

Miljöeffekter av elnät

En förstudie

Rapporten är framtagen av SLU Centrum för biologisk mångfald på uppdrag av
Energimyndigheten
Författare: Jan Olof Helldin, Mari Kågström, SLU Centrum för biologisk mångfald

Statens energimyndighet, mars 2023

Förord

SLU har på uppdrag av Energimyndigheten inom ramen för forskningsprogrammet Vindval genomfört en förstudie om miljöeffekter av elnät. Forskningsprogrammet Vindval finansieras av Energimyndigheten och drivs av Naturvårdsverket.

I förstudien ingår en översiktlig genomgång av kunskapsläget, främst via existerande ämnesvisa kunskapssammanställningar över samtliga idag uppmärksammade miljöeffekter och en första ansats att väga deras betydelse för att uppfylla miljömål och miljölagstiftning. Här inkluderas mål för biologisk mångfald (djur och växter), renskötsel, hälsa, landskap, kulturmiljö, mark och vatten. Även elledningarnas positiva potentialer, kumulativa effekter och effekter på landskapsnivå adresseras.

Syftet med förstudien är att identifiera kunskapsbrister och osäkerheter, samt föreslå inriktning för ett framtida syntesarbete med medverkan från olika expertområden, där olika effekter bättre kan värderas och åtgärdsnivåer föreslås.

Rapporten har skrivits av Jan Olof Helldin och Mari Kågström, båda vid SLU.

Författarna svarar för innehållet.

Mars 2023

Kerstin Jansbo
Programchef, Vindval
Naturvårdsverket

Fredrik Svartengren
Enhetschef
Energimyndigheten

Innehåll

Sammanfattning	7
1 Inledning	9
Faktaruta Elnät.....	11
2 Metod för insamling av underlag	12
3 Rapportens avgränsning och struktur	14
4 Naturmiljö och biologisk mångfald	15
4.1 Ledningsdöd för fåglar – kollision med ledningar och strömgenomföring	15
4.2 Fragmentering av skog	15
4.3 Nya gräs- och buskmarker	16
4.4 Spridning av främmande arter.....	17
4.5 Störningar från ledningar – buller/ljud, synintryck, ljusförorening	18
4.6 Elektromagnetiska fält	19
4.7 Störningar från mänsklig närvaro.....	19
4.8 Effekter på mark, jord och vatten.....	20
4.9 Effekter på botten i akvatiska miljöer	20
5 Människors intressen	22
5.1 Elektromagnetiska fält	22
5.2 Buller och vibrationer	22
5.3 Rekreation och friluftsliv	23
5.4 Landskap, landskapsbild och kulturmiljö	23
5.5 Hälsa och välbefinnande i övrigt.....	24
6 Renskötsel	26
7 Diskussion och förslag till fortsatt arbete	28
8 Referenser	32

Sammanfattning

Det svenska energisystemet står inför stora förändringar, som ställer krav på förnyat och utvecklat elnät. Byggande, avveckling och drift av elnät ger upphov till miljöeffekter. Elnät kan ha mycket olika spänningsnivåer, anläggas i mark, luft och vatten och gå genom många olika naturtyper, olika långt från bebyggelse och samverka med andra påverkansfaktorer (kumulativa effekter). Det innebär att de kan ge upphov till många olika typer av effekter, och av olika stor betydelse, för biologisk mångfald och människors intressen.

Dagens kunskapsläge skulle kunna beskrivas som obalanserat. I stort saknas övergripande sammanställningar av olika möjliga miljöeffekter av elnät för svenska/skandinaviska förhållanden. Elnät finns ibland med som en del i olika tematiska kunskapssynteser om till exempel vindkraft. Oftast särskiljs inte miljöeffekter från olika ledningstyper på ett tydligt sätt i olika kunskapsunderlag, vilket försvårar jämförelser mellan dessa.

Vissa miljöeffekter är relativt väl belagda, såsom ledningsdöden för fåglar (påflygning och strömgenomföring) och att ledningsgatorna kan skapa nya livsmiljöer för gräsmarksarter. På liknande sätt är hälsoeffekter av elektromagnetiska fält sedan länge studerat. För andra finns ett mer begränsat kunskapsunderlag specifikt kopplat till elnät. För ekologiska aspekter som; i) fragmentering av skog, inklusive habitatförlust och barriäreffekter för skogslevande arter, ii) spridning av främmande arter längs kraftledningar, iii) störningar av från buller, ljusföroreningar och synintryck av luftledningar, och iv) effekter av elektriska och magnetiska fält, behövs mer fördjupad syntes av nuvarande kunskapsläge och teoretisk bakgrund.

För aspekterna kopplade till människors oro och subjektiva upplevelser; oro för elektromagnetisk strålning, önskad visuell förändring av landskapet och andra typer av inskränkningar, finns behov av forskning som fokuserar på människors riskupplevelse och attityder till elnät och kringliggande frågor.

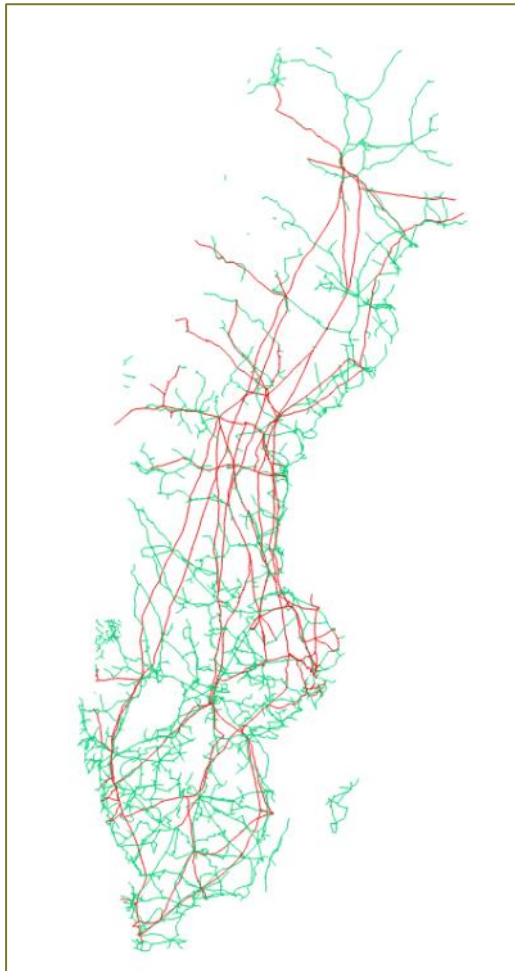
För att hantera miljöeffekter på ett bra sätt i planerings- och tillståndsprocesser behövs ett bättre kunskapsunderlag. I den här rapporten görs en ansats att översiktligt redovisa idag kända miljöeffekter av elledningar. Rapporten ger en överblick över miljöeffekterna och en bättre förståelse för problematik och förutsättningar. Rapporten utgör därmed en förstudie och riktninggivare inför de fördjupade kunskapssammanställningar och den forskning som kommer att behövas på området.

Förstudien bygger främst på en genomgång av existerande ämnesvisa kunskapsammansättningar. Material har samlats genom att använda fem olika ingångar; i) intervjuer av fem yrkesverksamma inom bransch och myndighet, ii) myndigheters hemsidor, iii) syntesrapporter från forskningsprogrammet Vindval, iv) rapporter från myndigheter och verksamhetsutövare i Sverige, med hjälp av internetsökmotorn Google, och v) en begränsad sökning av vetenskaplig litteratur via databasen ISI Web of Science.

Denna förstudie ska, precis som en miljökonsekvensbeskrivning, hantera en mängd miljöeffekter med olika orsakssamband och olika sätt att förstå och värdera betydelsen av en effekt. För vissa miljöeffekter finns stora likheter med exploatering eller markanvändning för andra ändamål. För att kunna dra nytta av dessa erfarenheter för elnät, och för att olika effekter bättre ska kunna värderas och åtgärdsnivåer föreslås, behövs inför eventuella kommande satsningar medverkan från olika expertområden. Här ingår även att sammanställa de erfarenheter och kunskaper som byggts upp hos olika aktörer inom branschen och samhället för att underlätta utvärdering och bredare nyttjande.

1 Inledning

Det svenska energisystemet står inför stora förändringar. En ökad elektrifiering leder till ökat el- och effektbehov¹. Detta tillsammans med mer varierande kraftproduktion, högre effektivitetskrav och större inslag av förnybar elproduktion ställer krav på förnyat och utvecklat elnät. Det är ännu oklart inom vilka geografiska områden framtida elproduktion kommer vara störst – om till havs, längs kusten, Norrlands inland, södra Sveriges jordbruksbygd eller bebyggda områden. Det är också oklart var de stora elförbrukarna kommer vara lokaliserade eller var kraftlagring kommer kunna ske. Det är dock rimligt att anta att ett stort antal nya större och mindre kraftledningar kommer anläggas över hela landet, i alla slags landskap, och att även befintligt elnät behöver uppgaderas.



Det svenska transmissionsnätet (rött) är totalt ca 1 500 mil och regionnätet (grönt) ca 3 100 mil utgör, eller 3% resp. 6% av det totala elnätets ca 50 000 mil.

Vid planering och tillstånd för nya elledningar krävs ofta någon form av miljöprövning². Både bransch och myndigheter beskriver att det finns en oförutsägbarhet i prövningsprocesserna vad gäller vilka krav som kommer att ställas för utredning av och anpassningar för olika miljöeffekter³. Det

¹ Klimaträttsutredningen (2022).

² Se till exempel Klimaträttsutredningen (2022).

³ Uttryckt bland annat inom referensgruppen för forskningsprogrammet Vindval.

kan till exempel handla om vilken nivå som är rimlig för inventering och i vilka områden som inventeringar är rimliga att göra, och vilka typer av åtgärder som är lämpliga. Det upplevs även finnas visst godtycke kring när olika anpassningar och åtgärder krävs för elektromagnetisk strålning, eller människors oro kopplad till elledning. Det anses att detta bland annat beror på att det finns stora kunskapsbrister kring (och olika syn på) vilka miljöeffekter som uppstår, hur de ska utredas och värderas samt vilka åtgärder som kan göras för att mildra negativa eller ta till vara på eventuella positiva miljöeffekter. Situationen är i stort sett densamma internationellt⁴. Oavsett miljöprovning bör alla kraftledningar, ledningsgator, kablar och så vidare anläggas och underhållas med minsta negativa effekter på miljön och med bästa tillvaratagande av elnätets positiva potentialer.

Vissa miljöeffekter är relativt väl belagda, såsom ledningsdöden för fåglar och att ledningsgatorna kan skapa nya livsmiljöer för gräsmarksarter. På liknande sätt är hälsoeffekter av elektromagnetiska fält sedan länge studerat. Man kan dock förvänta sig effekter även på andra djur och växter, på mark- och vattenresurser, och på människors intressen såsom kulturmiljö och landskapsbild. Betydelsen av effekterna kan antas skilja sig beroende på storlek och typ av ledning (luft, mark, vatten), del av landet, dominerande naturtyp, närhet till bostadsområden, lokal respektive regional skala, samt samverkan med andra påverkansfaktorer (kumulativa effekter). Möjligheter finns att kombinera olika markintressen och att stärka exempelvis ledningsgatornas positiva potentialer. För att effektivisera miljöprovningen utan att äventyra miljömålen, för mer förutsägbara planeringsprocesser och för att kunna välja alternativ som påverkar miljön minst, behövs bland annat bättre kunskapsunderlag.

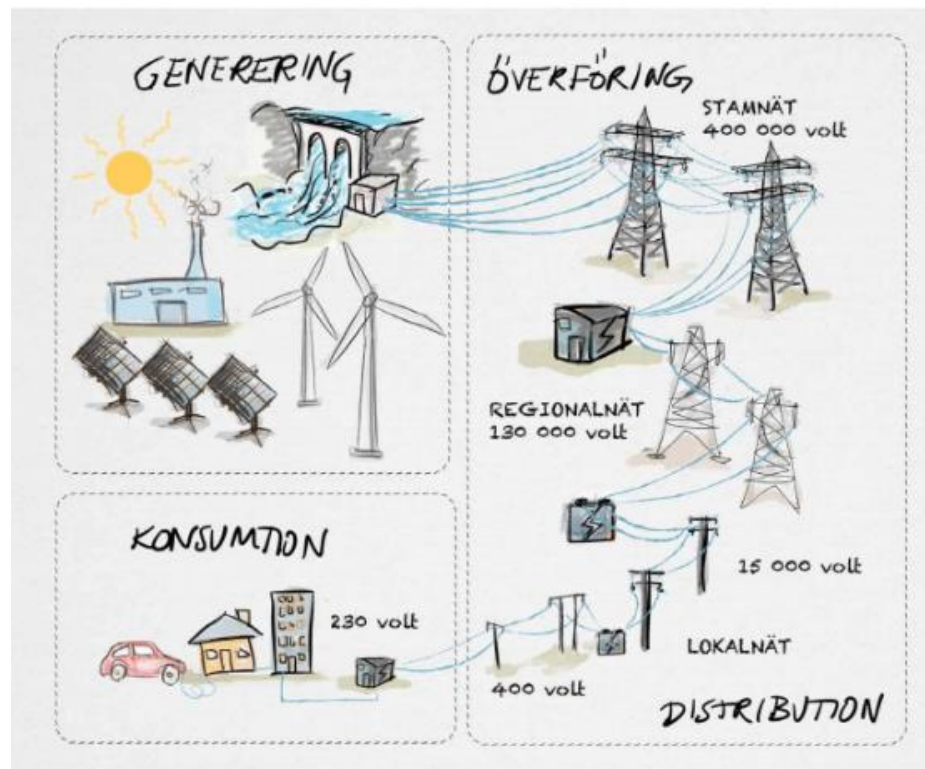
I den här rapporten gör vi en ansats att översiktligt redovisa idag kända miljöeffekter av elledningar (luftledningar, kabel i mark och vatten) samt av elnätet i sin helhet. Rapporten ger en överblick över miljöeffekterna och en bättre förståelse för problematik och förutsättningar. Rapporten utgör därmed en förstudie och riktninggivare inför de fördjupade kunskapssammanställningar och den forskning som kommer att behövas på området.

⁴ Biasotto & Kindel (2018)

Faktaruta Elnät

Elnätet är den infrastruktur som gör det möjligt att transportera elektricitet från producent till konsument. Elnätet består av komponenter som luftledningarna, kablar i mark och vatten, samt transformator- och nätstationer med kopplingsanordningar och omvandlare. Elnätet delas in i transmissionsnät (även kallat stamnät) och distributionsnät (regionnät och lokalnät). 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 (230 V i våra eluttag).

Elnätets totala längd i Sverige har legat relativt stabil under de senaste decennierna, drygt 50 000 mil varav lokalnätet utgör >90%. Utöver transmissions- och distributionsnätet finns i Sverige drygt 1 100 mil elektrifierad järnväg. Den pågående utvecklingen av nya elproduktionslag, lagrings- och laddinfrastruktur, fordon, transportinfrastruktur, elkrävande industri m.m. kommer sannolikt innebära behov av nya ledningar inom såväl transmissions- som distributionsnätet. Det existerande elnätet kan också behöva uppgraderas för att bättre svara mot nya krav på flexibilitet och balans.



Illustration⁵ från Bertling Tjernberg (2022).

⁵ Licensierad under en Creative Commons Erkännande-IckeKommersiell-DelaLika 4.0 Internationell Licens.

2 Metod för insamling av underlag

Vi använde följande underlag eller ingångar för att sammanställa nuvarande kunskapsläge, och för att identifiera ett mindre antal centrala referenser som tillsammans kunde ge en översikt över olika miljöeffekter:

1. Vi intervjuade fem yrkesverksamma inom bransch (ledningsägande företag) och myndighet (Svenska kraftnät, Länsstyrelse). Informanterna är personer som ingått i referensgruppen för Vindvalsprogrammet⁶, och de hade också föreslagits av Vindvalskansliet. Avsikten med intervjuerna var att få en första bild av vad de uppfattar som viktiga miljöeffekter av elnät, vilket kunskapsunderlag de använder idag och aktuella kunskapsbrister eller andra utmaningar i miljöprövningsarbetet. Intervjuerna var av typen semi-strukturerade⁷ utifrån huvudfrågorna:

- Vad ser du som viktiga miljöeffekter av elnät och hur jobbar ni med de frågorna idag?
- Finns det miljöeffekter som är svåra att hantera?
- Finns det miljöeffekter som du anser att det saknas tillräckligt kunskapsunderlag för?
- Ser du andra utmaningar för att underlätta arbetet med miljöeffekter från elnät?

2. Vi sökte följande myndigheters hemsidor via deras respektive allmänna sökfunktion med sökorden *kab** (kabel, kablar), *elledning* och *elnät*: Boverket, Energimarknadsinspektionen, Energimyndigheten, Folkhälsomyndigheten, Havs- och vattenmyndigheten, Naturvårdsverket, Riksantikvarieämbetet, Strålsäkerhetsmyndigheten och Svenska kraftnät.

3. Vi sökte igenom syntesrapporter från forskningsprogrammet Vindval via sökorden *ledning* och *kab** (kabel, kablar), eftersom vi visste att flera av dessa kunskapsinsamlingar även omfattat vissa effekter av elnät.

4. Vi sökte rapporter från myndigheter och verksamhetsutövare i Sverige med hjälp av internetsökmotorn Google. Sökning gjordes inte på sökord utan utgick istället från de referenser som framkommit genom arbetet i punkterna 1-3.

⁶ <https://www.naturvardsverket.se/vindval>

⁷ Kvale och Brinkmann (2009)

5. Vi genomförde en begränsad sökning av vetenskaplig litteratur inom området via databasen ISI Web of Science. Sökning gjordes här inte på sökord utan utgick istället från ett mindre antal relevanta vetenskapliga artiklar refererade till i rapporterna ovan eller kända för oss sedan tidigare. Vi gick igenom referenslistorna i dessa, samt även de senare artiklar där de i sin tur har citerats, proceduren upprepad med de nya relevanta artiklar vi hittade och så vidare⁸.

Intervjuerna genomfördes i maj-juni 2022, sökningarna huvudsakligen under juni 2022-januari 2023. En preliminär version av rapporten lästes av informanterna (pkt 1 ovan) samt av representanter för Vindvals kansli, för att säkerställa att vi inte missat några centrala rapporter eller aspekter.



Nyanlagd kraftledning i skogsterräng, Lindesberg. Foto J-O Helldin.

⁸ S.k. snowballing, se exvis <https://libguides.ru.nl/literaturesearch/snowball>

3 Rapportens avgränsning och struktur

Miljö är enligt miljöbalken ett brett begrepp, och det finns många olika typer av miljöeffekter. Aspekter som ska beaktas i miljöbedömning är:

- befolkning och människors hälsa,
- skyddade djur- eller växtarter och biologisk mångfald i övrigt,
- mark, jord, vatten, luft, klimat, landskap, bebyggelse och kulturmiljö,
- hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt,
- annan hushållning med material, råvaror och energi

Miljöeffekter kan vara till exempel vara negativa, positiva, direkta, indirekta, tillfälliga, bestående eller kumulativa. Miljöeffekter kan uppstå på både kort och lång sikt under byggskede, drift, underhåll och avveckling av elnät.

Den här förstudien är begränsad till att omfatta effekter i det fysiska landskapet, det vill säga, påverkan på biologisk mångfald, ekosystem och människors intressen i landskapet såsom hälsa, rekreation, kulturmiljö och landskapsbild.

Vi har valt att dela upp rapporten i huvuddelarna naturmiljö respektive människors intressen, trots att det finns flera likheter i hur människor och djur/natur påverkas och att det dessutom finns synergier. Exempelvis kan buller och förlust av skog påverka både biologisk mångfald, landskapsbild och människors möjlighet till rekreation, och en ökad tillgänglighet till skogsområden gynnar friluftslivet men kan störa djur. Likheter och synergier gör att rapporttexten blir i någon mån upprepande. Vi har därtill lagt effekter på renkötsel som en separat del, delvis på grund av att den utgör en effektiv illustration av betydelsen av kumulativa effekter.

Trots stora skillnader i kunskapsläge och tillgänglig litteratur mellan olika typer av möjliga miljöeffekter har vi försökt åstadkomma en balans i hur de beskrivs. Flera av de litteraturreferenser som citeras i texten har vi valt för att de utgör kunskapssammanställningar, i första hand med fokus på svenska eller skandinaviska förhållanden. Kunskapssammanställningarna syntetiserar tillgänglig vetenskaplig litteratur, tekniska rapporter etc. och utgör därför en bra ingång till respektive område eller frågeställning. I de fall kunskapssammanställningar saknas refererar vi i möjligaste mån till tillgänglig information från myndigheter. Rapporten omfattar inte en fullständig litteraturöversikt. Självklart finns i de flesta fall många fler referenser; empiriska studier, teoretiska arbeten och fler översikter, varav en del går att hitta i kunskapssammanställningarnas referenslistor.

4 Naturmiljö och biologisk mångfald

4.1 Ledningsdöd för fåglar – kollision med ledningar och strömgenomföring

Fågeldödlichkeit 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 i Sverige finns väl sammanfattat⁹. De fågelarter som är mest utsatta för att kollidera med ledningar är sådana med sämre manövreringsförmåga i luften, såsom svanar, gäss, änder, storkar, tranor, hönsfåglar och vissa vadararter. Strömgenomföring drabbar främst arter som använder ledningsstolpar som bo- eller sittplats, såsom rovfåglar, ugglor, storkar och kråkfåglar. Troligen är de flesta fåglar som dödas vanliga arter utan större konsekvenser för artbevarande. 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.

I Sverige förekommer strömgenomföring av fåglar främst i lokalnätet¹⁰. Flest kollisioner med ledningar sker i områden där många fåglar uppehåller sig, exempelvis våtmarker, längs kusterna, större vattendrag och bergsryggar. Längs frekventa flygstråk är riskerna särskilt stora. Effektiva åtgärder för att minska riskerna för fåglar att dö vid luftledningar och stolpar är fågelavvisare på ledningar (för att göra ledningarna lättare att upptäcka på håll) och bättre isolerade ledningar och transformatorer, men effektiviteten varierar mellan olika artgrupper och ingen av åtgärderna eliminerar risken helt. Markläggning av ledning och markbyggda transformatorer kan också bidra till färre dödade fåglar i elnätet som helhet. Det saknas idag vetenskapligt stöd för att anpassad lokalisering och val av luftledningstyp skulle kunna minska ledningsdöden för fåglar.

Fladdermössen som också är flygande arter, och är alla skyddade enligt lag, är små arter och genomgående mycket bra på att manövrera i luften. Vi har inte hittat några uppgifter om ledningsdöd för fladdermöss.

4.2 Fragmentering av skog

Kraftledningsgator i skogsmark innebär att skog huggs ner, i första steget bildas ett kalhygge men med den långsiktiga skötseln bildas normalt sett

⁹ Ottvall & Green (2020). Referensen gäller hela stycket.

¹⁰ ibid.

en blandning av ungskog, buskmark och gräsmark. Förlusten och fragmenteringen av skog är rent allmänt ett av de främsta hoten mot artbevarande i Sverige¹¹. Skogsfragmenteringen beror på många faktorer, främst kalhyggesbruk och övrigt skogsbruk men även vägar, jordbruk, bebyggelse m.m., och existerande och nya kraftledningsgator bidrar. Omvandling av skog till mer öppen mark innebär för skogsbundna arter en direkt förlust av livsmiljö (arealförlust), barriäreffekter, risk för isolerade bestånd, samt kanteffekter i intilliggande kvarvarande skog¹². Jämfört med effekter av kalhyggesbruket är effekterna av kraftledningsgator på förlusten av skogsbiotoper och skogslevande arter bristfälligt studerade.

Även om de mest värdefulla skogarna kanske kan undvikas vid val av ledningskorridor så kan effekter ändå finnas på artbevarande genom en försämring av det övriga skogslandskapet, som också har en viktig stödfunktion för många hotade skogsarter. Många skogslevande arter kan förstås lätt ta sig förbi en kraftledningsgata, men inte alla, och artgrupper som kan förväntas uppleva barriäreffekter och isolering är en del mindre däggdjur, insekter, fågelarter, mossor, lavar och kärlväxter¹³. Kanteffekterna i kvarvarande skog kan bestå av exempelvis förändrat lokalklimat, förändrad vegetationssammansättning och ökad predation; effekter som kan sträcka sig tiotals till hundratals meter in i skogen¹⁴.

En översiktlig beräkning ger vid handen att nuvarande kraftledningsgator kan utgöra ca 800 000 ha¹⁵ av Sveriges 28 miljoner ha skogsmark, eller ca 3%. Detta är å ena sidan ingen stor andel, men det handlar till skillnad från kalhyggen om permanent mer eller mindre öppna ytor, som visserligen är smala men långsträckta och därför inte kan ”rundas” av de arter som vill passera. Räknas sedan kanteffekter in blir andelen skogsmark som påverkas av ledningsgator betydligt högre. Förlust av skogsbiotop och fragmenteringseffekter kan alltså vara en betydande konsekvens av det svenska elnätet, som behöver studeras bättre. Effekterna kan förmodligen mildras genom anpassad skötsel av ledningsgatorna, exempelvis skapande av bryn för att minska kanteffekterna och försiktig röjning eller anläggande av buskmark för att underlätta passage för skogsarter.

4.3 Nya gräs- och buskmarker

Den andra sidan av förlusten av skogsmark är att nya livsmiljöer skapas för de arter som gynnas av gräsmarker, buskmarker och ungskog¹⁶. Denna positiva effekt av ledningsgator har fått mycket uppmärksamhet inom

¹¹ Naturvårdsverket (2020)

¹² Willyard & Tikalsky (2008), Ball (2012), Bartzke m.fl. (2014)

¹³ Ball (2012), Richardson m.fl. (2017), Biasotto & Kindel (2018)

¹⁴ ibid.

¹⁵ Egen beräkning som bygger på ett antal förenklade antaganden om bredd för olika typer av ledningsgator samt genom vilka naturtyper de går.

¹⁶ Bartzke m.fl. (2014), Berg m.fl. (2015), Ottvall & Green (2020)

forskning och naturvård på senare tid, mycket på grund av att ledningsgatorna härbärgerar många av jordbrukslandskapets försvinnande arter och kan utgöra refuger och spridningskorridorer för dessa¹⁷. I många fall består skogsmark i Sverige av tidigare betesmark, där förutsättningarna kan vara extra lämpliga för gräsmarksarter. Även markstörningar med blottad sand och jord kan vara gynnsamma exempelvis för tidiga successionsarter.

Exempel på artgrupper som kan trivas i kraftledningsgator är många kärlväxter, pollinerande insekter, fåglar och reptiler¹⁸. Ledningsgatorna kan få ett mikroklimat med solexponering och lä som är särskilt gynnsamt för vissa; det finns exempel på starkt hotade insektsarter som har sina bästa bestånd i ledningsgator. Fågelfaunan kan gynnas av ledningsgatornas variation och kantzoner. Skogslevande klövvilt kan ibland undvika öppna ledningsgator (se även nedan under störningar), men i andra fall attraheras av betet i den regelbundet röjda ungskogen och i kantzoner, med närhet till skydd i intilliggande skog¹⁹. Det har också beskrivits att älg och ren kan använda kraftledningsgator som vandringskorridorer. Även rovdjur kan attraheras av öppna ledningsgator genom skogsmark och rovfåglar kan använda stolpar för att sitta och spana efter byte²⁰.

Totala arealen hävdade gräsmarker i ledningsgator i Sverige beräknas till 14 000 ha, hävdade buskmarker till 210 000 ha²¹; endast 2-5% av dessa klassas idag som artrika men betydligt större andel har potential att bli artrik med anpassad skötsel. Ungskog och sly i ledningsgator kan skötas för bästa viltbete och därmed minskad risk för betesskador på skog²².

4.4 Spridning av främmande arter

Störd och nyanlagd mark är ofta känslig för etablering av invasiva växter²³, medan maskiner och transport av jord, sten och emballage kan innebära en introduktion och spridning av invasiva arter²⁴. Detta kan i viss utsträckning gälla längs kraftledningar och strukturer i elnätet i samband med anläggningen²⁵. Även i akvatiska miljöer kan nya substrat längs kabel skapa livsmiljö och spridningsväg för invasiva arter, även om det i dagsläget saknas vetenskapliga studier som belägger detta i svenska vatten²⁶. Kunskaperna om förekomst och bekämpning av invasiva arter är ännu begränsade, och därmed också kunskap om hur frågan kan hanteras specifikt för kraftledningar och elnät i övrigt. Begränsning av invasiva

¹⁷ Berg m.fl. (2015)

¹⁸ Berg m.fl. (2015), Richardson m.fl. (2017), Ottvall & Green (2020)

¹⁹ Bartzke m.fl. (2014)

²⁰ Smith m.fl. (2008), Bartzke m.fl. (2014)

²¹ Stenmark (2012)

²² EPRI (2002), Bartzke m.fl. (2014)

²³ Lampinen m.fl. (2015)

²⁴ Ebenhard (2019)

²⁵ Lampinen m.fl. (2015)

²⁶ Bergström m.fl. (2022)

arter är dock viktig rent allmänt för naturvärden och kan behöva beaktas även för anläggning och underhåll av elnät.

4.5 Störningar från ledningar – buller/ljud, synintryck, ljusförorening

Kraftledningar är i driftfasen å ena sidan inga betydande källor till buller och ljusföroreningar; betydligt mindre än exempelvis trafik, täktverksamhet, vindkraft eller urbana områden. Men luftledningar kan under vissa omständigheter alstra ljud och ljus som kan uppfattas av djur och kan upplevas som artificiellt och hotfullt²⁷. Det mest uppmärksammade är den så kallade coronaeffekten, små urladdningar som leder till att ett knastrande ljud och en mängd småblixtar eller ljusglitter avges av oisolerade högspänningsledningar, huvudsakligen bortom vad som är möjligt att uppfatta för människan men inom det hör- och synbara för många djur²⁸. Bland de arter som troligen kan uppfatta coronaeffekten finns däggdjur, fåglar och insekter, eftersom många av dessa har en syn som sträcker sig in i det ultravioletta området och/eller en hörsel som omfattar ultraljud. Vid kraftig blåst kan också artificiellt ljud uppkomma på grund av vibrationer i ledningar och stag.

Effekter av buller, ljus och synintryck från ledningar är mycket bristfälligt studerade och de få resultaten är varierande och svårtolkade. I vissa studier har klövdjur (vildren, tamren, vitsvanshjort och älg) visats undvika kraftledningar och ledningsgator upp till mycket stora avstånd (2-4 km), men om detta beror på själva ledningarna, på skillnader i vegetation, mänskliga störningar eller något annat är svårt att sluta sig till²⁹. I andra studier har inga undvikandeeffekter kunnat påvisas och som nämns ovan kan klövvilt och ren också attraheras av ledningsgator och använda dem som vandringskorridor. På motsvarande sätt har vissa studier av större fågelarter (gäss, trappar och hönsfåglar) indikerat ett undvikande av luftledningar i öppen mark på avstånd motsvarande några tiotal eller hundratal meter samt undvikandebeteenden i flykt, men även för fåglar är resultaten varierande och de flesta arter störs troligen inte av ledningarna³⁰.

Man ska dock vara försiktig med att sluta sig till att störningseffekter saknas, eftersom djur kan uppehålla sig i områden även om de uppfattas som otrygga eller på annat sätt inte optimala. Ökad stress skulle då istället kunna noteras, via förändrat beteende eller fysiologi såsom ökad hjärtfrekvens eller ändrade hormonnivåer, med åtminstone i teorin möjliga effekter på reproduktion och överlevnad.

²⁷ Bartzke m.fl. (2014)

²⁸ ibid.

²⁹ Bartzke m.fl. (2014), Strand m.fl. (2017)

³⁰ Biasotto & Kindel (2018), Ottvall & Green (2020)

4.6 Elektromagnetiska fält

Elektromagnetiska fält kring ledningar, kablar och transformatorer kan påverka inte bara människor (se nedan) utan även djur, exempelvis tamdjur, vilt, marina däggdjur och fisk³¹. Fältstyrkan sjunker snabbt med avståndet från ledningen och nivåerna som djur utsätts för under luftledning är oftast låga. Vid markförlagd ledning är magnetfältet lägre. En del försök på tamdjur (nöt) har noterat smärre fysiologiska förändringar av elektromagnetiska fält, exempelvis ändrade hormonnivåer, minskat födointag och minskad mjölkproduktion, men studierna har oftast gjorts vid relativt höga nivåer, och resultaten är dessutom varierande och inga tydliga slutsatser går att dra³². I vilken utsträckning vilda djur i terrestra miljöer påverkas är ännu svårare att säga; möjligen skulle fysiologiska effekter kunna förväntas för fågelarter som spenderar mycket tid nära kraftledningar för att de använder dem som sitt- eller boplats. I akvatiska miljöer har fältens påverkan på fisk och marina däggdjur diskuterats och vid försök har påverkan på beteende noterats för en lång rad fiskarter, men inga säkra slutsatser kan dras om effekterna i ett större perspektiv³³. Sammantaget pekar kunskapsläget på att effekter av elektromagnetism på biologisk mångfald är möjliga men troligen försumbara vid de nivåer som är aktuella i naturmiljöer, men frågan är för lite studerad för att dra säkra slutsatser.

4.7 Störningar från mänsklig närvaro

Kraftledningar kan öka störningar från mänsklig närvaro, särskilt i samband med anläggningsarbeten, underhåll (röjning, tillsyn och reparation) och nedmontering, men även genom ökad tillgänglighet för friluftsliv, jakt och körning med snöskoter och andra terränggående fordon³⁴. Undvikande av ledningar och ledningsgator som beskrivits för jaktbara arter såsom klövvilt och gäss, samt även tamren (se ovan), kan vara kopplat till undvikande av jakt och andra mänskliga störningar.

Störningar från anläggningsarbeten eller underhåll har såvitt vi känner till inte studerats specifikt för kraftledning, men sådana störningar torde oftast vara kortvariga och eventuella effekter övergående³⁵. Fåglar kan vara särskilt känsliga under häckningsperioden, men även under flytt och övervintring då tiden för födosök kan vara avgörande för överlevnaden.

³¹ Meissner m.fl. (2006), Helldin m.fl. (2012), Biasotto & Kindel (2018), Bergström m.fl. (2022)

³² Exempelvis Burchard m.fl. (2006); men se också Algers & Hultgren (1987).

³³ Meissner m.fl. (2006), Bergström m.fl. (2022)

³⁴ Helldin (2004), Bartzke m.fl. (2014), Richardson m.fl. (2017)

³⁵ Helldin (2004)

4.8 Effekter på mark, jord och vatten

Effekter på mark, jord och vatten av kraftledning och dess stolpar samt elkabel kan förväntas främst i samband med anläggning, reparation och nedmontering. Maskinarbeten kan medföra körsador i erosionskänslig mark, och mark med känslig vegetation, markkompaktering i bland annat våtmark, och grumling av mindre vattendrag. Anläggning av stolpar med dess fundament och patrullstig innebär en påverkan på markstruktur. Främst används lokala massor men mindre mängder massor kan behöva tillföras. Vid kabelförläggning under mark och dragning av jordkabel under luftledning påverkas markstruktur och vegetation lokalt och temporärt. Alla dessa effekter finns bara översiktligt berörda i tillgängliga underlag och skulle behöva analyseras bättre³⁶. Påverkan är dock inte unik för kraftledningar och mycket kunskap och lämplig hänsyn ska kunna inhämtas från andra anläggningsarbeten. En mer specifik påverkan är att vissa ledningsstolpar kan medföra läckage av metaller och organiska föreningar under den tid de är i bruk³⁷.

4.9 Effekter på botten i akvatiska miljöer

När det gäller effekter av sjökabel i marin eller limnisk miljö kan det finnas effekter av grumling och sedimentation i samband med anläggning, samt av buller, värme och elektromagnetiska fält (se ovan) under drift³⁸. Effekterna kan vara negativa eller positiva. Kabeln tar i sig inte några större bottenytor i anspråk, men grumling och överlagring av sediment i ett område kring kabeln kan ske framför allt i samband med anläggning och avveckling. Omfattningen och spridningen av effekterna beror på vilken metod som används och typ av botten. Effekterna beror också på bottentyp, strömförhållanden, vattentemperatur med mera. Det kan även förekomma kontinuerlig sedimentspridning från kablar anslutna till flytande fundament (kablar släpar i botten då fundamenten rör sig)³⁹ eller när kablar måste lagas. Känsligheten för ökad sedimentspridning och återhämtningstakt varierar mellan olika typer av bottenmiljöer och olika arter. I grunda miljöer kan kabeldragning påverka till exempel ålgräs och kransalgångar. Det finns även risk för spridning av miljöfarliga ämnen om sedimenten är förorenade.

När förläggning i botten innebär att kablar måste förankras eller täckas över introduceras nya hårda substrat som kan ge en så kallad reveffekt⁴⁰, det vill säga att nya hårda ytor skapar plats för fastsittande arter. De antropogena mini-reven kan i sin tur gynna vissa fiskarter och locka till sig marina däggdjur. Reveffekt kan vara positivt i vissa bottenmiljöer, till

³⁶ Miljösamverkan Sverige (2020) har gjort en sammanställning av vissa miljöeffekter i samband med förläggning av markkabel.

³⁷ Detta är bland annat studerat i Johannesson (2020). Rapporten handlar om livscykelanalys av olika stolpmaterial. En av parametrarna är läckage till omgivningen av impregnering.

³⁸ Bergström m.fl. (2022)

³⁹ Isæus m.fl. (2022)

⁴⁰ Bergström m.fl. (2022)

exempel där tidigare mänskliga aktiviteter har lett till en brist på hårda substrat. Det förs diskussioner om de nya substraten även kan gynna spridningen av främmande arter (se ovan).

Möjliga miljöeffekter finns också av de elektromagnetiska fält som uppstår kring kablar (se särskilt avsnitt om detta ovan), samt av värme som avges. Temperaturökningen beror på typ av kabel och dess effekt men är oftast bara några grader. Generellt kan dock sägas att kunskapsläget är dåligt vad gäller uppvärmningen och dess ekologiska effekter.

5 Människors intressen

5.1 Elektromagnetiska fält

Elektromagnetiska fält kring ledningar, kablar och transformatorer kan ge upphov till elektriska strömmar i kroppen hos människor och djur, och kan ge akuta men oftast övergående effekter på bland annat nervsystemet. För att undvika dessa hälsoeffekter finns referensvärden satta, och de fält som människor normalt utsätts för ligger långt under de bevisat skadliga nivåerna⁴¹. Undantaget utgörs av vissa yrkesgrupper, exempelvis kraftverksarbetare. Frågan är en av de mest uppmärksammade och diskuterade miljöeffekterna av elnät⁴². Omfattande forskning har undersökt om det skulle kunna finnas hälsoeffekter vid långvarig exponering på nivåer under referensvärdena⁴³.

Forskningssammanställningar pekar på en överrisk för leukemi hos barn med förhöjda magnetfält i sin bostad, men orsakssambandet är oklart⁴⁴. För andra hälsoeffekter finns inget tydligt vetenskapligt stöd, men ytterligare forskning pågår, framförallt avseende neurodegenerativa sjukdomar⁴⁵. Det saknas också vetenskapligt stöd för att elektromagnetiska fält har någon betydelse för de besvär som rapporteras av personer som uppfattar sig som elöverkänsliga⁴⁶.

5.2 Buller och vibrationer

Transformatorstationer alstrar ett kontinuerligt, lågfrekvent ljud som vid större stationer kan bli relativt starkt⁴⁷. Vid fuktig väderlek kan ledningarna avge ett hörbart knastrande ljud på grund av coronaeffekten (se ovan) och ibland även rena toner, och från nedsmutsade isolatorer kan höras ett brus. Ljudnivåerna är ofta låga. Vid kraftig vind kan ljud alstras av vibrationer i ledningar och stag.

Vi har endast funnit enstaka studier som undersöker eventuella hälsoeffekter av ljud från kraftledningar. Det finns dock indikationer på att lågfrekvent ljud från områden med hög koncentration av kraftledningar i vissa fall kan ge upphov till hälsoeffekter⁴⁸. Den uppgiften bör undersökas vidare.

⁴¹ Folkhälsomyndigheten & Karolinska institutet (2017). Var fjärde år görs en nationell miljöhälsoberättelse. Syftet är att samla aktuell kunskap om befolkningens hälsa i förhållande till exponering för olika miljöfaktorer. År 2017 ingick en kunskapssammanställning om elektromagnetisk strålning.

⁴² Folkhälsomyndigheten & Karolinska institutet (2017), SCENIHR (2015)

⁴³ SCENIHR (2015), Strålsäkerhetsmyndighetens vetenskapliga råd för elektromagnetiska fält (2021). Det vetenskapliga rådet för elektromagnetiska fält följer den vetenskapliga utvecklingen och lämnar en gång per år in en skriftlig rapport om kunskapsläget till Strålsäkerhetsmyndigheten.

⁴⁴ ibid

⁴⁵ Strålsäkerhetsmyndighetens vetenskapliga råd för elektromagnetiska fält (2021)

⁴⁶ Folkhälsomyndigheten & Karolinska institutet (2017)

⁴⁷ Svenska kraftnät och Svensk Energi (2014). Referensen gäller hela stycket.

⁴⁸ Alves m.fl. (2018), Alves m.fl. (2020). Författarna skriver att det finns få liknande studier och betonar att det finns behov av uppföljande studier på deras resultat. Kunskapssammanställning om

I samband med anläggningsarbeten, underhåll (röjning, tillsyn, reparation) och nedmontering kan maskiner och motorredskap utgöra en betydande, om än tillfällig, bullerkälla.

5.3 Rekreation och friluftsliv

Kraftledningar kan gå igenom många olika landskap, som har olika förutsättningar för rekreation och friluftsliv (se även resonemang nedan om olika landskap). Beroende på vilken landskapsupplevelse som står i fokus, så kan elnät påverka på olika sätt⁴⁹. Det kan till exempel skilja sig mellan de rekreativvärden som strävas efter i skoterkörning och fågelskådning.

Kraftledningsgator kan även skapa en ökad tillgänglighet för människor till skogsmark och nya skogsområden, via den anlagda och röjda patrullstigen och den fria terrängen för till exempel vandring, mountainbike, bärplockning, jakt och snöskoterkörning vintertid⁵⁰. Detta kan vara en gynnsam faktor för rekreation och friluftsliv, men har samtidigt baksidor i form av risker i samband med körning i terräng, eller risk för strömgenomföring vid skador på ledningar eller andra speciella omständigheter⁵¹. Mänsklig närvaro i nya naturområden innebär också ökad störning på djur (se ovan) och motorfordon bidrar till buller som visserligen inte utgör en del av anläggningen eller verksamheten men som ändå kanaliseras av den. Betydelsen av kraftledningsgator för friluftslivet och för- och nackdelar med detta är en fråga som verkar bristfälligt belyst.

5.4 Landskap, landskapsbild och kulturmiljö

Med landskap avses här ett område såsom det uppfattas av människor och vars karaktär är resultatet av påverkan av och samspel mellan naturliga och/eller mänskliga faktorer (definition enligt europeiska landskapskonventionen). Kulturmiljö kan beskrivas som det samlade uttrycket för hur människor under olika tider har levt, organiserat sig och bedrivit verksamhet baserat på förutsättningar i miljön.

Effekterna av elnätet beror bland annat på hur stort det fysiska ingreppet blir, hur väl kraftledningen passar in i landskapet och hur synlig den är⁵². Luftledningar kan ses på långt håll och vara en framträdande del av

hälsoeffekter av ljud, inklusive lågfrekvent ljud från vindkraft finns i Bolin m.fl. (2021). Här förs bland annat resonemang om relationen till andra ljudkällor i omgivningen.

⁴⁹ Liknande resonemang förs i Bolin m.fl. (2021) avseende vindkraft.

⁵⁰ Vi har inte hittat några specifika forskningsstudier om rekreation och kraftledningar i svenska förhållanden. Däremot förs resonemang i några av Vindvals tidigare rapporter om effekter på djur av vindkraft att kraftledningsgator kan bidra till ökad möjlighet till rekreation.

⁵¹ Olika risker med att vistas i kraftledningsgator tas upp på Svenska kraftnäts (2023) informationssida om elsäkerhet riktad till allmänheten. Här står bland annat att Svenska kraftnät rekommenderar att skoterleder anläggs på behörigt avstånd från luftledningar och dess stolpar för att undvika fara.

⁵² Svenska kraftnät & Svensk Energi (2014). Referensen gäller hela stycket.

landskapsbilden, särskilt i öppen terräng. Vissa anser att det kan förfula landskapet⁵³. Ledningar och ledningsgator kan skapa utblickar, siktlinjer, strukturer och landmärken, och därmed påverka rumsliga och visuella samband. De kan också innebära visuella barriärer och skalbrott i landskapet. Elnätet kan därmed utgöra en del av karaktären hos vissa landskap, på gott och ont. Enligt samma resonemang kan nya kraftledningar förändra karaktären hos ett landskap. Känsligheten varierar mellan olika slags landskap, och beror även i hög grad på vilken slags elledning det är frågan om.

Kraftledningar och stationer kan också skapa ett fysiskt intrång i kulturmiljöer, exempelvis fornlämningar i mark eller vatten⁵⁴. Vid markförläggning av kabel minskar ledningarnas visuella intryck men det fysiska intrånget i mark ökar, och därmed risken för att påverka kulturspår.

Vi har inte hittat några ansatser att mer systematiskt studera elnätets betydelse för landskapsbilden och kulturmiljöer, hur människor uppfattar kraftledningar visuellt i landskapet, och för det immateriella kulturarvet. Däremot finns det vägledningar om faktorer som kan ha betydelse för vilka effekter som uppkommer⁵⁵.

5.5 Hälsa och välbefinnande i övrigt

Utöver ovanstående finns ett antal komplexa frågor som kopplar till hälsa och välbefinnande på olika sätt:

- Även när fysiologiska effekter av elnät på människan inte finns klart belagda, såsom i fallet med elektromagnetism ovan, kan själva oron för sådana effekter utgöra en hälsofråga. Det gäller också oro för att kraftledningar ska förfula landskapet eller på andra sätt leda till skada för människa och miljö⁵⁶.

⁵³ Hur en kraftledning upplevs beror bland annat på betraktarens inställning till ledningen och landskapet. En av informanterna påpekar att syftet med ledningen, om den till exempel ska minska avbrottsrisken lokalt eller leda ström från en vindkraftutbyggnad, påverkar människors inställning till ledningen. Resonemang kring hur attityder kan påverka upplevelse och oro förs i Waldo & Klintman (2010), där avseende vindkraft.

⁵⁴ Häggström (2013), Svenska kraftnät & Svensk Energi (2014).

⁵⁵ Vägledningen från Svenska kraftnät och Svensk Energi (2014) handlar specifikt om elnät. Det finns även kunskapsunderlag om vindkraftens effekter (Bolin m.fl. 2021). Senare har det arbetats fram fler vägledningar kring landskap och kulturmiljö inom andra typer av exploateringar. Se till exempel Naturvårdsverkets vägledningar om landskap och kulturmiljö i miljöbedömningar och Trafikverkets handledning om integrerad landskapskaraktärsanalys (ILKA). Även om dessa inte specifikt berör elnät så ger de förståelse kring typ av effekter som kan uppstå, samt vikten av deltagandeprocesser.

⁵⁶ Liknande resonemang förs i Waldo & Klintman (2010) avseende vindkraft. Där tas även andra aspekter upp som kan orsaka oro, till exempel oro för att exploateringen ska skada miljön, eller att pågående näringar kan försvåras. Det skulle kunna jämföras med den oro som en av informanterna påtalade som förekommande hos de som driver skogs- och jordbruk där ledningar ska passera. I Waldo och Klintman (2010) framkommer även att det är viktigt att förstå oro som en verklig riskuppfattning.

- Landskapsbild och landskapskaraktär påverkar människors platsanknytning och identitet, vilket i sin tur kopplar till trygghet och välbefinnande som även delvis är hälsofrågor.
- Effekterna på hälsa och välbefinnande kan vara olika fördelad inom befolkningen. Vissa grupper kan vara särskilt känsliga för en hälsoeffekt, exempelvis barn, äldre, kroniskt sjuka, socio-ekonomiskt utsatta grupper och urfolk.

Ett sätt att hantera hälsofrågor i det bredare perspektivet är att arbeta med deltagandeprocesser samt etablera en dialog mellan berörda om riskbedömning och riskhantering⁵⁷. Detta hänger samman med resonemanget nedan om vikten av inflytande.

⁵⁷ Svenska kraftnät & Svensk Energi (2014), Waldo & Klintman (2010), WHO (2002)

6 Renskötsel

Vi har i denna rapport valt att inte omfatta effekter på areella näringar. Areella näringar och areellt nyttjande som kan påverkas indirekt via de effekter som beskrivs ovan är skogsbruk, jordbruk, yrkesfiske, turism och jakt. Men som ett undantag för vi här ett resonemang om effekter på renskötseln.

Som beskrivits ovan kan tamrenar påverkas av kraftledningar och kraftledningsgator på liknande sätt som vilda arter. Om renar undviker ett område nära kraftledningar leder detta till en förlust av betesmark, och eventuella barriäreffekter kan försvåra längre förflyttningar och förhindra åtkomst till vissa områden. Ökad mänsklig närvaro, terrängkörning och en eventuellt ökad förekomst av naturliga fiender som rovdjur och rovfåglar kan skapa stress och störningar för renarna, vilket är särskilt känsligt i samband med kalvningen. Även i den motsatta situation då renarna lockas att följa ledningsgator på sina vandringar kan det innebära problem för renskötseln med utspridda renar och svårighet att följa traditionella flyttleder som följd.

Även om kraftledningar inte alltid har tydliga effekter på renarnas beteende, välmående och områdesutnyttjande så kan kraftledningar bidra till de kumulativa effekterna för renarna och den traditionella renskötseln⁵⁸. I nutid och historiskt har förutsättningarna för renar och renskötseln successivt kringkurits av skogsbruk, vind- och vattenkraftsutbyggnad, vägar och järnvägar, urbanisering och gruvverksamhet. Störningarna från rörligt friluftsliv, terrängkörning och rovdjur har ökat, och på senare tid har nya sjukdomar spritt sig och klimatförändringarna försämrat tillgången till vinterbete. Detta har sammantaget lett till mindre tillgänglig betesmark, 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 få stora konsekvenser, för renarna såväl som för den traditionella, betesbaserade renskötseln och för rennäringen.

Denna beskrivning av kumulativa effekter gäller troligen inte bara ren utan även andra arter som utsätts för påverkan av en rad olika mänskliga aktiviteter. I det perspektivet kan renar och renskötsel fungera som en varningsklocka för kumulativa effekter eftersom vi inte har samma detaljerade kunskap om andra arter eller insyn i deras beteende, rörelser eller välbefinnande⁵⁹. Deltagandeprocesser i planeringen av elnät kan ge förutsättningar att bättre förstå effekterna på renar och på biologisk mångfald. I deltagandeprocesserna kan traditionellt ekologiskt kunnande

⁵⁸ Kumulativa effekter på renskötseln har adresserats särskilt i Kløcker Larsen m.fl. (2016)

⁵⁹ Fohringer m.fl. (2021)

och traditionellt nyttjande av naturresurser och landskap fångas upp och beskrivas, samtidigt som inflytande åt urfolk och lokalsamhällen säkras.

7 Diskussion och förslag till fortsatt arbete

Utgångspunkten för den här förstudien var att bransch och myndigheter anser att det finns behov av bättre kunskapsunderlag om miljöeffekter av elnät, för att frågorna under handläggningen av planerings- och tillståndsprocesserna ska kunna baseras på ett mer vetenskapligt underlag. Ett viktigt motiv för dem är att öka förutsägbarheten för hur olika miljöeffekter ska utredas och värderas, samt vilka åtgärder som kan göras för att mildra negativa eller ta till vara på eventuella positiva miljöeffekter.

Vår genomgång visar på stora kunskapsluckor vad gäller miljöeffekter av elnät. Situationen försvåras även av att de kunskapsammansättningar som finns i olika myndigheters vägledande texter om miljöeffekter från elnät ofta är oklart belagda, det vill säga saknar tydlig hänvisning till varifrån uppgifterna kommer. Det innebär bland annat att det kan vara svårt att bemöta en sådan uppgift, vilket bidrar till oförutsägbarheten.

Kunskapsläget skulle kunna beskrivas som obalanserat och forskningsfältet som helhet omoget. Ofta särskiljs inte miljöeffekter från olika ledningar på ett tydligt sätt, vilket försvårar arbetet. Eftersom elnät kan ha mycket olika spänningsnivåer, anläggas i mark, luft och vatten och gå genom många olika naturtyper, olika långt från bebyggelse och samverka med andra påverkansfaktorer (kumulativa effekter), kan det ge upphov till många olika typer av effekter på biologisk mångfald och på människors intressen.

Som vi konstaterade i inledningen finns bra och lättillgängliga kunskapsammansättningar om fåglar och kraftledningar, och om ledningsgator som ny livsmiljö för gräsmarksarter. Det finns även gedigna sammansättningar om hälsoeffekter av elektromagnetiska fält. I dessa fall verkar det ha skapats en uppmärksamhet inom både forskning och miljöbedömning/granskning som triggat ytterligare studier och så vidare. Trots detta behöver ytterligare sammansättningar, bland annat kring försiktighetsmått och möjliga anpassningar.

Miljöaspekter som vi bedömer inte har fått lika mycket uppmärksamhet i forskningen, och är i särskilt stort behov av bättre kunskapsunderbyggnad för att kunna avgöra vad som är betydande miljöeffekter, rimliga nivåer och möjliga anpassningar och hänsynsåtgärder, är följande; i) fragmentering av skog, inklusive habitatförlust och barriäreffekter för skogslevande arter, ii) spridning av främmande arter längs kraftledningar, iii) störningar från buller, ljusföroreningar och synintryck av luftledningar och, iv) effekter av elektriska och magnetiska fält på människor och djur.

För dessa aspekter ser vi ett behov av mer fördjupad syntes av nuvarande kunskapsläge och teoretisk bakgrund än vad vi har haft möjlighet att göra inom denna förstudie, och nya studier som visar på tillämpning under svenska/skandinaviska förhållanden. Detta för att ge en bättre underbyggnad för att aktörer ska kunna avgöra vad som är väsentliga miljöeffekter för elnätet i sin helhet, och i enskilda projekt. Det är även en viktig grund för att kunna arbeta vidare med lämpliga åtgärder och anpassningar för att undvika eller begränsa negativa miljöeffekter⁶⁰, samt att följa upp miljöeffekter från elnät och verkningfullheten av de åtgärder som görs.

Oro är å andra sidan en fråga som ofta uppmärksammas vid samråd med allmänhet och olika grupper i samhället; oro för elektromagnetisk strålning, önskad visuell förändring av landskapet och andra typer av inskränkningar. Det finns begränsad forskning om elnät, landskap och kulturmiljö. För elektromagnetisk strålning gäller det motsatta. Trots att det är studerat sedan länge finns ett fortsatt behov av studier för att klargöra eventuella samband mellan kraftledning och förhöjd risk för leukemi. För aspekterna kopplade till oro och subjektiva upplevelser, finns stora behov av forskning som fokuserar på människors riskupplevelse och attityder till elnät och kringliggande frågor. Som indikerats ovan så kan attityder bland annat även hänga samman med inställningen till landskapet, identitet, olika kraftslag med mera. Denna forskning är en viktig grund för att bättre kunna kommunicera kring elnät och dess miljöeffekter. Attityder till elnät hänger även samman med kunskap kring de positiva effekter som kan uppstå som nya livsmiljöer för de arter som gynnas av gräsmarker, buskmarker och ungskog, och eventuellt ökade möjligheter till friluftsliv. För det senare behövs vissa klargöranden kring vilken typ av friluftsliv som fungerar väl tillsammans med elledningar.

Det kan också behövas fördjupade kunskaper om miljöeffekter av anläggningsarbete, skogsavverkning, markarbeten samt buller från motorfordon och maskiner, men här finns troligen stora likheter med exploatering eller markanvändning för annat ändamål och kunskaper behöver troligen inte tas fram specifikt för elnät.

Vi vill särskilt understryka betydelsen av att försöka studera och beskriva kumulativa effekter. Detta gäller dels de samlade effekterna av hela elnätet (dagsläge och olika framtidsscenarios) på var och en av de olika miljöaspekterna. Elnätet finns över i stort sett hela landet, är bitvis tät och antas tätta ytterligare; för många arter och landskap uppstår de relevanta effekterna inte bara av en enskild ledning eller station utan av

⁶⁰ Behovet av kunskap kring vilka åtgärder och anpassningar som är möjliga och rimliga för olika miljöeffekter lyftes särskilt av informanterna.

elnätet i helhet. Sammantaget kan det vara en stor del av landet som i varierande grad är påverkad av elnätet.

Kumulativa effekter kan också uppstå genom att olika typer av effekter förstärker varandra (s.k. cocktail-effekter) eller kompenserar för varandra, eller av att de tillkommer utöver annan påverkan på landskap och naturmiljöer. Här ingår även att väga eventuella skador mot nyttor och att ta fram underlag för sammantaget miljöbästa alternativ vid anläggning och underhåll.

Det är fullt möjligt att inte alla miljöaspekter vi beskrivit ovan kommer att visa sig vara betydande, inte heller alltid de kumulativa effekterna, men det går alltså inte utifrån den information vi har hittat att utesluta betydande effekter. Enligt försiktighetsprincipen ska då antas att effekter kan finnas.

Slutligen vill vi kort beröra svårigheten med den breda ansatsen i denna förstudie. Varje miljöaspekt har sin speciella begreppsapparat, kunskapstradition och teoretiska underbyggnad – inom hälsa, välbefinnande, kulturmiljö, beteende, artbevarande, ekosystemeffekter etc. Det är viktigt att använda relevanta begrepp för att kunna genomföra litteratursökningar, kommunicera med specialister inom olika discipliner, och redovisa miljöeffekter. Syftet med förstudien har inte varit att genomföra några mer detaljerade sökningar, och relevanta underlag kan därför ha gått oss förbi. Inför eventuella kommande satsningar på att ta fram bättre kunskapsunderlag måste finnas en öppenhet för att vår förstudie inte har lyckats vara uttömmande. Exempelvis skulle en systematisk sökning i miljökonsekvensbeskrivningar kunna peka på ytterligare miljöaspekter, som identifierats utifrån något enskilt fall men som idag inte uppmärksammats i den generella litteraturen⁶¹.

Under granskningen av denna förstudie har det även framkommit önskemål från branschen om fördjupade studier av praktiken, för att sedan rikta kommande insatser utifrån det. Det kan handla om analys av rättsfall⁶² och miljökonsekvensbeskrivningar eller intervjuer med en bredare grupp av aktörer än vad som var möjligt inom ramen för denna förstudie. Detta kan ge en fördjupad bild av vilka frågor som det utifrån ett bransch- och myndighetsperspektiv är svåra att hantera och där osäkerhet kring metod, nivå och hänsynsåtgärder är ständigt återkommande. Här ingår även att sammanställa de erfarenheter och kunskaper som byggts upp hos olika aktörer inom branschen och samhället för att underlätta utvärdering och bredare nyttjande. Det är även

⁶¹ Såsom beskrivits i den systematiska sammanställningen av Biasotto & Kindel (2018).

⁶² Se en sammanställning av några rättsfall om nätkoncession på Vindlovs rättsfallslista, Energimyndigheten (2022).

viktigt att klargöra vilka utmaningar som har andra lösningar än ett fördjupat kunskapsunderlag.

Avgränsningen till främst svenska/skandinaviska förhållanden har också inneburit att vi endast i begränsad utsträckning tagit in kunskapsunderlag från andra länder och kontinenter. Vi vill här särskilt peka ut den nordamerikanska konferensen och proceedingsserien *Environmental Concerns in Rights-of-Way Management*⁶³ som en källa till ytterligare underlag. Relevanta studier och erfarenheter om ekologiska effekter av kraftledningar kan också presenteras i de internationella konferenserna inom området infrastrukturekologi – IENE⁶⁴ (fokus på Europa) och ACLIE (fokus på Afrika)⁶⁵.

⁶³ <https://www.rights-of-way.org/past-proceedings/>

⁶⁴ <https://www.iene.info/>

⁶⁵ <https://aclie.org/>

8 Referenser

- 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.
- Alves, J.A., Silva, L.T. & Remoaldo, P.C. 2018. Impacts of low frequency noise exposure on well-being: a case-study from Portugal. *Noise Health*, 20:131-145. doi: 10.4103/nah.NAH_64_17
- Alves, J.A., Paiva, F.N., Silva, L.T. & Remoaldo, P. 2020. Low-frequency noise and its main effects on human health: A review of the literature between 2016 and 2019. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(15). <https://doi.org/10.3390/app10155205>
- Ball, S.K. 2012. Capitalizing on Conservation: The Ecological Benefits of Transmission Line Rights-of-Way. Sid. 249-272 i Evans, J.M., Mahoney, J.W.G., Mutrie, D., Reinemann, J. (red). *Proc. Ninth Int. Symp. Environmental Concerns Rights-of-Way Manage.*, Portland, Oregon, USA. International Society for Arboriculture, Champaign, Illinois, USA.
- Bartzke, G.S., May, R., Bevanger, K., Stokke, S. & Røskaft, 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* 6:647–662. <https://doi.org/10.5897/IJBC2014.0716>
- Berg, Å., Bergman, K-O., Wissman, J., Zhmihorski, M. & Öckinger, E. 2015. Betydelsen av kraftledningsgator, skogsbilvägar och naturbetesmarker för fjärilar i olika landskapstyper. CBM:s skriftserie nr 97, SLU. <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/cbm-skriftserie/betydelsen-av-kraftledningsgator-skogsbilvagar-och-naturbetesmarker-nr-97.pdf>
- Bergström, L., Öhman, M.C., 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. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7049-6/>
- Bertling Tjernberg, L. 2022. Uthålliga elkraftnät – en förutsättning för framtidens energisystem, i Brounéus, F. & Duwig, C. (red.) *Mot framtidens energi – den osynliga revolutionen bakom eluttaget*. En rapport från KTH:s energiplattform, Vetenskap & allmänhet. VA-rapport 2022:2.

- Biasotto, L.D. & 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>
- Bolin, K., Hammarlund, K., Mels, T. & Westlund, H. 2021. Vindkraftens påverkan på människors intressen. Uppdaterad syntesrapport 2021. Naturvårdsverket. Rapport 7013. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/vindkraftens-paverkan-pa-manniskors-intressen/>
- Burchard, J.F., Nguyen, D.H. & Rodriguez, M. 2006. Plasma Concentrations of Thyroxine in Dairy Cows Exposed to 60 Hz Electric and Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics* 27:553–559.
- Ebenhard, T. 2019. Spridningsvägar för invasiva främmande arter av unionsbetydelse. CBM:s skriftserie nr 110. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/skrifter-publikationer/ias-rapport-ebenhard_190515.pdf
- Energimyndigheten. 2022. Nätkoncession. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/rattsfall/natkoncession/>
- 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>
- Fohringer, C., Rosqvist, G., Inga, N. & Singh N. 2021. Reindeer husbandry in peril?—How extractive industries exert multiple pressures on an Arctic pastoral ecosystem. *People and Nature* 3(4): 872-886. <https://doi.org/10.1002/pan3.10234>
- Folkhälsomyndigheten & Karolinska Institutet. 2017. Miljöhälsorapport 2017. En del av den nationella miljöhälsorapporteringen som uppdateras vart fjärde år. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/m/miljohalsorapport-2017/>
- Helldin, J.O. 2004. Effekter av störningar på fåglar – en kunskapssammanställning för bedömning av inverkan på Natura 2000-objekt och andra områden. Naturvårdsverket rapport 5351.
- Helldin, J.O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A. & Widemo, F. 2012. Vindkraftens effekter på landlevande däggdjur. En syntesrapport. Naturvårdsverket. Rapport 6499. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval. <https://www.naturvardsverket.se/978-91-620-6499-0>
- Häggström, L. 2013. Vindkraft och kulturmiljö. Vindkraftens påverkan på kulturmiljön – metoder och exempel. Naturvårdsverket. Rapport 6541.

- En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6500/978-91-620-6541-6.pdf?pid=7407>
- Isæus, M., Beltrán, J., Stensland Isæus, E., Öhman, M. & Andersson-Li, M. 2022. Ekologiskt hållbar vindkraft i Östersjön. Slutrapport för projekt Marin MedVind: Underlag för storskalig hållbar vindkraft till havs. Naturvårdsverket. Rapport 7055. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/ekologiskt-hallbar-vindkraft-i-ostersjon/>
- Johannesson, C., Johansson, K. & Tegstedt, F. 2020. Livscykelanalys av ledningsstolpar. IVL rapport B 2393. En rapport från IVL och Energiforsk.
- Klimaträttsutredningen (2022). Rätt för klimatet (SOU 2022:21). Miljödepartementet.
- Kløcker Larsen, R., Raitio, K., Sandström, P., Skarin, A., Stinnerbom, M., Wik-Karlsson, J., Sandström, S., Österlin, C. & Buhot, Y. 2016. Kumulativa effekter av exploatering på renskötseln – vad behöver göras inom tillståndprocesser. Naturvårdsverket rapport 6722. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/6700/kumulativa-effekter-av-exploatering-par-renskotseln>
- Kvale, S. & Brinkmann, S. 2009. Interviews. Learning the craft of qualitative research interviewing. Sage Publications, London.
- 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. doi:10.1371/journal.pone.0142236
- Meissner, K., Schabelon, H., Bellebaum, J. & Sordyl, H. 2006. Impacts of submarine cables on the marine environment: A literature review. Report to Federal Agency of Nature Conservation (BfN), Tyskland. <https://tethys.pnnl.gov/publications/impacts-submarine-cables-marine-environment-literature-review>
- Miljösamverkan Sverige, Länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Jordbruksverket & Havs- och vattenmyndigheten. 2020. Stöd till verksamhetsutövare vid förläggning av markkabel.
- 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/om-oss/publikationer/6900/sveriges-arter-och-naturtyper-i-eus-art--och-habitatdirektiv>
- Ottvall, R. & Green, M. 2020. Kraftledningars påverkan på fåglar – en syntesrapport. Rapport, Lunds universitet.

<https://ottvall.com/onewebmedia/Syntesrapport%20Kraftledning%2020200218.pdf>

Richardson, M.L., Wilson, B.A., Aiuto, D.A.S., Crosby, J.E., Alonso, A., Dallmeier, F. & Golinski, G.K. 2017. A review of the impact of pipelines and power lines on biodiversity and strategies for mitigation. *Biodivers Conserv* 26, 1801–1815. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1341-9>

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). 2015. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission. https://health.ec.europa.eu/publications/potential-health-effects-exposure-electromagnetic-fields-emf_en

Smith, M.B., Aborn, D.A., Gaudin, T.J. & Tucker, J.C. 2008. Mammalian predator distribution around a transmission line. *Southeastern Naturalist*, 7:289–300.

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, J.E., Eftestøl, S., Sandström, P., Skarin, A. & Thomassen J. 2018. Vindkraft och renar. En kunskaps sammanställning. Naturvårdsverket rapport 6799. <https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1465452&dswid=8042>

Strålsäkerhetsmyndighetens vetenskapliga råd för elektromagnetiska fält. 2021. Recent Research on EMF and Health Risk. Sixteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields Report No 2022:16. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/publikationer/rapporter/stral-skydd/2022/202216/>

Svenska Kraftnät. 2023. Allmänhet: Elsäkerhet vid kraftledning. <https://www.svk.se/sakerhet-och-beredskap/elsakerhet/allmanhet---elsakerhet-vid-kraftledning/>

Svenska Kraftnät & Svensk Energi. 2014. Elnät i fysisk planering. Behandling av ledningar och stationer i fysisk planering och i tillståndsärenden. <https://dokodoc.com/queue/elnt-i-fysisk-planering.html>

Waldo, Å. & Klintman, M. 2010. Attityder och delaktighet vid etablering av vindkraft till havs. Naturvårdsverket. Rapport 6351. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.

<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6300/978-91-620-6351-1.pdf>

WHO. 2002. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields.
<https://www.who.int/publications/i/item/9241545712>

Willyard, C.J. & Tikalsky, S.M. 2008. Research Gaps Regarding the Ecological Effects of Fragmentation Related to Transmission-Line Rights-of-Way. Sid. 521-527 i Goodrich-Mahoney, J.W., Abrahamson, L.P., Ballard, J.L. & Tikalsky, S.M. (red), Environmental Concerns in Rights-of-Way Management: Eighth International Symposium. Elsevier, UK.