegruppers sårbarhet i forhold til kunstige lufthindringer generelt, er det nyttig å se på artenes aerodynamiske ferdigheter, dvs. flyvemorfologi. Den vil nødvendigvis måtte utvikle seg innen et mangfold av biomekaniske og økologiske rammebetingelser på en måte som tillater individet å optimalisere overlevelse og reproduksjon. Seleksjonen kan for eksempel favorisere evnen hos en fugl til å utnytte tilvokste og uoversiktlige habitater ved at vingespennet blir mindre eller ved at manøvreringsdyktigheten øker. Vingeladning, dvs. forholdet mellom kroppsvekt og vingearreal, og aspekt, dvs. forholdet mellom vingespenn og kvadratet av vingearialet, er avgjørende for fuglers flyveferdighet (se for eksempel Norberg 1990).

Ved å bruke statistiske beregningsmetoder (multivariat analyse) i forhold til uavhengige mål av kroppsstørrelse og vingeporsjoner (Rayner 1988, Norberg



Taksonomiske grupper av fugl arrangert i forhold til vingemorfologi, der statistiske, uavhengige mål av kroppsstørrelse og vingeporsjoner er utledet. Figuren er basert på størrelsesuavhengige faktorer hos flygende fugler (basert på Rayner 1988). Det er spesielt interessant å merke seg at hønefugler kommer i gruppen «dårlige flygere» i nederste høyre kvadrant (etter Bevinger 1998)

1990) kan taksonomiske hovedgrupper av fugl systematiseres i forhold til vingemorfologi og kroppsvekt. Denne metoden er spesielt nyttig ved at den gir anledning til å identifisere hva vi kan kalle «dårlige flyvere». Generelt synes det å være betydelig overvekt av arter med høy vingeladning blant kollisjonsføre; for eksempel rikser, tinamuer og hønsfugl. Når det gjelder riksefugler finnes mye empiriske data som gir grunn til å kategorisere dem som dårlige flyvere. Tinamuer, som utelukkende finnes i Sør-Amerika, og som rent morfologisk har mange fellestrekk med hønsfugl, beskrives som særdeles klønete flyvere som både flyr inn i husvegger og andre hindringer som står i veien (del Hoyo m.fl. 1992, Roselli & Zerda 2003).

I Norge og Finland har kollisjonsutsatthet hos hønsfugl særlig vært studert. Helt fra forrige århundreskiftet finnes beretninger i bl.a. Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskrift, Villmarksliv og Norsk ornitologisk tidsskrift som uttrykker bekymring for at både ryer, storfugl og orrfugl ble funnet drept under kraft- og telefonledninger (Wadén 1904, Grotli 1922, Sørnum 1950, Wilse 1951, Johannessen 1952, Hiltunen 1953, Heitkøtter 1972, Anon. 1973, Swensen 1975, Stanghelle 1985). For å undersøke problematikken nærmere ble det i perioden 1984-87 foretatt regelmessige patruljeringer av utvalgte høyspentledningsavsnitt i Orkdal, Meldal og Rennebu kommuner (Bevanger 1988). Undersøkelsen viste at rype, storfugl og orrfugl var utsatt for å kolliderer mot kraftledninger både høst, vinter og vår. Jerpe ble ikke funnet, men undersøkelserne ble heller ikke gjort i typisk jerpeterreng. Senere undersøkelser i boreal bjørkeskog både i Sør- og Nord-Norge har bekreftet at ryer regelmessig kolliderer mot luftledninger, særlig om vinteren og tidlig på våren (Bevanger 1993b, Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2001, 2004).

## 7.2.2 Syn

### **Noen fuglearter har skarpt syn, andre mindre skarpt, men de fleste synes å kunne se i den ultrafiolette delen av fargespekteret**

Øyet hos høyerestående dyr som pattedyr og fugler har mange fellestrekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått (Sillman 1973, Martin 1985, Schmidt-Nielsen 1991, Schmidt-Morand 1992, Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Valberg 1998, Zhang 2003). Imidlertid synes det også å være betydelige forskjeller mellom hva et fugleøye og et menneskeøye «ser» og gir hjernen av informasjon og «opplevelser». Dette har bakgrunn i en del fundamentale forskjeller mellom hvordan det visuelle systemet er organisert hos fugler og primater,

det være seg netthinnen, den fysiologiske optikken, synsfelt og hvordan hjernen prosesserer synsinformasjonen (Bowmaker m.fl. 1997, Shimuzu & Bowers 1999, Reiner m.fl. 2005, Martin & Osorio 2008, Hunt m.fl. 2009, Martin 2011).

Kunnskapen om fugleøyet – både de optiske egenskapene hos selve øyet, netthinnens morfologi, øyets og det visuelle systemets anatomi, samt den funksjonelle organiseringen av fuglehjernen, er inngående studert (Martin & Osorio 2008). Noen hevder at relativt store morfologiske forskjeller mellom de visuelle organer og systemer hos fugler og pattedyr i virkeligheten har bidratt til å kamuflere store likheter. På samme måte som mennesker er fugler primært dagaktive, og deres opplevelse av verden er i stor utstrekning «visuell», og intuitivt langt mer «tilgjengelig» for oss enn den verden de fleste pattedyr opplever - som i stor utstrekning er nattaktive.

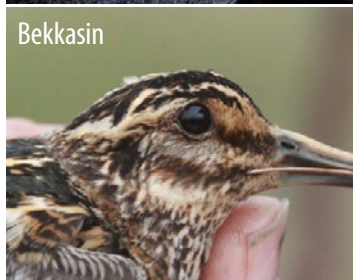
Fugleøyet er imidlertid konstruert på mange måter, og gjenspeiler høyst ulike økologiske tilpasninger, dvs. levemåter og leveområder, hos denne dyregruppen. Ikke minst gjelder det fuglers ekstraordinære utviklede fargesyn, øyets ulike plasseringer – fra lateralt (eksempelvis bekkasiner) til frontalt (eksempelvis ugler) – hvorvidt det er to eller flere synsgroper (foveaer), mulighet for uavhengige bevegelser av det enkelte øyet, samt evne til å se både i luft og vann (Sillman 1973, Martin 1985, Schmidt-Morand 1992).



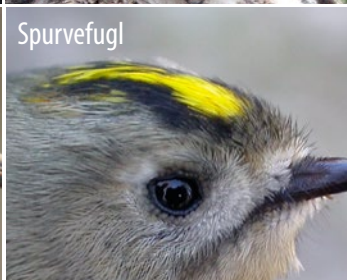
Hønsfugl



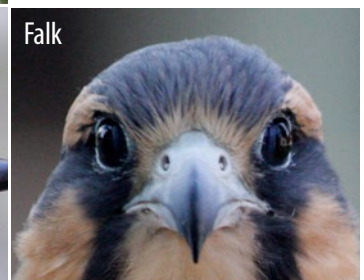
Hubro



Bekkasin



Spurvefugl



Falk

*Fugleøyet er utformet på en rekke måter og ulike arter har følgelig forskjellige forutsetninger for å se uventede hindringer i lufta.  
Foto: Arnstein Staverløkk, Jan Ove Gjershaug*

Innenfor det elektromagnetiske spektrum – som spenner fra svært langbølget og lavenergetiske radiobølger, til kortbølgede høyenergetiske gammastråler, er bare en liten del tilgjengelig eller synlig for biologiske organismer i form av lys (Hunt m.fl. 2001, 2009). Både dyr og planter er generelt sensitive for bølgelengder mellom 380-760 nm (nanometer). At også planter responderer på lys innenfor samme område som de fleste dyrearter gjør, henger sammen med at lys er det samme som energi (bølger og partikler). Med økende bølgelengde avtar energien i hvert foton (strålingskvant), og lange bølgelengder har for lite energi til å gi en fotokjemisk reaksjon i planteceller, staver og tapper. Svært korte bølgelengder har derimot så mye energi at de er skadelig for organisk materiale (Schmidt-Nielsen 1991).

Hos en del grundig studerte fuglearter, er pigmentet som absorberer ved de lengste bølge-lengdene (nær 570 nm - grovt sett det spektrale området som representerer «rødt»- og «grønt»-sensitive pigmenter i primatenes retina) mest utbredt. Dette er iodopsin, som først ble ekstrahert fra hønseskyling (Okano m.fl. 1992). Dette synes å være det synspigmentet som dominerer den fotoniske, spektrale følsomheten hos fugler. Det optiske systemet hos fugleøyet er i stand til å overføre alle bølgelengder fra rødt til ultrafiolett (UV).

Mikrospektrofotometriske studier har vist at fargesynsystemet hos mange fugler er basert på pigmenter med absorpsjonstopper i fargespekterets røde-, grønne-, blå- og UV-region. Muligheten til å «se» nær og i UV-delen i spekteret, går trolig på bekostning av skarpheten av bildet som dannes på grunn av kromatiske avvik. Ved å absorbere korte bølgelengder, vil de fargede, små oljedråpene hos fugler - på samme måte som den gule øyelinsen hos mange pattedyr – redusere skarpheten, og i tillegg kunne frambringe en selektiv beskyttelse mot skadelige effekter av UV-stråling. På grunn av at de små oljedråpene er med og modifierer den spektrale sammensetningen av lyset som treffer fotopigmentene, har det lenge vært antatt at de spiller en rolle i tilknytning til fuglenes fargesyn (Martin 1990, Schmidt-Nielsen 1991, McIlwain 1996, Ödeen m.fl. 2011).

Karakteristiske trekk hos norske skogsfuglearter indikerer at de ikke har spesielt skarpt syn. Det er for eksempel ikke uvanlig å oppleve storfugl brase 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 rypen i Sør- og Nord-Norge undersøkt (Bevanger 1993a). Tanken



bak var at fordi lysmengden om vinteren vil avta med økende breddegrad vil en forvente at det er vanskeligere for ryer i Finnmark å se lufthindringer enn i Sør-Norge. Som et sammenlignende mål for kollisjonssårbarhet ble benyttet forholdet mellom antall kollisjons ofre funnet og antall observasjoner av levende fugl. Det ble imidlertid ikke funnet noen entydig forskjell på bakgrunn av materialet som forelå og de statistiske tester som ble benyttet.

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

Tilnærmet samme resonnement kan brukes i forhold til tykkelsen av 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, Bevanger m.fl. 1998). Hvis ryer ser godt, kan det forventes at de ikke vil kolliderer så ofte mot tykke som tynne liner. Hvis de derimot generelt ser dårlig og uskarpt, vil forskjeller i linetykkelse neppe gi større utslag. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mht. kollisjonssårbarhet i tilknytning til de ulike kraftledningstraséene på bakgrunn av forholdet mellom antall kollisjonsdrepte ryer funnet og antall observasjoner av levende fugl (Bevanger m.fl. 1998).

### 7.2.3 Atferd og livshistoriestrategier

#### **Noen fuglearter er best tilpasset et liv i luften, andre best tilpasset et liv på bakken**

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

Hønsefugl kolliderer lite med kraftledninger om sommeren etter som dette er en periode fuglene i stor utstrekning holder seg på bakken, både på grunn av hekking og kyllingpass og overflod av mat i nærområdene. Ved de undersøkelser som er foretatt (Bevanger m.fl. 1998, Bevanger & Brøseth 2004) ble det 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 paringslek, noe som vil forventes å trekke i motsatt retning. En undersøkelse i Sør-Norge viste at kollisjonsrisikoen hos skogsfugl økte dess nærmere ledningene lå i forhold til spillplassene (Bevanger & Brøseth upubl.).

Jerpe er ikke registrert drept som følge av kraftledninger, men funnet død ved gjerdet den har fløyet inn i (Bevanger 1993a). Dette innebærer neppe at arten er bedre til å fly eller har andre egenskaper som gjør den bedre skikket til å unngå kollisjoner enn andre hønsefugler. Svaret ligger trolig i artens økologi. For det første er jerpe sterkt knyttet til bestemte biotoper som har begrenset utstrekning og vil følgelig ha et flekkvis utbredelsesmønster (jfr. Swenson & Angelstam 1993). Kraftledninger som ikke grenser inn til eller krysser disse flekkene vil generelt ikke innebære noen risiko for jerpe. Sannsynligheten for at noen av de patruljerte kraftledningene skulle krysse eller ligge opp til et slikt jerpehabitat, er rett og slett liten.

*Norske hønsefugler har vist seg å være spesielt sårbare for å kolliderer med luftliner.  
Foto: Per Jordhøy*



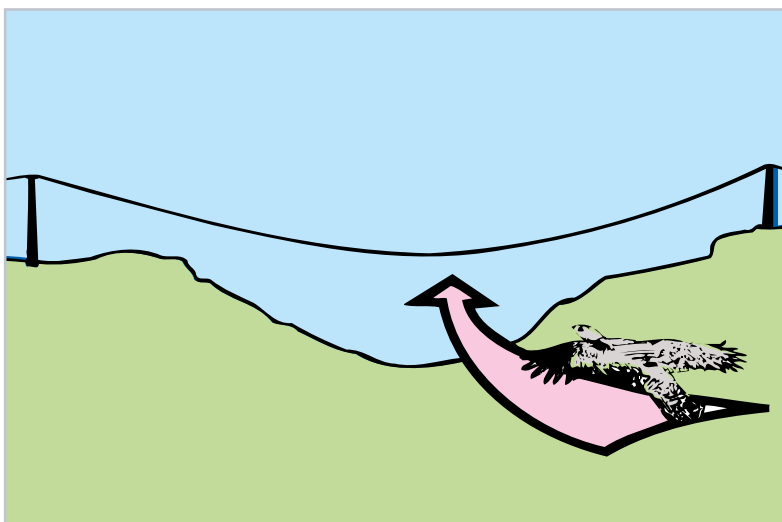
For det andre lever jerpe i tett skog og tar sjelden til vingene. For å kunne forklare hvorfor hønefugl er spesielt utsatt for å kolliderer mot kraftledninger, må følgelig både flyvemorfologi, syn og atferdsøkologi trekkes inn i bildet.

Arter som tilbringer mye tid i lufta, slik som rovfugl, må forventes å være mer utsatt for å kolliderer 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 kolliderer på grunn av sin jaktatferd - i første rekke høy hastighet når de forfølger et bytte (for eksempel jaktfalk, vandrefalk, hønehawk, myrhauk og kongeørn) (Bevanger & Thingstad 1988, Rose & Baillie 1992, Bevanger 1998).

## 7.3 Landskapets ledelinjer

### Fuglenes bruk av terrenget er ikke basert på tilfeldigheter

Topografi og landformer påvirker fuglers valg av flyverute, det være seg makro- eller mikroformer. Geyr von Schweppenburg (1929, 1933, 1963) innførte det klassiske begrepet «ledelinje» for å beskrive viktige makroformer for trekkfugler som kan skape sentrale trekkveier (Dobben & Makkink 1933, Dobben 1955, Malmberg 1955). En slik ledelinje kan for eksempel være en kystlinje. Generell kunnskap om ledelinjer med betydning for fuglers navigering, lokalt eller i forbindelse med langdistanseforflytninger (se for eksempel Mueller &

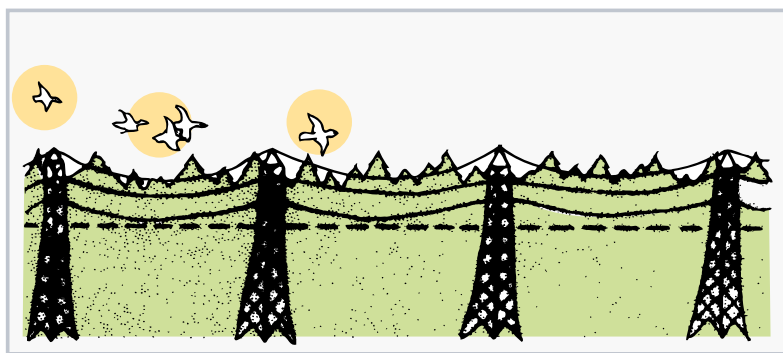
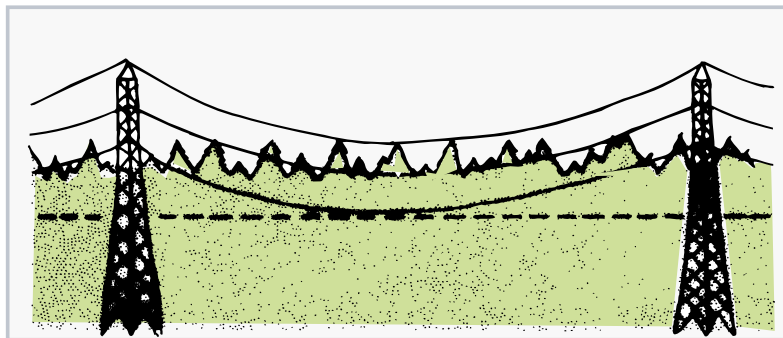


*Fugler beveger seg vanligvis ikke tilfeldig i terrenget, men benytter topografiske strukturer som ledelinjer, eksempelvis større og mindre elve- og bekkedaler. Hvis kraftledninger plasseres på tvers av slike ledelinjer øker faren for at fugler kolliderer med linene (etter Bevanger 1993b).*

Berger 1967, Alerstam 1977), kan være viktig for å forklare hvorfor det enkelte steder er en overhyppighet av fuglekollisjoner («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 kan i skogsterreng. En trent ornitolog kan til en viss grad være i stand til å forutsi ledelinjer i forhold til eksisterende topografi og kunnskap om de enkelte fuglearters atferdsmønster, men normalt vil det være behov for grundige feltundersøkelser får å kartlegge hvordan fugler beveger seg i et nærmere avgrenset område.

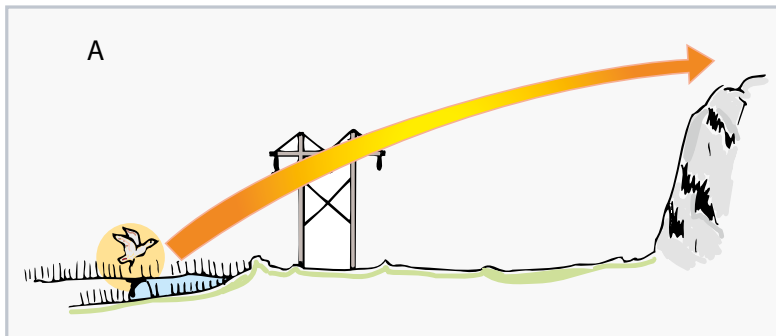
En kraftledning som går mellom ressursområder for fugl, eksempelvis mellom hekkeplass og næringsområde, kan representere en potensiell dødsfelle (McNeil m.fl. 1985, Crivelli m.fl. 1988). Spesielt når det bare er kort avstand mellom slike områder kan fugler benytte et kritisk høydenivå under flukten. Fugler som er avhengige av spesielle spillplasser om våren (for eksempel storfugl og orrfugl) er sårbare for å kolliderer hvis kraftledninger og gjerder er lokalisert i nærheten, siden de ofte foretar korte forflytninger i lav høyde.



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

Et hovedprinsipp ved trasévalg for kraftledninger som for eksempel passerer nært inn til ornitologiske ressursområder (næringslokaliteter, hekkeplasser osv.) bør være å utnytte topografiske strukturer og vegetasjon på en måte som tvinger fuglene til å fly over linene (jfr. Thompson 1978). Skogsvegetasjon langs kraftledningene, der trærne når over linene, vil ofte effektivt redusere kollisjonsfaren. I den sammenheng kan restriksjoner på skogbehandling langs kraftledningene vurderes. Undersøkelsene i Midt-Norge (Bevanger 1990) indikerte overhyppighet av kollisjoner hos skogsfugl der faselederne lå like over tretoppene. Dette kan skyldes at tretoppene generelt representerer en lavere grense for hvor fuglene kan fly uten hindringer. Økt kollisjonsrisiko syntes å oppstå der 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 ledningstraseen. Hogstformer vil derfor tenkes å kunne ha innvirkning på kollisjonshyppighet. Flatehogster kan for eksempel åpne områder slik at kollisjonsfaren øker. I tilknytning til spillplasser og andre viktige områder for fugl bør slike aspekter vurderes nøye.

Kraftledninger bør plasseres parallelt i forhold til sentrale trekkveier og ledelinjer (Scott m.fl. 1972). Disse prinsippene ble illustrert av Thompson (1978),



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

som ikke bare understreket betydningen av å lokalisere linene parallelt med topografiske elementer som daler, rygger og forkastninger, men også parallelt i forhold til dominerende vindretninger slik at fugler ikke ble blåst inn i linene. I praksis har imidlertid økonomiske, estetiske og andre hensyn så langt overskygget økologiske vurderinger ved trasévalg (Bevanger 1994a).

### 7.3.1 Atmosfæriske og sesongrelaterte forhold

#### **Vær- og atmosfæriske forhold har stor betydning for hvordan fugler forflytter seg, spesielt for trekkfuglene**

Fuglers forflytningsmønster er i stor grad influert av vær og atmosfæriske forhold (Alerstam & Ulfstrand 1975). Flyvemønster og variasjoner i flyvehøyde er viktige faktorer i forhold til sannsynlighetsvurderinger av kollisjonsrisiko. Radarstudier og visuelle observasjoner fra bakken og fra fly (Eastwood 1967, Able 1970, Bruderer & Steidinger 1972, Pennycuick 1972, Alerstam & Ulfstrand 1974, Durman 1976, Pennycuick m.fl. 1979, Richardson 1976, 1978, 1979, Alerstam 1985, Bevanger m.fl. 2010) har i vesentlig grad bidratt til å øke kunnskapen om betydningen av slike faktorer.

Effekter av variasjoner i atmosfæriske forhold i relasjon til fugletrekk, og hvilke sensoriske problemer nattaktive arter, inklusive arter som trekker om natta, møter er mye diskutert (Kerlinger & Moore 1989, Martin 1990). Martin (1990) konkluderte med at arter som trekker om natta trolig har den mest avanserte nattaktive atferd fugler overhodet kan ha, men sier også at det ikke synes å være noen art som kan betegnes som rent nattaktiv i forhold til trekkatferd, og at de fleste arter som trekker om natta også kan fly på dagtid.

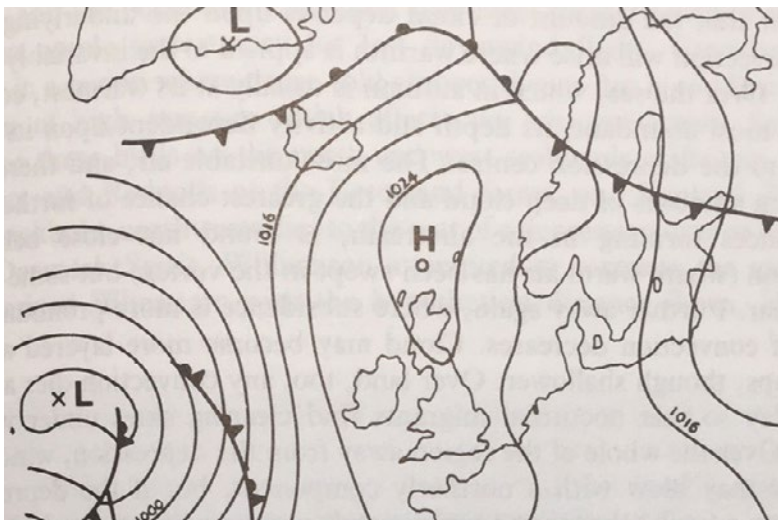
De fleste trekkfugler, dvs. de som flyr aktivt («aktive flyvere»), trekker normalt om natta eller tidlig om morgenen, før kl. 1000. Større arter, slik som de fleste vannfuglartene, har større tendens til å trekke på dagtid enn mindre spurvefugler (Evans 1990). Trekkfugler med passivt forflytningsmønster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

Værforholdene påvirker 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, spesielt tykk tåke og vind, er kjent for å påvirke den generelle flyvehøyden slik at fuglene flyr lavere, ofte like over bakken (Avery m.fl.1977, Elkins 1988, Kerlinger & Moore 1989).

Blant de mest dramatiske beretninger om fuglekollisjoner mot konstruksjoner oppført av mennesker beskriver nettopp slike værforhold (Kemper 1964, Aldrich m.fl. 1966, Blokpoel & Hatch 1976, Schroeder 1977, Verheijen 1981). Ved sterk vind vil fugler flest 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 (Bergman 1978, Perdeck & Speek 1984). Fra et energetisk synspunkt er det fordelaktig å fly lavt ved motvind etter som vindhastigheten er lavest nær bakken. Lokalt nedsatt sikt på grunn av tåke, regn eller snø, gjør at luftliner blir spesielt vanskelig å oppdage.

Meteorologiske, så vel som biologiske og topografiske aspekter, er viktig å ta i betraktning ved planlegging av kraftledningstraséer. Fra et ornitologisk synspunkt sier det seg selv at økologisk følsomme områder, slik som våtmarker hvor fugler samler seg for å finne næring under trekk, hekke, hvile eller overvintre, må unngås. Omhyggelig planlegging er uansett blant de beste og billigste metoder for å redusere fuglekollisjoner mot kraftledninger (jfr. Miller 1978, Thompson 1978). Detaljert kunnskap om lokale trekk og forflytningsveier er her avgjørende.



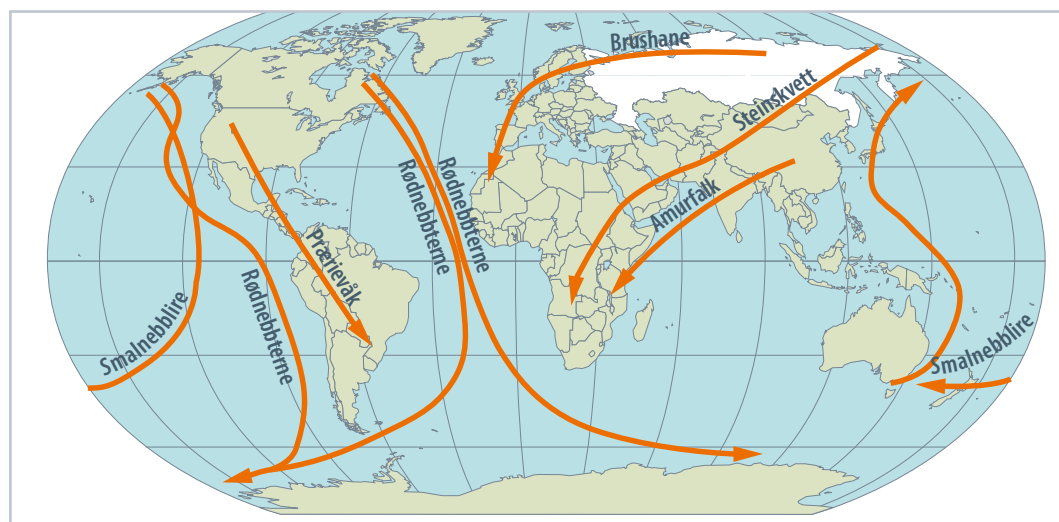
*Trekkfuglene som kommer til Norge om våren og drar sørover om høsten er helt avhengige av å utnytte værforholdene. Figuren illustrerer en situasjon med stabilt blokkerende høytrykk over Storbritannia og Vest-Europa i september noe som gir ideelle værforhold for at fuglene kan trekke sørover til overvintringsplassene. Etter Elkins (1988)*

Dessverre er det generell mangel på slik kunnskap. Det hjelper lite at konsekvensgjiver ber om kartlegging av fugletrekk når det er praktisk umulig å innhente data om det uten avansert fugleradarutstyr. Radar er så langt det eneste som kan benyttes til å kartlegge dag- og natttrekk i ulike høydenivå. Eneste sted i Norge der fugleradar er benyttet er i tilknytning til undersøkelsene ved vindkraftverket på Smøla (Bevanger m.fl. 2010b). Bruk av radar bør bli en del av standardprosedyrene i tilknytning til grundige forundersøkelser.

Kunnskap om trekkruiter for fugl etterspørres enten det er snakk om å etablere vindkraftverk eller bygge nye kraftledninger. Økt kunnskap om trekkruiter vil gi mer nøyaktige konsekvensutredninger før utbygging og på den måten redusere eventuelle framtidige konflikter med trekkende fugl. Men bedre kjennskap til hvor og når fugl trekker kan også være informasjon som kan bidra til å øke den generelle flysikkerheten i norsk luftrom.

Å få fram slik kunnskap krever at trekkende fugler observeres over store områder, under varierende lys- og værforhold, og helst 24 timer i døgnet året rundt, i alle fall vår og høst. Det mest effektive instrument for denne type datainnsamling vil være langtrekkende, bakkestasjonære radarsystemer. Dette er kostbare systemer både i innkjøp og drift, og det er derfor lite realistisk å få stilt til rådighet egne dedikerte radarsystem for fugletrekkkartlegging. Et prosjekt for kartlegging av trekkruiter må derfor søke å nyttiggjøre seg eksisterende

*En rekke fuglearter trekker over store distanser både i den nye og gamle verden. Mye av kunnskapen om trekkruiter er basert på ringmerking av fugler og gjenfunn. Dessverre gir dette oftest et svært lite nyansert bilde av hvor fuglene egentlig flyr. Figuren viser det vi mener er de storskala trekkrutene til steinskvett, rødnebbterne, amurfalk, smalnebbliire, brushane og prærievåk. Omarbeidet etter Wikipedia*



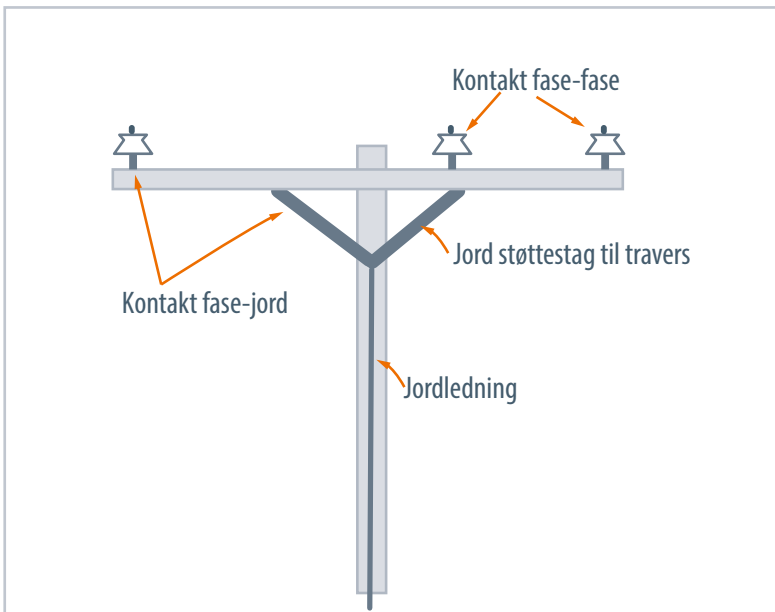


nasjonale ressurser. Luftforsvaret og Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) er statlige organisasjoner som begge opererer radar-systemer med 3D dekning så godt som over hele landet og til et godt stykke ut i Nordsjøen og Norskehavet. Luftforsvarets oppgave er militær luftromskontroll mens DNMI driver innsamling av værdata for mer presis værvarsling. Det er to svært forskjellige radarapplikasjoner, men begge har potensial til å bli benyttet til observasjon av fugl.

## 7.4 Fugl og elektrokusjon

**Elektrokusjon innebærer at en fugl eller et dyr kommer i berøring med to strømførende ledninger samtidig eller en strømførende ledning og en jordet del av et elektrisk anlegg. Dette kan bidra til å forstyrre forsyningssikkerheten i nettet**

Elektrokusjon innebærer at en fugl samtidig kommer i berøring med to faseledere eller en faseleder og en jordet del av et elektrisk anlegg. Elektrokusjon og kollisjon er følgelig to høyst forskjellige fenomener, både med hensyn til hvilke fuglearter som rammes og hvordan slike ulykker kan forklares. Det er imidlertid ikke uvanlig at disse begrepene blandes sammen.



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 strømbrudd, som selv om det knapt er synlig for det menneskelige øye, kan føre til alvorlige konsekvenser, ikke minst for følsomt elektronisk utstyr (Bevanger 1994a). Alt i alt er eksisterende kunnskap om hvilke tekniske konstruksjoner som oftest er involvert når elektrokusjonsulykker skjer, betydelig, og forutsigbarheten i forhold til slike ulykker er også forholdsvis høy. Imidlertid er det langt igjen før en på tiltakssiden kan si seg fornøyd.

Forskere i flere europeiske land var blant de første til å fokusere på problemet (Riegel & Winkel 1971, Haas 1980). Den omfattende oppmerksomheten spørsmålet fikk i USA tidlig på 1970-tallet, gjorde imidlertid Nord-Amerika til et senter for forskning på fugl og elektrokusjon (Boeker & Nickerson 1975, Miller m.fl. 1975, Olendorff m.fl. 1981, 1986, Benson 1981, 1982). Aktivitetene i USA har vært koordinert av APLIC (*Avian Power Line Interaction Committee*) (jfr. APLIC 2006), som ble etablert på slutten av 1980-tallet. Imidlertid har også den forskningen som er gjort i Sør-Afrika (Ledger & Annegarn 1981, Ledger 1984) og mange europeiske land (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1994a, 1998, Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995, Bevanger & Overskaug 1998, Rubolini m.fl. 2001, Haas 2008) så vel som Israel (Leshem 1985) og India (Sundar & Choudhury 2005) hatt stor betydning for forståelse og problemløsning av elektrokusjonsproblematikken.

På tross av at det finnes mye litteratur som omhandler denne problematikken, konkluderer Lehman m.fl. (2007) med at « - - *with a few notable exceptions, we cannot say with certainty that the incidence of electrocutions has fallen since mitigation programs began in the 1970s. Reliable estimates of electrocution mortality, including numbers of birds killed and rate estimates for different habitats and pole designs, are unavailable for most areas of the world*».

Årsakene til at elektrokusjonsproblematikken har vært et tema i over 40 år skyldes både at mange rovfugler og rødlistede fuglearter rammes, og at slike ulykker kan føre til brudd i strømtilførselen. I fuktig vær, særlig når det regner, øker elektrokusjonsfaren vesentlig fordi våt fjærdrakt leder strøm mye bedre enn tørr. Morfologi i kombinasjon med bestemte atferdstrekk, antyder hvorvidt en art er sårbar for elektrokusjon. Vingespenn, fotlengde og kroppsstørrelse, vil være bestemmende for om en elektrisk konstruksjon skal framstå som en

elektrokusjonsfelle. Arter som i tillegg gjerne vagler seg høyt og foretrekker oppstikkende strukturer i terrenget som utkikksposter, vil være å betrakte som høyrisikoarter.

I de fleste tilfellene drepes fuglene gjennom omfattende forbrenninger. De topografiske særtrekkene er viktig å ta i betraktning for å identifisere potensielle høyrisikoområder for elektrokusjon. For en del fuglearter er bruk av oppstikkende strukturer som kan tjene som utkikksposter en del av deres jaktstrategi. I flatt landskap med få trær eller andre forhøyninger, blir det vanskelig å speide etter byttedyr slik at kraftledningsstolper og luftlinjer blir attraktive sitteplasser for rovfugl, ugler, kråkefugl og andre arter som er avhengige av å ha god oversikt over terrenget.

På grunn av at fugler generelt er relativt små i størrelse, vil elektrokusjonsfaren primært være knyttet til kraftforsyningsstrukturer med spenninger under ca. 132 kV. I tillegg vil arter under kråkestørrelse løpe forholdsvis liten risiko for å bli drept ved elektrokusjon (Bevanger 1993, 1994a). Et spørreskjema sendt til alle norske energiverk (Bevanger & Thingstad 1988) viste forøvrig at stolpemonterte transformatorer var den konstruksjon som energiverkene erfaringsmessig mente var mest utsatt for elektrokusjonsulykker.



*Klassiske elektrokusjonskader hos rovfugl; føtter kan brennes helt av, vingeknoker får brannsårl eller det meste av fjærdrakten blir svidd av. Etter Dwyer (2004). Foto: James Dwyer*

## 7.5 «Dødelige stolper»

### Noen få stolper er spesielt farlige som elektrokusjonsfeller og dreper mye fugl

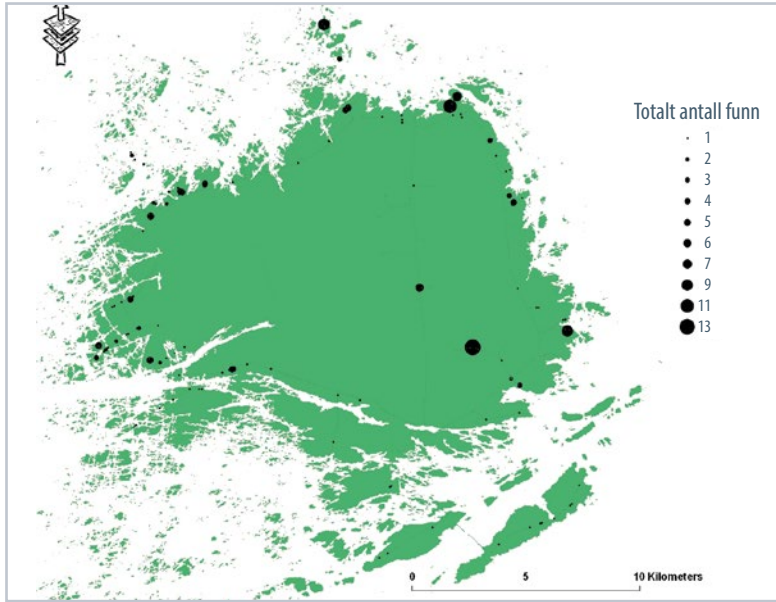
Det er kjent fra flere undersøkelser at elektrokusjonsulykker er knyttet til bestemte stolper («preferred poles» eller «lethal poles» - Olendorff m.fl. 1981, Williams & Colson 1989). I tilknytning til CEDREN-prosjektet BirdWind (Bevanger m.fl. 2010) ble det søkt etter døde fugler i tilknytning til kraftledningstolper på Smøla (Bevanger m.fl. 2010). Netteier, Nordmøre Energiverk (NEAS), bidro med georefererte kart over Smølas forsyningsnett samt opplysninger om stolpekategori og spesielle støtte- og avgreiningsstrukturer. Blant totalt 1498 stolper ble det valgt 740 som ble antatt å være potensielle elektrokusjonsfeller for fugl. Dette var stolper med transformatorer (87), kabelmaster med uisolerte skillebrytere og kabeltilkoblinger (34), vinkel- og avgreiningsmaster og uisolert forsterket oppheng (36), stolper med piggisolatorer (571) og kombinasjon av slike master (12).

Første søk ble foretatt 2009 og 2010. Funnene omfattet fugler som hadde akkumulert over flere år. Alle fuglerester ble derfor fjernet ved første besøk. I november 2011 ble stolpene (unntatt 80) kontrollert på nytt. I alt ble det funnet 142 fugler av flere arter ved første kontroll. Da stolpene ble kontrollert i 2011 ble det funnet 90 fugler. Den artsmessige fordelingen mellom første og andre gangs kontroll var lik. Det mest interessante var de store forskjellene mht. til elektrokusjonsrisiko mellom ulike stolpedesign og beliggenhet. Brytere, avgreiningsmaster og stolpemonterte transformatorer framstår som de klart farligste med 0,53-0,62 døde fugler pr. stolpe. Stolper med piggisolatorer var minst farlig med 0,08 døde fugler pr. stolpe (**Tabell 2**).

Noen få stolper hadde et svært høyt antall døde fugler knyttet til seg og disse representerte et lite antall stolper av totalen. Hele 50 % av alle funn ble gjort i tilknytning til 21 stolper, dvs. 2,8 % av de 740 stolpene som ble kontrollert. Dette indikerer at det også er andre faktorer enn stolpedesign som er av betydning. Smøla har lite skog, landskapet er flatt og forholdsvis få steder fugler kan slå seg ned og få god oversikt over terrenget. Stolper som er plassert på et gunstig sted sett fra et fugleperspektiv vil følgelig bli benyttet mer som sitteplass enn andre.

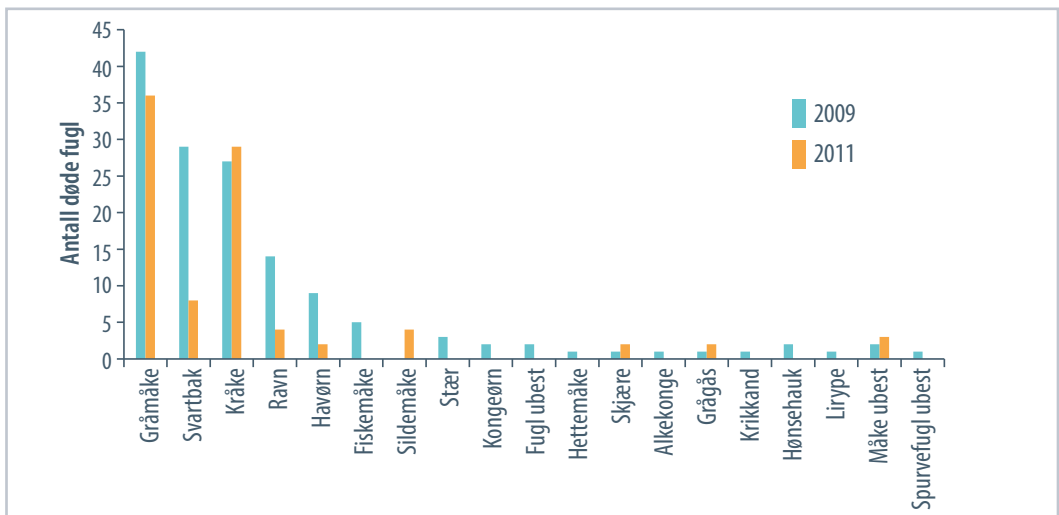
Tabell 2. Fordeling av funn av døde fugler under kraftledningsstolper på Smøla i forhold til stolpekategori.

	Totalt	Transformator	Bryter	Avgreining	Piggisolator	Bryter & avgreining
Antall stolper	740	87	34	36	571	12
Antall fugler funnet	138*	49	21	19	47	2
Antall pr. stolpe	0.19	0.56	0.62	0.53	0.08	0.17



Beliggenhet av stolper med funn av elektroksjonsdrepte fugler på Smøla. Sirkelens størrelse reflekterer antall døde fugler funnet. Etter Bevanger m.fl. (2010)

Antall døde fugler funnet i tilknytning til kontroll av 740 kraftledningsstolper på Smøla i 2009 og 2011. På grunn av dårlig værforhold ble 80 stolper ikke kontrollert i 2011. Etter Bevanger m.fl. (2010)



## 7.6 Responser på bestandssnivå

**Et viktig spørsmål å få svar på er om slik ekstra dødelighet som det kraftledninger forårsaker kan true overlevelsen til de artene som er involvert**

For de aller fleste arter som er utsatt for elektrokusjon eller kollisjon, er det ikke vitenskapelig dokumentert at dødeligheten fører til bestandsnedgang ettersom nødvendige demografiske data for slike analyser (Akçakaya 1993) mangler. Data for å kunne vurdere hvorvidt slik dødelighet er additiv eller kompensatorisk er heller ikke tilgjengelig. Generelt må det antas at dødelighet i tilknytning til kraftledninger er tetthetsuavhengig og uten betydning for bestandsutviklingen (Bevanger 1994a, 1998) isolert sett. Tetthetsuavhengig dødelighet innebærer dødelighet som opptrer uavhengig av individtetthet i en bestand, dvs. ytre faktorer som jakt, predasjon, kollisjon mot vindu, vindturbiner etc. Tetthetsavhengig dødelighet betyr dødelighet pga. at det er for mange individer i forhold til ressurstilgang m.m. Tetthetsavhengig/-uavhengig dødelighet har ofte helt forskjellige konsekvenser for dødelighetsomfang, bl.a. bestandens evne til å bygge seg opp igjen.

Det er vist at også arter med høy reproduksjonsevne, som ryer, kan trues av dødelighet som skyldes jakt (Pedersen m.fl. 2004, Sandercock m.fl. 2011) og menneskeskapte strukturer. Fra Skottland ble det rapportert at fjellrype ble utryddet i et område med mange skiheiser på grunn av at fuglene kolliderte mot luftkablene (Watson 1982), og i Frankrike ble det funnet at luftkabler var en alvorlig trussel mot orrfuglbestanden (Miquet 1990).

Hvorvidt dødelighet som skyldes menneskeskapte strukturer har konsekvenser for den enkelte arts bestand er svært vanskelig å etterprøve. Arnold & Zink (2011) fant for eksempel ikke noen sammenheng mellom bestandsvariasjoner hos trekkfugler i Nord-Amerika og relativt kollisjonsomfang hos de enkelte artene. Men at menneskeskapte barrierer i trekkruiter for fugl øker energibehovet hos allerede energipressede fugler på trekk (Masden m.fl. 2010) er naturlig å anta.

Selv om det er gjort mange studier i den hensikt å beregne dødelighetsomfang hos fugl knyttet til menneskeskapte strukturer, hefter det stor usikkerhet i forhold til omfang knyttet til de enkelte strukturer og faktorer, enn

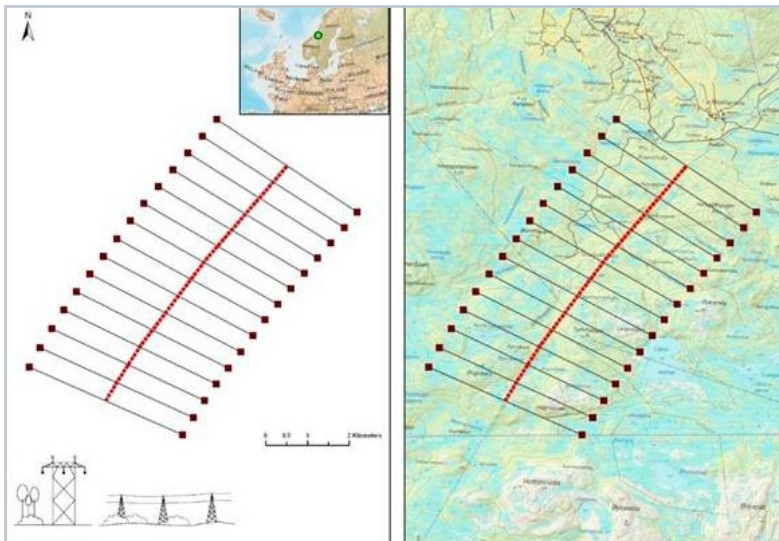
sumeffekten av dem. Bedre estimater krever utstrakt datainnsamling i forhold til omfang av artsspesifikk dødelighet, samt når og hvordan dødeligheten rammer i forhold til artenes livssyklus. Slik informasjon er avgjørende for å kunne lage modeller som kan si noe om i hvilken grad mange dødelighetsfaktorer som virker sammen er additive eller kompensatoriske for en fuglepopulasjon.

### 7.6.1 Kollisjon

#### En undersøkelse i Ogdalen viste at bestanden hos orrfugl og storfugl ble påvirket negativt av dødelighet som skyldtes kollisjoner med en høyspentledning

Selv om det er godt dokumentert at hønsefugl i Norge drepes i et forholdsvis høyt antall, er det ikke kjent i hvilken utstrekning dette har bestandsmessige konsekvenser. I tilknytning til OPTIPOL ble det derfor bestemt at en av arbeidspakkene skulle bruke orrfugl og storfugl som modellarter for å studere hvordan kollisjonsdødelighet påvirket bestanden av artene lokalt.

Feltarbeid ble utført i Ogdalen øst for Steinkjer i tilknytning til en 300 kV ledning eid av Statnett. Her ble det gått linjetaksering og samlet inn DNA-prøver for individbestemmelse av ekskrementer fra hønsefugl. Det ble også igangsatt regelmessige patruljeringer langs kraftledningen for å finne kollisjonsdrepte



Studieområde i Ogdalen (ca. 28 km<sup>2</sup>) i tilknytning til en 7,1 km lang strekning av en 300 kV kraftledning (rød line). Storfugl og orrfugl ble taksert langs 15 linjer (hver på 4 km) for å samle ekskrementer til DNA-analyser sammen med observasjoner av fugler som ble skremt opp. Etter Bevanger m.fl. 2014)

fugler. For dette arbeidet ble en hund (av rasen wachtel) satt under spesialtrening for å lokalisere kollisjonsdrepte fugler.

Linjetakseringene og DNA-analysen resulterte i data omkring bestandsstørrelse for orrfugl og storfugl i perioden mars-april. I 2011 ble bestanden i undersøkelsesområdet estimert til å bestå av 86 orrfugl (3,0 individer/km<sup>2</sup>) og 34 storfugl (1,2 fugler/km<sup>2</sup>). 29 steder med kollisjonsdrepte fugler/rester etter fugler, ble identifisert. DNA-analyser ble brukt til å identifisere 19 ulike individer fra 5 arter blant kollisjonsdrepene, bl.a. 4 storfugl og 4 orrfugl.

I 2012 ble i alt 29 forskjellige orrfugl og 23 storfugl identifisert på bakgrunn av DNA-analyser. Bestanden i studieområdet ble estimert til 70 storfugl (2,4 fugler pr km<sup>2</sup>) og 56 orrfugl (1,9 fugler/km<sup>2</sup>). I alt ble 20 kollisjonsdrepte fugler funnet. DNA-analyser ble brukt til å identifisere 14 forskjellige individer fra 9 arter blant kollisjonsdrepene, bl.a. 3 storfugl og 1 orrfugl.

I 2013 ble det i alt identifisert 15 forskjellige individer av storfugl og 63 av orrfugl på bakgrunn av DNA-analyser av ekskrementer. Bestanden i området ble estimert til å bestå av 99 orrfugl (3,4 fugler/km<sup>2</sup>) og 24 storfugl (0,8 fugler/km<sup>2</sup>). Pr. oktober 2013 var det blitt gjennomført 12 søk etter døde fugler dette 3. studieåret, og 19 steder med kollisjonsdrepte fugler/rester etter fugler var funnet. På bakgrunn av DNA-analyser ble 13 forskjellige individer fra 8 arter identifisert, blant annet 1 storfugl og 7 orrfugl.

*Under feltarbeidet i Ogdalen ble det benyttet en spesialtrenet hund (Gaisa) til å finne døde fugler under kraftledningen. Her har hunden funnet en død røy. Foto Roger Meås*





Våren 2014 gjorde værforholdene videre innsamling av ekskrementer for DNA-analyse umulig. I løpet av slutten av april 2014 ble spill-/leikplasser langs det undersøkte kraftledningsavsnittet registrert, og 5 spillplasser for orrfugl ble funnet.

DNA-analyser basert på ekskrementinnsamling syntes å gi pålitelige bestands-estimerer for storfugl og orrfugl, til en forholdsvis lav tidsmessig og økonomisk kostnad. Metoden reduserer også mulighetene for å overestimere bestandsstørrelsen og antall kollisjonsdrepte individer. Det er flere feilkilder knyttet til innsamling av kollisjonsdrepte fugler i kraftledningskorridorer, og noen ganger kan det være vanskelig å avgjøre hvorvidt atskilte fjærrester og rester etter fugler stammer fra samme ulykke. Gjennom å bruke DNA-analyser elimineres denne feilkilden.

En foreløpig konklusjon er at kollisjonsdødelighet som følge av kraftledninger i Ogdalen reduserte bestanden av storfugl og orrfugl i perioden 2011-2013 med henholdsvis 4,2-11,8 % og 1,4-8,1 %. En slik tilleggsdødelighet bør bl.a. tas i betraktning når f.eks. jaktuttaket i området skal fastsettes.

## 7.6.2 Elektrokusjon

### **Blant arter som sannsynligvis påvirkes negativt på bestandsnivå av dødelighet som skyldes elektrokusjon er bl.a. hubro og flere rovfugler**

Enkelte undersøkelser har pekt på elektrokusjon som hovedårsaken til bestandsnedgang hos enkelte rovfugler. I Sør-Afrika var kappgribben i en periode blant de mest elektrokusjonsutsatte på grunn av en spesiell delta-konfigurasjon på stolpene (Ledger 1980, Ledger & Annegarn 1981, Krüger m.fl. 2004). I Sudan var det klare indikasjoner på at bestanden av egyptisk gribb gikk tilbake på grunn av elektrokusjon (Nikolaus 1984). Elektrokusjon og andre dødelighetsfaktorer gjorde at bestanden av gåsegribb i Israel gikk tilbake (Leshem 1985). Det antas at elektrokusjon er årsaken til at bestanden av haukørn i Spania og Frankrike (Real m.fl. 1996, Real & Mañosa 1997), og hubro i Frankrike (Bayle 1999) og Italia (Rubolini m.fl. 2001) har gått tilbake. I følge EUs handlingsplan for haukørn er reduksjon i dødelighet som skyldes elektrokusjon trolig kritisk for at arten skal kunne overleve (Arroya & Ferreiro 1999). Særlig har det vært stor bekymring knyttet til keiserørn (Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995) som er en av verdens mest truede rovfugler (Janss & Ferrer 1999a). Fjerning av elektrokusjonsfeller har vært avgjørende for å berge arten.

Data fra bl.a. Tyskland, Sveits, Spania, Sverige og Norge bekrefter at det er mellomstore rovfugler og ugler (men også kråke- og måkefugler) som oftest drepes, sammen med større fugler som stork, havørn, kongeørn og hubro (Fiedler & Wissner 1980, Haas 1980, Stolt m.fl. 1986, Larsen & Stensrud 1988, Grischtschenko & Gaber 1990, Bevanger 1994b, 1998, Bevanger & Overskaug 1998, Bevanger m.fl. 2009).

Den norske hubrobstanden har vært synkende i flere år, og antall hekkende par er beregnet til 408-658 (Jacobsen m.fl. 2008), men en større nasjonal registrering i 2008 bekreftet hekking i kun 59 territorier mens det var fugler til stede i 271 (Øien m.fl. 2009). Arten er kategorisert som truet (EN) på den norske rødlista (Henriksen & Hillmo 2015). Basert på innspill fra NINA lanserte forvaltningsmyndighetene en nasjonal forvaltningsplan for arten i 2009 (Miljødirektoratet 2009).

Det er klare indikasjoner på at dødeligheten hos hubro i enkelte perioder og områder har vært så stor at det kan ha hatt bestandsregulerende effekt (Bevanger 1998). Studier i Nord-Norge i tilknytning til OPTIPOL-prosjektet, bekreftet at hubro ofte drepes på grunn av elektrokusjon (Bevanger m.fl. 2009, 2010a). Også i Sør-Norge er elektrokusjon fastslått å være en regelmessig dødsårsak hos denne arten (Oddane & Undheim 2007, Oddane m.fl. 2008).



*Hubro (hunn) fotografert på Sleneset i Nordland. Foto: Jan Ove Gjershaug*

## 7.7 Samlet belastning

**Dødelighetsfaktorer og dødelighetsomfang kan ikke betraktes isolert, da det er den samlede effekten av alle dødelighetsfaktorer som rammer en art som er utslagsgivende for den langsiktige bestandsutviklingen**

Jakt og fangst, miljøgifter, kollisjoner med menneskeskapte strukturer, elektrokusjon osv. er alle dødelighetsfaktorer som til sammen kan bety en betydelig tilleggsdødelighet for enkelte arter. Dødeligheten kan bli additiv og høyere enn bestanden kan klare å kompensere for. En tilnærming til problemet er å redusere den menneskeskapte dødeligheten når det er mulig, særlig i forhold til truede og sårbare arter.

Til tross for omfattende internasjonal dokumentasjon av dødelighet hos fugl i tilknytning til kraftledninger, er det fremdeles en tendens til å bagatellisere den ved å vise til at kollisjoner mot glassvindu, biltrafikk, katter osv. tar livet av langt flere (Ericson m.fl. 2005). Dette er en alvorlig feilslutning i og med at enkeltfaktorer ikke kan betraktes isolert, men som del av en total og samlet belastning for en populasjon. Det har de siste årene kommet mange publikasjoner som har forsøkt å beregne omfanget av menneskeskapt dødelighet hos fugl, beregninger som bl.a. viser at antall drepte fugler i USA og Canada kan være så høyt som 1 milliard årlig (Calvert m.fl. 2013, Loss m.fl. 2014, 2015).

Mange fuglearter og andre dyregrupper er utsatt for en rekke både åpenbare og skjulte farer i de fleste faser av sin livssyklus, og det blir stadig vanskeligere å forutsi virkningene av de enkelte, negative faktorene. Sumvirkninger har derfor blitt et stadig viktigere tema (se for eksempel May m.fl. 2010). Dette gjelder både truede og sårbare arter, og småviltarter. Til syvende og sist er det den samlede effekten av de destruktive faktorene, antropogene som naturlige, som bestemmer om en arts populasjonsutvikling blir påvirket.

Samlet belastning i forhold til vindkraftutbygging er blant annet definert som de samlede konsekvenser flere vindkraftverk har på fuglearter innenfor et gitt geografisk område (May m.fl. 2010). Dette kan selvsagt også overføres til annen infrastruktur. Studien understreker at etablering av standardvilkår når det gjelder før- og etterundersøkelser for et utvalg av sårbare fuglearter, vil være et viktig virkemiddel for å vurdere samlet belastning. I tillegg bør det bl.a. etableres generelle vilkår for minimumskrav (metodikk, varighet, omfang og frekvens) for oppfølging av utvalgte arter ved før- og etterundersøkelser for å kunne registrere eventuell kumulativ effekt av flere naturinngrep.

# 8 Elektromagnetiske felt (EMF)

**Elektromagnetiske felt påvirker både mennesker og dyr, men det er langt igjen til vi får full forståelse av hvilke konsekvenser dette har**

Evne til å se i dårlig belysning skal gjøre et dyr i stand til å bevege seg gjennom en verden av hindringer, gjenkjenne næringsemner, finne make og nye leveområder, finne hjem, oppdage farer osv. Halvparten av året i Norge har forholdsvis dårlig belysning; nord for polarsirkelen er det sågar en periode der normalt dagslys mangler. På tross av dette er stasjonære og stedegne fuglearter og andre dyr nødt til å holde seg i bevegelse for å overleve. Menneskeøyet ser godt i dagslys, og som art har vi utviklet et av de beste synsredskaper blant ryggradsdyrene. Men så snart det blir skumt og mørkt, er situasjonen snudd på hodet. For å se godt er øyet nødt til å kunne fange opp tilstrekkelig med lys, og i motsetning til svært mange andre dyrearter er vi ikke nattaktive, og har heller ikke utviklet evnen til å se i mørke (Laughlin 1990, Warrant 2004).

Enkelte fuglearter er aktive ved svært lave lysmengder, eksempelvis ugler som ofte jakter når det er mørkt. Den best undersøkte arten er fettfuglen som om dagen lever i dype huler uten dagslys og furasjerer om natta (Martin m.fl. 2004). Havsvaler og stormsvaler som hekker langs kysten av Nord-Norge, starter hekkesesongen først etter at midnattssola er borte og nettene har blitt mørke (Aarvak m.fl. 2005).

Fugler som hekker på nordlige breddegrader om sommeren, må vår og høst dra til og fra overvintringsplassene på sørlige breddegrader. For mange arter kan det dreie seg om mange hundre mil, og mye av trekket må nødvendigvis skje i mørket. Hvordan de enkelte artene klarer å navigere, er blant de spørsmål som har vært mest fokusert (f.eks. Alerstam 1990, Berthold 1991, Wiltschko & Wiltschko 2009).

Fugler på matsøk eller som er i en migrasjonssituasjon, er vanligvis så langt unna stedet de skal til at de ikke har noen sensorisk kontakt med det. De er likevel avhengige av å nå fram på en rask og effektiv måte for å minimere tid, energiforbruk og predasjonsrisiko. De er med andre ord i en situasjon der de må etablere kontakt med et mål uten at målområdet sender signaler om hvor det er. Fugler løser dette problemet ved å etablere kontakt med målet ved



hjelp av ytre referanser, i en totrinns prosess, først foreslått av Kramer (1953, 1957) i hans «kart- og kompass-modell», som opprinnelig ble utviklet for brevduer (Wiltschko & Wiltschko 2009). Retningen mot målet identifiseres m.a.o. først som en kompassretning, og målet blir deretter funnet ved å bruke «kartet». Begge trinnene inkluderer innebygde og erfaringsbaserte komponenter (Wu & Dickman 2012).

Omgivelsene varierer, og iboende og medfødte mekanismer må baseres på faktorer som er pålitelige og tilgjengelige i en stabil og forutsigbar form. Jordas geomagnetiske felt er en av disse, med feltlinjer som går nord-sør på lavere og tempererte breddegrader, og som først blir mer variabel rundt de

*Noen fuglearter er tilpasset et liv i mørke, slik som havsvalen. Ved norskekysten starter hekkinga først i august og det ene egget ruges i 40 døgn. I og med at ungen blir i reiret fra 50-80 døgn er det full vinter før reproduksjonsperioden er over.*

*Foto: Tycho Anker Nilssen*

magnetiske polene. Fugler kan føle feltlinjene direkte, og er med andre ord utstyrt med et indre magnetisk kompass. Dette gjør dem bl.a. i stand til å skille magnetiske retninger, omtrent som vi er i stand til å vite om vi står på hodet eller føttene ved hjelp av gravitasjonskraften, noe som danner en passende «rygggrad» i deres navigeringssystem. Blant utenomjordiske holdepunkter er himmelrotasjonen det eneste som kan gi retningsinformasjon, men for å kunne gjøre det må fuglene følge og se himmelrotasjonen i en viss periode (Wiltschko & Wiltschko 2009).

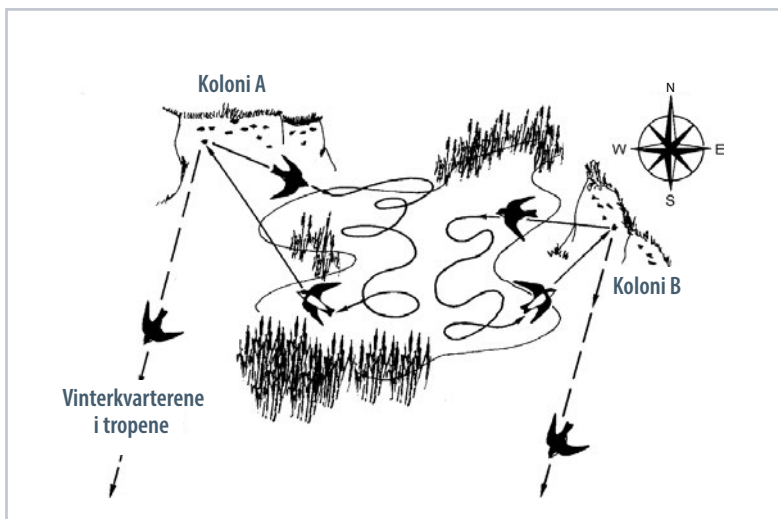
Det har lenge vært kjent at fugler er i stand til å forflytte seg hundrevis av mil uten andre hjelpemidler enn jordmagnetismen, men det har vært ukjent hvordan denne «magnetiske sansen» har fungert. Nylig ble det påvist hjerneceller hos duer som er i stand til å samle detaljert informasjon om jordas magnetfelt (Wu & Dickman 2012). En gruppe celler i hjernestammen er både i stand til å registrere retningen av, og styrken på det magnetiske feltet. Det er klare indikasjoner på at denne informasjonen kommer fra det indre øret.

Det er påvist magnetiske reseptorceller i fuglehjernen (Eder m.fl. 2012), og at disse påvirkes av elektromagnetiske felt gjennom mikroskopiske strukturer eller krystaller som trolig består av magnetitt. Disse er koblet til cellemembranen, noe som er nødvendig for å endre det elektriske potensialet over membranen når krystallene restruktureres som respons på endring i omgivelsenes magnetiske felt. Forskerne mener dette bl.a. kan bidra til å forklare hvorfor lavfrekvente magnetfelt som bl.a. dannes fra kraftledninger kan være med på å forstyrre fuglers navigeringsevne samt indusere andre fysiologiske effekter. Et spørsmål på bakgrunn av dette er om det elektromagnetiske feltet rundt høyspentledninger kan påvirke fuglenes orienteringsevne, og eventuelt medføre at de mister orienteringsevnen slik at de kan kollidere med ledningene.

I motsetning til jordmagnetismen varierer de andre holdepunktene for retningsidentifisering – dvs. sol, stjerner og polarisert lys (Gál m.fl. 2001) - med tidspunkt på dagen, årstid og geografisk breddegrad. Fuglene må med andre ord kunne tolke disse riktig, noe som sikres gjennom læringsprosesser. Læringsprosesser tilpasser dem trolig også til årstidsendringer når dette er nødvendig (Wiltschko & Wiltschko 2009). At mekanismer basert på utenomjordiske holdepunkter er etablert gjennom læringsprosesser garanterer at de alltid er perfekt avstemt til situasjonen i fuglenes hjemmeområde.

Det samme er tilfellet med mekanismene som bestemmer kompasskursen når det gjelder å finne tilbake til hjemstedet – unge fugler stoler i utgangspunktet på å reversere ruten, en strategi basert på medfødte evner. Denne strategien sikrer at de finner hjem samtidig som de tilegner seg tilstrekkelig kunnskap for å lage egne kart. Dette gjør dem i sin tur i stand til å skru over på stedsspesifikk informasjon. Basert på erfaring representerer «rutekartet» og «mosaikkartet» fordelingen av navigeringsfaktorer i fuglens hjemmeregion – de er perfekt tilpasset fuglenes leveområde (Wiltschko & Wiltschko 2009).

Samme prinsipp benyttes under trekkets navigeringsprosesser: et medfødt og innebygd program gjør unge fugler i stand til å nå fram til sine, fremdeles ukjente, vinterkvarter første gang de trekker – der det geomagnetiske feltet og himmellegemenes rotasjon fungerer som retningsreferanser. Samtidig som de beveger seg mot overvintringsområdene ved hjelp av dette systemet, har de anledning til å gjøre seg kjent med fordelingen av navigeringsfaktorer langs trekkrutene og i overvintringsområdet. Ved senere trekk kan de gjøre seg nytte av denne kunnskapen gjennom ekte navigering og styre rett mot målområdet. Kombinasjonen av medfødte og tillærte komponenter gjør navigasjonssystemet meget fleksibelt. De medfødte komponentene tillater navigering før de erfaringsbaserte er etablert, og tillater erverv av nødvendig erfaring. Dette gjør fugler i stand til å utnytte et vidt spekter av de faktorer miljøet kan tilby samtidig som det sikrer at de erfaringsbaserte og tillærte mekanismene er perfekt tilpasset den lokale situasjon (Wiltschko & Wiltschko 2009).



*Illustrasjon av kompassmodellen som viser ulike typer av kurser (retninger) fugler kan lokalisere ved å bruke kompass. Sandsvaler forlater koloniene sine for å finne mat og flyr da etter en kurs de husker. Når de returnerer til kolonien flyr de etter kurser som bestemmes av navigeringsprosesser. Om høsten flyr de etter en medfødt kurs mot vinterkvarterene i tropene (etter Wiltschko & Wiltschko 2009)*

Det har i mange år vært diskutert hvorvidt elektromagnetiske felt kan påvirke vår helse (Statens Strålevern 2000). «Elektromagnetisk felt» er en samlebetegnelse for felt knyttet til strømførende ledninger. Et elektrisk felt beskrives ved volt/meter (V/m, eller kV/m), mens et magnetfelt beskrives gjennom enheten Tesla (T), vanligvis  $\mu\text{T}$ . Magnetfeltet rundt en luftledning varierer med strømmen som passerer, dvs. at det varierer med belastningen på strømnettet. Normalt er feltstyrken rett under en høyspentledning 10-20  $\mu\text{T}$ . Til sammenligning er feltstyrken fra en varmekabel i et baderomsgulv typisk ca. 1,5  $\mu\text{T}$  0,5 m over gulvet. Elektriske felt varierer med ledningens spenning. I Norge er høyeste spenningsnivå på overføringsledninger 420 kV, og rett under slike kan den elektriske feltstyrken komme opp i 10 kV/m. Både elektriske og magnetiske felt varierer med bl.a. ledningsoppheng og avstand mellom fasene, og generelt avtar feltet raskt med avstand fra fasene.

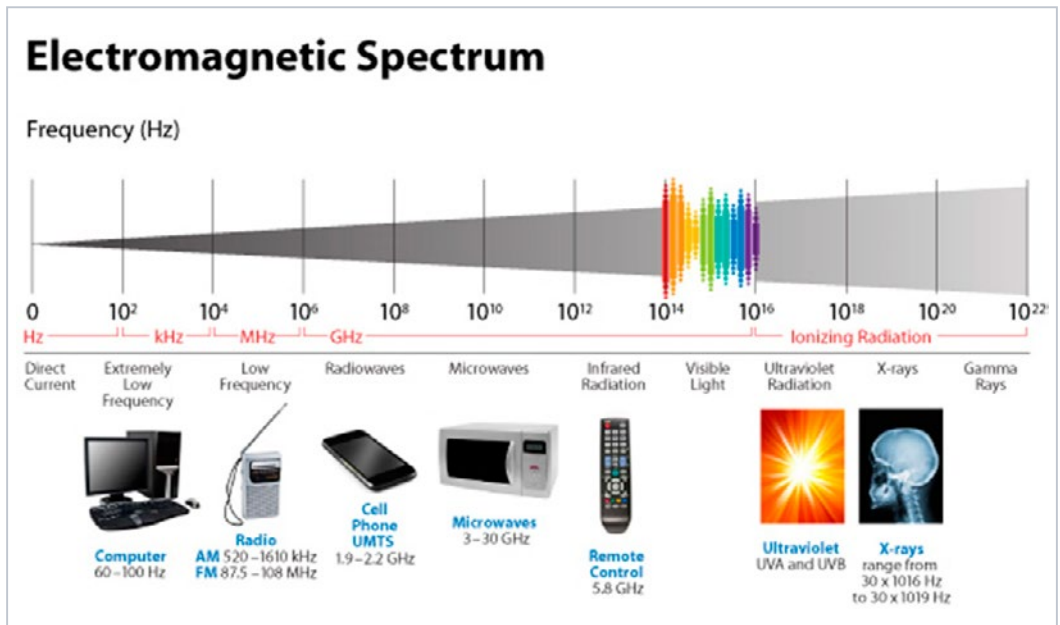
Få undersøkelser har vist entydig sammenheng mellom helseproblemer og den type elektromagnetisk stråling vi normalt vil utsettes for (Brainard m.fl. 1999, Preece m.fl. 2000). Noen undersøkelser har imidlertid indikert at det kan være en sammenheng mellom elektromagnetisk stråling og sykdom både hos mennesker og dyr, og at bl.a. fugler kan påvirkes, både i forhold til atferd, reproduksjonssuksess, vekst, fysiologi m.m. (Fernie & Reynold 2005). Dette er imidlertid et forskningsområde som fremdeles er mangelfullt utredet.

Nylig ble det publisert en oppsummeringsartikkel om økologiske effekter av elektromagnetiske felt forårsaket av radiofrekvente elektromagnetiske felt (RF-EMF, radiofrequency electromagnetic fields), dvs. felt i området 10 MHz til 3,6 GHz (Cucurachi m.fl. 2013). De siste årene har det vært en enorm økning i antall radiofrekvente elektromagnetiske felt på grunn av mobiltelefoni og nyere former for trådløs kommunikasjon (e.g. WiFi, WLAN, WiMAX), og diskusjonen omkring mulige helseeffekter av dette har økt tilsvarende. I forhold til fugler konkluderer Cucurachi m.fl. (2013) med at det har vært utført noen eksperimentelle studier i laboratorier med tamhøns og vaktel. Det ble observert effekter i forhold til dødelighet og embryoutvikling både ved høy og lav RF-EMF-dosering. De fem feltstudiene som er utført konkluderer med signifikante effekter av RF-EMF på hekketetthet, reproduksjon og artssammensetning, og hovedkonklusjonen er at RF-EMF, særlig i 900 MHz GSM-båndet er en faktor som kan påvirke fuglers økologi (Cucurachi m.fl. 2013).



Undersøkelser har vist at bl.a. kyr på beite har tendens til å orientere kroppen i samme retning som den geomagnetiske nord-sør aksen (Begall m.fl. 2008, Burda m.fl. 2009). Årsaken til dette er så langt uklar. Burda m.fl. viste at EMF («ELFMF – extremely low-frequency magnetic fields») generert av høyspentledninger påvirket denne kroppsorienteringen hos dyrene. Kroppsorienteringen hos kveg og rådyr viste seg å være tilfeldig i beiteområder under eller nær kraftledninger - inntil en avstand på 150 m. Kveg eksponert for varierende magnetiske felt direkte under eller i nærheten av kraftledninger som gikk nord/vest-sør/øst og nord/øst-sør/vest orienterte kroppen i tilfeldig retning.

*På 1990-tallet dreide forskningen på EMF seg primært om effekter av klassiske kilder som kraftledninger, transformatorstasjoner og husholdningsapparater. I dag er forskningen mer opptatt av effekten av eksempelvis mobiltelefoner, trådløse rutere og bærbart GPS-utstyr. Så langt viser imidlertid all forskning at sammenhengen mellom EMF og helseskader er forholdsvis liten. Kilde: National Institute of Environmental Health Sciences*



# 9 Tiltak for å avbøte effekter av kraftledninger på fuglelivet

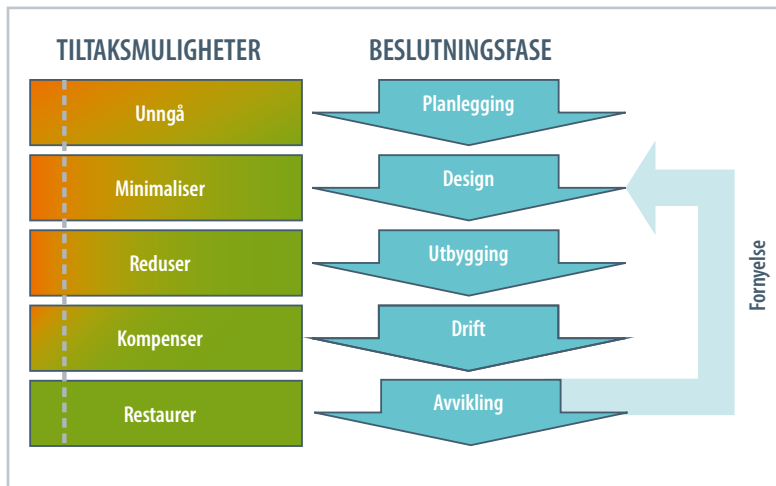
## 9.1 Tiltakshierarkiet

**Prosjekter med potensial for betydelig miljørisiko kan benytte de sekvensielle trinn i «tiltakshierarkiet» for å avbøte risikoen for uakseptable miljøpåvirkninger (Stewart 2002)**

Etter et føre-var-prinsipp bør mangel på kunnskap og vitenskapelig usikkerhet krediteres naturen med ansvar hos tiltakshaver. Konesjon for å få bygge en kraftledning er vanligvis basert på en konsekvensutredning. KU-prosedyrer og praksis varierer fra land til land (Wood 2002), men formålet er å identifisere, forutsi og evaluere miljøeffekter av utbyggingsforslag før viktige beslutninger tas. Dette omfatter også en evaluering av alternativer til tiltaket som foreslås for å forbedre hensiktsmessig lokalisering og utforming (Langston & Pullan 2003). Foreslåtte begrensninger av miljøbelastninger er en viktig fase i KU-prosessen, hvor tiltakshaver kan redusere virkningene etter et forholdsvis kjent og akseptert «tiltakshierarki». Dette har som mål å (1) unngå, (2) minimere, (3) redusere, (4) kompensere for miljøpåvirkninger og (5) restaurere til før-situasjonen (May 2016).

Norge er blant de land som har erfaring med målstyrt (adaptiv) forvaltning, som enkelt sagt handler om å håndtere risiko gjennom en inkluderende prosess med utgangspunkt i kunnskapsinnhenting i både lokal og universell, vitenskapelig kontekst (Gundersen m.fl. 2011). US Fish and Wildlife Service har utviklet retningslinjer for hva som bl.a. bør gjøres i tilknytning til bygging av vindkraftverk slik at virksomheten skjer i tråd med eksisterende lovverk (USFWS 2012). Retningslinjene er basert på en hierarkisk tilnærming for å vurdere mulige negative konsekvenser for arter og deres leveområder.

Retningslinjene er av så pass generell karakter at de er nyttige uavhengig av geografisk lokalisering og type inngrep. I perioden før bygging (nivå 1, 2 og 3) skal utbygger identifisere, unngå og minimere risiko for sårbare arter. Etter utbygging (nivå 4 og 5) skal utbygger vurdere hvorvidt tiltak som er utført på tidlige nivå for å unngå og minimere negative påvirkninger fungerer etter



*«Tiltakshierarkiet» er en viktig fase i KU-prosessen. Tiltakshaver kan ved å benytte denne tilnærmingen redusere negative miljøvirkninger.*

hensikten. Hvis nødvendig skal det tas ytterligere skritt for å kompensere for uheldige konsekvenser av utbyggingen. Hvert nivå reflekterer og raffinerer med andre ord tema og tiltak som er identifisert og foreslått på forrige nivå sammen med et sett spørsmål som kan bistå utbygger i å evaluere potensiell risiko knyttet til å foreta et inngrep på et gitt sted. En slik tilnærming er målstyrt og gjør det mulig å evaluere og fatte beslutninger på det enkelte nivå (Köppel m.fl. 2014, Gundersen m.fl. 2011).

Statens Vegvesen benytter en tilsvarende tilnærming (Vegdirektoratet 2014). Prissatte og ikke-prissatte tema utredes og veies opp mot hverandre før det gis anbefaling om løsning. I forhold til naturmangfold, som er ett av fem definerte, ikke-prissatte tema, er formålet å få fram kunnskap om naturmangfoldverdier i områdene som berøres av tiltaket, og belyse hvordan ulike tiltaksalternativer vil kunne påvirke dem. Det enkelte prosjekt vurderer innledningsvis kunnskapsgrunnlaget for naturmangfold, og supplerende informasjon innhentes dersom grunnlaget er mangelfullt. Som del av analysen rangeres alternativer med hensyn til konsekvenser for registrerte naturmangfoldverdier (cf. SEA og EIA direktivene). Vurderingene knyttet til naturmangfold inngår i en samlet vurdering av prissatte og ikke-prissatte konsekvenser, og danner grunnlaget for rangering av alternativer og anbefaling.

## 9.2 Tiltak mot kollisjoner hos fugl

### Tiltak for å redusere kollisjonsomfang hos fugl mot kraftledninger må skreddersys i forhold til artens fysiologiske og økologiske forutsetninger

Det er opp gjennom årene gjort en rekke tiltak for å redusere kollisjonsfaren for fugl i forhold til kraftledninger. Dette har imidlertid vist seg å være komplisert på grunn av alle påvirkningsfaktorene omtalt i foregående kapitler. De vanligste tiltakene har fokusert på å øke synligheten av luftlinene ved å benytte ulike former for merking. Slik merkingen har imidlertid vært gjort på bakgrunn av pålegg fra forvaltningsmyndighetene og konsesjonsgiver uten at det har vært del av et forskningsopplegg.

Trolig er det brukt betydelige ressurser på merking til ingen nytte, både i Norge og andre land. Motsatt har det i mange tilfeller ikke blitt merket der det kunne hatt en effekt. I de senere år er det gjort flere kritiske studier der merkingsforsøk har vært evaluert (Barrientos m.fl. 2011, 2012, Jenkins m.fl. 2010). En viktig konklusjon fra disse evalueringene er at på grunn av dårlig eksperimentell design og manglende, standardiserte metoder har det i de fleste tilfeller ikke vært mulig å si noe sikkert om effekten av merkingen. De sentrale spørsmålene knyttet til merking står følgelig fremdeles åpen – hvor, når og på hvilken måte bør kraftledninger merkes?

### 9.2.1 Økt synlighet av faseledere og jordliner

#### I områder med mye fugl kan det være nyttig å gjøre luftliner mer synlige. Fugler med uskarpt syn kan ha spesiell nytte av dette

Merkeutstyr med forskjellig utseende og farge (ballonger, kuler, spiraler, plastikkstrimler osv.) kan festes på faseledere og/eller jordliner (se for eksempel Renssen m.fl. 1975, Koops 1985, 1986). Fugleavvisere («Plastic Bird Flight Diverters») er mest brukt. Disse produseres i forskjellige farger og fasonger. Spiraler (også kalt grisehaler) monteres på fase- og jordliner, også som AUS (arbeid under spenning) på fasen ved hjelp av isolerstang. Avstanden mellom merkene må ikke bli for stor slik at fuglene oppfatter mellomrommene som potensielle kryssingspunkter. Dette må vurderes i forhold til hvilke arter som er «målarter». Spiraler kan også bidra til å redusere antall driftsforstyrrelser i nettet pga. fasesammenslag etter kollisjon med bl.a. svaner, men økt vindfang og mulige isproblemer kan gi økt slitasje i lineoppheng (Bevanger & Refsnæs 2012, 2013a).

Generell merking av liner kan forsvares i tilknytning til fuglerike områder, f.eks. våtmarker og verneområder hvor vernet er begrunnet i rikt fugleliv. Ved kryssing av elver og andre klassiske trekkleder vil merking også være å anbefale. Blant annet kan data fra feil- og avbruddstatistikk hos kraftselskapene benyttes for kartlegging av utsatte soner.

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



«Plastic Bird Flight Diverters» eller «grisehaler» som de gjerne kalles på norsk, er de mest benyttede merkeметодene av faseledere og jordliner. Dette er en eller annen form for "spiral" som kan variere i farge og utforming avhengig av produsent. Etter Bevanger (2011)



Et utvalg av merkeutstyr produsert for å øke synligheten av faseledere og luftliner. Etter Bevanger (2011)

avstandsholderne kan i seg selv virke som merker ved siden av at slike linebunter også blir lettere synlig (Renssen m.fl. 1975). På grunn av manglende kunnskap er det vanskelig å gi generelle råd om når og hvor merking bør foretas. Merking bør imidlertid gjøres i tilknytning til ornitologisk viktige områder og der en ut fra en generell risikovurdering kan regne med at fugler kommer til å kolliderer.

Dette gjelder

- kjente kollisjonspunkter («hot spots»)
- områder med mye fugl (eksempelvis våtmarksområder)
- kryssing av opplagte ledelinjer (f.eks. elver, trange daler og sund)
- kryssing av lokale trekkveier mellom funksjon- og ressursområder (f.eks. hekkeplass og næringsområde) og områder med mange dagaktive arter og arter kjent for å kolliderer (f.eks. svaner og traner)

## 9.2.2 Silhuetter og predatorerligninger

### Effekter av skremser avtar over tid på grunn av at fuglene venner seg til dem

Forskjellige typer rovfuglsilhuetter ble testet ved nattkvarter og rasteplass i et fuglereservat i Nederland (Heijnis 1980). Den mest effektive typen, 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. Skremseinnretninger for fugl er imidlertid vanligvis bare virksom for fugl på trekk, dvs. at fuglene ikke oppholder seg ikke i området lenge nok til at de blir tilvennet dem.

## 9.2.3 Bruk av lys

### Massedød hos fugl har forekommet flere steder på grunn av at fuglene har blitt «fanget» av lyset fra opplyste strukturer

Nattaktive arter, og dagaktive som trekker om natta, representerer en spesiell utfordring. Stasjonær belysning gjennom bruk av sterke lyskilder er ikke noe alternativ. Det er for eksempel vel kjent at et stort antall fugler hvert år ble drept langs de skandinaviske kystområdene ved at de kolliderte mot fyrårn (Mehlum 1977) og off-shore oljeanlegg (Lid 1977). Fuglene blendes og blir desorientert (Alerstam & Karlsson 1977). I USA har det vært rapportert om

store tapstall i forbindelse med at fugler har kollidert mot barduner festet til master med lys eller at de også har blitt blendet og utmattet og drept mot bakken på grunn av skyhøydemålere (ceilometre) (Aldrich m.fl. 1966, Arend 1970, Avery m.fl. 1976). ESCOM (The Electricity Supply Commission) i Sør-Afrika har utviklet lysrør festet til toppliner på høyspentledninger som gløder ved å utnytte energien i det elektromagnetiske feltet rundt faselederne (lavenergetisk, luminescerende lys). Effekten av disse er ikke kjent.

I USA drepes årlig millioner av fugler i tilknytning til radiomaster og andre telekommunikasjons-relaterte systemer med varslingslys. Dette gjelder spesielt fugler som under vår- og høsttrekk forflytter seg om natta (Avery m.fl. 1976, Longcore m.fl. 2012, 2013). Gehring m.fl. (2009) fant at strukturer kun utstyrt med røde eller hvite, pulserende varslingslys, medførte signifikant lavere kollisjonsfare for fugl sammenlignet med tårn med varslingslys som i tillegg til blinkende lys hadde kontinuerlig lys. Det gjenstår imidlertid mye forskning omkring effekten av å bruke lys, bl.a. innenfor UV-delen av spekteret (Bevanger & Refsnæs 2013a). Bruk av lys som er synlig for det menneskelige øyet vil imidlertid primært være et avhjelpende tiltak for nattaktive arter, noe et fåtall fugler er. En del arter forflytter seg imidlertid om natta under vår- og høsttrekket.

## 9.2.4 Akustiske skremmemetoder

### **Fugler kan skremmes vekk ved hjelp av lyder, men tilvenning gjør at effekten avtar over tid**

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

Ulike fuglearter har ulik sensitivitet overfor ulike bølgelengder av lyd. Det er imidlertid generell enighet om at fugl ikke responderer på ultrasonisk lyd (Boudreau 1968, Catchpole 1979). Når det gjelder kunstig lyd («støy» som gasskanoner og varselsskrik) er dette en alminnelig brukt metode for å skremme vekk arter som er å betrakte som «pestarter» (for eksempel i forhold til korn og frukt dyrking) og arter som kan være en trussel mot flysikkerheten. Det er derfor utviklet en rekke redskaper for å produsere skremmelyder (se for eksempel

Frings & Frings 1967, Anon. 1986). Test av en «høyteknologisk skremmekråke» som har vært i salg i Australia (dvs. en lyd-produserende konstruksjon som frambringer 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 (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. Tilvenninger er imidlertid alltid et problem.

Blokpoel (1976) laget en oversikt over hva som er gjort innen bioakustisk forskning i forhold til det å holde fugler vekk fra flyplassområder. Varsellyder fra fugler har vært brukt rutinemessig i skremmeøyemed. Syntetisk lyd, dvs. forvrent, naturlig lyd, kan eksempelvis benyttes til å lage auditive «superstimuli» (Tinbergen 1956). I løpet av de siste 30-40 årene er det imidlertid ikke utviklet effektive, auditive systemer som holder fugler på avstand fra flyplasser eller andre steder de er uønsket (se for eksempel Dooling 2002, Drewitt & Langston 2006, Kolås & Johnsen 2007, May m.fl. 2015).

*Gasskanon brukes hyppig til å skremme vekk fugler fra områder de er uønsket, det være seg gjess fra beitemark eller fugler fra flyplasser. Foto: Arne Follestad*





## 9.2.5 Fargemerking og kamuflering av kraftledninger

**Bruk av farger på luftliner er en utfordring både i forhold til å gjøre dem mer synlige for fugl og mindre synlige for mennesker fordi ulike arter oppfatter ulike farger forskjellig**

Linefarging (kulørte plastikkovertrekk, maling av liner) ble gjort i Norge forholdsvis tidlig, med bakgrunn i et økende antall meldinger om sangsvaner som kolliderte mot høgspentledninger på Nord-Vestlandet. Et farget («fosforiserende») plastikkovertrekk ble montert på linene på det kollisjonsutsatte spennet, og faselederne på et annet ledningsavsnitt ble malt signalrøde. Disse tiltakene førte tilsynelatende til en nedgang i kollisjonshyppighet (Folkestad 1978, 1980). Svakheten ved tiltaket, slik som ved de fleste andre av tilsvarende type, er at det manglet datagrunnlag for statistisk testing av hvorvidt resultatene var reelle eller ikke.

Temaet «kamuflering» er nevnt i den nye nettmeldingen – «Vi bygger Norge – om utbygging av strømmettet» (OED 2012). Her understrekes at *«utvikling og bruk av kamuflasjetiltak og landskapstilpassede master ikke må gå på bekostning av kraftledningens driftssikkerhet. Hensynet til å redusere visuelle virkninger må også avveies blant annet mot hensynet til å unngå fuglekollisjoner og behovet for tilstrekkelig skogrydding av sikkerhetsmessige årsaker»*. For å etterleve intensjonen i denne Stortingsmeldingen er det nødvendig med økt kunnskap om temaet.

Statnett etablerte i 1997 en intern arbeidsgruppe for å se på hvordan en skulle tilfredsstillende konsesjonsvilkårene til bruk av farget/mørke/matte komponenter på delstrekninger av 420 kV ledningen Kristiansand-Evje (Statnett 1998). En evaluering av tiltaket ble foretatt året etter (Statnett 1999). Høsten 1999 arrangerte NVE et seminar om «Material- og fargebruk på kraftledninger» (NVE 1999) der både ornitologiske (Bevanger 1999) og tekniske forhold (Refsnæs 1999) vedrørende fargebelegg av kraftledningskomponenter ble presentert.

Hvorvidt bruk av farger og andre tiltak som modifierer det visuelle inntrykket av kraftledningsstrukturer medfører økt eller redusert fare for at fugler skal kollidere med dem, har ikke vært gjenstand for vurdering etter 1999. Det samme gjelder i stor grad tekniske aspekter knyttet til temaet. Det var derfor naturlig å ta opp dette som tema i OPTIPOL-prosjektet (Bevanger & Refsnæs 2013b).

Fra et «fugleperspektiv», vil målsettingen være å gjøre kraftledninger så synlige som mulig for fuglene. Å svare på hvorvidt dette kan virke som det motsatte av å «kamouflere» ledningene har vist seg å være et komplisert spørsmål. Øyet hos pattedyr og fugler har mange fellestrekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått, men det er feil å anta at måten ulike arter ser omgivelsene på er lik.

Fugleøyets fargesyn, dybdesyn og synsskarphet, er avgjørende faktorer i forhold til om fargekamouflering av kraftledninger kan bidra til økt kollisjonsfare. For å oppnå en optimal deteksjon av en kraftledning for fugl er det viktig å optimalisere linenes kontrastvirkning i forhold til fargene i bakgrunnen. Flere forskere mener at enkelte fuglearter har en betydelig evne til å skille farger i den gule delen av spekteret, og det synes sannsynlig at enkelte grønne og gule farger, særlig hvis de samtidig har et UV-bidrag, gir kontrast mot en naturlig grønn bakgrunn.



*Faseledere og jordliner kan farges og overflatebehandles slik at de blir mindre synlige. Etter Bevanger & Refsnæs (2013b)*

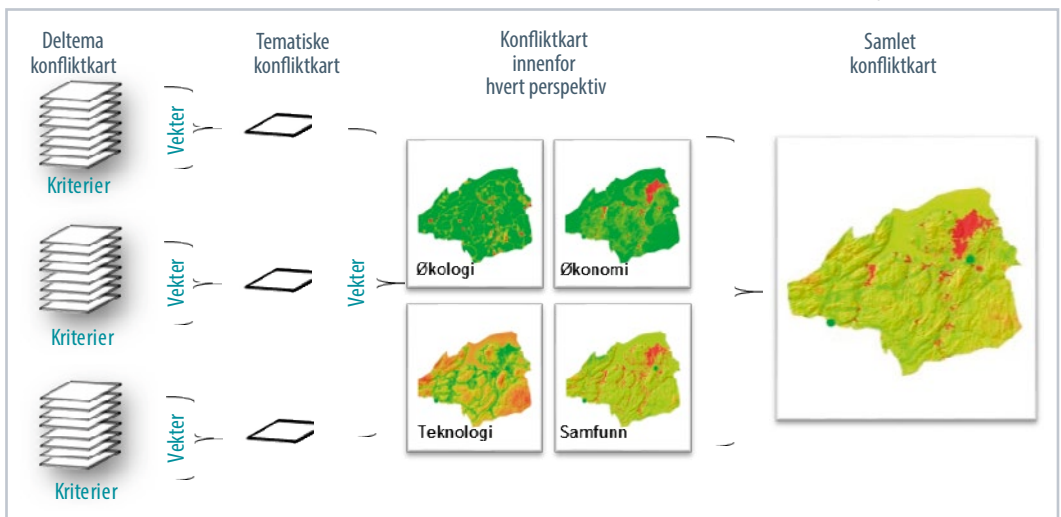
Å minske kontrastvirkningen mellom en luftline og linens bakgrunn, f.eks. gjennom å matte den blanke overflaten på en FeAl-line med sort eller gråsort farge, vil trolig øke kollisjonsrisikoen for en del fuglearter. For å gjøre faseledere og jordliner så synlige som mulig for fugl er det sannsynligvis generelt gunstigst å lokalisere kraftledninger slik at de skaper kontraster i forhold til en bakgrunn. Årstidsvariasjonene i Norge gjør at de fleste naturtyper gjennomgår en «fargesyklus» - fra hvitt om vinteren via brunt og svart om våren til grønt om sommeren og gult og rødt om høsten. I perioder av året vil derfor, uansett hvilken kamuflasjefarge som benyttes, en kraftledning være mer synlig enn til andre årstider.

### 9.2.6 Traseføring

**Det beste tiltaket mot at fugler skal kollidere med kraftledninger er å finne en gunstig traseføring fra et fugleperspektiv**

Når kraftledningstraseer skal velges er det svært mange hensyn som skal vurderes, både tekniske, økologiske, samfunnsmessige og økonomiske. Det er følgelig komplisert å finne en trase som tilfredsstillende alle interesser. I de fleste tilfeller er det snakk om et kompromiss der noe eller noen blir mer skadelidende enn andre.

*Least Cost Path (LCP) – en multivariat konflikttilnærming. Etter Bevanger m.fl. 2014*



En overordnet målsetting i OPTIPOL-prosjektet var å utvikle kunnskap og verktøy som bedrer grunnlaget for en mest mulig miljøvennlig utforming av, og et miljøtilpasset trasevalg, for kraftledninger. Det innbefattet utvikling av en «least-cost path» (LCP) GIS-basert applikasjon for trasévalg basert på økologiske, tekniske og økonomiske kriterier (Hanssen m.fl. 2014). LCP metoden kan være et nyttig planleggingsverktøy i en tidlig fase av en utbygging for å gi oversikt i forhold til konsekvensutredningsbehov, redusere potensielle konflikter mellom interessegrupper og gjøre prosessen mer transparent for allmennheten. I forhold til prosjekteringssyklusen for kraftledningsutbygging vurderer Statnett OPTIPOL-LCP å kunne være et nyttig verktøy i tilknytning til innledende egnethetsvurderinger og den offentlige høringsfasen før det offisielle konsekvensutredningsprogrammet fastsettes.

OPTIPOL-LCO 2.0. foreligger foreløpig bare som desktop-plattform, og er følgelig lite tilgjengelig for bruk av flere samtidig, f.eks. under meldingsfasen av et kraftledningsprosjekt. OPTIPOL-LCO 2.0. er basert på ESRI-teknologi (Environmental Systems Research Institute) og direkte sammenlignbart med ESRI ArcGIS sin serverplattform. For å videreutvikle og teste metoden, verktøyet og bruken av kriteriene, er det viktig å etablere samarbeid med en partner. Prosjektsamarbeidet bør fokusere på teknologi og metodeutvikling og prosesser knyttet til økt brukermedvirkning.

### 9.2.7 Kollisjonspunkter («hot spots»)

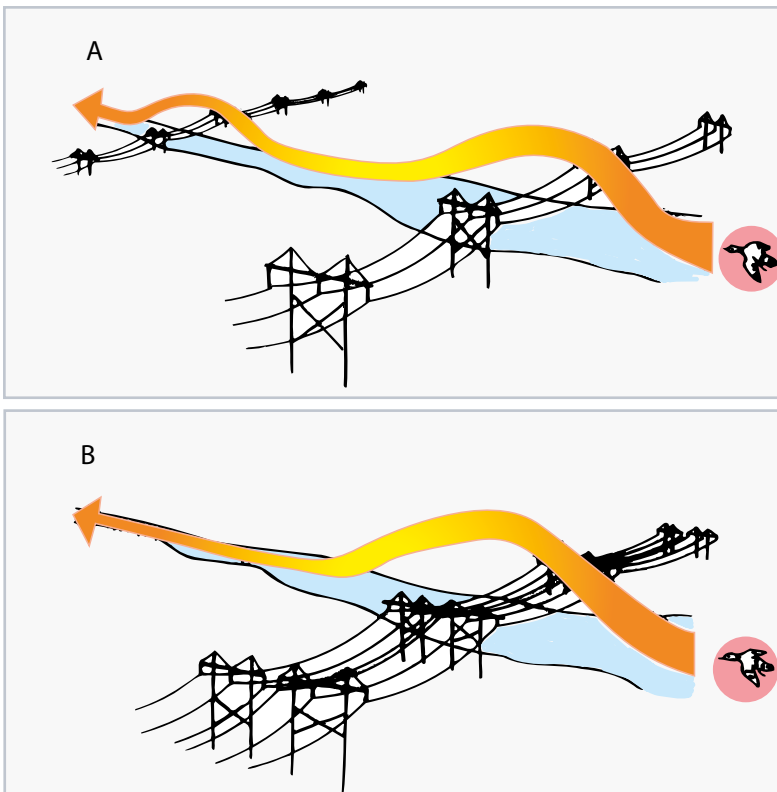
#### **Fuglekollisjoner fordeler seg ujevnt langs en kraftledning, og noen steder framstår som «kollisjonspunkter»**

Som diskutert under kapitlet om landskapets ledelinjer (s. 49), er kollisjoner av fugl ikke jevnt fordelt langs en kraftledning. Noen steder framstår med langt større kollisjonsomfang enn andre. For å danne et bedre grunnlag for å finne optimale traseløsninger i forhold til å redusere omfanget av kollisjoner hos fugl er det viktig å kunne identifisere områder med høy kollisjonsfrekvens. I OPTIPOL ble data fra tidligere prosjekter reanalysert, og sammen med data fra feltarbeidet i Ogdalen (Bevanger m.fl. 2014, Brøseth & Bevanger 2014) danner dette et godt grunnlag for en GIS-analyse som kan gi et bilde på hvilke elementer som bidrar til en overhyppighet av kollisjoner.

## 9.2.8 Konfigurasjon

Den tekniske utformingen av kraftledningsstrukturer varierer mye, både i det enkelte land og landene imellom

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, kan kollisjonsrisikoen mot kraftledninger påvirkes gjennom design og utforming av energioverføringssystemene, for eksempel i forhold til faseledernes og jordlinenes høyde, innbyrdes avstand og plassering (konfigurasjon), linediameter og antall kurser. Mellom kraftledningsmastene vil linene normalt henge i buer på grunn av egen tyngde. Linehøyden over bakken vil midt mellom to stolper kanskje bare være halvparten av høyden linen har ved stolpene. Dette betyr at fugler eksponeres for kollisjonsfare ved en rekke høydenivåer. Metallekspansjon gjør at linehøyden også varierer mye (1-2 m) i forhold til temperatur, som varierer både med lufttemperatur, men særlig med belastningen i faselederen, dvs. hvor mye strøm som kjøres igjennom. For å oppnå en jevnere og mer stabil



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

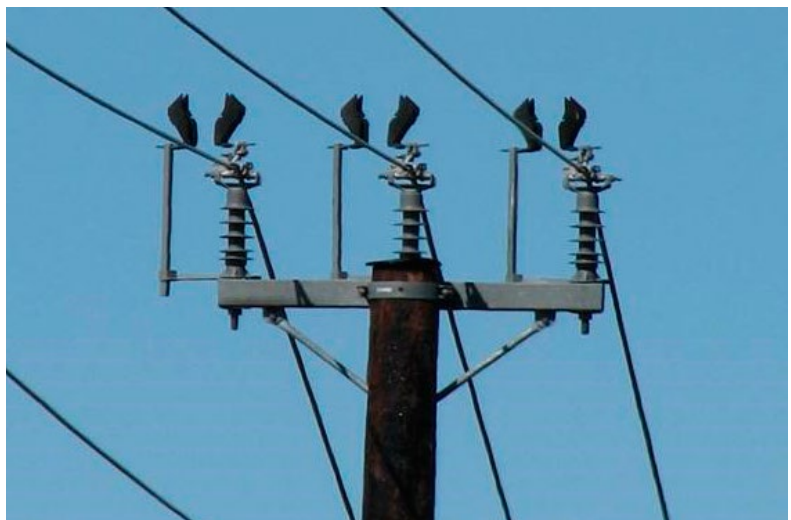
bakkehøyde ville det være nødvendig med langt flere master, noe som igjen bl.a. vil fordyre kraftledningsbygging betydelig.

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

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

Det kan være fornuftig å samle flere kraftledninger langs en felles trasé (Thompson 1978). Dette kan medføre at linene blir lettere å oppdage og at det totalt sett blir båndlagt mindre arealer.

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



Nettselskapene har i økende grad tatt i bruk forskjellige typer luftkabler i fordelingsnett, både høyspent og lavspent. Den vanligste type luftkabel ved 22 kV er BLX-line (eventuelt AXUS).

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

Overføringsledninger i Sverige ble tidlig utstyrt med tykkere jordliner (Lindgren 1984). Det mangler imidlertid empiriske data som viser at det er et generelt motsatt forhold mellom kollisjonsfrekvens og jordline- og faselederdiameter. Undersøkelser omkring rypekollisjoner i Sør-Norge fant ingen sammenheng mellom linediameter og kollisjonsomfang (Bevanger m.fl. 1998).

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

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

## 9.2.9 Jordkabel

### Myndighetene ønsker at jordkabling skal være hovedregelen i distribusjonsnett

Jordkabling er naturlig nok en løsning som fjerner all kollisjonsproblematikk i forhold til fugl. I Ot. prp. nr. 62 (2008–2009) *Om lov om endringer i energiloven* (behandlet av Stortinget våren 2009) er dette temaet viet betydelig oppmerksomhet, og det understrekes at «i tillegg til alternative trasévalg, er kamuflasjetiltak, tiltak av hensyn til fugl, og kabling sentrale tema innen avbøtende tiltak. [...] Bruk av kabel som alternativ til luftledning skal alltid vurderes når nye kraftledninger på alle spenningsnivåer skal bygges. Særlig kan jordkabel være et godt tiltak i distribusjonsnett. For 22 kV er nedgraving av kabel et langt mindre naturinngrep enn på høyere spenningsnivå. Slike kraftledninger går tett på der folk bor og ekstrakostnadene sammenliknet med luftledning er moderate. Mens kabling av 60 kilometer kraftledning med 22 kV spenning vil kunne gjøre over 600 master overflødig, vil en tilsvarende sum brukt til å kable sentralnett med 420 kV spenning kun rekke til en kilometer og gjøre to til tre master overflødig. [...] Områdekonsesjonærer vil i egen veiledning fra NVE med kopi til kommunene bli oppfordret til som hovedregel å benytte jordkabel på overføringsforbindelser inntil 22kV der naturgitte forhold tilsier at dette gir moderate naturinngrep og ekstrakostnader. Dette vil bli lagt inn som vilkår i nye og fornyede områdekonsesjoner. Kommunene oppfordres til å gå i dialog med nettselskapene om hvor kabling bør prioriteres innenfor områdekonsesjonene. [...] Kabling skal også alltid vurderes når nye kraftledninger i regional- og sentralnettet skal bygges, men bruken skal være gradvis mer restriktiv med økende

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





*spenningsnivå. Jord- eller sjøkabel er mest aktuelt på begrensede strekninger med betydelige verneinteresser eller store estetiske ulemper på 66kV og 132kV, men kan også være aktuelt på strekninger der det gir særlige miljøgevinster på 300kV og 420kV».*

Dette innebærer at en ved aktiv bruk av kabling i distribusjonsnettet får redusert belastning på fugl selv ved restriktiv bruk av kabling i regional- og sentralnett. Som en målestokk for de tiltakene dette vil kreve i distribusjonsnettet, kan en sette Statnetts (2015) forventede ombygginger og nybygginger i sentralnettet de neste 10 år med kostnader i størrelsesorden 60-70 milliarder kroner.

Den totale lengden av luftledninger over 45 kV utgjør en forholdsvis 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.

Avgjørelser i forhold til kabling ved høyere spenningsnivå er komplisert. 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 svært negative følger. Krav om kabling av kortere strekninger på slike steder vil trolig bli et tema fra tid til annen. Tilsvarende i forhold til områder der det er risiko for at store mengder fugl skal drepes, og der sårbare og truede arter påviselig er utsatt for utstrakt dødelighet i tilknytning til luftspenn. Det vil i slike tilfeller naturlig nok stilles krav til dokumentasjon av dødelighetsomfang og bestandsmessig betydning av en spesiell dødelighetsfaktor, noe som ofte kan være svært vanskelig.

De mest sårbare og viktigste, ornitologiske områder i Norge, begynner imidlertid å bli relativt godt kartlagt, gjennom fylkesvise verneplaner, landsplaner for vern av skog, våtmarker, viltbiotopkartlegging m.m., og det bør derfor være gode muligheter for å planlegge framtidige ledningstraséer slik at antall konflikter kan reduseres betydelig. Størst kunnskapsmangel er knyttet til fugletrekk – nasjonalt så vel som lokalt og regionalt.

Jordkabel, hengekabel eller sjøkabel kan være mindre utsatt for avbrudd enn en luftledning i en del områder, men hvis en feil på ledningen først oppstår, er reparasjonstiden for kabelanlegg betydelig lenger enn for en luftledning. Veksling mellom kabel og luftledning kan være en meget dårlig og sårbar driftsmessig løsning av ledningsnett. Kabelmaster vil øke problemer mht. drift og vedlikehold og kan også føre til at fugler blir drept som følge av elektrokusjon. En stor andel av feilene som oppstår i kabelanlegg opptrer i kabelendemaster ved overgangen fra luft/kabel (Bevanger & Refsnæs 2013a).

### 9.3 Tiltak mot elektrokusjon hos fugl

#### **Tekniske løsninger for å unngå at fugler drepes gjennom elektrokusjon finnes – og er primært et økonomisk spørsmål**

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

## Faktaboks 1

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

- isoler nedføringslinjer til bryter og transformator
- bruk fuglevern på gnistgap
- isoler gjennomføringstopp på stolpetransformatorer
- vurder bruk av isolasjonskappe på ståltraverser
- vurder isolering av faseleder ved mast
- vurder montering av egnede sitteplasser for fugl i stolper og transformatorer
- Ved nybygging ble det påpekt at følgende tiltak burde vurderes:
- benytt tretravers; jordtråd på undersiden
- benytt isolertravers
- benytt hengekjedeisolatorer (unngå piggisolatorer)
- unngå bruk av mastetransformatorer eller utføre disse isolert
- benytt isolerte hengekabler

I 2010 ba NVE om at det i tilknytning til OPTIPOL ble utarbeidet en håndbok som kunne gi råd om strakstiltak (Bevanger & Refsnæs 2012). I teorien synes det relativt enkelt å skulle modifisere tekniske installasjoner slik at elektrokusjonsfaren elimineres – i første rekke ved å isolere de strømførende ledningene. Dessverre er det i kyststrøk forholdsvis stor saltholdighet i lufta og faren for korrosjonsproblemer og strømbrudd er overhengende hvis metalldeleer innkapsles slik at luft og fuktighet over tid virker sammen. Galvanisk korrosjon kan lett oppstå i fuktig miljø med høy saltholdighet i lufta slik som i kyststrøk i Norge, så vel som spaltekorrosjon i sprekker og under deksler.

OPTIPOL-prosjektet utførte korrosjonstester i kammer for å samle kunnskap om isolasjonsmaterialenes påvirkning på linenes nedbrytning mht. slitasje, korrosjon, utmatting m.m. Det ble gjort akselererende korrosjonstester i tilknytning til fire vanlige beskyttelsessystemer for å hindre elektrokusjon av fugl. Korrosjonstestene simulerte 24 års eksponering i to forskjellige marine korrosjonsmiljø. Målsettingen var å få klarhet i nedbrytingsraten hos ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) ledere, beregne forventet levetid og utarbeide retningslinjer for hvor slike beskyttelsesutstyr kan installeres uten betydelig negative effekter i forhold til linjen (Bevanger m.fl. 2010, 2011, 2014, Bevanger & Refsnæs 2013a, b, Refsnæs m.fl. 2013). Reduksjonen i forventet levetid for faseledere med beskyttelsessystem i miljø med en marin korrosjonsindex (MCI) med 4 og 8 viste seg å være på henholdsvis 12 % og 20 % og 12 % og 22 %.

# 10 Fugler som problem for energiforsyningen

**Driftsforstyrrelser som skyldes fugler og andre dyr medfører årlig store økonomiske utgifter for mange nettselskaper**

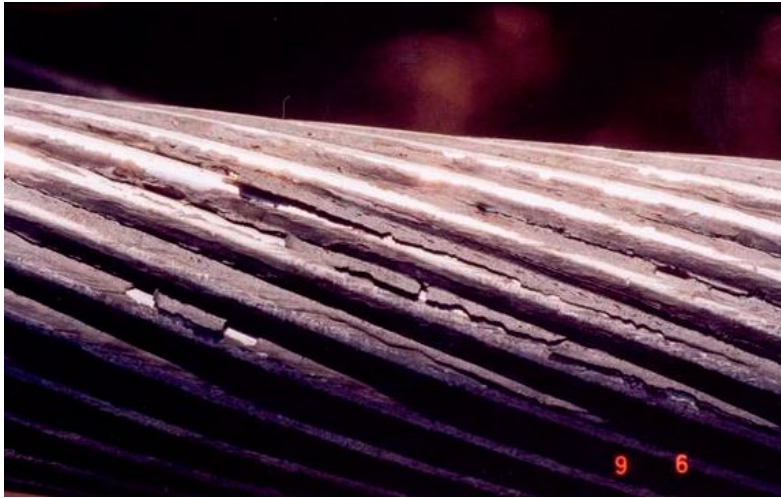
Mange nettselskaper opplever hyppige driftsforstyrrelser på grunn av elektrokusjonsulykker med fugl. Årsstatistikken over hendelser, driftsforstyrrelser og feil i 1-22 kV-nettet for 2008 viser at fugler/dyr utgjør ca.13 % av alle driftsforstyrrelser og 3 % av ikke levert energi (Bevanger & Refsnæs 2013a). Midlere antall driftsforstyrrelser på grunn av fugler/dyr er trolig 8-10 ganger høyere på kysten enn i innlands-områder, men med store lokale variasjoner innenfor forsyningsområdene på kysten. Også fra nettselskapenes ståsted er det derfor viktig at det settes i verk tiltak som reduserer driftsforstyrrelser som skyldes fugl. Det er imidlertid viktig at alle tiltak som settes i verk for å redusere omfang av kollisjoner og elektrokusjon av fugl ikke kommer i konflikt med driftssikkerheten i strømforsyningssystemene.

## 10.1 Tekniske utfordringer ved merking og fjerning av jordliner

**Merking av luftliner kan skape isproblemer og større vindfang. Antall høydenivå med liner øker faren for at fugler kolliderer og fjerning av jordlina kan derfor redusere ett problem, men skape et nytt**

Ulike former for merking som har til hensikt å øke synligheten av luftlinene kan føre til problemer ved at de representerer økt vindfang samt økt mulighet for ising. I høyereliggende strøk kan også økt slitasje i lineoppheng være et forhold som må vurderes. Spiraler - «grisehaler» - kan kanskje dempe vibrasjoner og redusere faren for utmatting i opphengspunkt. På bakgrunn av erfaring så langt synes denne metoden ikke å bidra vesentlig til slitasje eller korrosjon på selve lina (Bevanger & Refsnæs 2013a).

Kunnskapen om materialbestandigheten hos ulike typer merkeanordninger er ikke spesielt godt kjent, men erfaring med plastspiraler tyder på at disse under bestemte forhold kan krakelere. Hvis den elektriske feltstyrken rundt lina ligger



*Stålaluminiumline  
(Grackle) med primer.  
Linen har dårlig drenering  
pga. belegg som tetter  
spaltene mellom trådene  
i ytre lag.  
Foto Steinar Refsnæs*

på grensa til holdfastheten for lufta rundt, vil introduksjon av et plastmateriale uten halvledende belegg nær lederen føre til feltforsterking og korona, som bryter ned plastmaterialet og i mindre grad lina. Akselererende korrosjonsforsk med festeklemmer for plasturo montert på liner viste ingen spesielle tegn til korrosjon under klemmene (Bevanger & Refsnæs 2013a).

Fjerning av over- eller underliggende jordline i kraftledninger med opptil 24 kV driftsspennning og flytting av jordline på undersiden av traversen, kan resultere i betydelig økning av skader hos abonnenter som følge av lynnedslag i nærområdet eller fra induserte overspenninger i nettet. Nøytralpunktsjording, krav til minste utkoplingstid samt bruk av gjennomgående jordliner i luftnett, er de viktigste tiltakene som begrenser konsekvensene av utilsiktede jordfeilsituasjoner i høyspentnettet.

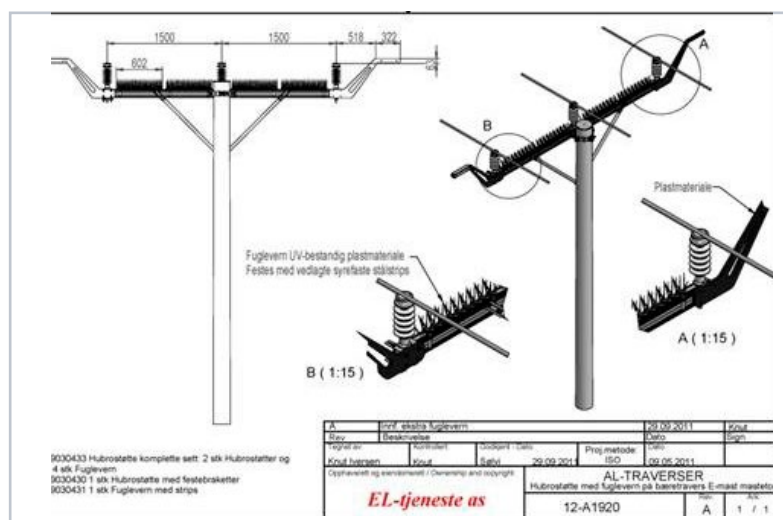
Sannsynligheten for mastebrenner i 12-24 kV luftnettene synes å være høyest for 25-35 år gamle anlegg i kystnære områder uten gjennomgående jordline. Ved potensialutjevning av metalldele i mastetoppen og jordledere vil jordforbindelsene normalt føre lekkstrømmene slik at lokalt høye strømtettheter ikke oppstår i trevirket. Planoppheng kan trolig redusere kollisjonshyppighet hos fugl betydelig, men en flat linekonfigurasjon krever større faseavstand og dermed større grunnavståelse og mer ryddarbeid i skogsområder enn en ledning med trekantoppheng eller vertikaloppheng.

## 10.2 Tekniske utfordringer for å hindre elektrokusjon av hubro

På grunn av fare for korrosjon ved isolering av ståltraverser ble det utviklet et alternativt design som tillot hubro å slå seg ned uten fare for å bli drept ved elektrokusjon

Ved å isolere traverser av metall unngås elektriske sjokk og jordfeilstømmer fra faseleder til jord når fugl setter seg i stolpen. Dette kan redusere antall kortvarige avbrudd i nett uten spolejordet nullpunkt. Ulempen er økt sannsynlighet for korrosjon og manglende utkobling hvis fasen ramler ned på traversen. Montering av fuglevern på gnisthornet kan også redusere antall kortvarige avbrudd i nettet som følge av jordfeilstømmer. En modifisert travers med forhøyet sittepinne for hubro (Bevanger m.fl. 2014) gjør at nettselskapet unngår eventuelle driftsforstyrrelser som følge av at fuglen forårsaker kortslutning eller jordslutning. I innlandsområder kan plastdeksler på fasene trolig anvendes uten noen korrosjonsrisiko, men i utsatte kyststrøk kan metoden føre til økt lokal korrosjon og fare for utmattingsbrudd i linene.

Bestandsmessige konsekvenser av elektrokusjonsdødelighet hos fugl i Norge er ikke påvist med unntak av hubro, der elektrokusjon synes å holde bestanden nede i noen områder. OPTIPOL-prosjektet iverksatte studier for å finne



løsninger som kan redusere elektroklusjonsdødelighet hos hubro. På grunn av at de største hubrobestandene finnes i kystområder med høyt saltinnhold i lufta og følgelig høy marin korrosjonsindeks (MCI), var det nødvendig å utvikle andre avhjelpende tiltak enn isolering av strømførende ledninger og andre eksponerte metallkomponenter. Faren for korrosjonsproblemer og strømbrudd er overhengende hvis metalleder innkapsles slik at luft og fuktighet over tid virker sammen.

I samarbeid med El-tjenester AS utviklet CEDREN (NINA og SINTEF) gjennom OPTIPOL en modifisering av den klassiske traversen som de fleste 22 kV kraftledninger med piggisolatorer har. Traversen er en ofte brukt sitteplass for hubro - spesielt i flate kystlandskap. Traversen ble forlenget til begge sider og forlengelsene ble gjort høyere enn resten av traversen, samtidig som denne ble utstyrt med et plastdeksel med skarpe pigger for å hindre fuglene i å sette seg. Dette viste seg å fungere og illustrerer hvor viktig den arts- og stedsspesifikke tilnærmingen i design av tiltak er.



*Hubro som benytter en påmontert, forhøyet traversforlenger som utkikkspunkt. Det nye traversdesignet gjør at elektroklusjonsfaren blir minimal.*

*Foto: Karl-Otto Jacobsen*

## 10.3 Tekniske utfordringer ved trestolpeskade forårsaket av hakkespetter

### Hakkespetter ødelegger kraftledningsstolper for store summer mange steder i verden

Økologer og ornitologer i Norge, så vel som andre steder i Europa og USA, er i økende grad bekymret over hakkespetter som artsgruppe på grunn av vedvarende bestandsnedgang (Cramp 1985). Flere hakkespettarter har vært, og er, rødlistet rundt om i verden (Collar & Andrew 1988). Norske arter har også vært på Norsk Rødliste, men i siste utgave (Henriksen & Hilmo 2015) er ingen arter tatt med. En vesentlig årsak til rødlisting av hakkespetter ligger i de driftsmetoder som benyttes i skogbrukssektoren, inklusive monokulturelle bestander og avskoging (Short & Horne 1990).

Problemer knyttet til at hakkespetter skader trestolper i nettet er kjent langt tilbake (Sennett 1878, McAtee 1911, Weiss 1911, Collett 1921, Pfitzenmeyer 1956, Turcek 1960), og for noen er hakkespetter en betydelig økonomisk belastning. Problematikken har til dels vært viet stor oppmerksomhet både i USA (Rumsey 1973, O'Brian 1983), Asia (Kuroda 1955, Nakajima & Shimizu 1957, Kazama 1980) og Europa (Turcek 1960); ikke minst i Skandinavia og Finland (Peterson 1951, Andersson 1953, Brander 1956, Hillestad m.fl. 1981, Bevanger & Thingstad 1988).

Collett (1921) nevnte at «grønspetten og i mindre grad enn sortspetten» forårsaket mange stolpeskader i Sør-Norge. Så tidlig som i 1886 skal tretåspetten ha angrepet «et ikke ubetydelig antall stolper» i Tana, og våren 1945 engasjerte NVE seks mann til å skyte hakkespetter etter ledningstraséene mellom Hønefoss og Minnesund, mens Nord-Trøndelag elektrisitetsverk våren 1947 betalte fem kroner for hver svartspett som ble avlivet i nærheten av kraftledningsgatene (Schøyen 1948).

I 1955 ble det ved Pennsylvania State University i USA igangsatt et syvårig forskningsprosjekt med målsetting å finne effektive tiltak for å hindre skader forårsaket av hvitbrynsvartspett (Pfitzenmeyer 1956, Jorgensen m.fl. 1957, Rumsey 1973). Prosjektet resulterte imidlertid ikke i noen «endelig» løsning på problemet, og i 1965 ble et nytt syvårig forskningsprosjekt startet i regi av U.S. Forest Service i samarbeid med fem større energiverk (Rumsey 1973). På tross av mange nyttige erfaringer gjennom ulike eksperimenter og feltundersøkelser i dette prosjektet, ble det ikke funnet entydige svar verken på hvorfor



hakkespetter synes å foretrekke kraftledningsstolper eller funnet nye og mer effektive beskyttelsestiltak mot skade ut over dem som allerede var kjent.

Det er framsatt en rekke teorier om hvorfor hakkespetter tilsynelatende foretrekker stolper framfor alternative trestrukturer der slike finnes, men de fleste teorier er tilbakevist fordi de ut fra generell biologisk og atferdsøkologisk



*Hakkespetter kan gjøre betydelig skade på kraftledningsstolper. Årsaken til at fuglene går løs på bestemte stolper er fremdeles ikke fullt ut forstått.  
Foto: Arne Follestad*

kunnskap er lite tilfredsstillende. På bakgrunn av observasjoner og undersøkelser både i Europa og Amerika er det sterke indikasjoner på at skogbrukets driftsformer har skapt et misforhold mellom tilgang på reirtrær for spetter og tilgang på mat. I Norge er f. eks. næringstilgangen for spetter relativt rikelig gjennom insektproduksjonen i hogstflater og andre avvirkningsområder. Tradisjonell skogskjøtsel har imidlertid bidratt til at høye trær og naturlige reirplasser for spetter er blitt mangelvare, hvilket gjør at spettene vil utnytte alternative hekkeplasser som kraftlednings- og telefonstolper. Fra enkelte stolper er det dessuten særlig god utsikt til nærområdene, med optimal mulighet for å signalisere («tromme») til mulige rivaler eller partnere, i tillegg til at stolpen framstår som et naturlig objekt for å hakke i, det være seg for å utforme reirhull, overnattingsplass eller lete etter mat. Hakkespetter synes m.a.o. å oppleve stolpen som en overnormal attrapp eller et «superstimuli». Et misforhold mellom spettepopulasjonenes størrelse og tilgang på reirtre, kombinert med tilgang på kraftledningsstolper, som til dels vil kunne framstå som superstimuli, kan trolig forklare noe av hakkespettødeleggelsene på kraftledningsstolper.

Problematikken hakkespetter/kraftledningsstolper er viet betydelig oppmerksomhet også i Norge (Bevanger 1988, 1995b, 1997). En spørreundersøkelse i 1987 (Bevanger & Thingstad 1988) og 1992 (Bevanger 1995b) viste at spettekader oppstår lokalt eller regionalt, og at det geografiske skademønsteret delvis har sammenheng med spetteartenes utbredelse. De største artene, spesielt svartspett, forårsaker de alvorligste ødeleggelsene, men både grønnspett, gråspett, flaggspett og hvitryggspett er observert som betydelige skadeutøvere. I Nord-Norge er det derfor generelt liten skadefrekvens, mens både områder i Midt-, Vest-, Sør- og Øst-Norge lokalt kan ha betydelige problemer. Skadeomfanget synes imidlertid å endre seg over tid, hvilket kan ha sammenheng med «hakkespettvandringer» og kort- og langsiktige endringer i spettepopulasjonenes tetthet. Områder som med størst sikkerhet kan forutsettes å få problemer karakteriseres gjerne som gode hakkespetthabitater. Flest skader oppstår om våren i tilknytning til hekkeaktivitet og territorieetablering, men det er forskjeller mht. når og hvor på stolpene den enkelte art setter inn «hovedangrepet». Mye tyder på at området over knektefeste for travers, og området 2-3 m fra bakken, sjelden eller aldri angripes.

Hakkespettskader kan grupperes i tre hovedtyper: (i) Minst skade representerer utvidelser av eksisterende, små sprekker og hulrom. Trolig har slike hull bakgrunn i næringssøk etter som insekter og larver ofte er å finne i sprekker.

Hullene er gjerne bare et par cm dype, men det kan til gjengjeld være mange av dem langs sprekkdannelser i en stolpe. (ii) Større betydning har hull som strekker seg dypere inn, ofte inn mot kjerneveden, men som ikke er forlenget verken nedover eller oppover. Så langt er det ikke gitt noen god funksjonell forklaring på slike hull. (iii) Størst skade forårsaker hull som representerer hulrom i selve stolpen. Disse kan enten være laget som reirhull eller overnattingsplasser. Hullene er ofte store og kan ha svært dype uthulinger nedover stolpen, gjerne opp til en halv meter eller mer.

Spørreundersøkelsen i 1992 (Bevanger 1995b) viste at 67 % av 179 nettselskap som svarte hadde registrert skader, mens 6,7 % bedømte dem som små eller ubetydelige. Resten (dvs. 26,3 %) svarte at de ikke hadde problemer. Til sammen representerte de energiverkene som svarte 72,7 % av ledningsmassen på landsbasis; 94,9 % av ledningene (0,2-145 kV) hadde trestolper. Nettselskap med problemer (dvs. 67 %) representerte imidlertid 81,5 % av den totale ledningslengden som de 179 energiverkene tilsammen forvaltet, og 59,2 % av ledningsnettet på landsbasis (0,2-145 kV).

Oppgitte kostnader ved å skifte én stolpe varierte mellom NOK 3500-8000. Gjennomsnittskostnaden knyttet til utskifting av én stolpe i fordelingsnett med spenninger fra 0,2 til 22 kV er skjønnsmessig satt til NOK 6500. De fleste energiverkene oppga at det kostet fra NOK 15000 til NOK 25000 å skifte en høgspentstolpe. I kostnadsberegningene er det antatt at utskifting av én høgspentstolpe koster tre ganger så mye som å skifte en «lavspentstolpe».

Blant de 179 nettselskapene som svarte på spørreskjemaet oppga 95 antall stolper de hadde skiftet i løpet av de siste 10 årene. Omfanget varierte fra én stolpe pr 10 år til 30 stolper pr år. Ti energiverk oppga at det dreide seg om store stolper, dvs. i tilknytning til spenninger fra 60 kV opp til 132 kV. På bakgrunn av opplysninger om antall eksakte utskiftninger pr. år ble totalt antall stolpeskiftninger pr. år beregnet. Alle utskiftninger ble omgjort til «lavspentstolper», der 1 høgspentstolpe ble regnet som 3 «lavspentstolper».

De 95 nettselskapene hadde tilsammen i gjennomsnitt skiftet 451 «lavspentstolper» pr år. I alt hadde disse energiverkene et ledningsnett (0,2 - 145 kV) som representerte ca. 45 % av tilsvarende ledningsnett for landet sett under ett. Ved å benytte en utskiftingskostnad på 6500 pr. stolpe betyr dette en årlig kostnad på vel 2,9 millioner kr.

Flere nettselskap oppga at de hadde skiftet stolper, uten å oppgi antall, og mange påpekte at de ikke hadde gått til utskifting av stolper, men at de hadde betydelige årlige utgifter til reparasjoner, dvs. primært til igjenfylling av hull. I tillegg var det flere som oppga at de skiftet stolper, og som presiserte at de hadde tilleggskostnader på grunn av reparasjonsarbeider. Enkelte oppga også omkostninger i tilknytning til beskyttelsestiltak.

Undersøkelsen viste med all mulig tydelighet at problemer med hakkespettskader ikke er jevnt fordelt. Enkelte energiverk med svært små forsyningsnett kunne ha langt større skadefrekvens enn energiverk med mange ganger så store forsyningsnett. Det var dessuten tydelig at enkelte betraktet skader som førte til at én stolpe måtte skiftes som bagatellmessige gjennom utsagn som «ubetydelige skader; skiftet gjennomsnittlig 1 mast pr år de siste 10 år».

Beregningen som ble foretatt på bakgrunn av rundspørringen i 1988 og 1992 (Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1995b) representerer minimumstall, også sett på bakgrunn av at svarene bare representerer 72,7 % av ledningsnettet, selv om det er naturlig å anta at de energiverkene som ikke svarte hadde små problemer. En gjennomsnittlig årlig kostnad på omkring 3,5 millioner, vil trolig ligge betydelig nærmere de reelle utgifter hakkespetter medfører, landet sett under ett.

De tiltak som gjennom årene er foreslått er 1) fysiske hindringer, 2) kjemiske avskrekkingsmidler, 3) auditive skremsler, 4) visuelle skremsler, 5) «lokkemidler», 6) bruk av hardvedstolper og 7) avliving av skadeindivider. Blant disse er det så langt bare ulike former for fysiske hindringer som har vist seg effektiv. Nettingbekledning av stolpene er trolig det beste alternativet, både sett ut fra økonomi og effektivitet. For å gi 95 - 100 % beskyttelse må de øverste to tredjedeler av stolpene bekles med galvanisert, flettet sekskantnetting med tråddiameter på 1,6 - 2,0 mm og maskevidde 10 - 15 mm. Hvis det skal bygges nye ledninger i hakkespettområder, er det mest rasjonelt at nettingen påføres før stolpene reises. Visuelle skremsler, f.eks. hakkespettsilhuetter, er ikke vist å ha noen effekt og kan, ut fra det som er kjent om hakkespettenes atferdsbiologi, like gjerne antas å ha motsatt virkning, dvs. tiltrekke spetter.

Bærestyrken til hakkespettangrepne stolper kan bli svekket når tilstrekkelig mengde fibermasse fjernes, dvs. at det kan oppstå punktvis svekkelse av tre-stammens fysiske bæreevne. Svekkelse kan også tenkes å oppstå ved at hull innover i en impregnert stolpe åpner adkomst for fukt, som i neste omgang

gir muligheter for sopp- og algenedbryting av den sentrale delen av trevirket med dårligst impregneringsbeskyttelse. Undersøkelser i USA har imidlertid entydig vist at hakkespettskader i liten utstrekning fører til råteskader på impregnerte stolper, i alle fall på kort sikt (dvs. noen få år).

Bruddstyrketester av stolper både i USA og Norge har gjennomgående vist at bærestyrken til stolpene ikke svekkes i samme grad som det kunne forventes ut fra visuelle observasjoner av den vedmengde som var fjernet. Det synes å være grunnlag for å si at skader nær toppen av stolpen ikke svekker i samme grad som når skaden ligger nær maksimalt stresspunkt, hvilket som oftest ligger fra 1-3 meter over bakkenivå.

Det har vært tradisjon å «reparere» hakkespetthull, dvs. fylle igjen skadestedet med en eller annen masse. Bakgrunnen har både vært ønske om å styrke stolpene, hindre nye angrep samt forråtnelse av kjerneveden som har dårligst impregneringsbeskyttelse. Reparasjonsmaterialene har variert fra tjærelignende substanser og betong til tokomponent epoxyforbindelser. På grunnlag av omfattende tester og undersøkelser foretatt av U.S. Forest Service på 1960- og 70-tallet, er det svært komplisert å påvise statistisk signifikans for en enkelt variabel ved bruddstyrketester. Det ble funnet at å reparere stolper hadde liten effekt i forhold til framtidige angrep på stolpene.



*Et av hjelpemidlene for å avskrekke hakkespetter er silhuett av en svartspett. Det er ingen ting som tyder på at denne hindret spetter i å fortsette hakkingen - snarere tvert imot. Foto: Kjetil Bevanger*

# 11 Kunnskapsbehov og veien videre

Det er mye som fremdeles er ukjent innenfor problematikken kraftledninger og fugl

OPTIPOL var det første forskningsprosjektet i Norge der miljøkonsekvenser av kraftledningsbygging ble satt i fokus. Prosjektet ble tildelt så pass store ressurser at det ble mulig å gå dypere inn på en del problemstillinger som tidligere ikke hadde blitt belyst. Prosjektet resulterte også i at det ble klarere hvilke spørsmål som fremdeles ligger ubesvart, bl.a. gjennom de årlige brukermøtene hvor deltakerne fra ulike sektorer fremmet synspunkt på hva som var viktig å arbeide videre med. Nedenfor gis en punktvis oppsummering av tema som etter hvert har blitt utpekt – ikke i prioritert rekkefølge.

- **Fugl og «hotspots».** Ikke overraskende er fugl utpekt som et av de viktigste tema for framtidig forskning. Det omfatter bl.a. identifisering av «hotspots», dvs. områder og punkt og konstruksjoner som forårsaker spesiell stor dødelighet. Uten slike data vil det være vanskelig å iverksette tiltak for å hindre elektroksjonsulykker samt velge traseer for nye kraftledninger på en mest mulig miljøvennlig måte
- **Fugl og bestandseffekter.** Gjennom undersøkelsen i Ogdalen ble det vist at dødelighet som skyldes kollisjoner kan ha negative bestandseffekter. Slike undersøkelser er ressurskrevende og må foregå over et lengre tidsrom, bl.a. for å fange opp naturlige fluktusjoner i bestandene.
- **Fugl og trekk.** Fugletrekk er et tilbakevendende tema i tilknytning til utbygging både av vindkraft og kraftledninger. Norge er et land med store fuglebestander som trekker sør-nord om våren og motsatt om høsten. I tillegg er det manglende kunnskap både om lokale og regionale trekkleder. Trekkruiter og ledelinjer for fugl under trekk er viktig å få kartlagt. Det eneste effektive hjelpemiddel for å kunne gjøre dette er å bruke fugleradar.
- **Tiltak for å redusere fuglekollisjoner.** Det er begrenset kunnskap om hvilke effekter merking av luftliner har. Hvilken type merking er mest effektiv, hvor og når bør det merkes og i forhold til hvilke arter kan en forvente at slik merking vil hjelpe?
- **Simplex, duplex, triplex, quadriplex.** Det mangler kunnskap om hvorvidt ulike faselederkonfigurasjoner gir forskjeller mht. synlighet og kollisjonsomfang hos fugl.
- **Tiltak for å reduserer elektroksjonsulykker.** Undersøkelser både i Norge og andre land har vist at elektroksjonsulykker er knyttet til et fåtall konstruksjoner. Det mangler imidlertid storskala undersøkelser som kan vise hvordan slike ulykker er fordelt i tid og rom. Uten slik kunnskap vil det være en uoverkommelig oppgave å redusere omfanget av slike ulykker.
- **Restriksjoner i anleggsperioden.** I mange sammenhenger stilles krav til reduserte byggeaktiviteter når fugler og pattedyr reproducerer. Det finnes lite dokumentasjon på effekter av slike tiltak, f.eks. effekter av helikoptertransport vs. bakketransport?

- **Kumulative effekter/samlet belastning.** Et tilbakevendende tema er samlet belastning, dvs. sumeffekter av naturinngrep som skyldes infrastrukturbygging, enkelttyper som kraftledningsbygging eller mange typer samlet, der også vindkraft, vei, bane osv. trekkes inn.
- **Kraftledningskorridorer.** Det er knyttet en rekke spørsmål opp mot ryddebeltene til kraftledninger. Hva betyr ryddebeltet i økologisk sammenheng - som fragmenteringselement i landskapet, spredningskorridorer, barriere, beitepotensiale for ulike arter, biologisk mangfold generelt osv.
- **Effekter av begrenset skogrydding.** Som vist i OPTIPOL kan rydding av kraftledningskorridorer skje på flere måter for at arealene skal bli mer attraktive for fugler og pattedyr. Her gjenstår mange ubesvarte spørsmål.
- **Leveringssikkerhet.** En sikker strømforsyning er viktig. Konsekvenser av vær og uvær – hvordan ivareta både leveringssikkerhet og naturmiljø? En destabilisering av strømforsyningen kan imidlertid også finne sted på grunn av at fugler bruker transformatorer og andre elektriske strukturer som utkikkspost under jakt, for reirbygging eller andre formål slik at kortslutning og strømutfall blir resultatet. Klatrende pattedyr som mår og ekorn kan gjøre det samme. Slike strøbrudd kan ha betydelige økonomiske konsekvenser i forhold til økende krav om stabil strømforsyning. Her mangler kunnskap både om de økonomiske konsekvensene og om hvilke tiltak som kan settes i verk.
- **For- og etterundersøkelser.** Det er avgjørende at det finnes basisinformasjon om miljøverdiene i et utbyggingsområde for å foreta en god konsekvensutredning, eksempelvis hvilke fuglearter som finnes og den funksjon området har for de forskjellige artene. Ofte har det vært slik at konsekvensutredningen er gjort på bakgrunn av eksisterende informasjon, noe som i flere tilfeller i etterkant har vist seg å være utilstrekkelig. Ressursinvestering i innhenting av fylldig basisinformasjon er i et slikt perspektiv en god investering. Det er behov for en gjennomgang av metoder som bør benyttes når for- og etterundersøkelser skal gjøres. En norsk standard bør utarbeides.
- **Kamouflering.** I nettmeldingen «Vi bygger Norge – om utbygging av strømmettet» (Meld. St. 14 (2011–2012)), understrekes «utvikling og bruk av kamouflasjetiltak og landskapstilpassede master ikke må gå på bekostning av kraftledningens driftssikkerhet. Hensynet til å redusere visuelle virkninger må også avveies blant annet mot hensynet til å unngå fuglekollisjoner og behovet for tilstrekkelig skogrydding av sikkerhetsmessige årsaker». For å etterleve intensjonen i denne Stortingsmeldingen er det nødvendig med betydelig økt kunnskap omkring dette temaet.

# 12 Referanser

- Able, K.P. 1970. A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. - *Bird Banding* 41: 282-290.
- ABS Energy Research 2008. <http://www.energy-market-research.info/publisher/ABS-Energy-Research.shtml>
- Akcakaya, R., 1993. Risk analysis applied to bird populations. S. 29-1-29-15 I Huckabee, J.W. (red.). *Proceedings Avian Interactions with Utility Structures, International Workshop*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.
- Aldrich, J.W., Graber, R.R., Munro, D.A., Wallace, G.J., West, G.C. & Gahalane, V.H. 1966. Mortality at ceilometers. - *Auk* 83: 465-467.
- Alerstam, T. 1977. Why do migrating birds fly along coastlines? - *Journal of Theoretical Biology* 65: 699-712.
- Alerstam, T. 1985. Radar. - S. 492-494 i Campell, B. & Lack, E. (red.). *A dictionary of birds*. - T. & A.D. Poyser.
- Alerstam, T. 1990. *Bird Migration*. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Alerstam, T. & Karlsson, J. 1977. Fåglarnas flyghöjder och fågelkollisioner med byggnadsverk. En utredning för bedömning av risikoen för fågelkollisioner med vindkraftverk. - Department of Zoology, University of Lund. Report. 29 s.
- Alerstam, T. & Ulfstrand, S. 1974. A radar study of the autumn migration of wood pigeons *Columba palumbus* in southern Sweden. - *Ibis* 116: 522-542.
- Alerstam, T. & Ulfstrand, S. 1975. Diurnal migration of passerine birds over south Sweden in relation to wind direction and topography. - *Ornis Scandinavica* 6: 135-149.
- Alonso, J.C., Alonso, J.A. & Munoz-Pulido, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. - *Biological Conservation* 67: 129-134.
- Anderson, W.L. 1978. Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. - *Wildlife Society Bulletin* 6: 77-83.
- Andersson, E.W. 1953. Hackspettskador i kraftledningsstolpar av trä. - *Teknisk Tidskr.* 7-10.
- Anon. 1973. Biotopvernutvalg i foreningene. - *Jakt - fiske - friluftsliv* 102: 22-23, 62.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee). 2006. Suggested practices for avian protection on power lines: The State of the Art in 2006. - Edison Electric Institute, APLIC and California Energy Commission. Washington, DC and Sacramento, CA.
- Arend, P.H. 1970. The ecological impacts of transmission lines on the wildlife of San Francisco Bay. - A report by Wildlife Associates to Pacific Gas and Electrical Company, San Remo, California. 21 s.
- Arnold, T. W., and R. M. Zink. 2011. Collision mortality has no discernible effect on population trends of North American birds. - *PLoS ONE* 6: e24708. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0024708>
- 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. (red.) 1978. Impacts of transmission lines on birds flight. - Proc. Oak Ridge Ass. Univ. Tennessee: 151 s.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Cassel, J.F. 1977. Weather influences on nocturnal bird mortality at a North Dakota tower. - *Wilson Bulletin* 89: 291-299.
- Avery, M.L. 1979. Review of avian mortality due to collisions with manmade structures. - U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, Michigan.
- Bartzke, G.S. 2014. Effects of power lines on moose (*Alces alces*) habitat selection, movements and feeding activity. – PhD-avhandling, NTNU.
- Bayle, P., 1999. Preventing birds of prey problems at transmission lines in Western Europe. - *Journal of Raptor Research* 33: 43–48.
- Beaulaurier, D.L. 1981. Mitigation of bird collisions with transmission lines. - Bonneville Power Administration, U.S. Dept. of Energy, Oregon. Report. 83 s.
- Beaulaurier, D.L., James, B.W., Jackson, P.A., Meyer, J.R. & Lee, J.M. jr. 1984. Mitigating the incidence of bird collisions with transmission lines. - S. 539-550 i Crabtree, A.F. (red.). Proc. 3rd Int. Symp. Environ. Concerns in Rights-of-Way Management, Mississippi State University.
- Begall, S., Cerveny, J., Neef, J., Vojtech, O. & Burda, H. 2008. Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. - *Proc Natl Acad Sci USA* 105: 13451–13455.
- Benson, P.C. 1981. Large raptor electrocution and power pole utilization: a study in six western states. – PhD-avhandling. Brigham Young University, Provo, Utah. 98 s.
- Benson, P.C. 1982. Prevention of golden eagle electrocution. - EPRI, EA-2680, Project 1002. Electric Power Research Institute.
- Berg, E. 1996. Estetikk, landskap og kraftledninger. – *Kraft og Miljø* 22. NVE, Oslo.88 s.
- Berger, J. 2004. The last mile: how to sustain long distance migrations in mammals. - *Conservation Biology* 18: 320-331.
- Bergerud, A.T. 1974. The role of the environment in the aggregation, movement and disturbance behavior of caribou. - S. 552-584 i Geist, V. & Walters, F. (red.). *The behavior of ungulates and its relation to management*. IUCN, Morges.
- Bergman, G. 1978. Effects of wind conditions on the autumn migration of waterfowl between the White Sea area and the Baltic region. - *Oikos* 30: 393-397.
- Bern Convention 2004. Recommendation No. 110 on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds (<https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?id=847305&BackColorInternet=DBDCF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogged=FDC864#Top>)
- Berthold, P. (red.). 1991. - *Orientation in Birds*. - Birkhäuser, Basel.
- Bevanger, K. 1984. Høgspennlinjer - en trussel mot fuglelivet? - S. 163-165 i Hillestad, K.O. (red.). *Kraft, ledning og landskap. Kraft og miljø* 8.
- Bevanger, K. 1988a. Fugledød ved kollisjon mot kraftledninger. - *Vår Fuglefauna* 11: 15-20.
- Bevanger, K. 1988b. Tiltak mot spetteskader, elektrokusjon og kollisjoner. - *Vår Fuglefauna* 11: 5-13.

- Bevanger, K. 1988c. Skogsfugl og kollisjoner med høgspennetledninger i midtnorsk skogsterreng. - Økoforsk Rapport 9. 53 s.
- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazards to game birds in the Central Norwegian coniferous forest. - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 13: 11-18.
- Bevanger, K. 1993a. Avian interactions with utility structures – a biological approach. – PhD-avhandling, NTNU.
- Bevanger, K. 1993b. Fuglekollisjoner mot en 220 kV kraftledning i Polmak, Finnmark. - NINA Forskningsrapport 40. 26 s.
- Bevanger, K. 1994 a. Bird interactions with utility structures; collision and electrocution, causes and mitigating measures. - Ibis 136: 412-425.
- Bevanger, K. 1994 b. Three questions on utility structures and avian mortality - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 17: 107-114.
- Bevanger, K. 1994c. Konsekvenser av en 66 kV kraftledning for fuglelivet ved Borrevann, Vest-fold. - NINA Forskningsrapport 52. 37 s.
- Bevanger, K. 1995a. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. - Journal of Applied Ecology 32: 745-753.
- Bevanger, K. 1995b. Hakkespetter som konfliktfaktor i elektrisitetsforsyningen. - NINA Oppdragsmelding 333. 30 s.
- Bevanger, K. 1997. Woodpeckers, a nuisance to energy companies. - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 20: 81-92.
- Bevanger, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. – Biological Conservation 86: 67-76.
- Bevanger, K. 1999. Estimating bird mortality caused by collision with power lines and electrocution; a review of methodology. – S. 29-56 i Ferrer, M. & Janss, G.F.E. (red.). Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding. Quercus, Spania.
- Bevanger, K. 2011. Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. - NINA Rapport 674. 60 s.
- Bevanger, K., Bakke, Ø. & Engen, S. 1994. Corpse removal experiments with Willow Ptarmigan (*Lagopus lagopus*) in power-line corridors. – Ökologie der Vögel (Ecol. Birds) 16: 597-607.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kleven, O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J. 2014. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Final Report; findings 2009 – 2014. - NINA Report 1012. 92 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2010. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2010. – NINA Report 619. 51 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J.

2011. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2011. - NINA Report 762. 52 pp.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kleven, O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J. 2012. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2012 - NINA Report 904. 57 pp.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2009. "Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives" (OPTIPOL). Progress Report 2009. - NINA Report 504. 46 s.
- Bevanger, K., Berntsen, F., Clausen, S., Dahl, E.L., Flagstad, Ø. Follstad, A., Halley, D., Hanssen, F., Johnsen, L., Kvaløy, P., Lund-Hoel, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Rei-tan, O., Røskaft, E., Steinheim, Y., Stokke, B. & Vang, R. 2010b. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (Bird-Wind). Report on findings 2007-2010. - NINA Report 620. 152 s.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2001. Bird collisions with power lines – an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). – *Biological Conservation* 99: 341-346.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2004. Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. – *Animal Biodiversity and Conservation* 27: 67-77.
- Bevanger, K., Brøseth, H. & Sandaker, O. 1998. Dødelighet hos fugl som følge av kollisjoner mot kraftledninger i Mørkedalen, Hemsedal-fjellet. - NINA Oppdragsmelding 531. 41 s.
- Bevanger, K., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Magnusson, N. & Refsnæs, S. 2014. Challenges and opportunities in preventing bird electrocution in Coastal Norway. - Proceedings International Conference on Overhead Lines, March 31-April 3, 2014, Fort Collins, Colorado U.S.A.
- Bevanger, K., Falldorf, T. & Strand, O. 2005a. Rv7-tunneler på Hardangervidda. Effekter for villrein. - NINA Rapport 106. 40 s.
- Bevanger, K. & Jordhøy, P. 2004. Villrein – fjellets nomade. – Naturforlaget, Oslo. 168 s.
- Bevanger, K., Linnell, J.D.C., Odden, J. & Strand, O. 2013. Rovvilt og villrein. En kunnskapsstatus med utgangspunkt i Blefjellområdet. - NINA Rapport 978. 57 s.
- Bevanger, K. & Overskaug, K. 1998. Utility structures as a mortality factor for raptor and owls in Norway. – S. 381-392 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. & Ferrero, J.J. (red.). Proceedings Holarctic Birds of Prey; ADENEX-WWBP, Badajoz, Extremadura, Spain, 17-22 April 1995.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2012. Fugl og kraftledninger - Tiltak som kan redusere fugledød. – Informasjonsbrosjyre utgitt av NVE.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013a. Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektrokusjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge. - NINA Rapport 763. 62 s.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013b. Kamouflering av kraftledninger. Evaluering av økologiske og tekniske implikasjoner - NINA Rapport 878. 46 s.
- Bevanger, K. & Sandaker, O. 1993. Power lines as a mortality factor for willow grouse in Hemsedal. - NINA Oppdragsmelding 193. 25 s.

- Bevanger, K. & Thingstad, P.G. 1988. Forholdet fugl-konstruksjoner for overføring av elektrisk energi. - Økoforsk Utredning 1. 133 s.
- Bihli, H.J. 2013. Veileder for utforming av søknader om anleggskonsesjon for kraftoverføringsanlegg. Norges Vassdrags og energidirektorat (NVE) 2013. Veileder nr. 4/2013 (Revidert 3.9.2015). 45 s.
- Bjørneraas, K., Solberg, E.J., Herfindal, I., Moorter, B.V., Rolandsen, C.M., Tremblay, J.-P., Skarpe, C., Sæther, B.-E., Eriksen, R. & Astrup, R. 2011. Moose *Alces alces* habitat use at multiple temporal scales in a human-altered landscape. - *Wildlife Biology* 17: 44-54.
- Blokpoel, H. & Hatch, D.R.M. 1976. Snow geese, disturbed by aircraft, crash into power lines. - *Canadian Field Notes* 90: 195.
- Boeker, E.L. & Nickerson, P.R. 1975. Raptor electrocutions. - *Wildlife Society Bulletin* 3: 79-81.
- Bowmaker, J.K., Heath, L.A., Wilkie, S.E. & Hunt, D.M. 1997 Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. - *Vision Research* 37: 2183-2194.
- Brainard, G.C., Kavet, R. & Kheifets, L.I. 1999. The relationship between electromagnetic field and light exposures to melatonin and breast cancer risk: A review of the relevant literature. - *Journal of Pineal Research* 26: 65-100.
- Brander, T. 1956. Om av spillkråkan (*Dryocopus martius* L.) huggna hål i ladväggar och ledningsstolpar. - *Mem. Soc. Fauna et Flora Fenn.* 31: 69-74.
- Brown, W.M. & Drewien, R.C. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. - *Wildlife Society Bulletin* 23: 217-227.
- Bruderer, B. & Steidinger, P. 1972. Methods of quantitative and qualitative analysis of bird migration with a tracking radar. - *NASA Spec. Publ.* 262: 151-167.
- Brøseth, H. & Bevanger, K. 2014. Black grouse and capercaillie mortality and population estimates by DNA identification in relation to power line ROW. - *Environmental Concerns In Rights-Of-Way Management*. - S. 121-125 i Doucet, G.J. (red.). *Proceedings from the Tenth Symposium*. Phoenix, AZ, USA, September 30-October 3, 2012.
- Burda, H., Begall, S., Červený, J., Neefa, J. & Nemeč, C. 2009. Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. - *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 5708-5713. doi\_10.1073\_pnas.0811194106
- Calvert, A.M., Bishop, C.A., Elliot, R.D., Krebs, E.A. & Kydd, T.M., Machtans, C.S. & Robertson, G.J. 2013. A synthesis of human-related avian mortality in Canada. - *Avian Conservation and Ecology* 8:11. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00581-080211>
- Christensen, H. 1980. Undersøgelser over fuglekollisioner mod højspændingsledninger gennem det naturvidenskabelige reservat Vejlerne - efteråret 1979. - *Naturhistorisk Museum, Århus. Rapport.* 25 s.
- Clements, F.E. 1905. *Research methods in ecology*. - Lincoln, Nebraska. The University Publishing Company. 368 s.
- Collar, N.J. & Andrew, P. 1988. Birds to watch. The ICBP World Check-list of Threatened Birds. - *ICBP Tech. Publ.* 8: 1-303.
- Collett, R. 1921. *Norges fugle II*. - H. Aschehoug & Co., Kristiania.
- Coues, E. 1876. The destruction of birds by telegraph wire. - *American Naturalist* 10: 734.

- Cramp, S. (red.). 1985. The birds of the western Palearctic IV. – Oxford University Press, Oxford.
- Crivelli, A.J., Jerrentrup, H. & Mitchev, T. 1988. Electric power lines: a cause of mortality in *Pelecanus risopus* Bruch, a world endangered bird species. - Colonial Waterbirds 11: 301-305.
- Cucurachi, S., Tamis, W.L.M., Vijver, M.G., Peijnenburg, W.J.G.M., Bolte, J.F.B. & de Snoo, G.R. 2013. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). Environment International 51: 116–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.009>
- del Hoyo, J., Elliott, A. & Sargatal, J. (red.). 1992. Handbook of the birds of the world, vol. 1. Ostrich to Ducks. - Lynx Edicions, Barcelona.
- De la Zerda, S. & Roselli, L. 2003. Mitigación de colisión de aves contra líneas de transmisión eléctrica con marcaje del cable de guarda. Ornithología Colombiana 1: 42–62.
- Direktoratet for naturforvaltning 2000. Viltkartlegging. – DN-håndbok 11.
- Direktoratet for naturforvaltning 2001. Kartlegging av ferskvannslokaliteter. – DN-håndbok 15.
- Direktoratet for naturforvaltning 2007. Kartlegging av naturtyper – verdsetting av biologisk mangfold. – DN Håndbok 13. 2. utgave 2006 (oppdatert 2007).
- Direktoratet for naturforvaltning 2011. Veileder til forskrift om utvalgte naturtyper. – DN-håndbok 31-2011.
- Dobben, W.H. van & Makkink, G.F. 1933. Der einfluss der Leitlinien an die Richtung der Herbstzuges am Niederländischen Wattenmeer. - Ardea 22: 30-48.
- Dobben, W.H. van. 1955. Nature and strength of the attraction exerted by leading lines. - Acta XI Congr. Internat. Ornith. Basel: 165-16.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W. 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. - New York Academy of Sciences 1134: 233–266. doi: 10.1196/annals.1439.015.
- Durman, R. 1976. Bardsey. - S. 29-46 i Durman, R. (red.). Bird Observatories in Britain and Ireland. - T. & A.D. Poyser.
- Dwyer, J.F. 2004. Investigating and mitigating raptor electrocution in an urban environment. - M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Eastwood, E. 1967. Radar Ornithology. - Methuen.
- Eder, S.H.K., Cadiou, H., Muhamad, A., McNaughton, P.A., Kirschvink, J.L. & Winklhofer, M. 2012. Magnetic characterization of isolated candidate vertebrate magnetoreceptor cells. - PNAS 109: 12022-12027.
- 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.
- Ericson, W.P., Johnson, G.D. & Young Jr., D.P. 2005. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. – USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191.

- Evans, P.R. 1990. Strategies of migration in waders. - I Gwinner, E. (red.). Bird migration: The physiology and ecophysiology. Springer Verlag, Berlin.
- Fernie, K.J. & Reynold, S. J. 2005. The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review. - Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 8: 127-140.
- Ferrer, M., De La Riva, M. & Castroviejo, J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. - Journal of Field Ornithology 62: 181-190.
- Fiedler, G. & Wissner, A. 1980. Freileitungen als tödliche Gefahr für Störche *Ciconia ciconia*. - Ökologie der Vögel, Sonderheft 2: 59-109.
- Flydal, K., Korslund, L., Reimers, E., Johansen, F. & J. E. Colman. 2009. Effects of power lines on area use and behaviour of semi-domestic reindeer in enclosures. - International Journal of Ecology: 1-14. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/340953>
- Flydal, K., Kilde, I.R., Enger, P.S. & Reimers, E. 2010. Reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) perception of noise from power lines. - Rangifer 23: 21-24.
- Flydal, K. & Reimers E. 2002. Lokale effekter av kraftledninger og vindmøller - S. 11-19 i Norges Forskningsråd (red.). Rapport fra REIN-prosjektet.
- 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. Kraftlinjekollisjoner 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. Foredrag og diskusjoner ved symposiet 15.-17. april 1980. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk.
- Forprosjektet kraftledninger og fugl. 1988. Prosjektet kraftledninger og fugl. Forprosjektets sluttrapport. - DN Rapport 7. 19 s.
- Fortin, M.J., Olson R.J., Ferson, S., Iverson, L., Hunsaker, C., Edwards, G., Levine, D., Butera, K. & Klemas, V. 2000. Issues related to the detection of boundaries. - Landscape Ecology 15: 453-466.
- Frid, A. & Dill, L. 2002. Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. - Conservation Ecology 6: 94-109.
- Frostating lagmannsrett 1989. - Overskjønnssak 46/1988.
- Fryxell, J.M., Greever, J. & Sinclair, A.R.E. 1988. Why are migratory ungulates so abundant? - American Naturalist 131: 781-198.
- Gál, J., Horváth, G., Barta, A. & Wehner, R. 2001. Polarization of the moonlit clear night sky measured by full-sky imaging polarimetry at full moon: comparison of the polarization of moonlit and sunlit skies. - Journal of Geophysical Research 106: 22647-22653.
- Gehring, J., Kerlinger, P. & Manville, A.M. 2009. Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. - Ecological Applications 19: 505-514.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1929. «Zugstrassen» - Leitlinien. - J. Orn. Festschr. Hartert: 17-32.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1933. Zur Theorie der Leitlinie. - Ardea 22: 83-92.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1963. Zur Terminologie und Theorie der Leitlinie. - J. Ornith. 104: 191-204.

- Gill, J.A., Norris, K. & Sutherland, W.J. 2001a. Why behavioural responses may not reflect the population consequences of human disturbance. - *Biological Conservation* 97: 265-268.
- Gill, J.A., Norris, K. & Sutherland, W.J. 2001b. The effects of disturbance on habitat use by black-tailed godwits *Limosa limosa*. - *Journal of Applied Ecology* 38: 846-856.
- Gill, J.A. & Sutherland, W.J. 2000. Predicting the consequences of human disturbance from behaviour desitions. – S. 51-64 i Gosling, M.L. & Sutherland, W.J. (red.). *Behaviour and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gorini, L., Linnell, J.D.C., May, R., Panzacchi, M., Boitani, L., Odden, M. & Nilsen, E.B. 2012. Habitat heterogeneity and mammalian predator–prey interactions. – *Mammal Review* 42: 55-77. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2011.00189.x
- Grischtschenko, V. & Gaber, N. 1990. Analyse der Todesursachen des Weisstorchs in der Ukraine. - *Ornitologische Mitteilungen* 42: 121-123.
- Grotli, S. 1922. Fugledrap ved luftledning. - *Norsk ornitologisk tidsskrift* 1: 125-126.
- Grosse, H., Sykora, W. & Steinbach, R. 1980. Eine 220-kV-Hochspannungstrasse im Überspannungsgebiet der Talsperre Windischleuba war Vogelfalle. - *Falke* 27: 247-248.
- Gundersen, V., Andersen, O., Kaltenborn, B.P., Vistad, O. I. & Wold, L.C. 2011. Målstyrt forvaltning. Metoder for håndtering av ferdsl i verneområder. – NINA Rapport 615. 107 s.
- Gylstorff, N.-H. 1979. Fugles kollisioner med elledninger. – PhD-avhandling, Univ. Århus, Århus.
- Haas, D. 1980. Gefährdung unserer Grossvögel durch Stromschlag - eine Dokumentation. – *Ökologie der Vögel* 2, Sonderheft 1980: 7-57.
- Haas, D. (red.). 2008. Stromtod von Vögeln. Grundlagen und Standards zum Vogelschutz an Freileitungen. – *Ökologie der Vögel*, 26. 303 s.
- Hanssen, F., Thomassen, J., May R. & Bevanger, K. 2014. A Least-Cost-Path (LCP) toolbox for optimal routing of high voltage power lines for a sustainable future. *Environmental Concerns In Rights-Of-Way Management*. - Pp. 181-186 in Doucet, G.J. (ed.). *Proceedings from the Tenth Symposium*. Phoenix, AZ, USA, September 30-October 3, 2012.
- Hartman, P.A., Byrne, S. & Dedon, M.F. 1992. Bird mortality in relation to the Mare Island 115-kV transmission line: Final report 1988-1991. - Dept. of Navy, Western Div., Cal. PG&E Report 443-91.3.
- Harness, R.E. 2000. Effectively retrofitting powerlines to reduce raptor mortality. – S. D2-1–D2-8 i: *Proceedings of the Rural Electric Power Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA.
- Harness, R.E. 2002. Raptors: Test to Protect: Utilities Provide Alternative Perches for Migratory Birds. - March ed. *Transmission & Distribution World*: 18–21.
- Harness, R.E. & Garrett, M. 1999. Effectiveness of perch guards to prevent raptor electrocutions. - *Journal of the Colorado Field Ornithologists* 33: 215–220.
- Harness, R.E. & Wilson, K.R. 2001. Utility structures associated with raptor electrocutions in rural areas. - *Wildlife Society Bulletin* 29: 612–623.

- Hebert, E., Reese, E. & Mark, L. 1995. Avian collision and electrocution: an annotated bibliography. - California Energy Comm. [http://www.energy.ca.gov/reports/avian\\_bibliography.html](http://www.energy.ca.gov/reports/avian_bibliography.html).
- Heijnis, R. 1980. Vogeltod durch Drahtanflüge bei Hochspannungsleitungen. - Ökologe der Vögel 2, Sonderheft 1980: 111-129.
- Henriksen S. & Hilmo, O. (red.) 2015. Norsk rødliste for arter 2015. Artsdatabanken, Norge.
- Heitkøtter, O. 1972. Utvalg for biotopvern i foreningene. - Jakt - fiske - friluftsliv 101: 170-171.
- Hillestad, K.O. 1984. Kraft, ledning og landskap. - Kraft og Miljø 8. NVE, Oslo. 175 s.
- Hillestad, K.O., Sæveraas, J.M., & Lid, G. 1981. Stolper & spetter. - VN Rapport 6. NVE, Natur- og landskapsavdelingen. 16 s. + vedlegg.
- Hiltunen, E. 1953. Sähkö- ja puhelinlankoihin lentäneistä linnuista. - Suomen Riista 8: 70-76.
- Hobbs, J.C.A. 1987. Powerlines and gamebirds: North American experiences for southern Africa. - South African Wildlife Research, Suppl. 1: 24-31.
- Hogg, C., Neveu, M, Stokkan, K.-A., Folkow, L., Cottrill, P., Douglas, R., Hunt, D.M. & Jeffery, G. 2011. Arctic reindeer extend their visual range into the ultraviolet. - The Journal of Experimental Biology 214: 2014-2019. doi:10.1242/jeb.053553
- Hunt, D.M., Carvalho, L.S., Cowing, J.A. & Davies, W.J. 2009. Evolution and spectral tuning of visual pigments in birds and mammals. - Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 364, doi: 10.1098/rstb.2009.0044
- Hunt, D.M., Wilkie, S.E., Bowmaker, J.K., & Poopalasundaram, S. 2001. Vision in the ultraviolet. - Cellular and Molecular Life Sciences 58: 1583-1598.
- Jacobsen, K.-O., Øien, I.J., Steen, O.F., Oddane, B. & Røv, N. 2008. Hubroens bestandsstatus i Norge. - Vår Fuglefauna 31: 150-158.
- James, B.W. & Haak, B.A. 1979. Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. - Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon. 108 s.
- Jenkins, A.R., Smallie, J.J. & Diamond, M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. - Bird Conservation International 20: 263-278.
- Johannessen, E. 1952. Ledningene dreper. - Jeger og Fisker 81: 143-144.
- Johnson, N.H. (red.). 2008. Kamouflasjetiltak på kraftledninger. - NVE Rapport 4/2008. 109 s.
- Jorgensen, R.N, Pfitzenmeyer, H.T. & Bramble, W.C. 1957. Prevention of woodpecker damage to wooden utility poles. - Penn. State Univ. Agr. Exp. Sta. Progr. Rep. 173. 4 s.
- Kazama, T. 1980. Telephone pole breakage caused by green woodpecker Picus awokera. - J. Yamashina Inst. Ornith. 12: 225-226.
- Kemper, C.A. 1964. A tower for TV, 30 000 dead birds. - Audubon Magazine 66: 89-90.
- Kerlinger, P. & Moore, F.R. 1989. Atmospheric structure and avian migration. - S. 109-142 i Power, D.M. (red.). Current Ornithology, vol. 6. Plenum, New York.



- Kjos-Hanssen, O. 1980. Registreringer av fugl og pattedyr under kraftlinjer. S. 158-168 i Kjos-Hanssen, O., Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.). Vassdragsregulerings virkninger på vilt. Foredrag og diskusjoner ved symposiet 15.-17. april 1980. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk.
- Kjos-Hanssen, O., Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.) 1980. Vassdragsregulerings virkninger på vilt. Foredrag og diskusjoner ved symposiet 15.-17. april 1980. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk.
- Klein, D.R. 1971. Reaction of reindeer to obstructions and disturbances. - *Science* 173: 393-398.
- Klein, D.R. 1980. Reaction of caribou and reindeer to obstructions - a reassessment. - S. 519-527 i Reimers, E., Gaare, E. & Skjenneberg, S. (red.). Proceedings of the second inter-national reindeer/caribou symposium. Røros, Norway, 1979.
- Klem, Jr., D. 2009. Preventing Bird-Window Collisions. - *Wilson Journal of Ornithology* 121: 314-321.
- Koops, F.B.J. 1985. Gemarkerde bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland. Situatie in mei 1985. - KEMA VII85-51 MOB. Report, Arnhem. 9 s.
- Koops, F.B.J. 1986. Draadslachtoffers in Nederland en effecten van markering. - KEMA 01282-MOB 86-3048. Report, Arnhem.
- Kramer, G. 1953. Wird die Sonnenhöhe bei der Heimfindeorientierung verwertet? - *Journal für Ornithologie* 94: 201-219.
- Kramer, G. 1957. Experiments on bird orientation and their interpretation. - *Ibis* 99: 196-227.
- Krüger, R., Maritz, A. & van Rooyen, C. 2004. Vulture electrocutions on vertically configured medium voltage structures in the Northern Cape Province, South Africa. - S. 437-441 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. (red.). *Raptors Worldwide*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, Germany, and MME/BirdLife Hungary, Budepest.
- Kuroda, N. 1955. Research and data on woodpecker damage to timber and electric poles. - *Misc. Rep. Yamashina's Inst. Orn. & Zool.* 30: 227-240.
- Köppel, J., Dahmen, M., Helfrich, J., Schuster, E. & Bulling, L. 2014. Cautious but committed: moving toward adaptive planning and operation strategies for renewable energy's wildlife implications. - *Environmental Management* 54: 744-755.
- Langston, R.H.W. & Pullan, J.D. 2003. Windfarms and Birds: An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. - Report written by BirdLife International on behalf of the Bern Convention T-PVS/Inf (2003) 12. Royal Society for the Protection of Birds/Birdlife in the UK, Strasbourg, Luxembourg.
- Larsen, R.S. & Stensrud, O.H. 1988. Elektrisitetsdøden - den største trusselen mot hubrobestanden i Sørøst-Norge? - *Vår Fuglefauna* 11: 29-33.
- Laughlin, S.B. 1990. Invertebrate vision at low luminances. - S. 223-250 i Hess, R.F., Sharpe, L.T. & Nordby, K. (red.). *Night vision*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Ledger, J.A., 1980. Plea to save Africa's birds from electrocution – focus on ESCOM research committee's research. - *Megawatt* 63: 11–13.
- Ledger, J.A. 1984. Engineering solutions to the problem of vulture electrocutions on electricity towers. - *Cert. Engineer* 57: 92-95.
- Ledger, J.A. & Annegarn, H.J. 1981. Electrocution hazards to the Cape vulture. - *Biological Conservation* 20: 15-24.
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L. & Savidge, J.A. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: a global review. - *Biological Conservation* 136: 159-174.
- Leshem, Y. 1985. Griffon Vultures in Israel: Electrocution and other reasons for a declining population. - *Vulture News* 13: 14-20.
- Lid, G. 1977. Fugler brennes ihjel av gassflammer i Nordsjøen. - *Fauna* 30: 185-190.
- Lindgren, R. 1984. Fågelskydd. Miljøfrågor 8, kraftledninger. - *Vattenfall Rapport*. Vällingby: 1-7.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux Jr., S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville II, A.M., Travis, E.R., Drake, D. 2012. An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada. *PLoS ONE* 7, e34025.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux Jr., S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville II, A.M., Travis, E.R., Drake, D. 2013. Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? – *Biological Conservation* 158: 410-419.
- Longridge, M.W. 1986. The impacts of transmission lines on bird flight behaviour, with reference to collision mortality and systems reliability. - *Bird Res. Comm., ESCOM, Johannesburg*. Report. 279 s.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2015. Direct mortality of birds from anthropogenic causes. - *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46: 99–120. Doi: 0.1146/annurev-ecolsys-112414-054133
- Loss, S.R., Will, T., Loss, S.S. & Marra, P.P. 2014. Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. - *The Condor* 116: 8-23. Doi: <http://dx.doi.org/10.1650/CONDOR-13-090.1>
- Lund-Tangen, H.I. 1980. Biotopendringer på hogstflater. S. 145-150 i Kjos-Hanssen, O., Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.). *Vassdragsregulerings virkninger på vilt*. Foredrag og diskusjoner ved symposiet 15.-17. april 1980. Norges vassdrags- og elektrisetsvesen, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk. 300 s.
- Maarel, E. van der. 1990. Ecotones and ecoclines are different. - *Journal of Vegetation Science* 1: 135-138.
- Malcolm, J.M. 1982. Bird collision with a power transmission line and their relation to botulism at a Montana wetland. - *Wildlife Society Bulletin* 10: 297-304.
- Malmberg, T. 1955. Topographical concentration of flight-lines. - *Acta XI Congr. Internat. Ornith. Basel*: 161-164.
- Markus, M.B. 1972. Mortality of vultures caused by electrocution. - *Nature* 238: 228.
- Martell, A.M. & Russell, D.E. (red.) 1985. Caribou and human activity. – *Proceedings of the 1st American Caribou Workshop, Whitehorse, Youkon, 28-29 September 1983*.

- Martin, G.R. 1985. Eye. - S. 311-373 i King, A.S. & Mclelland, J. (red.). Form and function in birds. vol. 3.
- Martin, G.R. 1990. Birds by night. - T. & A.D. Poyser, London. 227 s.
- Martin, G.R. 2011. Through birds' eyes: insights into avian sensory ecology. – Journal of Orni-thology. DOI 10.1007/s10336-011-0771-5.
- Martin, G.R. & Osorio, D. 2008. Vision in birds. – S. 25-52 i Masland, R.H. & Albright, T.D. (red.). The senses: a comprehensive reference. Vol. 1. Vision 1 (Elsevier). 614 s.
- Martin, G., Rojas, L.M., Ramírez, Y. & McNeil, R. 2004. The eyes of oilbirds (*Steatornis caripensis*): pushing at the limits of sensitivity. – Naturwissenschaften 91: 26-29.
- Masden, E.A., Fox, A.D., Furness, R.W., Bullman, R. & Haydon, D.T. 2010. Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: Developing a conceptual framework. - Environmental Impact Assessment Review 30: 1–7.
- May, R.F. 2016. Mitigation options for birds. – S. xx-xx i M. Perrow ed. Wildlife and Windfarms: Conflicts and Solutions - Volume 1. Onshore. Pelagic Publishing, Exeter, United Kingdom.
- May, R., Dahl, E.L., Follestad, A., Reitan, O. & Bevanger, K. 2010. Samlet belastning av vindkraftutbygging på fugl – standardvilkår for for- og etterundersøkelser. – NINA Rapport 623. 34 s.
- May, R.F., Reitan, O., Bevanger, K., Lorentsen, S.-H. & Nygård, T. 2015. Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. – Renewable and Sustainable Energy Reviews 42: 170-181.
- McAtee, W.L. 1911. Woodpeckers in relation to trees and wood products. - U.S. Dep. Agr. Biol. Surv. Bull. 39. 99 s.
- McIlwain, J.T. 1996. An introduction to the biology of vision. – Cambridge University Press.
- McKenna, M.G. & Allard, G.E. 1976. Avian mortality from wire collisions. - North Dakota Outdoors 39: 16-18.
- McNeil, R., Rodriguez, S.J.R. & Ouellet, H. 1985. Bird mortality at a power transmission line in Northeastern Venezuela. - Biological Conservation 31: 153-165.
- Mehlum, F. 1977. Innsamling av fyrfalne trekkfugler fra Færder fyr og noen betraktninger om årsakene til fuglekollisjoner mot lysende installasjoner. - Fauna 30: 191-194.
- Meyer, J.R. 1978. Effects of transmission lines on bird flight behavior and collision mortality. – Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Miquet, A. 1990. Mortality in Black grouse *Tetrao tetrix* due to Elevated cables. – Biological Conservation 54: 349-355.
- Michener, H. 1928. Where engineer and ornithologist meet: transmission line troubles caused by birds. - Condor 30: 169-175.
- Miljødirektoratet 2009. Handlingsplan for hubro *Bubo bubo*. –DN Rapport 2009-1. 26 s.
- 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., Boeker, E.L., Thorsell, R.S. & Olendorff, R.R. 1975. Suggested practices for raptor protection on power lines. - Raptor Research Foundations, Provo, Utah. Report. 21 s.

- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1993. Effectiveness of yellow aviation balls in reducing sandhill crane collisions with powerlines. - S. 21.1-21.17 i EPRI (red.). Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures. International Workshop Miami 13-15 september 1992. EPRI Report TR-103268.
- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1991. Effectiveness of marking powerlines to reduce Sandhill Crane collisions. - *Wildlife Society Bulletin* 19: 442-449.
- Mueller, H.C. & Berger, D.D. 1967. Wind drift, leading lines, and diurnal migrations. - *Wilson Bulletin* 79: 50-63.
- Nakajima, S. & Shimuza, K. 1957. Ecological observation of woodpeckers injuring telephone poles and some means of preventing damage. - *Bull. Fac. Agric. Univ. Miyazaki* 3: 12-22.
- Negro, J.J. & Ferrer, M. 1995. Mitigating measures to reduce electrocution of birds on power lines: a comment on Bevanger's review. - *Ibis* 137: 423-424.
- Nellemann, C., Vistnes, I., Jordhøy, P. & Strand, O. 2001. Winter distribution of wild reindeer in relation to power lines, roads and resorts. - *Biological Conservation* 101: 351-360.
- Nellemann, C., Vistnes, I., Jordhøy, P. & Strand, O. 2002. Regionale effekter av kraftledning. - S. 21-42 i Norges Forskningsråd (red.). Rapport fra REIN-prosjektet.
- NFR (Norges forskningsråd) 2002. Rapport fra REIN-prosjektet. - NFR Rapport, Oslo. 45 s.
- Nikolaus, G. 1984. Large numbers of birds killed by electric power line. - *Scopus* 8: 42.
- Norberg, U.M. 1990. Vertebrate flight. - Springer-Verlag. 291 s.
- Nordmøre herredsrett: 1988. - Rettsbok for Nordmøre herredsrett 22/08/88.
- NVE (Norges vassdrags og energidirektorat) 2011. Rettleiar for utarbeiding av miljø-, transport og anleggsplan (MTA) for anlegg for konsesjon etter energilova. 14 s. [http://webby.nve.no/publikasjoner/veileder/2011/veileder2011\\_06.pdf](http://webby.nve.no/publikasjoner/veileder/2011/veileder2011_06.pdf)
- O'Brien, G.P. 1983. Power pole damage by acorn woodpeckers in Southeastern Arizona. U.S. Agric. For. Serv. Tech. Rep. RM99: 14-18
- Oddane, B. & Undheim, O. 2007. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren- våren 2007. - Naturforvalteren AS. Rapport nr 2007-7.
- Oddane, B., Undheim, O. & Magersnes, R. 2008. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren-hekkesesongen 2007. - Naturforvalteren AS 2008-1.
- Okano, T., Kojima, D., Fukada, Y., Shichida, Y., Yoshizawa, T. 1992. Primary structures of chicken cone visual pigments: vertebrate rhodopsins have evolved out of cone visual pigments. - *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*
- Olendorff, R.R., Miller, A.D. & Lehman, R.N. 1981. Suggested practices for raptor protection on power lines. The state of the art in 1981. - *Raptor Res. Found. Raptor Res. Report* 4. 111 s.
- Olendorff, R.R. & Lehman, R.N. 1986. Raptor collision with utility lines: an analysis using subjective field observations. - Pacific Gas and Electric Company, California: 1-73.
- Pedersen, H.C., Steen, H., Kastdalen, L., Brøseth, H., Ims, R.A., Svendsen, W. & Yoccoz, N.G. 2004. Weak compensation of harvest despite strong density-dependent growth in willow ptarmigan. - *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 271: 381-385.

- Pennycuik, C.J. 1972. Soaring behaviour and performance of some East African birds, observed from a motor-glider. - *Ibis* 114: 178-218.
- Pennycuik, C.J., Alerstam, T. & Larsson, B. 1979. Soaring migration of the common crane *Grus grus* observed by radar and from an aircraft. - *Ornis Scandinavica* 10: 241-251.
- Perdeck, A.C. & Speek, G. 1984. A radar study of the influence of expected ground speed, cloudiness, and temperature on diurnal migrating intensity. - *Ardea* 72: 189-198.
- Peterson, A. 1951. Hackspettar och trästolpar. - Skogen: 176.
- Pfizenmeyer, H.T. 1956. Woodpeckers VS scientists. - *New York State Conservationist*: 6-8.
- Preece, A. W., Hand, J. W., Clarke, R. N., and Stewart, A. 2000. Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence? – *Physics in Medicine and Biology* 45: 39–154.
- Rayner, J.M.V. 1988. Form and function in avian flight. - S. 1-66 i Johnston, R.F. (red.). *Current Ornithology*, vol. 5. Plenum, New York.
- Real, J., Mañosa, S., 1997. Demography and conservation of western European Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* populations. *Biological Conservation* 79, 59–66.
- Real, J., Mañosa, S., Cheylan, G., Bayle, P., Cugnasse, J.M., Sánchez-Zapata, J.A., Sánchez, M.A., Carmona, D., Martínez, J.E., Rico, L., Codina, J., del Amo, R., Eguiá, S., 1996. A preliminary demographic approach to the Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* population decline in Spain and France. – S. 523-528 i Meyburg, B-U., Chancellor, R.D. (red.). *Eagle Studies*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, Germany.
- Riefnæs, S, Magnusson, N. & Ulleberg, T. 2013. Laboratory corrosion tests on overhead line conductors with bird protection systems. - *International Transactions on Electrical Energy Systems*. DOI: 10.1002/etep.1770.
- Reiner, A., Yamamoto, K. & Karten, H.J. 2005. Organization and evolution of the avian forebrain. - *The anatomical record. Part A, Discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology* 287: 1080-1102.
- Renssen, T.A., Bruin, A. de, Doorn, J.H. van, Gerritsen, A., Greven, N.G., Kamp, J. van de, Linthorst, H.D.M. & Smit, C.J. 1975. Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringen met hoogspannings-lijnen. – Report Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem. 64 s.
- Riegel, M. & Winkel, W. 1971. On death causes of white storks (*C. ciconia*) according to ringing recovery reports. - *Vogelwarte* 26: 128-135.
- Ricard, J.G. & Doucet, G.J. 1999. Winter use of powerline rights-of-way by moose (*Alces alces*). - *Alces* 35: 31-40.
- 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.

- Risser, P.R. 1995. The Status of the science examining ecotones - A dynamic aspect of landscape is the area of steep gradients between more homogeneous vegetation associations. - *Bioscience* 45: 318-325.
- Rose, P. & Baillie, S. 1992. The effects of collisions with overhead wires on British birds: an analysis of ringing recoveries. - *BTO Res. Rep.* 42: 227 s.
- Rubolini, D., Bassi, E., Bogliana, G., Galeotti, P. & Garavaglia, R. 2001. Eagle owl *Bubo bubo* and power line interactions in the Italian Alps. - *Bird Conservation International* 11: 319-324.
- Rumsey, R.L. 1973. Woodpecker damage to wooden utility poles. - PhD avhandling, LA State Univ. Unpubl.
- Rusz, P.J., Prince, H.H., Rusz, R.D. & Dawson, G.A. 1986. Bird collisions with transmission lines near a power plant cooling pond. - *Wildlife Society Bulletin* 14: 441-444.
- Ruud, A., Kielland Haug, J.J. & Lafferty, W.M. 2011. "Case Hardanger". En analyse av den formelle konsesjonsprosessen og mediedekningen knyttet til den omsøkte luftledningen Sima-Samnanger. - CEDREN/SINTEF Rapport TR A7093
- Sandercock, B.K., Nilsen, E.B., Brøseth, H. & Pedersen, H.C. 2011. Is hunting mortality additive or compensatory to natural mortality? Effects of experimental harvest on the survival and cause-specific mortality of willow ptarmigan. - *Journal of Animal Ecology* 80: 244-258.
- Schmidt-Morand, D. 1992. Vision in the animal kingdom. - *Veterinary International* 4: 3-32.
- Schmidt-Nielsen, K. 1991. *Animal physiology. Adaptation and environment.* - Cambridge University Press, Cambridge.
- Schimizu, T. & Bowers, A.N. 1999. Visual circuits of the avian telencephalon: evolutionary implications. - *Behavioral Brain Research* 98: 183-191.
- Schroeder, C. 1977. Gees hit power transmission line. - *North Dakota Outdoors* 40: (2. omslagsside).
- Schøyen, T.H. 1948. Spettene. - S. 125-140 i Føyn, B. & Huus, J. (red). *Norges dyreliv*. II. J.W. Cappelens Forlag, Oslo.
- Scott, R., Loss, T.W. & Marra, P.P. 2015. Direct mortality of birds from anthropogenic causes. - *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46: 99-120. Doi: 0.1146/annurev-ecolsys-112414-054133
- Scott, R.E., Roberts, L.J. & Cadbury, C.J. 1972. Bird deaths from power lines at Dungeness. - *British Birds* 65: 273-286.
- Sennett, G.B. 1878. Notes on the ornithology of the Lower Rio Grande of Texas from observations made during the season of 1877. - *Bull. U.S. Geol. and Geogr. Surv. of the Ter.* 4: 1-66.
- Short, L. L. & Horne, J.F.M. 1990. Woodpeckers - a world perspective and conservation concerns. - S. 5-12 i Carlson, A. & Aulén, G. (red.). *Conservation and management of woodpecker populations.* Swedish University of Agricultural Sciences. Report 17.
- 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.
- Skarin, A. & Åhman, B. 2014. Do human activity and infrastructure disturb domesticated reindeer? The need for the reindeer's perspective. - *Polar Biology* 37: 1041-1054.

- Stanghelle, E. 1985. Jo, høyspentlinjene tar mye fugl! - Villmarksliv 13: 73.
- Statens Strålevern 2000. Hefte 22: Elektriske og magnetiske felt.- <http://www.nrpa.no/>
- Stewart, R.B. 2002. Environmental Regulatory Decision Making Under Uncertainty. – Research in Law and Economics 20: 71-126.
- Stewart-Oaten, A., Murdoch, M.M., & Parker, K.R. 1986. Environmental impact assessment. Pseudoreplication in time? – Ecology 67: 929-940.
- Stolt, B.-O., Fransson, T., Åkersson, S. & Sällström, B. 1986. Luftledninga og fågeldöd. - Naturhistoriska Riksmuseet, Ringmärkningscentralen, Stockholm.
- Storaas, T., Gundersen, H., Henriksen, H. & Andreassen, H.P. 2001. The economic value of moose – a review. – Alces 37: 97-107.
- Strømsøe, B. Skjøtsel av vegetasjon i kraftledningsgater. S. 151-157 i Kjos-Hanssen, O., Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.). Vassdragsregulerings virkninger på vilt. Foredrag og diskusjoner ved symposiet 15.-17. april 1980. Norges vassdrags- og elektrisitetstjeneste, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk.
- Størkersen, Ø. 1992. Truete arter i Norge. - Direktoratet for naturforvaltning. DN Rapport 6: 1-66.
- Sundar, K.S.G. & Choudhury, B.C. 2005. Mortality of sarus cranes (*Grus antigone*) due to electricity wires in Uttar Pradesh, India. - Environmental Conservation 32: 260-269.
- Swensen, G. 1975. Unødige naturforringelser. - Jakt Fiske Friluftsliv 104: 23, 43.
- Swenson, J. & Angelstam, P. 1993. Habitat separation by sympatric forest grouse in Fennoscandia in relation to boreal forest succession. - Canadian Journal of Zoology 71: 1303-1310.
- Sørum, L. 1950. Fugleviltundersøkelser på laboratoriet. - Jeger og Fisker 79: 55-65.
- Thingstad, P.G. 1989. Kraftledning/fugl-problematikk i Grunnfjorden naturreservat, Øksnes kommune, Nordland. - Universitetet i Trondheim. Zoologisk avdeling, Vitenskapsmuseet. Notat 2. 26 s.
- Thompson, B.R. 1972. Reindeer disturbance. - Deer. 2: 882-883.
- Thompson, L.S. 1978. Transmission line wire strikes: mitigation through engineering design and habitat modification. - S. 51-92 i Avery, M.L. (red.). Impacts of transmission lines on birds in flight. Proceedings of a conference. Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, Tennessee.
- Trapp, J.L. 1998. An annotated partial bibliography (1960-1998). - U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Migratory Bird Management. <<http://www.fws.gov/r9mbmo>>. Arlington, Virginia.
- Turcek, F.J. 1960. On the damage by birds to power and communication lines. - Bird Study 7: 231-236.
- Tyler, N., Stokkan, K.A., Hogg, C., Nellemann, C., Vistnes, A.I. & Jeffery, G. 2014. Ultraviolet vision and avoidance of power lines in birds and mammals. – Conservation Biology 28: 630-632.
- Tyler, N., Stokkan, K.A., Hogg, C., Nellemann, C. & Vistnes, A.I. 2016a. Cryptic impact: Visual detection of corona light and avoidance of power lines by reindeer. – Wildlife Society Bulletin 40: 50-58.

- Tyler, N., Stokkan, K.A., Nellemann, C., Vistnes, A.I. & Hogg, C.R. 2016b. Ultrafiolett synsevne og unnvikelse av kraftledninger hos rein. – *Villreinen*: 78-82.
- Valberg, A. 1998. *Lys, syn, farge*. – Tapir Forlag, Trondheim.
- 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.
- Vegdirektoratet 2014. *Konsekvensanalyser. Håndbok V712, versjon 1.1*. – Statens vegvesen. 223 s.
- Verheijen, F.J. 1981. Bird kills at lighted man-made structures: not on nights close to full moon. - *American Birds* 35: 251-254.
- Vistnes, I. & Nellemann, C. 2001a. Avoidance of cabins and power transmission lines by semi-domesticated reindeer during calving. - *Journal of Wildlife Management* 65: 815-825.
- Vistnes, I., Nellemann, C., Jordhøy, P. & Strand, O. 2001. Wild reindeer: impacts of progressive infrastructure development on distribution and range use. - *Polar Biology* 24: 531-537.
- Wadén, D.J. 1904. Diskusjonskommentar. - *Norges Jeger- og Fiskerforbunds Tidsskrift* 33: 257.
- Warrant, E. 2004. Vision in the dimmest habitats on earth. – *Journal of Comparative Physiology A* 190: 765–789.
- Watson A. 1982. Effects of human impact on ptarmigan and red grouse near skylifts in Scotland. – *Report ITE* 1981: 51.
- Weiss, H.F. 1911. Some observations on the attack of poles by woodpeckers. - *Eng. News* 65: 220.
- Widenoja, E. & Hemstad, H. 1998. *Estetiske hensyn ved valg av kraftledningsmaster*. - NVE Rapport 16. 64 s.
- Widenoja, E., Skaug, Aa. & Aastorp, C. 2009. *Landskapstilpasset mastedesign. En metodisk tilnærming for landskapstilpassing av 132-420 kV høyspentmaster*. - Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapport nr. 9/09. 48 s. + vedlegg.
- Willdan Associates. 1982. *Impact of the Ashe-Slatt 500 kV transmission line on birds at Crow Butte Island: Postconstruction study final report*. – Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Williams, R.D. & Colson, E.W. 1989. Raptor associations with linear rights-of-way. – *Inst. Wildl. Res. Nat. Wildl. Fed. Sci. Tech. Ser.*: 173-192.
- 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.
- Wiltschko, R. & Wiltschko, W. 2009. Avian navigation. - *Auk* 126: 717-743.
- Wood, C. 2002. *Environmental Impact Assessment: a Comparative Review* - Harlow, Prentice Hall, 2nd edition.
- Wu, L.-Q. & Dickman, J.D. 2012. Neural correlates of a magnetic sense. – *Science* 336: 1054-1057.
- Zhang, J. 2003. Paleomolecular biology unravels the evolutionary mystery of vertebrate UV vision. – *Proc. Natl. Acad. Sci.* 100: 8045-8047.



- Zeigler, H.P. & Bischof, H.-J. (red.) 1993. Vision, brain and behavior in birds. – A Bradford Book. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, England. 448 s.
- Ödeen, A., Håstad, O. & Alström, 2011. Evolution of ultraviolet vision in the largest avian radiation - the passerines. - BMC Evolutionary Biology. <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/11/313>. 8 s.
- Øien, I.J., Steen, O.F., Jacobsen, K.-O. & Oddane, B. 2009. Hubroen i Norge: Resultater fra nasjonal kartlegging i 2008. - Vår Fuglefauna 32: 150-156.
- Aarvak, T., Øien, I.J. & Anker-Nilssen, T. 2005. Full fart I stummende mørke! Har sjøsva-  
lene sonar eller bare godt syn? – Vår Fuglefauna 28: 154-157.
- Ålbu, Ø. 1983. Kraftlinjer og fugl. - K. norske Vidensk. Selsk. Rapp. Zool. Ser. 8. 60 s.

# 13 Appendix

Norske og vitenskapelige navn på fugler nevnt i boka:

Kappgribb ( <i>Gyps coptroteres</i> )	Jaktfalk ( <i>Falco rusticolus</i> )
Egyptisk gribb ( <i>Neophron pernopterus</i> )	Vandrefalk ( <i>Falco peregrinus</i> )
Gåsegribb ( <i>Gyps fulvus</i> )	Hønsehauk ( <i>Accipiter gentilis</i> )
Haukørn ( <i>Hieraaetus fasciatus</i> )	Myrhauk ( <i>Circus cyaneus</i> )
Keiserørn ( <i>Aquila heliaca</i> )	Kongeørn ( <i>Aquila chrysaetos</i> )
Hvitbrynsvartspett ( <i>Dryocopus pileatus</i> )	Havørn ( <i>Haliaeetus albicilla</i> )
Svartspett ( <i>Dryocopus martius</i> )	Hubro ( <i>Bubo bubo</i> )
Grønnspett ( <i>Picus viridis</i> )	Stork ( <i>Ciconia ciconia</i> )
Gråspett ( <i>Picus canus</i> )	Gråmåke ( <i>Larus argentatus</i> )
Flaggspett ( <i>Dendrocopos major</i> )	Svartbak ( <i>Larus marinus</i> )
Hvitryggspett ( <i>Dendrocopos leucotos</i> )	Fiskemåke ( <i>Larus canus</i> )
Fettfugl ( <i>Steatornis caripensis</i> )	Sildemåke ( <i>Larus fuscus</i> )
Sandsvale ( <i>Riparia riparia</i> )	Hettemåke ( <i>Larus ridibundus</i> )
Storfugl ( <i>Tetrao urogallus</i> )	Kråke ( <i>Corvus corone</i> )
Orrfugl ( <i>Lyrurus tetrix</i> )	Ravn ( <i>Corvus corax</i> )
Jerpe ( <i>Tetrastes bonasia</i> )	Stær ( <i>Sturnus vulgaris</i> )
Lirype ( <i>Lagopus lagopus</i> )	Skjære ( <i>Pica pica</i> )
Fjellrype ( <i>Lagomus mutus</i> )	Alkekonge ( <i>Plutus alle</i> )
Musfugler ( <i>Coliiformes</i> )	Grågåås ( <i>Anser anser</i> )
Trogoner ( <i>Trogoniformes</i> )	Krikkand ( <i>Anas crecca</i> )

# NINAs publikasjoner

## **NINA Rapport**

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

## **NINA Kortrapport**

Dette er en enklere og ofte kortere rapportform til oppdragsgiver, gjerne for prosjekt med mindre arbeidsomfang enn det som ligger til grunn for NINA Rapport. Det er ikke krav om sammendrag på engelsk. Rapportserien kan også benyttes til framdriftsrapporter eller foreløpige meldinger til oppdragsgiver.

## **NINA Temahefte**

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

## **NINA Fakta**

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

## **Annen publisering**

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

*Boka presenterer en kunnskapsstatus om miljøvirkninger av kraftledninger. Det gis anbefalinger om avbøtende tiltak og hva som bør fokuseres ved fremtidig forskning.*

ISSN 0804-421X

ISBN 978-82-426-2959-3

**Norsk institutt for naturforskning**

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger