



JUNI 2026

Ekologisk hållbarhet i elsystemet

En syntesrapport om forskningsläge
och framtida forskningsbehov

En rapport av:
Power Circle
på uppdrag av Energimyndigheten

Sammanfattning

Elsystemet står inför en omfattande omställning till följd av ökad elektrifiering och utbyggnad av fossilfri elproduktion för att uppnå klimatmålen i en förändrad säkerhetspolitisk kontext. Denna syntesrapport kartlägger aktuellt forskningsläge och identifierar framtida forskningsbehov när det gäller ekologisk hållbarhet i elsystemet, med fokus på fossilfri elproduktion, eldistribution och batterier i en svensk kontext. Analysen bygger på en intervjustudie med forskare och behovsägare i kombination med en skrivbordsstudie.

Inom pågående eller i närtid avslutad forskning har följande områden identifierats som centrala:

- Hållbar resursanvändning och livscykelperspektiv
- Biologisk mångfald
- Samexistens och multifunktionella lösningar
- Målkonflikter
- Systemorienterad forskning
- Samhälle och policy

Alla ovanstående områden identifieras som fortsatt relevanta att studera framåt, då betydande kunskapsluckor kvarstår. Dock skiftar fokus för forskningsbehoven framåt och några områden tillkommer.

Kumulativa och långsiktiga effekter identifieras som prioriterat tema för framtida forskningsbehov och spänner över flera forskningsområden. Eftersom elsystemets utbyggnad sker stegvis och i många delar samtidigt finns behov av kunskap, metoder och verktyg för att förstå hur olika ingrepp samverkar över tid och rum. Sammanlagda effekter är i dag ofta svåra att kvantifiera och hantera i planeringsprocesser. Forskningsbehoven inkluderar metoder för kvantifiering och standardisering samt skalning från lokala studier till systemnivå och analyser av **platspecifika miljöpåverkan**.

Inom **hållbar resursanvändning och livscykelperspektiv** behöver fokus för framtida forskningsbehov i allt högre grad riktas mot förändrade värdekedjor och dess effekter. Följande fokusområden identifieras som prioriterade framåt:

- Uppskalning och effektivisering av cirkulära lösningar
- Förflyttning från lägre till högre nivåer i avfallshierarkin
- Resurstillgång och materialsubstitution
- Försörjningsvägar och värdekedjor
- Alternativa material
- Kärnbränslecykeln och restprodukter

När det gäller elsystemets påverkan på **biologisk mångfald** efterfrågas mer platsanpassad forskning, då många miljöeffekter är kontextberoende och svåra att överföra mellan olika geografiska områden. Brist på sådan kunskap kan leda till osäkerhet i bedömningar av miljöpåverkan. Vidare finns kunskapsluckor inom särskilda påverkanstyper, samtidigt som påverkan från specifika kraftslag och eldistribution fortsatt är relevanta att studera.

Konflikter och möjligheter vid **samexistens och multifunktionella lösningar** inom mark- och vattenanvändning identifieras som ett växande forskningsfält. I takt med ökade anspråk på mark och hav krävs ny kunskap om hur energiinfrastruktur kan integreras med andra samhällsintressen och samtidigt minimera negativ påverkan på ekosystem. **Ekologisk design** identifieras som ett område med stor potential framåt. Även här identifieras ett behov av mer plats- och kontextspecifika studier. Även **institutionella och regulatoriska hinder** kopplat till samexistens ses som viktigt framåt.

Ett genomgående tema i syntesen är förekomsten av **målkonflikter**, exempelvis mellan klimatmål och andra miljömål eller mellan ekologiska och ekonomiska eller säkerhetspolitiska intressen. Att synliggöra och hantera dessa målkonflikter framhålls som en central forskningsuppgift framåt.

Vidare betonas behovet av systemperspektiv och **systemorienterad forskning**, där elsystemets ekologiska påverkan analyseras i relation till andra sektorer, globala utvecklingsmönster och samhällliga ramvillkor. Det inkluderar frågor som strategisk planering och optimering av elsystemets sammansättning och placering utifrån ekologiska kriterier. På temat **samhälle och policy** identifieras **socioekologisk resiliens** som ett växande område, särskilt i ljuset av en förändrad geopolitisk kontext. Även frågor om utformning av styrmedel, anpassning av regelverk, samhällelig legitimitet och social rättvisa identifieras som relevanta att studera framåt.

Sammanfattningsvis visar syntesen att ekologisk hållbarhet i elsystemet är ett viktigt forskningsfält som kan bidra till att förena energiomställningens klimatmål med långsiktig ekologisk hållbarhet. Intervjustudien visar på ett behov av ökat fokus på ekologisk hållbarhet framåt, där bredd och pluralism i forskningen upprätthålls.

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| Sammanfattning | 2 |
| 1 Bakgrund och syfte | 5 |
| Syfte och frågeställningar | 5 |
| Omfattning och avgränsningar | 6 |
| Genomförande | 7 |
| 2 Introduktion till forskningsfältet | 8 |
| Internationell utblick | 8 |
| Tematiska områden för pågående och i närtid avslutad forskning | 10 |
| Vilka bedriver forskningen? | 14 |
| 3 Finansiering av forskningen | 16 |
| Finansiärer | 16 |
| Särskilda satsningar | 17 |
| Utmaningar och hinder med att söka finansiering | 18 |
| Förslag på förbättringar av finansieringssystemet | 19 |
| 4 Behovsägare och tillämpning | 21 |
| Behovsägare | 21 |
| Tillämpning | 23 |
| Sätt att nå ut med forskning | 24 |
| Utmaningar och hinder för forskning och tillämpning | 25 |
| 5 Identifierade behovsområden för framtida forskning | 27 |
| Hållbar resursanvändning och livscykelperspektiv | 27 |
| Biologisk mångfald | 28 |
| Kumulativa och långsiktiga effekter | 29 |
| Samexistens, multifunktionalitet och ekologisk design | 30 |
| Målkonflikter | 30 |
| Systemorienterad forskning | 31 |
| Samhälle, policy och socioekologisk resiliens | 32 |
| Övrigt | 33 |
| 6 Diskussion och slutsatser | 34 |

1 Bakgrund och syfte

Elsystemet behöver utvecklas i snabb takt till följd av ökad elektrifiering och utbyggnad av fossilfri elproduktion i ett förändrat geopolitiskt omvärldsläge. Samtidigt medför utbyggnad och omställning av elsystemet ökade anspråk på mark, vatten, material och ekosystem. Frågor om biologisk mångfald, resursanvändning och miljöeffekter blir därmed alltmer centrala i planering och beslut kopplade till elsystemets utveckling. Ett klimatanpassat elsystem är inte per automatik ekologiskt hållbart – och olika tekniska lösningar och infrastruktursatsningar innebär olika typer av miljöpåverkan, både lokalt och globalt. Detta kan medföra målkonflikter mellan elektrifiering och klimatnytta, naturvärden, olika miljö kvalitetsmål eller andra samhällsintressen. Hur elsystemets utveckling kan ske på ett ekologisk hållbart sätt är därför en angelägen fråga.

Ekologisk hållbarhet i elsystemet kräver därför ett helhetsperspektiv där påverkan på ekosystem, landskap och naturresurser beaktas genom hela livscykeln. Det finns ett stort behov av samlad och tvärvetenskaplig kunskap om hur elsystemets omställning kan genomföras inom planetens ekologiska gränser. Detta inkluderar kunskap om hur miljöpåverkan kan undvikas, minimeras eller kompenseras – samt hur styrmedel, planeringsprocesser och teknikutveckling kan bidra till att förena klimatmål med långsiktig ekologisk hållbarhet. En fördjupad förståelse för målkonflikter och synergier mellan dessa mål är central för att stödja välgrundade beslut för ett robust och hållbart elsystem över tid.

Syfte och frågeställningar

Syftet med syntesrapporten är att sammanfatta aktuellt forskningsläge och framtida forskningsbehov inom området **ekologisk hållbarhet i relation till elsystemet**. Vidare ska rapporten, på ett övergripande plan, beröra det rådande internationella kunskapsläget på temat genom en kort internationell utblick.

Underlaget ska i första hand kunna ligga till grund för Energimyndighetens strategiska arbete inom området. I andra hand ska kartläggningen kunna fungera som stödande underlag för andra intressenter och behovsägare – såsom forskare samt privata och offentliga aktörer – inom området. Genom att ta fram rapporten ska Power Circle bidra till Energimyndighetens uppfyllande av relevanta program mål för Fol-programmet Framtidens Elsystem, såsom:

- Att kunskap, kompetens och lösningar för att förbättra elsystemets ekologiska hållbarhet och resurseffektivitet har tagits fram och stärkts.
- Att kunskap om hur cirkulära flöden kan bidra till ett hållbart elsystem har ökat.
- Att lösningar och kunskap om elsystemets roll för att minska utsläppen av växthusgaser inom andra delar av energisystemet har tillhandahållits.

De **frågeställningar** som i denna syntesrapport undersöks för att kartlägga den svenska forskningen på området ekologisk hållbarhet i elsystemet är:

- Vilka forskningsmiljöer (lärosäten/aktörer/organisationer) är idag aktiva på området ekologisk hållbarhet i relation till elsystemet? Inom vilka institutioner och discipliner är forskarna aktiva?
- Vilka frågeställningar har tidigare undersökts inom området, och vilka undersöks nu?
- Vilka frågeställningar på området är ännu utforskade och bör utforskas framåt?
- Vilka finansierar forskningen på området idag, och har det skett några särskilda satsningar?
- Vilka behovsägare finns till forskning på området, och vilka frågeställningar är centrala hos dem – nu och framåt?
- Vilka svårigheter finns när det kommer till frågeställningar, forskning eller finansiering på området?

Omfattning och avgränsningar

Kartläggningen avgränsas till att omfatta forskning som rör ekologisk hållbarhet, resurseffektivitet, cirkularitet och ekologiska livscykelperspektiv avseende **fossilfri elproduktion¹ samt batterier och eldistribution**; användning av el omfattas inte av denna studie. **Fokus är svensk forskning på området** men en kort internationell utblick ingår också.

Kartläggningen av vilka frågeställningar som tidigare undersökts på området har avgränsats till **pågående och i närtid avslutad forskning**. Skrivbordsstudien, den internationella utblicken och beskrivningen av pågående och nyligen avslutad forskning ska inte betraktas som heltäckande.

¹ Exklusive bioenergi

Genomförande

Arbetet med syntesrapporten genomfördes mellan december 2025 – maj 2026 och innehållet i denna syntesrapport togs fram genom:

- Initial kartläggning av forskning och relevanta intervjurespondenter
- Intervjustudie med semistrukturerad metod
- Skrivbordsstudie och internationell utblick

Det huvudsakliga arbetet utgjordes av intervjustudien där 19 identifierade nyckelpersoner inom akademi och behovsägare i branschen intervjuades. Intervjuerna genomfördes digitalt genom semistrukturerade samtal. Respondenterna består av forskare, finansiärer och behovsägare. Följande lärosäten och organisationer har representerats med en eller flera respondenter:

- Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
- Stockholm Environmental Institute (SEI)
- RISE Research Institutes of Sweden
- Chalmers tekniska högskola
- Chalmers industriteknik
- IVL Svenska Miljöinstitutet
- Kungliga Tekniska Högskolan (KTH)
- Energiforsk
- Jönköpings universitet
- Karlstad universitet
- Modvion
- Länsstyrelsen (Halland samt Gotland)
- Energiföretagen
- Naturvårdsverket
- SMHI

Intervjufrågorna har utformades med avsikt att kunna använda respondenternas svar som underlag för kartläggning av pågående forskning inom området, nuvarande finansiärer, särskilda satsningar som har genomförts, samt identifiering av framtida forskningsbehov. Respondenterna till intervjustudien har inledningsvis valts utifrån den initiala kartläggningen av aktörer aktiva inom området och därefter genom löpande rekommendationer från intervjurespondenterna. I april 2026 genomfördes ett dialogmöte med forskare och behovsägare, i syfte att diskutera och validera syntesrapportens initiala kartläggning samt identifiera områden för utveckling. Vid dialogmötet deltog flera av intervjurespondenterna men även forskare från Umeå universitet och representanter från Energimyndigheten.

I tillägg till intervjustudien genomfördes en skrivbordsstudie. I ett första steg kartlades pågående eller nyligen avslutad forskning på området inom Fol-programmen SamspeL och Framtidens elsystem. Därefter skedde en inhämtning och analys av information om tillgängliga referenser, rapporter och dokument som uppgavs vid intervjuerna. Dessutom kartlades också i närtid avslutad samt pågående forskning som tagits fram på området i Sverige genom en sökning i SWECRIS, Vetenskapsrådets forskningsdatabas. Denna kartläggning syftar till att lyfta exempel på forskning och framtida behov, men bör inte anses vara heltäckande.

2 Introduktion till forskningsfältet

Internationell utblick

Internationellt får frågor om ekologisk hållbarhet i elsystemet ökad tyngd i takt med att elektrifiering och utbyggnad av fossilfri elproduktion accelererar. En internationell trend är att förnybar elproduktion i allt högre grad betraktas som en mark- och naturresursfråga, inte enbart som en klimatåtgärd. I EU förstärks detta genom naturrestaureringsförordningen, som innebär bindande mål för att återställa ekosystem på land och till havs².

Det finns flera exempel på internationella samarbeten som syftar till att främja forskning om ekologisk hållbarhet i elsystemet. Kartläggningen visar bland annat följande exempel:

- Samarbeten inom IEA Wind som syftar till att öka förståelse av potentiella miljöeffekter³, materialåtervinning⁴ och livscykelperspektiv⁵ kopplat till vindkraft.
- PVPS Task 12⁶ som verkar för att främja internationellt samarbete, underlätta informationsutbyte och bidra till kunskapsutveckling inom hållbarhet för solceller, med fokus på bland annat miljömässiga dimensioner.
- IEA HYDRO task 19 som syftar till att ta fram kunskap och vägledning om hur vattenkraft påverkar fisk och akvatiska ekosystem samt vilka åtgärder som kan minska negativa effekter⁷.
- OES-Environmental⁸ som arbetar med att på en global nivå öka kunskap om miljöeffekter från marin förnybar energi.

² Naturvårdsverket (2026) [EU-förordning för att restaurera natur](#)

³ Tethys (u.d.) [Wind Energy-Environmental Research & Engagement Network \(WREN\)](#)

⁴ IEA Wind (u.d.) [IEA Wind Task 45: Recycling wind turbine blades](#)

⁵ IEA Wind (u.d.) [IEA Wind TCP Task 60](#)

⁶ IEA PVPS (u.d.) [PV Sustainability](#)

⁷ IEA Hydro (u.d.) [Task 19 Hydropower and Fish 2.0](#)

⁸ Ocean Energy Systems (u.d.) [Assessment of Environmental Effects and Monitoring Efforts for Ocean Wave, Tidal, and Current Energy Systems](#)

- IEAE Waste and Environmental Safety Section som samordnar internationella samarbetsprojekt kring kärnavfallshantering⁹.

Havsbaserad vindkraft är ett identifierat område där den internationella forskningen växer snabbt. Länder som Storbritannien, Tyskland, Nederländerna, Belgien och Danmark ligger långt framme, både genom omfattande utbyggnad och genom forskning om dess effekter, medan Sverige har begränsad empirisk erfarenhet eftersom få parker byggts. Det har genomförts övergripande systemstudier för hur havsbaserad vind påverkar biologisk mångfald och ekosystemtjänster globalt, baserat på ett stort antal vetenskapliga studier¹⁰. Bland annat har tyska studier visat att havsbaserad vindkraft kan förändra strömmar, vattennivå, temperatur, salthalt och påverka grumlighet och marina ekosystem¹¹. Samtidigt beskriver en internationell sammanställning kunskapsluckor om hur havsbaserad vindkraft påverkar den fysiska marina miljön och ett ökat behov av att göra tillförlitliga miljöbedömningar¹².

I det pågående BRET-projektet¹³ samarbetar Sverige, Spanien, Nederländerna, Slovenien och Moldavien. Tillsammans undersöker länderna hur energiutbyggnad påverkar djur, växter, jord, vatten och hela ekosystem – samt hur människor uppfattar och värderar dessa förändringar, och omvandlar resultaten till beslutsunderlag för myndigheter, energiföretag och lokalsamhällen. I ett annat pågående projekt vid namn JustBioSolar¹⁴ samarbetar flera länder – däribland Italien, Spanien, Tjeckien, Tyskland, Colombia och Sverige – för att undersöka hur den snabba utbyggnaden av storskaliga markbaserade solcellsparkar och agrivoltaiska system påverkar landsbygdslandskap i Europa.

Genom intervjustudien framkom att länder som USA och Australien är framstående inom området ekologisk design, medan det i Europa ännu inte finns lika mycket forskning inom detta område. Samtidigt lyfts några europeiska länder som Nederländerna och Belgien som exempel när det gäller naturbaserade lösningar och havsbaserad vindkraft.

Sammantaget pekar studien på att det både finns områden där Sverige kommit långt och där vi halkar efter jämfört med andra länder. För Sverige innebär detta att den internationella forskningen är viktig både som kunskapskälla och jämförelsepunkt, men att resultaten ofta behöver anpassas till svenska och nordiska förhållanden.

⁹ IAEA (u.d.) [Waste and Environmental Safety Section](#)

¹⁰ Watson m.fl. (2024) [The global impact of offshore wind farms on ecosystem services](#)

¹¹ Christiansen m.fl. (2022) [Emergence of Large-Scale Hydrodynamic Structures Due to Atmospheric Offshore Wind Farm Wakes](#)

¹² Renner (2025) [Current knowledge and key gaps in understanding of offshore wind farm impacts on the physical marine environment](#)

¹³ Swecris (u.d.) [Evidensbaserade strategier för en biodiversitetspositiv övergång till förnybar energi](#)

¹⁴ Swecris (u.d.) [Grön energiomställning i Europa - Inverkan på biologisk mångfald, landskap och rättvisa \[JustBioSolar\]](#)

Tematiska områden för pågående och i närtid avslutad forskning

Baserat på genomförd skrivbords- och intervjustudie, framträder ett antal tematiska områden i den svenska forskningen om ekologisk hållbarhet i elsystemet. Dessa teman överlappar delvis och samspelar men ger en bild av forskningsfältets nuvarande inriktning.

Hållbar resursanvändning och livscykelperspektiv

Ett omfattande forskningsområde rör resursanvändning genom hela elsystemets livscykel – från råvaruutvinning och materialval till drift, avveckling och cirkulära flöden. Forskningen fokuserar både på att minska resursanvändningen och på att förändra hur resurser som används i elsystemet nyttjas, återvinns och återbrukas. Centrala forskningsinriktningar omfattar:

- **Minskad resursanvändning** genom exempelvis förlängd livslängd hos komponenter eller effektivare design.
- **Alternativa material och tekniker**, där utvecklingen sker mot mindre resurskrävande eller mer hållbara material, exempelvis utveckling av träbaserade vindkraftstorn¹⁵, cirkulära betongmaterial för havsbaserad vind¹⁶, nya material i vattenelektrolysörer för grön vätgas¹⁷ och mer materialsnåla designer av vindkraftsgeneratorer¹⁸.
- **Hållbara värdekedjor och råvaruförsörjning**, inklusive studier av hur utvinning och förädling av råvaror påverkar energi- och vattenanvändning samt andra miljöaspekter, särskilt för kritiska metaller.
- **Cirkulära flöden och avfallshantering** där ett växande forskningsfält adresserar återbruk och återvinning av exempelvis uttjänta solcellspaneler eller vindturbinblad¹⁹. Forskning har bland annat fokuserat på styrmedel som stärker förutsättningar för cirkulär hantering²⁰ och hållbara återvinningsprocesser av vindturbinblad²¹ och perovskitsolceller²².
- **Livscykelanalyser (LCA)** av kraftslag, komponenter och lagringstekniker i elsystemet. Här ingår både klimatutsläpp och annan miljöpåverkan.
- **Resurstillgången över tid**, där framtida tillgång på kritiska material analyseras i relation till elektrifiering och energiomställning.

¹⁵ Framtidens elsystem (u.d.) [Raise me Up - Utveckling av nästa generationens hållbara torn till vindkraftverk](#)

¹⁶ Framtidens elsystem (u.d.) [Hållbart betongmaterial som leder till förbättrade konstruktioner för förnybar energi till havs](#)

¹⁷ Framtidens elsystem (u.d.) [UNICORN](#)

¹⁸ Framtidens elsystem (u.d.) [NextGen](#)

¹⁹ RISE (2024) [Cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad för vindkraftverk](#)

²⁰ Framtidens elsystem (u.d.) [Policylab - Cirkulära värdekedjor av solcellspaneler och vindturbinblad](#)

²¹ Framtidens elsystem (u.d.) [Recycling of end-of-life wind blades through renewable energy driven molten salt pyrolysis process](#)

²² Framtidens elsystem (u.d.) [Holistisk återvinning av cirkulära perovskitsolceller baserad på gröna lösningsmedel för hållbara energikällor](#)

- **Hantering av farliga restprodukter**, såsom hantering och säkra slutförvarslösningar av kärnavfall.

Området präglas av ett systemperspektiv där resursfrågan kopplas till både teknikutveckling och globala värdekedjor.

Biologisk mångfald

Elsystemets påverkan på biologisk mångfald är ett centralt område kopplat till ekologisk hållbarhet, där forskning i hög grad fokuserar på att förstå, kvantifiera och minska negativa effekter genom att återställa eller stärka arter, habitat, ekosystem och ekologiska processer.

Forskningen undersöker bland annat olika **kraftslags ekologiska effekter** där **restaurering av miljöer** är ett viktigt delområde. Forskningen studerar bland annat hur korttidsreglering av vattenkraft påverkar ekosystem och fiskpopulationer²³, hur modeller för att bedöma påverkan på biologisk mångfald kan utvecklas och tillämpas²⁴, samt hur åtgärder som restaurering och förbättrade driftstrategier kan minska påverkan²⁵.

Ett annat område på temat biologisk mångfald är **långtidseffekter**. Bland annat undersöks långtidseffekter av havsbaserad vindkraft på havsmiljön²⁶ och biologisk mångfald²⁷ samt metoder för att följa upp och minimera dess effekter²⁸.

Elnätets påverkan på biologisk mångfald utgör ett eget delområde. En kunskapssammanställning från SLU²⁹ sammanställer forskning om hur den biologiska mångfalden hos djur, växter och ekosystem kan påverkas av elledningar, kablar och andra komponenter i elnätet. Det handlar bland annat om fågeldöd genom kollisioner eller strömgenomföring, biotop effekter genom förändrade livsmiljöer, spridning av invasiva arter, elektromagnetiska fält som kan påverka djurs orientering, samt buller och andra störningar vid byggnation och drift.

Forskning har också genomförts för att öka förståelse för vissa förutsättningar som kan bidra till att skapa livsmiljöer och därigenom **främja biologisk mångfald** i exempelvis kraftledning³⁰.

²³ Framtidens elsystem (u.d.) [Produktionspotential för reglerkraft och fiskpopulationer i framtidens älvar \(PORTFOLIO\)](#)

²⁴ Swecris (u.d.) [Intressentdriven ekologisk modellering för miljöbedömningar i vattenkraftsreglerade älvar](#)

²⁵ Addo m.fl. (2026) [Individual-based modeling of Atlantic salmon and brown trout outmigrants in a hydropeaking-regulated river: Effects of minimum baseflow and gravel augmentation on smolt production](#)

²⁶ SLU (2026) [WIND4COCO - Vindkraft i marina ekosystem](#)

²⁷ Swecris (u.d.) [Urbanisering av havet – effekter av havsbaserad vindkraft på biologisk mångfald i öppet hav](#)

²⁸ Havsmiljöinstitutet (2025) [Metoder för att följa upp och minimera effekter av havsbaserad vindkraft](#)

²⁹ Helldin m.fl. (2025) [Miljöeffekter av elnät: en kunskapssammanställning](#)

³⁰ Grusell, Lagenfelt & Collberg (2023) [Biologisk mångfald i kraftledningsgator – Förstudie och ramverk för inventering](#)

Samexistens och multifunktionella lösningar

Samexistensfrågor – hur olika intressen kan samlas i landskap och havsområden – utgör ett växande forskningsfält i takt med att elsystemet byggs ut. Forskningen behandlar bland annat:

- **Multifunktionella lösningar och interaktioner mellan sektorer**, till exempel mellan energiproduktion, jordbruk, fiske, vattenbruk, naturvård och sjöfart. Agrovoltaik, där elproduktion kombineras med jordbruk på samma mark, möjliggör förening av energi-omställning, effektiv markanvändning och biologisk mångfald med konkurrenskraftigt jordbruk. Multifunktionalitet kopplat till havsbaserad vindkraft och infrastruktur är ett annat aktuellt forskningsområde^{31,32}, där exempelvis artificiella rev, indirekta skyddseffekter på arter och havsbottnar samt minskad övergödning genom kombination med vattenbruk, som alg- och musselodlingar, lyfts fram³³.
- **Ekologisk design** (eng. nature-inclusive design eller ecological engineering), är ett angränsande område där energilösningar och infrastruktur utformas för att minska negativ påverkan på biologisk mångfald, motverka oönskade arter och främja önskade arter³⁴. Exempel på områden som undersöks är hur ekologisk design inom havsbaserad vind kan bidra till nya affärsmöjligheter³⁵.
- **Urfolks- och rättighetsperspektiv**, där frågor om kunskap, delaktighet och rättvisa när det gäller mark- och resursanvändning analyseras. Området berörs kort i forsknings-syntesen Social hållbarhet i energiomställningen³⁶.

Målkonflikter

Målkonflikter är ett genomgående tema inom forskningen och uppstår både inom ekologisk hållbarhet och i relation till andra samhällsmål. Exempel på områden med centrala målkonflikter är:

- **Elproduktion & systemnytta vs ekologiska värden**, där korttidsreglering av vattenkraft är ett exempel på en funktion som är viktig för att balansera ett elsystem med hög andel variabel elproduktion, samtidigt som akvatiska ekosystem påverkas negativt genom förändrade livsmiljöer³⁷.

³¹ Mistra (u.d.) [Mistra Co-Creating Better Blue](#)

³² Mistra (u.d.) [SEI Initiative on Gridless Solutions](#)

³³ Koehler & Bergström (2023) [Havsbaserad vindkraft i samexistens med fiske, vattenbruk och naturvård? – en inledande kunskapssammanställning](#)

³⁴ Havs- och vattenmyndigheten (2026) [Ekologisk design som metod för anpassning av konstruktioner i kustvatten](#)

³⁵ SLU (u.d.) [Nordic BioBuz](#)

³⁶ Power Circle (2025) [Social hållbarhet i energiomställningen](#)

³⁷ Widén m.fl. (2023) [EcoPeaking – pilotstudie om korttidsreglering](#)

- **Ekologisk hållbarhet vs ekonomiska intressen** är ett nära angränsande område, då lösningar som maximerar ekologisk hållbarhet inte alltid är de ekonomiskt mest fördelaktiga.
- **Klimatpåverkan vs annan miljöpåverkan**, där ökad elektrifiering och klimatnytta kan leda till förskjutningar av miljöutsläpp i andra delar av värdekedjan, exempelvis råvaruutvinning. Ett område som undersöks är hållbarhet kopplat till förnybar elproduktion^{38,39}.
- **Ekologisk hållbarhet och säkerhetsintressen** kan också stå i konflikt och ges olika vikt. Säkerhetsintressens påverkan på lokalisering vid utbyggnad av elsystemet kan påverka effekterna på ekologin, som skiljer sig mellan olika platser. Säkerhetsintressens påverkan på havs- och vindkraftsplaneringen i Sverige är ett sådant forskningsområde⁴⁰.

Forskning utvecklar kunskap, metoder, ramverk och samverkansplattformar för att synliggöra och hantera dessa målkonflikter.

Systemorienterad forskning

Forskning som fokuserar på hur olika delar av elsystemet samverkar över tid och rum tenderar att vara systemorienterad och tvärgående. Centrala teman är:

- **Kumulativa effekter** är ett område som spänner över olika teman där samlade och samverkande miljöpåverkansfaktorer analyseras över tid, rum och sektorer. Forskningen kan exempelvis analysera hur effekter ackumuleras, förstärks och interagerar. Det kan exempelvis handla om utträngningseffekter när flera olika intressen ska samsas i ett landskap.
- **Systemgränser och metodutveckling**, inklusive utveckling av miljösystemanalytiska verktyg för att förstå och hantera komplexa samband mellan teknik, miljö och samhälle.
- **Strategisk planering**, där lokalisering och utformning av elsystemets infrastruktur studeras med avseende på att minimera ekologisk påverkan. Ett exempel är behov av elnätsutbyggnad till följd av utbyggd laddinfrastruktur.
- **Hydrografisk forskning**, där påverkan från elproduktion på vattnets fysikaliska egenskaper och dynamik samt ekologiska effekter av det analyseras. Exempelvis undersöks påverkan på temperaturer, salthalter, strömmar och grumlighet för olika

³⁸ Johansson m.fl. (2025) [How Sustainable is 100% Renewable?](#)

³⁹ Swecris (u.d.) [WindyForests – Skogar i centrum för den globala gröna omställningen: Samproduktion av innovativa verktyg, processer och framtidsstigar för hållbar integrering av vindkraft i skogslandskap](#)

⁴⁰ Barquet & Sjölander (2025) [Quiet power: How security interests shape offshore wind and marine spatial planning in Sweden](#)

framtidsscenarier för utbyggnad av havsbaserad vindkraft i Östersjön⁴¹. Andra påverkans exempel gäller vågor, syresättning, isbildning⁴² och primärproduktion.

Samhälle och policy

Forskningen analyserar också hur regelverk och samhällsprocesser påverkar ekologisk hållbarhet i elsystemet. Området omfattar bland annat:

- **Socioekologi** där samspelet mellan samhälle och ekosystem står i fokus.
- **Policy och styrmedelsanalyser**, som undersöker miljömässiga och sociala konsekvenser av lagstiftning, inklusive EU-regelverk, är också ett centralt område. I ett exempel på pågående forskning inom Framtidens elsystem analyseras tillståndsprocesser och EU:s Critical Raw Materials Act (CRMA) utifrån ett vind- och solravaruperspektiv⁴³.
- **Resiliensforskning** med fokus på systemets förmåga att hantera förändring, osäkerhet och störningar är ett växande område.

Vilka bedriver forskningen?

Frågeställningar inom ekologisk hållbarhet spänner över en bredd av discipliner. Inriktningar som identifierats genom kartläggningen inkluderar bland annat biologi, ekologi, miljövetenskap, teknik och teknikhistoria, beteendekologi, naturvetenskap, genetik, fysik, teknikhistoria och samhällsvetenskap.

Följande aktörer har genom studien framkommit som aktiva forskningsmiljöer inom området ekologisk hållbarhet i elsystemet:

- Chalmers Industriteknik
- Chalmers tekniska högskola
- Energiforsk
- IVL Svenska Miljöinstitutet
- Jönköpings University
- Karlstad Universitet
- Kungliga tekniska högskolan (KTH)
- Linköpings universitet
- Luleå Tekniska Universitet
- Lunds universitet
- Näringslivsaktörer
- RISE Research Institutes of Sweden
- Skogforsk
- Stockholm Environmental Institutet (SEI)
- Stockholms universitet
- Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI)
- Södertörns högskola
- Umeå universitet
- Uppsala universitet

⁴¹ Arneborg m.fl. (2024) [Hydrographic effects in Swedish waters of future offshore wind power scenarios](#)

⁴² Havs- och vattenmyndigheten (u.d.) [Hydrografiska villkor och biologisk mångfald](#)

⁴³ Framtidens elsystem (u.d.) [Guld och gröna skogar: CRMA och utmaningarna för fossilfri elförsörjning i Sverige](#)

Flera svenska lärosäten lyfts fram, där forskning bedrivs på olika institutioner samt tvärvetenskapligt. Även forskningsinstitut som RISE, IVL Svenska Miljöinstitutet och SEI samt program finansierade av aktörer som Energiforsk spelar en central roll. Det finns flera exempel på näringslivsaktörer som bedriver forskning och utveckling på området samt aktörer från energibranschen som har FoU-program. SMHI har forskningsenheter som bland annat studerar elsystemets påverkan på vattenmiljöer.

3 Finansiering av forskningen

Finansiärer

Baserat på intervjuer och skrivbordsstudie har ett antal olika aktörer som finansierar forskning relaterad till ekologisk hållbarhet i elsystemet identifierats.

- Energimyndigheten
- Havs- och vattenmyndigheten
- Naturvårdsverket
- Trafikverket
- Vinnova
- Formas
- Mistra
- EU
- Tillväxtverket
- Vetenskapsrådet
- Svensk Kärnbränslehantering (SKB)
- Östersjöstiftelsen
- Energibranschen och andra näringslivsaktörer
- Riksbankens jubileumsfond
- Wallenbergstiftelserna
- Annat privat kapital

Energimyndigheten framstår som en central finansiär, både genom riktade program och genom stöd till kompetenscentrum, tillämpade forskningsprojekt och internationella samarbeten. Andra myndigheter som framträder inkluderar bland annat Vinnova, Havs- och vattenmyndigheten, Trafikverket och Naturvårdsverket. Ytterligare en statlig finansiär är Formas, ett forskningsråd för hållbar utveckling.

För tvärvetenskaplig forskning som sker i samverkan med olika samhällsaktörer lyfts stiftelsen Mistra fram som en viktig finansiär.

Näringslivsaktörer från energibranschen anses också vara viktiga finansiärer, där de finansierar forskning både direkt genom företagens egna FoU-budgetar och indirekt genom branschgemensamma plattformar, program och uppdragsforskning. Finansieringen är då ofta behovsdriven och kopplad till praktiska frågor som tillståndprocesser, miljöåtgärder, biologisk mångfald, miljöanpassning, elnätsutbyggnad och cirkulär hantering av komponenter. Annat privat kapital omfattar exempelvis riskkapital, affärsänglar, filantropiska stiftelser och samfinansiering i forsknings- och innovationsprojekt.

På internationell nivå är EU en viktig finansiär för forskning och innovation, genom olika program och satsningar. Tillväxtverket är förvaltande myndighet för EU:s regionala utvecklingsfond (ERUF) i Sverige och fördelar forskningsmedel inom olika program som ska leda till investeringar i hållbar utveckling och sysselsättning i hela Sverige.

En del finansiärer lyfts fram som relevanta inom specifika områden. Östersjöstiftelsen finansierar forskning med anknytning till Östersjöregionen där forskningsprojekten framför allt är inom humaniora och samhällsvetenskap men också inom naturvetenskap och då främst med inriktning mot miljöfrågor. SKB finansierar forskning och teknikutveckling kopplat till hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle. Wallenbergstiftelserna finansierar grundforskning inom olika områden, bland annat kopplat till utveckling av mer hållbara material. Riksbankens jubileumsfond kan i begränsad omfattning finansiera samhällsvetenskapliga bidrag till forskningsområdet.

Särskilda satsningar

I intervjuerna och skrivbordsstudien har ett antal specifika satsningar, program och samarbeten som på olika sätt bidrar till forskning på området ekologisk hållbarhet i elsystemet kunnat identifieras, se tabell 1.

| Satsning | Beskrivning | Finansiärer | Tid |
|--|--|---|-----------|
| Framtidens elsystem | Ett forsknings- och innovationsprogram som finansierar projekt som belyser utmaningar kopplade till elproduktion, elanvändning och framtidens elnät, där ekologisk hållbarhet ingår. | Energimyndigheten | 2022–2029 |
| MESAM | Ett forskningsprogram som finansierar forskning som undersöker hur energirelaterade utsläpp kan minska och hur hållbara energisystem kan utvecklas på ett sätt som inkluderar människor, samhälleliga aktörer och bredare samhällsfrågor. | Energimyndigheten | 2025–2030 |
| RE:Source | Ett strategiskt innovationsprogram som finansierar projekt med fokus på hållbar och cirkulär materialförsörjning, hållbara energisystem och effektivare resursanvändning. | Energimyndigheten, Vinnova och Formas | 2016–2027 |
| Solelforskningscentrum Sverige (SOLVE) | Ett kompetenscentrum bestående av universitet, företag och organisationer som genomför forskning i samverkan med fokus på olika aspekter av utbyggnaden av sol i det svenska energisystemet. Projekten är uppdelade i olika teman, däribland kombinerad markanvändning och hållbarhet. | Energimyndigheten tillsammans med 6 akademiska institutioner och 50 företag | 2022–2026 |
| Svenskt centrum för hållbar vattenkraft (SVC) | Ett kompetenscentrum med samarbete mellan vattenkraftsindustrin, akademien och statliga myndigheter, för att säkerställa att vattenkraften fortsatt kan vara en möjliggörare för ett välbalanserat svenskt energisystem och en omvärld i omvandling. | Energimyndigheten och Svenska kraftnät tillsammans med 7 akademiska institutioner och 22 andra organisationer | 2022–2026 |

| Satsning | Beskrivning | Finansärer | Tid |
|---|--|--|-----------|
| Vindval | Ett forskningsprogram om vindkraftens påverkan på människor, natur och miljö, i syfte att ta fram och sprida vetenskapligt baserad kunskap om vindkraftens effekter, som stöd för planering, miljökonsekvensbeskrivningar, tillståndsprovning och uppföljning av vindkraftsetableringar. | Energimyndigheten och Naturvårdsverket | 2005–2025 |
| Bioinnovation | Ett strategiskt innovationsprogram med fokus på omställningen till en cirkulär biobaserad ekonomi. Målet är att öka innovationstakten och stärka konkurrenskraften i den svenska biobaserade sektorn. | Vinnova, Energimyndigheten och Formas tillsammans med deltagande aktörer från näringsliv, akademi, institut och offentlig sektor | 2015– |
| Mistra Co Creating Better Blue (C2B2) | Ett tvärvetenskapligt forskningsprogram som syftar till att utveckla en mer hållbar, öppen och demokratisk blå ekonomi i Sverige, med fokus på samarbete mellan aktörer och att utveckla ett helhetsperspektiv. | Mistra tillsammans med 38 deltagande organisationer från akademi, industri, offentlig sektor och civilsamhälle | 2023–2027 |
| Mistra Geopolitics | Ett tvärvetenskapligt forskningsprogram som undersöker sambanden mellan geopolitik, mänsklig säkerhet och globala miljöförändringar, med fokus på hur klimatförändringar, resursknapphet, teknikutveckling, internationella konflikter och hållbarhetsomställning påverkar varandra. | Mistra tillsammans med 23 organisationer från akademi, offentlig sektor och näringsliv | 2017–2025 |
| Nationella forskningsprogrammet om hav och vatten | Ett nationellt forskningsprogram om hav och vatten som genom utlysningar av forskningsfinansiering och andra aktiviteter ska skapa förutsättningar för ett strategiskt och långsiktigt arbetssätt med ett helhetsperspektiv på vatten. | Formas | 2021–2030 |
| Swedish Wind Centre (SWC) | Ett svenskt forskningscentrum som samlar och tar fram forskningsbaserad kunskap om vindkraft. Centret arbetar med fem forskningsteman, varav ett riktar fokus mot miljö och material vilket inkluderar frågor om exempelvis biodiversitet, materialåtervinning och livscykelanalyser. | Ett 20-tal organisationer, däribland universitet, forskningsinstitut, forskningsföretag, energiföretag och offentlig sektor | 2024– |
| Innovation Fund | Ett finansieringsprogram för demonstration av innovativa nettonoll- och lågutsläppstekniker. | EU | 2020–2030 |
| European Research Council (ERC) | Ett finansieringsprogram som finansierar forskning inom alla vetenskapsområden och kan vara relevant för mer långsiktiga och forskarinitierade frågor. | EU | |
| Wallenberg Initiative Materials Science for Sustainability (WISE) | En forskningssatsning på materialvetenskap för ett hållbart samhälle. Syftet är att utveckla nya och förbättrade material och tillverkningsprocesser som kan minska klimat- och miljöavtryck från industri och samhälle. | Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse | 2022–2033 |

Tabell 1: Exempel på särskilda satsningar för forskning på området ekologisk hållbarhet i elsystemet

Utmaningar och hinder med att söka finansiering

Bland de intervjuade forskarna framträder ett antal återkommande utmaningar och hinder kopplade till finansiering av forskning om ekologisk hållbarhet i elsystemet. Flera respondenter upplever att ekologisk hållbarhet i bred bemärkelse **inte varit fokus** för utvecklingen av elsystemet, och att frågeställningar ofta varit mer inriktade på klimat. Detta kan vara en förklaring till att forskarna upplever en utmaning i att **utlysningar ofta är breda och sällan riktar sig specifikt mot ekologisk hållbarhet i elsystemet**. Detta leder till att de konkurrerar om

medel med forskare som jobbar med andra frågeställningar och riskerar att leda till att ekologisk hållbarhet snarare kommer med på "ett hörn" än att bli huvudfokus. Intervjurespondenterna upplever också att det i samhället finns en ovilja att belysa negativa aspekter av fossilfri elproduktion.

Många beskriver också att **konkurrensen om forskningsmedel** har ökat. Beviljandegraden beskrivs av vissa respondenter som låg och tidsåtgången för ansökningar som stor, vilket i sin tur tar resurser från själva forskningen. Några respondenter resonerar kring om användningen av AI som hjälpmedel vid framtagande av forskningsansökningar kan vara en bidragande orsak till ökad konkurrens. Ett allmänt pressat ekonomiskt läge och minskade egna resurser från universiteten anges också som en möjlig förklaring till ökad konkurrens.

Samtidigt upplever vissa respondenter inte några större utmaningar när det gäller finansiering. Hur etablerat ett forskningsinstitut eller lärosäte är inom forskningsfältet beskrivs kunna påverka utmaningar med och möjligheter till finansiering. Vidare beskrivs det som enklare att få finansiering för forskning som bedrivs av postdoktorala forskare, medan det är svårare för doktorander.

EU-regler påverkar krav i svenska forskningsutlysningar, så som krav på medfinansiering från industri eller andra aktörer. Några respondenter anser att detta ofta fungerar väl för teknisk utveckling samt mer kortsiktiga och specifika resultat, men är svårare för mer tvärvetenskapliga infallsvinklar samt systeminriktad, policyrelaterad eller miljöanalytisk forskning där det saknas tydliga kommersiella aktörer som kan bidra. När miljöforskning kräver medfinansiering ser forskare en risk att den styrs mot mer ofarliga frågor, där möjligheterna att vara kritisk och oberoende minskar.

Vidare framförs att finansiering för **grundforskning är svårare** att få, jämfört med finansiering av mer tillämpad forskning. Samtidigt uppger en del av respondenterna att det upplevs **svårt att söka forskningsstöd för att utveckla produkter** som tillgodoser specifika behov hos olika målgrupper.

Samarbete inom EU beskrivs som ett område med utvecklingspotential. För att söka EU-medel krävs tid och administration och ofta måste forskarna arbeta tillsammans med en konsult, vilket blir en kostnad som annars hade kunnat gå till forskning och teknikutveckling. Flera respondenter ser större **svårigheter med att söka EU-medel** än nationella medel.

Förslag på förbättringar av finansieringssystemet

Eftersom Energimyndigheten står för en stor del av finansieringen inom energiområdet får de utlysningar som **energimyndigheten har stor påverkan på vilken typ av forskning som bedrivs** i Sverige. Detta gör att det är viktigt hur finansieringen utformas och vilka frågor som får utrymme i utlysningar. En respondent lyfter positivt fram den utveckling som skett för att göra

ansökningssystemet mindre fyrkantigt, vilket har bidragit till att bredda vilka ämnesområden som ryms inom utlysningarna. Flera respondenter menar också att Energimyndigheten varit framgångsrik i att fånga upp nya typer av frågor och perspektiv, vilket har möjliggjort en mer varierad och relevant forskningsportfölj.

I syfte att minska risken att forskning på området konkurrerar om finansiering med forskning på andra områden föreslås **fler utlysningar med riktade medel till ekologisk hållbarhet i elsystemet**. Genom att öronmärka finansiering skapas bättre förutsättningar för att utveckla kunskap om ekologiska aspekter, som ofta hamnar i skymundan i mer klimat- eller teknik-fokuserade satsningar. Riktade utlysningar kan också bidra till att tydliggöra området som en strategisk prioritet, vilket kan stimulera fler forskare att engagera sig och bygga upp kompetens över tid.

Samtidigt lyfts att **möjliggöra för bredare forskningsområden** och premiera arbete med att bygga upp samarbetsmiljöer som ett förslag under ett dialogmöte⁴⁴ med forskare inom området. Forskarna uppmuntrade till att undersöka hur övergripande, tvärvetenskapliga forskningsprojekt och samarbeten kan premieras och att skapa förutsättningar för mer snabbfotade och explorativa samarbeten. En respondent framhöll att European Research Council i högre grad än andra finansiärer stöttar **tvärvetenskapliga och mer ovanliga projekt** och därför skulle kunna fungera som inspirationskälla.

Ett möjligt utvecklingsområde är att komplettera dagens utlysningar med **mer flexibla och snabbfotade finansieringsformer**. Ett förslag är att införa mindre, riktade "snabbspår" med kortare ansöknings- och beslutsprocesser. Dessa skulle kunna ha en mindre budget per projekt och vara inriktade på exempelvis förstudier, pilotprojekt eller kunskapssammanställningar.

Samtidigt framhålls det att **forskningsprojektens, och därmed forskningsanslagens, storlek** spelar roll för forskarnas förutsättningar att ha en god kontinuitet i arbetet och större projekt anses ur det perspektivet mer önskvärda.

Det beskrivs som viktigt att de studier som ska genomföra livscykelanalyser har med en **beskrivning av datamodellen i forskningsansökan** och att den utvärderas, för att säkerställa att datamodellen är robust.

Ökat samarbete inom området mellan myndigheter som Energimyndigheten och Naturvårdsverket nämndes som ett förbättringsförslag från en respondent för att underlätta omställning, exempelvis kopplat till det skifte som restaureringsförordningen (EU 2024/1991) medför för att återställa skadade ekosystem och stärka biologisk mångfald i Europa.

⁴⁴ Digitalt dialogmöte arrangerat av Power Circle 2026-04-16

4 Behovsägare och tillämpning

Behovsägare

Studien identifierar flera huvudsakliga målgrupper och behovsägare för forskning inom fältet ekologisk hållbarhet i elsystemet. Dessa aktörer är många, spänner över hela elsystemets värdekedja och påverkar alla hur forskningsresultat tas emot och används i praktiken. Samverkan mellan behovsägare och akademi framställs som central.

Myndigheter och beslutsfattare

Myndigheter lyfts fram som en viktig aktörgrupp gällande både implementering av forskningsresultat samt i utveckling av policy, planering och styrmedel. I studien framträder bland annat Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, Svenska kraftnät, Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten, Sjöfartsverket och Trafikverket.

Bland nationella beslutsfattare lyfts regeringen, riksdagen och relevanta departement som centrala mottagare av forskningen, då de ansvarar för utformning av lagstiftning och nationella mål. Svenska domstolar hanterar överklaganden av tillstånd, vilket skapar ett behov av forskningsbaserat underlag. Även EU:s institutioner är viktiga behovsägare av forskningen.

Kommuner, regioner och lokala beslutsfattare

Kommuner, regioner, statsförvaltare och beslutsfattare på lokal nivå ses som viktiga målgrupper för forskningen, eftersom dessa fattar beslut om etablering och utbyggnad av olika kraftslag och elnät. Här ser forskarna ett stort behov av forskningsbaserat underlag som tar hänsyn till olika avvägningar. Länsstyrelserna är ytterligare en behovsägare, eftersom de har en central roll i tillståndsprocesser, miljöprövning och tillsyn där villkor för dessa beslut baseras på forskning.

Regionala och mellanstatliga organisationer

Regionala och mellanstatliga organisationer är ytterligare målgrupper eftersom många av frågorna kopplade till ekologisk hållbarhet i elsystemet sträcker sig över nationsgränser. Dessa aktörer behöver forskning för att kunna utforma policyer, direktiv och samarbetsinitiativ som är vetenskapligt förankrade. De spelar också en viktig roll i att samordna kunskap, sprida bästa

praxis och möjliggöra jämförelser mellan länder. Ett antal exempel framkommer i intervjuerna, såsom HELCOM⁴⁵, OSPAR⁴⁶ och Nordic Innovation⁴⁷.

Energisektor och industri

Energisektorn och industri anses vara centrala för forskningen, både i implementering av forskningsresultat och i att uttrycka behov så att forskningen förblir relevant. Här ingår bland annat energibolag, elproducenter, elnätsbolag och branschorganisationer, som behöver kunskap om miljöpåverkan, tekniska lösningar och regelverk för att kunna fatta beslut som både är ekonomiskt hållbara och förenliga med ekologiska krav. För denna grupp är forskningsfrågor som berör materialval, drift och underhåll, livstidsförlängning, nyinvesteringar och långsiktig planering ofta centrala.

Forskningen utgör ett viktigt kunskapsunderlag kopplat till miljötillstånd, och är viktig för kompetensförsörjning genom att utbilda och utveckla den expertis som behövs för att hantera ett alltmer komplext och föränderligt energisystem.

Andra sektorer

I intervjustudien framträder flera exempel på sektorer som både påverkar och påverkas av elsystemets omställning och naturresursanvändning. Bland annat handlar det om aktörer som utvecklar och producerar komponenter som används i elsystemet. Aktörer inom jordbruk, transport, gruvindustrin, skogsbruk, byggsektorn, träindustrin, fiske och vattenbruk, försvaret och sjöfartsindustrin nämns också som viktiga – både för att uttrycka behov, vara delaktiga i pågående forskning, minimera sektorskonflikter och ta del av samt implementera resultat. Företag som jobbar med naturvårdande insatser, exempelvis förbättrad havsmiljö, är också en behovsägare av forskning inom området.

Civilsamhälle och allmänhet

Allmänheten anses vara en viktig målgrupp, där forskning behövs för att öka förståelsen för hur olika lösningar uppfattas, vilka faktorer som påverkar acceptans och hur konflikter kan hanteras eller förebyggas. Samtidigt är allmänheten inte bara mottagare av konsekvenser utan också en viktig aktör i den demokratiska processen, vilket innebär att forskningen behöver vara tillgänglig för att kunna bidra till en ökad kunskapsnivå. Som en förlängning anses därför även medier som en viktig aktör.

Civilsamhället, inklusive intresseorganisationer som WWF, Älvräddarna, Sportfiskarna, lokala organisationer och bostadsrättsföreningar, betraktas av forskarna både som målgrupp för och aktör inom forskning om ekologisk hållbarhet i elsystemet.

⁴⁵ HELCOM (u.d.) [About us](#)

⁴⁶ OSPAR (u.d.) [About OSPAR](#)

⁴⁷ Nordic Innovation (u.d.) [Om Nordic Innovation](#)

Akademi och forskningsmiljöer

Akademi och forskningsinstitut är både producenter och användare av kunskap. De behöver identifiera kunskapsluckor, utveckla metoder, sprida resultat och bidra med tvärvetenskapliga perspektiv som fångar samspelet mellan elsystem, ekologi och andra aspekter. Forskningen är också avgörande för att bygga långsiktig kompetens inom andra delar av samhället. Även studenter på grundutbildningar betraktas som en förlängd målgrupp av akademisk forskning.

Tillämpning

Forskning inom ekologisk hållbarhet används brett av energibransch, industri, myndigheter och beslutsfattare som **kunskapsunderlag**. Resultaten omsätts i **konkreta åtgärder**, såsom förbättrade och branschgemensamma lösningar för biologisk mångfald i kraftledningsgator⁴⁸, där forskningen har potential att bidra till att projekteringar kan genomföras med nettopositiva miljöeffekter.

Vidare omsätts resultaten i utveckling av **nya affärsmodeller, innovationer och tekniker**, exempelvis inom området återanvändning av uttjänta vindturbinblad⁴⁹, där det finns såväl internationella^{50,51} som svenska exempel⁵². Utveckling av alternativa material som trä i torn till vindkraftverk är ett annat exempel, där företaget Modvion arbetar med välkända forskare kring frågor som utmattningshastighet i trä⁵³.

Forskningen bidrar även till utveckling av **metoder och verktyg** för att minska ekologisk påverkan, såsom system för att värdera biologisk mångfald och stödja lokalisering, projektering och kompensationsåtgärder. Ett sådant exempel är utvärderingsverktyget Climb, som kartlägger och värderar biologisk mångfald inom ett geografiskt område⁵⁴.

Forskningen används vidare som **underlag för planering, miljöbedömningar, tröskelvärden och villkor**, exempelvis i tillståndsprocesser, samt i domstolsärenden. I intervjustudien framkom att relevant forskning är avgörande för att Länsstyrelsen ska kunna sätta rättvisande tröskelvärden, exempelvis gränsvärde för impulsivt buller och störning för tumlare och fisk, eller ange villkor för att begränsa den negativa påverkan på ekologin. Ett annat exempel är Havs- och vattenmyndighetens ansvar för att ta fram förslag till havsplaner som sedan beslutas av regeringen och där forskningen bidrar med både metod och kunskapsutveckling^{55,56}. Oceanografisk forskning kring havsbaserad vindkrafts påverkan på havet är ett exempel inom

⁴⁸ Grusell, Lagenfelt & Collberg (2023) [Biologisk mångfald i kraftledningsgator – förstudie och ramverk för inventering](#)

⁴⁹ RISE (2024) [Cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad för vindkraftverk](#)

⁵⁰ Blade-Made (u.d.) [Wind turbine composite waste repurposing solutions](#)

⁵¹ Wings for Living (u.d.) [Wings for Living](#)

⁵² Sennerö (2025) [Europas första 'vindkraftsbyggda' parkeringshus invigt](#)

⁵³ Modvion (u.d.) [We're challenging the potential within wood](#)

⁵⁴ CLIMB (u.d.) [Changing land use impact on biodiversity](#)

⁵⁵ Havs- och vattenmyndigheten (u.d.) [Havsplanering](#)

⁵⁶ Havs- och vattenmyndigheten (u.d.) [Branscher, intresseorganisationer, forskning, allmänhet](#)

området⁵⁷. Vidare spelar forskning en stödjande roll i arbetet med den kontinuerliga revideringen av havsmiljödirektivets åtgärdsprogram⁵⁸.

På policy- och styrningsnivå påverkar forskningen **utformningen av nationella och europeiska regelverk** och respondenter nämnde exempel på underlag⁵⁹ som tagits fram av forskare på direkt uppdrag av myndigheter, exempelvis som del av olika regeringsuppdrag. Arbetet med den nationella planen för moderna miljövillkor för vattenkraften (NAP) är också ett exempel där samverkan skett mellan forskare, myndigheter och beslutsfattare.

Ibland byggs **forskningsmetoder in i policy**, vilket också skapar styrningseffekter. En respondent problematiserade kring att alternativa metoder från annan forskning hade kunnat resultera i andra styrningseffekter och i det sammanhanget nämndes EU:s batteriförordning och konceptet "Circle of footprint" som ett exempel. En annan EU reglering som har en direkt påverkan på hanteringen av de kritiska material som används i elsystemet är Critical Raw Materials Act (CRMA).

Ökad kompetensförsörjning inom energibranschen genom att forskare bygger upp specialistkunskap beskrivs också som ett viktigt resultat och tillämpning av forskningen, särskilt då kompetensförsörjning målas upp som en stor utmaning framåt för hela energibranschen.

Sätt att nå ut med forskning

För att forskning om ekologisk hållbarhet i elsystemet ska få genomslag behöver resultaten inte enbart publiceras i vetenskapliga forum, utan också aktivt översättas, paketeras och spridas till relevanta målgrupper som kan använda kunskapen i planering, beslutsfattande, tillståndprocesser, teknikutveckling och praktiskt genomförande. Centralt är etablerade rutiner för att involvera aktörer och behovsägare genom hela forskningsprocessen, exempelvis via referens- och projektgrupper, samverkan och strukturerad resultatspridning.

Olika former av kunskapsspridning lyfts, såsom policy briefs, faktablad, interaktiva verktyg samt digitala kanaler som sociala medier och podcasts. För att stärka kopplingen mellan forskning och tillämpning betonas även gemensamma pilotprojekt och tillämpade fallstudier som kan fungera som broar mellan forskning och praktisk användning.

Eftersom energifrågor ofta är komplexa och kan vara polariserande finns behov av arbetssätt som synliggör avvägningar och olika aktörsperspektiv. I intervjustudien framkommer exempel på innovativa former för tillgängliggörande, så som ett hållbarhetsverktyg för förnybar

⁵⁷ SFPO (2023) [SMHIs oceanografiska forskare: "Vindkraftsparker till havs har en storskalig påverkan på havet"](#)

⁵⁸EU:s Havsmiljödirektiv (2008/56/EG) innebär att medlemsstaterna ska se till att alla havsområden uppnår eller upprätthåller god miljöstatus: [Metodbeskrivning för genomförande av GAP-analys, inför uppdatering av Havs- och vattenmyndighetens åtgärdsprogram för havsmiljön](#)

⁵⁹ Havs- och vattenmyndigheten (2026) [Ekologisk design kan minska påverkan när vi bygger i vatten](#)

elproduktion utvecklat av IVL Inom ramen för forskningsprojektet "Hundra procent förnybart – hur många procent hållbart"⁶⁰, samt en AI-baserad modul⁶¹ som sammanställer och tillgängliggör forskningsbaserad kunskap om havsbaserad vind i Östersjön baserat på 26 specifika studier.

Utmaningar och hinder för forskning och tillämpning

Intervjustudien visar på några återkommande utmaningar för forskning och tillämpning kopplat till ekologisk hållbarhet i elsystemet.

En central, tvärgående utmaning rör **datahantering**. Tillgång till relevant och högkvalitativa data påverkar både forskningsmöjligheter och praktisk tillämpning. Begränsningar uppstår både på grund av att data saknas, till följd av långa tidscykler i elsystemets värdekedjor och på grund av bristande datadelning mellan aktörer, vilket försvårar forskning och tillämpningen av de tekniska lösningar som finns⁶². För livscykelanalyser innebär detta att många studier baseras på samma dataunderlag. Då utmaningar kring datahantering finns på systemnivå är det svårt att hantera inom enskilda forskningsinsatser.

Ekonomiska och regulatoriska förutsättningar utgör ytterligare hinder. Exempelvis kan nuvarande reglering av elnätsverksamhet påverka investeringar i komponenter trots att de inte uppnått sin tekniska livslängd. Inom elproduktion och batterier kan kostnadsstrukturer också missgynna cirkulära flöden, såsom återanvändning och materialåtervinning, i jämförelse med mer linjära och kortsiktigt billigare alternativ.

Skillnader i tidshorisonter mellan aktörer är en annan utmaning, som också beskrivs som en möjlighet. Industrin och andra behovsägare har ofta ett kortare besluts- och investeringsperspektiv, medan forskningen i högre grad kan anlägga ett långsiktigt systemperspektiv. Detta kan försvåra samverkan, men innebär också en potential att integrera olika perspektiv i utvecklingen av elsystemet.

Det finns även svårigheter kopplade till **kunskapsöverföring och tillämpning**. Att skala upp resultat från forskning och pilotprojekt till bred implementering beskrivs som en utmaning. Behov av ökad samverkan mellan forskning och näringsliv lyfts och området ekologisk kompensation nämns som ett exempel. Samtidigt framhålls att gränsdragningen mellan vetenskaplig kunskap och politiska värderingar ibland upplevs som otydlig, vilket kan påverka hur forskningsresultat tas emot och används. I ett område som ofta präglas av målkonflikter finns även ett behov av arbetssätt som möjliggör dialog och samarbete mellan aktörer med olika perspektiv.

⁶⁰ Rootzén m.fl. (2025) [SURE - Sustainability screening of renewable power production projects](#).

⁶¹ Wagner (u.d.) [Ecological impacts of offshore wind](#)

⁶² Holmgren Holm & André (2026) [Nulägesanalys för cirkulär hantering av uttjänta vindturbinblad \(SVPLab Vind\)](#)

Elsystemets sammansättning påverkar också forskningsförutsättningarna. Inom vissa kraftslag, såsom havsbaserad vindkraft, menar vissa respondenter att forskningen begränsas av att Sverige har få etablerade anläggningar, samtidigt som den snabba teknikutvecklingen gör det svårt att följa och utvärdera nya miljöeffekter i takt med att industrin utvecklas. För batterier är motsvarande utmaning kopplad till snabbt växande marknader. Inom kärnkraftsområdet, innebär avsaknaden av nybyggnation under lång tid att empiriska underlag i en svensk kontext är begränsade och att viss erfarenhetsbaserad kunskap riskerar att gå förlorad.

Slutligen beskriver aktörer en **övergripande balansgång**: forskningen behöver bidra till att identifiera och minimera negativa ekologiska effekter i elsystemets olika delar, samtidigt som den inte bör utgöra ett oproportionerligt hinder för den snabba omställning av elproduktion, eldistribution och lagring som eftersträvas.

5 Identifierade behovsområden för framtida forskning

Flera respondenter lyfter att de ekologiska effekterna i elsystemet inte varit i fokus hittills och att området därför varit underbeforskat. I takt med den ökade elektrifieringen ökar dock betydelsen av dessa frågor. Intervjuer och litteratur pekar därför på att forskning som rör ekologisk hållbarhet i elsystemet blir allt viktigare för att stödja ett system under snabb förändring.

Hållbar resursanvändning och livscykelperspektiv

Ett centralt behovsområde gäller utvecklingen mot mer resurseffektiva och cirkulära system. Flera kunskapsbehov identifieras:

- **Uppskalning och effektivisering av cirkulära lösningar.** Trots omfattande utbyggnad av tekniker som vindkraft och solceller är **återbruk och återvinning** fortfarande i ett tidigt skede, särskilt i relation till de volymer som förväntas uppstå framöver⁶³. Fokus behöver i ökad utsträckning flyttas från teknikutveckling till implementering och industrialisering av befintliga återvinnings- och återbrukslösningar. Detta gäller särskilt för tekniska lösningar som redan har hög "Technology Readiness Level" (TRL), så som mekanisk återvinning och samförbränning.
- Förflyttning från lägre till högre nivåer i **avfallshierarkin** är fortsatt relevant att studera.
- **Resurstillgång och materialsubstitution**, där frågor kring tillgång till kritiska råvaror samt möjligheter till substitution och materialeffektivisering lyfts som strategiskt viktiga. Nyckelkomponenter för energiomvandling som samtidigt är geologiskt ovanliga och allt svårare att utvinna och återvinna effektivt nämns särskilt. Frågeställningar kring tillgång till de material som behövs för elsystemets utveckling har både geopolitiska och miljömässiga aspekter och beskrivs vidare i avsnittet "Samhälle, policy och socioekologisk resiliens".

⁶³ RISE (2024) [Cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad för vindkraftverk](#)

- **Försörjningsvägar och värdekedjor** är ett område som behöver studeras för att förstå hur svenska eller europeiska värdekedjor kan spela roll och etableras, både för ökad resiliens och förbättrad hantering av ekologiska utmaningar. Det finns också behov av ökad förståelse för var i livscykeln den största miljöpåverkan uppstår ("hot spots"), samt hur åtgärder i en del av systemet påverkar andra delar. Uppskalning och effektiviseringsåtgärder som leder till minskad energiåtgång och/eller miljöpåverkan leder ofta till att effekter flyttas längre upp i värdekedjan och att områden som gruvdrift och vattenanvändning ökar i betydelse. Här har livscykelanalyser (LCA) av kraftslag, komponenter och lagringstekniker, i en svensk kontext, betydelse även framåt.
- **Alternativa material**, nya och mer hållbara material, exempelvis biobaserade, identifieras som ett område med stor potential framåt. Dagens standarder präglas ofta av historisk användning och konservatism men genom forskning och tillämpning kan alternativa och hållbara material så som trä användas. Användning av trämaterial inom fler områden, exempelvis i elproduktionsanläggningar såsom vindkraftverk, framhålls särskilt där forskning kring utmattnings, fukt och åldrande är avgörande.
- **Kärnbränslecykeln och restprodukter** är ett område där det finns fortsatt behov av kunskap och datainsamling kopplat till slutförvar av kärnavfall, särskilt eftersom fler frågor förväntas aktualiseras när den praktiska hanteringen påbörjas. Dessutom lyfts miljöaspekter i kärnbränslecykelns början och gruvbrytning av uran som centralt framåt, särskilt i en svensk kontext.

Biologisk mångfald

Trots att forskning kring biologisk mångfald kopplat till elsystemet inte är ett nytt område finns betydande kunskapsluckor kring elsystemets påverkan, särskilt i en svensk kontext. Centrala behov inkluderar:

- **Platsanpassad och kontextspecifik kunskap**. Det finns behov av studier som är anpassade till svenska förhållanden då internationella resultat inte alltid är direkt tillämpbara. Här är Östersjön med dess unika salthaltsförhållanden och artsammansättning ett tydligt exempel.
- **Empiriska studier i naturliga miljöer**. Då befintlig forskning inom vissa områden till stor del bygger på laboratoriestudier eller studier av arter i kontrollerade miljöer finns behov av fältbaserade studier som bättre speglar verkliga förhållanden och möjliggör fastställande av mer rättvisande tröskelvärden, exempelvis i marina miljöer. När det saknas forskning appliceras ofta försiktighetsprincipen, vilket kan leda till att onödigt hårda krav ställs i arbetet med tillståndsansökningar.

- **Före- och efterstudier** kan stärka kunskapsunderlaget till tillståndsprocesser och bidra till ökad acceptans från lokala samhällen, något som beskrivs kort i Power Circles tidigare syntesrapport Förnybar elproduktion⁶⁴.
- **Specifika påverkanstyper**, såsom undervattensbuller från havsbaserad vind eller elektromagnetiska fält från undervattenskablar och deras effekter på arter som fisk och ål.
- **Påverkan från specifika kraftslag**, där havsbaserad vind lyfts fram som ett område där empiriska data ofta är begränsade.
- **Påverkan från eldistribution**, där flera effekter fortfarande är otillräckligt studerade. En tidigare forskningssammanställning⁶⁵ identifierar bland annat ekologiska effekter av kraftledningar i skogsmark i skandinaviska förhållanden, påverkan från sjökablar samt kraftledningars betydelse för upplevelsevärden och friluftsliv som områden med behov av fortsatt forskning.

Långtids- och storskaliga effekter har inom intervjustudien identifierats som särskilt betydande för framtida forskning inom flera områden och har därför brutits ut till ett eget avsnitt nedan, se "Kumulativa effekter och långtidseffekter". Att forskningen inom ovanstående områden är begränsad uppges kunna bero på att det är komplext och kostsamt.

Kumulativa och långsiktiga effekter

Forskning om **kumulativa effekter** har genomgående lyfts fram, av både forskare och behovsägare, som ett prioriterat område. Det gäller såväl utbyggnad av elproduktion, eldistribution samt batterier och rör förståelse för hur flera enskilda projekt tillsammans påverkar ekosystem över tid och rum.

Identifierade behov inkluderar:

- **Metoder för kvantifiering och standardisering** av kumulativa effekter, exempelvis i miljökonsekvensbeskrivningar.
- **Skalning från lokala studier till systemnivå**, där effekter analyseras på regional- eller ekosystemnivå.
- **Platsanpassade analyser av kumulativ påverkan**, där Östersjön är ett exempel på område som framhålls särskilt. Det finns internationell forskning kring kumulativa effekter av havsbaserad vindkraft⁶⁶ men saknas forskning anpassad till svenska förhållanden.

⁶⁴ Power Circle (2025) [Förnybar elproduktion](#)

⁶⁵ Helldin m.fl. (2025) [Miljöeffekter av elnät: en kunskapssammanställning](#)

⁶⁶ Watson m.fl. (2024) [The global impact of offshore wind farms on ecosystem services](#)

Ökad kunskap inom detta område kan bidra både till bättre och mer forskningsbaserade beslutsunderlag, effektivare tillståndprocesser och kostnadsbesparingar, då forskning kan användas för att påvisa effekter som olika behovsägare annars skulle behöva påvisa enskilt.

Samexistens, multifunktionalitet och ekologisk design

I takt med ökande mark- och havsanvändning intensifieras behovet av kunskap om samexistens mellan olika verksamheter och intressen. Framtida forskning behöver bland annat fokusera på:

- **Konflikter och möjligheter vid samutnyttjande och multifunktionella lösningar**, när energiproduktion kombineras med andra nyttor, exempelvis agrovoltaik eller samlokalisering av havsbaserad vindkraft med vattenbruk.
- **Ekologisk design**, där energiinfrastruktur utformas för att minimera negativ påverkan och i vissa fall bidra positivt till biologisk mångfald, är ett växande område som fortfarande befinner sig i ett tidigt och i huvudsak icke-kommersiellt stadium. Det finns därför behov av fortsatt forskning och innovation samt kunskapsutveckling i form av pilotstudier, teknikutveckling samt risk- och konfliktanalyser.
- **Institutionella och regulatoriska hinder**, då befintliga regelverk i många fall försvårar implementering av samexistenslösningar. Exempelvis ses integrering av fleranvändning i havsplaneringen som viktigt framåt⁶⁷.
- **Plats- och kontextspecifik anpassning**, då både ekologiska och tekniska förutsättningar varierar inom och mellan regioner. Även inom Sverige skiljer sig förhållandena åt, exempelvis mellan öst- och västkusten där faktorer som salthalt varierar.

Målkonflikter

Forskning som synliggör och hanterar målkonflikter är central. Det gäller såväl konflikter mellan olika miljömål som mellan ekologiska, ekonomiska och säkerhetspolitiska intressen. Exempel på centrala forskningsfrågor som framhållits i intervjustudien är:

- Hur **olika typer av miljöpåverkan** ska vägas mot varandra. Det kan exempelvis handla om klimatpåverkan vs annan miljöpåverkan, energieffektivitet vs materialeffektivitet eller om hur ökad användning av smart teknik som styrutrustning kan leda till både för- och nackdelar ut ett miljöperspektiv.

⁶⁷ Koehler & Bergström (2023) [Havsbaserad vindkraft i samexistens med fiske, vattenbruk och naturvård? – en inledande kunskapssammanställning](#)

- Hur **globala, regionala och lokala effekter** kan jämföras och värderas på ett rättvisande sätt.
- Hur ekologiska mål kan integreras i beslut om **energisystemets utformning**.
- Hur målkonflikter mellan ökad **ekonomisk lönsamhet och ekologisk hållbarhet** kan hanteras.
- Hur ökade krav på **resiliens och säkerhet** påverkar ekologisk hållbarhet.

Systemorienterad forskning

Ett återkommande behov är fortsatta analyser av ekologisk hållbarhet i elsystemet ur ett systemperspektiv, där relationen till andra sektorer och globala utvecklingsmönster undersöks. Exempel på centrala forskningsbehov som identifierats är:

- **Strategisk planering** när det gäller kopplingar mellan elektrifiering och ekologiska effekter, exempelvis hur förändringar i industrin eller transportsektorn påverkar resursanvändning och miljöpåverkan samt hur gränsdragning mellan dessa områden ska hanteras. Trots att transportsektorn ligger utanför avgränsningarna för denna syntes så har flera respondenter påtalat exempel inom detta område, såsom laddteknikens behov av metalliska råvaror, samspel mellan elsystemet, transportsystemet och behov av elnätsinvesteringar kopplat till V2X samt laddinfrastrukturens påverkan på batteristorlek och därmed råvaruanvändning.
- **Optimering av elsystemets sammansättning och placeringar utifrån ekologiska kriterier**, i tillägg till kostnad, elproduktion eller klimat. Här kan utvärdering av olika utformningar av specifika kraftslag ingå (exempelvis grunda och breda jämfört med djupa och smala konstruktioner för havsbaserad vind), då dessa påverkar ekosystemen på olika sätt.
- **Förändringar i det globala energisystemet**, medför att kunskap om materialförsörjningskedjor och livscykelanalyser ständigt behöver uppdateras.
- **Sammankoppling av sociala och ekologiska aspekter**, exempelvis genom social livscykelanalys, nämns som viktigt i relation till samexistensfrågor.
- **Indirekta systemeffekter**, exempelvis genom förändrade användningsmönster i land och hav.
- **Hydrografiska effekter** och dess påverkan på ekosystem, särskilt kopplat till havsbaserad vindkraft och dess påverkan på specifika arter och fysikaliska processer, där det

konstaterats att det saknas kunskap om hur vindkraftsparker påverkar vinden vid havsytan⁶⁸ och att effekterna på växtplankton och primärproduktion är osäkra, särskilt i större skala⁶⁹. Tidigare studier bygger främst på modeller eftersom fältdata ofta saknas och kunskapsluckorna beskrivs som särskilt stora i djupare och stratifierade områden⁷⁰.

Framtida forskning kan både handla om att kvantifiera effekterna och att ta reda på hur förändringarna påverkar ekosystemen på specifika geografiska platser.

Samhälle, policy och socioekologisk resiliens

Ekologisk hållbarhet i elsystemet samspelar i hög grad med samhälle och institutionella ramverk. Prioriterade områden inkluderar:

- **Utformning och ekologiska effekter av styrmedel**, exempelvis för cirkularitet då återvinning och återanvändning av material framhålls särskilt av respondenterna. Detta dels eftersom de mest cirkulära lösningarna ofta inte är mest ekonomiska, varför det kan finnas behov av styrmedel, dels eftersom Riksrevisionen pekat på brister i styrning och regelverk när det gäller en effektiv hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad⁷¹.
- **Anpassning av regelverk och tillståndsprocesser**, där bättre kunskapsunderlag kan minska osäkerhet och onödigt restriktiva tillämpningar av försiktighetsprincipen. Återanvändning inom byggsektorn och frågor kopplade till brandsäkerhet nämns som ett exempel. En annan aktuell frågeställning är hur effektavgifter kan styra mot systemnytta. Även frågeställningar som rör standardisering framhålls som viktigt att studera framåt, ett område där samarbete mellan länder lyftes som extra fördelaktigt.
- **Samhällelig legitimitet och social rättvisa**, där kopplingar mellan ekologiska frågor, energipolitik och bredare samhällsutveckling behöver förstås bättre för att legitimitet ska kunna etableras och upprätthållas. I detta sammanhang menar en respondent att det är särskilt relevant att beakta hur miljödebatt och energipolitiska frågor interagerar med bredare politiska dynamiker som politisk polarisering och populism. Inom detta område kan även aspekter som ekonomisk hållbarhet, social rättvisa, urfolks- och prosumentsperspektiv⁷² inkluderas.

⁶⁸ Arneborg m.fl. (2024) [Hydrographic effects in Swedish waters of future offshore wind power scenarios](#)

⁶⁹ Renner (2025) [Current knowledge and key gaps in understanding of offshore wind farm impacts on the physical marine environment](#)

⁷⁰ Renner (2025) [Current knowledge and key gaps in understanding of offshore wind farm impacts on the physical marine environment](#)

⁷¹ Riksrevisionen (2023) [Uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad – statens insatser för en effektiv hantering](#)

⁷² Med prosument avses de som är både producent och konsument av el

- **Historisk forskning kring energi och ekologisk hållbarhet i elsystemet** lyfts av en respondent som ett framtida behovsområde, då historiska erfarenheter kan bidra med fördjupad förståelse för frågornas komplexitet och perspektiv på realistiska lösningar.

I en kontext där kraven på robusthet och försörjningstrygghet ökar till följd av ökad elektrifiering, utbyggnad av fossilfri elproduktion och ett försämrat säkerhetspolitiskt omvärldsläge beskrivs **socioekologisk resiliens** och forskning kring förmågan att hantera förändring, osäkerhet och störningar som ett prioriterat och växande forskningsområde. Inom detta område beskrivs kvantifiering som en större utmaning, jämfört med vid traditionella tekniska frågeställningar.

Vidare framhålls att ekologisk hållbarhet inte bör betraktas isolerat, utan som en integrerad del av ett bredare sociotekniskt system.

Övrigt

Slutligen lyfts data och metodutveckling som ett tvärgående och grundläggande behovsområde.

- **Förbättrad datakvalitet, datatillgång och transparens.** Då det tar tid att bygga upp en transparent bas av data är långsiktig kunskapsuppbyggnad med jämförbara och öppna dataset viktigt, exempelvis för livscykelanalyser.
- **Utveckling av modeller och verktyg** för att analysera komplexa samband.

6 Diskussion och slutsatser

Sammantaget visar denna forskningssyntes att **ekologisk hållbarhet i elsystemet är ett område under utveckling** och att betydande kunskapsluckor fortfarande kvarstår. Flera respondenter lyfter att ekologiska aspekter historiskt har haft en relativt begränsad roll i energiforskningen, vilket medför en utmaning för forskningsfältet att hänga med i den snabba förändring som elsystemet genomgår. I takt med ökad elektrifiering, utbyggnad av fossilfri elproduktion och en förändrad geopolitisk kontext blir dessa frågor samtidigt alltmer centrala.

Genomgående visar resultaten från denna kartläggning att **forskningen behöver tillåtas vara komplex** och inkludera olika perspektiv då tekniska, ekologiska, ekonomiska och samhällsliga dimensioner samspelar. Forskningen behöver också i ökande grad rikta blicken mot och följa globala värdekedjor och dynamiken i det förändrade energisystemet, för att vara uppdaterad och relevant. Fokus för forskningen kan framöver hamna högre upp i värdekedjorna, när effektivisering och elektrifiering minskar klimatutsläpp men samtidigt ökar betydelsen av uppströmseffekter såsom gruvdrift, materialförsörjning och vattenanvändning. Relationen mellan elsystemet och kritiska råvaror är centralt och framhålls särskilt i intervjustudien.

Ett återkommande resultat är behovet av att bättre förstå hur **elsystemets ekologiska påverkan varierar mellan olika geografiska och ekologiska kontexter**. Många miljöeffekter är i hög grad platsberoende, vilket innebär att resultat från en studie ofta har begränsad överförbarhet till andra miljöer. Behovet av platsanpassad kunskap framstår därför som särskilt stor, inte minst för att möjliggöra effektivare och mer kunskapsbaserade miljöbedömningar samt undvika alltför generella tillämpningar av försiktighetsprincipen.

Samtidigt framträder tydligt att **forskning om långsiktiga och kumulativa effekter är avgörande**, men fortfarande begränsad. Elektrifiering och utbyggnad av elsystemet sker genom successiv utbyggnad där effekter ackumuleras över tid och rum. Behovet av metoder för att kvantifiera och standardisera dessa effekter är betydande och det finns potential att utveckla gemensamma ramverk för detta.

Ytterligare en slutsats är att **forskningen behöver belysa och förhålla sig till de målkonflikter som präglar energiomställningen**. Dessa konflikter uppstår såväl mellan olika miljömål –

exempelvis mellan klimatpåverkan och annan ekologisk påverkan – som mellan ekologiska aspekter och ekonomiska eller säkerhetspolitiska intressen. Att forskningen synliggör och analyserar dessa målkonflikter och integrerar policyinriktade perspektiv skapar förutsättning för att fatta informerade beslut.

Syntesen visar även att det finns **skillnader i kunskapsläge mellan olika tekniker och delar av elsystemet**. Etablerade kraftslag, såsom vattenkraft, har studerats under lång tid, medan nyare tekniker – exempelvis havsbaserad vindkraft – i flera avseenden saknar motsvarande empirisk kunskapsbas, särskilt vad gäller långtidseffekter och systempåverkan.

Flera respondenter lyfter också **vikten av att forskningsfinansiering utformas så att bredd och pluralism i forskningen upprätthålls**. Det finns en risk att både forskningsutlysningar och branschinitiativ konvergerar kring ett begränsat antal lösningar och områden, vilket kan hämma mer explorativ forskning. För att möta de komplexa utmaningar som utvecklingen av elsystemet medför behöver behovet av tillämpad och mer grundläggande forskning balanseras.

Slutligen framgår att **forskning om ekologisk hållbarhet i elsystemet inte kan betraktas isolerat från samhällsutvecklingen i stort**. Frågor om legitimitet, acceptans och politisk kontext spelar en viktig roll för både forskningsinriktning och implementering. Polarisering i energi-debatten kan påverka vilka frågor som prioriteras och hur olika risker värderas. Samtidigt varierar prioriteringar över tid och mellan geografiska kontexter, vilket understryker behovet av ett brett forskningsfält framåt.