



CENTRUM FÖR
BIOLOGISK
MÅNGFALD



Miljöeffekter av elnät – en kunskapssammanställning

Jan Olof Helldin, Tove Berg, Birgit Koehler, Linus Linse | SLU Centrum för biologisk mångfald
CBM:s skriftserie nr 134 | 2025

Miljöeffekter av elnät – en kunskapssammanställning

Jan Olof Helldin, orcid.org/0000-0002-5846-2844, SLU Centrum för biologisk mångfald, institutionen för stad och land, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Tove Berg, institutionen för stad och land, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Birgit Koehler, orcid.org/0000-0001-9212-2555, institutionen för för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Linus Linse, orcid.org/0009-0005-3138-526X, institutionen för stad och land, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Miljöeffekter av elnät – en kunskapssammanställning

CBM:s skriftserie nr 134

Utgivningsår: 2025, Uppsala

Utgivare: SLU Centrum för biologisk mångfald

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Omslagsfoto: Jan Olof Helldin.

Rapportbilaga: 1. Litteraturlista Miljöeffekter av elnät (exccelfil)

Finansiar: Energimyndigheten

Avtalsnummer: Dnr 2023-21629

Kontaktperson: Oskar Forsum/Kristian Schoning, Energimyndigheten

ISBN: 978-91-88083-50-0

ISSN: 1403-6568

DOI: <https://doi.org/10.54612/a.7vlfv5jbcc>

© 2025 Författarna

Detta verk är licenserat under CC BY ND 4.0,

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.sv>;

andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer.

Sammanfattning

I den här rapporten redovisas kunskapsläget vad gäller miljöeffekter av elledningar, kablar och andra komponenter i elnätet. Rapporten omfattar effekter på biologisk mångfald (djur, växter och ekosystem), mark, jord och vatten, befolkning och människors hälsa, samt landskap och kulturmiljö. Fokus har legat på att identifiera bredden av möjliga miljöeffekter och att föreslå en struktur för dessa, som ett stöd för kommande miljöbedömning, åtgärdsplanering, och eventuella forskningssatsningar.

Sammanställningen bygger på tillgänglig internationell vetenskaplig litteratur och tekniska rapporter, svenska miljökonsekvensbeskrivningar, samt visst expertstöd.

Kunskapsöversikten visar på en bredd av potentiella miljöeffekter av kraftledningar och elnät, och som beroende på situationen kan behöva beaktas vid planering, anläggning och underhåll av kraftinfrastruktur:

Ledningsdöd

Särskilt större fågelarter kan drabbas av strömgenomföring när de sätter sig på oisolerade stolpar och stag, och av kollision med ledningar i flykten. För vissa fågelarter kan effekterna vara kritiska för bevarande. Med åtgärder kan riskerna minskas, exempelvis bättre isolering av strömsatta komponenter, ledningsmarkeringar, anpassad höjd och placering av ledningarna, markläggning, och att undvika ledningar i fågelrika miljöer. Motsvarande risker för klättrande däggdjur och fladdermöss under skandinaviska förhållanden är dåligt kända, och detsamma gäller risker med frihängande sjökabel för marina djur.

Biotopeffekter

Kraftledningsgator leder till förlust av skogsmark, kanteffekter i intilliggande skog, och de bidrar till skogsfragmenteringen. Samtidigt kan röjningen av ledningsgatorna skapa nya gräs- och buskmarker eller öppna våtmarker som gynnar arter från det öppna landskapet. Anpassad skötsel av ledningsgator och undvikande av skog med stora naturvärden vid nydragning av ledning kan minska de negativa effekterna och samtidigt stärka de positiva. Det finns också en potential i att skapa viltbete i ledningsgator. På motsvarande sätt kan sjökabel leda till förlust och fragmentering av bottenhabitat, men också till nya hårda strukturer som gynnar en del arter (den s.k. reveffekten). Sjukabel berör bottenområden på bara några meters bredd, men grumling och sedimentspridning i samband med bottenarbeten kan beröra större områden. Effekterna kan begränsas genom att undvika särskilt känsliga områden, känsliga tidsperioder, och installationsmetoder som innebär mindre grumling.

Invasiva främmande arter

Invasiva främmande arter kan etableras och spridas längs kraftledningar och sjökablar, och även spridas vidare därifrån till omgivningen. Riskerna är troligen störst i samband

med mark- och bottenarbeten och eventuell tillförsel av massor, men spridning kan också ske längs hårda strukturer vid sjökabel.

Elektromagnetiska fält

De elektromagnetiska fält (EMF) som uppstår kring ledningar och kablar kan ha fysiologiska effekter på människor och djur, men vid nivåer som normalt uppstår endast mycket nära ledningarna, där få individer uppehåller sig några längre perioder. Undantag kan utgöras av fåglar med bon i ledningsstolpar och bottenlevande akvatiska organismer. Hälsoeffekter av EMF begränsas av uppsatta referensvärden. EMF kan även påverka djurs orienteringsförmåga och kommunikation, vid betydligt lägre nivåer än de fysiologiskt skadliga.

Buller och andra störningar

Stora kraftledningar kan vid vissa väderförhållanden generera visst hörbart buller och ljusförorening inom UV-spektrat som skulle kunna störa en del arter. Maskin- och trafikbuller kan uppstå i samband med anläggning, underhåll och nedmontering, och även annan mänsklig närvaro i kraftledningsgator kan utgöra störningskälla för djur. Även i akvatiska miljöer kan djur påverkas av buller från maskiner och fartyg vid anläggning, underhåll och avveckling, och eventuellt av svaga vibrationer från sjökabel i drift.

Andra effekter på mark, jord och vatten

Marskadorn, masshantering och hårdgörning av mark vid anläggning och nedmontering kan påverka markstruktur, hydrologi med mera. Effekterna kan minimeras genom att undvika särskilt känsliga miljöer och anpassa tid på året för markarbeten. I akvatiska miljöer kan grumling och sedimentation påverka arter och livsmiljöer. Bottenarbeten kan även frigöra miljöfarliga ämnen från förorenade sediment. Om områden med sjökabel skyddas från bottenentråning kan istället grumling och sedimentspridning minska, och därmed utgöra en positiv effekt av kabeln. Värmealstring från sjökabel skulle kunna ha vissa effekter på bottenlevande organismer.

Landskapsbild, rekreation och kulturmiljö

Stora kraftledningar och ledningsstolpar påverkar landskapskaraktären och kulturmiljön, och kan upplevas som att de förfular landskapet. Allmänhetens upplevelse av kraftledningar beror delvis på individuella preferenser och på situationen, och kan påverkas av design och dragning i landskapet. Ledningsgator kan öppna för bättre tillgänglighet för friluftsliv och därmed upplevas som en positiv faktor. Anläggande av stolpar, kabel och stationer kan innebära fysiska intrång i fasta kulturhistoriska lämningar, även marina sådana.

Skogsbrandrisk

Kraftledningsgator innebär en viss ökad risk för skogsbrand, genom antändning via skadade ledningar eller eldödade fåglar. Risken kan förväntas öka i ett varmare klimat, med torrare och blåsigare förhållanden.

Litteraturen ger en viss vägledning kring vilka miljöeffekter som kan vara betydande i olika situationer, men stora kunskapsbrister hämmar en övergripande sådan bedömning eller prioritering. Miljöeffekterna av kraftledningar och kablar bör bedömas i ett helhetsperspektiv. Det kan innebära att väga negativa och positiva effekter mot varandra, och att beakta de samlade effekterna av hela elnätet. Här kan även små lokala effekter summera ihop till att bli betydande när man beaktar hela elnätet, dagens och framtidens. Vi ger några exempel på hur miljöeffekterna kan ses i helhetsperspektiv.

Baserat på kunskapsbehoven föreslår vi forskning inom framför allt följande tre områden: 1) ekologiska effekter av kraftledningar i skogsmark, 2) ekologiska effekter av sjökabel, och 3) kraftledningars betydelse för upplevelsevärden och friluftsliv. Vi lyfter behovet av att studera även effekter som verkar vara mindre betydande, för att kunna säkra denna slutsats alternativt fördjupa studierna. Vi ser också utvecklingsbehov när det gäller att skapa multipla nyttor i kraftledningsgator, och för systematiska analyser av de samlade miljöeffekterna av elnätet.

English summary

This report presents the state of knowledge regarding the environmental effects of powerlines, cables and other components in the power grid. The report covers effects on biodiversity (animals, plants and ecosystems), land, soil and water, human population and health, as well as landscape and the cultural environment. The focus has been on identifying the range of possible environmental effects and proposing a structure for these, as a support for future environmental assessment, mitigation planning, and possible research initiatives. The compilation is based on available international scientific literature and technical reports, Swedish environmental impact assessments, as well as some expert support.

The knowledge overview shows a range of potential environmental effects of powerlines and power grids, which depending on the situation may need to be considered when planning, constructing and maintaining power infrastructure:

Mortality at powerlines

Larger bird species in particular can be electrocuted when perching on non-insulated powerline poles and crossarms, and by collision with lines in flight. For some species of birds, the effects can be critical for conservation. Risks can be reduced with preventive measures, such as better insulation of energized components, line markings, adapted height and location of powerlines, grounding, and avoiding lines in bird-rich environments. The corresponding risks for climbing mammals and bats under Scandinavian conditions are poorly known, and the same applies to risks with free-hanging underwater cables for marine animals.

Habitat effects

Powerline corridors can lead to loss of forest habitat as well as edge effects in adjacent forests, and they contribute to forest fragmentation. At the same time, clearing the powerline corridors can create new grasslands and shrublands or open wetlands that can benefit species from the open landscape. Adapted management of powerline corridors, and avoidance of forests with high nature values when constructing new lines, can reduce the negative effects while strengthening the positive ones. There is also potential in creating wildlife forage in powerline corridors.

Correspondingly, underwater cables can lead to loss and fragmentation of bottom habitats, but also to new artificial hard substrate structures that can benefit some species (the so-called reef effect). Underwater cables directly affect bottom areas within only a few meters, but turbidity and sediment spreading during installation and other bottom works can affect larger areas. The effects can be limited by avoiding particularly sensitive areas and sensitive time periods, and by using installation methods that cause less turbidity and sediment spreading.

Invasive alien species

Invasive alien species can establish and spread along powerlines and underwater cables, and also spread from there into the surroundings. The risks are probably greatest in connection with ground or bottom works and any supply of masses, but spread of alien species can also occur along hard structures at underwater cables.

Electromagnetic fields

The electromagnetic fields (EMFs) that arise around electrified lines and cables can have physiological effects on humans and animals, but at field levels that normally only arise very close to the lines, where few individuals stay for longer periods. Exceptions may be birds with nests in power poles, and benthic aquatic organisms. Health effects of EMFs on humans are limited by set reference values. EMFs can also affect orientation and communication of certain animal species, at field levels significantly lower than those that are physiologically harmful.

Noise and other disturbances

In certain weather conditions, large powerlines can generate audible noise and light pollution in the UV spectrum that could disturb some species. Machinery and traffic noise can occur in connection with construction, maintenance and decommissioning, and other human presence along powerlines can also be a source of disturbance for animals. In aquatic environments, animals can also be affected by noise from machinery and ships during construction, maintenance and decommissioning, and possibly by weak vibrations from underwater cables in operation.

Other effects on land, soil and water

Soil damage, mass handling and traffic during construction and decommissioning can affect soil structure, hydrology, etc. The effects can be minimized by avoiding particularly sensitive environments and adjusting the time of year for ground works. In aquatic environments, turbidity and sediment spread can affect certain species and habitats. Bottom works can also cause the release of harmful substances from polluted sediments. However, if areas with underwater cables are protected from bottom trawling, turbidity and sediment spread can be reduced. A temperature rise around underwater cables could have some effects on benthic organisms.

Landscape, recreation and cultural environment

Large powerlines, poles and pylons affect the landscape character and cultural environment, and can be perceived by humans as a visual disturbance. The public's perception of power lines depends partly on individual preferences and the context, and can be influenced by design and routing in the landscape. Power lines may however also facilitate access for outdoor activities and thereby be considered a positive factor. The construction of poles, cables and stations can involve physical encroachment on cultural-historical sites, including marine ones.

Risk of forest fire

Powerlines pose a certain increased risk of forest fires, through ignition via damaged lines or electrocuted birds. Fire risks can be expected to increase in a warmer climate, with drier and windier conditions.

The literature provides some guidance on which environmental effects that can be significant in different situations, but major knowledge gaps inhibit an overall assessment or prioritization. The environmental effects of powerlines and cables should be assessed from a holistic perspective. This may involve weighing negative and positive effects against each other, and considering the overall effects of the entire electricity grid. In such a holistic assessment, even small local effects can add up to be significant when considering the entire electricity grid, both the present and the future. In the report, we give some examples of how environmental effects can be seen from a holistic perspective.

Based on the knowledge needs, we propose research in the following three areas in particular: 1) ecological effects of powerlines in forests, 2) ecological effects of underwater cables, and 3) the importance of powerlines for landscape perception and outdoor recreation. We highlight the need to study effects that appear to be of less significance, to be able to secure this conclusion or alternatively improve the knowledge. We also see a need for developing concepts for multiple benefits in powerline corridors, and for systematic analyses of the overall environmental effects of the electricity grid.

Innehåll

1. Inledning	10
Bakgrund.....	10
Rapportens syfte.....	10
Avgränsning.....	11
Läsanvisning	11
2. Genomförande	12
Förstudie.....	12
Litteratursökning.....	12
Skanning av planeringsunderlag, MKB:er	13
Expertstöd	14
3. Elnätet – teknisk utformning och möjliga påverkansfaktorer.....	15
Elnätet i Sverige	15
Anläggnings- och avvecklingsarbete	20
Påverkansfaktorer under drift.....	21
Framtidens elnät.....	22
4. Ledningsdöd.....	24
Fåglar	24
Övriga djurarter.....	27
5. Biotopeffekter	28
Förlust av skogsmark och skogsfragmentering.....	28
Nya gräs- och buskmarker	31
Öppna våtmarker.....	34
Effekter i bottenmiljöer.....	34
6. Spridning av invasiva främmande arter	36
7. Elektromagnetiska fält (EMF)	37
Fysiologiska effekter.....	37
Orienteringsförmåga och kommunikation	38
8. Buller och andra störningar	40
9. Andra effekter på mark, jord och vatten (abiotiska faktorer).....	42
10. Landskapsbild, rekreation och kulturmiljö	44
11. Skogsbrandrisk.....	46
12. Tillämpning vid miljöbedömning.....	47
Miljöeffekternas betydelse.....	47
Samlad bedömning.....	49
Kommentar.....	55
13. Förslag på forskning och utredning.....	56
Tack.....	59
Referenser	60

1. Inledning

Bakgrund

Det svenska energisystemet står inför stora förändringar. En ökad elektrifiering inom industri och transporter leder till ökat el- och effektbehov (Klimaträttsutredningen 2022). Även fastighets- och värmesektorn är starkt länkade till elsystemet. Framtida elproduktion kommer troligen till stora delar vara väderberoende; möjligheten finns till styrning och optimering av elsystemets drift men det förutsätter att stora delar av elnätet byts ut till modernare teknik. Även högre effektivitetskrav och större inslag av förnybar elproduktion förutsätter att elnätet förnyas och utvecklas. Beroende på vilka investeringar som görs i industri, kraftproduktion, laddinfrastruktur och energilagring kan både produktionen och förbrukningen av el komma att omfördelas geografiskt. Parallellt genomförs vädersäkring av befintliga ledningar, vilket främst innebär nedgrävning av kabel men på några håll även breddning av ledningsgator.

Allt detta innebär att stora förändringar kan väntas i elnätet, både på land och till havs. Bland annat kan kraftledningar behöva bytas ut och nya dras, delvis i nya delar av landet. Om- och utbyggnaden av elnätet innebär en påverkan på landskapet som behöver göras med minsta negativa effekter på miljön och med bästa tillvaratagande av de positiva potentialerna, exempelvis nya biotoper och rekreationsytor.

En stor utmaning för utbyggnaden av elnäten är processerna kring planering och tillståndsgivning, bland annat beroende på svårigheter att bedöma och prioritera miljöeffekterna och att hantera de negativa effekter som kan förväntas. Såväl energibranschen som myndigheter beskriver att det finns en oförutsägbarhet i prövningsprocesserna vad gäller krav på utredning av och anpassningar för olika miljöeffekter (uttryckt bland annat inom referensgruppen för forskningsprogrammet Vindval). Svårigheterna beror delvis på stora kunskapsluckor när det gäller vilka miljöeffekter som uppstår, och vilka åtgärder som kan göras att mildra negativa eller ta till vara eventuella positiva miljöeffekter. En hel del forskning har gjorts om exempelvis luftledningars påverkan på fåglar, biologisk mångfald i kraftledningsgator och påverkan av elektromagnetiska fält på människors hälsa. Kunskapsluckorna är dock stora kring andra aspekter, exempelvis fragmenteringseffekter, störningar, spridning av främmande arter, påverkan på landskapsbild och upplevelsevärden.

Rapportens syfte

Syftet med den här rapporten är att tillgodose behovet av sammanställd och analyserad kunskap om elnätets miljöeffekter, utifrån nu rådande kunskapsläge. I rapporten redovisas olika miljöeffekter av elledningar (luftledningar samt kablar i mark och under vatten),

som kan behöva beaktas i samband med planering, anläggning och underhåll av kraftledning, och vid miljöbedömning av nya ledningar samt av elnätet i helhet. Vi diskuterar: 1) hur effekternas betydelse beror på situationen och på i vilken utsträckning anpassningar och åtgärder vidtas, och 2) de sammantagna effekterna av hela elnätet, idag och i en framtid. Vi identifierar kunskapsbrister och föreslår ett antal områden där kunskapsläget särskilt behöver stärkas. Rapporten ska kunna ligga till grund för fördjupade kunskapssammanställningar inom delområden, och syftar även till att förtydliga forskningsbehoven inom området.

Avgränsning

Rapporten omfattar miljöeffekter på biologisk mångfald (djur, växter och ekosystem), mark, jord och vatten, befolkning och människors hälsa, samt landskap och kulturmiljö. Avgränsningen ansluter därmed nära till de miljöaspekter som listas i Miljöbalken 2 kap. 6 §, men omfattar inte direkt frågor om hushållningen med den fysiska miljön eller naturresurser, och därmed inte eventuell påverkan på näringar (såsom exempelvis ändrade förutsättningar för att bedriva jordbruk, skogsbruk, turism, eller rennäring, annat än indirekt via de miljöeffekter som beskrivs), och inte heller påverkan på fastighetsvärden eller andra ekonomiska värden (som även de kan påverkas indirekt). Rapporten omfattar inte heller de miljöeffekter som uppstår på annan plats i samband med produktion och återvinningen av elnätets material och komponenter, eller de utsläpp som skulle kunna uppstå vid eventuella olyckor vid arbete med utrustning eller fordon och som inte är specifika för elnät.

Läsanvisning

Rapportens avsnitt 1-3 ger en bakgrund till kunskapssammanställningen, beskriver genomförandet, samt ger en kortfattad allmän beskrivning av elnätets olika delar, den tekniska verksamheten, och därmed de påverkansfaktorer som på olika sätt kan orsaka miljöeffekter. Avsnitt 4-11 beskriver de olika miljöeffekter vi har kunnat identifiera, med en sammanfattning av litteraturen inom respektive fält, och kortfattat om möjliga åtgärder för att minimera eller hantera effekterna. I avsnitt 12-13 diskuterar vi hur miljöeffekterna kan ses i helhetsperspektiv och vid en framtida om- och utbyggnad av elnätet, samt ger förslag på områden där kunskapen behöver fördjupas. Rapportens bilaga 1 utgör en sök- och sorteringsbar bibliografi (excelfil), med sammanfattningar av och länkar till relevant litteratur om miljöeffekter av elnät, för den som vill skaffa en fördjupad bakgrund inom delområden.

2. Genomförande

Förstudie

Sammanställningen av underlag påbörjades med en förstudie som beställdes inom forskningsprogrammet Vindval, genomfördes 2022-2023, och har redovisats tidigare (Helldin & Kågström 2023).

Förstudien omfattade följande moment:

- Intervjuer med ett mindre antal personer inom bransch eller myndighet, för att få en allmän orientering om vad yrkesverksamma uppfattar som viktiga frågor och utmaningar, och vilka kunskapsunderlag de använder.
- Textsökningar på svenska myndigheters hemsidor samt i syntesrapporter från forskningsprogrammet Vindval, med sökorden kab* (kabel, kablar), elledning (eller enbart ledning) och elnät.
- Sök av ytterligare rapporter, utifrån vad som framkom i momenten innan.
- En begränsad sökning av vetenskapliga publikationer i databasen Web of Science. Sökningen gjordes där genom att identifiera ett mindre antal centrala artiklar inom respektive ämnesområde, och utifrån dessa söka både bakåt och framåt i tiden, dvs. gå igenom referenslistorna samt söka i källor som citerat de aktuella artiklarna. Avsikten här var framför allt att hitta ytterligare centrala artiklar, av typen kunskapssammanställningar eller problemöversikter för olika miljöeffekter av elledningar och elnät.
- Granskning av ett första rapportutkast av personer inom bransch eller myndighet (informanterna ovan samt personer knutna till Vindval), för att ytterligare säkerställa att inga centrala rapporter, kunskapsunderlag eller aspekter missades.

Resultatet från förstudien ingår som underlag till föreliggande rapport.

Litteratursökning

Inom projektet genomfördes sedan en mer fullskalig litteratursökning. Med start under våren 2024 söktes vetenskapligt publicerad litteratur, i första hand i databasen Web of Science men även i viss utsträckning i PubMed.

Sökningen gjordes med följande sökord och kombinationer (samt med mindre modifieringar och tillägg):

- (“power line*” OR “power-line*” OR “powerline*” OR “transmission line*” OR “high voltage line*” OR “transmission system*”) AND (“habitat*” OR “environment*” AND “landscape*” OR “terrestrial*” OR “soil*” OR “water bod*”) AND (“biodiversity” OR “population*” OR “communit*” OR “specie*”) AND

- (“vertebrate*” OR “avian” OR “bird*” OR “mammal*” OR “amphibian*” OR “reptile*” OR “wild*life” OR “human*”) AND (“vegetation*” OR “plant*” OR “grassland*” OR “forest*” OR “wetland*” OR “artificial*land*” OR “agricultur*”),
- (“environment* impact*” OR “environment* effect*”) AND (“power line*” OR “power-line*” OR “powerline*” OR “transmission line*” OR “high voltage line*” OR “transmission system*”),
- (“power line*” OR “power-line*” OR “powerline*” OR “transmission line*” OR “high voltage line*” OR “transmission system*”) AND (“habitat*” OR “environment*” OR “landscape*”) AND (“fragmentation”).

En avgränsning gjordes till artiklar publicerade efter 1985, med undantag för ett mindre antal artiklar som utmärkte sig som högrelevanta baserat på titel och sammanfattning (abstract). Nyckelkällor identifierades inom respektive ämnesområde baserat på titel och abstract, vilka därefter lästes mer ingående. Från dessa nyckelkällor kunde sedan ytterligare källor identifieras, bakåt och framåt i tid genom att gå igenom referenslistorna samt söka i källor som citerat de aktuella artiklarna. Här ingick både vetenskapligt publicerade artiklar och ”grå” litteratur, det vill säga tekniska rapporter, kunskapssammanställningar, etc. Detta pågick successivt under projektets gång. Sammanlagt identifierades ca. 400 referenser, vilka lästes mer eller mindre ingående beroende på relevansen för frågeställningen.

Källorna samlades i ett exceldokument (bilaga 1) med angivande av författare, artikeltitel, abstract, aktiv URL, publiceringsår samt vilken/vilka av följande 21 miljöeffekter som behandlas: kollision och strömgenomföring, barriäreffekter, biotopförändring, fragmentering, kanteffekter, korridoreffekter, biotopförlust, invasiva arter, elektromagnetiska fält, störningar från buller och ljus, luftföroreningar, effekter på mark och vatten, turism och landskapsbild, brandrisk, biodiversitet, hälsoeffekter, skyddade områden/särskilda värden, akvatiska miljöer, intrassling, effekter på renar, klimat. Denna uppdelning i miljöeffekter var i någon mån godtyckligt baserad på beskrivningar i litteraturen, och kom att utvecklas under arbetets gång. Uppdelningen användes som en grund för den mer övergripande rapportstrukturen nedan.

Skanning av planeringsunderlag, MKB:er

Som en komplettering till litteratursöket gjordes inom projektet en sökning av information om miljöeffekter beskrivna i dokument kopplade till miljökonsekvensbeskrivningar (MKB:er) för nätkoncession, ett arbete som redovisats i en separat rapport (Berg & Helldin 2024). Sökningen var kvalitativ och urvalet av dokument gjordes främst för att hitta en bredd av ärenden; därför gjordes ett urval av ärenden för elledningar av olika storlekar och spänningar (stamnät, regionnät och lokalnät), och olika teknikval (luftkabel, markkabel och sjökabel, inklusive stationer). I urvalet prioriterades nyare ärenden (vilket innebar från de senaste 2-3 åren) men när nyare ärenden saknades (exempelvis ärenden med sjökabel) söktes ytterligare några år bakåt i tiden.

Dokumenterna hämtades i första hand från Energimarknadsinspektionens (Ei) öppna arkiv över pågående ärenden (<https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-linje> samt <https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-omrade>). Ärenden för sjökabel samt ytterligare ärenden för områdeskoncession begärdes ut från Ei och från Sveriges geologiska undersökning (SGU). Några dokument hämtades från Svenska Kraftnäts register över transmissionsnätsprojekt (<https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/>). Dokumenten utgjordes främst av MKB:er, men också av ansökningar, yttranden, samrådsunderlag och kompletteringar. Sökningen gjordes våren 2024. Alla tillgängliga dokument för de utvalda ärendena skannades igenom, men endast dokument där miljöeffekter beskrivs inkluderades i läsningen. Vid genomgången strukturerades miljöeffekter med utgångspunkt i de kategorier som användes inom förstudien (se ovan), dock modifierat eller med nya teman baserat på vad som framkom efter hand i genomgången. Det ska understrykas att genomgången inte var kvantitativ, och alltså inte kan användas för att säga hur många av ärendena som berör en viss miljöeffekt.

Expertstöd

Inom projektet genomfördes workshopar med SLU-forskare, i januari 2024 med fyra forskare vid SLU Centrum för biologisk mångfald, och i april 2024 med sex SLU-forskare från fler institutioner och inriktade främst mot skogs-, gräsmarks- och viltekologi. Stöd har också erhållits från forskare med inriktning på landskapsplanering och upplevelsevärden, vid SLU Institutionen för Stad och Land. Avsikten med expertstödet var att fånga upp perspektiv och överblick utöver vad litteratur och planeringsdokument gav.

3. Elnätet – teknisk utformning och möjliga påverkansfaktorer

Här ges en kortfattad allmän beskrivning av elnätets olika delar, den tekniska verksamheten, och därmed de påverkansfaktorer som på olika sätt kan orsaka miljöeffekter. Avsnittet bygger främst på information från Svenska Kraftnät (<https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/>) och Energimarknadsinspektionen (<https://ei.se/om-oss/statistik-och-oppna-data/tekniska-uppgifter---elnat>).

Elnätet i Sverige

Elnätet består av komponenter som luftledningar och stolpar, kablar i mark och under vatten (sjökabel), samt transformator- och kopplingsstationer, och är den infrastruktur som transporterar elektricitet från producent till konsument (bild 1). Elnätet delas grovt in i transmissionsnät (även kallat stamnät) och distributionsnät (regionnät och lokalnät), samt därtill utlandsförbindelser. Spänningen i ledningarna är mycket hög i transmissionsnätet (220-400 kV), och sänks sedan successivt till de regionala och lokala delarna för att ligga på en mycket lägre nivå när den når konsumenten (0,2 kV i vägguttag). De olika delarna skiljer sig även vad gäller längd, storlek och konstruktion, vilket beskrivs närmare nedan.

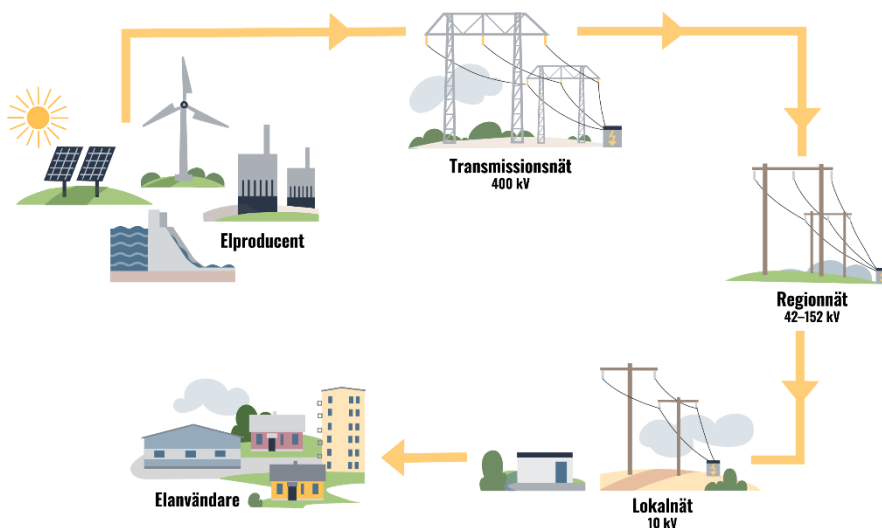


Bild 1. Principskiss över elnätet, med eltransport från producent till konsument via de olika huvudtyperna av nät. Bild från Energimarknadsinspektionen.

Det landbaserade elnätets totala längd i Sverige ligger idag kring 600.000 km (tabell 1), där huvuddelen av sträckan utgörs av lokalnät. För enbart luftledningar (bild 2) är totala sträckan kring 155.000 km. Totala längden sjökabel är uppskattningsvis 2.000 km (se

vidare nedan), alltså betydligt kortare än det landbaserade elnätet. Utöver transmissions- och distributionsnäten finns i Sverige drygt 11.000 km elektrifierad järnväg.

Tabell 1. Elledning 2022 enligt statistik från Energimarknadsinspektionen (<https://ei.se/om-oss/statistik-och-oppna-data/tekniska-uppgifter---elnet>).

	Luftledning (km)	Markkabel ^a (km)	Totalt (km)
Transmissionsnät	15.500	1.500	17.000
Regionnät	30.000	2.000	32.000
Lokalnät	110.000	434.000	544.000
Summa	155.500	437.500	593.000

a) Kategorin omfattar även sjökabel, källan anger inte till vilken andel.



Bild 2. Luftledningsnätet; Sverigekartan visar transmissions- och regionnät i rött samt järnvägsledningar i blått, detaljbilden visar förutom transmissions- och regionnät i rött även lokalnät i ljusare röd nyans. Data från Lantmäteriet (Topografi 10) samt Trafikverket (NJDB), nedladdade sep 2023; illustration SLU Centrum för biologisk mångfald.

Transmissionsnätet utgörs av de större kraftledningarna, vilka till >90% är luftledningar, som har hög spänning (220-400 kV) för långväga transport från kraftverk eller områden där mycket el produceras till regioner där mycket el konsumeras. Transmissionsnätet ansluter direkt till de största elproducenterna samt till utlandsförbindelserna. Transmissionsnätet ägs och förvaltas av staten via Svenska Kraftnät.

Sveriges transmissionsnät är totalt ca 17.000 km, med drygt 175 nätstationer, och ca. 50.000 stolpplatser med normalt sett 200-330 m mellanrum. Antalet strömförande linor (faslinor) i en ledning är tre eller fler, och oftast ovanför dessa finns två icke strömförande linor (topplinor) som bland annat har till uppgift att skydda faslinorna vid åska. Stolparna i transmissionsnätet är oftast 20-35 m höga men i enstaka fall närmare 100 m. Stolparna kan ha olika utformning, med faslinorna placerade horisontellt bredvid varandra eller på höjden – stolparna blir därmed utsträckta antingen i sid- eller höjddled.

De stora ledningarna i transmissionsnätet passerar ofta på relativt rak linje genom landskapet och skär därmed igenom olika miljöer med endast mindre lokala anpassningar. I skogsterräng hålls en kraftledningsgata fri från träd och annan vegetation som skulle kunna nå eller falla över ledningarna. Längs ledningsgatan finns också i de flesta fall en väg som är körbar med terrängfordon, den så kallade patrullstigen.



Bild 3. Kraftledningar mellan Västerås och Sala; ledning i regionnätet till vänster, transmissionsnätet till höger och en större ledning inom lokalnätet i mitten. Foto J-O Helldin.

I **regionnätet** är spänningen lägre (oftast 130 kV), för fördelning av elen från transmissionsnätet till lokalnätet. Sveriges regionnät är totalt ca. 32.000 km. Även denna är till >90% luftledning, oftast på lägre höjd än i transmissionsledningarna (stolpar 10-35 m), och med tre faslinor samt två topplinor. Uppgifter om antal stolpplatser saknas men torde uppgå till >150.000 (baserat på längre total längd och kortare avstånd mellan stolpar jämfört med transmissionsnätet). Regionnätet ägs och förvaltas av ett fåtal större elnätsföretag (idag främst Vattenfall, Ellevio, Eon och Skellefteå Kraft).

Även regionnätets ledningar håller relativt raka linjer, dock oftast något mer anpassade till landskapet och ibland samlokaliserade med transmissionsledningar. Även här röjs regelbundet bredare ledningsgator, och i regionnätets större ledningar finns även en anlagd och röjd patrullstig.

Lokalnätet fördelar ut elen ytterligare, från regionnätet till elförbrukarna, men även små elproducenter är anslutna till lokalnätet. Ledningarna inom lokalnätet är mindre, från 40 kV ner till det lågspänningsnät på 0,2-0,4 kV som når hushåll och mindre företag. Sveriges lokalnät är totalt ca. 544.000 km, varav huvuddelen är markförlagt, särskilt lågspänningsdelarna. Luftledningarna inom lokalnätet har oftast låga stolpar (kring 10 m höga), med ledningar som oftast är isolerade, utan topplinor, men ibland med en jordlina strax under faslinorna. Lokalnätet är i stor utsträckning anpassat till landskapet; det följer ofta annan infrastruktur såsom vägar och större kraftledningar, och brukar vid luftledning genom skog ha endast en smal eller ingen röjd ledningsgata. Markförläggningen och isoleringen av luftledningarna har i stor utsträckning gjorts under senare år för att stormsäkra nätet. Lokalnätet är uppdelat i ett stort antal koncessionsområden och ägs och förvaltas av många olika elnätsföretag.

Sjökabelnätet till havs utgörs av högspänningsförbindelser (400-500 kV) med utlandet och större öar, och av förbindelser med lägre spänning mellan kusten och havsbaserade vindkraftsanläggningar samt i ett nätverk inom anläggningarna. Det saknas bra statistik på längden men baserat på uppgifter i bland annat Ponder m.fl. (2019) uppskattar vi att det i Östersjön finns totalt drygt 2.000 km högspänningskabel. Mängden sjökabel förväntas dock öka, främst i samband med utbyggnad av havsbaserad vindkraft (Ponder m.fl. 2019). Undervattenskablar är nästan uteslutande bottensatta, men kan vid exempelvis flytande vindkraftsparker hänga fritt i vattenmassan. Kablarna kan vara upp till 30 cm i diameter, och täckta med 0,3-1 m sediment, eller täckta med sten, stålplattor, järnkåpor eller betongmattor på de platser där nedgrävning inte är lämpligt. Även i det havsbaserade elsystemet ingår transformatorstationer. De större förbindelserna ägs och förvaltas av staten via Svenska Kraftnät medan de mindre ägs av berörd elproducent.



Bild 4.
 Högspänningsledningar i transmissionsnätet samt utlandsförbindelser.
 Ledningar i rött = 400 kV växelström, grönt = 220 kV växelström, lila = högspänning likström.
 Kartan visar även större elproducenter som rektanglar (vattenkraftverk, vindparker, kärnkraftverk, kraftvärmeverk).
 Karta © ENTSO-E 2023.

Anläggnings- och avvecklingsarbete

Anläggningsarbetet för kraftledningar innebär ett antal miljöpåverkansfaktorer. Vid anläggning av större luftledningar i skogsterräng avverkas skogen inom en korridor, ofta en tid innan övrigt arbete. I samband med anläggningen av själva kraftledningen kan det vara aktuellt att även anlägga mindre bilvägar, upplagsplatser och patrullstig, eller att göra andra markarbeten. Kring större stolpar och stationer kan markarbetena lokalt bli omfattande. Mindre mängder jordmassor kan behöva tillföras eller flyttas inom projektet. Längs vissa luftledningar finns markförlagd jordkabel mellan stolparna som antingen grävs eller plöjs ner; kortare sträckor kan även tryckas eller borraras. Vid markläggning av kabel påverkas markstruktur och vegetation lokalt och temporärt, och även här kan skog behöva avverkas. Anläggningsarbetet i sig innebär maskinbuller, kanske belysning nattetid, mänsklig närvaro, körning i terräng, och tunga transporter till och från området. Även en kommande nedmontering av ledningen innebär i någon mån maskin- och markarbeten. Vid kabelförläggning under vatten kan kabeln plöjas eller spolras ner i mjuka bottenmaterial, läggas i en sågad fåra i hårdbotten, eller läggas på botten och förankras eller täckas med massor eller betongmattor. Arbetet medför buller från maskiner och fartyg, grumling och sedimentation, och fysisk störning av bottenmiljön. Även om själva anläggnings- och avvecklingsarbetena är relativt kortvariga kan miljöeffekterna vara långvariga eller permanenta (se vidare i avsnitten nedan).



*Bild 5. Anläggning av ny transmissionsledning parallellt med befintlig; Aurora line vid Överkalix.
Foto J-O Helldin.*

Påverkansfaktorer under drift

Elledningar under drift skapar elektromagnetiska fält, se faktaruta nedan. Oisolerade högspänningsledningar kan vid fuktigt väder, regn eller snöfall alstra ett sprakande ljud, och små blixtar huvudsakligen inom det ultravioletta spektrat (s.k. korona-urladdningar). Vid kraftigt regn eller rimfrost på faslinan kan också rena toner höras, och från nedsmutsade isolatorer kan höras ett brus. Vid blåst kan det uppstå ett vinande i ledningar och stag. Transformatorstationer alstrar ett kontinuerligt, lågfrekvent ljud. Ledningar i mark och under vatten kan alstra viss värme och vibrationer.

Ledningskorridorer i skogsmiljö hålls fria från högre vegetation som kan skada ledningarna; detta gäller både luftledningar och markkabel. Røjningen sker oftast genom motormanuell røjning, normalt vart 8:e år och längs patrullstigen med tätare intervall. Under drift sker regelbunden besiktning av ledningar, stolpar och stationer, från luften eller marken. Vid ledningsbyte eller reparationer kan det bli fråga om maskinarbete och transporter liknande det vid anläggning. I akvatisk miljö sker besiktning av kabel med ekolod eller andra vibrationsbaserade system som alstrar undervattensljud.

Öppna ledningsgator skapar ökad tillgänglighet för friluftsliv, erbjuder goda förutsättningar för säker jakt, och kanaliserar körning med terrängfordon. Denna ökade tillgänglighet kan samtidigt innebära ökad störning från mänsklig närvaro under drifttiden.

Faktaruta Elektriska och magnetiska fält

Elektromagnetiska fält (EMF) är en samlingsterm för de elektriska fält och magnetiska fält som bildas kring elektriska ledare och viss elektrisk utrustning såsom hushållsapparater, mobiltelefoner och trådlösa datornätverk. I havsmiljön är kablar för telekommunikation och elöverföring de största artificiella källorna till EMF.

Elektriska fält bildas genom elektrisk spänning; högspänningsledningar har högre fältstyrka, oberoende av hur mycket ström som går genom ledningen. Det elektriska fältet isoleras av fasta material som jord, byggnader och vegetation, och är avskärmat genom höljet kring mark- och sjökabel. Styrkan på det elektriska fältet mäts i enheten V/m (volt per meter), av praktiska skäl oftast kV/m (kilovolt per meter = tusen volt per meter). Det elektriska fältet på marken under en luftledning i högspänningsnätet ligger normalt på 1-8 kV/m, men varierar mycket beroende på förekomst av jordande strukturer som vegetation, fordon och konstruktioner. Detta ska jämföras med referensvärdet* på 5 kV/m (beräknat på frekvensen 50 Hz), och att det är möjligt för människor att fysiskt känna av elektriska fält redan från 2-5 kV/m.

Magnetiska fält bildas av elektrisk ström; större strömflöde ger högre fältstyrka. Styrkan på det magnetiska fältet kring en ledning kan alltså variera med tiden, och kan bli stort även kring ledningar med lägre spänning. Det magnetiska fältet isoleras i regel inte av fasta material och inte heller av de höljen som idag används för isolering av mark- och sjökabel. Styrkan (egentligen flödestätheten) på det magnetiska fältet mäts i enheten T (tesla), av praktiska skäl oftast μT (mikrotesla=miljondels tesla). Det magnetiska fältet vid markytan under en luftledning i högspänningsnätet ligger normalt kring 1-30 μT (oftast <10) och vid markytan över en markkabel kring 1-2 μT , att jämföra med referensvärdet* 100 μT (vid 50 Hz) eller den naturliga jordmagnetismens 30-60 μT .

Gemensamt för elektriska och magnetiska fält är att styrkan avtar snabbt med avståndet till ledaren. Vid markytan under luftledning är fälten generellt starkast mitt i spannet, alltså där ledningen hänger som lägst. Men fältstyrkan varierar alltså mycket både i tid (särskilt magnetiska fält) och rum (särskilt elektriska fält). Där flera ledare möts kan fälten bli komplexa, och förstärka eller ta ut varandra.

Faktarutan bygger huvudsakligen på uppgifter från Strålsäkerhetsmyndigheten (2008), Folkhälsomyndigheten (2017) och Svenska Kraftnät (2014 samt odat.).

* De så kallade referensvärdena för EMF är satta för att undvika hälsoeffekter för allmänheten, och motsvarar 2% av nivån där säkerställda hälsorisker finns (Strålsäkerhetsmyndigheten 2008).

Framtidens elnät

Det nuvarande elnätet är byggt för en situation med få och stora elproducenter, främst vattenkraftverken i norr och de fyra kärnkraftverken, och en envägs transport av el för fördelning till många konsumenter i hushåll och industri varav de flesta i tätortsområden i södra delen av landet. Den pågående utvecklingen av nya elproduktionsslag, lagrings- och laddinfrastruktur, elektriska fordon och transportinfrastruktur, elkrävande industri med mera, innebär nya förutsättningar för såväl transmissions- som distributionsnätet.

Scenarier för elsystemets utveckling till 2050 ger viss vägledning till hur framtidens elnät kan komma att skilja sig från dagens (Energimyndigheten 2023, Svenska Kraftnät 2024). Hur och var elnätet utvecklas kan komma att bero på om elproduktionen går mot storskaligt på färre platser (kärnkraft) eller småskaligt och utspritt i landskapet (utbyggd vind- och solkraft), på omfattningen av industriella satsningar och digitalisering, på möjligheten till långväga transport via e-bränslen, och även beroende på graden av globalisering eller nationell självförsörjning. Stora industriella förbrukare längst i norr kan innebära utbyggnad av större kraftledningar i Norrland, både i nordsydlig riktning och mellan kusten och inlandet. Småskaligare system innebär ett tätare elnät, med många mindre ledningar, för kortare eltransporter, och främst koncentrerat kring mindre producenter och förbrukare i landets södra delar. Fortsatt utbyggnad av havsbaserad vindkraft medför allt mer undervattenskabel och stationer, ibland med långa förbindelser till land. Vilket eller vilka scenarier som är de troligaste beror i stor utsträckning på politiska beslut, vilka är svåröversäglbara. Rent allmänt gäller dock att elektrifiering innebär att elnätet behöver byggas ut och bli tätare jämfört med dagens, men med byte av det nuvarande föråldrade ledningsnätet kan redan detta rymma ökad eltransport.

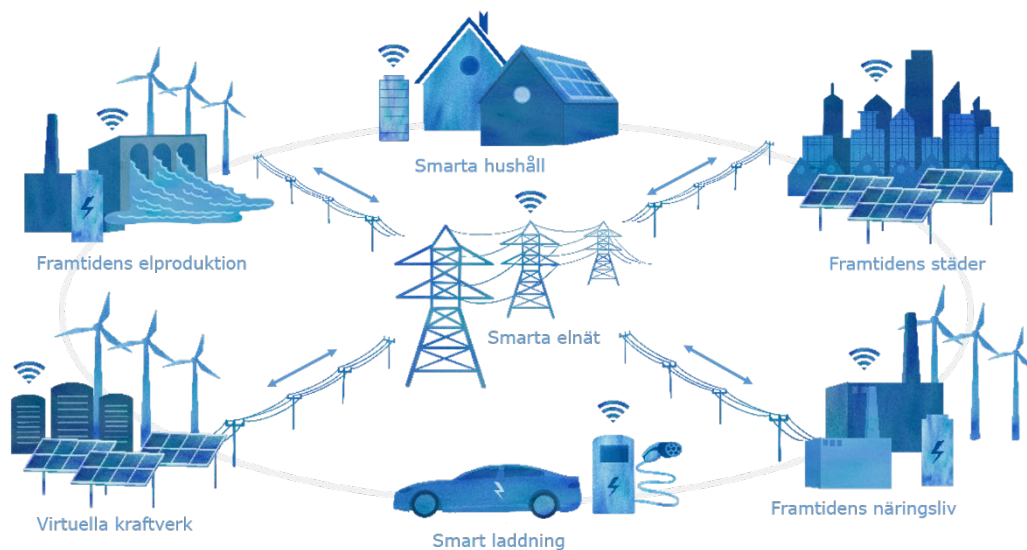


Bild 6. Framtidens elnät kan komma att ha fler länkar och större flexibilitet, och vara anpassat till en produktion som är mer utspridd men som sker närmare konsumenten. Behovet av eltransport kan komma att öka eller minska. Illustrationen reproducerad med tillåtelse av Power circle (www.powercircle.org).

4. Ledningsdöd

Fåglar

Fågeldödlighet vid luftledningar är en av de mest uppmärksammade ekologiska effekterna av kraftledningar. Detta gäller framför allt större fågelarter, som kan dö eller skadas allvarligt antingen vid kollision med ledningar eller av strömgenomföring vid stolpar och transformatorer. Kunskapsläget gällande kollisioner med ledningar och strömgenomföring för fåglar generellt och i Sverige specifikt finns väl sammanfattat (Bevanger 1998, Rubolini m.fl. 2005, Lehman m.fl. 2007, Bernardino m.fl. 2018, Ottvall & Green 2020).



Bild 7. Gäss vid Salvikens strandängar, i bakgrunden ledning från Barsebäck. Foto Urban Emanuelsson.

Strömgenomföring drabbar i första hand större arter som använder ledningsstolpar som bo- eller sittplats, såsom rovfåglar, ugglor och storkar (Harness & Wilson 2008, Ottvall & Green 2020). Effekten uppstår när en fågel samtidigt vidrör två ledningar, eller en ledning och ett jordat föremål. Risken för strömgenomföring är större i lokalnätet (Ottvall & Green 2020), där avstånden mellan strömförande delar är kort samtidigt som ledningar och stolptransformatorer ofta är oisolerade. Eftersom sannolikheten att vidröra flera komponenter ökar med vingspannet löper stora fåglar ofta högre risk att drabbas av strömgenomföring än mindre arter. I ledningar med stolpar av stål eller armerad betong fungerar även de tvärgående stagen som jord, vilket gör avståndet mellan ledning och jord kort och medför att även mindre fåglar kan dödas (Lehman m.fl. 2007).

Risken för strömgenomföring är högre i öppna landskap med god tillgång på byten, dit fåglarna attraheras och där tillgången till alternativa sittplatser är lägre än i skog (Bevanger 1994). Fåglarnas ålder kan vara av viss betydelse, då yngre fåglar kan vara mer utsatta på grund av deras sämre koordination vid lyft och landning (Mojica m.fl. 2018, Ottvall & Green 2020). Risken kan också vara högre vid regn och snöväder, eftersom fåglar med blöta fjädrar har större sannolikhet att drabbas (Lehman m.fl. 2007).

Strömgenomföring utgör en stor andel av de kända dödsfallen för kungsörn, berguv och slaguggla i Sverige, och skulle regionalt kunna utgöra en betydande mortalitetsfaktor (Ottvall & Green 2020). Strömgenomföring av fåglar kan – tillsammans med fågelbon och spillning – leda till strömavbrott, och utgör därmed även ett problem för driften (Bevanger & Refsnæs 2013).

Vid kollision med kraftledningar är större fågelarter med låg manövreringsförmåga överrepresenterade, exempelvis svanar, gäss, änder, storkar, hägrar, tranor, hönsfåglar och vissa vadararter (Bevanger 1994, Shaw m.fl. 2010, APLIC 2012, Bernardino m.fl. 2018). Kollisionsrisken är större för tunnare ledningar, på högre höjd över mark, med längre avstånd mellan stolpar, och där faslinorna är vertikalt konfigurerade (Bevanger & Refsnæs 2013, Bernardino m.fl. 2018, Paquet m.fl. 2022, RGI 2024). I transmissionsnätet sker kollisioner huvudsakligen med de tunnare topplinorna (Bevanger 1994, Bernardino m.fl. 2018), vilket kan bero på att fåglarna tar höjd för att undvika de grövre och mer synliga faslinorna men då inte klarar att undvika topplinorna. Trots den generellt högre kollisionsrisken vid de större transmissions- och regionledningarna kan lokalnätet ändå utgöra ett totalt sett större problem på grund av den större totala längden (Gilad m.fl. 2024; se avsnitt 12 nedan).

Även platsen och det omgivande landskapet spelar roll för kollisionsrisken. Antalet kollisioner är flest där många arter rör sig och fågeltätheten är hög, exempelvis vid viktiga flyttstråk och rastområden, längs kusten, vid våtmarker, i dalgångar och vid sund (Drewitt & Langston 2008, Bevanger & Refsnæs 2013, Bernardino m.fl. 2018, D'Amico m.fl. 2018, RGI 2024). I skogsområden innebär ledningar just över trädkronhöjd en högre kollisionsrisk (Prinsen m.fl. 2011, Bernardino m.fl. 2018). Vidare kan olika arters beteende kopplat till födosök, flyghöjd, aktivitet över dygnet, ålder, säsong, väderlek och gruppstorlek påverka sannolikheten för kollisioner (Savereno m.fl. 1996, Drewitt & Langston 2008). Exempelvis är risken större vid mörker eller dålig sikt (dimma, regn eller snöfall), och yngre fåglar verkar mer utsatta än äldre (Drewitt & Langston 2008, Bernardino m.fl. 2018, Ottvall & Green 2020). Fåglar som samlas i flock verkar också löpa större kollisionsrisk, kanske för att de lägger mer fokus på att följa flocken än på att upptäcka hinder i luftrummet (Drewitt & Langston 2008, D'Amico m.fl. 2018). Vissa studier tyder också på att skillnader i fågelarters synförmåga (synfältets bredd och förmågan till periferiseende) påverkar risken att kollidera med kraftledningar – många fågelarter har ögonen placerade på sidan av huvudet med begränsat seende framåt (Bevanger 1994, Martin & Shaw 2010).

Sammantaget finns många faktorer som påverkar kollisionrisken för fåglar vid kraftledningar, och direkta mätningar av kollisionrisk eller antal dödsfall är svåra att genomföra (Gómez-Catasús m.fl. 2020, Travers 2023). Det råder oklarheter kring i vilken utsträckning kollisioner med elledningar utgör en betydande del av den nationella dödligheten för kollisionsdrabbade arter (Bevanger & Refsnæs 2013). Troligen är de flesta fåglar som dödas vanliga arter utan större konsekvenser för artbevarande i dagsläget. En del av arterna, exempelvis stora rovfåglar, stora ugglor och storkar, är dock skyddade och hotade även av andra faktorer i landskapet, och då kan ledningsdöden åtminstone lokalt eller regionalt vara en betydande faktor (Bevanger 1995, Hernández-Matías m.fl. 2015, Ottvall & Green 2020). I norra Europa pekar studier på att kollisioner med ledningar kan påverka populationerna av hönsfåglar som tjäder och dalripa negativt (Bevanger & Brøseth 2004, Drewitt & Langston 2008).

Förutsättningar finns att med god planering och tekniska åtgärder minska problemen för fåglar med både strömgenomföring och kollision med ledningar (Bernardino m.fl. 2018; D'Amico m.fl. 2018). Den främsta åtgärden för att minska risken för kollision är att hitta den rätta lokaliseringen, det vill säga att undvika ledningar i områden som är särskilt värdefulla för fågellivet, särskilt fågeltäta, nära viktiga häckningsplatser eller i viktiga flygstråk (Bevanger & Refsnæs 2013, Naturvårdsverket odat.). Markläggning av ledning och markbyggda transformatorer kan också bidra till färre dödade fåglar i elnätet (Yee & Spiegel 2008, Paquet m.fl. 2022, Bayle 2024); den ökande markläggningen av lokalnät i Sverige har sannolikt lett till en minskning av eldöden för fåglar (Ottvall & Green 2020). Ledningar på färre vertikala nivåer kan även det minska kollisionrisken (APLIC 2012, Prinsen m.fl. 2011). Andra tekniska anpassningar för att minska risken för fåglar att dö vid luftledning och stolpar är fågelavvisare på ledningar (för att göra ledningarna lättare att upptäcka på håll) och bättre isolerade ledningar och transformatorer. Den riskreducerande effekten av dessa åtgärder varierar dock mellan olika artgrupper, och ingen av åtgärderna eliminerar risken helt (Janss & Ferrer 1998, Barrientos m.fl. 2011, Gális & Ševčík 2019, Bernardino m.fl. 2018, Ferrer m.fl. 2020a).

Det aktuella kunskapsläget kring elnätets påverkan på fåglar, med särskilt fokus på den svenska situationen, sammanfattas i en rapport av Ottvall & Green (2020).

Naturvårdsverket tog under 2023 fram en vägledning om elnätens påverkan på fåglar, med rekommendationer för ansökan, handläggning och tillsyn (Naturvårdsverket odat.). Under 2024 publicerades en kunskapssammanställning och vägledning om fågelkollision med kraftledningar av den europeiska samarbetsorganisationen Renewables Grid Initiative (RGI 2024).

Förutom de väl kända effekterna av strömgenomföring och kollision vid luftledning kan dykande sjöfåglar även skadas på frihängande sjökablar eller fastna i marint skräp som fastnat vid kablar (se nedan).

Övriga djurarter

Även däggdjur kan dödas av skador och strömgenomföring vid ledningar, men detta är mindre uppmärksammat och troligen mindre vanligt förekommande än fåglar. Klättrande arter som mårdar och ekorrar kan dödas vid stolpar och transformatorer (Simpson m.fl. 2013, Balmori-de la Puente & Balmori 2024); globalt gäller samma sak för en lång rad primater, cibetdjur, sengångare, opossumar och andra trädlevande däggdjur (Katsis m.fl. 2018, Taylor-Brown m.fl. 2019, Linden m.fl. 2022). Mindre relevant i ett nordiskt perspektiv är också att megafauna såsom giraffer och elefanter kan nå lågt hängande oisolerade luftledningar och på det viset dödas av strömgenomföring (SAEP/EWT 2022).

Ledningsdödade flyghundar (storfladdermöss) har rapporterats från Indien och Australien (O'Shea m.fl. 2016, Tella m.fl. 2020); strömgenomföring kan regionalt vara en av de främsta dödsorsakerna för flyghundar, som ofta söker sig till urbana grönområden med hög täthet av luftledningar (Tidemann & Nelson 2011, Tella m.fl. 2020). Även för mindre fladdermöss har risken för ledningsdöd uppmärksamats (Manville 2016), men observationer av incidenter eller kadaver vid ledningar verkar saknas. Det krävs dock ofta en särskild sökindsats för att hitta små fladdermuskadaver, så avsaknad av fynd betyder inte avsaknad av mortalitet (Huso m.fl. 2015). Döda fladdermöss har hittats vid kommunikationstorn i samband med sök efter ihjälflugna fåglar (Zinn & Baker 1979, Crawford & Baker 1981, Johnson & Strickland 2004) vilket antyder att det skulle kunna finnas ihjälflygningsrisk för fladdermöss kring stolpar, stag och linor även i elnätet.

Åtgärder som föreslagits för att minska risker för klättrande och flygande däggdjur är delvis desamma som för fåglar; bättre isolering eller markläggning av ledning, och luftledningar på färre vertikala nivåer (Tella m.fl. 2020).

Frihängande sjökabel (exempelvis vid flytande elkraftverk) kan liksom förankringskättingar och liknande utgöra en skaderisk för marin megafauna, så som valar, sälar, sköldpaddor och stora hajar, särskilt under dåliga ljusförhållanden och hård vind då deras syn och övriga sensor-organ fungerar sämre (Benjamins m.fl. 2014, 2024, Harnois m.fl. 2015, Taormina m.fl. 2018). En indirekt risk för marina djur (även fiskar och dykande fåglar) är att skadas eller snärjas in av så kallade spöknät eller annat marint skräp som fastnat i kablar (Harnois m.fl. 2015, Maxwell m.fl. 2022, Benjamins m.fl. 2024); detta kan även hända vid dåligt skyddad bottenkabel. Risken kan öka för predatorer som attraheras av byte, t.ex. fisk, som fastnat i skräpet. Det är dåligt känt i vilken omfattning dessa faktorer kan vara ett problem. Riskerna kan reduceras genom att gräva ned kablar som inte behöver vara frihängande, och att rengöra frihängande kablar och kättingar regelbundet från påväxt och skräp (Harnois m.fl. 2015, Maxwell m.fl. 2022, Benjamins m.fl. 2024).

5. Biotopeffekter

Förlust av skogsmark och skogsfragmentering

Jämfört med annan form av skogsavverkning är effekterna av kraftledningsgator på förlusten av skogsbiotoper och skogslevande arter bristfälligt studerade. Omvandling av skog till öppna ledningsgator innebär för skogsbundna arter en direkt förlust av livsmiljö (arealförlust), barriäreffekter, risk för isolerade bestånd, samt kanteffekter i intilliggande kvarvarande skog (Williams 1995, Willyard & Tikalsky 2008, Ball 2012, Bartzke m.fl. 2014, Pienkowski m.fl. 2021).

Förlusten och fragmenteringen av skog är rent allmänt ett av de största hoten mot artbevarande i Sverige (Naturvårdsverket 2020). Visserligen utgörs hoten främst av andra faktorer än kraftledningsgator, såsom kalhyggesbruk och andra skogsbruksåtgärder, jordbruk och bebyggelse, men även linjär infrastruktur såsom vägar, järnvägar och kraftledningsgator bidrar. Det anges från flera länder att större kraftledning av hänsyn till människors intressen ofta lokaliseras särskilt till skogsmark, detta för att förlägga dem längre från bebodda områden och minska det visuella intrycket av ledningar i landskapet (Luken m.fl. 1991, Poikolainen & Malinen 2020, Pienkowski m.fl. 2021). Om så är fallet även i Sverige finns risk att skogliga värden påverkas i oproportionerlig grad.

Ytan av befintliga kraftledningsgator genom skogsmark har uppskattats till ca. 140.000 ha totalt i landet, eller ca. 0,6% av den produktiva skogsmarksarealen (Persson 2003). Detta är i sig ingen stor andel, och de negativa effekterna för biologisk mångfald av den direkta habitatförlusten kan minimeras genom att undvika skogsområden med särskilda naturvärden i valet av ledningskorridor (Eldegard m.fl. 2015). Det kan dock vara svårt att helt undvika att beröra ekologiskt värdefulla skogsområden vid de större kraftledningarna, som behöver ha en relativt rak dragning. Effekter kan även finnas på artbevarande genom en försämring av det övriga skogslandskapet, som kan ha en viktig stödfunktion för hotade skogsarter (Murcia 1995). Det ska dock noteras att ledningsgator som dras genom biologiskt fattiga produktionsskogar även kan skapa en positiv variation i skogslandskapet och därmed bidra till artdiversiteten (Eldegard m.fl. 2015; se också nedan).

Det finns stora likheter mellan en avverkning som sker inom skogsbruket och det som sker inför anläggandet av en kraftledning, men även skillnader. I jämförelse med ett vanligt kalhygge är en ledningsgata längre och smalare. Medan ny skog växer upp på kalhygget med tiden hålls ledningsgatan mer eller mindre permanent i ett tidigt successionsstadium genom upprepad röjning. Kraftledningsgatan är oftast inte bredare än att många skogslevande arter lätt kan ta sig förbi, men inte alla. Barriäreffekter kan förväntas hos en del skogsbundna arter av mindre däggdjur, insekter, fladdermöss, fåglar,

mossor, lavar och kärlväxter (Niemi & Hanowski 1984, Andrews 1990, Gates 1991, Goldingay & Whelan 1997, Söderman 2006, Ball 2012, Richardson m.fl. 2017, Biasotto & Kindel 2018, Browning m.fl. 2021). Undvikande av ledningsgatans öppna miljö har också beskrivits för skogslevande klövvilt, bland annat älg (Bartzke m.fl. 2014; men se också nedan). På grund av ledningsgatans långsträckta form finns ingen möjlighet att ”runda” barriären. Tillsammans har nätverk av linjära infrastrukturer som kraftledningar och vägar potentialen att stycka upp landskapet i mindre, isolerade enheter, och leda till fragmentering även om den direkta habitatförlusten inte är stor (Geneletti 2004, Nayak m.fl. 2020).

Kraftledningar leder också till kanteffekter i kvarvarande skog – något som har framförts som en mer betydande ekologisk effekt än den direkta förlusten av skogshabitat (Harper m.fl. 2005, Willyard & Tikalsky 2008). Ledningsgatans långsträckta form gör att den har mycket kantlinje per ytenhet. På samma sätt som vid hyggen och betesmarker griper ekologiska kanteffekter in i omgivande skog, exempelvis genom förändrat lokalklimat och ljusinflöde, ändrad vegetationsstruktur, högre predation, ökad blomning och skogsföryngring, potentiellt inflöde av invasiva arter, och ändrad artsammansättning av både växter och djur (Luken m.fl. 1991, Hansson 1996, Harper m.fl. 2005, Willyard & Tikalsky 2008, Powell & Lindquist 2011, Ball 2012, Bartzke m.fl. 2014, Eldegard m.fl. 2015). Både omfattningen och karaktären på kanteffekterna kan dock skilja sig, bland annat beroende på storleken på den öppna marken och kontrasten i kantzonen (Harper m.fl. 2005). I de flesta studier av skog invid kraftledningar har kanteffekter noterats upp till i storleksordningen 25-50 m in i skogen (Luken m.fl. 1991, Powell & Lindquist 2011, Eldegard m.fl. 2015), men i några fall upp till det tiodubbla avståndet (Ewers & Didham 2008, Li & Lin 2019). Med detta i beaktande kan förlusten av skog som är opåverkad av kanteffekter (på engelska *forest interior*) vara stor (Ewers & Didham 2008, Pienkowski m.fl. 2021). Effekterna beror självklart också på lokala arter och på skogsstruktur, och kan därför skilja sig mellan olika biom. För svenskt vidkommande kanske den bästa tumregeln är densamma som för kanteffekter vid kalhyggen, det vill säga att skogen påverkas två till tre trädlängder in i skogen (Hansson 1996).

Faktaruta: Omfattningen av kanteffekter

Totalt kan kanteffekter i skogsmark orsakade av ledningsnätet idag omfatta ca. 570.000 ha i landet, eller ungefär 2,1% av skogsmarken, uppskattat utifrån följande förenklade antaganden:

- Kanteffekt i transmissionsnätet = 60 m (tre trädlängder á 20 m)
- Kanteffekt i region- och lokalnäten = 40 m (två trädlängder á 20 m)
- Längden på ledningsgator (luftledningar) enligt tabell 1 ovan
- Hälften av ledningsnätet går genom skogsmark

I detta ska man dock väga in att ledningsgatornas kanteffekter in i brukad skog troligen inte är så avgörande under kalhygges-/ungskogsfasen, så vid en given tidpunkt är den totala ytan som påverkas av kanteffekter lägre.

Samlokalisering med befintliga ledningar, vägar m.m. begränsar fragmenteringen av landskapet. Med högre belägna ledningar och stolpar med vertikalt placerade linor kan ledningsgatan göras smalare, och både habitatförlust och kanteffekter bli mindre omfattande (Pienkowski m.fl. 2021).



Bild 8. Smalare kraftledningsgata (här ca 20m bred) genom skogsområde nära Hallstahammar. Ledningen har en stolphöjd på ca 40 m. Foto J-O Helldin.

I särskilt känsliga skogsområden som inte går att undvika vid ledningsdragning kan ledningarna dras över högsta trädtopps höjd, och då helt undvika att skapa en ledningsgata (Pienkowski m.fl. 2021, Dawe m.fl. 2022).

Vid existerande ledningar kan effekterna på skogslevande arter förmodligen mildras genom anpassad skötsel av ledningsgatorna. Exempelvis skulle mer varierade brynmiljöer mot skog, och försiktig röjning, anlagd buskmark eller kvarlämnad död ved i ledningsgatan kunna minska såväl kant- som barriäreffekter (Harper m.fl. 2005, Clarke & White 2008, Eldegard m.fl. 2015). Sådan anpassad skötsel ingår i konceptet för Integrated Vegetation Management, IVM (se faktaruta nedan). Kanteffekterna i skog minskas troligen även av sådan skogsskötsel för vädersäkring som tillämpas i Finland, där mer varierade och därmed mer stormsäkra bryn skapas längs ledningsgatan (Poikolainen & Malinen 2020, Fingrid odat.).

Nya gräs- och buskmarker

Den andra sidan av förlusten av skogsmark är att nya livsmiljöer skapas i kraftledningsgator, för arter som gynnas av gräsmarker, buskmarker och ungskog (Bartzke m.fl. 2014, Berg m.fl. 2016, Gardiner m.fl. 2018, Ottvall & Green 2020). Denna positiva effekt av ledningsgator i skog har fått mycket uppmärksamhet inom forskning och naturvård på senare tid, både utomlands och i Sverige, mycket på grund av att ledningsgatorna härbärgerar många av jordbrukslandskapets försvinnande arter och kan utgöra refugier och spridningskorridorer för dessa (Nekola 2012, Berg m.fl. 2016, Eldegard m.fl. 2017, Gardiner m.fl. 2018, Dániel-Ferreira 2021, Bladon m.fl. 2023; se också faktaruta om IVM nedan), och bidra till ökad biologisk mångfald även i det omkringliggande landskapet (Dániel-Ferreira m.fl. 2020). I många fall består skogsmark i Skandinavien av tidigare betesmark, där förutsättningarna kan vara extra lämpliga för gräsmarksarter när skogen avverkas och marken röjs regelbundet (Eldegard m.fl. 2015, Lampinen m.fl. 2018). Även markstörningar med blottad sand och jord kan vara gynnsamma exempelvis för grävande insekter.



Bild 9. I kraftledningsgator kan nya livsmiljöer skapas för ängsväxter, insekter och många andra arter. Foto Erik Öckinger.

Artgrupper som kan trivas i kraftledningsgator är många kärlväxter, bin, fjärilar, skalbaggar, snäckor, fåglar, reptiler, groddjur, fladdermöss och smådäggdjur (Johnson m.fl. 1979, Yahner m.fl. 2001, Nekola 2012, Wojcik & Buchmann 2012, Berg m.fl. 2016, Richardson m.fl. 2017, Wagner m.fl. 2019, Ottvall & Green 2020, Campbell m.fl. 2024). Ledningsgatorna kan få ett mikroklimat som är mer solexponerat och vindskyddat än andra gräsmarker, och som särskilt kan gynna vissa arter, och artdiversiteten kan ytterligare gynnas av anpassad skötsel (Eldegard m.fl. 2017). Det finns exempel på starkt hotade insekter som har sina bästa bestånd i ledningsgator (Berg m.fl. 2011). Även fågelfaunan kan gynnas av ledningsgatornas variation och kantzoner (King & Byers 2002, King m.fl. 2009).

Totala arealen hävdade gräsmarker i ledningsgator i Sverige beräknas till 14.000 ha, och hävdade buskmarker till 210.000 ha (Stenmark 2012); endast 2-5% av dessa klassas idag som artrika men en betydligt större andel har potential att bli artrik med anpassad skötsel. Många ledningsägare i Sverige har noterat de positiva effekterna för biologisk mångfald av röjningen av ledningsgator, och även på vissa platser påbörjat anpassad skötsel för att ytterligare gynna i synnerhet flora och pollinatörer (Ecogain 2021a, 2021b, Grusell m.fl. 2023, Karlsson & Lundin 2023). Det finns även potential i att anlägga småbiotoper, exempelvis kring stolpfundament (Ferrer m.fl. 2020b).

En annan aspekt på ledningsgator genom skogsmark är att klövvilt kan attraheras av betet i den regelbundet röjda ungskogen, särskilt i en kantzon med närhet till skydd i intilliggande skog (Takatsuki 1992, EPRI 2002, Persson 2003, Bartzke m.fl. 2014), och även i skogen närmast ledningsgatan (Bartzke 2014). Uppväxande sly och busk ger bete för klövvilt i större mängd och är mer begärligt jämfört med skogsmark, och att sköta ledningsgator för bästa viltbete kan minska risken för betesskador av vilt på övrig skogsmark (EPRI 2002, Bartzke m.fl. 2014, Länsstyrelsen 2019). Sådan anpassad skötsel skulle exempelvis kunna utgöras av ett något förlängt röjningsintervall och gynnande av särskilt betesbegärliga arter.

Även rovdjur kan attraheras av kantzoner och öppna ledningsgator genom skogsmark, som ledlinjer för rörelser och på grund av bytesförekomsten i kantzonen (Smith m.fl. 2008, Bartzke m.fl. 2014, Dickie m.fl. 2020). Ledningsstolpar kan i sig vara attraktiva för rovfåglar och kråkfåglar som sittplatser för att vila eller att spana efter byte, och för en del fågelarter för bobygge (Smith & Dwyer 2016, Richardson m.fl. 2017).

Faktaruta: Strategier för vegetationskötsel i kraftledningsgator

Platsanpassning

Eldegard m.fl. (2015) föreslår följande principer för anläggning och skötsel av kraftledningsgator:

1. Skog med stora naturvärden undviks för anläggning av nya ledningar. När sådana områden behöver passeras ska fokus ligga på att undvika kant- och barriäreffekter, exempelvis att undvika skarpa kantzoner, särskilt södervända sådana, och att bibehålla vegetation inom hela ledningsgatans bredd som i största mån liknar skogens.
2. I ledningsgator som passerar nära skog med stora naturvärden ska fokus ligga på att undvika kanteffekter, alltså även här undvika skarpa kantzoner, särskilt södervända. Detta innebär att behålla träd och buskar i skogskanten, medan ledningsgatans mitt kan skötas med den normala återkommande röjningen.
3. Ledningsgator med goda förutsättningar för skyddsvärda gräsmarksarter hålls öppna i hela sin bredd, för att undvika negativa kanteffekter från skogen in i ledningsgatan. Det kan gälla ledningsgator med nuvarande förekomst av sådana arter, på tidigare betes- eller slättermark, eller äldre ledningsgator (som i sig själva har lång kontinuitet).

Övriga ledningsgator kan skötas utan särskild anpassning.

Integrated Vegetation Management

Internationellt har konceptet Integrated Vegetation Management (IVM) utvecklats (US EPA 2008, Goodfellow m.fl. 2018, RGI 2019), som ett alternativ till ensartad röjning eller vegetationsbekämpning i kraftledningsgator. Med IVM avses att kombinera elsystemsäkerhet med ekosystemtjänster på bästa sätt, och konceptet fångar upp alla de aspekter som kan finnas på vegetationskötsel: skydd av nätets tekniska funktion, vädersäkring, brandskydd, gynnande av biologisk mångfald och friluftsliv, bekämpning av invasiva växter, begränsning av barriäreffekter och minsta påverkan på skogsmiljöer. IVM skapar en mångfald av värden i ledningsgatorna, ofta till en minskad skötselkostnad, genom åtgärder såsom selektiv röjning, riktad bekämpning av invasiva växter, plantering av önskvärda, lågväxande växtarter, återupptagen traditionell skötsel, anläggning av småbiotoper och bärande träd och buskar, information och tillgängliggörande (Goodfellow m.fl. 2018). EU-projektet ”Life ELIA” (<http://www.life-elia.eu/en/>) har fungerat som en europeisk modell för att visa på möjligheterna med IVM, och i Sverige kan kraftledningsgator i Täby fungera som exempel (Karlsson & Lundin 2023). Litteraturen om IVM är rik (Sullivan m.fl. 2023).



Bild 10. Gröna korridorer och IVM; illustration från projektet LIFE-ELIA och Cropmark.

Öppna våtmarker

Öppna våtmarker kan ses som ett ”specialfall” av gräsmarker. Trätdäckningen ökar generellt på svenska myrar, som en effekt av dikning, upphörd slåtter och bete, klimatförändringar och ökad kvävetillförsel (Gunnarsson & Nilsson 2024). Detta hotar många arter som är anpassade till de öppna myrarna, men röjningen av kraftledningsgator över myrmark kan i viss mån motverka hotet och gynna exempelvis våtmarksfjärilar och en del fågelarter (Nickerson & Thibodeau 1986, Lensu m.fl. 2011). Denna biotop-effekt av kraftledningar är inte mycket uppmärksammas, och därför svårbedömd.

Effekter i bottenmiljöer

Installation av sjökablar leder till fysisk påverkan på botten i akvatiska ekosystem, samt kan orsaka förlust och fragmentering av akvatiska habitat. I den bentiska zonen (icke strandnära bottenmiljöer) bedöms effekten som huvudsakligen lokal och tillfällig under själva anläggningsarbetet. Direkt berörs 2-8 meters bredd längs kabeln i samband med sondering och förläggning, plus de områden som påverkas av de fartyg som behöver ligga förankrade under arbetet (Taormina m.fl. 2018, Hemery 2020, Kraufvelin m.fl. 2021).

Därtill kommer effekter av grumling och sedimentation, som kan påverka livsmiljöerna inom ett större område, beroende på botten typ, strömförhållanden, vattentyp med mera, och även på åtgärder för att minska grumling (UK BIS 2008, Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018, Hemery 2020, Kraufvelin m.fl. 2021, Bergström m.fl. 2022). Effekterna beror på olika kritiska partikelhalter för olika akvatiska arter och livsstadier, och på olika bottenmiljöers känslighet för sedimentation; områden med hög naturlig resuspension (bottensedimenten rörs upp ofta, exempelvis på grund av strömmar) kan antas vara tåligare. Grumling kan minska ljusinsläppet och försämra sikten, och därmed påverka fiskars födosök, växters tillväxt och filtrerande arters näringsupptag (Hammar m.fl. 2009, Copping m.fl. 2021). Sediment kan begrava bottenlagda ägg och skada gälarna särskilt hos känsliga livsstadier såsom yngel, bland annat hos torsk (Hammar m.fl. 2014, Bergström m.fl. 2022). Sedimentationen kan också förändra bottenstrukturen, vilket kan vara särskilt betydande i vattendrag och hydrografiskt känsliga områden. Förändrad bottenstruktur och hydrodynamik kan innebära ett skifte i bottensubstrat vilket i sin tur kan påverka artsammansättningen och fiskars lekplatser (Hammar m.fl. 2009). Grumling och sedimentation berörs vidare i avsnitt 9 nedan.

Återhämtningstiden för bottenhabitat efter kabelinstallation beror till stor del på typ av botten, täckningsmaterial, och i vilken utsträckning vågor och strömmar påverkar ledningskanalen. I vissa fall kan tåliga bottenhabitat vara fullt återhämtade inom någon vecka medan mer känsliga habitat kan visa tecken i >15 år efter etablering (Kraus & Carter 2018). Större lokala negativa effekter av kabeldragning kan förväntas in mot land eller i andra grunda miljöer, och särskilt ålgräs- och kransalgsängar är känsliga för

störning från anläggningsarbete, och återhämtningen av bottenvegetation kan ta lång tid (Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018, Kraufvelin m.fl. 2021, Bergström m.fl. 2022). Bottendjur som främst drabbas är de som lever på botten (t.ex. ormstjärnor, anemoner, koralldjur) och nedgrävda i botten (t.ex. kräftdjur, sjöborrar, ormstjärnor, musslor, borstmaskar). Störningar på strandnära miljöer kan i vissa fall även öka risken för erosionsskador (Kraufvelin m.fl. 2021). Icke nedgrävda kablar som inte stabiliserats kan släpa längs botten och förhindra återhämtning. Reparationer och avveckling av sjökabel kan leda till ny påverkan som liknar den vid etableringen (Hammar m.fl. 2009).

Nya hårda strukturer, exempelvis sten, stål och betongmattor som används för täckning och förankring av sjökabel, samt även själva kablarna när dessa inte är täckta, kan skapa ”artificiella reveffekter”, det vill säga fungera som hårbottensubstrat som gynnar många organismer (Taormina m.fl. 2018, Bergström m.fl. 2022, Koehler m.fl. 2025). Strukturerna kan på olika sätt påverka artsammansättning och den biologiska mångfalden, genom att bidra med strukturell komplexitet som bland annat gynnar artdiversiteten av fisk (Öhman & Rajasuriya 1998). Strukturer som är placerade närmare naturliga rev kan ha större sannolikhet att utveckla mer platstypiska växt- och djursamhällen. Större strukturer kan vara lättare att upptäcka för rörlig fauna och kan uppehålla en större mängd av till exempel fisk. Generellt skiljer sig dock artsammansättningen som utvecklas i anslutning till artificiella strukturer ofta åt mer eller mindre jämfört med naturliga miljöer (Komyakova m.fl. 2019, Koehler m.fl. 2025). Det finns även en risk att oönskade organismer (t.ex. invasiva arter) etableras vid artificiella strukturer (se även avsnitt 6).

Det aktuella kunskapsläget om miljöeffekter av förläggning av sjökabel och återhämtningsförmåga hos arter och ekosystem sammanfattas i en rapport från IEA-organet OES Environmental (Garavelli m.fl. 2024). Sammanfattningar av effekter av fysisk påverkan på marina miljöer, med inriktning på svenska förhållanden, har publicerats av Naturvårdsverket och Havs- och Vattenmyndigheten (Hammar m.fl. 2009, Kraufvelin m.fl. 2021).

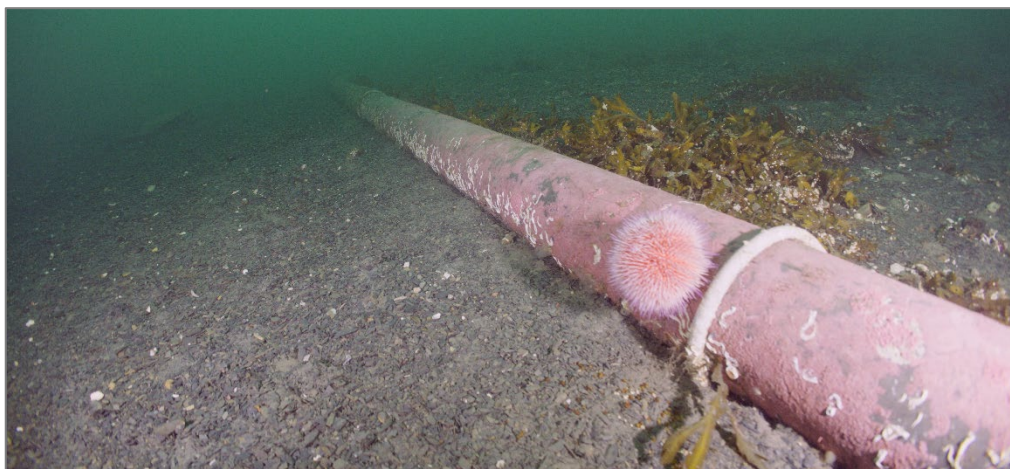


Bild 11. Äldre undervattenskabel med påväxt. Denna kabel ligger oskyddad på havsbotten, men nyare kablar skyddas oftast genom nedgrävning i sediment eller täckning med exempelvis betong. Foto: Tobias Dahlin / Voice of the ocean / Ocean Archive.

6. Spridning av invasiva främmande arter

Risken för etablering och spridning av invasiva främmande arter längs kraftledningar och sjökablar har lyfts fram för både terrestra och akvatiska ekosystem (t.ex. Rubino m.fl. 2002, Jones m.fl. 2008, Langhamer 2012, Richardson m.fl. 2017, Biasotto & Kindel 2018, Taormina m.fl. 2018). I kraftledningsgator kan detta antas gälla särskilt i samband med anläggningsarbeten eftersom maskiner och transport av jordmassor kan medföra en oavsiktlig introduktion och spridning av invasiva arter, och blottlagd och nyanlagd mark därtill är mer mottaglig för etablering av invasiva växter (Lampinen m.fl. 2015, Quant m.fl. 2018, Jansson & Ebenhard 2024). Studier har visat på förekomst av invasiva främmande växtarter i kraftledningsgator (Cameron m.fl. 1997, Rubino m.fl. 2002, Jones m.fl. 2008, Dubé m.fl. 2011, Wagner m.fl. 2014, Lampinen m.fl. 2015, Eldegard m.fl. 2017), men i några av dessa studier endast i begränsad omfattning (Wagner m.fl. 2014, Eldegard m.fl. 2017), och med ingen eller endast mycket begränsad spridning från ledningsgatan till omgivningen (Rubino m.fl. 2002, Dubé m.fl. 2011). Baserat på studier i Norge menar Eldegard m.fl. (2017) att kraftledningsgatornas gräsmarker kan vara relativt motståndskraftiga mot invasion av främmande arter.

Även i akvatiska miljöer kan tillförda massor och nya hårbottenssubstrat som bildas vid anläggning av kabel skapa livsmiljöer och spridningsvägar för invasiva arter (Bulleri & Airoidi 2005, Glasby m.fl. 2007, Langhamer 2012, Adams m.fl. 2014, Airoidi m.fl. 2015, Taormina m.fl. 2018), men studierna är få och det saknas belägg för att sjökablar eller andra strukturer inom elnätet bidrar till någon geografisk spridning av främmande arter i akvatiska miljöer (Taormina m.fl. 2018, Bergström m.fl. 2022).

Kunskaperna är alltså begränsade om förekomst och bekämpning av invasiva arter i kraftledningsgator och längs elnät i övrigt. Frågan är dock viktig rent allmänt för naturvården och behöver därför beaktas även i samband med anläggning och underhåll av elnät.

7. Elektromagnetiska fält (EMF)

Fysiologiska effekter

Runt ledningar, kablar och transformatorer bildas elektromagnetiska fält (EMF) som kan ge upphov till elektriska strömmar i kroppen hos människor och djur, vid höga värden med akuta effekter på bland annat funktioner i nervsystemet och skadlig värmeutveckling. För att undvika hälsoeffekter för allmänheten finns så kallade ”referensvärden” satta, motsvarande 2% av nivån där säkerställda hälsorisker finns (Strålsäkerhetsmyndigheten 2008). De fält som människor normalt utsätts för från elnätet ligger under referensvärdena, och alltså långt under de bevisat akut skadliga nivåerna (Folkhälsomyndigheten 2017). Undantaget utgörs av vissa yrkesgrupper, exempelvis kraftverksarbetare, där särskilda regler och riktlinjer finns (Svenska Kraftnät odat.).

Frågan om eventuella folkhälsoeffekter av EMF är en av de mest uppmärksammade och diskuterade miljöeffekterna av elnät. Omfattande forskning har undersökt om det skulle kunna finnas hälsoeffekter vid långvarig exponering på nivåer under referensvärdena (SCENIHR 2015, Folkhälsomyndigheten 2017). Forskningssammanställningar pekar på att det inte går att utesluta en överrisk för leukemi hos barn som har förhöjda magnetfält i sin bostad orsakade av kraftledningar, men orsakssambandet är oklart (Folkhälsomyndigheten 2017). För andra hälsoeffekter finns inget tydligt vetenskapligt stöd, men samband mellan en rad sjukdomar och EMF har inte heller kunnat uteslutas och ytterligare forskning pågår, framförallt avseende neurodegenerativa sjukdomar (Folkhälsomyndigheten 2017, Gervasi m.fl. 2019). Vidare saknas vetenskapligt stöd för att EMF har någon betydelse för de besvär som rapporteras av personer som uppfattar sig som elöverkänsliga (Folkhälsomyndigheten 2017).

EMF kan även påverka djurhälsa, med i grunden samma fysiologiska effekter som för människa. Här finns en mängd laboratorieförsök gjorda på bland annat möss och råttor, som en del av medicinska studier för att undersöka hälsoeffekter för människa (Vetenskapsrådet 2004), men fältstudierna är färre. Vid försök med nötkreatur som betat under högspänningsledning har noterats smärre fysiologiska förändringar orsakade av EMF, där ändrade hormonnivåer lett till ökat födointag, tillväxt, mjölkproduktion och mjölkfetthalt (Burchard m.fl. 1996), men vid andra studier har ingen påverkan kunnat bevisas (Lee & Reiner 1983, Algers & Hultgren 1987). Tambin kan uppvisa hyperaktivitet och högre grad av irritation under kraftledningar, troligen som en effekt av EMF; bina samlade in mer pollen och bildade mer vax men hyperaktiviteten hade ändå en rad negativa effekter, såsom försämrad produktion, lägre reproduktion och högre dödlighet (Greenberg m.fl. 1981, Lee & Reiner 1983).

Särskilt utsatta bland terrestra djur torde de fåglar vara som använder kraftledningarna och kraftledningsstolpar som sitt- eller boplats, exempelvis rovfåglar och storkar, vilka då blir utsatta för betydligt starkare fält än vid markytan (Ferne & Reynolds 2005, Vaitkuviene & Dagys 2014). Även här pekar studier på hormonpåverkan, med motsägelsefulla effekter, bland annat högre aktivitetsnivå hos vuxna individer, försämrad fosterutveckling, men större ungtillväxt. En av effekterna på hormonella nivåer är hämmad bildning av melatonin; en teori är därför att EMF stör fåglarnas dygnsrytm, det vill säga har samma effekt som ljusföroreningar (Ferne & Reynolds 2005). Samma sak kan gälla för terrestra däggdjur (Reiter 1993). Men i flera studier har inga effekter kunnat påvisas, så inga tydliga slutsatser kan dras. Påverkan av EMF på melatoninbildning och dygnsrytm borde kunna gälla även människa men frågan verkar inte väl belyst i forskningen (SCENIHR 2015, Martel m.fl. 2023).

I akvatisk miljö kan bottenlevande fiskar och ryggradslösa djur exponeras för starkare magnetfält (Gill & Desender 2020). Labstudier av ekonomiskt viktiga arter som laxfiskar, krabba och hummer eller ekologiskt viktiga arter som gädda, hjärtmusslor och havsborstmaskar pekar i vissa fall på att det kan finnas smärre fysiologiska effekter på bland annat äggutveckling och yngeltillväxt, men kunskapsläget är svagt och fältstudierna få (Gill & Desender 2020). Arter som gräver ner sig i bottensediment kan vara särskilt påverkade, och skyddsåtgärder kan vara djupare nedgrävning av kabeln, att bunta ihop bipolära kablar så att magnetfälten delvis tar ut varandra, och att undvika viktiga uppväxt- och leksträcker och migrationsruttor för känsliga arter (Gill m.fl. 2014, Albert m.fl. 2020, Koehler m.fl. 2024).

EMF kan även ha effekter på växter (Maffei 2014), och EMF under kraftledningarna kan ha positiva, negativa eller inga effekter på olika fysiologiska parametrar såsom frögroning, fruktsättning, tillväxt och produktion (Soja m.fl. 2003, Teixeira da Silva & Dobranszki 2016), så sammantaget är effekterna små eller oklara (Pophof m.fl. 2023).

Orienteringsförmåga och kommunikation

En lång rad djurarter använder jordens magnetfält för att orientera sig; fåglar, däggdjur (bland annat klövdjur och fladdermöss), reptiler, groddjur, insekter, spindlar, fiskar, kräftdjur (Walker m.fl. 2002, Lohmann m.fl. 2007, Pophof m.fl. 2023). Många fiskarter, bland annat laxar, kan använda lokala variationer i jordmagnetismen som en karta till havs, exempelvis som ett stöd i orienteringen tillbaka till den älv där de föddes (Naisbett-Jones & Lohmann 2022). I den marina miljön är många arter av däggdjur, fiskar, sköldpaddor, leddjur, mollusker och tagghudingar elektro- eller magnetosensitiva, och kan även använda fälten för att identifiera byten, fiender och artfränder (Gill m.fl. 2014, Gill & Desender 2020, Hermans m.fl. 2024). Jordmagnetismen ligger kring 30-60 μT , vilket är i samma storleksordning som magnetfälten på några meters avstånd från vissa högspänningsledningar och större sjökabel (beroende på flöde, utformning, förläggning

med mera). Broskfiskar skulle dock kunna känna av magnetfält ner till 0,005 μT , alltså ett betydligt större område kring en bottenförlagd kabel (bild 12; Hermans m.fl. 2024).

Funktionerna för orientering och lokalisering skulle alltså kunna påverkas på olika sätt av magnetfält kring elledningar och andra strömsatta föremål, med effekter på beteenden, reproduktion, födosök, rörelsemönster och vandringsmönster (Taormina m.fl. 2018, Hutchison m.fl. 2020, Hermans m.fl. 2024). Studier på lax och ål har visat att magnetfält orsakade av undervattenskablar kan störa deras orienterings- och navigationsförmåga, vilket kan leda till att individer tillfälligt hamnar ur kurs eller fördröjs, dock utan betydande effekter på det större vandringsmönstret (Westerberg & Lagenfelt 2008, Wyman m.fl. 2018, Krzystolik m.fl. 2024). Smärre effekter av magnetfält har noterats på fiskbeteende, såsom temporära ändringar i simhastighet och simriktning (Öhman m.fl. 2007, Gill m.fl. 2014, Copping m.fl. 2021). Även när det gäller fiskbeteende är kunskapsläget svagt och de flesta studierna från lab, så effekterna i naturlig miljö är oklara. Dock pekar de flesta tillgängliga kunskaperna på att effekterna på fisk av EMF är mindre betydande (Wyman m.fl. 2018, Gill & Desender 2020, Gillson m.fl. 2022).

Från den terrestra miljön pekar en beteendestudie av boskap och rådjur på att deras avkänning av jordens magnetfält störs när de betar under eller nära en högspänningsledning, men även här är konsekvenserna oklara (Burda m.fl. 2009). Humlor och bin både skapar och känner av svaga elektriska fält och kan använda sig av dessa i kommunikation (dans) och vid pollinering, funktioner som alltså skulle kunna störas av EMF kring ledningar (Pophof m.fl. 2023). Detta är några exempel, men inte alla studier visar heller på effekter (Pophof m.fl. 2023).

Sammantaget pekar kunskapsläget på att effekterna av EMF på biologisk mångfald är begränsade men komplexa, och de biologiska mekanismerna är dåligt utredda. Lokala ekologiska effekter är troliga, men det är oklart hur omfattande de är och vad de betyder i ett större perspektiv av artbevarande och ekologiska funktioner (Pophof m.fl. 2023).

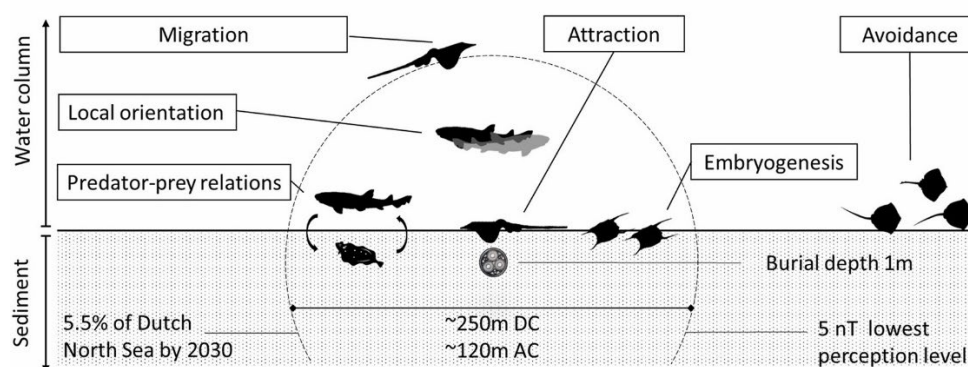


Bild 12. Potentiella effekter på broskfiskar (hajar och rockor) av bottenkabel till havs. Bilden är kopierad från Hermans m.fl. (2024) med hänvisning till CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

8. Buller och andra störningar

Koronaeffekter på luftledningar vid fuktigt väder ger upphov till blixtrar inom ultraviolettera spektrat. Blixterna ligger utanför vad som kan uppfattas av människoögat, men inom det synliga området för vissa fåglar, insekter och även en del däggdjur (Bartzke m.fl. 2014, Tyler m.fl. 2014, 2016, Owens m.fl. 2020). Det sprakande ljudet från koronaeffekten kan nå ca. 40-50 dB(A) intill högspänningsledningar, vilket är i nivå med eller något över de naturliga bakgrundsljuden (Flydal m.fl. 2003, Bartzke m.fl. 2014, Svenska Kraftnät 2014). Detta innebär att ljudet är fullt hörbart för både människor och djur men maskeras i viss mån av bakgrundsljud. Trots relativt låg nivå kan sådana tekniska ljud ändå upplevas som störande, och för djur skrämmande. Som en jämförelse är nivån kring gränsen för vad som anges som acceptabel bullernivå i friluftsområden (Naturvårdsverket 2007). Kring större transformatorer kan det lågfrekventa bullret nå 55-65 db(A) upp till 100 m avstånd (Svenska Kraftnät 2014), vilket innebär en mer uppenbar bullerstörning, dock en lokal sådan.

Djur och troligen även friluftsliv kan även tillfälligt störas av skogsavverkning och anläggningsarbete, av maskin- och trafikbuller och ökad mänsklig närvaro i samband med underhåll och nedmontering (Naturvårdsverket 2004, Fredriksson m.fl. 2022). I den mån ledningsgator ökar tillgängligheten för friluftsliv, jakt och terrängkörning innebär även detta en störningsfaktor som inte är endast tillfällig (Willyard & Tikalsky 2008). I synnerhet jaktbara arter såsom älg kan undvika ledningsgator under jaktsäsong (Bartzke 2014).

Buller från högspänningsledningar och påverkan på landskapsbilden anges vid intervjustudier som negativt för allmänhet och närboende, dock i varierande grad beroende på situation och omgivning (Furby m.fl. 1988, Elliot & Wadley 2012, Cain & Nelson 2013, Arias-Aranda m.fl. 2020). Det finns indikationer på att lågfrekvent ljud från områden med hög koncentration av kraftledningar kan ha effekter på människans hälsa (Alves m.fl. 2019). Fler studier behövs för kunna bedöma betydelsen av tekniskt buller och synintryck från kraftledningar på människors upplevelsevärden och hälsa.

Det har noterats att en del fågelarter kan undvika kraftledningar, bland annat hönsfåglar, gäss och vadare (Naturvårdsverket 2004, Pruett m.fl. 2009, Smith & Dwyer 2016, Ottvall & Green 2020, Pálsdóttir m.fl. 2022), även i öppna landskap där biotoperna kring ledningarna är i huvudsak oförändrade och undvikandet alltså inte borde vara biotoprelaterat. Undvikandet är i storleksordningen några tiotals till något hundratal meter, men resultaten är inte entydiga. Undvikande av större kraftledningsgator upp till stora avstånd (≥ 2 km) har rapporterats för renar och några andra klövdjursarter, men resultaten varierar en hel del, i flera fall saknas effekter och orsakssambanden är oklara (Bartzke m.fl. 2014, Strand m.fl. 2018). Möjliga orsaker till ett eventuellt undvikande, för såväl fåglar som klövdjur, är ljud- och ljusföroreningar, störande mänsklig närvaro, jakt

och terrängkörning, men också sådana effekter som redovisas i tidigare avsnitt: elektromagnetiska fält, skillnader i vegetation, och högre täthet av rovdjur och rovfåglar längs ledningsgatan. Sammantaget är kunskapsläget svagt och det är svårt att dra tydliga slutsatser. Som nämnts ovan kan fåglar, däggdjur och andra arter attraheras av kraftledningar och ledningsgator, vilket inte innebär att det saknas störningseffekter men att effekterna blir svåra att belägga.

I akvatiska miljöer förekommer bullerstörningar från maskiner och fartyg vid förläggning av sjökabel, och det kan även förekomma vid drift och kommande avveckling. Bullernivåerna vid kabelförläggning beror mycket på vilken utrustning som används, men även på bottenförhållandena; hård botten och grunt djup medför större ljudspridning (Nedwell & Howell 2004, Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018). Det är inte fastslaget i vilken utsträckning undervattensbuller i samband med kabelinstallation påverkar marina arter, men det är känt att flera artgrupper såsom marina däggdjur, fiskar, bläckfiskar, havssköldpaddor, nässeldjur och kräftdjur kan vara ljudkänsliga, och att vissa moment vid kabelförläggning avger buller som överstiger gränsvärden för fysiologiska skador på flera arter (Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018, Copping m.fl. 2021, Kulkarni & Edwards 2022). Det är också vedertaget att fiskar och marina däggdjur använder ljud för kommunikation, navigering och födosök och kan uppfatta ljud inom de frekvensintervall som uppstår vid kabelförläggning (Slabbekoorn m.fl. 2010, Taormina m.fl. 2018, Copping m.fl. 2021). Även om bullernivåerna inte uppgår till nivåer som leder till akuta eller permanenta skador kan de dölja kommunikativa ljud hos fiskar och därmed påverka beteenden och förmågan att uppfatta andra ljud, samt orsaka beteendeförändringar (Hammar m.fl. 2009, Slabbekoorn m.fl. 2010, Copping m.fl. 2021, Kulkarni & Edwards 2022).

Under driftfasen avger sjökablar med högspänning och växelström vibrationer som kan skapa relativt låga men kontinuerliga bullernivåer. Även ekolod och vibrationsbaserade system som används för att övervaka ledningar under drift utgör potentiella källor till störningar eller skador på marina djurarter. Överlag bedöms bullernivåerna relaterat till sjökabel som kortvariga och förhållandevis små jämfört med övriga antropogena källor till buller i marina miljöer (Taormina m.fl. 2018). Kunskapsläget är generellt sett svagt gällande effekter från buller orsakat av sjökabel på marina arter.

9. Andra effekter på mark, jord och vatten (abiotiska faktorer)

I terrestra miljöer kan både anläggning och avveckling av elnät innebära markskador vid grävarbeten, maskinkörning i terräng med mera, vilket kan ha effekter på markstruktur, erosion, hydrologi och vattenkvalitet (Andrews 1990, Battaglini & Bätjer 2015, Biasotto & Kindel 2018). Detta kan i sin tur påverka ekosystem, biologisk mångfald och andra miljökvaliteter. Miljöer som är känsliga för markstörningar, såsom våtmarker och mycket torra marker, kan ta lång tid för att återhämta sig (Nickerson m.fl. 1989, Andrews 1990, Biasotto & Kindel 2018). Den vetenskapliga litteraturen på området är begränsad; det verkar finnas få studier av effekterna och det saknas vägledning för att bedöma omfattningen. Risker för körskador och påverkan på grundvattenförekomster tas regelmässigt upp i svenska miljöbedömningar (Berg & Helldin 2024), men på en generell nivå och även där saknas vägledning för att bedöma effekternas betydelse. Effekterna får antas vara begränsade i de flesta fall, om anläggningsarbetet genomförs under tider då marken är tjälad eller upptorkad för att minimera risken för körskador, och om andra särskilt känsliga miljöer kan undvikas, exempelvis strandzoner, ängs- och betesmarker, alléer och fornlämningar (Miljösamverkan Sverige 2020).

Alla markarbeten kan innebära tillförsel och uppläggning av massor. Körvägar som byggs i samband med anläggningsarbete innebär hårdgörande av mark och eventuellt dikning. Även anläggning av stolpar innebär hårdgörande av mark, men i dessa fall är ytorna vanligtvis mycket små. Ledningsstolpar av impregnerat trä kan medföra visst läckage av skadliga metaller och organiska föroreningar under den tid de är i bruk (Johannesson m.fl. 2020). Vid markarbeten nära vattendrag och stränder finns risk för grumling och erosion, och om inte rätt skyddsåtgärder vidtas kan effekterna tänkas bli mer än enbart lokala (Battaglini & Bätjer 2015, Kraufvelin m.fl. 2021).

Äldre markkablar kan innehålla oljor, som kan läcka ut om de har lämnats kvar på plats, med risk för hälsa och miljöskador (Caimi m.fl. 2019). Sådana ledningar kan behöva tas bort, dock med ny markpåverkan och stora kostnader som följd. Alternativa metoder för att ta hand om oljan omfattar att försegla på plats, skölja ur och fånga upp oljan, bryta ner oljan med mikroorganismer, eller stabilisera oljan genom gelering (Le Poidevin 2003, Caimi m.fl. 2019). Modern polymeriserad markkabel innehåller inga oljor och kan såvitt känt lämnas kvar på plats vid avveckling utan påverkan på miljön.

När det gäller sjökabel finns, som nämnts ovan, risk för grumling och sedimentation i samband med anläggning, reparation och eventuell avveckling (UK BIS 2008, Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018, Hemery 2020, Kraufvelin m.fl. 2021). Hur stora områden som påverkas beror på bottentyp, strömförhållanden, vattentyp med mera – avstånd på 100-2000 m nämns i litteraturen (Hemery 2020). Omfattningen av grumlingen

beror på metod för kabelförläggningen, där spolning är den metod som medför störst grumling, grävning den som grumlar minst (Hemery 2020, Bergström m.fl. 2022). Grumlingen är vanligtvis tillfällig och tidsbegränsad från några timmar upp till några dagar på en enskild plats. En viss sedimentspridning kan vara kontinuerlig under driftstiden från kablar som är anslutna till flytande fundament eller som är dåligt täckta, men detta är troligen av marginell effekt i förhållande till den naturliga sedimentspridning som förekommer.

Med frigörandet av sediment från sjöbotten finns risk för spridning av miljöfarliga ämnen, om sedimenten är förorenade (UK BIS 2008, Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018). Även skadade och övergivna ledningar riskerar att läcka föroreningar till sediment, men risken bedöms som låg för allvarliga effekter (Taormina m.fl. 2018).

Sjökabel kan alstra värme, beroende på spänning och typ av flöde (växelström mer än likström; Meissner m.fl. 2006, Taormina m.fl. 2018). Här är litteraturen svag, och går vitt isär. Uppgifter finns om att värmeökningen i sedimenten närmast bottenförlagd kabel teoretiskt kan vara $>30^{\circ}\text{C}$ och leda till uppvärmning av sedimenten flera meter från kabeln (Meissner m.fl. 2006, OSPAR 2012), andra uppgifter pekar på värmeökning närmast kabeln på ca. $0,2\text{-}0,4^{\circ}\text{C}$ och därmed i praktiken omöjligt att skilja från naturliga variationer (Meissner m.fl. 2006, UK BIS 2008), och en enstaka fältmätning som visar på som mest $2,5^{\circ}\text{C}$ värmeökning i sedimenten (Meissner m.fl. 2006). Många sedimentlevande organismer kan påverkas av en eventuell temperaturhöjning, men effekterna kan antas vara begränsade till kabelns direkta närhet.

Det ska tilläggas att sjökablarnas sträckningar kan vara skyddade från fiske (så kallad reservatseffekt) och därmed under drift kan vara mindre utsatta för fysisk påverkan och grumling från trålning än övriga botten, vilket även kan ha positiva effekter för artbevarande och ses som en kompensation för fysiska påverkan på botten under anläggningsarbetet (Taormina m.fl. 2018).

10. Landskapsbild, rekreation och kulturmiljö

Stora kraftledningar och ledningsstolpar kan upplevas som att de förfular landskapet, vilket har adresserats i en del vetenskapliga studier (exempelvis Furby m.fl. 1988, Marshall & Baxter 2002, Navrud m.fl. 2008, Soini m.fl. 2011, Elliot & Wadley 2012, Arias-Aranda m.fl. 2020). Påverkan på landskapsbilden, eller mer konkret hur mycket ledningen framträder i landskapet och hur allmänhet och närboende upplever att den passar in på en plats eller i en vy, kan vara avgörande faktorer att ta hänsyn till vid en ledningsdragning, eftersom det kan påverka ledtiderna i planering och anläggning (Weedy 1989, Navrud m.fl. 2008, Cain & Nelson 2013, Devine-Wright & Batel 2013). Minskad synlighet och mindre påverkan på landskapsbilden kan ses som en anledning att välja linjedragning genom skogsområden eller längre ifrån bebodda trakter, även om detta kan öka de ekologiska effekterna (Poikolainen & Malinen 2020), eller att välja markförläggning trots högre anläggnings- och underhållskostnader (Navrud m.fl. 2008, Tempesta m.fl. 2014, Mueller m.fl. 2019).

Hur kraftledningar uppfattas av allmänheten beror i viss mån på stolparnas design och på ledningens dragning i landskapet (Devine-Wright & Batel 2013), och det kan även variera med betraktarens preferenser (Furby m.fl. 1988, Priestly & Evans 1996, Soini m.fl. 2011, Elliot & Wadley 2012, Cain & Nelson 2013). Synintrycken av kraftledningar och stolpar kan vara större i öppnare och i mer kuperade landskap. Samtidigt kan ledningar och ledningsgator skapa utblickar, siktlinjer och landmärken, påverka rumsliga och visuella samband, och därmed utgöra en del av landskapets karaktär, på gott och ont (Soini m.fl. 2011, Cotton & Devine-Wright 2011, 2013). Uppfattningar om kraftledningars estetiska värden kan sannolikt påverkas av en mångfald av faktorer såsom individens relation till platsen eller projektet, oro för negativa effekter på hälsa, miljö eller marknadsvärde på egendom och politiska förevändningar kopplat till vad kraftledningar symboliserar (Furby m.fl. 1988, Priestly & Evans 1996, Soini m.fl. 2011, Garfinkel m.fl. 2023). Man kan även förvänta sig att upplevelsen beror på i vilken roll man befinner sig på en plats; som boende, besökare, turist eller på genomresa (PSC odat.). Nya ledningar genom naturområden kan förväntas upplevas som negativa för turister och besökare till området (Stefánsson m.fl. 2017, Tangeland & Aas 2010). Även för lokalboende kan ledningar i naturområden och på landsbygden upplevas som mer i konflikt med landskapsbild och upplevelsevärden, jämfört med ledningar i urbana miljöer (Stefánsson m.fl. 2017).

Internationellt har motstånd mot nya kraftledningsprojekt kopplat till landskapsbild, NIMBYism, påverkan på fastighetspriser och på boendemiljö uppmärksammas inom forskningen (exempelvis Priestly & Evans 1996, Navrud m.fl. 2008, Soini m.fl. 2011, Cotton & Devine-Wright 2011, 2013, Elliot & Wadley 2012, Stefánsson m.fl. 2017), men de svenska studierna är få (Aas m.fl. 2014). Överhuvudtaget behövs fler studier för att kunna bedöma betydelsen av synintryck från kraftledningar på människors

upplevelsevärden och hälsa. Det finns en del studier på detta område vad gäller effekter av vindkraft men det är oklart i vilken utsträckning dessa kan överföras till kraftledningar.



Bild 13. Motionsspår i kraftledningsgata. Foto Annica Nordgren, Täby kommun.

Kraftledningarnas fria terräng, körvägar och stigar kan skapa ökad tillgänglighet för friluftslivet, exempelvis för promenader, cykling, bärplockning, jakt och snöskoterkörning vintertid. Tillgängligheten för allmänheten kan vara förenad med baksidor i form av risker och olägenheter; vilka redogörs för på Svenska Kraftnäts hemsida (<https://www.svk.se/sakerhet-och-beredskap/elsakerhet/allmanhet---elsakerhet-vid-kraftledning/>). Tillgängligheten för allmänheten kan även innebära ökad störning för djur i och kring ledningsgatan (Willyard & Tikalsky 2008, Richardson m.fl. 2017). Om dessa baksidor kan hanteras utgör öppna kraftledningsgator en resurs för friluftslivet. Tillgänglighetsfaktorn kan vara av särskild betydelse i det urbana landskapet där det annars kan vara ont om fria grönytor (Rupprecht m.fl. 2015, Garfinkel m.fl. 2022, 2023). Studier har visat på att de som utnyttjar ledningsgator i rekreationssyfte upplever mindre besvär av ledningen (landskapsbild, upplevd hälsa m.m.; Priestly & Evans 1996), men här är inte klart vad som är orsak och verkan. Det är ont om mer systematiska studier av betydelsen av kraftledningsgator för friluftsliv och tillgänglighet för allmänheten.

Förutom påverkan på landskapsbild och den upplevda kulturmiljön kan kraftledningar, stolpar, stationer och kablar (inkl. markförlagd jordkabel vid luftledning) innebära fysiska intrång i fasta fornlämningar eller andra kulturhistoriska lämningar i mark eller vatten (Häggström 2013, Svenska Kraftnät 2014). Detta omfattar oftast mycket begränsade ytor, men noterbart är att arbetsytorna vid anläggningsarbete kan vara flera gånger större än det som kvarstår som hårdgjorda ytor (fundament, vägar etc.) när bygget är klart, och att detta inte alltid framgår i planeringsdokumenten (anges av Häggström 2013 för vindkraft men gäller sannolikt även för kraftledningar). Vid markförläggning av kabel minskar ledningarnas visuella intryck men det fysiska intrånget i mark ökar, och därmed risken för att påverka fornlämningar och andra kulturspår. Vid förläggning av sjökabel finns en motsvarande risk att påverka marina arkeologiska lämningar såsom vrak och andra artefakter (UK BIS 2008).

11. Skogsbrandrisk

Bränder kopplade till kraftledningar kan ge stora effekter på naturliga såväl som bebyggda miljöer. Vegetation som korsar eller faller över ledningar och ledningar som kommer i kontakt med varandra på grund av oväder eller djurliv kan leda till gnistbildning eller ljusbågar som antänder mark eller trädtoppar (Mitchell 2013, Sari 2023). Normalt sett utgör kraftledningar en liten andel av det totala antalet användningskällor som leder till skogsbränder, men i torra och blåsiga förhållanden kan riskerna öka på grund av både ledningsfel och kraftig brandspridning under sådana förhållanden (Mitchell 2013). Fåglar som drabbas av strömgenomföring riskerar att fatta eld och kan orsaka skogsbränder när de faller till marken (Guil m.fl. 2018, Takhirov & Israilov 2020). Studier från södra Europa har visat att vissa områden är särskilt utsatta för bränder kopplade till strömgenomföring av fåglar, vilket skulle kunna innebära att lokala åtgärder kan vidtas för att minska brandrisken. Trots att bränder är naturliga fenomen som är avgörande för många ekosystems funktion, kan en ökning av mänskligt orsakade bränder påverka regionala vattencykler, bana väg för invasiva arter, försämra den lokala luftkvaliteten och leda till utsläpp av växthusgaser (Shlisky m.fl. 2007, Guil m.fl. 2018). Detta utöver risken för avbrott i strömförsörjningen, och om bränderna sprider sig, de uppenbara hoten mot människors liv och hälsa, byggnader, skog med mera. Det bör understrykas att ingen av studierna som använts för den här rapporten är gjorda i en skandinavisk kontext, och att riskbilden kan se annorlunda ut i Sverige.

12. Tillämpning vid miljöbedömning

Miljöeffekternas betydelse

Kunskapsöversikten ovan visar på en bredd av potentiella miljöeffekter av kraftledningar och elnät (sammanfattade i tabell 2), som beroende på situationen kan behöva beaktas vid planering, anläggning och underhåll av kraftledningar. Översikten skulle därmed kunna användas som en checklista för miljöeffekter i ett avgränsningsskede för miljöbedömning av projekt eller planer, och som ett ramverk för miljöbedömningen.

Tabell 2. Sammanfattning av de miljöeffekter av elnät som finns beskrivna i litteraturen.

Miljöeffekt	Förklaring (för ytterligare detaljer se avsnitt 4-11 ovan)
Ledningsdöd	Strömgenomföring och kollision med ledningar (främst fåglar), skaderisk på frihängande sjökabel (främst marina djur)
Biotopförändringar	Förlust av skogsmark/fragmentering, nya gräs-och buskmarker, öppna våtmarker, förändrade bottenmiljöer, reveffekt, sedimentation
Invasiva främmande arter	Introducering i samband med anläggning, spridning vid underhåll och spontant, längs ledningar/kablar och till omgivningen
Elektromagnetiska fält	Fysiologiska effekter på människor och djur (och växter), effekter på beteende och orienteringsförmåga hos djur
Buller och andra störningar	Ljud och UV-ljus från luftledningar, vibrationer från sjökabel, störningar från mänskliga aktiviteter (anläggning/underhåll, friluftsliv)
Andra effekter på mark, jord och vatten	Markskador, körskador, hårdgörande av mark, dränering, grumling, förorening, värmealstring
Upplevelsevärden och kulturmiljö	Påverkan på landskapsbild, identitet, boendemiljö, friluftsliv, kulturhistoriska lämningar
Skogsbrandrisk	Antändning via skadade ledningar eller eldödade fåglar

Litteraturen ger viss vägledning kring hur olika effekter kan vara mer eller mindre betydande i olika miljöer och vid olika situationer. Exempelvis anges att risken för fåglar att drabbas av strömgenomföring är större i öppna landskap, och problemen för fågelbevarande generellt är stora när ledningar går igenom eller nära särskilt fågelrika miljöer. Ledningar genom skogslandskap kan bidra till fragmenteringen av skog, men det är också främst där som ledningsgatornas gräs- och buskmarker kan gynna vissa skyddsvärda arter. Det verkar främst vara större luftledningar som är av betydelse för landskapsbild och andra upplevelsevärden.

Effekterna beror också på i vilken utsträckning anpassningar och åtgärder kan göras. Exempel på anpassningar och åtgärder som minskar miljöeffekterna är lokalisering av ledningar till mindre känsliga miljöer, anlägga smalare ledningsgator med mer varierade

kantzoner, isolering av luftledningar och transformatorer, markering av luftledningar för att förhindra påflygning (fågelavvisare), anläggnings- och underhållsarbete vid mindre känsliga tider på året, välja metoder för bottenförläggning av sjökabel som minimerar grumling, och minska det visuella intrycket av större luftledningar via stolpdesign och ”dold” placering i landskapet.

Kunskapsluckorna påverkar dock starkt möjligheten att peka ut vissa miljöeffekter som allmänt mer eller mindre betydande. Litteratursöket genererade ett stort antal vetenskapliga publikationer om ledningsdöd för fåglar, biotopförändringar, och fysiologiska effekter av elektromagnetiska fält (se bild 14), men det är inte säkert att mängden vetenskapliga studier rätt speglar den praktiska betydelsen av en fråga. Ämnen som vi ser som bristfälligt studerade i förhållande till deras potentiella betydelse är skogsfragmentering och kanteffekter vid ledningsgator, spridning av invasiva arter i ledningsgator och längs sjökablar, värdet av röjda ledningsgator i igenväxande våtmarker, risken för antändning av skogsbrand, friluftsliv i ledningsgator, och påverkan på landskapsbild av luftledningar, stolpar och ledningsgator. Våra förslag på forskning och utredning för att stärka kunskapsläget ges i avsnitt 13 nedan.

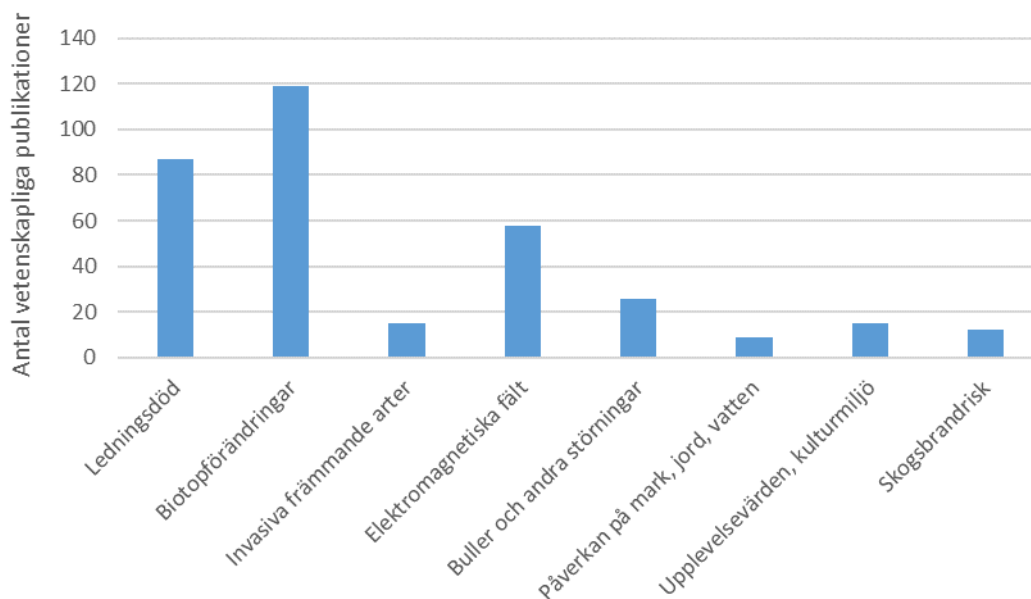


Bild 14. Antalet vetenskapliga publikationer som litteratursöket genererade, fördelat på huvudkategorierna av miljöeffekter i översikten (avsnitt 4-11). Avgränsningen mellan kategorier är vissa fall svår och kategoriseringen subjektiv, men vi bedömer trots detta att fördelningen är i stort sett rättvisande. Notera att biotopförändringar är en mycket bred kategori, som inkluderar biotopförlust, kanteffekter, fragmentering, resuspension av sediment, och nya livsmiljöer/substrat.

Samlad bedömning

Miljöeffekterna av kraftledningar och kablar bör bedömas i ett helhetsperspektiv. De flesta av de effekter som beskrivs är per definition negativa, såsom exploatering av naturmiljöer, ökad dödlighet hos fåglar, fysiologiska effekter av antropogena elektromagnetiska fält, spridning av främmande arter, grumling etc., men vissa av effekterna kan vara positiva, främst i form av nya livsmiljöer såsom gräs-/buskmarker i terrestra miljöer och hårbottenssubstrat i akvatiska miljöer, samt ökad tillgänglighet för friluftslivet. Ett helhetsperspektiv på miljöeffekter av elledningar kan innebära att i vissa situationer väga de negativa effekterna mot de positiva. Det kan gälla att i ett triviale skogslandskap väga en relativt liten förlust av skoglig biologisk mångfald mot vinsten av nya livsmiljöer för minskande gräsmarksarter. Det kan också gälla att i urbana miljöer väga upplevelsevärden mot varandra, där påverkan på landskapsbild och upplevda risker med elektromagnetiska fält kan vara negativa faktorer medan en säkrad tillgång till grönytor i ledningsgator kan vara positivt.

Bedömning av miljöeffekterna i ett helhetsperspektiv innebär också att beakta de samlade effekterna av hela elnätet. Vissa av de beskrivna miljöeffekterna framstår som mycket lokala, exempelvis effekter på djur och biologisk mångfald av elektromagnetiska fält, buller, vibrationer och värmealstring från luftledningar och sjökablar, eller körskador och störningar från anläggnings- och underhållsarbete. De samlade effekterna är dock beroende av hela elnätets utbredning, idag och i framtiden.

Även om en samlad bedömning är svår att göra genomgående ger vi här några exempel på hur miljöeffekterna av elnät kan ses i helhetsperspektiv.

Exempel 1) Fåglar

De negativa och positiva effekterna av kraftledningar på fåglar finns sammanställda på internationell nivå samt för svenska förhållanden (D'Amico m.fl. 2018, Ottvall & Green 2020; referenserna gäller hela stycket). Kraftledningarna utgör en risk för strömgenomföring och kollision, vilket främst drabbar större fågelarter som rovfåglar, ugglor, storkar, hägrar, tranor, hönsfåglar, trappar, svanar och gäss. Samtidigt kan ledningar och stolpar användas som sittplatser för en lång rad arter, och för bobygge för rovfåglar, ugglor och storkar, alltså delvis samma grupp av arter som riskerar att dödas. Bon i ledningsstolpar kan vara mindre utsatta för bopredation, men för fåglar som häckar i ledningsstolpar eller i övrigt spenderar mycket tid nära ledningar finns indikationer på fysiologiska effekter av elektromagnetiska fält och på sämre reproduktionsframgång. Ledningsgatornas gräs- och buskmarker och kantzoner är generellt fågelrika miljöer, och attraherar främst tättingar, både vanliga arter och sådana som är minskande i landskapet i övrigt. Samtidigt kan kraftledningar genom skogsmark medföra habitatförlust och kanteffekter för fågelarter knutna till mer sammanhängande skog, och i jordbrukslandskap kan kraftledningar undvikas av exempelvis gäss, möjligen kopplat till att de upplever risk att utsättas för jakt eller för att de kan uppfatta

och störs av koronauraddningarnas UV-glitter. Sett till fåglar generellt kan alltså effekterna av kraftledningar vara komplexa.

Fåglar har generellt ett starkt skydd genom Artskyddsförordningen och EU:s fågeldirektiv, vilka lägger fokus på bevarande av populationer (se t.ex. Artskyddsförordningen 4 §). Naturvårdsverket tog under 2023 fram en vägledning om elnätens påverkan på fåglar, med rekommendationer för ansökningar, handläggning och tillsyn (Naturvårdsverket odat.). Under 2024 publicerades en kunskapsmanställning och vägledning om specifikt fågelkollision med kraftledningar av den europeiska samarbetsorganisationen Renewables Grid Initiative (RGI 2024).

Försök att beskriva konsekvenserna på fåglar av det totala (existerande) ledningsnätet har gjorts med hjälp av livscykelanalys (LCA); en metod som kan användas för att beskriva den samlade effekten på fågelpopulationer inom hela länder eller ekoregioner (Gilad m.fl. 2024). Analysen hade Norge som fallstudie, och utgick förenklat ifrån överlappet mellan biotoper, utbredning av arter och luftledningar/ledningsgator samt schabloner för dödade fåglar per sträcka. Analysen pekade på:

- att effekterna av biotopförlust/fragmentering och ledningskollisioner är generellt större än effekterna av strömgenomföring.
- skillnader mellan artgrupper; strömgenomföring drabbar främst rovfåglar och ugglor, kollision främst sjöfåglar (änder, gäss, vadare, måsfåglar) och hönsfåglar, biotopförlust/fragmentering främst tättingar (småfåglar).
- att lokalnätet skapar mer biotopförlust/fragmentering och fler ledningskollisioner än transmissions- och regionalnätet.
- regionala skillnader, med större effekter i de delar av landet där det är tätt med både ledningar och fåglar, och i mer skogsdominerade områden.

Rent allmänt lyfte studien biotopförändring/fragmentering som mer betydande för fågelfaunan än vad som är den gängse bilden, och lokalnätet som mer betydande än transmissions- och regionnätet. En analys på denna övergripande nivå blir av nöden förenklad, och slutsatserna behöver säkras med fler liknande studier, i andra områden och på andra geografiska skalor, och när ny forskning kan bidra med mer detaljerade kunskaper om effekterna.

Planeringen av nya kraftledningar bör motverka de negativa effekterna för fågelfaunan och samtidigt att stödja de positiva (D'Amico m.fl. 2018). För att minimera riskerna för effekter på populationsnivån bör nya kraftledningar undvikas i viktiga häckningsområden, rastplatser och flygstråk för de utsatta arterna (se exempel i bild 15). Samlokalisering med existerande ledningar eller annan infrastruktur kan också minska riskerna på populationsnivån även om de ökar lokalt. I det existerande ledningsnätet bör tekniska skyddsåtgärder, såsom fågelavvisare, bättre isolering och anpassade stolpar, vidtas i områden där mortalitetsrisken är (eller kan förväntas vara) hög. Även markläggning av ledningar minskar riskerna. Anläggning och underhåll kan göras vid tider på året då fåglarna är mindre störningskänsliga. Rörningen av ledningsgator kan

anpassas för att minska barriäreffekten för skogsbundna fåglar, och vegetationen kan skötas för att gynna utvalda arter eller bristbiotoper. Säkra sittpinnar, boanvisningar och holkar i ledningsgatan kan ytterligare gynna fågelfaunan, men kan samtidigt innebära risk att man skapar en så kallad ekologisk fälla, det vill säga attraherar fåglarna till en farlig eller skadlig miljö.

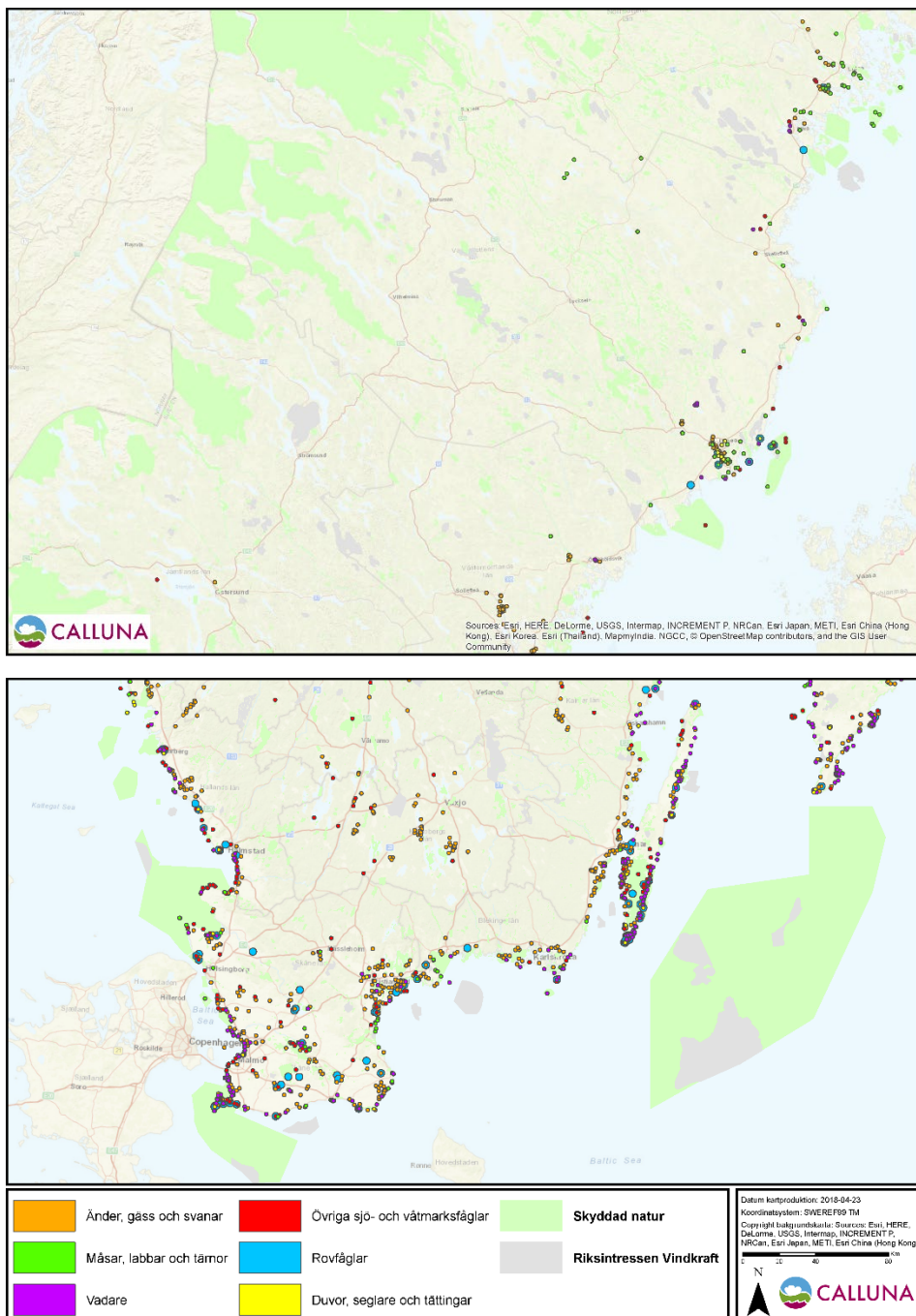


Bild 15. Ett underlag som kan användas för att identifiera särskilt känsliga områden för fåglar är kartering av fågelkoncentrationer. Kartorna visar platser där $\geq 1\%$ av populationen av någon fågelart har observerats, i mellersta Norrland resp. södra Sverige. Samtliga artgrupper utom gula gruppen bedöms som särskilt drabbade av kraftledning (se avsnitt 4). Metodiken beskrivs i Helldin (2018), där också kartorna har hämtats.

Exempel 2) Renar och renskötsel

Kunskapsläget när det gäller hur renar påverkas av kraftledningar har nyligen sammanställts (Strand m.fl. 2018). Tamrenar kan i grunden påverkas på liknande sätt som andra klövdjur, även om det kan finnas vissa skillnader mellan arter. Anläggningsarbete, tillsyn, terrängkörning, jakt och annan ökad mänsklig närvaro vid kraftledningar och i ledningsgator kan skapa stress och störningar för renarna (Bartzke m.fl. 2014, Colman m.fl. 2015, Eftestøl m.fl. 2016), och rovdjur och rovfåglar som följer den öppna ledningsgatan eller spanar från ledningsstolpar kan få samma effekt (Bartzke m.fl. 2014). Renar kan uppfatta UV-ljus och antas därför kunna se koronauraddningar (Bartzke m.fl. 2014, Tyler m.fl. 2016), så att oisolerade luftledningar under vissa väderförhållanden för renarna kan framstå som ”glittrande band”. Renar kan också på samma sätt som vi människor uppfatta det knastrande ljudet från urladdningarna (Flydal m.fl. 2003), och från andra tekniska ljud kring anläggningarna. Hur denna typ av ljus- och ljudstörningar påverkar renarna är inte känt. Vidare är det tänkbart att renar liksom andra klövdjur känner av jordens magnetfält och att detta kan bidra till deras orientering; en funktion som då kan påverkas lokalt av kraftledningarnas magnetfält (Burda m.fl. 2009), men det är såvitt vi känner till inte studerat för renar.

Störningar från anläggningsarbete och ökad närvaro av människor och rovdjur längs kraftledningar kan leda till att renar undviker närheten till ledningar och ledningsgator åtminstone temporärt (Colman m.fl. 2015, Eftestøl m.fl. 2016, Strand m.fl. 2018), men i övrigt saknas tydliga belägg i litteraturen för störningseffekter av kraftledningar på ren. De mönster som tidigare beskrivits av att renar undviker områden upp till flera km från kraftledningar verkar kunna förklaras med andra faktorer såsom topografi, naturliga skillnader i betestillgång eller undvikande av vägar och fritidshusbebyggelse som är samlokaliserad med ledningarna (Strand m.fl. 2018). Det finns beskrivet att renar kan följa ledningsgator långa sträckor (Bartzke m.fl. 2014, Strand m.fl. 2018); detta innebär dock inte i sig att kraftledningarna inte upplevs som störande för renarna, och för renskötseln kan ledningsgator innebära svårigheter att hålla renarna samlade.

Renarnas resurser i form av födotillgång och ostörda områden är idag begränsade av en mängd faktorer; skogsbruk, vattenkraftsutbyggnad, vindkraft, gruvor och industri, vägar och järnvägar, annan urbanisering, rörligt friluftsliv och terrängkörning, och på senare år har klimatförändringarna allt tydligare bidragit till försämrad tillgång till vinterbete. Detta har sammantaget lett till mindre mängd tillgängligt bete, svårigheter för renar att röra sig fritt i landskapet, och djur i sämre kondition. Mot den bakgrunden kan redan små effekter som adderas till de övriga leda till stora konsekvenser, för renarna såväl som för renskötseln (Kløcker Larsen m.fl. 2016). Vid all exploatering i renbetesområdena bör de kumulativa effekterna på renar och renskötsel beaktas (Arenius 2013). Här bör särskilt beaktas att framtida industrisatsningar i norr kan komma att

innebära nya, stora kraftledningar i renskötselområdet, både tvärs och längs med renarnas huvudsakliga vandringsriktningar.

Av försiktighetsskäl bör kraftledningar inte anläggas i viktiga kalvningsområden, och anläggningsarbete och mer omfattande underhåll bör undvikas vid känsliga tider på året, såsom nära och under kalvningsperioden (Wolfe m.fl. 2007, Bartzke m.fl. 2014).

Exempel 3) Fiskar

Många fiskarter är idag hotade av mänskliga belastningar som överfiske, övergödning och föroreningar, exploatering av kustområden och klimatförändringar (Copping m.fl. 2021). Fiskar står för viktiga funktioner i de flesta akvatiska ekosystem, och de utgör en viktig näringskälla för människan. Installation och drift av sjökablar kan påverka fisk och andra akvatiska arter på sätt som läggs utöver redan existerande miljöpåverkan.

Installationen av sjökablar kan orsaka förlust eller förändringar av de ursprungliga habitaterna, och leda till påverkan på organismsamhället och vegetationen som behöver olika långa tider för återhämtning. Om särskilt viktiga fiskhabitat störs, skadas eller förstörs kan det indirekt påverka de arter som använder sig av dessa områden. Det kan exempelvis vara områden med undervattensvegetation såsom ålgräsängar, som är viktiga för födosök, skydd, reproduktion eller uppväxt. Själva installationsarbetena kan medföra undervattensbuller som kan påverka många akvatiska organismers beteende (t.ex. flyktbeteenden) och fysiologi (t.ex. stress, hörselnedsättning). Installationen kan också medföra att sediment virvlas upp vilket leder till tillfälligt förhöjda sedimenthalter i vattnet. Olika arter och livsstadier av fisk är olika känsliga för grumling; särskilt ägg och larver av fisk skadas eller dödas vid höga sedimenthalter. Om sedimenten är förorenade kan installationen leda till frisättning av farliga ämnen (Hammar m.fl. 2009, Kraufvelin m.fl. 2021, Bergström m.fl. 2022).

Skyddsåtgärder som nedgrävning och täckning av kablarna gör att de hamnar på ett avstånd på åtminstone några decimeter från de flesta fiskar. Vissa bottenlevande eller bottengrävande fiskarter kan dock fortfarande komma i närheten av kabeln. Viss infrastruktur har även kablar som hänger i vatten, vilket medför att även pelagiska fiskarter kan komma i kontakt med kablarna och deras effekter (Farr m.fl. 2021, Koehler m.fl. 2024).

Sjökablar i drift orsakar artificiella elektromagnetiska fält (EMF) närmast kabeln, med avtagande styrka upp till ett antal meter ifrån kabeln. Dessa EMF kan ge fysiologiska effekter på fisk, och fiskarter som använder sig av magnetoreception som informationskälla för orientering och migration kan lokalt få felaktig information. De studier som har gjorts på fiskars beteende har generellt noterat små effekter av EMF, såsom temporära ändringar i simhastighet eller riktning, men kunskaperna är begränsade (Gill m.fl. 2014, Wyman m.fl. 2018, Fey m.fl. 2019, Copping m.fl. 2021).

Under drift kan sjökablar också innebära positiva rev- och reservateffekter. Artificiella reveffekter brukar uppstå runt hårda substrat, som lockar till sig olika organismer och ofta leder till lokalt ökad artrikedom av fisk. Fisksamhällena som då uppstår brukar skilja sig i olika aspekter från fisksamhällena vid naturliga rev, men kan ändå gynna vissa arter genom exempelvis möjligheter till födosök eller skydd (Bergström m.fl. 2022, Koehler m.fl. 2025). Jämfört med andra artificiella konstruktioner är dock de hårda ytorna vid sjökabel små. Kabelkorridorer kan medföra indirekta skyddseffekter för fisk om exempelvis bottentrålning förbjuds, så kallade reservateffekter (Koehler & Bergström 2023).

Åtgärder för att minska påverkan av sjökablar på fisk är att undvika kabeldragning genom känsliga habitat, minska undervattensbuller och grumling vid installation, och undvika känsliga tidsperioder som exempelvis lekperioder för vissa utvalda fiskarter. Andra möjliga åtgärder är att undvika kabeldragning i särskilt viktiga habitat för migrerande arter som använder sig av elektromagnetisk information i sin livscykel, och att rengöra hängande kablar ifrån förlorade fiskeredskap eller annat marint skräp som kan utgöra en risk för fisk att fastna i (Hammar m.fl. 2009, Taormina m.fl. 2018, Kraufvelin m.fl. 2021, Bergström m.fl. 2022, Koehler m.fl. 2024).

Exempel 4) Människors intressen

Litteratursammanställningen ovan visar att kraftledningar kan påverka människors välbefinnande och upplevelsevärden på olika sätt – eventuella hälsoeffekter av elektromagnetiska fält, visst tekniskt buller, ökad tillgänglighet för friluftsliv, och inte minst påverkan på landskapsbilden och kulturmiljön som kan upplevas som negativ eller positiv beroende bland annat på platsen, designen och människors olika preferenser. Även om inte alla negativa effekter vad gäller fysiologi/hälsa, störningar och upplevelsevärden är väl belagda är det värt att notera att oron för sådana effekter i sig utgör en hälsofråga.

Studier av hur allmänheten accepterar nya kraftledningar, och de redan existerande, har visat på stora skillnader mellan länder (Battaglini m.fl. 2012, Aas m.fl. 2014). I exempelvis Storbritannien och Norge har nya kraftledningsprojekt mötts av lokalt motstånd (Aas m.fl. 2014), och lokala acceptansen ses som en av de främsta begränsande faktorerna för utbyggnaden av transmissionsnätet i Europa (Battaglini m.fl. 2012). I Sverige verkar dock acceptansen för nya kraftledningar oftast vara stor.

Det finns också stora skillnader i hur allmänheten accepterar nya kraftledningsprojekt beroende på hur planeringsprocessen genomförts (Soini m.fl. 2011, Cotton & Devine-Wright 2011, Devine-Wright 2012). En sen involvering av allmänheten i processen, begränsad information om vad den nya ledningen skulle innebära för landskapsbild, ljudmiljö och hälsa, begränsad information om organisationen bakom, och bristande öppenhet och transparens i processen, kan leda till en mer negativ inställning hos allmänheten.

I detta perspektiv framstår landskapsanalys och deltagandeprocesser (Bolin m.fl. 2021) som viktiga verktyg i planeringen av nya kraftledningar. Landskapsanalysen tydliggör hur landskapets värden kan beskrivas och bedömas i ett helhetsperspektiv, och skapar därmed ett konkret underlag för diskussionerna i en deltagandeprocess.

Rekommendationer för landskapsanalys och deltagandeprocesser finns framtagna för vindkraft (Klintman & Waldo 2008, Mels & Mels 2014, Mels m.fl. 2020), men är allmängiltigt formulerade och bör kunna tillämpas även i samband med etablering av nya elledningar.

Kommentar

Som beskrivits ovan hämmas miljöbedömningen av kraftledningar, kablar och elnätet i helhet av kunskapsbrister när det gäller miljöeffekternas karaktär och betydelse.

Svårigheter att bedöma och prioritera miljöeffekterna var en bakgrund och anledning till den kunskapssammanställning och -syntes som vi gjort, och vi tvingas konstatera att vårt arbete bidragit till att tydliggöra snarare än att avhjälpa kunskapsbristerna. Det är dock vår förhoppning att den översikt och struktur vi bidragit med ska leda till bättre kommunikation och förutsägbarhet i prövningsprocesserna för kommande om- och utbyggnad av elnätet, och till att samhället bättre ska kunna ta sig an att fylla de kritiska kunskapsluckorna.

13. Förslag på forskning och utredning

Som framgår av litteratursammanställningen finns många kunskapsluckor kring miljöeffekter av elledningar och elnät, vilket begränsar möjligheterna att peka ut de betydande effekterna i olika situationer och att bedöma miljöeffekterna av elnätet i helhet. Med undantag för några få effekter (ledningsdöd för fåglar, biotopförändringar och naturvärden i ledningsgator, hälsoeffekter av elektromagnetiska fält) har forskningen inom området varit begränsad. Även om kraftledning som företeelse funnits i de flesta landskap under decennier framstår forskningen om miljöeffekter av elnätet som eftersatt, i synnerhet inför en nu förväntad utbyggnad och uppgradering av elnätet. För att rätt kunna utforma anpassningar och åtgärder krävs ofta relativt detaljerade studier av mekanismerna bakom effekterna, och bra uppföljning av effektiviteten av genomförda åtgärder. Detta saknas i stort sett för de flesta av de beskrivna miljöeffekterna.

De tre områden där vi ser störst behov av forskning och ytterligare kunskapssyntes är följande:

1. Ekologiska effekter av kraftledningar i skogsmark. Detta innefattar studier av:
 - omfattningen av förlust av värdefulla skogsbiotoper, kanteffekternas karaktär och omfattning, barriäreffekter och fragmentering,
 - skötsel av kraftledningsgator för att minska kant- och barriäreffekter för skogsarter,
 - hur förlusten av skogliga naturvärden kan vägas mot vinsten av naturvärden kopplade till de nya gräs- och buskmarkerna, och
 - i vilka situationer de positiva effekterna för biologisk mångfald kan överväga (vilka marker, ledningstyper, vilken vegetationskötsel mm).

Kunskapsläget och -behoven beskrivs närmare i avsnitt 5 ovan. Eftersom redan en del forskning på detta område finns internationellt bör studierna fokusera särskilt på den svenska eller skandinaviska situationen, och här bör ingå en analys av varför frågan uppmärksammas mer inom forskning utomlands än i Sverige.

2. Ekologiska effekter av sjökabel. Här behövs särskilt studier av:
 - effekter av vibrationer och svaga magnetfält från sjökabel under drift; påverkan på orienteringsförmåga och migration hos akvatiska arter främst fisk, påverkan på bottenlevande evertetrater,
 - effekterna på konnektiviteten för arter och habitat, bland annat sammantagna effekter av ett ökande nätverk av kablar och effekter i områden av särskild betydelse för migrerande arter.

Kunskaperna är särskilt bristfälliga när det gäller effekter i inlandsvatten (sjöar och vattendrag) där vi redan idag har kabel förlagda i många vatten. Generellt ser vi att mer studier kan behövas av de ekologiska effekterna av sjökabel i och med att

mängden sjökabel kommer att öka, exempelvis med utbyggnad av havsbaserad vindkraft, och i samband med att kablarnas design utvecklas.

3. Kraftledningars betydelse för upplevelsevärden och friluftsliv. Här ingår:

- ledningsdragningens och stolpdesignens betydelse för landskapsbild och landskapskaraktär,
- tekniskt buller från större kraftledningar som en störningsfaktor,
- kraftledningsgator som resurs för friluftsliv och rekreation, särskilt i (peri-)urban miljö,
- betydelsen av förbättrad information till allmänheten, för att uppmärksamma kraftledningsgatornas rekreativvärden inom uppsatta säkerhetsramar,
- kraftledningar som en del av – eller störning av – den upplevda kulturmiljön.

Kunskapsläge och -behov beskrivs närmare främst i avsnitt 10 ovan. Studierna bör fokusera på den svenska eller skandinaviska situationen, och innehålla en fördjupad analys av varför frågan uppmärksammas mer inom forskning utomlands än i Sverige.

Forskning och demonstrationsexempel skulle ytterligare kunna visa på multipla nyttor och ekosystemtjänster i kraftledningsgator. Exempel på sådana nyttor är:

- Kraftledningsgator som resurs för att skapa viltbete; potentialer för att minska betesskador på skog, och risker för störningar på viltet från friluftsliv och jakt.
- Kraftledningsgator som resurs för friluftsliv och rekreation (se pkt 3 ovan). Potentialer för exempelvis naturupplevelser, ökad tillgänglighet, småskalig odling, frukt- och bärplockning, öppen landskapsbild.
- Åtgärder för att ytterligare gynna biologisk mångfald i kraftledningsgator; exempelvis anpassad vegetationsröjning och anläggande av småbiotoper, riktat till utvalda artgrupper eller habitat.
- Naturvärden i kraftledningar i igenväxande myrmarker, och anpassad vegetationsskötsel för biologisk mångfald i sådana ledningsgator.
- Vid vilka situationer lämpar det sig att kombinera olika värden eller nyttor?

Liknande ekosystemtjänster och multipla nyttor ingår i IVM-konceptet (se faktaruta på s. 33 ovan), som uppmärksammas mycket utomlands, bland annat på kontinenten, men än så länge endast i begränsad utsträckning här i Sverige. Det finns alltså en hel del kunskap och erfarenheter att ta hem från utlandet, men också anpassningar att göra till svenska eller skandinaviska förhållanden.

Det finns också ett antal ämnesområden där miljöeffekterna åtminstone i en skandinavisk kontext framstår som ringa, lokala eller tillfälliga och därför mindre betydande, men där studier kan behövas för att säkra denna slutsats, alternativt för att peka ut behovet av fördjupade studier och eventuellt mer fokus inom planering:

- Ledningsdöd för fladdermöss. Här saknas observationer, men detta kan bero på att ingen har letat. Särskilt mot bakgrunden att fladdermöss kan attraheras av kraftledningarnas kantzoner finns anledning att studera risken för ekologisk fälla.

- Skaderisk för större fiskar eller andra större marina djur på frihängande sjökabel eller marint skräp som har fastnat i dessa.
- Risken för etablering och spridning av invasiva arter i ledningsgator, särskilt i samband med markarbeten och röjning, och längs sjökablar.
- Effekter av svaga elektromagnetiska fält på fysiologi och beteenden hos djur som uppehåller sig längre perioder nära kraftledningar eller sjökabel. Detta gäller både tamdjur och vilda djur, även fåglar och ryggradslösa djur som har stor betydelse för naturvård och ekosystemtjänster.
- Störningar på fåglar och däggdjur från koronauraddningar vid större oisolerade luftledningar (buller, UV-ljus, eventuellt andra sensoriska störningar).
- Markskador och påverkan på hydrologi i samband med anläggning, underhåll och avveckling.
- Omfattningen av fysiska intrång i fasta kulturhistoriska lämningar.
- Risken för antändning av skogsbrand, idag och i ett framtida klimat.

Vartefter detaljkunskaperna stärks för olika miljöeffekter ser vi ett behov av att tillämpa eller utveckla systematiska analyser av samlade eller kumulativa effekter av elnätet. Detta för att bättre kunna göra miljöbedömning i helhetsperspektiv, eller för att kunna väga olika miljöeffekter mot varandra eller mot uppsatta mål. Exempel på metoder är livscykelanalys (LCA), kriteriebaserade system (såsom BREEAM), eller arealsbaserade system (såsom svenska CLIMB). Detta är ett behov som inte gäller enbart miljöeffekter av elnät, men som aktualiseras av de förväntade stora förändringarna i elnätet.

Tack

Vi tackar följande kolleger för stöd i arbetet: Andrew Butler, Juliana Dániel-Ferreira, Bengt-Gunnar Jonsson, Marie Kågström, Tommy Lennartsson, Thomas Ranius, Håkan Tunón, Fredrik Widemo och Erik Öckinger.

Referenser

- Adams TP, Miller RG, Aleynik D, Burrows MT (2014) Offshore marine renewable energy devices as stepping stones across biogeographical boundaries. *Journal of Applied Ecology* 51(2):330-338. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12207>
- Airoldi L, Turom X, Perkol-Finkel S, Rius M (2015) Corridors for aliens but not for natives: effects of marine urban sprawl at a regional scale. *Diversity and Distributions* 21:755-768. <https://doi.org/10.1111/ddi.12301>
- Albert L, Deschamps F, Jolivet A, Olivier F, Chauvaud L & Chauvaud S (2020) A current synthesis on the effects of electric and magnetic fields emitted by submarine power cables on invertebrates. *Marine Environmental Research* 159:104958. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104958>
- Algers B, Hultgren J (1987) Effects of long-term exposure to a 400-kV, 50-Hz transmission line on estrous and fertility in cows. *Preventive Veterinary Medicine* 5:21-36. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(87\)90003-1](https://doi.org/10.1016/0167-5877(87)90003-1)
- Alves JA, Torres Silva L, Remoaldo P (2019) How Can Low-Frequency Noise Exposure Interact with the Well-Being of a Population? Some Results from a Portuguese Municipality. *Applied Sciences* 9(24):5566. <https://doi.org/10.3390/app9245566>
- Andrews A (1990) Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: A review. *Australian Zoologist* 26(3-4):130-141. <https://doi.org/10.7882/AZ.1990.005>
- APLIC (2012) *Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012*. Edison Electric Institute and Avian Power Line Interaction Committee, Washington, DC, USA. <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/avian-power-line-2012.pdf>
- Arenius J (2013) *Vindkraft och rennärning*. Examensarbete, SLU Uppsala. https://stud.epsilon.slu.se/5939/1/arenius_j_130819.pdf
- Arias-Aranda D, López-Sánchez A, Bautista-Carrillo FG (2020) Analysis of the impact of high voltage power lines on the value of properties in environments of high ecological value and rural tourism: the case of the Lecrín Valley (Granada - Spain). *International Journal of Business Environment* 12(1):64-82. <https://doi.org/10.1504/IJBE.2021.112112>
- Ball SK (2012) Capitalizing on Conservation: The Ecological Benefits of Transmission Line Rights-of-Way. Sid. 249-272 i Evans JM, Mahoney JW, Mutrie D, Reinemann J (red) *Proc. Ninth Int. Symp. Environmental Concerns Rights-of-Way Management*, Portland, Oregon, USA. International Society for Arboriculture, Champaign, Illinois, USA. <https://www.rights-of-way.org/past-proceedings/>
- Balmori-de la Puente AB, Balmori A (2024) Electrocutions as an important cause of mortality for a mesocarnivore. *Mammalia* 88(6):504-508. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/mammalia-2023-0013/html>
- Barrientos R, Alonso JC, Ponce C, Palacín C (2011) Meta-Analysis of the Effectiveness of Marked Wire in Reducing Avian Collisions with Power Lines. *Conservation Biology* 25(5):893-903. <http://www.jstor.org/stable/41315166>
- Bartzke GS (2014) *Effects of power lines on moose (Alces alces) habitat selection, movements and feeding activity*. Doktorsavhandling, NTNU - Trondheim. <http://hdl.handle.net/11250/245426>
- Bartzke GS, May R, Bevanger K, Stokke S, Roskaft E (2014) The effects of power lines on ungulates and implications for power line routing and rights-of-way management. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 6(9):647-662. <https://doi.org/10.5897/IJBC2014.0716>

- Battaglini A, Bätjer S (2015) Reducing the environmental impacts of power transmission lines. Sid. 183-198 i Bessède J-L (red) *Eco-Friendly Innovation in Electricity Transmission and Distribution Networks*. Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-010-1.00009-4>
- Battaglini A, Komendantova N, Brtnik P, Patt A (2012) Perception of barriers for expansion of electricity grids in the European Union. *Energy Policy* 47:254-259.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.065>
- Bayle P (2024) Preventing birds of prey problems at transmission lines in Western Europe. *Journal of Raptor Research* 33(1):4.
<https://digitalcommons.usf.edu/jrr/vol33/iss1/4>
- Benjamins S, Harnois V, Smith HCM, Johanning L, Greenhill L, Carter C, Wilson B (2014) *Understanding the potential for marine megafauna entanglement risk from renewable marine energy developments*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 791. <https://www.nature.scot/doc/naturescot-commissioned-report-791-understanding-potential-marine-megafauna-entanglement-risk>
- Benjamins S, Williamson B, Billing S-L, Yuan Z, Collu M, Fox C, Hobbs L, Masden EA, Cottier-Cook EJ, Wilson B (2024) Potential environmental impacts of floating solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 199: 114463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114463>
- Berg Å, Ahrné K, Öckinger E, Svensson R, Söderström B (2011) Butterfly distribution and abundance is affected by variation in the Swedish forest-farmland landscape. *Biological Conservation* 144(12):2819-2831.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.035>
- Berg Å, Bergman K-O, Wissman J, Žmihorski M, Öckinger E (2016) Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. *Biological Conservation* 201:320-326. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.034>
- Berg T, Helldin JO (2024) *Miljöeffekter av elnät, Delrapport: Miljöeffekter i MKB:er*. CBMs skriftserie nr 132, SLU Centrum för biologisk mångfald, Uppsala.
<https://doi.org/10.54612/a.3csjb6nt2r>
- Bergström L, Öhman MC, Berkström C, Isaeus M, Kautsky L, Koehler B, Nyström Sandman A, Ohlsson H, Ottvall R, Schack H, Wahlberg M (2022) *Effekter av havsbaserad vindkraft på marint liv. En syntesrapport om kunskapsläget 2021*. Naturvårdsverket rapport 7049. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7049-6/>
- Bernardino J, Bevinger K, Barrientos R, Dwyer JF, Marques AT, Martins RC, Shaw JM, Silva JP, Moreira F (2018) Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation* 222:1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.015>
- Bevinger K (1994) Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. *Ibis* 136:412-425. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1994.tb01116.x>
- Bevinger K (1995) Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. *Journal of Applied Ecology* 32(4):745-753. <https://doi.org/10.2307/2404814>
- Bevinger K (1998) Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86:67-76.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00176-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00176-6)
- Bevinger K, Brøseth H (2004) Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. *Animal Biodiversity and Conservation* 27(2):67-77.
- Bevinger K, Refsnæs S (2013) *Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektrokusjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge*. NINA Rapport 763. <https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/2383250>

- Biasotto LD, Kindel A (2018) Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review* 71:110-119. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.010>
- Bladon AJ, Bladon EK, Smith RK, Sutherland WJ (2023) Butterfly and Moth Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions for butterflies and moths. *Conservation Evidence Series Synopsis*. University of Cambridge, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.17863/CAM.105954>
- Browning E, Barlow KE, Burns F, Hawkins C, Boughy K (2021) Drivers of European bat population change: a review reveals evidence gaps. *Mammal Review* 51:353–368. <https://doi.org/10.1111/mam.12239>
- Bulleri F, Airoidi L (2005) Artificial marine structures facilitate the spread of a non indigenous green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, in the north Adriatic Sea. *Journal of Applied Ecology* 42:1063-1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01096.x>
- Burchard JF, Nguyen DH, Richard L, Block E (1996) Biological Effects of Electric and Magnetic Fields on Productivity of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 79(9):1549-1554. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76516-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76516-5)
- Burda H, Begall S, Červený J, Neef J, Němec P (2009) Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106:5708-5713. <https://doi.org/10.1073/pnas.0811194106>
- Caimi S, Colombo C, Ferrari R, Storti G, Morbidelli M (2019) Recovery of Mineral Oil from Underground Electrical Cables. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(13):2357. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132357>
- Cain ML, Nelson HT (2013) What drives opposition to high-voltage transmission lines? *Land Use Policy* 33:204-213. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.01.003>
- Cameron DS, Leopold DJ, Raynal DJ (1997) Effect of landscape position on plant diversity and richness on electric transmission rights-of-way in New York State. *Canadian Journal of Botany* 75:242-251. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/b97-026>
- Campbell CJ, Cheng TL, Akre KL, Adams AM, Solick DI, Bennett A, Newman C, Frick WF (2024) Maximizing benefits to bat populations through management of power line corridors. *Ecological Solutions and Evidence* 5:e12392. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12392>
- Clarke DJ, White JG (2008) Towards ecological management of Australian powerline corridor vegetation. *Landscape and Urban Planning* 86:257-266. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.03.005>
- Copping AE, Hemery LG, Viehman H, Seitz AC, Staines GJ, Hasselman DJ (2021) Are fish in danger? A review of environmental effects of marine renewable energy on fishes. *Biological Conservation* 262:109297. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109297>
- Cotton M, Devine-Wright P (2011) Discourses of energy infrastructure development: A Q-method study of electricity transmission line siting in the UK. *Environment and Planning A: Economy and Space* 43(4):942-960. <https://doi.org/10.1068/a43401>
- Cotton M, Devine-Wright P (2013) Putting pylons into place: a UK case study of public perspectives on the impacts of high voltage overhead transmission lines. *Journal of Environmental Planning and Management* 56(8):1225-1245. <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.716756>
- Crawford RL, Baker WW (1981) Bats killed at a north Florida television tower: a 25-year record. *Journal of Mammalogy* 62(3):651-652. <https://doi.org/10.2307/1380421>
- D'Amico M, Catry I, Martins RC, Ascensão F, Barrientos R, Moreira F (2018) Bird on the wire: landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. *Ambio* 47:650-656. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1025-z>

- Daniel-Ferreira J (2021) *Linear infrastructure habitats for the conservation of plants and pollinators; The value of road verges and power-line corridors for landscape-scale diversity and connectivity*. Doktorsavhandling, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2021:63. https://pub.epsilon.slu.se/25947/1/daniel-ferreira_j_211025.pdf
- Daniel-Ferreira J, Bommarco R, Wissman J, Öckinger E (2020) Linear infrastructure habitats increase landscape-scale diversity of plants but not of flower-visiting insects. *Scientific Reports* 10:21374. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78090-y>
- Dawe DA, Parisien M-A, Boulanger Y, Boucher J, Beauchemin A, Arseneault D (2022) Short- and Long-Term Wildfire Threat When Adapting Infrastructure for Wildlife Conservation in the Boreal Forest. *Ecological Applications* 32(6):e2606. <https://doi.org/10.1002/eap.2606>
- Devine-Wright P (2012) Explaining “NIMBY” Objections to a Power Line: The Role of Personal, Place Attachment and Project-Related Factors. *Environment and Behavior* 45(6):761-781. <https://doi.org/10.1177/00139165124440435>
- Devine-Wright P, Batel S (2013) Explaining public preferences for high voltage pylon designs: An empirical study of perceived fit in a rural landscape. *Land Use Policy* 31:640-649. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.011>
- Dickie M, McNay SR, Sutherland GD, Cody M, Avgar T (2020) Corridors or risk? Movement along, and use of, linear features varies predictably among large mammal predator and prey species. *Journal of Animal Ecology* 89:623-634. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13130>
- Drewitt AL, Langston RHW (2008) Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:233-266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- Dubé C, Pellerin S, Poulin M (2011) Do power line rights-of-way facilitate the spread of non-peatland and invasive plants in bogs and fens? *Botany* 89(2):91-103. <https://doi.org/10.1139/B10-089>
- Ecogain (2021a) *Skötsel för ökad biologisk mångfald och ekosystemtjänster i kraftledningsgator – sammanställning av projekt*. Rapport från Ecogain AB. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/hallbarhet/skotsel-for-okad-biologisk-mangfald...pdf>
- Ecogain (2021b) *Handbok – förslag på skötsel av kraftledningsgator*. Rapport från Ecogain AB. https://www.svk.se/siteassets/om-oss/hallbarhet/handbok_skotselkraftledningsgator.pdf
- Eftestøl S, Tsegaye D, Flydal K, Colman JE (2016) From high voltage (300 kV) to higher voltage (420 kV) power lines: reindeer avoid construction activities. *Polar Biology* 39 (4): 689– 699. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1825-6>
- Eldegard K, Totland Ø, Moe SR (2015) Edge effects on plant communities along power line clearings. *Journal of Applied Ecology* 52:871-880. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12460>
- Eldegard K, Eytayo DL, Lie MH, Moe SR (2017) Can powerline clearings be managed to promote insect-pollinated plants and species associated with semi-natural grasslands? *Landscape and Urban Planning* 167:419-428. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.017>
- Elliott P, Wadley D (2012) Coming to terms with power lines. *International Planning Studies* 17:179-201. <https://doi.org/10.1080/13563475.2012.673739>
- Energimyndigheten (2023) *Scenarier över Sveriges energisystem 2023, Med fokus på elektrifieringen 2050*. Statens Energimyndighet rapport ER 2023:07. <https://www.energimyndigheten.se/49428c/globalassets/statistik/prognoser-och-scenarier/langsiktiga-scenarier/langsiktiga-scenarier-over-sveriges-energisystem-2023.pdf>
- EPRI (2002) *Wildlife and Integrated Vegetation Management on Electric Transmission Line Rights-of-Way. Technical update*. Electric Power Research Institute, USA.

- <http://rightofway.erc.uic.edu/wp-content/uploads/2018/06/EPRI-Wildlife-IVM-on-Electric-Transmission.pdf>
- Ewers RM, Didham RK (2008) Pervasive impact of large-scale edge effects on a beetle community. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105(14):5426-5429.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0800460105>
- Farr H, Ruttenberg B, Walter RK, Wang Y-H, White C (2021) Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities. *Ocean & Coastal Management* 207:105611. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105611>
- Fernie KJ, Reynolds SJ (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(2):127-140.
<https://doi.org/10.1080/10937400590909022>
- Ferrer M, Morandini V, Baumbusch R, Muriel R, De Lucas M, Calabuig C (2020a) Efficacy of different types of “bird flight diverter” in reducing bird mortality due to collision with transmission power lines. *Global Ecology and Conservation* 23:e01130. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01130>
- Ferrer M, De Lucas M, Hinojosa E, Morandini V (2020b) Transporting biodiversity using transmission power lines as stepping-stones? *Diversity* 12(11):439.
<https://doi.org/10.3390/d12110439>
- Fey D, Greszkiewicz M, Otremba Z, Andrulowicz E (2019) Effect of static magnetic field on the hatching success, growth, mortality, and yolk-sac absorption of larval Northern pike *Esox lucius*. *Science of the total environment* 647:1239-1244.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.427>
- Fingrid (odat.) *Voimajohtoaukeiden raivaukset [Röjning av kraftledningsgator]*. Faktablad från Fingrid, Helsingfors.
<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kunnossapito/raivaus-liite-suomi.pdf>
- Flydal K, Rogstad Kilde I, Enger PS, Reimers E (2003) Reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) perception of noise from power lines. *Rangifer* 23(1):21-24.
<https://doi.org/10.7557/2.23.1.310>
- Folkhälsomyndigheten (2017) *Miljöhälsorapport 2017; Kapitel 10, Elektromagnetiska fält*. Rapport från Folkhälsomyndigheten och Karolinska Institutet.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/m/miljohalsorapport-2017/>
- Fredriksson A, Sezer AA, Angelakis V, Gundlegård D (2022) Construction related urban disturbances: Identification and linking with an IoT-model. *Automation in Construction* 134:104038. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104038>.
- Furby L, Slovic P, Fischhoff B, Gregory R (1988) Public perceptions of electric power transmission lines. *Journal of Environmental Psychology* 8(1):19-43.
[https://doi.org/10.1016/s0272-4944\(88\)80021-5](https://doi.org/10.1016/s0272-4944(88)80021-5)
- Gális M, Ševčík M (2019) Monitoring of effectiveness of bird flight diverters in preventing bird mortality from powerline collisions in Slovakia. *Raptor Journal* 13(1):45-59. <https://doi.org/10.2478/srj-2019-0005>
- Garavelli L, Copping AE, Hemery LG, Freeman MC (2024) *OES-Environmental 2024 State of the Science report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World*. Report for Ocean Energy Systems (OES).
<https://www.osti.gov/servlets/purl/2438585>
- Gardiner MM, Riley CB, Bommarco R, Öckinger E (2018) Rights-of-way: a potential conservation resource. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16(3):149-158.
<https://doi.org/10.1002/fee.1778>
- Garfinkel M, Hosler S, Whelan C, Minor E (2022) Powerline Corridors Can Add Ecological Value to Suburban Landscapes When Not Maintained as Lawn. *Sustainability* 14(12):7113. <https://doi.org/10.3390/su14127113>

- Garfinkel M, Hosler S, Roberts M, Vogt J, Whelan C, Minor E (2023) Balancing the management of powerline right-of-way corridors for humans and nature. *Journal of Environmental Management* 330:117175. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117175>
- Gates JE (1991) Powerline corridors, edge effects, and wildlife in forested landscapes of the central Appalachians. Sid. 13-32 i Rodiek J, Bolen E (red.) *Wildlife and Habitats in Managed Landscapes*. Island Press.
- Geneletti D (2004) Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(1):1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2003.08.004>
- Gervasi F, Murtas R, Decarli A, Russo AG (2019) Residential distance from high-voltage overhead power lines and risk of Alzheimer's dementia and Parkinson's disease: a population-based case-control study in a metropolitan area of Northern Italy. *International Journal of Epidemiology* 48(6):1949-1957. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz139>
- Gilad D, Borgelt JS, May RF, Verones F (2024) Biodiversity on the line: life cycle impact assessment of power lines on birds and mammals in Norway. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability* 2024 4(3). <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad5bfd>
- Gill AB, Gloyne-Philips I, Kimber J, Sigray P (2014) Marine Renewable Energy, Electromagnetic (EM) Fields and EM-Sensitive Animals. Sid. 61-79 i Shields M, Payne A (red.) *Marine Renewable Energy Technology and Environmental Interactions. Humanity and the Sea*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8002-5_6
- Gill AB, Desender M (2020) Risk to Animals from Electro-magnetic Fields Emitted by Electric Cables and Marine Renewable Energy Devices. Sid. 87-103 i Copping AE, Hemery LG (red.) *OES-Environmental 2020 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World*. Report for Ocean Energy Systems (OES). <https://www.osti.gov/servlets/purl/1633088>
- Gillson JP, Bašić T, Davison PI, Riley WD, Talks L, Walker AM, Russell IC (2022) A review of marine stressors impacting Atlantic salmon *Salmo salar*, with an assessment of the major threats to English stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 32:879-919. <https://doi.org/10.1007/s11160-022-09714-x>
- Glasby TM, Connell SD, Holloway MG, Hewitt CL (2007) Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? *Marine Biology* 151(3):887-895. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0552-5>
- Goldingay RL, Whelan RJ (1997) Powerline easements: Do they promote edge effects in eucalypt forest for small mammals? *Wildlife Research* 24(6):737. <https://doi.org/10.1071/wr96116>
- Gómez-Catasús J, Carrascal LM, Moraleda V, Colsa J, Garcés F, Schuster C (2020) Factors affecting differential underestimates of bird collision fatalities at electric lines: A case study in the Canary Islands. *Ardeola* 68(1):71-94. <https://doi.org/10.13157/arla.68.1.2021.ra5>
- Goodfellow JW, Mahan C, Charlton PM (2018) *The Cost Efficiency of IVM: A Comparison of Vegetation Management Strategies for Utility Rights-of-Way*. Rapport till TREE Fund. <https://treefund.org/wp-content/uploads/2018/08/Final-Report-Cost-efficiency-of-IVM%5CELJ-18-UARF-01-rev-2.pdf>
- Greenberg B, Bindokas VP, Gauger JR (1981) Biological effects of a 765-kV transmission line: exposures and thresholds in honeybee colonies. *Bioelectromagnetics* 2(4):315-328. <https://doi.org/10.1002/bem.2250020404>

- Grusell E, Lagenfelt S, Collberg E (2023) *Biologisk mångfald i kraftledningsgator och stationsområden. Förstudie och ramverk för inventering*. Energiforsk rapport 2023:946. <https://energiforsk.se/media/32606/biologisk-mangfald-i-kraftledningsgator-fo-rstudie-och-ramverk-fo-r-inventering.pdf>
- Guil F, Soria MÁ, Margalida A, Pérez-García JM (2018) Wildfires as collateral effects of wildlife electrocution: An economic approach to the situation in Spain in recent years. *Science of The Total Environment* 625:460-469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.242>
- Gunnarsson U, Nilsson P (2024) *Ökad trädäckning på Sveriges myrar*. SLU Artdatabanken rapporterar 32. Uppsala: SLU Artdatabanken. https://www.slu.se/globalassets/ew/subw/artd/6-publikationer/42.-okad-tradtackning-pa-svenska-myrar/32_okad-tradtackning-pa-svenska-myrar.pdf
- Hammar L, Magnusson M, Rosenberg R, Granmo Å (2009) *Miljöeffekter vid muddring och dumpning; En litteratursammanställning*. Naturvårdsverket rapport 5999. <https://www.havochvatten.se/download/18.64f5b3211343cfffdb2800013326/1708934845899/muddring-och-dumpning-miljoeffekter.pdf>
- Hammar L, Wikström A, Molander S (2014) Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod. *Renewable Energy* 66:414-424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.024>
- Hansson L (1996) *Hyggeskanter och biologisk mångfald*. Fakta Skog nr 22, SLU. <https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forsk/popvet-dok/faktaskog/faktaskog96/fs1996022.pdf>
- Harness RE, Wilson KR (2008) Electric-utility structures associated with raptor electrocutions in rural areas. *Wildlife Society Bulletin* 36(4):938-945. <https://www.jstor.org/stable/3784188>
- Harnois V, Smith HCM, Benjamins S, Johanning L (2015) Assessment of entanglement risk to marine megafauna due to offshore renewable energy mooring systems. *International Journal of Marine Energy* 11:27-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.04.001>
- Harper KA, Macdonald SE, Burton PJ, Chen J, Brosfokske KD, Saunders SC, Euskirchen ES, Roberts D, Jaiteh MS, Esseen P-A (2005) Edge influence forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19:768-782. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>
- Helldin JO (2018) *Större koncentrationer av fåglar i Sverige – kartläggning för ett planeringsverktyg för vindkraft*. Rapport från Calluna AB. (Rapporten kan fås från författaren.)
- Hemery LG (2020) Changes in Benthic and Pelagic Habitats Caused by Marine Renewable Energy Devices. Sid. 105-124 i Copping AE, Hemery LG (red.) *OES-Environmental 2020 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World*. Report for Ocean Energy Systems (OES). <https://doi.org/10.2172/1633182>
- Hermans A, Winter HV, Gill AB, Murk AJ (2024) Do electromagnetic fields from subsea power cables affect benthic elasmobranch behaviour? A risk-based approach for the Dutch Continental Shelf. *Environmental Pollution* 346:123570. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123570>
- Hernández-Matías A, Real J, Parés F, Pradel R (2015) Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. *Biological Conservation* 191:110-116. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>
- Huso MMP, Dalthorp D, Dail D, Madsen L (2015) Estimating wind-turbine-caused bird and bat fatality when zero carcasses are observed. *Ecological Applications* 25(5):1213-1225. <https://www.jstor.org/stable/24432123>

- Hutchison ZL, Gill AB, Sigray P, He H, King JW (2020) Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behaviour of bottom-dwelling marine species. *Scientific Reports* 10:4219. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60793-x>
- Häggström L (2013) *Vindkraft och kulturmiljö. Vindkraftens påverkan på kulturmiljön – metoder och exempel*. Naturvårdsverket rapport 6541. <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6500/978-91-620-6541-6.pdf>
- Janss GFE, Ferrer M (1998) Rate of bird collision with power lines: Effects of conductor-marking and static wire-marking. *Journal of Field Ornithology* 69(1):8-17. <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jfo/v069n01/p0008-p0017.pdf>
- Jansson C, Ebenhard T (2024) *Spridningsvägar för invasiva främmande arter av unionsbetydelse och nationell betydelse*. CBM:s skriftserie nr 127. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=129257&lang=en>
- Johannesson C, Johansson K, Tegstedt F (2020) *Livscykelanalys av ledningsstolpar*. Energiforsk rapport 2020:693. <https://energiforsk.se/media/28431/livscykelanalys-av-ledningsstolpar-energiforskrappport-2020-693.pdf>
- Johnson GD, Strickland MD (2004) *An assessment of potential collision mortality of migrating Indiana bats (Myotis sodalis) and Virginia big-eared bats (Corynorhinus townsendii virginianus) traversing between caves*. Western Ecosystem Technologies, Inc. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Johnson-Strickland-2004.pdf>
- Johnson WC, Schreiber RK, Burgess RL (1979) Diversity of small mammals in a powerline right-of-way and adjacent forest in East Tennessee. *American Midland Naturalist* 101:231-235. <https://doi.org/10.2307/2424918>
- Jones JC, Arner DH, Byrd J, Yager L, Gallagher S (2008) Selected Non-native Plants of Rights-of-Ways (ROWs) in the Southeastern United States and Associated Impacts. Sid. 547-554 i *Environmental Concerns in Rights-of-Way Management: Eighth International Symposium*. Saratoga Springs, USA. <https://www.rights-of-way.org/past-proceedings/>
- Karlsson Y, Lundin C (2023) När artrikedom är målet – Multifunktionella kraftledningsgator skapar fler värden. *Trädbladet* nr 1/23: 6-12. <https://www.tradforeningen.org/publikationer/tradbladet/>
- Katsis L, Cunneyworth PMK, Turner KME, Presotto A (2018) Spatial Patterns of Primate Electrocutions in Diani, Kenya. *International Journal of Primatology* 39:493-510. <https://doi.org/10.1007/s10764-018-0046-6>
- King DI, Byers BE (2002) An Evaluation of Powerline Rights-of-Way as Habitat for Early-Successional Shrubland Birds. *Wildlife Society Bulletin* 30(3):868-874. <https://www.jstor.org/stable/3784241>
- King DI, Chandler RB, Collins JM, Petersen WR, Lautzenheiser TE (2009) Effects of width, edge and habitat on the abundance and nesting success of scrub-shrub birds in powerline corridors. *Biological Conservation* 142(11):2672-2680. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.06.016>
- Klimatråtsutredningen (2022) *Rätt för klimatet; Slutbetänkande av Klimatråtsutredningen*. SOU 2022:21, Stockholm. <https://data.riksdagen.se/fil/D2D36394-DD96-4154-A704-15404C1459D7>
- Klintman M, Waldo Å (2014) *Erfarenheter av vindkraftsetablering – Förankring, acceptans och motstånd*. Naturvårdsverket rapport 5866. <https://www.naturvardsverket.se/4ac586/globalassets/media/publikationer-pdf/5800/978-91-620-5866-1.pdf>
- Kløcker Larsen R, Raitio K, Sandström P, Skarin A, Stinnerbom M, Wik-Karlsson J, Sandström S, Österlin C, Buhot Y (2016) *Kumulativa effekter av exploateringar på renkötseln – vad behöver göras inom tillståndsprocesser*. Naturvårdsverket

- rapport 6722. <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6700/978-91-620-6722-9.pdf>
- Koehler B, Bergström L (2023) Havsbaserad vindkraft i samexistens med fiske, vattenbruk och naturvård?: en inledande kunskapssammanställning. *Aqua reports* 2023:4. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=121685>
- Koehler B, Dannewitz J, Bergström L (2024) Kan havsbaserad vindkraft påverka vandrande lax? *Aqua notes* 2024: 28, SLU Uppsala. <https://doi.org/10.54612/a.206iiu3m7t>
- Koehler B, Bergström L, Öhman MC (2025) *Ekologiskt anpassade konstruktioner i vattenmiljöer – en kunskapsöversikt*. Havs- och Vattenmyndigheten, rapport under arbete.
- Komyakova V, Chamberlain D, Jones GP, Swearer SE (2019) Assessing the performance of artificial reefs as substitute habitat for temperate reef fishes: Implications for reef design and placement. *Science of The Total Environment* 668:139-152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.357>.
- Kraufvelin P, Bryhn A, Kling J, Olsson J (2021) *Fysisk påverkan i kusten och effekter på ekosystemen*. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:27. <https://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/rapporter-och-andra-publikationer/publikationer/2021-12-10-fysisk-paverkan-i-kusten-och-effekter-pa-ekosystemen.html>
- Kraus C, Carter L (2018) Seabed recovery following protective burial of subsea cables - Observations from the continental margin. *Ocean Engineering* 157:251-261. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.03.037>
- Krzystolik J, Tański A, Piesiewicz R, Korzelecka-Orkisz A, Formicki K (2024) Effect of an electromagnetic field generated by power infrastructure on the spatial orientation of developing sea trout embryos *Salmo trutta* Linnaeus, 1758. *The European Zoological Journal* 91(1):366-377. <https://doi.org/10.1080/24750263.2024.2340471>
- Kulkarni SS, Edwards DJ (2022) A bibliometric review on the implications of renewable offshore marine energy development on marine species. *Aquaculture and Fisheries* 7(2):211-222. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.005>
- Lampinen J, Ruokolainen K, Huhta A-P (2015) Urban Power Line Corridors as Novel Habitats for Grassland and Alien Plant Species in South-Western Finland. *PLoS ONE* 10(11):e0142236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142236>
- Lampinen J, Heikkinen RK, Manninen P, Rytteri T, Kuussaari M (2018) Importance of local habitat conditions and past and present habitat connectivity for the species richness of grassland plants and butterflies in power line clearings. *Biodiversity Conservation* 27:217-233. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1430-9>
- Langhamer O (2012) Artificial Reef Effect in relation to Offshore Renewable Energy Conversion: State of the Art. *The Scientific World Journal* 2012:386713. <https://doi.org/10.1100/2012/386713>
- Lee JM, Reiner GL (1983) Transmission line electric fields and the possible effects on livestock and honeybees. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 83:279-286. <https://doi.org/10.13031/2013.33920>
- Lehman RN, Kennedy PL, Savidge JA (2007) The state of the art in raptor electrocution research: A global review. *Biological Conservation* 136(2):159-174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.015>
- Lensu T, Komonen A, Hiltula O, Päivinen J, Saari V, Kotiaho JS (2011) The role of power line rights-of-way as an alternative habitat for declined mire butterflies. *Journal of Environmental Management* 92:2539-2546. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.019>

- Le Poidevin G (2003) *Approaches to the decommissioning of end-of-life oil filled cables. 17th International Conference on Electricity Distribution. Session 1, Paper No. 68, CIRED.* <http://www.cired.net/publications/cired2003/reports/R%201-68.pdf>
- Li X, Lin Y (2019) Do High-Voltage Power Transmission Lines Affect Forest Landscape and Vegetation Growth: Evidence from a Case for Southeastern of China. *Forests* 10(2):162. <https://doi.org/10.3390/f10020162>
- Linden B, Cuozzo FP, Sauter ML, Collinson Jonker W (2022) Impact of linear infrastructure on South Africa's primate fauna: the need for mitigation. *Folia Primatologica* 93(3-6):235-253. <https://doi.org/10.1163/14219980-20211112>
- Lohmann KJ, Lohmann CMF, Putman NF (2007) Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology* 210(21):3697-3705. <https://doi.org/10.1242/jeb.001313>
- Luken JO, Hinton AC, Baker DG (1991) Forest edges associated with power-line corridors and implications for corridor siting. *Landscape and Urban Planning* 20:315-324. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(91\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0169-2046(91)90005-7)
- Länsstyrelsen (2019) *Vild & Bortskämd - ett foderskapande samarbetsprojekt. Kraftledningsgata.* Exkursionsmaterial från projektet Vild & Bortskämd. https://www.lansstyrelsen.se/download/18.6a8f491016b944a8cbe290da/1617089212325/Exkursionsmaterial_kraftledningsgata.pdf
- Maffei ME (2014) Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science* 5:445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>
- Manville II AM (2016) Impacts to Birds and Bats Due to Collisions and Electrocutions from Some Tall Structures in the United States: Wires, Towers, Turbines, and Solar Arrays—State of the Art in Addressing the Problems. Sid. 415-442 i Angelici F (red.) *Problematic Wildlife*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22246-2_20
- Marshall R, Baxter R (2002) Strategic routing and environmental impact assessment for overhead electrical transmission lines. *Journal of Environmental Planning and Management* 45(5):747-764. <https://doi.org/10.1080/0964056022000013101>
- Martel J, Chang SH, Chevalier G, Ojcius DM, Young JD (2023) Influence of electromagnetic fields on the circadian rhythm: Implications for human health and disease. *Biomedical Journal* 46(1):48-59. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2023.01.003>
- Martin GR, Shaw JM (2010) Bird collisions with power lines: Failing to see the way ahead? *Biological Conservation* 143:2695–2702. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.014>
- Maxwell SM, Kershaw F, Locke CC, Conners MG, Dawson C, Aylesworth S, Loomis R, Johnson AF (2022) Potential impacts of floating wind turbine technology for marine species and habitats. *Journal of Environmental Management* 307:114577. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114577>
- Meissner K, Schabelon H, Bellebaum J, Sordyl H (2006) *Impacts of submarine cables on the marine environment – A literature review.* Federal Agency of Nature Conservation, Tyskland. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Meissner-et-al-2006.pdf>
- Mels T, Mels S (2014) *Deltagande landskapsanalys för vindkraft.* Naturvårdsverket rapport 6625. <https://www.naturvardsverket.se/4ac275/globalassets/media/publikationer-pdf/6600/978-91-620-6625-3.pdf>
- Mels S, Scholler S, Liljenfeldt J (2020) *Deltagandeprocesser kring vindkraftsprojekt – En guide för kommunikation och möten.* Rapport från Uppsala universitet Campus Gotland och Länsstyrelsen i Gotlands län. https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/vindlov/vindbrukskollen/deltagandeprocesser-kring-vindkraft_-en-guide-for-kommunikation-och-moten.pdf

- Miljösamverkan Sverige (2020) *Stöd till verksamhetsutövare vid förläggning av markkabel*. Rapport, Länsstyrelserna. <https://www.miljosamverkansverige.se/wp-content/uploads/stod-markkabel.pdf>
- Mitchell JW (2013) Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions. *Engineering Failure Analysis* 35:726-735. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.07.006>
- Mojica EK, Dwyer JF, Harness RE, Williams GE, Woodbridge B (2018) Review and synthesis of research investigating golden eagle electrocutions. *Journal of Wildlife Management* 82(3):495-506. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21412>
- Mueller CE, Keil SI, Bauer C (2019) Underground cables vs. overhead lines: Quasi-experimental evidence for the effects on public risk expectations, attitudes, and protest behavior. *Energy Policy* 125:456-466. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.053>
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10(2):58-62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Naisbett-Jones LC, Lohmann KJ (2022) Magnetoreception and magnetic navigation in fishes: a half century of discovery. *Journal of Comparative Physiology A* 208:19-40. <https://doi.org/10.1007/s00359-021-01527-w>
- Naturvårdsverket (2004) *Effekter av störningar på fåglar - en kunskapssammanställning för bedömning av inverkan på Natura 2000-objekt och andra områden*. Naturvårdsverket rapport 5351. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1836998/FULLTEXT01.pdf>
- Naturvårdsverket (2007) *God ljudmiljö... mer än bara frihet från buller*. Naturvårdsverket rapport 5709. <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/5700/978-91-620-5709-x.pdf>
- Naturvårdsverket (2020) *Sveriges arter och naturtyper i EU:s art- och habitatdirektiv. Resultat från rapportering 2019 till EU av bevarandestatus 2013-2018*. Rapport från Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/4ac60f/globalassets/media/publikationer-pdf/6900/978-91-620-6914-8.pdf>
- Naturvårdsverket (odat.) *Vägledning om elnätens påverkan på fåglar*. <https://www.naturvardsverket.se/4af3d6/contentassets/706b0efe8fb84000a611db5670841895/vagledning-om-elnatens-paverkan-pa-faglar.pdf>
- Navrud S, Ready RC, Magnussen K, Bergland O (2008) Valuing the social benefits of avoiding landscape degradation from overhead power transmission lines: do underground cables pass the benefit-cost test? *Landscape Research* 33(3):281-296. <https://doi.org/10.1080/01426390802045921>
- Nayak R, Karanth KK, Dutta T, Defries R, Karanth RU, Vaidyanathan S (2020) Bits and pieces: Forest fragmentation by linear intrusions in India. *Land Use Policy* 99:104619. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104619>
- Nedwell J, Howell D (2004) *A review of offshore windfarm related underwater noise sources*. Cowrie Report nr. 544 R 308. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:5208710>
- Nekola JC (2012) The impact of a utility corridor on terrestrial gastropod biodiversity. *Biodiversity Conservation* 21:781-795. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0216-8>
- Nickerson NH, Thibodeau FR (1986) The Effect of Power Utility Rights-of-Way on Wetlands. *Journal of Arboriculture* 12(2):53-55. <https://doi.org/10.48044/jauf.1986.012>
- Nickerson NH, Dobberteen RA, Jarman NM (1989) Effects of power-line construction wetland vegetation in Massachusetts, USA. *Environmental Management* 13(4):477-483. <https://doi.org/10.1007/BF01867681>

- Niemi GD, Hanowski JM (1984) Effects of a Transmission Line on Bird Populations in the Red Lake Peatland, Northern Minnesota. *The Auk* 101(3):7.
<https://digitalcommons.usf.edu/auk/vol101/iss3/7>
- O'Shea TJ, Cryan PM, Hayman DT, Plowright RK, Streicker DG (2016) Multiple mortality events in bats: A global review. *Mammal Review* 46:175-190.
<https://doi.org/10.1111/mam.12064>
- OSPAR (2012) Guidelines on Best Environmental Practice (BEP) in Cable Laying and Operation. *OSPAR Commission Agreement* 2012-2.
https://www.gc.noaa.gov/documents/2017/12-02e_agreement_cables_guidelines.pdf
- Ottvall R, Green M (2020) *Kraftledningars påverkan på fåglar – en syntesrapport*. Rapport, Lunds universitet.
<https://ottvall.com/onewebmedia/Syntesrapport%20Kraftledningar%2020200218.pdf>
- Owens ACS, Cochard P, Durrant J, Farnworth B, Perkin EK, Seymoure B (2020) Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241:108259.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- Pálsdóttir AE, Gill JA, Pálsson S, Alves JA, Méndez V, Þórisson B, Gunnarsson TG (2022) Effects of overhead power-lines on the density of ground-nesting birds in open sub-arctic habitats. *Ibis* 164:1257-1264. <https://doi.org/10.1111/ibi.13089>
- Paquet J-Y, Swinnen K, Derouaux A, Devos K, Verbelen D (2022) Sensitivity mapping informs mitigation of bird mortality by collision with high-voltage power lines. *Nature Conservation* 47:215-233.
<https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.73710>
- Persson E (2003) *Transmission line corridors as habitat for large herbivores*. Examensarbete, SLU.
- Pieńkowski P, Stoltman M, Zakrzewski B (2021) Location of overhead power lines within Bukowe Hills Mesoregion in relation to the assessment of forest area fragmentation. *Geomatics, Land Management and Landscape* 3:41-52.
<https://doi.org/10.15576/GLL/2021.3.41>
- Poikolainen T, Malinen J (2020) Management of border zone forests in transmission line corridors. *Baltic Forestry* 26(1):425. <https://doi.org/10.46490/BF425>
- Ponder AN, Côté E, Martin B, Marco F, Miller K, Holton M, Sandén J, Weinhold R, Bergmann I, Sunila K, Isojärvi P, Ekroos A, Hoffrichter A, Beckers T, Ott R, Bergaentzlé C, Pade L-L, Wallasch A-K, Kühne T, ... Wojcik M (2019) *Baltic InteGrid review: towards a meshed offshore grid in the Baltic Sea*. Final Report.
<http://www.baltic-integrid.eu/index.php/download.html>
- Pophof B, Henschenmacher B, Kattinig DR, Kuhne J, Vian A, Ziegelberger G (2023) Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. *Health Physics* 124(1):39-52.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36480584/>
- Powell AS, Lindquist ES (2011) Effects of power-line maintenance on forest structure in a fragmented urban forest, Raleigh, NC. *Southeastern Naturalist* 10:25-38.
<https://doi.org/10.1656/058.010.0103>
- Priestley T, Evans GW (1996) Resident perceptions of a nearby electric transmission line. *Journal of Environmental Psychology* 16(1):65-74.
<https://doi.org/10.1006/jevps.1996.0006>
- Prinsen HAM, Boere GC, Pires N, Smallie JJ (2011) *Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region*. CMS/AEWA Technical Series. Bonn, Germany.
https://www.cms.int/sites/default/files/document/mop5_38_electr_review_jkrev_0.pdf

- Pruett C, Patten MA, Wolfe HD (2009) Avoidance behavior by Prairie Grouse: implications for development of wind energy. *Conservation Biology* 23:1253-1259. <https://www.jstor.org/stable/40419698>
- PSC (odat.) Environmental Impacts of Transmission Lines. Rapport från Public Service Commission of Wisconsin. <https://psc.wi.gov/Documents/Brochures/Enviromental%20Impacts%20TL.pdf>
- Quant JM, Nowak CA, Dovciak M (2016) Human-based spread of invasive plants from power-line corridors in New York State. Sid. 87-96 i Proceedings från Environmental Concerns in Rights-of-Way Management 11th International Symposium. <https://www.rights-of-way.org/past-proceedings/>
- Reiter RJ (1993) Static and Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure: Reported Effects on the Circadian Production of Melatonin. *Journal of Cellular Biochemistry* 51:394-403. <https://doi.org/10.1002/jcb.2400510403>
- RGI (2019) Green electricity corridors in Europe – Integrated Vegetation Management (IVM): Status, roadblocks and ways forward. Renewables Grid Initiative, Berlin. https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Ecofirst_and_RGI_2019.pdf
- RGI (2024) Avian-Power Line Collision Overview of Risk Factors & Effectiveness of Wire Markers. Methodology report. Renewables Grid Initiative, Berlin. https://renewables-grid.eu/fileadmin/user_upload/Nature/3_Methodology_Report_1.pdf
- Richardson ML, Wilson BA, Aiuto DAS, Crosby JE, Alonso A, Dallmeier F, Golinski GK (2017) A review of the impact of pipelines and power lines on biodiversity and strategies for mitigation. *Biodiversity Conservation* 26:1801-1815. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1341-9>
- Rubino DL, Williams CE, Moriarity WJ (2002) Herbaceous layer contrast and alien plant occurrence in utility corridors and riparian forests of the Allegheny High Plateau. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 129:125-135. <https://doi.org/10.2307/3088726>
- Rubolini D, Gustin M, Bogliani G, Garavaglia R (2005) Birds and powerlines in Italy: An assessment. *Bird Conservation International* 15:131-145. <https://doi.org/10.1017/S0959270905000109>
- Rupprecht CDD, Byrne JA, Garden JG, Hero J-M (2015) Informal urban green space: A trilingual systematic review of its role for biodiversity and trends in the literature. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(4):883-908. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.009>
- SAEP/EWT (2022). Mainstreaming Wildlife Incident Management into Utilities in Southern Africa. Johannesburg: USAID Southern Africa Energy Program and the Endangered Wildlife Trust. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00ZD9W.pdf
- Savereno AJ, Savereno LA, Boettcher R, Haig SM (1996) Avian behavior and mortality at power lines in coastal South Carolina. *Wildlife Society Bulletin* 24:636-648. <https://www.jstor.org/stable/3783152>
- Sari F (2023) Identifying anthropogenic and natural causes of wildfires by maximum entropy method-based ignition susceptibility distribution models. *Journal of Forestry Research* 34:355-371. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01502-4>
- SCENIHR (2015) Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. https://health.ec.europa.eu/publications/potential-health-effects-exposure-electromagnetic-fields-emf_en
- Seitz RD, Wennhage H, Bergstrom U, Lipcius RN, Ysebaert T (2014) Ecological value of coastal habitats for commercially and ecologically important species. *VIMS Articles* 877. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/877>

- Shaw JM, Jenkins AR, Smallie JJ, Ryan PG (2010) Modelling power-line collision risk for the Blue Crane *Anthopoides paradiseus* in South Africa. *Ibis* 152:590-599. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01039.x>
- Shlisky A, Waugh J, Gonzalez P, Gonzalez M, Manta M, Santoso H, Alvarado E, Nuruddin AA, Rodríguez-Trejo DA, Swaty R, Schmidt D, Kaufmann M, Myers R, Alencar A, Kearns F, Johnson D, Smith J, Zollner D (2007) *Fire, ecosystems and people: threats and strategies for global biodiversity conservation*. The Nature Conservancy, Arlington, pp. 1–17. <https://www.researchgate.net/publication/259657820>
- Simpson VR, Hargreaves J, Butler HM, Davison NJ, Everest DJ (2013) Causes of mortality and pathological lesions observed post-mortem in red squirrels (*Sciurus vulgaris*) in Great Britain. *BMC Veterinary Research* 9:229. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-229>
- Slabbekoorn H, Bouton N, van Opzeeland I, Coers A, ten Cate C, Popper AN (2010) A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in ecology & evolution* 25:419-427. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.04.005>
- Smith JA, Dwyer JF (2016) Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *Condor* 118(2):411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- Smith MB, Aborn DA, Gaudin TJ, Tucker JC (2008) Mammalian predator distribution around a transmission line. *Southeastern Naturalist* 7:289-300. <https://www.jstor.org/stable/20203996>
- Soini K, Pouta E, Salmiovirta M, Uusitalo M, Kivinen T (2011) Local residents' perceptions of energy landscape: the case of transmission lines. *Land Use Policy* 28(1):294-305. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.06.009>
- Soja G, Kunsch B, Gerzabek M, Reichenauer T, Soja AM, Rippar G, Bolhar-Nordenkampf HR (2003) Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line. *Bio Electromagnetics* 24:91-102. <https://doi.org/10.1002/bem.10069>
- Stefánsson Þ, Sæþórsdóttir AD, Hall CM (2017) When tourists meet transmission lines: The effects of electric transmission lines on tourism in Iceland. *Energy Research & Social Science* 34:82-92. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.032>
- Stenmark M (2012) *Infrastrukturens gräs- och buskmarker. Hur stora arealer gräs och buskmarker finns i anslutning till transportinfrastruktur och bidrar dessa till miljömålsarbetet?* Jordbruksverket rapport 2012:36. <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/infrastrukturens-gras-och-buskmarker-hur-stora-arealer-gras-och-buskmarker-finns-i-anslutning-till-t.html>
- Strand O, Colman JE, Eftestøl S, Sandström P, Skarin A, Thomassen J (2018) *Vindkraft och renar, En kunskapssammanställning*. Naturvårdsverket rapport 6799. <https://www.naturvardsverket.se/publikationer/6700/vindkraft-och-renar/>
- Strålsäkerhetsmyndigheten (2008) *Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält*. SSMFS 2008:18. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/c4057ae5e05b4bf198e9fc8e6ae78bcb/ssmfs-200818-stralsakerhetsmyndighetens-allmanna-rad-om-begransning-av-allmanhetens-exponering-for-elektromagnetiska-falt.pdf>
- Sullivan TE, Charlton PM, Goodfellow JW (2023) Annotated Bibliography of Articles, Books, and Research Papers Related to Rights-of-Way Vegetation Management – 1950s to Present. Sid. 263-286 i *Proceedings från Environmental Concerns in Rights-of-Way Management 13th International Symposium*. rights-of-way.org/wp-content/uploads/2023/05/13th-International-Symposium_web.pdf
- Svenska Kraftnät (2014) *Elnät i fysisk planering; behandling av ledningar och stationer i fysisk planering och i tillståndsärenden*. Rapport från Svenska Kraftnät och Svensk

- Energi. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2015-och-aldre/elnat-i-fysisk-planering-webb.pdf>
- Svenska Kraftnät (odat.) *Elektriska fält – så fungerar de och så undviker du besvär*. Faktablad från Svenska Kraftnät. https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnetet/arbete-i-eletriska-falt/elektriska_falt_lag_v2.pdf
- Svenska Kraftnät (2024) *Långsiktig marknadsanalys; Scenarier för kraftsystemets utveckling fram till 2050*. Rapport från Svenska Kraftnät, Sundbyberg. https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2024/lma_2024.pdf
- Söderman T (2006) Treatment of biodiversity issues in impact assessment of electricity power transmission lines: A Finnish case review. *Environmental Impact Assessment Review* 26:319-338. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.10.002>
- Takatsuki S (1992) A case study on the effects of a transmission-line corridor on sika deer habitat use at the foothills of Mt Goyo, northern Honshu, Japan. *Ecological Research* 7:141-146. <https://doi.org/10.1007/BF02348492>
- Takhirov SM, Israilov MS (2020) Reduction of wildfire hazard by automated monitoring of vegetation interference with power lines: Point cloud analysis combined with cable mechanics. *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 10:947-956. <https://doi.org/10.1007/s13349-020-00426-z>
- Tangeland T, Aas Ø (2010) *Kraftinstallasjoner i naturområder – Effekter på turisme, friluftsliv og bruk av fritidsboliger - en litteraturstudie*. NINA Rapport 625. <https://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport%5C2010%5C625.pdf>
- Taormina B, Bald J, Want A, Thouzeau G, Lejart M, Desroy N, Carlier A (2018) A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96:380-391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026>
- Taylor-Brown A, Booth R, Gillett A, Mealy E, Ogbourne SM, Polkinghorne A, Conroy GC (2019) The impact of human activities on Australian wildlife. *PLoS ONE* 14:e0206958, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206958>
- Teixeira da Silva JA, Dobránszki J (2016) Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma* 253:231-248. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0820-7>
- Tella JL, Hernández-Brito D, Blanco G, Hiraldo F (2020) Urban sprawl, food subsidies and power lines: An ecological trap for large frugivorous bats in Sri Lanka? *Diversity* 12(3):94. <https://doi.org/10.3390/d12030094>
- Tempesta T, Vecchiato D, Girardi P (2014) The landscape benefits of the burial of high voltage power lines: A study in rural areas of Italy. *Landscape and Urban Planning* 126:53-64. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.03.003>
- Tidemann CR, Nelson JE (2011) Life expectancy, causes of death and movements of the grey-headed flying-fox (*Pteropus poliocephalus*) inferred from banding. *Acta Chiropterologica* 13:419-429. <https://doi.org/10.3161/150811011X624901>
- Travers MS (2023) Reducing collisions with structures. Sid. 379-401 i Young L, VanderWerf E (red.) *Conservation of Marine Birds*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88539-3.00004-2>
- Tyler N, Stokkan K-A, Hogg C, Nellemann C, Vistnes AI, Jeffery G (2014) Ultraviolet vision and avoidance of power lines in birds and mammals. *Conservation Biology* 28:630-632. <https://doi.org/10.1111/cobi.12262>
- Tyler NJC, Stokkan K-A, Hogg CR, Nellemann C, Vistnes AI (2016) Cryptic impact: Visual detection of corona light and avoidance of power lines by reindeer. *Wildlife Society Bulletin* 40:50-58. <https://doi.org/10.1002/wsb.620>
- UK BIS (2008) *Review of Cabling Techniques and Environmental Effects Applicable to the Offshore Wind Farm Industry*. Technical report, UK Department for Business Innovation & Skills (BIS).

- https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Cabling_Techniques_and_Environmental_Effects.pdf
- US EPA (2008) *Fact Sheet Integrated Vegetation Management*. US Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/ivm_fact_sheet.pdf
- Vaitkuviene D, Dagys M (2014) Possible effects of electromagnetic field on white storks *Ciconia ciconia* breeding on lowvoltage electricity line poles. *Zoology and Ecology* 24:289-296. <https://doi.org/10.1080/21658005.2014.962783>
- Vetenskapsrådet (2004) *Forskning om hälsoeffekter av elektromagnetiska fält. En analys av kvalitet, inriktning och problem*. Rapport från Vetenskapsrådet. https://www.vr.se/download/18.2412c5311624176023d25ad3/1529480531436/Forskning-om-haelsoeffekter-magnetiska-faelt_VR_2004.pdf
- Wagner DL, Metzler KJ, Leicht-Young SA, Motzkin G (2014) Vegetation composition along a New England transmission line corridor and its implications for other trophic levels. *Forest Ecology and Management* 327:231-239. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.026>
- Wagner DL, Metzler KJ, Frye H (2019) Importance of transmission line corridors for conservation of native bees and other wildlife. *Biological Conservation* 235:147-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.042>
- Walker MM, Dennis TE, Kirschvink JL (2002) The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology* 12(6):735-744 [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00389-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00389-6).
- Weedy BM (1989) Environmental aspects of route selection for overhead lines in the U.S.A. *Electric Power Systems Research* 16(3):217-226. [https://doi.org/10.1016/0378-7796\(89\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0378-7796(89)90014-X)
- Westerberg H, Lagenfelt I (2008) Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fisheries Management and Ecology* 15(5-6):369-375. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00630.x>
- Williams CE (1995) Effects of power line corridors on forest ecosystem integrity. Sid. 76-86 i Majumdar SK, Miller EW, Brenner FJ (red.) *Environmental Contaminants, Ecosystems and Human Health*. Pennsylvania Academy of Science. https://www.academia.edu/3292002/Effects_of_powerline_corridors_on_forest_ecosystem_integrity
- Willyard CJ, Tikalsky SM (2008) Research Gaps Regarding the Ecological Effects of Fragmentation Related to Transmission-Line Rights-of-Way. Sid. 521-527 i Goodrich-Mahoney JW, Abrahamson LP, Ballard JL, Tikalsky SM (red.) *Environmental Concerns in Rights-of-Way Management: Eighth International Symposium*. Elsevier, UK. <https://www.rights-of-way.org/wp-content/uploads/2019/10/8TH-INTERNATIONAL-SYMPOSIUM.pdf>
- Wojcik VA, Buchmann S (2012) A review of pollinator conservation and management on infrastructure supporting rights-of-way. *Journal of Pollination Ecology* 7(3):16-26. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2012\)5](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2012)5)
- Wyman MT, Klimley AP, Battleson RD, Agosta TV, Chapman ED, Haverkamp PJ, Pagel MD, Kavet R (2018) Behavioral responses by migrating juvenile salmonids to a subsea high-voltage DC power cable. *Marine Biology* 165:134. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3385-0>
- Yahner RH, Bramble WC, Byrnes RR (2001) Response of amphibian and reptile populations to vegetation maintenance of an electric transmission line right-of-way. *Journal of Arboriculture* 27(4):215-221. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2012\)5](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2012)5)
- Yee ML, Spiegel LK (2008) *Testing the effectiveness of an avian flight diverter for reducing avian collisions with distribution power lines in the Sacramento Valley*,

- California*. Report to California Energy Commission.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:198119402>
- Zinn TL, Baker WW (1979) Seasonal migration of the hoary bat, *Lasiurus cinereus*, through Florida. *Journal of Mammalogy* 60:634-635.
<https://doi.org/10.2307/1380110>
- Öhman MC, Rajasuriya A (1998) Relationships between habitat structure and fish communities on coral and sandstone reefs. *Environmental Biology of Fishes* 53:19-31. <https://doi.org/10.1023/A:1007445226928>
- Öhman MC, Sigra P, Westerberg H (2007) Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. *Ambio* 36(8):630-633. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[630:OWATEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[630:OWATEO]2.0.CO;2)



SCIENCE AND
EDUCATION **FOR**
SUSTAINABLE
LIFE