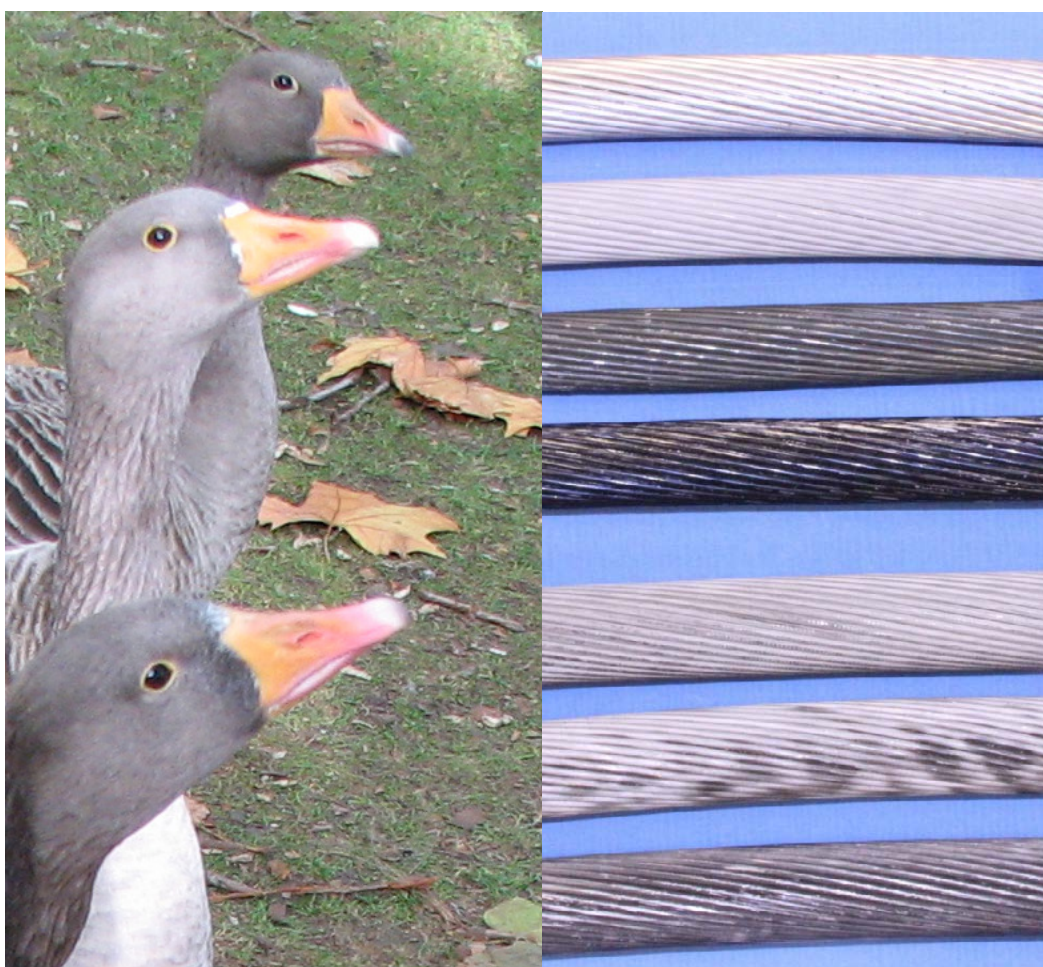


# 878 Kamuflering av kraftledninger

Evaluerer av økologiske og tekniske implikasjoner

Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs

NINA Rapport



## NINAs publikasjoner

### **NINA Rapport**

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

### **NINA Temahefte**

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

### **NINA Fakta**

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

### **Annen publisering**

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

*CEDREN – Centre for Environmental Design of Renewable Energy: Research for technical development and environmental impact of hydro power, wind power, power lines and implementation of environment and energy policy.*

*SINTEF Energy Research, the Norwegian Institute for Nature Research (NINA) and the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) are the main research partners. A number of energy companies, Norwegian and international R&D institutes and universities are partners in the project.*

*The centre, which is funded by The Research Council of Norway and energy companies, is one of eleven Centre for Environment-friendly Energy Research (FME). The FME scheme consists of time-limited research centres which conduct concentrated, focused and long-term research of high international quality in order to solve specific challenges in the field of renewable energy and the environment.*



Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Kamouflering av kraftledning-  
er. Evaluering av økologiske og tekniske implikasjoner - NINA  
Rapport 878. 46 s.

Trondheim, mai 2013

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2474-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs

KVALITETSSIKRET AV

Jan Ove Gjershaug og Atle Pedersen

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd/CEDREN

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

FORSIDEBILDE

Foto: Kjetil Bevanger/Steinar Refsnæs

NØKKEWORD

Fugl, dødelighet, kollisjon, syn, øye, korrosjon, overføringskapasi-  
tet, fargebelegg

KEY WORDS

Bird, mortality, collision, vision, eye, corrosion, transmission ca-  
pacity, colour coating

KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 73 80 14 01

**NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 22 60 04 24

**NINA Tromsø**

Framsenteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00  
Telefaks: 77 75 04 01

**NINA Lillehammer**

Fakkeltgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 61 22 22 15

## Sammendrag

Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Kamouflering av kraftledninger. Evaluering av økologiske og tekniske implikasjoner - NINA Rapport 878. 46 s.

Hvorvidt bruk av farger og andre tiltak som modifierer det visuelle inntrykket av kraftledningsstrukturer medfører økt/reduert 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 problematikken i OPTIPOL-prosjektet, da det også var et ønske fra energiforvaltningen, selv om det bare var økonomisk rom for å utføre en studie basert på eksisterende litteratur. I foreliggende rapport er det lagt vekt på å sammenfatte eksisterende kunnskap om fuglers syn og synsrelaterte atferd, for å belyse hvorvidt det å gjøre kraftledninger mindre synlige for det menneskelige øyet, kan medføre økt fare for at fugler vil kollidere. 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 "kamufilere" ledningene har vist seg å være et komplisert spørsmål. Øyet hos pattedyr og fugler har mange felles trekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått, og det viser seg at det ikke er korrekt å anta at måten ulike arter ser omgivelsene på er lik. Når det gjelder fugleøyet fargesyn, dybdesyn og synsskarphet, er det mange ubesvarte spørsmål i forhold til fargekamouflering av kraftledninger. 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 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. Å minske kontrastvirkningen mellom en luftline og linens bakgrunn – f.eks. gjennom å matte ned 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, er det fra et "fugleperspektiv" 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/svart om våren til grønt om sommeren og gult/rødt om høsten. I perioder av året vil derfor - uansett hvilken kamuflasjefarge som benyttes – en kraftledning være mer synlig enn til andre årstider.

I eksponerte kystområder er det stor sannsynlighet for spaltekorrosjon under belegg med dårlig heft. Belegg som påføres etter at linetrådene er slått, har en tendens til å hindre drenasje i linene. Belegget fremmer dermed innvendig korrosjon mellom trådene og trådlagene og spesielt i linens laveste punkt. Mattede eller primede kamuflasjeliner synes å klare seg godt i kystmiljø med lav korrosivitet. Emisjonsfaktoren  $\epsilon$  er avhengig av linens overflatebeskaffenhet. Ved å øke linens emisjonsfaktor kan kjølingen økes pga. utstrålt varme slik at det oppnås en økning i den strømførende kapasiteten på ca. 5 %. Isolerende belegg på kamuflasjelinene kan føre til kontaktproblemer og havari, og skal derfor tas hensyn til ved montasje og valg av kontaktforbindelser. Før montasje av klemmer og skjøter, må kontaktflatene behandles med stålbørste, smergelduk o.l. umiddelbart før montasje. I tillegg bør kontaktflatene påføres et tynt lag med fett som hemmer oksidvekst, og forseglar kontaktområdene mot inntrengning av vann og forurensning, som kan føre til korrosjon.

Kjetil Bevanger, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, [kjetil.bevanger@nina.no](mailto:kjetil.bevanger@nina.no)  
Steinar Refsnæs, SINTEF, [steinar.refsnas@sintef.no](mailto:steinar.refsnas@sintef.no)

## Abstract

Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Power line camouflaging. Assessments of ecological and technical implications. - NINA Report 878. 46 pp.

Whether use of colours and other cues modifying the visual impression of power line structures, i.e. camouflaging them, reduces or increases the risk of bird collision, has not been subject to specific evaluation in Norway since 1999. To a large extent, this also applies to technical aspects of camouflaging cues. Thus, this was an obvious task to focus on when the OPTIPOL Project got funding, as much as it also was a subject of priority expressed by the Norwegian energy authorities, although the project economy only allowed for a desk study of existing literature. The report gives a short summary of what is known about bird vision and behavioural aspects of bird vision as a background for a more thorough discussion about whether camouflaging power lines and power-line structures to make them as invisible to the human eye as possible might increase the susceptibility for birds to collide with them. From an "avian perspective" the aim would be to make power lines as visible as possible to the birds. To answer whether this would be the opposite of making the power lines less visible to humans is a complicated question. The mammalian and bird eyes have many common features, and anatomy and function is relatively well studied and understood. It appears, however, that it is incorrect to assume that different species perceive their environments in the same way. With respect to bird colour vision, depth vision and vision acuity, there are several unanswered questions when it comes to power-line camouflaging. For birds to achieve an optimal detection of a power line, it is important to optimize the contrast of the line against the background colour. Several scientists assume that some bird species have an advanced ability to separate colours in the yellow part of the light spectre. It seems likely that some green and yellow colours, particularly if these at the same time have an UV contribution, contrasts against a natural green background. To reduce the contrast between an air wire and the background, e.g. by matting the blank surface of a FeAl-wire with a black or a grey-blackish colour, will probably increase the collision risk for some bird species. To make the conductors and earth wires as visible as possible from an avian perspective, in general it seems best to localise power lines in a way that optimizes the contrast against the background. The seasonal variations in Norway make an environmental colour cycle – from white in the winter through brownish-black in the spring to green in summer and yellow-red in the autumn. Thus, regardless of camouflaging colour used, there will be periods when the power lines will be more visible than others.

In exposed coastal areas there is a high risk of crevice corrosion beneath a poor adhesive coating. Coating applied after the group of wires has been spun around the central core has a tendency to hamper drainage in the line. Thus, the coating promotes internal corrosion between the filaments and the filament layers, particularly on the lines the lowest point. Matted or primed camouflaged power lines seem to do well in coastal environments with low corrosiveness. The emission factor  $\epsilon$  is dependant of the surface structure of the line. By increasing the emission factor the cooling effect can be increased due to emitted heat, and the capacity of current transfer is increased by approximately 5%. An isolating coating on the camouflaged line can result in contact problems and breakdown, and must be considered during installation and selection of binding posts. Immediately prior to installation of clamps and splices, the contact surfaces must be treated with e.g. a steel brush or emery cloth. Apart from that, a thin layer of grease should be applied to the contact surfaces. This will reduce the oxide growth and seal the contact areas against water penetration and pollution which can induce corrosion.

Kjetil Bevanger, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, [kjetil.bevanger@nina.no](mailto:kjetil.bevanger@nina.no)  
Streinar Refsnæs, SINTEF, [steinar.refsnas@sintef.no](mailto:steinar.refsnas@sintef.no)

# Innhold

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammendrag .....</b>                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>Abstract .....</b>                                                                   | <b>4</b>  |
| <b>Innhold .....</b>                                                                    | <b>5</b>  |
| <b>Forord .....</b>                                                                     | <b>6</b>  |
| <b>1 Innledning.....</b>                                                                | <b>7</b>  |
| <b>2 Utilsiktet, menneskeskapt fugledød .....</b>                                       | <b>8</b>  |
| <b>3 Øyet - konstruksjon og funksjon .....</b>                                          | <b>10</b> |
| 3.1 Generelt om øyet .....                                                              | 10        |
| 3.2 Fargesyn .....                                                                      | 12        |
| 3.3 Dybdesyn .....                                                                      | 14        |
| 3.4 Synsskarphet .....                                                                  | 15        |
| 3.5 UV-persepsjon .....                                                                 | 16        |
| 3.6 Synsevne ved dårlig belysning; fugletrekk og elektromagnetiske felt .....           | 17        |
| <b>4 Driftskonsekvenser for kraftledninger ved ulike valg av fargebelegg .....</b>      | <b>20</b> |
| 4.1 Typer overflatebehandlede liner som kan redusere den visuelle fjernvirkningen ..... | 24        |
| 4.2 Egenskaper .....                                                                    | 26        |
| 4.2.1 Kravspesifikasjon .....                                                           | 26        |
| 4.2.2 Visuell fjernvirkning .....                                                       | 26        |
| 4.2.3 Korrosjonsegenskaper .....                                                        | 27        |
| 4.2.4 Overføringskapasitet .....                                                        | 29        |
| 4.2.5 Fargebeleggets kontaktegenskaper .....                                            | 31        |
| <b>5 Oppsummering og konklusjoner .....</b>                                             | <b>33</b> |
| 5.1 Fargekamouflering og fugl .....                                                     | 33        |
| 5.2 Driftskonsekvenser ved fargebelegg .....                                            | 36        |
| <b>6 Referanser .....</b>                                                               | <b>37</b> |

## Forord

Fra og med 2009 har Norges Forskningsråd, via RENERGI-programmet, finansiert forskning på kraftledninger og vilt gjennom prosjektet *“Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives”* (OPTIPOL). Prosjektet går over 5 år (2009-2013) og er en del av aktivitetene i forskningssenteret CEDREN (*Centre for environmental design of renewable energy* (cf. <http://www.cedren.no>)). Den overordnede målsettingen for prosjektet er å utvikle verktøy som fra et miljøsynspunkt kan bidra til å optimalisere trasévalg for kraftledninger, samt vurdere tekniske og økonomiske løsninger for å redusere konflikter vis-a-vis vilt og dyrs leveområder. I sitt "Letter of intent" til OPTIPOL-søknaden skrev NVE i 2008 følgende: *"NVE har nylig gjennomført en evaluering av kamuflerende tiltak på kraftledninger av hensyn til landskapsvirkninger. Vi har i den forbindelse ikke fokusert på mulige effekter av kamuflerende tiltak på fugl, og det hadde vært ønskelig å få et bedre kunnskapsgrunnlag for å si om kamuflerende tiltak har effekter på kollisjonsrisiko"*. Da den endelige utformingen av OPTIPOL ble gjort ble det avsatt en egen modul for å vurdere biologiske og tekniske implikasjoner av kamuflerende tiltak. På grunn av økonomiske begrensninger er rapporten en oppsummering av eksisterende kunnskap.

Primo mai 2013, Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs

# 1 Innledning

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

I 1984 publiserte NVE "Kraft, ledning og landskap" (Hillestad 1984), et temahefte som tok opp problematikken knyttet til kraftledninger og naturmiljø 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/landsdskapsarkitektoniske og biologiske/økologiske problemer mer ble underlagt separate studier. Mangel på tverrfaglig kommunikasjon har bidratt til at helhetsperspektivet i en del kraftledningsutbyggingssaker har vært fraværende, noe bl.a. "monstermastdebatten" i Hardanger i 2010 demonstrerte.

For å dempe den negative, visuelle effekten av kraftledninger, begynte NVE i 1992 å sette krav om kamuflerende tiltak når konsesjon ble gitt. Dette gjaldt både liner, master, traverser, og isolatorer, samt vilkår knyttet til kraftledningens ryddebelte (Johnson 2008). Fargekamuflering ble tatt opp som tema i et eget prosjekt finansiert av NVE i 1994 ut fra en målsetting om å *"gi et teoretisk grunnlag for å forstå og forholde seg til kraftledninger og estetikk, landskap og landskapsopplevelse på en systematisk måte"* (Berg 1996). Sluttrapporten omhandlet ikke konflikter i forhold til fugl/pattedyr eller tekniske begrensninger. I 1998 publiserte NVE en rapport om estetiske hensyn ved valg av kraftledningsmaster (Widenoja & Hemstad 1998), med fokus på estetiske og visuelle utfordringer, og senere en rapport om "Landskapstilpasset mastedesign" (Widenoja m.fl. 2009).

Statnett etablerte i 1997 en intern arbeidsgruppe for å se på hvordan en skulle tilfredsstille 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.

I 2008 publiserte NVE rapporten "Kamuflasjetiltak på kraftledninger" (Johnson 2008) som resultat av et prosjekt initiert i 2006. I rapportens forord understrekes bl.a. at *"Det er flere forhold enn rent landskapsfaglige som må hensyntas når det gjelder vurdering av hvilke strekninger som kan være gjenstand for kamuflering, f.eks. risiko for fuglekollisjoner. Konsekvenser for fugl og endret risiko for kollisjoner har ikke vært tema for denne rapporten, som har fokusert på den landskapsmessige betydningen av kamuflerende tiltak. Hensyn til fugl og andre forhold som ikke er vurdert i denne rapporten, vil være gjenstand for vurdering i forbindelse med planlegging og konsesjonsbehandling av nye kraftledninger."*

Fokus har m.a.o. i første rekke vært rettet mot visuelle effekter av kraftledninger når det har vært snakk om kamuflering. Hvorvidt bruk av farger og andre tiltak som modifiserer det visuelle inntrykket medfører økt/reduert fare for at fugler skal kollidere med kraftledningsstrukturer, 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, da det også var et ønske fra energiforvaltningen, selv om det bare var økonomisk rom for å utføre en studie basert på eksisterende litteratur.

Temaet kamuflering er også 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 fugle-*

*kollisjoner og behovet for tilstrekkelig skogrydding av sikkerhetsmessige årsaker*". For å etterleve intensjonen i denne Stortingsmeldingen er det nødvendig med økt kunnskap omkring dette temaet.

Rapportens første del omhandler hva vi vet om ulike fuglearters sårbarhet for å kollidere med kunstige lufthindringer, og hvordan ulike kamuflasjetiltak kan tenkes og ha å si i den sammenheng. Den andre delen ser på mulige driftskonsekvenser for kraftledninger ved ulike valg av fargebelegg.

## 2 Utsiktet, menneskeskapt fugledød

I løpet av de siste 150 år har det stadig blitt laget konstruksjoner som utsiktet dreper fugl. De første publiserte rapportene om dette er knyttet til fugler som fløy inn i telegraflinjer (f.eks. Coues 1876, Borell 1939) eller opplyste bygninger (f.eks. Kumlien 1888). Det finnes imidlertid også mange beretninger om at fyrvoktere rundt om i verden fant store mengder død fugl når de kom ut om morgenen (Munroe 1924, Ruttledge 1950, 1954, Karlsson 1977). Dette skjedde selvsagt også i Norge (Mehlum 1977), men uten at problematikken noen gang ble grundig studert. Rapporter om slike hendelser avtok etter hvert som fyrene ble automatisert.

Ingen installasjoner synes å ha forårsaket tilsvarende massedød hos fugl som når lys har vært inne i bildet, bl.a. i tilknytning til skyhøydemålere (ceilometer) ved flyplasser på 1950-tallet, før en gikk over til mer moderne teknologi (Laskey 1951, Tanner 1954, Johnston & Haines 1957, Aldrich m.fl. 1966, Arend 1970, Avery m.fl. 1976). Årsakene til dette har vært mye diskutert, men hovedpoenget er at fugler som flyr i mørket - særlig i tilknytning til høst- og vårtrekk - blir blendet og "fanget" av lyset (Verheijen 1958, 1980, 1981, 1985). Bruk av sterke lyskastere er også mye brukt til å fange fugl i tilknytning til ringmerking eller radioinstrumentering (Pedersen m.fl. 1999, Brøseth & Pedersen 2010, Sandercock et al 2011, Wiggen 2011). Fugledødelighet i tilknytning til ceilometre var størst i netter med tåke når lyset ble spredt og reflektert i vanndråpene i lufta. Fuglene ble "fanget" av lyskjeglen og begynte å kretse rundt denne til de ble utmattet og falt til bakken eller ble så desorientert at de kolliderte med bakken.

Utallige ulykker er også rapportert i tilknytning til radio- og telegrafmaster med belysning, som i tillegg har en rekke barduner for å holde dem på plass (Laskey 1957, 1962, 1964, Brewer & Ellis 1958, Cochran & Graber 1958, Parmalee & Parmalee 1959, Caldwell & Cuthbert 1963, Feehan 1963, Janssen 1963, Parmalee & Thompson 1963, Abele 1966, Caldwell & Wallace 1966, Pierce 1969, Browne & Post 1972, Bierly 1973, Goodpasture 1974a, b, 1975, 1976, 1978, Rudström 1977, Seets & Bohlen 1977, Shire m.fl. 2000, Longcore m.fl. 2012, 2013). Når fuglene begynner å sirkle rundt mastene blir de drept på grunn av at de kolliderer med stålwirene. Dette problemet er avtagende i forhold til de høye radiomastene, men økende totalt sett i og med at det rundt om i verden bygges store mengder TV-master og radiolinkmaster beregnet for bl.a. mobilt telefoni. Mange av disse har påbudt varslingslys, noe som har betydelig økologisk innflytelse både på fugler og andre arter (Ogden 1996, Rich & Longcore 2006). Særlig problematisk er røde lys som ikke blinker; pulserende, hvite lys synes å være langt bedre.

Avbrenning av gass på oljeinstallasjonene var tidligere svært vanlig, og det finnes mange beretninger om at store mengder trekkende fugl og sjøfugl ble drept i tilknytning til dette (Davis 1940, Lid 1977, Bourne 1979, Merrie 1979, Sage 1979 a,b, Wiese 2001, Strong m.fl. 2002). På bakgrunn av det pensjonerte plattformarbeidere har fortalt er problemet betydelig underkommunisert av oljeselskapene.

Lysbetinget fugledødelighet kan vanskelig sammenlignes med dødelighet forårsaket av fysiske hindringer, slik som når fugl kolliderer mot glassruter, men det har definitivt med øyet som sanseorgan å gjøre. I store byer har mange skyskraper belysning i vinduene også om natta, hvilket har ført til omfattende dødelighet hos fugl (Ogden 1996). Kollisjoner mot vindu er beregnet

til å drepe et meget høyt antall fugler i USA (Klem 1990, 2006, 2009a, b, Seewagen 2008), og flere hundre millioner på verdensbasis hvert år. Noen mener dette isolert sett er den største menneskeskapte dødsårsak hos fugl. Dødelighetsestimater som følge av ulike antropogene strukturer varierer imidlertid svært mye. Enkelte konsulenter innleid av ulike sektorinteresser har også vært svært selektive i sine kildereferanser for å gi inntrykk av at antall drepte fugler er svært lite sammenlignet med naturlig dødelighet.

Størst oppmerksomhet har telefon- og kraftledninger, kabler for skiheiser og taubaner, tråd og nettinggjerder fått, ettersom dette er strukturer som er svært utbredt der mennesker oppholder seg slik at kollisjonsulykker blir lagt merke til. Det er dessuten gjort grundige studier som har dokumentert at omfanget av dødeligheten er omfattende, og at så å si alle flygende arter kan rammes, også de som er sårbare og truet. Det er i løpet av de siste 30-40 årene publisert en rekke bibliografier om dødelighet hos fugl forårsaket av slike lufthindre (Avery 1979, Avery m.fl. 1980, Bevanger 1994, Hebert & Reese 1995, Trapp 1998, Erickson m.fl. 2005, Wallace m.fl. 2005, Hunting m.fl. online). I Norge har problemet spesielt vært undersøkt i forhold til stasjonære arter, særlig hønsefugl (Bevanger 1990, 1995 a,b, 2011, Bevanger & Brøseth 2001, 2004). I Mellom-Europa har det vist seg at orrfugl og fjellrype kolliderer med kablene på skiheiser (Miquet 1990, Watson & Moss 2004). Et av delprosjektene i OPTIPOL forsøker å besvare hvorvidt dødelighet hos storfugl og orrfugl som skyldes kraftledninger kan ha innvirkning på bestandsutviklingen (Bevanger m.fl. 2011, 2012).

Gjerder har vist seg å drepe et betydelig antall fugl (Allen & Ramirez 1990, Catt m.fl. 1994, Bevanger 1995c, Petty 1995, Bevanger & Henriksen 1996, Baines & Summers 1997, Baines & Andrew 2003, Wolfe m.fl. 2007, 2009, Stevens m.fl. 2011). Et prosjekt som fokuserte effekter av reingjerder på fugler i Finnmark, registrerte kollisjonsoffer av minst 20 arter (Bevanger 1995c). Forskjellige gjerdeavsnitt ble patruljert om våren umiddelbart etter snøsmelting, og i alt ble 253 enkeltindivider funnet drept i tilknytning til gjerdene, hvorav ca. 85 % (215) ryper. Dødelighetsomfanget ble beregnet til 1,4 ( $\pm 0,5$ ) ryper pr. km reingjerde pr. år (Bevanger & Brøseth 2000). Langs to traséer som passerte gjennom skogsfuglterreng ble det registrert 10 drepte storfugl. Det er kjent at hønsefugl er sårbar for å kolliderer mot bl.a. kraftledninger og undersøkelsen i Finnmark bekreftet at det samme gjelder i forhold til gjerder. Funnene av de andre fugleartene ble vurdert som relativt tilfeldig, men at et så stort spekter av arter, både vadefugler, spurvefugler og rovfugler ble funnet, bekreftet at gjerder dreper et betydelig antall fugl, uten at det kan sies noe bestemt om hvilken betydning slik dødelighet har for den enkelte art. Også snøugle *Bubo scandiaca* var blant de registrerte kollisjonsofrene.

I løpet av de siste 25 årene har vindturbiner blitt et viktig tema og det er kommet et stort antall publikasjoner i løpet av relativt få år (Nygård m.fl. 2009). I Norge er problematikken vurdert gjennom en rekke konsekvensutredninger i tilknytning til planlagte vindkraftverk, samt at det er gjennomført en grundig studie i BirdWind-prosjektet (2007-2010) i tilknytning til Smøla vindkraftverk (Bevanger m.fl. 2010). Hovedmålsettingen med dette prosjektet var å studere arts-, steds- og årstidsspesifikk dødelighet hos fugl samt identifisere sårbare arter og stedsspesifikke faktorer som bør vektlegges for å bedre grunnlaget for for- og etterundersøkelser når nye vindkraftverk skal etableres. Prosjektets arbeidspakker fokuserte på atferds- og responsstudier både på individ- og bestandsnivå hos utvalgte modellarter. Havørn sto sentralt i prosjektet ettersom flere drepte ørner ble rapportert fra vindkraftverket på Smøla allerede før prosjektet ble igangsatt. Modellering av kollisjonsrisiko hos havørn, samt utarbeidelse av en bestandsmodell for havørn var en viktig del av arbeidet. Metodeutvikling og utvikling av effektive redskaper til datainnsamling og avbøtende tiltak ble også spesielt fokusert (Dahl m.fl. 2012, 2013, May m.fl. 2013).

I tilknytning til BirdWind ble det gjennomført systematiske søk etter døde fugler ved hjelp av en trenet hund. I perioden 2005-2010 ble det funnet 39 havørner, dvs. 7,8 ørner pr. år i gjennomsnitt, eller 0,11 ørner/turbin/år. Det ble funnet flest individer av smølalirype under søkene, i alt 74. Dette omfattet både individer som ble funnet døde i tilknytning til de regulære søkene (mer enn 50 ind.), radiomerkede ryper (dødelighetssendere) som ble funnet når de har sluttet å bevege seg, samt

tilfeldige funn av døde ryper. Årlig ble det funnet 10-15 ryper, de fleste i perioden mars-juni (42; 57 %), men en del også i november-januar (20; 27 %). Omkring halvparten av rypene ble funnet nærmere enn 50 m fra turbintårnene. I tillegg ble til sammen 65 individer av minst 25 andre arter funnet; mellom 12 og 15 individer hvert år, med enkeltbekkasin, heilo og kråke som de mest tallrike (Bevanger m.fl. 2010).

Direkte dødelighet som følge av kollisjoner mot bil er grundig dokumentert og er regnet som en av de største dødelighetsfaktorene mange steder, bl.a. i USA (Komarek & Wright 1929, Göransson m.fl. 1979, Havlin 1987, Burger & Gochfeld 1992, Illner 1992, Dickson & Dickson 1993, Forman m.fl. 2003, Jacobsen 2005). I sin oversiktsartikkel om temaet beskriver Jacobsen (2005) hvilke fuglegrupper som er mest utsatt, og hvorfor.

Bevanger (1994) foreslo en tredelt kategorisering av fugledødelighet som følge av menneskeskapte strukturer; a) "passive" trusler (luftledninger, gjerder, telefon- og radiomaster, vindturbiner, vindu), b) "aktive" trusler (fly, biler, tog) og c) "forvirrende" eller "fangende" trusler (fyrlykter, gass flammer, markeringslys på master o.l.). Med unntak av de "aktive" truslene har alle disse dødsårsakene mye med fuglenes syn å gjøre.

## 3 Øyet - konstruksjon og funksjon

### 3.1 Generelt om øyet

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 opplevelse. 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 egenskaper 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. Det må imidlertid understrekes at fugleøyet er konstruert på en rekke måter, og avspeiler de høyst ulike økologiske tilpasninger, dvs. levemåter og leveområder, en finner 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).

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 re-

aksjon i planteceller, staver og tapper. Svært korte bølgelengder har derimot så mye energi at de er skadelig for organisk materiale (Schmidt-Nielsen 1991).

Fotoreseptorene i øyet, dvs. de lysfølsomme elementene i netthinnen som består av staver og tapper, "fanger" lyset ved at energien i fotonene som absorberes i reseptorenes fotopigmenter, blir omgjort til elektriske potensialforskjeller (Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Valberg 1998). Stavene er de mest lysfølsomme, mens tappene er mindre lysfølsomme, men med stor evne til å detektere detaljer og farger. Pigmentet i stavene er *rhodopsin* (synspurpur). Det er tre typer tappesynsceller (L, M og S-tapper; dvs. «Long», «Middle» og «Short» bølgelengdefølsomme), og i disse er *retinal* (et lysabsorberende molekyl og aldehydet av A-vitamin) bundet til tre forskjellige proteiner (*opsiner*), og danner tre forskjellige pigmenter med forskjellige spektrale følsomheter (Valberg 1998). Pigmentet er lokalisert til skiver som ligger etter hverandre i det ytre segmentet av reseptorene. Det blir samme prinsipp som å legge fargefiltre etter hverandre i lysgangen; en meget effektiv måte å fange opp lyset på. Det er store muligheter for at lyskvanter som unngår absorpsjon i de første skivene fanges opp i de neste (Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Valberg 1998).

Tre eller fire tapp-pigmenter er funnet hos et relativt stort antall fuglearter, og generelt synes tappene i netthinnen hos fugler å ha tre eller flere typer opsiner. Ettersom et pigment kan være assosiert med ulike typer av små oljedråper ("oil droplets"), vil det mulige antall kromatiske kanaler, i prinsippet, kunne være større enn antall tapp-pigmenter. Hos de fleste virveldyr er tilstedeværelse av små oljedråper vanlig i tappene (men ikke i stavene). Oljedråpene består av lipider, der karotenoidpigmenter (vanligvis *xantophyller*), er oppløst. Avhengig av type og mengde av karotenoid, fremstår dråpene transparente, klare, blekgul til grønn, oransje eller rød. Ettersom de er lokalisert til den distale enden hos det innerste tapp-segmentet, dekker de reseptorens totale utstrekning. Lyset må derfor passere gjennom dråpen før det entrer det ytre, fotosensitive segmentet (Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Valberg 1998).

Hos en del grundig studerte fuglearter, er pigmentet som absorberer ved de lengste bølgelengdene (nær 570 nm - grovt sett det spektrale området som representerer "rødt"- og "grønt"-sensitive pigmenter i primatenes retina) mest utbredt. Dette er *iodopsin*, som først ble ekstrahert fra kylling (*Gallus* sp.) (Okano m.fl. 1992). Dette synes å være det synspigmentet som dominerer den fotopiske, spektrale følsomheten hos fugler. Det optiske systemet hos fugleøyet er i stand til å overføre alle bølgelengder fra rødt til ultrafiolett. Mikrospektrofotometriske studier har vist at fargesyn-systemet 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 frembringe en selektiv beskyttelse mot skadelige effekter av UV-stråling. På grunn av at de små oljedråpene er med og modifierer den spektrale sammensetningen av lyset som treffer fotopigmentene, har det lenge vært antatt at de spiller en rolle i tilknytning til fuglenes fargesyn (Martin 1990, Schmidt-Nielsen 1991, McIlwain 1996, Ödeen m.fl. 2011).

Tilstedeværelsen av et fjerde pigment som har absorpsjonstopp i fargespektrets UV-del, utgjør den store forskjellen mellom menneskets trikromatiske og fuglers tetra- og pentakromatiske syn (f.eks. Wilkie m.fl. 1998, Ödeen & Håstad 2003, Ödeen m.fl. 2011), hvilket betyr at de er i stand til å skille mellom to ulike bølgelengder i UV-spekteret. Dette er en vanlig egenskap hos dagaktive fugler på grunn av deres spesielt UV-følsomme staver, og innehar en viktig funksjon i tilknytning til inter- og intraspesifikk kommunikasjon basert på fjærdraktens UV-refleksjon, evne til å identifisere/vurdere modningsgrad hos frukt og bær basert på varierende UV-refleksjon hos fruktvokslag osv. Vokslag hos frukt reflekterer UV, noe også skinn og andre overflatetyper hos en del blå- og grønnfargede bær, grønnsaker og frukter kan gjøre (se 3.2.). Blant røde, gulgrønne, blå og fiolette fjær er det også mange som reflekterer i den synlige delen av spekteret så vel som i UV-regionen.

## 3.2 Fargesyn

Fargen på et objekt synes ved første øyekast å være en egenskap ved selve objektet. Vi sier f.eks. at en arapapegøye er blå og gul, og at en banan er gul. Vi opplever også at dette er farger som virker å være nokså konstante. Farger er imidlertid ikke noe absolutt og varierer i stor grad avhengig av bestemte lyskilder og lys fra omgivelsene. Farger er med andre ord ikke en «nedarvet» egenskap ved et objekt, men noe som assosieres med den spektrale fordeling av lyset som reflekteres fra objektet (Backhaus m.fl. 1998). På samme måte som farger ikke er en egenskap ved selve objektet, er heller ikke farger en egenskap hos lyset. Den opplevde fargen hos et objekt avhenger av det spektrale innholdet hos lyset som absorberes av fotoreseptorene som initierer en kaskade av fysiologiske reaksjoner i netthinnen og hjernen (Backhaus m.fl. 1998). Dette var noe allerede Newton (1704) innså. Farger er med andre ord å betrakte som en «psykofysisk» abstraksjon, helt og holdent avhengig av synscellene og nervesystemet til organismen som mottar lyset (Cuthill m.fl. 1999).

Pigmentabsorpsjon ved relativt lange bølgelengder er hovedbidragsyter til fotopisk følsomhet. Det er tappene som spiller den sentrale rollen for evnen til fargesyn. Tettheten av staver (antall pr. mm<sup>2</sup>) øker med avstanden fra synsgropen (foveaen), samtidig som tettheten av tapper avtar. Mennesket har tre typer tapper, med særegne, spektrale følsomheter, og dette gjør trikromatisk fargesyn mulig. Mangler én av disse tre, oppstår en vanlig form for fargesynsdefekt, nemlig dikromasi, hvilket fører til fargeforvekslinger, som f.eks. manglende evne til å skille mellom røde og grønne farger ("fargeblindhet") (Valberg 1998).

Undersøkelser i Sverige (Lind & Kelber 2009) med papegøyer som forsøksdyr viste at fargesynet hos fugler slutter å fungere ved langt høyere lysmengde enn det som tidligere var antatt, dvs. at de ser dårlig når det begynner å skumre. I følge Lind & Kelber (2009) trenger fugler fra 5-20 ganger så mye lys som mennesker for å se farger. Det menneskelige øye slutter å se lys og farger ved ca. 400 nm på grunn av den høye absorpsjonen i øyelinsen av bølgelengder under 400 nm. Dette er ikke tilfellet hos mange andre arter der hornhinna og øyelinsa er transparent under 400 nm. Ettersom vi ikke kan se i UV-delen av spekteret, har det vært en tendens til å tro at det bare finnes noen få arter som er i stand til det. I løpet de siste 15 årene har det imidlertid vært gjort forskning som viser at UV-persepsjon er vidt utbredt rent taxonomisk, både hos vertebrater og invertebrater (Cuthill m.fl. 1999).

Det er tre vesentlige forhold som skiller menneskets øye fra fugleøyet; fugleøyet har 1) bredere spektral sensitivitet, 2) netthinna har flere typer tapper, og 3) tappene har små fargede oljedråper som filtrerer lyset som entrer tappene. Forskjellene i utforming av menneskets og fuglenes øyne, gjør at det er klokt ikke å overføre menneskets opplevelse av farger til fuglenes fargeopplevelser. Dette har imidlertid vært gjort i tilknytning til de fleste atferdsmessige og evolusjonære studier av fuglenes fargeverden (Cuthill m.fl. 1999).

Fugler har et meget velutviklet fargesyn, og resultatene fra bl.a. mikrospektrofotometri av en rekke fuglearter gjør at de fleste ekspertene innen feltet synsfysiologi hos fugl mener det er grunn til å konkludere med at de fleste fuglearter har tapper i netthinna som har en absorpsjonstopp i UV-delen til spekteret (Martin 2011). I tillegg har alle fuglearter som så langt er undersøkt tre typer enkelttapper som dekker den delen av spekteret som menneskeøyet ser, i tillegg til dobbelttapper. Disse er de vanligste synscellene hos dagaktive fugler, men deres funksjon er omdiskutert og det kan tenkes at de ikke er involvert i fargesyn. Uansett, med mer enn tre typer enkelttapper, så har fuglene potensiale til et langt mer flerdimensjonalt fargesyn enn det vi har (Cuthill m.fl. 1999).

De få detaljerte psykofysiologiske studier av fugl i forhold til deres evne til fargediskriminering som er foretatt, indikerer at fugler er i stand til detaljert diskriminering innen hele synsspekteret, inklusive UV og nær UV (Wright 1979). Dette støttes av generelle modeller av hvordan forskjellige typer staver i netthinna hos fugl formidler fargediskriminering (Vorobyev & Osorio 1998, Vorobyev 2003, Endler & Mielke 2005).

Generelt faller den interspesifikke fargesynvariasjonen hos fugl innenfor en av to distinkte kategorier, karakterisert ut fra den spektrale følsomheten hos den mest kortbølgefølsomme av de fire enkle stavcellene; SWS1 (Cuthill m.fl. 2000, 2005) (de andre mer langbølgefølsomme er SWS2, MWS og LWS) (Ödeen m.fl. 2011). Bølgelengden for maksimal følsomhet ( $\lambda_{\max}$ ) hos SWS1 ligger enten innenfor 355-380 nm i den ultrafiolettfølsomme kategorien (UVS) eller fra 402-426 nm i den fiolettfølsomme (VS) (se Hart & Hunt 2007, Ödeen m.fl. 2009 for review). UVS-kategorien er optimalisert for UV-sensitivitet, men VS-kategorien er også til en viss grad følsom i det ultrafiolette spektret (Ödeen m.fl. 2011).

I følge Ödeen m.fl. (2011) er det mest interessant å studere artene i spurvefuglordenen for å lære mer om spektral avstemming av stav-opsinene i SWS1. Dette er den mest artsrike fugleordenen, og alle artene innenfor Passerida (Jönsson & Fjeldså 2006) som er studert tilhører UVS-kategorien (Ödeen & Håstad 2003, 2009, 2010, Maier m.fl. 1993, Bowmaker m.fl. 1997, Hart m.fl. 1998, 2000, Das m.fl. 1999, Beason & Loew 2008), mens alle andre kan plasseres i VS-kategorien (Ödeen & Håstad 2003, 2009, 2010, Seddon m.fl. 2010). Ödeen m.fl. (2012) har imidlertid argumentert med at evolusjonen av ultrafiolettfølsomt syn i Passeriformes er mer kompleks enn ett enkelt opsinbytte fra VS til UVS i en av Passeridas forfedre, og presenterer molekylære bevis for ytterligere UV-bytter fra VS fargesyn hos arter utenfor Passerida.

Fargesynets betydning for et dyrs persepsjon, atferd, økologiske tilpasning osv., varierer sterkt mellom ulike dyregrupper, og evolusjonen og radiasjonen vedrørende vertebraters fargesyn har frembragt et stort mangfold (Hunt m.fl. 2009). Som det går frem av 3.1 har fugler tilgjengelig fire til fem kromatiske kanaler i netthinnen, hvilket gjør dem til ekte tetrakromatiske, og kanskje de eneste pentakromatiske i hele dyreriket. Fuglenes tetra- og pentakromatiske fargeverden synes å være det mest komplekse naturen så langt har frembragt i forhold til øyekonstruksjon. Dette er vist både gjennom molekylærbiologiske og cytologiske studier, så vel som atferdsmessige eksperimenter (Ödeen m.fl. 2011, 2012). Disse ekstraordinære synsevnenene har betydning innen alle områder av de enkelte individers livshistorie, fra diskriminering, gjenkjenning og klassifisering av objekter så vel i luft som på bakken, til komplekse oppgaver slik som navigering og sosial og seksuell atferd. Det mangler imidlertid fremdeles kunnskap om fargesynets økologiske betydning og dets funksjon for de fleste dyrearter, selv om det naturlig nok er viktig å forstå fargesynets rolle i forhold til de komplekse, atferdsmessige tilpasninger en finner hos pattedyr og fugl.

Det er antatt at fugler er flinkere enn mennesker til å registrere bevegelser. Dette innbefatter respons både i forhold til stimuli som endrer seg i tid og rom (Fahle & Bach 2006). Særtrekk ved tidsrespons kan eksempelvis studeres ved å se på moduleringsfrekvenser og kritisk flimmerfrekvens (CFF) (Arden 2006). CFF er den frekvensen flimrende lys ikke lengre kan oppfattes som flimrende, men som konstant. Rubene m.fl. (2010) testet CFF hos kylling ved hjelp av fire forskjellige lysstimuli – hvitt, fullspektralt (hvitt med UV), gult (590 nm) og UV (400 nm) – og fire nivå av lysintensitet. Resultatet viste signifikant høyere CFF-verdier for fullspektralt sammenlignet med hvitt lys. Tilstedeværelsen av UV-bølgelengder syntes med andre ord å være viktig også for å kunne oppfatte raske bevegelser.

I tilknytning til at fugler kolliderer med vindturbiner har det vært vurdert tiltak for å redusere dette problemet. Flere av tiltakene har gått på å øke synligheten til rotorbladene ved å øke kontrastvirkningen. Det er imidlertid et annet problem knyttet til et element som er i bevegelse. Bildet på netthinnen av objektet som beveger seg, slik som rotorbladene til en vindturbin, vil på et gitt tidspunkt nå en slik hastighet at bildesensorene på netthinna ikke klarer å følge med. På dette tidspunktet blir netthinnebildet en gjennomsliktig flekk som fuglen trolig tolker dit hen at det er trygt å fly igjennom (Hodos 2002). På engelsk kalles fenomenet «motion blur» eller «smear», på norsk gjerne betegnet med «bevegelsesblindhet». Hodos (2002) utviklet mønstre for å gi netthinnen lengre tid til å «hvile» mellom hver gang et av turbinbladene passerte, eksempelvis ulike typer siksaksmønstre eller ett svart blad mellom to hvite. Selv om disse

kontrastmønstrene økte synligheten også ved mindre avstand, vil imidlertid bevegelsesblindheten på et gitt tidspunkt føre til at heller ikke kontrastmerkede turbinblad blir sett.

Eksperimentene som Hodos (2002) gjorde viste at fargekontrast var en kritisk parameter, dvs. at effektiviteten av et farget turbinblad var avhengig av fargen til bakgrunnen. Det ble imidlertid konkludert med at nytteeffekten av slik kontrastmerking trolig er begrenset av to årsaker. For det første var bakgrunnen under eksperimentene alltid stasjonær, mens en fugl i flukt opplever at bakgrunnen som bevegelig. For det andre oppleves fargene i et bilde som nøyaktige for det menneskelige øye, mens fargesynet til fugl er helt forskjellig fra menneskets fargesyn, slik at fargene i et bilde ikke behøver å være de samme som en fugl opplever. Svart vil derfor trolig være det beste alternativ for å få så god kontrastvirkning som mulig under skiftende bakgrunnsforhold slik fugl opplever.

Å bestemme omfanget av fargesyn hos en art er en utfordring som bare kan løses gjennom omfattende atferdsmessige eksperimenter der fargeblandinger og fargematching inngår. Operasjonelt refererer "omfang" seg i denne sammenheng til det minimum av uavhengige variabler (f.eks. lysfarger, karakterisert ved bølgelengde og intensitet) som kreves for å generere alle fargenyansene et øye er i stand til å oppfatte.

Å vurdere andre arters fargesyn og opplevelse av farger, ut fra menneskets syn, er derfor lite tilfredsstillende. Mange hypoteser er testet med et slikt utgangspunkt, men på bakgrunn av dagens kunnskap er det få holdbare slutninger som kan trekkes ut fra en slik arbeidsmåte. Det forskes i dag mye på å finne metoder som muliggjør objektive vurderinger (dvs. vurderinger som ikke er artsspesifikke – og som f.eks. er basert på menneskets persepsjon og synsopplevelse) av hvilken betydning farger og fargemønstre har for ulike arter.

### 3.3 Dybdesyn

Som de fleste andre dyrearter må fugler operere innenfor en tredimensjonal (3D), visuell verden, ved å benytte seg av stimuli presentert på todimensjonale (2D) netthinneoverflater. To separate øyne gjør det mulig å se to forskjellige punkter i rommet samtidig – hver for seg på en 2D form. Den tilsynelatende manglende tredje dimensjon oppnås gjennom den persepsjonelle integreringen av disse 2D retinale fremstillingene av rommet. Rekonstruksjonen av den tredje dimensjonen – *stereopsis* - muliggjør opplevelse av to fundamentale, romlige egenskaper; bl.a. å beregne den relative posisjonen til punkter og estimere absolutt avstand til et punkt, objekt eller en overflate i forhold til observatørens relative posisjon. Stereopsis er basert på en horisontal, retinal ulikhet, og krever at de korresponderende punktene på hver netthinne kombineres binokulært, og generelt er dette en komplisert prosess for ethvert visuelt system (Goldstein 1984, Schmidt-Nielsen 1991, Valberg 1998, Land & Nilsson 2002, Bruce m.fl. 2003).

Ved siden av evnen til fargesyn, er evnen til dybdesyn en avgjørende tilpasning for en del fuglearter. Den absolutte størrelsen, plasseringen og bevegelsesamplituden hos fugleøyet i skal-lens øyehule, varierer betydelig mellom fuglearter. Denne artsspesifikke variasjonen må bety at den informasjonen hjernen får fører til at ulike arter opplever verden rundt seg høyst forskjellig. Både øyets størrelse, den optiske design, betydning av iris, akkomodasjonsevne m.m., har stor innvirkning på fuglers synsevne. Når det gjelder evne til dybdesyn synes det å være øyets plassering som er avgjørende (Martin 1990, 2009).

En fugls "visuelle felt" definerer den del av rommet den kan ha visuell kontroll på rundt seg. Hodebevegelser muliggjør observasjoner innen et langt større felt, men det felt som er viktig, og som er avgjørende for dybdesyn, er det øynene ut fra sin optiske konstruksjon tillater av synsfelt. Hos alle fugler er øynene plassert lateralt i hodeskallen, og ikke engang blant arter med såkalte frontaløyne (f.eks. ugler) er øynene plassert slik at de peker fremover og parallelt med hverandre. Det optiske, visuelle felt hos et øye, vil variere mellom arter avhengig av det eksakte forholdet mellom brytningsstyrke og posisjon hos øyelinsen og hornhinnen. Størrelsen

på det binokulære visuelle feltet bestemmes av posisjon og bevegelsesmulighet hos øyet i øyehulen.

Den tidligere oppfatningen av at frontalt syn, store binokulære felt og predasjonsatferd (f.eks. rovfugler og ugler) er forutsetninger for binokulært syn og stereopsis, må revurderes. Flere unntak viser at disse evnene opptre i varierende former samt varierer både med en fuglearts økologiske nisje og atferdsmessige behov (Zeigler & Bischof 1993, McIlwain 1996, Martin 2009, Martin & Piersma 2009, Martin & Shaw 2010). Martin (2009) mener fugler har binokulært syn i første rekke for å kontrollere posisjonen til nebb og føtter under furasjering og når de skal mate unger. Sekundært kommer behovet for å inspisere gjenstander som holdes i nebbet. I tredje rekke kommer behovet for å kontrollere omgivelsene når de beveger seg (flukt, unngå hindringer, landing). Rekkefølgen begrunnes med at hos arter som ikke bruker synet for å kontrollere posisjonen til nebb eller føtter under furasjering eller når de mater ungene, er frontalt syn svært redusert, og periskopisk syn oppnås ved å ha øynene plassert fra frontalt til bakoverrettet. Fugler har større behov for periskopi (dvs. å kunne kontrollere så mye som mulig av omgivelsene med synsfeltet) enn dybdesyn (Martin 2009).

Dybdesyn kan også gi informasjon i forhold til bevegelsesretning, og hvor lang tid det tar og nå et bestemmelsessted eller mål (Martin 2009). Martin (2009) mener imidlertid at slik informasjon kan oppnås gjennom det enkelte øye – dvs. gjennom at øynene er uavhengige av hverandre. I denne sammenheng mener han det er bedre å benytte begrepet kontralateralt syn i stedet for binokulært syn, ettersom binokulært syn innebærer opplevelse av volum og stereopsis, noe binokulært syn hos fugl ikke synes å være assosiert med. Hos de fleste fuglearter vil med andre ord den binokulære funksjonen være knyttet til hva det enkelte øye oppfatter isolert (diplopisk) mer enn hva de to øynene kan oppnå sammen.

Martin & Shaw (2010) argumenterer med at hos en del fugler som er kjent for ofte å kolliderer med kraftledninger, kan det ha å gjøre med artenes frontale blindsoner over det binokulære synsfeltet. Dette kan gjøre at de ikke klarer å se hindringer foran seg når de har oppmerksomheten rettet mot områder under seg (når de f.eks. er på utkikk etter hvile- eller furasjeringsplasser) og har hodet bøyd nedover. Blindfeltet kan også gi seg utslag og føre til kollisjoner med kraftledninger når fuglene letter fra bakken i nærheten av kraftledninger ved at disse faller innenfor synsfeltets blindsoner.

### 3.4 Synsskarphet

Et digitalt bilde fremstår som stadig skarpere jo flere piksler som er samlet pr. arealenhet, og øyets evne til å skille detaljer, dvs. ha stor oppløsningsevne og samtidig ha stor lysfølsomhet, er en utfordring. Ulike arter har utviklet ulike egenskaper hos øyet basert på artsspesifikke livshistoriestrategier, og en balanse mellom øyets sensitivitet og oppløsningsevne. Generelt er synsskarpheten hos fugl sammenlignbar med menneskets, imidlertid er det enkelte arter blant spurvefugler, store rovfugler og gribber som har en synsskarphet som er 2,5-3 ganger så god som menneskets (Reymond 1985). Eksempelvis ser amerikansk tårnfalk så godt at den kan gjenkjenne 2 mm store insekter på 18 meter (Fox m.fl. 1976). Det må imidlertid understrekes at tidligere mer eller mindre anekdotiske påstander om fuglers synsevne, har vist seg å være feilaktige, og mange fuglearter ser mindre skarpt enn mennesker ved samme belyningsgrad. Det gjelder bl.a. klippedue, kornkråke og tamhøns (Hodos 1993). Synsskarpheten minker raskt mot utkanten av øyets synsfelt. Hos fugler synes det å være to områder med høy synsskarphet i hvert øye, og generelt synes fugleøyet å se skarpest lateralt, ikke frontalt i forhold til hodet (Martin 2011).

Når det gjelder synsskarphet finnes store variasjoner hos fugl (Martin 1985, Schmidt-Nielsen 1991, Schmidt-Morand 1992), men de fleste arter klassifiseres som sentral monofoveal (Sillmann 1973), og har en enkelt synsgrop (fovea). Dette er et område sentralt på netthinna med svært god skarphet eller oppløsning på grunn av høy tetthet av synsceller (staver, tapper). Ty-

piske jegere, slik som hauker, rørdum og svaler, er bifoale, dvs. at de har to sentralgroper (Sillman 1973, Schmidt-Morand 1992). En bifoal netthinne og frontalt stilte øyne slik som hos en falk, tillater omkring 60° binokulært eller tredimensjonalt synsfelt, men dette skjer på bekostning av en ca. 200° blindsoner (Schmidt-Morand 1992). En stor blindsoner kan bidra til å forklare hvorfor til og med rovfugler med godt utviklet, binokulært syn bl.a. kan fly på kraftledninger (Bevanger 1994, Martin 2011). Noen fugler, eksempelvis hønsefugl, er afoale (Sillman 1973), dvs. at de mangler, eller har en meget dårlig utviklet fovea på netthinnen. Dette er interessant ettersom de fleste norske skoghønsartene er observert å være spesielt sårbare for å kollidere med kraftledninger (Bevanger 1995). Fugler har en begrenset mulighet til å justere flyvehastigheten ved dårlig sikt (Nordberg 1990), og objekter som beveger seg raskt vil også kunne bli oversett når en fugl kommer for nær («bevegelsesblindhet») (McIsaac 2001, Hodos 2003). At de fleste fuglearter har godt sidesyn, har trolig sammenheng med at det er viktig å følge med artsfrender, fiender og oppdage mat, noe som er viktigere enn å se rett fram når de flyr i et åpent luftrom (Martin 2011).

### 3.5 UV-persepsjon

Første gang det ble oppdaget at fugler har fargesyn som strekker seg inn i den ultrafiolette delen av spekteret, og på den måten gir dem utvidet tilgang på stimuli som hjernen kan respondere på, var i tilknytning til atferdsstudier hos klippedue (*Columba livia*) (Wright 1972, Emmer-ton & Delius 1980).

Spektral følsomhet i SWS1 er økologisk viktig for fugl, ettersom spektral avstemming påvirker fuglers evne til å vurdere kvaliteten av potensielle partnere (Maier 1993, Bennett m.fl. 1996, 1997, Andersson & Amundsen 1997, Hunt m.fl. 1997, 1998, 1999, Johnsen m.fl. 1998, Andersson m.fl. 1998, Siitari m.fl. 2002, Gaibani m.fl. 2008), oppdage kryptiske og raske byttedyr eller næring (Burkhardt 1982, Vitala m.fl. 1995, Church m.fl. 1998, Koivula & Viitala 1999, Siitari m.fl. 1999, Probst m.fl. 2002), samt minimere synligheten av sosiale signaler i fjærdrakten i forhold til predatorer (Håstad m.fl. 2005). Fuglenes evne til å se i UV-delen av spekteret er diskutert nærmere i 3.2.

Det er tidligere foreslått å teste hvorvidt UV-coating av kraftledninger kan bidra til å gjøre dem mer synlige for fugl (Bevanger 1998). Det er også søkt om økonomisk støtte til å forske på dette til Norges forskningsråd (Bevanger m.fl. 2004, 2005). Tidlig på 1980-tallet ble det påpekt at fugler kan se enkelte typer edderkoppnett, og at dette er en egenskap knyttet til silken og formen på edderkoppens fangstnett (Eisner & Nowicki 1983). Et tema blant atferdsøkologer har også vært hvorvidt ornamenteringen (*stabilimentum*) hos nettet til enkelte edderkopparter er utviklet for å beskytte nettet, dvs. advare fugler slik at de ikke flyr inn i nettet og ødelegger det, eller for å tiltrekke seg byttedyr (f.eks. Blackledge & Wenzel 1999). Ved å bruke spektrofotometriske analyser viste Bruce m.fl. (2005) at 5 edderkopparter som ble testet var synlig for honningbier og fugler både på kort og lang avstand.

Buer & Regner (2002) benyttet begrepet “edderkoppeffekt” i tilknytning til forsøk på å bruke UV-reflekterende materiale for å gjøre menneskeskapte strukturer mer synlige slik at fugler ikke kolliderte med dem, og har nå omsatt ideen til et kommersielt produkt <http://www.spinnennetz-effekt.de/index-en.html> i form av en penn (se <http://www.birdpen.de/>) som i følge produktbeskrivelsen enkelt kan benyttes til å påføre et vindu UV-reflekterende mønstre i en eller annen form. I følge produsenten kan kollisjonsfaren for fugl derved reduseres med 70 %. Det markedsføres også andre UV-coatingsprodukter (se f.eks. [http://www.drytac.co.uk/finishing-equipment/uv-coaters.html?gclid=CNKe1q\\_6qqYCFQGHdQodHGlf2A](http://www.drytac.co.uk/finishing-equipment/uv-coaters.html?gclid=CNKe1q_6qqYCFQGHdQodHGlf2A)).

I august 2010 ble det såkalte Ornlux Mikado glasset lansert (se <http://www.ornlux.de/>), et produkt utviklet av den tyske glassprodusenten Arnold Glass og Max Plankinstituttet. Vinduet er utstyrt med UV-reflekterende coating som skal være så godt som usynlig for det menneskelige

øye, men som fremstår som et edderkoppnett og barriere for fugl. I følge produsentens hjemmeside er produktet inspirert av artiklene til Eisner & Nowicki (1983), Herberstein & Fleisch (2003) og Bruce m.fl. (2005).

Fra 2004 er det gjort flere eksperimenter for å se om fugler i mindre grad kolliderer med speilglassruter ved å merke disse, inklusive bruk av UV-reflekterende materiale (se Rössler m.fl. 2009). Konklusjonene er at det er grunn til skepsis vedrørende UV-merking og at synlige markeringer er bedre. Det synes også som om fugler blir dårlige til å oppfatte UV-lys når de er i bevegelse og at godt bevegelsessyn spiller en sentral rolle når det gjelder å oppdage UV-markering av glassplater (Rajchard 2009).

Daniel Klem har forsket mye på fuglekollisjoner og speilglassruter. Klem (2009) konkluderer, på bakgrunn av gjentatte felteksperimenter og responsstudier hos fugl med at en kombinasjon av UV-reflekterende og UV-absorberende striper i et nettingmønster på vinduene hindrer kollisjoner: *"Applications that combine alternating and contrasting UV-reflecting and UV-absorbing patterns to existing clear and reflective windows have promise of preventing bird strikes while offering little or no visual distraction for humans."*

Et interessant spørsmål er naturlig nok hvorfor mange fugler har utviklet evne til å se i UV-delen av spekteret. For at en slik evolusjonær prosess skal ha funnet sted må det nødvendigvis ha ført til økt overlevelse. Hvis vi bruker tårnfalk (*Falco tinnunculus*) som eksempel er dette en fugl som en vanligvis legger merke til i og med at den ofte står stille («stiller») i luften med flagrende vinger. Når så skjer er blikket rettet mot bakken etter byttedyr, dvs. smågnagere. At det er mulig å se en mus i en ellers nokså homogen gressoverflate kan synes underlig, selv om rovfugler generelt har skarpt syn. Nyere undersøkelser har imidlertid vist at stiene til smågnagere er markert med urin og ekskrementer som er synlig i UV-delen av spekteret. Dette er også vist eksperimentelt (Koivula m.fl. 1999).

### 3.6 Synsevne ved dårlig belysning; fugletrekk og elektromagnetiske felt

Evne til å se i dårlig belysning skal gjøre et dyr i stand til å bevege seg gjennom en verden av hindringer, gjenkjenne ulike 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 i så måte er imidlertid fettfuglen (*Steatornis caripensis*) som om dagen lever i dype huler uten dagslys og furasjerer om natta (Martin m.fl. 2004). Fettfuglens retina domineres av små staver (diameter ca. 1,3 µm; lengde 18-19 µm), arrangert lagvis slik at hvis et foton slipper gjennom det første laget, kan det fanges av et av de underliggende lagene. Også i Norge har vi arter som ser svært godt i nattemørket. Havsvaier og stormsvaier som hekker langs kysten av Nord-Norge, starter hekkesesongen først etter at midnattssola er borte og nettene har blitt mørke (Aarvak m.fl. 2005).

Et område innen ornitologien som er mye studert er fugletrekket, dvs. at fugler som hekker på nordlige breddegrader om sommeren, vår og høst må 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 1979, Berthold 1991, Wiltschko & Wiltschko 2009).

Fugler på matsøk eller 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 kompassmodell», 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 magnetiske polene. Fugler kan følge feltlinjene direkte, og de 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. Wu & Dickman (2012) har imidlertid påvist hjerneceller hos duer som er i stand til å samle detaljert informasjon om jordas magnetfelt. De klarte å identifisere en gruppe celler i hjernestammen som både er i stand til registrere retningen av, og styrken på det magnetiske feltet. De mener også å ha klare indikasjoner på at denne informasjonen kommer fra det indre øret.

Eder m.fl. (2012) har isolert magnetiske reseptorceller i fuglehjernen og vist at cellene 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. Forfatterne mener dette bl.a. kan bidra til å forklare hvorfor lavfrekvente magnetfelt som bl.a. dannes fra kraftledninger kan være med 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.

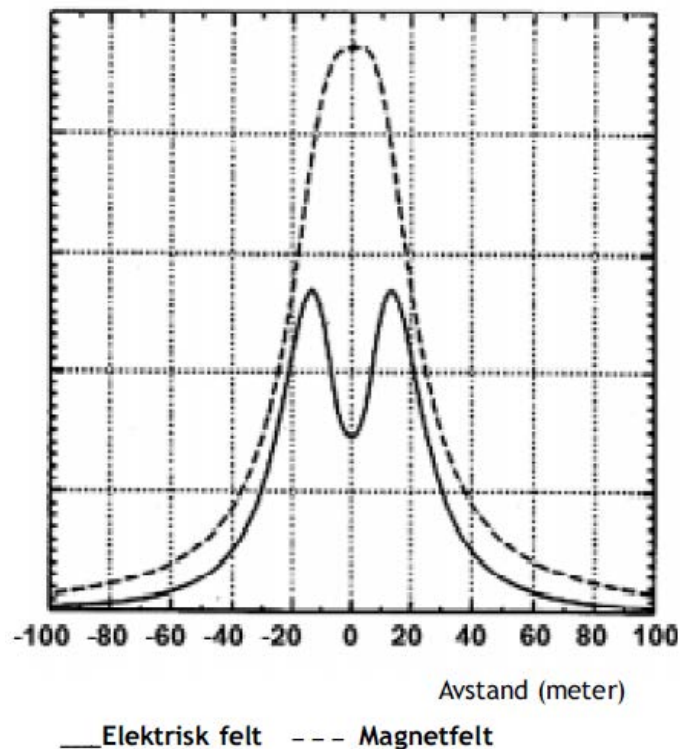
I motsetning til jordmagnetismen varierer de andre holdepunktene for retningsidentifisering – dvs. sol, stjerner og polarisert lys (Gál m.fl. 2001) – med tidspunkt på dagen, årstid og geografisk breddegrad. Fuglene må med andre ord kunne tolke disse riktig, noe som sikres gjennom læringsprosesser. Læringsprosesser 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 – og 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. Ene og alene basert på erfaring så representerer «rutekartet» og «mosaikkartet» fordelingen av navigeringsfaktorer i

fuglens hjemmeregion – de er perfekt tilpasset fuglenes leveområde (Wiltshko & Wiltshko 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 – hvor det geomagnetiske feltet og himmellegemenes rotasjon fungerer som rettingsreferanser. 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 trekktruten 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 (Wiltshko & Wiltshko 2009).

Det har i mange år vært diskutert hvorvidt elektromagnetiske felt kan på virke 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 strømmettet. Normalt er feltstyrken rett under en høyspentledning 10-20  $\mu\text{T}$ . Til sammenligning er feltstyrken fra en varmekabel i et gulv 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. **Figur 1** illustrerer hvordan elektrisk og magnetisk feltstyrke varierer med avstand fra en kraftledning. Feltstyrken i tilknytning til likestrømsledninger er betydelig høyere.

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 indikasjoner på at det kan være en sammenheng mellom elektromagnetisk stråling og sykdom både hos mennesker og dyr, og at bl.a. fugler kan bli påvirket, både i forhold atferd, reproduksjonssuksess, vekst, fysiologi m.m. (Fernie & Reynold 2005). Dette er imidlertid et forskningsområde som fremdeles er mangelfullt fokusert.



**Figur 1.** Elektrisk og magnetisk feltstyrke avtar raskt med avstand fra kraftledninger (etter Statens Strålevern 2000).

Nylig ble det publisert en revyartikkel 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. Når det gjelder fugler så konkluderer Cucurachi m.fl. (2013) med at det har vært utført noen eksperimentelle studier i laboratorier, der tamhøns og vaktel særlig har vært benyttet som forsøksdyr. I disse, forholdsvis nye studiene, er det observert en effekt 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).

## 4 Driftskonsekvenser for kraftledninger ved ulike valg av fargebelegg

På grunnlag av korrosjonstester og litteraturstudie kan det konstateres at fargebelagte liner med dårlig drenering kan få spaltekorrosjon under belegget, mellom trådene og trådlagene allerede etter 6 år når de benyttes i eksponerte kystmiljø. Stålkjernen, spesielt i tynne liner, får rustflekker, som kan initiere galvanisk korrosjon på de innerste Al-trådene. Grovere stålaluminiumliner belagt med våtlakk eller liner produsert med grafitt i trekkoljen synes å være mer stabile i løpet av seksårsperioden, mens syrebeisede liner, tynne liner med våtlakk og liner med primer har en ustabil tendens og kan dermed få akselererende korrosjon. Mattede (leirblåste)

eller primede kamuflasjelinere synes å klare seg godt i kystmiljø med lav atmosfærisk korrosivitet.

Når det planlegges kraftledninger skapes det konflikter, og derfor har NVE siden 1992 ved konsesjonsbehandling av nye kraftledninger stilt vilkår om kamuflerende tiltak for å redusere den visuelle fjernvirkningen. Refleksjonen av sollyset reduseres ved å benytte fargede, eller mattede kraftledningskomponenter, som gjør at master og liner glir bedre inn i landskapet. Reduksjon av ryddebeltet er også vurdert som et kamuflerende tiltak.

Hensikten med bruk av fargede, eller mattede liner er i utgangspunktet å redusere den visuelle fjernvirkningen av kraftledningen. Samtidig er det andre hensyn som bør ivaretas:

- For nettselskapene er det viktig at linens overflatebelegg ikke initierer nedbrytningsmekanismer som reduserer kraftledningens levetid.
- Kan kamuflasjelinene føre til økt grad av fugledød pga. kollisjon med de mindre synlige linene? Dette bør være gjenstand for vurdering i forbindelse med planlegging og konsesjonsbehandling av nye kraftledninger.

Ulike typer metalliske belegg, ikke-metalliske belegg og overflatebehandling på kraftledningskomponenter, kan gi følgende effekt:

- Økte kostnader i forhold til konvensjonelle løsninger.
  - ❖ Leirblåste liner ca. 15 %.
  - ❖ Karbon i trekkfettet ca. 25 %.
  - ❖ Våtlakking / maling ca. 45 %.
  - ❖ Merkostnaden ved bruk av kamuflasjelinere utgjør ca. 10-15 % for hele kraftledningen.
- Lengre leveringstid pga. færre leverandører.
- Mer logistikk mht. transport.
- Økt sårbarhet ved montasje av både liner og kontaktforbindelser
- Økt overføringsevne på inntil 5 %
- Økt vedlikehold
  - ❖ Dårlig drenering i liner kan i kystområder gi større sannsynlighet for spaltekorrosjon mellom trådlagene og galvanisk korrosjon mot stålkjernen.
  - ❖ Belegg på overflaten av aluminium, kan lett føre til spaltekorrosjon under eventuelle sårkanter i belegget.
  - ❖ Økt kontaktresistans i klemmer og skjøter kan gi vekselstrømskorrosjon eller avsmelting av linetråder på grunn av ujevn strømfordeling i linen.
    - o Dette øker kravet til preparering av linen under montasje.
  - ❖ Utglidning av linen pga. redusert friksjon i avspenningsklemmer.

**Figur 2 og 3** gir eksempel på den visuelle fjernvirkningen av to nabomaster i med- og motlys. Mastene har vanlig galvanisering og linene er uten spesiell behandling.



**Figur 2.** I motlys er det vanskelig å få øye på denne galvaniserte masten på en ledning mellom Odda og Røldal. Fotograf ukjent.



**Figur 3.** I medlys er det lett å få øye på denne galvaniserte nabomasten til masten i figur 2. Fotograf ukjent.



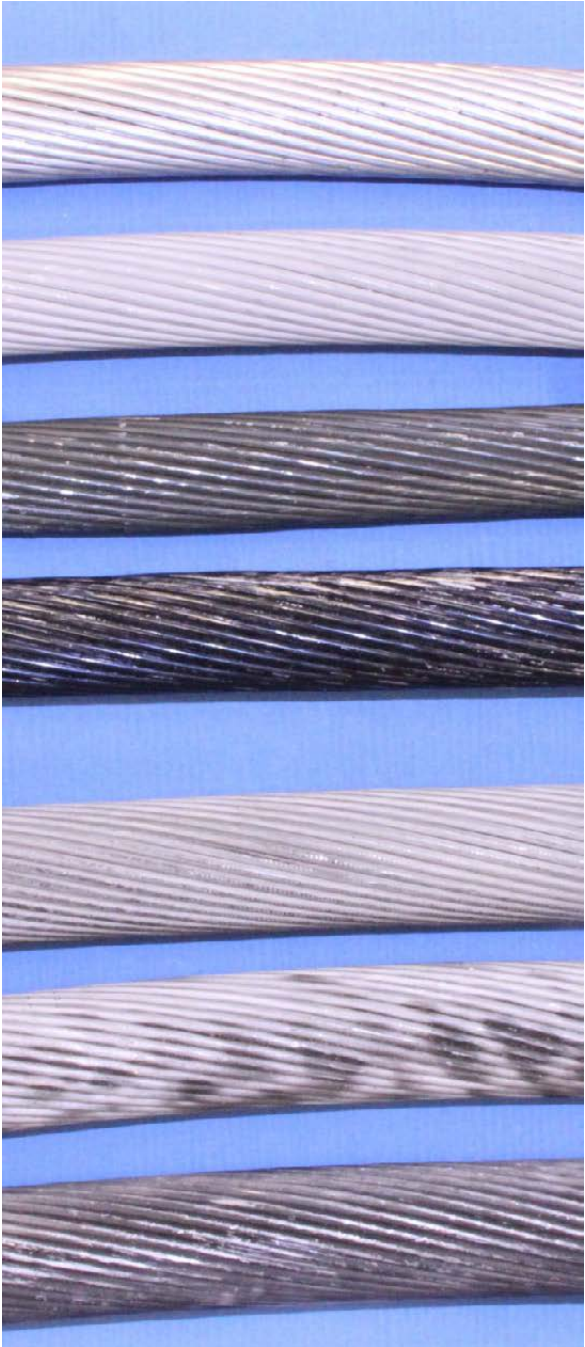
**Figur 4.** 50 kV ledning Enebakk-Flateby i Akershus. Syrebeiset line og brennlakkerte master. Både master og liner er vanskelig å få øye på med den mørke skogen som bakgrunn. Foto stilt til disposisjon av Akershus Nett AS.

## 4.1 Typer overflatebehandlede liner som kan redusere den visuelle fjernvirkningen

For å redusere den visuelle fjernvirkningen av kraftledningsmateriell finnes det mange ulike metoder som kan benyttes (**Tabell 1**). Til bruk for kamuflering av liner er det blant annet benyttet våtlakk, primer, olje med grafitt, stråling og kjemisk behandling (**Figur 5**).

**Tabell 1.** Ulike produksjonsprosesser for mulige belegg på linene.

| Belegg                    | Farge                 | Prosess                                                                                                    | Anmerkning                                                                                                                                                           |
|---------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Våtlakk                   | Fargeskala            |                                                                                                            | Olivengrønne liner brukes i Norge. Dårlig drenering kan føre til vannansamling og korrosjon inne i linen                                                             |
| Vannbasert lakk           | Matt, gråsort         |                                                                                                            | Contilakk, kort tørketid                                                                                                                                             |
| Pulverlakk                |                       |                                                                                                            |                                                                                                                                                                      |
| Primer                    | Mørk grønn, svart     |                                                                                                            |                                                                                                                                                                      |
| Elektromaling             | Blank, sort           |                                                                                                            | Polygrip                                                                                                                                                             |
| Lufttørkende maling       | Fargeskala            |                                                                                                            |                                                                                                                                                                      |
| Fett                      | Lys brun, sort, grønn | Påføres i kald eller flytende tilstand (130°C)                                                             | Over tid kan fett ofte sige ut på lineoverflaten, som får mørke kamuflasjeflekker                                                                                    |
| Olje                      | Gråsort               | Innfarging (grafitt) i trekk-middelet                                                                      | Benyttes ved trekking av trådene i linens ytre lag. Karbonet vaskes gradvis bort. Naturlig matting                                                                   |
| PEX                       | Sort                  |                                                                                                            | BLX, BLL                                                                                                                                                             |
| Flammespraying            |                       | Sintring av pulver ved høy temperatur                                                                      | Problematiske produksjonsprosess                                                                                                                                     |
| Stråling                  | Matt, halvblank       | Lett blåsing med sand, leire, nøtteskall, glass                                                            | Leire er benyttet i Australia og av Statnett. Den lager en mengde små groper som reflekterer lyset i mange retninger. Skånsom mot linen og miljøvennlig i produksjon |
| Eloksering / anodisering  | Fargeskala            | Rensing med løsemiddel, preparering i sinkoppløsning, elektrolyse i syrebad, oksid festes ytterst i porene | Kostbar løsning beregnet på aluminium                                                                                                                                |
| Elektrolyttisk innfarging | Brun til sort         | Elektrolyse i syrebad, oksid festes innerst i porene                                                       | Kostbar løsning beregnet på aluminium                                                                                                                                |
| Kromatisering             | Gul til brun          | Kjemisk etsing i fargebad                                                                                  | Helseskadelige kjemikalier. Har vært benyttet Norge                                                                                                                  |
| Kjemisk behandling        | Halvblank, matt       | Etsing i syrebad eller lut                                                                                 | Helseskadelige kjemikalier. Har vært benyttet i Norge                                                                                                                |
| Kjemisk farging           | Fargeskala            | Dyping i fargebad. Oksidbelegget farges                                                                    | Slites lett bort                                                                                                                                                     |

|                                                                                    | LINETYPER                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Ny ubehandlet FeAl<br>Blank skinnende overflate                                                                          |
|                                                                                    | Leirblåst FeAl<br>Matt / grå overflate                                                                                   |
|                                                                                    | FeAl med primer<br>Mørk grønn                                                                                            |
|                                                                                    | Våtlakkert FeAl<br>Svart / olivengrønn overflate                                                                         |
|                                                                                    | Naturlig mattet FeAl etter 34 års drift                                                                                  |
|                                                                                    | Naturlig mattet FeAl etter 40 års drift.<br>Fettet i linen har seget ut på linens overflate, som har fått mørke flekker. |
|                                                                                    | Naturlig mattet helfettet FeAl etter 40 års drift                                                                        |

**Figur 5.** Faseledere og jordlinjer kan farges og overflatebehandles slik at de blir mindre synlige.

## 4.2 Egenskaper

### 4.2.1 Kravspesifikasjon

I **Tabell 2** er det utarbeidet forslag til kravspesifikasjon for belegget på linene. Her skal en vurdere de viktigste av disse egenskapene.

**Tabell 2.** Generelle kravspesifikasjoner til fargede liners egenskaper.

| Egenskap                          | Krav                                                                                                                                                |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Farge / visuell fjernvirkning     | Sort, mørk grønn, helst matt                                                                                                                        |
| Vedheft                           | God vedheft som tåler montasje og ulike påkjenninger i driftsperioden                                                                               |
| Korrosjonsegenskaper              | Belegget må ikke påvirke komponentenes egenskaper eller framskynde nedbrytningen                                                                    |
| Temperaturbestandighet            | Maks. kontinuerlig driftstemp., 80°C<br>Normal driftstemp., 50°C<br>Maks. kortvarig temp. ved kortslutning, 250°C<br>Minimum lufttemperatur, -30 °C |
| Strekk- og vibrasjonspåkjenninger | Som for ufarget line                                                                                                                                |
| Beleggets ledningsevne            | Isolerende belegg skal tas hensyn til ved montasje og valg av kontaktforbindelser                                                                   |
| Påvirkning av metall              | Kompatibel                                                                                                                                          |
| Overføringskapasitet              | Linen bør ha en emisjonsfaktor $\epsilon = 0,90$ for å oppnå kjølingseffekt vha. varmeutstråling                                                    |

### 4.2.2 Visuell fjernvirkning

Ved å belegge de blanke komponentene eller konstruksjonene med en matt eller mørk overflate, søker en å redusere refleksjonen fra sollyset og at linene skal gå mer i ett med bakgrunnen i en åsside eller skog. Synligheten vil variere i løpet av dagen og om ledningen sees i motlys eller medlys. En ny og ubehandlet line vil være reflekterende og ofte godt synlig. I kystmiljø (f.eks. Frøya) vil linen få en naturlig matt overflate etter få år, men i innlandsstrøk (f.eks. Tynset) kan linene beholde sin glans i mange år.

Erfaringer ved observasjoner av kraftledninger i ulike landskapsbilder:

- Mørke liner er lite synlige mot åssider eller når de sees mot en bakgrunn av skog. Linene er godt synlige i åpent landskap.
- I åpent kulturlandskap er mørke liner svært synlige pga. sterk refleksjon i motsol / lav ettermiddagssol.
- Mattede liner i skogslandskap, kulturlandskap og snaufjell. Framstår som lyse og svært framtrædende mot bakgrunn av skog, men det er svært lite refleksjon selv i motlys.
- I skogslandskap kan mørke techtylbelagte liner ha en gråblå og kald farge, som stikker seg ut mot skogen.
- Ved kryssing av dalfører er observert liten fargeforskjell på blanke og mørke techtylbelagte liner. Triplex liner eller liner med stor diameter øker derimot synligheten.
- Mot bakgrunn av skog framstår blanke liner som svært lyse.
- I bylandskap er blanke liner svært synlige.

- I skoglandskap, kulturlandskap og heilandskap er blanke liner tydelige og tiltrekker seg oppmerksomhet på langt hold.

### 4.2.3 Korrosjonsegenskaper

Visuell undersøkelse av testede liner viser at det i eksponerte kystområder er stor sannsynlighet for spaltekorrosjon under belegg med dårlig heft. Belegg som påføres etter at linetrådene er slått, har en tendens til å hindre drenering av linen. Belegget fremmer dermed innvendig korrosjon mellom trådene og trådlagene og spesielt i linens laveste punkt, (**Figur 6** og **7**).

I syrebeisete liner tæres sinken raskt bort på uinnfattede stålkjerner, og det oppstår lett galvanisk korrosjon på indre aluminiumtrådlag, spaltekorrosjon mellom aluminiumtrådene og groptæring på linens overflate. Isolerende belegg som påføres enkeltrådene før slagning av linen, antas å fremme vekselstrømskorrosjon mellom trådene (se testede linenes nedbrytning som funksjon av simulert tid i **Figur 8**).



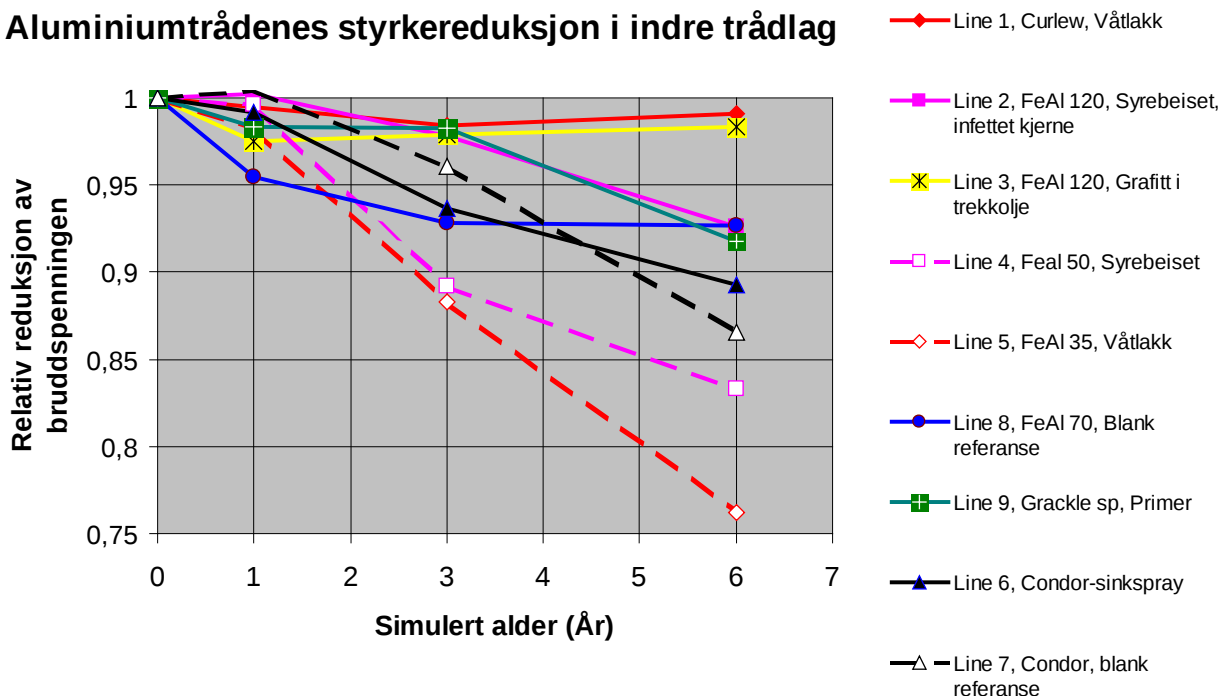
**Figur 6.** Stålaluminiumline (Grackle) med primer. Linen har dårlig drenering pga. belegg som tetter spaltene mellom trådene i ytre lag. Foto: S. Refsnæs.



**Figur 7.** Stålaluminiumline med våtlakk. Spaltekorrosjon har oppstått under våtlakken, som har løsnet. Foto: S. Refsnæs.

Resultatet av simulert aldring på hhv. 1, 3, og 6 år i en eksponert kystsone går fram av **Figur 8**. Nedbrytningen er framstilt for indre aluminiumtrådlag, som har størst nedbrytning i de fleste linene. Liner med grafitt i trekkoljen synes å ha god korrosjonsbestandighet, mens tynne, syrebeisede liner får rask borttøring av sinken og tynne liner med våtlakk kan få kraftig innvendig korrosjon.

### Aluminiumtrådenes styrkereduksjon i indre trådlag



**Figur 8.** Simulert aldring av liner på henholdsvis 1, 3, og 6 år i en eksponert kystsone og nedbrytning som funksjon av tid.

#### 4.2.4 Overføringskapasitet

Inntil 1980 ble stålaluminiumliner i Norge prosjektert for en linetemperatur på 50°C. Samfunnets økende energibehov og økonomisk press tvinger nettselskapene til økt utnyttelse av overføringsnettet. Forutsatt at tillatt bakkeavstand ikke overskrides ved økt linetemperatur eller at dette er et problem for noen få kritiske spenn, kan en av løsningene være å øke maksimalt tillatt linetemperatur til 80°C / termisk grenselast i stedet for å oppgradere eller bygge nye kraftledninger.

Selv om man overholder sikkerhetsavstander, som påvirkes av slakkere liner pga. forlengelse og langtids sig i linene, forblir det et problem at linenes **bruddstyrke** reduseres når de driftes over korte og lange perioder ved høyere temperatur. Aluminiumtråder med størst grad av kaldbearbeiding, dvs. tynne linetråder, får den største styrkereduksjonen ved forhøyet temperatur.

Energimengden som en kraftledning kan overføre er avhengig av linens evne til å stråle ut termisk energi. Gamle, værslitte liner har større evne til å kjøle seg ned enn nye og blanke liner. Dette betyr at ved å bruke **kamuflasjelinjer** med høyere **emisjonsfaktor** økes kjøleeffekten pga. mer utstrålt varme, og dermed oppnås en økning i linens **strømførende kapasitet**.

Den maksimalt tillatte strømbelastningen og tilhørende linetemperatur, vil avhenge av de elektriske egenskapene til linen og de topografiske og atmosfæriske forholdene som omgir den. Sammenhengen mellom disse parameterne er kjent som varmeligningen, der varmebalansen kan uttrykkes ved:

Mottatt varme = Varmetap

Det forutsettes da at det ikke lagres varme i linen og at linen er i termisk likevekt med omgivelsene.

De meteorologiske parameterne som påvirker den termiske situasjonen, inkluderer vindhastighet, vindens retning og turbulens, omgivelsestemperatur og solinnstråling. Forutsatt dette og at den elektriske lasten er tilnærmet konstant, vil ikke temperaturen forandre seg vesentlig. I denne situasjonen er varmen som tilføres linen i balanse med varmen som forsvinner, og den termiske situasjonen er definert som en stabil tilstand. En ligning for linens varmebalanse kan da skrives som:

$$P_j + P_s = P_r + P_k \quad (1)$$

hvor

$P_j$  = ohmske tap

$P_s$  = solinnstråling

$P_r$  = radiell varmeavledning pga. utstråling

$P_k$  = varmeavledning ved konveksjon

Det radielle varmetapet per enhetslengde pga. utstråling er omtrent lik varmetapet ved konveksjon i vindstille vær. Ved vindhastigheter over 10 m/s er varmeavledning pga. utstråling neglisjerbar i forhold til konveksjon. Det radielle varmetapet er avhengig av linediameteren, emisjonsfaktoren, linens temperatur og omgivelsestemperaturen. På grunn av det faktum at strålingstapet vanligvis er en liten del av det totale tapet, spesielt ved forsert konveksjon, er det vanligvis tilstrekkelig nøyaktig å uttrykke varmetap pga. utstrålt varme som:

$$P_r = \pi D \varepsilon \sigma_B [(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (2)$$

hvor

$\sigma_B$  = Stefan – Boltzmann konstant

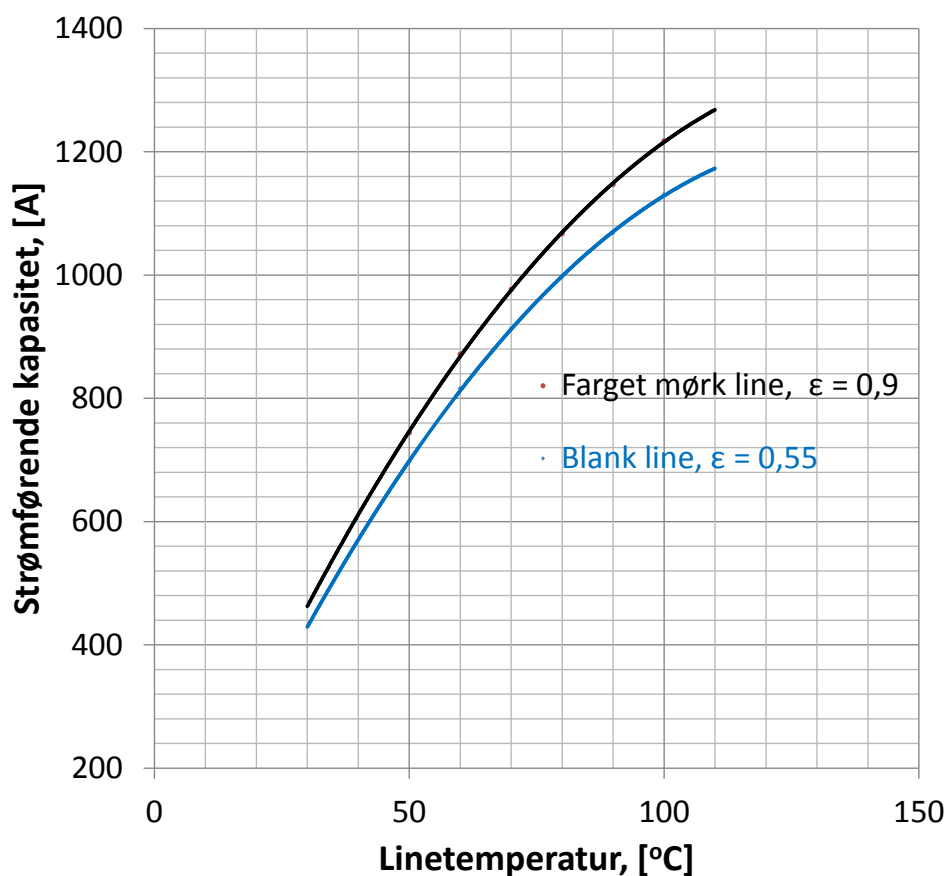
$T_a$  = omgivelsestemperatur

$T_s$  = linens overflatetemperatur

$\varepsilon$  = linens emisjonsfaktor

**Emisjonsfaktoren  $\varepsilon$**  er avhengig av linens overflatebeskaffenhet og kan variere fra 0,23 for nye, blanke liner til 0,95 for gamle værslitte liner eller liner med mørkt belegg (olivengrønn primer, våtlakk o.l.). Reflektiviteten og fargen på liner/kabler er spesifisert i ANSI C7.69. Et eksempel på den **strømførende kapasiteten** til blanke og fargede liner illustreres i **Figur 9**.

Ved å øke linens emisjonsfaktor kan man øke kjølingen pga. utstrålt varme og oppnå en økning i den strømførende kapasiteten på ca. 5 %. Den mottatte varmen fra solinnstråling kan få linens temperatur til å stige med 5°C til 10°C, men denne effekten avtar for linetemperaturer over 70°C[4].

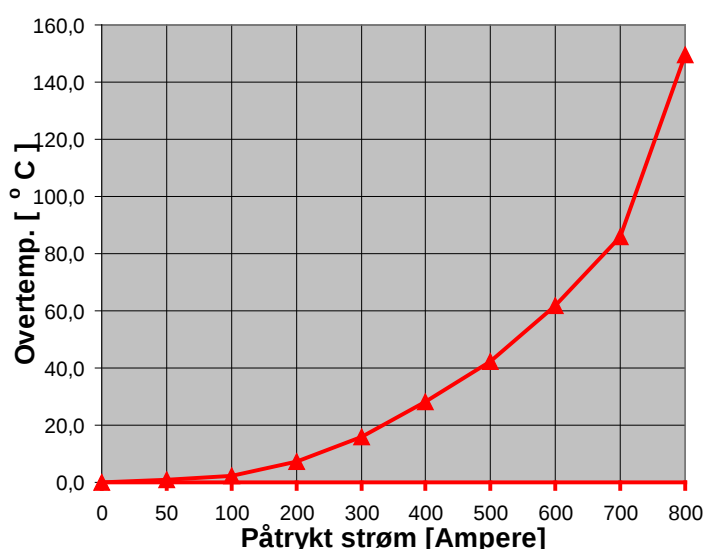


**Figur 9.** Strømførende kapasitet til blanke stålaluminiumliner ( $\varepsilon = 0,55$ ) og fargede liner ( $\varepsilon = 0,90$ ) av typen FeAl 240-26/7. Vindhastighet = 0,6 m/s, omgivelsestemperatur 20°C, solinnstrålingsintensitet 900 W/m<sup>2</sup>.

## 4.2.5 Fargebeleggets kontaktegenskaper

Feilstatistikk viser at kontaktsvikt i klemmer og skjøter er en av de hyppigst forekommende feil i elektriske anlegg. Kontaktproblemer oppstår vanligvis i forbindelse med høy eller vekslende strømbelastning. Ved kontaktsvikt, som fører til langvarig strømbrudd, kan de økonomiske konsekvensene bli betydelige.

Varmeproduksjonen i dårlige kontakter, kan føre til at linetemperaturen i og like utenfor en skjøt vil ligge langt over temperaturgrensen på for eksempel 80°C eller 100°C selv ved en strømbelastning som ligger under beregnet termisk grenselast. Den termiske grenselasten er eksempelvis ca. 874 A for en stålaluminiumline av typen FeAl 185-26/7 ved maksimal linetemperatur 80°C, men ved denne strømbelastningen ville overtemperaturen i en dårlig lineskjøt med en k-verdi lik 8 vært på ca. 160°C (**Figur 10**). K-verdien er forholdet mellom lineskjøtens resistans og resistansen til en line med tilsvarende lengde,  $k = R_{\text{skjøt}} / R_{\text{line}}$ .

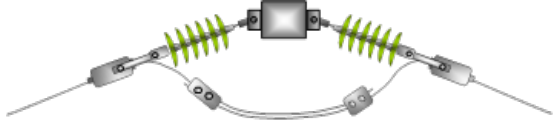
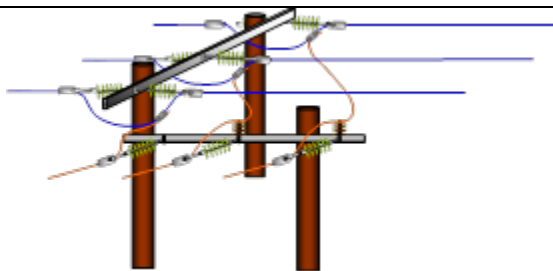
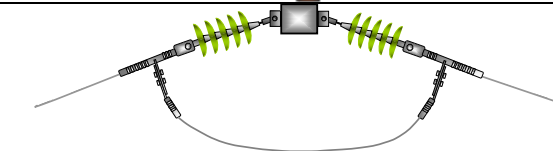


**Figur 10.** Kurven viser en sekskantpresset skjøts overtemperatur i forhold til linetemperaturen (FeAl 185-26/7), som funksjon av strømbelastning. Skjøtens k-verdi er ca. 8,0, vindhastighet  $v < 0,6$  m/s og overskyet vær.

Aluminium er dårlig egnet som kontaktmateriale, og kan bare brukes i statiske kontakter. Aluminiumoksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dannes svært raskt og i løpet av få minutter har oksidfilmen vokst til ca. halvparten av maksimal tykkelse i tørr nøytral atmosfære. Oksidveksten akselererer ved økende temperatur og fuktighet, og vil dessuten kunne påvirkes av forurensninger fra industri ( $\text{SO}_2$ ) eller saltdeponering (Cl) i kystnære områder.

Oksidfilmen er hard og sprø, og den er praktisk talt isolerende. For at elektrisk kontakt skal oppnås, må derfor oksidfilmen brytes opp, eller så må den være så tynn at en nødvendig strømgjennomgang kan oppnås. I praksis er det umulig å oppnå oksidfrie kontaktflater på blanke liner uten belegg, og derfor må overflaten gjøres så ru som mulig for å oppnå et tilstrekkelig antall strømførende kontaktpunkt. For kontaktutforminger, som ikke kan ivareta denne funksjonen, må kontaktflatene behandles med stålbørste, smergelduk o.l. umiddelbart før montasje.

**Isolerende fargebelegg** på linen kan redusere egenskapene til kontaktforbindelsene, og dette må derfor tas hensyn til ved montasje og valg av skjøter og klemmer (se eksempler i **Figur 11**).

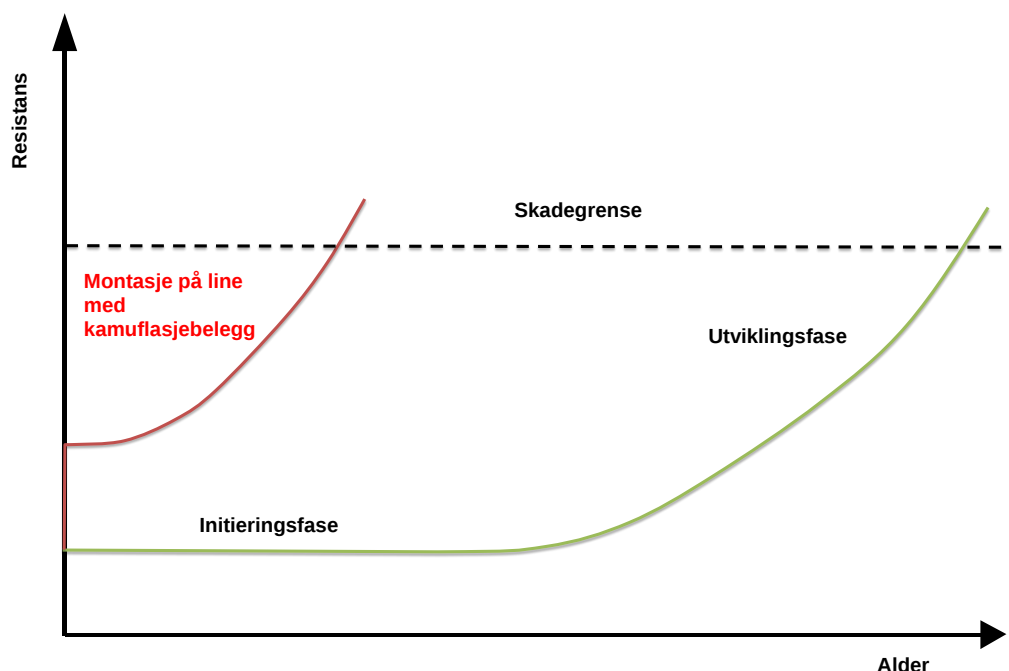
| Kontakttype   |                                                                                    | Skadeforebyggende tiltak                                                                                                                               |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Loopklemmer   |   | Kontaktflatene på linen må behandles med slipende middel for å fjerne kamuflasjebelegg og oksid.                                                       |
| Avgreining    |   | Kontaktflatene bør være slik utformet at det oppnås oksidbrytende funksjon.<br><br>Det bør benyttes fett i kontaktflatene.                             |
| Loophylser    |   | For å unngå fuktinntrengning og korrosjon i korrosive miljø, bør linenes hulrom være fylt med fett.                                                    |
| Skjøt i spenn |  | Ved bruk av skrukeklemmer bør det benyttes momentnøkkel.<br><br>Kontaktforbindelsen bør kontrolleres vha. resistansmåling umiddelbart etter montasjen. |

**Figur 11.** Kontaktsystemer, som kan få reduserte kontaktegenskaper pga. overflatebelegget på kamuflasjelinier.

Fjerning av oksid og isolerende overflatebelegg i kontaktforbindelser er viktig for alle linetyper, men dette gjelder i enda større grad for **kontaktering av kamuflasjelinier**.

Ved mekaniske og termiske påkjenninger og tilgang på fuktighet vil det ofte dannes nytt isolerende oksid, og derfor bør kontaktflatene påføres et tynt lag med fett. Fett-typer som inneholder metall-, kvarts-, eller karborundpartikler er i hovedsak tiltenkt brukt i pressforbindelser. I skrueforbindelser bør det ikke benyttes fett med partikler fordi kontaktrykket gjerne er for lite til å presse partiklene inn i kontaktflatene. Fett vil i tillegg forsegle kontaktområdene mot inntrengning av vann og forurensning, som kan føre til korrosjon.

Hvis disse prosedyrene utelates, vil overgangsmotstanden etter montasjen bli forhøyet. Dette vil sannsynligvis føre til akselerert kontaktaldring og at levetiden forkortes vesentlig (**Figur 12**).



**Figur 12.** Endring av kontaktegenskapene ved uheldig montasje av klemmer og skjøter.

## 5 Oppsummering og konklusjoner

### 5.1 Fargekamuflering og fugl

Millioner av fugl drepes årlig av å kollidere med kunstige lufthindringer som kraftledninger, vindturbiner, vinduer m.m. Fellesnevneren for alle typer menneskeindusert dødelighet er at fugler i løpet av sin utviklingshistorie ikke har utviklet mekanismer som er i stand til å takle slike nye utfordringer. Mange av dødsårsakene er også direkte eller indirekte knyttet til fuglers synsevne. På grunn av sterk befolkningsvekst øker bl.a. behovet for mer energi med tilhørende infrastruktur som kraftledninger - konstruksjoner som mange mennesker opplever som negative landskapselementer.

Et av tiltakene som er foreslått for å redusere den visuelle effekten av kraftledninger, er å gjøre så vel master som luftliner mindre synlige gjennom fargekamuflering, dvs. minske kontrasteffekten av strukturene i forhold til landskapet de bygges i. Problemet er at menneskets opplevelser av farger ikke uten videre kan overføres til fugl. En vet m.a.o. ikke om det vi f.eks. opplever som grønt også oppleves som grønt av en fuglehjerne. Dette gjør det også meget vanskelig å si om det er gunstig eller uheldig å male en kraftledning grønn, rød eller gul.

Fargen på et objekt synes ved første øyekast å være en egenskap ved selve objektet. Vi sier at en arapapegøye er blå og gul, og at en banan er gul, og opplever at dette er farger som virker å være nokså konstante. Farger er imidlertid ikke noe absolutt og varierer i stor grad avhengig av bestemte lyskilder og lys fra omgivelsene. Farger er med andre ord ikke en «nedarvet» egenskap ved et objekt, men noe som assosieres med den spektrale fordeling av lyset som reflekteres fra objektet. På samme måte som farger ikke er en egenskap ved selve objektet, er heller ikke farger en egenskap hos lyset. Den opplevde fargen av et objekt avhenger av det spektrale innholdet hos lyset som absorberes av fotoreseptorene som i sin tur initierer en kaskade av fysiologiske reaksjoner i netthinnen og hjernen.

Foreliggende rapport legger vekt på å sammenfatte eksisterende kunnskap om fuglers syn og synsrelaterte atferd, for å se om det finnes kunnskap som kan belyse hvorvidt det å gjøre kraftledninger mindre synlige for det menneskelige øyet, kan medføre økt fare for at fugler vil kolliderere. Sett fra et «fugleperspektiv» vil det være en målsetting å gjøre kraftledninger så synlige som mulig for fuglene, hvilket kan virke som det motsatte av å "kamouflere" ledningene. Dette har vist seg å være en komplisert spørsmål, for selv om øyet hos høyerestående pattedyr og fugler har mange fellestrekk, og anatomi og funksjon er forholdsvis godt studert og forstått, er det feil å anta at måten ulike arter ser omgivelsene på er lik.

Det er påvist betydelige forskjeller mellom fuglearter når det gjelder kompleksiteten og utformingen av synsapparatet. Ut fra dagens kunnskap, kan det imidlertid sies at så å si alle arter i denne dyregruppen generelt ser meget godt. Fuglenes tetrakromatiske fargesyn synes å være blant det mest komplekse naturen så langt har frembragt i forhold til øyekonstruksjon. Dette er vist både gjennom molekylærbiologiske og cytologiske studier, så vel som atferdsmessige eksperimenter. Det er sannsynlig at disse ekstraordinære synsevnene har betydning innen alle områder av de enkelte arters livshistorie, fra diskriminering, gjenkjenning og klassifisering av objekter så vel i luft som på bakken, til komplekse oppgaver slik som navigering og sosial og seksuell atferd. Det mangler imidlertid fremdeles kunnskap om fargesynets økologiske betydning og dets funksjon for de fleste dyrearter, selv om det naturlig nok er viktig å forstå fargesynets rolle i forhold til komplekse, atferdsmessige tilpasninger.

Fugleøyet er konstruert på en rekke måter, og avspeiler artenes høyst ulike økologiske tilpasninger, dvs. levemåter og leveområder. 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 m.m. Det er naturlig å anta at arter som er avhengige av å se farger har større mulighet til å skille mellom deler av spekteret enn de som ikke er det. Undersøkelser med papegøyer har imidlertid vist at fargesynet hos fugler slutter å fungere ved langt høyere lysmengde enn det en trodde tidligere, dvs. at de ser dårlig når det begynner å skumre, og fugler har behov for 5-20 ganger så mye lys som mennesker for å se farger.

Det optiske systemet hos fugleøyet er i stand til å overføre alle bølgelengder lys, fra rødt til ultrafiolett. Mikrospektrofotometriske studier har vist at fargesyn-systemet hos mange fuglearter er basert på fire pigmenter med absorpsjonstopper i fargespekterets røde-, grønne-, blå- og UV-region. Muligheten til å "se" nær UV-delen i spekteret, går trolig på bekostning av skarpheten av det bildet som dannes på grunn av kromatiske avvik. Når det gjelder fuglers evne til dybdesyn og avstandsbedømmelse, viser nyere forskning at langt flere arter enn tidligere antatt trolig har en slik evne. Økt synliggjøring av kraftledninger, både faseledere og jordlinjer, gjennom ulike former for merking, må derfor generelt antas å være gunstig ved at fugler da på et tidligere tidspunkt får øye på hindringen og lettere blir i stand til å bedømme avstanden. Arter med gode aerodynamiske ferdigheter kan da i tide klare å gjøre unnvikende manøvre.

Spektral følsomhet i UV-delen av spekteret er økologisk viktig for fugl, ettersom spektral avstemming påvirker fuglers evne til å vurdere kvaliteten av potensielle partnere, oppdage kryptiske og raske byttedyr og annen næring, samt minimere synligheten av sosiale signaler i fjædrakten i forhold til predatorer. Det er tidligere foreslått å teste hvorvidt UV-coating av kraftledninger kan bidra til å gjøre dem mer synlige for fugl uten at dette så langt er prøvd ut i praksis. Enkelte arter, slik som tårnfalk, benytter evnen til å se i UV-delen av spekteret når de jakter. Tårnfalk jakter bl.a. ved å stå «stille» i luften med flagrende vinger og se ned på bakken etter smågnagere, som er artens viktigste byttedyr. Selv om rovfugler har et skarpt og godt syn, kan dette synes å være som og lete etter en nål i en høystakk. Imidlertid viser det seg at smågnagere etterlater en stripe av urin og ekskrementer langs gangsystemene som er synlig i UV-spekteret.

I Norge kolliderer fugler relativt sett lite med kraftledninger om sommeren, sammenlignet med andre årstider, og det finnes bare et fåtall stasjonære og stedegne fuglearter her om vinteren

ettersom de fleste trekker sørover om høsten. Hønsefugl er imidlertid en fuglegruppe som har vist seg å være ekstra sårbar for å kollidere, ved siden av at både skogsfugl og rype er viktige i høstingssammenheng (jakt, rekreasjon). Det vil derfor være naturlig at tiltak rettes mot slike arter, i tillegg til dem som er rødlistet (utryddingstruet og sårbare). I og med at hønsefugl har en dårlig utviklet sentralflekk (fovea) på netthinnen, har de trolig et noe "uskarpt" syn, noe som gjør at heller ikke merking av liner vil være effektive tiltak for å hindre kollisjoner. Hvorvidt redusert kontrastvirkning gjennom fargekamouflering vil forverre hønsefuglenes sårbarhet i forhold til å fly på luftliner, er det ikke mulig å si noe sikkert om.

Evne til å se i dårlig belysning skal gjøre et dyr i stand til å bevege seg gjennom en verden av hindringer, gjenkjenne ulike næringsemner, finne make og nye leveområder, finne hjem, oppdage farer osv. Halvparten av året i Norge har forholdsvis dårlig lys; nord for polarsirkelen er det sågar en periode der normalt dagslys mangler. På tross av dette er stasjonære 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.

Enkelte fuglearter er aktive ved svært lave lysmengder, eksempelvis ugler som ofte jakter når det er mørkt. I Norge hekker havsvaler og stormsvaler langs kysten av Nord-Norge, og disse starter hekkesesongen først etter at midnattssola er borte og nettene har blitt mørke. Fugler som hekker på nordlige breddegrader om sommeren, må vår og høst dra til og fra overvintningsplassene på sørlige breddegrader. For mange arter kan det dreie seg om mange hundre mil, og mye av trekket må nødvendigvis skje i mørket. For fugler som trekker i mørke vil tradisjonell fargekamouflering trolig være uten betydning.

Eksperimenter gjort i tilknytning til å måle hva som ville gi best kontrastvirkning for å synliggjøre rotorbladene på vindturbiner har vist at fargekontrast er en kritisk parameter, dvs. at effektiviteten av et farget turbinblad er avhengig av fargen til bakgrunnen. Nytteeffekten av slik kontrastmerking er trolig begrenset - av to årsaker. En fugl i flukt opplever bakgrunnen til et objekt som bevegelig og skiftende. For det andre oppleves farger i et bilde som nøyaktige for det menneskelige øye, mens fargesynet til fugl er forskjellig fra menneskets fargesyn, slik at fargene i et bilde ikke behøver å være de samme som de en fugl opplever. Svart vil derfor trolig være det beste alternativet for å få så god kontrastvirkning som mulig under skiftende bakgrunnsforhold, slik fugl opplever.

På tross av betydelig kunnskap om fugleøyet, både når det gjelder fargesyn, dybdesyn og synsskarphet, er det mange ubesvarte spørsmål når det kommer til hvorvidt fargekamouflering av kraftledninger er uproblematisk. Generelt må en kunne si at for å oppnå en optimal deteksjon av en kraftledning for fugl vil det være viktig med en grundig vurdering av linenes kontrastvirkning i forhold til bakgrunnen. Flere forskere mener 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.

Generelt må det antas at å minske kontrastvirkningen mellom en luftline og linens bakgrunn – f.eks. gjennom å matte ned den blanke overflaten på en FeAl-line med sort eller gråsort farge – vil øke kollisjonsrisikoen for en del fuglearter. For å gjøre faseledere og jordliner så synlige som mulig, er det fra et "fugleperspektiv" sannsynligvis gunstig 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/svart om våren til grønt om sommeren og gult/rødt om høsten. I perioder av året vil derfor - uansett hvilken kamouflasjefarge som benyttes – en kraftledning være mer synlig enn til andre årstider. På bakgrunn av at ulike fuglearter har ulikt syn, og trolig opplever farger ulikt, er det også viktig å ta standpunkt til hvilke fuglearter en spesielt ønsker å ta hensyn til og rette forebyggende tiltak mot disse. Med

et stort antall fuglearter og det store "visuelle" mangfold disse representerer, er det ikke realistisk at alle arter kan bli tilgodesett på samme måte.

Det er vist at magnetiske reseptorceller i fuglehjernen 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. Forskere mener dette bl.a. kan bidra til å forklare hvorfor lavfrekvente magnetfelt som bl.a. dannes fra kraftledninger kan være med å forstyrre fuglers navigeringsevne samt indusere andre fysiologiske effekter.

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 er et annet område som de siste årene har vært viet oppmerksomhet. Det har vært en meget stor økning i antall radiofrekvente elektromagnetiske felt på grunn av mobiltelefoni og nyere former for trådløs kommunikasjon (eksempelvis WiFi, WLAN, WiMAX). Når det gjelder fugler så har laboratorieeksperimenter med tamhøns og vaktel vist økt dødelighet og redusert embryoutvikling både ved høy og lav RF-EMF-dosering. Feltstudier som er utført i forhold til fugl og RF-EMF konkluderer med signifikante effekter av RF-EMF på hekketetthet, reproduksjon og arts-sammensetning, og hovedkonklusjonen er at RF-EMF, særlig i 900 MHz GSM-båndet er en faktor som kan påvirke fuglers økologi.

## 5.2 Driftskonsekvenser ved fargebelegg

I eksponerte kystområder er det stor sannsynlighet for spaltekorrosjon under belegg med dårlig heft. Belegg som påføres etter at linetrådene er slått, har en tendens til å hindre drenasje i linene. Belegget fremmer dermed innvendig korrosjon mellom trådene og trådlagene og spesielt i linens laveste punkt.

Mattede eller primede kamuflasjelinjer synes å klarer seg godt i kystmiljø med lav korrosivitet.

Emisjonsfaktoren  $\epsilon$  er avhengig av linens overflatebeskaffenhet. Ved å øke linens emisjonsfaktor er det mulig å øke kjølingen pga. utstrålt varme og oppnå økning i den strømførende kapasiteten på ca. 5 %.

Isolerende belegg på kamuflasjelinjen kan føre til kontaktproblemer og havari, og skal derfor tas hensyn til ved montasje og valg av kontaktforbindelser. Umiddelbart før montasje av klemmer og skjøter må kontaktflatene behandles med stålbørste, smergelduk o.l. I tillegg bør kontaktflatene påføres et tynt lag med fett som hemmer oksidvekst, og forseglar kontaktområdene mot inntrengning av vann og forurensning, som kan føre til korrosjon.

## 6 Referanser

- Able, K.P. 1966. Television tower mortality near Louisville. - Kentucky Warbler 42: 27-28.
- 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. 1990. Bird Migration. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Allen, G.T. & Ramirez, P. 1990. A review of bird deaths on barbed-wire fences. - Wilson Bulletin 102: 553-558.
- Andersson, S., Örnborg, J. & Andersson, M. 1998 Ultraviolet sexual dimorphism and assortative mating in blue tits. - Proceeding of the Royal Society – biological sciences 265: 445-450.
- Andersson, S. & Amundsen, T. 1997. Ultraviolet colour vision and ornamentation in blue-throats. - Proceeding of the Royal Society – biological science 264: 1587-1591.
- Arend, P.H. 1970. The ecological impacts of transmission lines on the wildlife of San Francisco Bay. - A report by Wildlife Associates to Pacific Gas and Electrical Company, San Remo, California. 1-21.
- Arden, G.B. 2006. Measurement of contrast sensitivity. - S. 413-416 i Heckenlively, J.R. & Arden, G.B. (red.). Principles and Practice of Clinical Electrophysiology of Vision. Cambridge, MA: MIT Press.
- 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. 1979. Review of avian mortality due to Collisions with manmade Structures. - U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, Michigan.  
<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=icwdmbirdcontrol>.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Dailey, N.S. 1980: Avian mortality at man-made structures: an annotated bibliography (revised). - U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, Plant Team FWS/OBS-80/54, U.S. Department of the Interior, 152 pp.
- Backhaus, W.G.K., Kliegl, R. & Werner, J. (red.). 1998. Color vision. Perspectives from different disciplines. - Walter de Gruyter, Berlin, New York. 343 s.
- Baines, D. & Summers, R.W. 1997. Assessment of bird collisions with deer fences in Scottish forests. - Journal of Applied Ecology 34: 941-948.
- Baines, D. & Andrew, M. 2003. Marking of deer fences to reduce frequency of collisions by woodland grouse - Biological Conservation 110: 169-176.
- Beason, R.C. & Loew, E.R. 2008. Visual pigment and oil droplet characteristics of the bobolink (*Dolichonyx oryzivorus*), a new world migratory bird. - Vision Research 48: 1-8.
- Bennett, A.T.D., Cuthill, I., Partridge J.C. & Lunau, K. 1997. Ultraviolet plumage colors predict mate preferences in starlings. - Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 94: 8618-8621.
- Bennett, A.T.D., Cuthill, I., Partridge, J.C. & Maier, E.J. 1996. Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches. - Nature 380: 433-435.
- Berg, E. 1996. Estetikk, landskap og kraftledninger. - Kraft og Miljø 22. NVE, Oslo. 88 s.
- Berthold, P. (red.). 1991. - Orientation in Birds. - Birkhäuser, Basel.
- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazards to game birds in the Central Norwegian coniferous forest. - Fauna norvegica Serie C, Cinclus 13: 11-18.
- Bevanger, K. 1994. Bird interactions with utility structures; collision and electrocution, causes and mitigating measures. - Ibis 136: 412-425.
- Bevanger, K. 1995a. Tetraonid mortality caused by collisions with power lines in boreal forest habitats in central Norway. - Fauna norvegica. Serie C, Cinclus 18: 41-51.
- Bevanger, K. 1995b. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. - Journal of Applied Ecology 32: 745-753.
- Bevanger, K. 1995c. Reingjerder som dødelighetsfaktor for fugl i Finnmark. - NINA Fagrapport 4. 32 s.

- Bevanger, K. & Henriksen, G. 1996. Faunistiske effekter av gjerder og andre menneskeskapte barrierer. NINA Oppdragsmelding 393. 26 s.
- Bevanger, K. 1999. Kamouflering av kraftledninger - en ornitologisk vurdering. – Notat til NVE i tilknytning til NVE-seminar om material- og fargebruk på kraftledninger. (Presentert av Arne Follestad på Gaustablikk høyfjellshotell 17. august 1999).
- Bevanger, K. 2011. Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. - NINA Rapport 674. 60 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., 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 og traseføring for kraftledninger; økologiske, tekniske og økonomiske perspektiver (OPTIPOL). Fremdriftsrapport 2011. – NINA Rapport 762. 52 s.
- 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 s.
- Bevanger, K., Berntsen, F., Clausen, S., Dahl, E.L., Flagstad, Ø. Follestad, A., Halley, D., Hanssen, F., Johnsen, L., Kvaløy, P., Lund-Hoel, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Røskoft, E., Steinheim, Y., Stokke, B. & Vang, R. 2010. "Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway" (BirdWind). Aktiviteter 2007-2010. – NINA Rapport 620. 152 s.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2000. Reindeer Rangifer tarandus fences as a mortality factor for ptarmigan Lagopus spp. - Wildlife Biology 6: 121–127.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2001. Bird collisions with power lines – an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). – Biological Conservation 99: 341-346.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2004. Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. – Animal Biodiversity and Conservation 27: 67-77.
- Bevanger, K., Brøseth, H., Bjerkan, L., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. & 2004. Energy production and avian interactions – UV and colour coating as mitigating measures. – Application to NFR 15.06.2004.
- Bevanger, K., Brøseth, H., Cuthill, I., Halley, D., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. 2005. Energy production and avian interactions – UV and colour coating as mitigating measure. - Application to NFR 01.09.2004.
- Bierly, M.L. 1973. 1971 fall television tower casualties in Nashville. - Migrant 44: 5-6.
- Blackledge T.A. & Wenzel, J.W. 1999. Do stabilimenta in orb webs attract prey or defend spiders? - Behavioral Ecology 10: 372-376.
- Borell, A.E. 1939. Telephone wires fatal to sage grouse. - Condor 41: 85-86.
- Bourne, W.R.P. 1979. Birds and gas flares. - Marine Pollution Bulletin 10: 124-125.
- 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.
- Brewer, R. & Ellis, J.A. 1958. An analysis of migrating birds killed at a television tower in east-central Illinois, September 1955-May 1957. - Auk 75: 400-414.
- Browne, M.M. & Post, M. 1972. Black rails hit a television tower at Raleigh, North Carolina. - Wilson Bulletin 84: 491-492.
- Bruce, V., Green, P.R. & Georgeson, M.A. 2003. Visual perception: Physiology, Psychology and Ecology. - 4<sup>th</sup> edition. Hove, Psychology Press.
- Bruce, M.J., Heiling, A.M. & Herberstein, M.E. 2005. Spider signals: are web decorations visible to birds and bees? - Biological Letters 1: 299-302.
- Brøseth, H. & Pedersen, H.C. 2010. Disturbance effects of hunting activity in a willow ptarmigan *Lagopus lagopus* population. - Wildlife Biology 16: 241-248.
- Buer, F. & Regner, M. 2002. Mit „Spinnennetz-Effekt“ und UV-Absorbern gegen den Vogeltod an transparenten und spiegelnden Scheiben. - Vogel und Umwelt 13: 31–41.

- Burger, J. & Gochfeld, M. 1992. Vulnerability and mortality of young Australian magpies on roads. - *Wilson Bulletin* 104: 365-367.
- Burkhardt, D. 1982. Birds, berries and UV. - *Naturwissenschaften* 69: 153-157.
- Caldwell, L.D. & Cuthbert, N.L. 1963. Bird mortality at television towers near Cadillac, Michigan. - *Jack-Pine Warbler* 41: 80-89.
- Caldwell, L.D. & Wallace, G.J. 1966. Collections of migrating birds at Michigan television towers. - *Jack-Pine Warbler* 44: 117-123.
- Catt, D.C., Dugan, D., Green, R.E., Monrieff, R., Moss, R., Picozzi, N., Summers, R.W. & Tyler, G.A. 1994. Collisions against fences by woodland grouse in Scotland. - *Forestry* 67: 105-118.
- Church, S.C., Bennett, A.T.D., Cuthill, I.C. & Partridge, J.C. 1998. Ultraviolet cues affect the foraging behaviour of blue tits. - *Proceeding of the Royal Society – biological sciences* 265:1 509-1514.
- CIGRE Working Group 2002. Thermal behavior of overhead conductors. - Intern rapport.
- Cochran, W.W. & Graber, R.R. 1958. Attraction of nocturnal migrants by lights on a television tower. - *Wilson Bulletin* 70: 378-380.
- Coues, E. 1876. The destruction of birds by telegraph wires. - *American Naturalist* 10: 734-736.
- 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>
- Cuthill, I.C., Partridge, J.C. & Bennett, A.T.D. 1999. UV vision and its functions in birds. - S. 2743-2758 I Adams, N.J. & Slotow, R.H. (red.). *Proc. 22 Int. Ornithol. Congr.*, Durban. Johannesburg: BirdLife South Africa.
- Cuthill, I.C., Partridge, J.C., Bennett, A.T.D., Church, S.C., Hart, N.S. & Hunt, S. 2000. Ultraviolet vision in birds. - *Advanced Study Behaviour* 29: 159-214.
- Cuthill, I. C., Stevens, M., heppard, J., Maddocks, T., Párraga, C.A. & Troscianko, T.S. 2005. Disruptive coloration and background pattern matching. - *Nature*:72-74.
- Dahl, E.L., May, R., Hoel, P.L., Bevanger, K., Pedersen, H.C., Røskaft, E. & Stokke, B. 2013. White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. - *Wildlife Society Bulletin*. doi: 10.1002/wsb.258.
- Dahl, E.L., Bevanger, K., Nygård, T., Røskaft, E. & Stokke, B.G. 2012. Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla. - *Biological Conservation* 145: 79-85.
- Davis, W.B. 1940. Gas flares and birds. - *Condor* 42: 127.
- Das, D., Wilkie, S.E., Hunt, D.M. & Bowmaker, J.K. 1999. Visual pigments and oil droplets in the retina of a passerine bird, the canary *Serinus canaria*: microspectrophotometry and opsin sequences. - *Vision Research* 39: 2801-2815.
- Dickson, R.C. & Dickson A.P. 1993. Kestrels feeding on road casualties. - *Scottish Birds* 17: 56.
- 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.
- Eisner, T. & Nowicki, S. 1983. Spider Web Protection Through Visual Advertisement: Role of the Stabilimentum. - *Science* 219, no 4581: 185-187.
- Emmerton, J. & Delius, J. 1980. Wavelength discrimination in the “visible” and ultraviolet spectrum by pigeons. - *Journal of Comparative Physiology A* 141: 47-52.
- Endler, J.A. & Mielke, P.W. 2005 Comparing entire colour patterns as birds see them. - *Biological Journal of the Linnean Society* 86: 405-431.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young, D.P.Jr. 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, pp. 1029-1041.  
[http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw\\_gtr191/Asilomar/pdfs/1029-1042.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/Asilomar/pdfs/1029-1042.pdf)

- Fahle, M. & Bach, M. 2006. Origin of the visual evoked potentials. – S. 207-234 i Heckenlively, J.R. & Arden, G.B. (red.). Principles and Practice of Clinical Electrophysiology of Vision. Cambridge, MA: MIT Press.
- Feehan, J. 1963. Destruction of birdlife in Minnesota - Sept. 1963. Birds killed at the Ostrander television tower. - Flicker 35: 111-112.
- 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.
- Fiers, P. Use of High Temperature Conductors.- Lumpi-Austria, CIGRE Australian National Com.
- Folkestad, A.O. 1978. Kraftlinjer og fugl. En oppsummering av problemer og erfaringer med merking av kollisjonsutsatte spenn. - Fossekallen 25,6: 10-11.
- Folkestad, A.O. 1980. Kraftlinjekollisjonar som tapsfaktor for overvintrande songsvane, *Cygnus cygnus*, i Møre og Romsdal. – S. 169-175 i Kjos-Hanssen, O, Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.) Vassdragsregulerings virkninger på vilt. Trondheim 15.-17. april 1980. NVE/DVF.
- Foreman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T. & Winter, T.C. 2003. Road Ecology. Science and Solutions. – Island Press, Washington, Covelo, London. 481 s.
- Fox, R., Lehmkuhle, S.W. & Westendorf, D.H. 1976. Falcon visual acuity. - Science 192: 263-265.
- Gaibani, G., Csermely, D. & Zampiga, E. 2008. Ultraviolet reflectance and female mating preferences in the common kestrel (*Falco tinnunculus*). – Canadian Journal of Zoology 86: 479-483.
- 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.
- Goldstein, B. 1984. Sensation and perception. – Belmont, CA: Wadsworth.
- Goodpasture, K.A. 1974a. Fall 1972 television tower casualties in Nashville. - Migrant 45: 29-31.
- Goodpasture, K.A. 1974b. Fall 1973 television tower casualties in Nashville. - Migrant 45: 57-59.
- Goodpasture, K.A. 1975. Nashville tower casualties, 1974. - Migrant 46: 49-51.
- Goodpasture, K.A. 1976. Nashville television tower casualties, 1975. - Migrant 47: 8-10.
- Goodpasture, K.A. 1978. Television tower casualties, 1976. - Migrant 49: 53-54.
- Göransson, G., Karlsson, J. & Lindgren, A. 1979. Vägars inverkan på omgivande natur. II. Fauna. - SNV PM 1069, Statens naturvårdsverk, Stockholm. 124 s.
- Hart, N.S. & Hunt, D.M. 2007. Avian visual pigments: characteristics, spectral tuning and evolution. – American Naturalist 169 (Supplement): S7-S26.
- Hart, N.S., Partridge, J.C., Bennett, A.T.D. & Cuthill, I.C. 2000. Visual pigments, cone oil droplets and ocular media in four species of estrildid finch. – Journal of Comparative Physiology A 186: 681-694.
- Hart, N.S., Partridge, J.C. & Cuthill, I.C. 1998. Visual pigments, oil droplets and cone photoreceptor distribution in the European starling (*Sturnus vulgaris*). – Journal of Experimental Biology 201:1 433-1446.
- Hart, N.S., Partridge, J.C., Cuthill, I.C. & Bennett, A.T.D. 2000. Visual pigments, oil droplets, ocular media and cone photoreceptor distribution in two species of passerine bird: the blue tit (*Parus caeruleus* L.) and the blackbird (*Turdus merula* L.). – Journal of Comparative Physiology A 186: 375-387.
- Havlin, J. 1987. Motorways and bird. - Folia Zoologica 36: 137-153.
- Hebert, E. & Reese, E. 1995. Avian Collision and Electrocutation: An Annotated Bibliography. California Energy Commission.  
[http://www.energy.ca.gov/reports/avian\\_bibliography.html#400](http://www.energy.ca.gov/reports/avian_bibliography.html#400)

- Herberstein, M.E. & Fleisch, A.F. 2003. Effect of abiotic factors on the foraging strategy of the orb-web spider *Argiope keyserlingi* (Araneae: Araneidae). - *Austral Ecology*. 28(6): 622-628.
- Hillestad, K.O. 1984. Kraft, ledning og landskap. - Kraft og Miljø 8. NVE, Oslo.
- Hodos, W. 1993. The visual capabilities of birds. - S 63–76 i Ziegler, H.P. & Bischof, H.J. (red.). *Avian vision, brain and behaviour*. MIT Press, Cambridge.
- 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, S., Cuthill, I.C., Swaddle, J.P. & Bennett, A.T.D. 1997. Ultraviolet vision and band colour preferences in female zebra finches, *Taeniopygia guttata*. - *Animal Behaviour* 54: 1382-1392.
- Hunt, S., Bennett, A.T.D., Cuthill, I.C. & Griffiths, R. 1998. Blue tits are ultraviolet tits. - *Proceedings of the Royal Society B: Biological sciences* 265: 451-455.
- Hunt, S., Cuthill, I.C., Bennett, A.T.D. & Griffiths, R. 1999. Preferences for ultraviolet partners in the blue tit. - *Animal Behaviour* 58: 809-815.
- Hunt, D.M., Wilkie, S.E., Bowmaker, J.K., & Poopalasundaram, S. 2001. Vision in the ultraviolet. - *Cellular and Molecular Life Sciences* 58: 1583-1598.
- Hunting, K., Yee, M., Spiegel, L., Birkinshaw, K. & Peña, G. On-Line Annotated Bibliography of Avian Interactions with Utility Structures. California Energy Commission. [http://www.energy.ca.gov/research/environmental/avian\\_bibliography/](http://www.energy.ca.gov/research/environmental/avian_bibliography/).
- Håstad, O., Victorsson, J. & Ödeen, A. 2005. Differences in color vision make passerines less conspicuous in the eyes of their predators. - *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102: 6391-6394.
- Illner, H. 1992. Road deaths of Westphalian owls: methodological problems, influence of road type and possible effects on population levels. - S. 94-100 i Galbraith, C.A., Taylor, I.R. & Percival, S. (red.). *The ecology and conservation of European owls*. Peterborough, Joint Nature Conservation Committee. UK Nature Conservation, No 5.
- Jacobsen, S.L. 2005. Mitigation measures for highway-caused impacts to birds. - USDA Forest Serv. gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191: 1043-1050.
- Janssen, R.B. 1963. Destruction of birdlife in Minnesota - Sept. 1963. Birds killed at the Lewisville television tower. - *Flicker* 35: 110-111.
- Jensvold, H. 1996. Termisk dimensjonering av elektriske anlegg. - NITO-kurs 24. april.
- Johnsen, A., Andersson, S., Örnborg, J. & Lifjeld, J.T. 2009. Ultraviolet plumage ornamentation affects social mate choice and sperm competition bluethroats (*Aves: Luscinia s. svecica*): a field experiment. - *Proc. R. Soc. B* 265: 1313-1318.
- Johnson, N.H. (red.). 2008. Kamouflasjetiltak på kraftledninger. - NVE Rapport 4/2008. 109 s.
- Johnston, D.W. & Haines, T.P. 1957. Analysis of mass bird mortality in October, 1954. - *Auk* 74: 447-458.
- Jønsson, K.A. & Fjeldså, J. 2006. A phylogenetic supertree of oscine passerine birds (*Aves: Passeri*). - *Zool. Scripta* 35: 149–186. doi:10.1111/j.1463-6409.2006.00221.x
- Karlsson, J. 1977. Fågelkollisioner med master och andra byggnadsverk. - *Anser* 16: 203-216.
- Klem Jr., D. 1990. Collisions between birds and windows: mortality and prevention. - *Journal of Field Ornithology* 61: 120–128.
- Klem Jr., D. 2006. Glass: a deadly conservation issue for birds. - *Bird Observer* 34: 73–81.
- Klem Jr., D. 2009a. Avian mortality at windows: the second largest human source of bird mortality on earth. - *Proceedings Fourth International Partners in Flight Conference 2008*, McAllen, Texas, USA. USDA, Forest Service Technical Report.
- Klem, Jr., D. 2009b. Preventing Bird-Window Collisions. - *Wilson Journal of Ornithology* 121: 314–321.
- Koivula, M. & Viitala, J. 1999. Rough-legged buzzards use vole scent marks to assess hunting areas. - *Avian Biology* 30:3 29-330.
- Koivula, M., Viitala, J. & Korpimäki, E. 1999. Kestrels prefer scent marks according to species and reproductive status of voles. - *Ecoscience* 6: 415-420.
- Komarek, E.V. & Wright, E.G. 1929. Bird casualties on the highway. - *Wilson Bulletin* 41: 106.
- 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.
- Kumlien, L. 1888. Observations on Bird Migration at Milwaukee. - *Auk* 5: 325-328.
- Land, M.F. & Nilsson, D.-E. 2002. *Animal eyes*. - Oxford: Oxford University Press.
- Laskey, A.R. 1951. Another disaster to migrating birds at the Nashville airport. - *Migrant* 22: 57-60.
- Laskey, A.R. 1957. Television tower casualties, Nashville. - *Migrant* 28: 54-57.
- Laskey, A.R. 1962. Migration data from television tower casualties at Nashville. - *Migrant* 33: 7-8.
- Laskey, A.R. 1964. Data from the Nashville TV tower casualties, autumn 1964. - *Migrant* 35: 95-96.
- 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.
- Lendvai, Á., Kis, J., Székely, T. & Cuthill, I.C. 2004. An investigation of mate choice based on manipulation of multiple ornaments in Kentish plovers. - *Animal Behaviour* 67: 703-709.
- Lid, G. 1977. Fugler brennes ihjel av gassflammer i Nordsjøen. - *Fauna* 30: 185-190.
- Lind, O. & Kelber, A. 2009. The intensity threshold of colour vision in two species of parrot. - *The Journal of Experimental Biology* 212: 3693-3699.
- 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.
- Maier, E.J. 1993. To deal with "invisible": on the biological importance of ultraviolet sensitivity in birds. - *Naturwissenschaften* 80: 476-478.
- Maier, E.J. & Bowmaker, J.K. 1993. Colour vision in the passeriform bird, *Leothrix lutea*: correlation of visual pigment absorbance and oil droplet transmission with spectral sensitivity. - *Journal of Comparative Physiology A* 172: 295-301.
- Martin, G.R. 1985. Eye. - S. 311-373 i King, A.S. & McLelland, J. (red.). *Form and function in birds*. Vol. 3.
- Martin, G. 1990. *Birds by night*. - Poyser, London.
- Martin, G. 2009. What is binocular vision for? A birds' eye view. - *Journal of Vision* 9: 1-19. <http://journalofvision.org/9/11/14/>
- Martin, G. 2011. Through birds' eyes: insights into avian sensory ecology. - *Journal of Ornithology*. DOI 10.1007/s10336-011-0771-5.
- Martin, G.R. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. - *Ibis* 153: 239-254.
- 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.R. & Piersma, T. 2009. Vision and touch in relation to foraging and predator detection: insightful contrasts between a plover and a sandpiper. - *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 276: 437-445.
- 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.
- Martin, G.R. & Shaw, J.M. 2010. Bird collisions with power lines: failing to see the way ahead? - *Biological Conservation* 143: 2695-2702.
- May, R., Nygård, T., Dahl, E.L. & Bevanger, K. 2013. Habitat utilization in white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) and the displacement impact of the Smøla wind-power plant. - *Wildlife Society Bulletin* 37: 75-83. DOI: 10.1002/wsb.264
- McIlwain, J.T. 1996. *An introduction to the biology of vision*. - Cambridge University Press.
- Merrie, T.D.H. 1979. Birds and North Sea oil production platforms. - *Scottish Birds* 10: 271-275.
- Mehlum, F. 1977. Innsamling av fyrfalne trekkfugler fra Færder fyr og noen betraktninger om årsakene til fuglekollisjoner mot lysende installasjoner. - *Fauna* 30: 191-194.

- Miquet, A. 1990. Mortality in Black grouse *Tetrao tetrix* due to elevated cables. - Biological Conservation 54: 349-355.
- Munroe, J.A. 1924. A preliminary report on the destruction of birds at lighthouses on the coast of British Columbia. - Canadian Field Naturalist 38: 141-145, 171-175.
- Nygård, T., Bevanger, K. & Reitan, O. 2008. Forholdet mellom fugler, vindmøller og andre luft-hindringer. En litteraturoversikt. - NINA Rapport 413: 167 s.
- Newton, I. 1704. Optics: Or, a Treatise of Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light. - London, S. Smith and B. Walford.
- NVE 1999. Seminar om Material- og fargebruk på kraftledninger. - Gaustadblick høystjellshotell 17. og 18. august 1999. NVE Seminarhefte 08-99.
- OED 2012. Meld. St. 14 (2011-2012). Vi bygger Norge – om utbygging av strømnettet. 102 s.
- Ogden, L.J.E. 1996. Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds. - A special report for World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program.
- 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.
- Osorio, D., Vorobyev, M. & Jones, C.D. 1999. Colour vision of domestic chicks. - Journal of Experimental Biology 202: 2951-2959.
- Parmalee, P.W. & Parmalee, B.G. 1959. Mortality of birds at a television tower in central Illinois. - Bulletin of the Illinois Audubon Society 111: 1-4.
- Parmalee, P.W. & Thompson, M.D. 1963. A second kill of birds at a television tower in central Illinois. - Bulletin of the Illinois Audubon Society 128: 13-15.
- Pedersen, H.C., Steen, H., Kastdalen, L., Svendsen, W. & Brøseth, H. 1999. Betydningen av jakt på lrypebestander – Framdriftsrapport 1996-1998. - NINA Oppdragsmelding 578.
- Petty, S.J. 1995. Assessment of fence collisions by grouse species in Scotland. - Forestry Commission Research Information Note 264. Edinburgh, Scotland, 9 s.
- Pierce, M.E. 1969. Tall television tower and bird migration. - South Dakota Bird Notes 21: 4-5.
- 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.
- Probst, R., Pavlicev, M. & Viitala, J. 2002 UV reflecting vole scent marks attract a passerine: the great grey shrike *Lanius excubitor*. - Journal of Avian Biology 33: 437-440.
- Rajchard, J. 2009. Ultraviolet (UV) light perception by birds: a review. - Veterinarni Medicina 54: 351-359.
- Refsnæs, S. 1999. Prosjekt "Fargebelegg på kraftledningskomponenter". - SINTEF Energiforskning.
- Refsnæs, S. 2001. Fargebelegg og mattede liner i korrosive miljø. - TR A5581 SINTEF Energiforskning AS.
- Refsnæs, S. 2011. Fargede liner. - AN 1012.106 SINTEF ENERGI AS.
- Refsnæs, S., Jensvold, H. & Rørvik, O. 2000. Tilstandskontroll av klemmer og skjøter i kraftledninger. - TR A4843.
- Reiner, A., Yamamoto, K. & Karten, H.J. 2005. Organization and evolution of the avian fore-brain. - The anatomical record. Part A, Discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology 287: 1080-1102.
- Reymond, L. 1985. Spatial visual acuity of the Eagle *Aquila audax*: a behavioural, optical and anatomical investigation. - Vision Research 25: 1477-1491.
- Rich, C. & Longcore, T. (red.) 2006. Ecological consequences of artificial night lightening. - Island Press, Washington. 458 s.
- Rubene, D., Håstad, O., Tauson, R., Wall, H. & Ödeen, A. 2010. The presence of UV wavelength improves temporal resolution of the avian visual system. - The Journal of Experimental Biology 213: 3357-3363.
- Rudström, P. 1977. Något om fågelkollisioner med TV-masten i Sunne. - Värmlandsornitologen 5: 53-54.
- Ruttledge, R.F. 1950. Report on observations of birds at Irish light-stations, 1949. - The Irish Naturalist' Journal 10: 51-55.

- Rutledge, R.F. 1954. Report on observations of birds in Irish light-stations, 1953. - The Irish Naturalist' Journal 11: 199-200.
- Rössler, M., Laube, W. & Weihs, P. 2009. Avoiding bird collisions with glass surfaces. Experimental investigations of the efficacy of markings on glass panes under natural light conditions in Flight Tunnel II. BOKU-Met Report 10 ([http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met\\_Report\\_10\\_online.pdf](http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_10_online.pdf))
- Sage, B. 1979a. Flare up over North Sea birds. - New Scientist 81: 464-466.
- Sage, B. 1979b. Bird flare. - Birds 7: 24-25.
- 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.
- Seddon, N., Tobias, J.A., Eaton, M., Ödeen, A. 2010. Human vision can provide a valid proxy for avian perception of sexual dichromatism. - Auk 127: 283-292.
- Seets, J.W. & Bohlen, H.D. 1977. Comparative mortality of birds at television towers in central Illinois. - Wilson Bulletin 89: 422-433.
- Seewagen, C.L. 2008. Bird collisions with windows: An annotated bibliography. - New York City Audubon and the Wildlife Conservation Society, New York, USA. 16 s.
- Shire, G.G., Brown, K. & Winegrad, G. 2000. Communication towers: a deadly hazard to birds. Washington, DC: American Bird Conservancy. 23 s.
- Siitari, H., Honkavaara, J., Huhta, E. & Viitala, J. 2002. Ultraviolet reflection and female mate choice in the pied flycatcher, *Ficedula hypoleuca*. - Animal Behaviour 3: 97-102.
- Siitari, H., Honkavaara, J. & Viitala, J. 1999. Ultraviolet reflection of berries attracts foraging birds. A laboratory study with redwings (*Turdus iliacus*) and bilberries (*Vaccinium myrtillus*). - Proceedings Royal Society of London. B. 266: 2125-2129.
- Siitari, H. & Huhta, E. 2002. Individual color variation and male quality in pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*): a role of ultraviolet reflectance. - Behavioural Ecology 13: 737-741.
- Sillman, A.J. 1973. Avian vision. - S. 349-387 i D.S. Farner & J.R. King (red.). Avian biology. vol. III. Academic Press. London.
- Statens Strålevern 2000. Hefte 22: Elektriske og magnetiske felt.- <http://www.nrpa.no/>
- Statnett 1998. Kamufasje av kraftledninger. Vurdering av 420 (300) kV-ledning Kristiansand – Evjeområdet. – Statnett Rapport 03-1998. 23 s. + vedlegg.
- Statnett 1999. Evalueringsrapport. Kamufasje av kraftledningen Kristiansand – Evjeområdet. – Statnett Rapport 03-1999. 16 s.
- Stevens, B.S., Reese, K.P. & Connelly, J.W. 2011. Survival and Detectability Bias of Avian Fence Collision Surveys in Sagebrush Steppe. - Journal of Wildlife Management 75: 437-449.
- Strong, D., Gallagher, P. & Muggeridge, D. 2002. British Columbia offshore hydrocarbon development: report of the scientific review panel. Appendix 16B. Considerations for Sea-birds in Western Canada, British Columbia, in regards to Offshore Gas and Oil Development. - Volume II – Appendices to the report of the scientific review panel. Submitted to the BC Minister of Energy and Mines, Hon. Richard Neufeld.
- Tanner, J.T. 1954. Bird mortality during night migration, October 1954. - Migrant 25: 57-59.
- Trapp, J.L. 1998. Bird kills at towers and other human-made structures: an annotated partial bibliography (1960-1998). U.S. Fish and Wildlife Service. [http://library.fws.gov/bird\\_publications/birdkills\\_towers98.htm](http://library.fws.gov/bird_publications/birdkills_towers98.htm)
- Valberg, A. 1998. Lys, syn, farge. – Tapir Forlag, Trondheim.
- Verheijen, F.J. 1958. The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. Netherlands. - Journal of Zoology 13: 1-107.
- Verheijen, F.J. 1980. The Moon: a neglected factor in studies of collisions of nocturnal migrant birds with tall lighted structures and with aircraft. - Die Vogelwarte 30: 305-320.

- Verheijen, F.J. 1981. Bird kills at lighted man-made structures: Not on nights close to full moon. - *American Birds* 35: 251-254.
- Verheijen, F.J. 1985. Photopollution: Artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causations, remedies. - *Experimental Biology* 44: 1-18.
- Viitala, J., Korpimäki, E., Palokangas, P. & Koivula, M. 1995. Attraction of kestrels to vole scent marks visible in ultraviolet light. - *Nature* 373: 425-427.
- Vorobyev, M. 2003. Coloured oil droplets enhance colour discrimination. - *Proceedings of the Royal Society - biological sciences*. 270: 1255-1261.
- Vorobyev, M. & Osorio, D. 1998. Receptor noise as a determinant of colour thresholds. - *Proceedings of the Royal Society - biological sciences*. 265: 351-358.
- Warrant, E. 2004. Vision in the dimmest habitats on earth. - *Journal of Comparative Physiology A* 190: 765-789.
- Watson, A. & Moss, R. 2004. Impacts of ski-development on ptarmigan. (*Lagopus mutus*) 171 at Cairn Gorm, Scotland. - *Biological Conservation* 116: 267-275.
- 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.
- Wiese, F.K., Montevecchi, W.A., Davoren, G.K., Huettmann, F., Diamond, A.W. & Linke, J. 2001. Seabirds at Risk around Offshore Oil Platforms in the North-west Atlantic. - *Marine Pollution Bulletin* 42: 1285-1290.
- Wiggen, H.N. 2011. Population effects of natural and wind turbine-induced mortality of willow ptarmigan. - MSc Thesis, Hedmark Univ. College. 35 s.
- Wilkie, S.E., Vissers, P.M.A.M., Das, D., DeGrip, W.J., Bowmaker, J.K. & Hunt, D.M. 1998. The molecular basis for UV vision in birds: spectral characteristics, cDNA sequence and retinal localization of the UV-sensitive visual pigment of the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*). - *Biochemical Journal* 330: 541-547.
- Wiltschko, R. & Wiltschko, W. 2009. Avian navigation. - *Auk* 126: 717-743.
- Wolfe, D.H., Patten, M.A., Shochat, E., Pruett, C.L. & Sherrod, S.K. 2007. Causes and patterns of mortality in lesser prairie-chickens *Tympanuchus pallidicinctus* and implications for management. - *Wildlife Biology* 13 (Suppl. 1): 95-104.
- Wolfe, D.H., Patten, M.A. & Sherrod, S.K. 2009. Reducing Grouse Collision Mortality by Marking Fences (Oklahoma). - *Ecological Restoration* 27: 141-143.
- Wright, A.A. 1972. The influence of ultraviolet radiation on the pigeon's color discrimination. - *Journal of Experimental Analalyses of Behaviour* 17: 325-337.
- 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. 2003. Complex distribution of avian color vision systems revealed by sequencing the SWS1 opsin from total DNA. - *Molecular Biology and Evolution* 20: 855-861.
- Ödeen, A. & Håstad, O. 2009. New primers for the avian SWS1 pigment opsin gene reveal new amino acid configurations in spectral sensitivity tuning sites. - *Journal of Heredity* 100: 784-789.
- Ödeen, A. & Håstad, O. 2010. Pollinating birds differ in spectral sensitivity. - *Journal of Comparative Physiology A* 196: 91-96.
- Ödeen, A., Hart, N.S. & Håstad, O. 2009. Assessing the use of genomic DNA as a predictor of the maximum absorbance wavelength of avian SWS1 opsin visual pigments. - *Journal of Comparative Physiology A*. 195:1 67-173.
- 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.

- Ödeen, A., Pruett-Jones, S., Driskell, A.C., Armenta, J.K. & Håstad, O. 2012. Multiple shifts between violet and ultraviolet vision in a family of passerine birds with associated changes in plumage coloration. – *Proc. R. Soc. B.* 279, 1269–1276. doi:10.1098/rspb.2011.1777.
- Aarvak, T., Øien, I.J. & Anker-Nilssen, T. 2005. Full fart i stummende mørke! Har sjøvalene sonar eller bare godt syn? – *Vår Fuglefauna* 28: 154-157.





*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2474-1

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 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