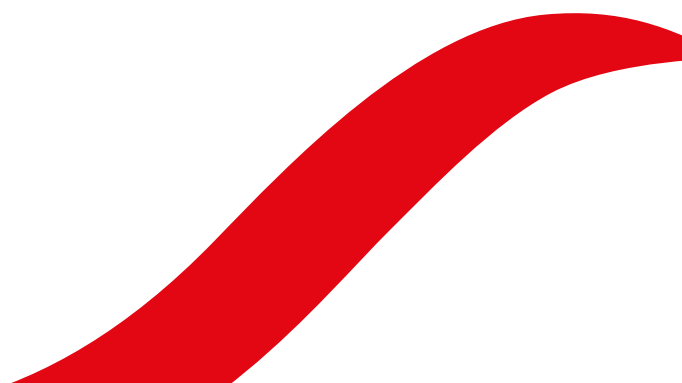




Utvecklingsvägar för elproduktion

Möjligheter och utmaningar för att
möta ett växande elbehov

ER 2023:18



Energimyndighetens publikationer kan laddas ner eller
beställas via www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, juni 2023

ER 2023:18

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-131-5

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Det moderna fossilfria välfärdssamhället är till stor del ett digitaliserat och elektrifierat samhälle, där elektrifieringen är en central förutsättning att nå fossilfrihet i många sektorer och branscher. Elektrifieringen är en bärande del i industrins och transportsystemets nödvändiga klimatomställning och en central åtgärd för att länder ska klara sina nettonoll mål. Omställningen till ett elektrifierat samhälle är också viktig för Sveriges konkurrenskraft. Vi står nu sannolikt inför en utveckling med kraftigt ökad elanvändning de kommande 30 åren. För att möjliggöra den nödvändiga energi- och klimatomställningen, den pågående gröna industriomställningen och även viss nyindustrialisering i Sverige krävs redan nu en massiv insats för att anpassa, förnya och bygga ut såväl fossilfri elproduktion som nödvändig infrastruktur för elektrifieringen. Samtidigt behöver vi också utveckla och förbättra effektiviteten i elanvändning utifrån var, när, hur och vad elen används till inom energisystemet – en smartare elanvändning utifrån samhällets behov.

Sveriges förutsättningar att tillgodose det ökade elbehovet är stora och goda och teoretiskt går det inte att utesluta en möjlighet för alla typer av fossilfria kraftslag att bidra till att möta en kraftigt ökad elanvändning. Däremot har varje kraftslag sina specifika ramvillkor som påverkar potentialen och tidsperspektiven för kraftslagen att bidra till ökad produktion.

Elektrifieringen innebär en stor möjlighet för Sverige på många olika sätt men också en infrastrukturell utmaning för och förändring av samhället. En sådan utmaning är nuvarande hinder (t.ex. lagstiftning, investeringsvilja, konflikter avseende markanvändning) för snabb utbyggnad av fossilfri elproduktion. Ska elektrifieringen underlättas är det avgörande att beslutsfattare redan nu genom tydliga avvägningar och prioriteringar skapar förutsättningarna för morgondagens elsystem. I rapporten lyfter vi ett antal sådana behovs- och åtgärdsområden i syfte att röja befintliga hinder för en storskalig elektrifiering. Vad som år 2050 definieras som ett ekologiskt hållbart, försörjningstryggt och konkurrenskraftigt energisystem kommer att vara resultatet av en lång rad beslut och vägval som behöver tas nationellt och inom EU de närmaste åren.

Men vi har de flesta besluten i våra egna händer att ta tillvara på elektrifieringens stora möjligheter för Sverige.

Robert Andén
Generaldirektör

Innehåll

Sammanfattning	3
1 Framtidens elektrifierade samhälle	8
1.1 Ett elsystem i förändring	8
1.2 Elektrifiering är idag den dominerande framtidsbilden för att fasa ut fossila bränslen	10
1.3 Vilken utbyggnad av elproduktion krävs för att möta det ökande elbehovet?	14
1.4 Utgångspunkter för att analysera utvecklingsvägar för elproduktionen	18
2 Drivkrafter och förutsättningar för en storskalig utbyggnad av elproduktionen	20
2.1 Generella drivkrafter och förutsättningar	20
2.2 Drivkrafter och förutsättningar för olika kraftslag att tillgodose elbehovet fram till 2050	27
2.3 Vägen fram till 2050 – Sammanfattning av möjligheter och olika utvecklingsvägar	49
3 Analys av olika utvecklingsvägar för elproduktionen	51
3.1 Fyra utvecklingsvägar för elproduktion	51
3.2 Ett framtida svenskt elsystem med ökad elproduktion	52
3.3 Elektrifieringen kommer leda till förändrade förutsättningar för en trygg energiförsörjning	56
3.4 Miljöpåverkan, mark- och resursanvändning	60
3.5 Fler faktorer i utvecklingen av elsystemet	69
4 En ekologiskt hållbar, konkurrenskraftig och försörjningstrygg elförsörjning – Vägval, behov och åtgärder	73
4.1 Att balansera de energipolitiska pelarna	73
4.2 Behovs- och åtgärdsområden för en storskalig utbyggnad av elproduktionen	76
4.3 Summering behov och åtgärder för olika kraftslag, elnät och flexibilitet	104
Bilaga – Elsystemmodellering och potentialbedömningar	111
Elsystemmodellering	111
Att göra potentialbedömningar långt fram i tiden	112

Sammanfattning

Det finns många utvecklingsvägar för elproduktionen till 2050...

Fokus i denna rapport är att analysera olika utvecklingsvägar för elproduktionen fram till 2050 och vad som krävs för att möjliggöra en storskalig utbyggnad av denna för en omfattande elektrifiering av samhället. För att möjliggöra en energi- och klimat-omställning samt en nyindustrialisering behöver all fossilfri elproduktion öka i den mån det bidrar till ett hållbart elsystem. Däremot har kraftslag olika förutsättningar att tillgodose elbehovet inom olika tidsperspektiv och i omfattning. Utifrån detta har olika utvecklingsvägar till 2050 analyserats med fokus på att fånga olika möjligheter och utmaningar. Det är viktigt att förtydliga att det inte finns ett förutbestämt optimalt system till 2050 utan flera möjliga utvecklingsvägar som beror på vilka förutsättningar som råder. Syftet är således inte att ställa kraftslag mot varandra eller peka ut vilket scenario som är det ”bästa”, men att beskriva vilka förutsättningar som behöver skapas för att möjliggöra en utbyggnad av elproduktion på kort och lång sikt oavsett utvecklingsväg.

... men möjligheterna på kort och lång sikt är olika.

På kort sikt, fram till 2030–2035, är det framför allt en utbyggnad av landbaserad vindkraft och solkraft samt effekthöjningar inom vattenkraft, kraftvärme och befintlig kärnkraft som bedöms kunna möta ett ökande elbehov. På längre sikt, efter 2030–2035, bedöms även havsbaserad vindkraft och utbyggnad av ny kärnkraft kunna bidra med en stor andel tillkommande elproduktion. Utbyggnaden av solkraft samt effekthöjningar i vattenkraft och kraftvärme är viktiga på såväl kort som på lång sikt. Utifrån det skiljer sig utvecklingsvägarna som har analyserats, framför allt i mängden ny och drifttids-förlängd kärnkraft samt land- och havsbaserad vindkraft. Energieffektivisering och flexibilitet för att möjliggöra ett resurseffektivt system, samt utbyggnaden av elnät och utvecklingen i närliggande länder är relevanta faktorer i alla undersökta utvecklingsvägar.

Elnät, flexibilitet och effektiv energianvändning har stor betydelse för utbyggnaden av elproduktion.

Inte enbart utbyggnaden av elproduktion men också en förstärkning av dagens elnät-infrastruktur, högre flexibilitet i elanvändningen, samt energieffektivisering är viktiga möjliggörare för att kunna möta ett ökande elbehov. Elnätet på olika spänningsnivåer tillåter transmission och distribution över geografiska områden. Det är inte bara nödvändigt för att balansera efterfrågan och produktion vid alla tidpunkter, men möjliggör samtidigt att bygga ny elproduktion där det finns bäst förutsättningar och lönsamhet. Begränsningar i elnätinfrastrukturen kan orsaka varierande och ökande elpriser, vilket påverkar både förutsättningar för elintensiva verksamheter som efterfrågar konkurrenskraftiga priser samt alla slutanvändare av el. Även en fördröjning i anslutning av ny elproduktion och ny förbrukning kan orsakas av begränsningar i nätet. I det här arbetet har det exempelvis framkommit att en ökad överföringskapacitet till elområde 1 kan vara avgörande för att tillgodose det elbehov som flera verksamheter efterfrågar till konkurrenskraftiga priser. Samtidigt som behovet att bygga ut elproduktionen är stort

finns det relativt stora ytor som täcks av andra intressen i området. En utbyggnad av överföringskapacitet och elproduktion i närliggande regioner kan därför vara avgörande om de verksamheter som antas i elområde 1 ska realiseras där.

Flexibilitet och energieffektivisering kan vanligtvis realiseras på kortare tidsskalor än ledtider för nätutbyggnad. Framför allt på kort sikt är dessa viktiga för att inte begränsa möjligheterna för energiomställningen, elektrifieringen och tillväxt. Flexibilitet kan tillhandahållas genom flexibel elproduktion, flexibilitet inom användningen av el eller energilagring. Ändamålsenliga incitament kopplade till när och var flexibilitet är av störst värde möjliggör affärsmodeller för olika aktörer som kan vara flexibla. Flexibilitet är en viktig förutsättning för en högre andel väderberoende elproduktion i elsystemet. Oavsett utvecklingsväg kommer utbyggnad av vind- och solkraft fortsätta. Energi-effektivisering lika som flexibilitet är viktiga för en fortsatt elektrifiering. Det möjliggör en resurseffektiv omställning av Sveriges energisystem, samt kan minska påverkan av pris och tillgänglighet på el för elintensiva branscher och aktörer.

Det finns flera gemensamma behov och åtgärdsområden oavsett utvecklingsväg...

En slutsats från arbetet är att storskaligheten i omställningen som studeras innebär fler gemensamma utmaningar än skillnader, oavsett utvecklingsväg. Nedan redovisas ett antal behovs- och åtgärdsområden som har identifierats för att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktionen.

- *Komplexa förändringar och storskaliga investeringar kräver långsiktiga spelregler och förutsägbarhet*

För att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktionen krävs en långsiktig stabilitet och en tydlig målsättning för Sveriges omställning. Det skapar bättre förutsägbarhet för investerare, vilket framför allt är viktigt för kapitaltunga investeringar med långa ledtider, som exempelvis kärnkraft. För att skapa långsiktiga spelregler är det också viktigt att det finns en bred samsyn inom samhället i stort där politiken har en viktig roll för att uppnå detta. Det är därför av betydelse att det finns en gemensam vision för omställningen. Detta kan också underlätta för prioriteringar och avvägningar som kan behöva göras mellan olika intressen.

- *Välfungerande marknader och incitament är en grundförutsättning för en hållbar elförsörjning*

Utbyggnaden, användningen och lönsamheten för olika typer av elproduktion påverkas av marknader samt ekonomiska incitament. I ett elsystem som i huvudsak ska utvecklas på marknadsmässiga grunder är en välfungerande marknad grunden för ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Kommande decennier väntas relativt snabba och stora förändringar ske i både elproduktion och elanvändning, som är förenade med stora osäkerheter. Det kommer ställa nya krav på elmarknaden och dess utformning. En kontinuerlig översyn av marknader och incitament behöver säkerställa ekonomiska och administrativa förutsättningar inom till exempel stödtjänst- eller flexibilitetsmarknader. I ett hållbart energisystem bör alla positiva och negativa effekter internaliseras i prissättningen eller i regelverk.

- *Regelverk kan behöva ses över för att möjliggöra en storskalig utbyggnad*
Regulatoriska förutsättningar har stor betydelse för hur snabbt och i vilken omfattning ny elproduktion kan byggas ut. För att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktion finns det behov av att förändra regelverk och processer för att korta ledtider, öka förutsägbarhet och åstadkomma teknikneutralitet. I grunden behöver lagstiftning kopplad till tillståndsgivning vara präglad av tolerans för påverkan och på ett tydligare sätt acceptera förändringar i den lokala miljön än vad som är fallet idag. Specialbestämmelser för olika kraftslag bör undvikas, samtidigt finns ett stort behov av att utveckla processer och lagstiftning för kraftslag där ingen eller mycket liten utbyggnad skett i närtid, så som för havsbaserad vindkraft och kärnkraft.
- *Förbättrat kunskapsläge och information kan bidra till underlag och förståelse*
Kunskapsstöd och informationsinsatser är viktiga för att öka förståelsen för behovet och nyttan av en utbyggd elproduktion i ett samhällsperspektiv. Informationsdelande kan vara riktat till allmänheten, olika aktörer inom energibranschen, samt tjänstemän och politiker. Myndigheter har ett särskilt ansvar att tillhandahålla korrekt information och kunskapsunderlag som en motvikt mot spridning av desinformation. Det finns ett behov av förbättrade kunskapsunderlag om hur olika intressen kan anpassas till nya förutsättningar i samband med ny elproduktion, samt hur utbyggnaden av elproduktion i sin tur kan anpassas för att reducera påverkan på människor och miljön. Samtidigt kommer beslut behöva fattas mot bakgrund av existerande fakta även om det alltid kommer finnas behov av mer kunskap för mer välgrundade beslut. För att kunna fortsätta omställningsresan är det viktigt att fortsätta bygga upp kunskap och kompetens genom starka forskningsmiljöer. Forskning kan bidra med kunskapsunderlag för att hantera intressekonflikter och förbättra elsystemets hållbarhet, robusthet och resurseffektivitet. Kunskapsunderlag och kompetenta individer behövs för att samhällets aktörer ska fatta välgrundade beslut.
- *Lokal förankring, acceptans och samexistens är avgörande för att lösa målkonflikter*
Idag är det en utmaning att skapa förutsättningar för en snabb och storskalig utbyggnad av elproduktionen som är förenlig med andra samhällsintressen. Utbyggnadsprojekt har påverkan på lokal miljö samt närboende. Stöd för kommunal energiplanering samt regional samverkan är verktyg för att förbättra lokal förankring. Utbyggnaden av elproduktion kan behöva göra anspråk på ytor där det finns motstående intressen från exempelvis naturvården, renskötseln och försvaret. Att hitta samexistenslösningar är en viktig förutsättning för att hantera målkonflikter. Det är däremot inte möjligt att uppnå samexistens på alla platser. Politiska avvägningar och prioriteringar mellan olika samhällsintressen kommer vara nödvändiga.
- *En effektiv koordinering och samverkan kan möjliggöra snabbare processer*
Elektrifieringen och visionen av ett fossilfritt samhälle rör många olika aktörer. För att utvecklingen och omställningen ska kunna ske på ett effektivt sätt är koordinering och samverkan mellan olika aktörer och sektorer viktigt. Helhetssyn och samordning kan underlätta att definiera roller och ansvarsområden inom

till exempel utformningen av flexibilitetmarknader och tjänster. En tydlig målbild möjliggör för olika aktörer att utföra sin planering i enklång med framtida utvecklingar. Effektiv koordinering kan också vara viktiga verktyg för att förkorta prövnings- och tillståndprocesser. Detta kan uppnås genom att samordna prövningsregelverk och ansökningsförfaranden samt att effektivisera arbetsprocesser. En ökad samverkan mellan aktörer är även en förutsättning för att hitta samexistenslösningar. Här kan olika samarbetsplattformar samt pilot- och demoprojekt bidra.

- *Kompetens- och resursförsörjning är avgörande i framtiden*

En storskalig utbyggnad av elproduktion kommer innebära ett stort behov av både kompetens och resurser. Dels kommer nya kompetenser behövas och nuvarande kompetens kan komma att användas på nya sätt. Behovet kommer vara stort både i omfång och typer av kompetenser med allt från elektriker, montörer, industrianställda, till myndighetspersoner, forskare, med flera. Det är en utmaning för både företag inom olika branscher, samt för berörda myndigheter. Utbyggnaden kommer innebära en ökad mängd tillståndsansökningar samt ärenden att hantera, inte bara för elproduktion men också för elnät och elanvändning. Detta innebär att tillräckliga resurser och kompetens hos olika myndigheter är avgörande. Elektrifieringen innebär också att det uppstår en konkurrens om samma typ av kompetenser mellan olika branscher. För att kompetensbrist inte ska bli ett hinder för elektrifiering och storskalig utbyggnad av elproduktion har tre huvudblock identifierats; breddad rekryteringsbas, relevant utbildningssystem och attraktiv arbetsplats. Dessa förutsättningar för kompetensförsörjning kommer Energimyndigheten arbeta vidare med tillsammans med berörda aktörer inom uppdrag att samordna kompetensförsörjning för elektrifieringen.

En storskalig utbyggnad av elproduktion innebär också ett ökat behov av olika innovationskritiska metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller och vindturbiner. Ett högt tempo i omställningen samt en global konkurrens för råvaror gör det viktigt att säkra försörjningen av kritiska råvaror för att undvika flaskhalsar i leverantörskedjor och förseningar av utbyggnadsprojekt. Vad gäller ändliga resurser och hållbarhet är resurseffektivitet, återvinning och cirkulärt omhändertagande centralt. Däremot kommer återvinning endast till mycket begränsad del ha betydelse för att fylla behovet av elektrifieringens nödvändiga metaller och mineral.¹ Inom EU finns flera initiativ, bland annat *Raw materials act*, vilket syftar till att minska riskerna och ta vara på egna möjligheter till råvaruförsörjning och bygga upp förädlingskedjor.²

¹ Flera ämnen idag finns endast i begränsad omfattning i råvarusystemet, samtidigt som vi går in i en exponentiell fas av användningen samt att metoder för återvinning behöver utvecklas eller kommersialiseras.

² European Commission, Critical raw materials, *European Commission*. Critical raw materials (europa.eu) (Hämtad 2023-05-17)

... och det är viktigt att hålla alla dörrar öppna och förstå konsekvenserna av olika vägval.

En tydlig slutsats från arbetet är att det är viktigt att hålla alla dörrar öppna och inte rikta in sig mot att det ska finnas en viss typ av elproduktionsmix 2050. Det finns ett behov av att underlätta och röja hinder för utbyggnaden av elnät, realiseringen av flexibilitet och för all fossilfri elproduktion som bidrar till ett hållbart elsystem. Detta ses som en förutsättning för att möjliggöra storskaligheten av omställningen och utmaningarna som följer med det. Elektrifieringen i sig kan komma att bidra positivt för samtliga energipolitiska mål så som ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. Däremot kommer också nya utmaningar uppstå, vilka nämnts i behovs- och åtgärdsområdena ovan, som på olika sätt kan påverka de energipolitiska pelarna.

Elektrifieringen innebär en stor strukturell samhällsomställning där flera sektorer förändras i grunden. Elproduktionen är endast en del i att möjliggöra denna omställning. Det finns ett samspel mellan elproduktionen, den ökade elanvändningen, behovet av elnät samt en effektivare energianvändning som inkluderar flexibilitet. Samtidigt ska det också ses i ljuset av de energipolitiska pelarna som fokuserar på energisystemet som helhet och inte specifikt på elsystemet. Vad som definieras som ett hållbart, konkurrenskraftigt och robust system 2050 är omöjligt att svara på idag. Framtidens elsystem kommer vara resultatet av en lång rad beslut av såväl politik som av marknadsaktörer. I dessa beslut kommer det krävas avvägningar och prioriteringar mellan samhällsmål som har olika påverkan på de energipolitiska pelarna. Det är därför viktigt att aktörer på alla nivåer är medvetna om konsekvenserna av att välja en viss riktning.

1 Framtidens elektrifierade samhälle

I följande kapitel beskrivs det framtida elbehovet till följd av en ökad elektrifiering. Elektrifiering är en viktig del i energi- och klimatomställningen samt en möjliggörare för nyindustrialisering. Det finns flera drivkrafter för och möjligheter med ett elektrifierat samhälle och Sverige har generellt goda förutsättningar för att möjliggöra detta. Men det finns också utmaningar med den stora utbyggnaden av elproduktion och elnät som behöver ske. Det ökande elbehovet sammanfaller med att flera produktionsenheter når sin livslängd under perioden fram till 2050 och behöver generationsväxlas. När i tiden olika kraftslag kan bidra till att tillgodose ett ökande elbehov påverkas av olika ledtider. En viktig del i det här kapitlet är att belysa utvecklingen som sker i ett samspel mellan elanvändning, elproduktion, elnät och en effektiv energianvändning. Det finns ingen given turordning utan utvecklingen sker i stark växelverkan mellan utbud, efterfrågan och infrastruktur. Kapitlet belyser också svårigheten att analysera utvecklingsvägar av stora komplexa socio-tekniska system långt fram i tiden och vilka utgångspunkter som är viktiga att ha med sig.

1.1 Ett elsystem i förändring

En historisk tillbakablick...

Det svenska elsystemet byggdes ut under närmare hundra år av mycket snabb expansion från 1900-talets början fram till 1980-talet. Efterfrågan på el fördubblades i regel vart tolfte år vilket till en början tillgodosågs av en kraftig utbyggnad av vattenkraft, som sedan avtog till följd av konflikter kring vattenkraftens miljöpåverkan.³ Detta resulterade sedan i den så kallade Freden i Sarek 1961 vilket var en överenskommelse mellan Naturvårdsdelegationen och Vattenfall AB om vilka svenska älvar som kunde byggas ut med vattenkraft och vilka som skulle bevaras.⁴ Utbyggnaden ersattes sedan av framför allt kärnkraft under perioden 1960–1985. Under 80-talet noterades den högsta utbyggnadstakten av elproduktion i Sverige när kärnkraften byggdes ut. Utbyggnadstakten låg på drygt 6 TWh/år under en 5-årsperiod och 5 TWh/år under en 10-årsperiod.⁵

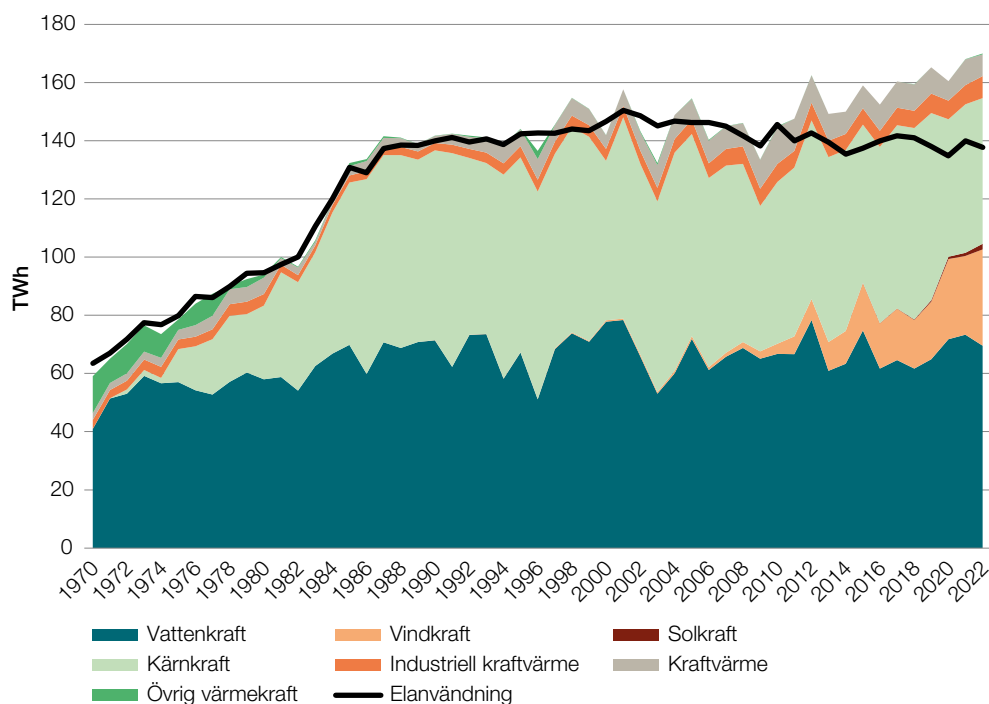
Sedan mitten på 1980-talet har den mycket kraftiga ökningen av elbehovet bromsat in och ersattes med en minskande trend från millennieskiftet till att landa på en relativt konstant nivå det senaste decenniet, se Figur 1. Existerande kärnkraftsreaktorer och vattenkraftverk är det som i huvudsak levererat merparten av all kraft till systemet. De senaste 10 åren har däremot vindkraften blivit alltmer betydande och stod 2022

³ Högselius, Per och Kaiser, Arne. *När folkhemselen blev internationell – Avregleringen i ett historiskt perspektiv*. Stockholm: SNS Förlag, 2007.

⁴ Vattenfall. Vattenkraften ifrågasatt, *Vattenfall*. Vattenkraften ifrågasatt | Vattenfalls historia och kulturarv – Vattenfalls historia och kulturarv (Hämtad 2023-04-26)

⁵ Elproduktion (nettoproduktion) per kraftslag fr.o.m. 1970, TWh. PxWeb (energimyndigheten.se), (Hämtad 2023-04-28)

för 19 procent av Sveriges elproduktion.⁶ Distribution och transmission av el har i stort sett skett över redan existerande, historiska nät, däremot har informationstekniken till följd av digitaliseringen utvecklats väsentligt. Stabiliseringen av elbehovet har lett till att det svenska elsystemet gått från en kraftig expansionsfas till ett fokus på utveckling och effektivisering av det befintliga systemet.



Figur 1. Sveriges elproduktion per kraftslag och total elanvändning 1970–2022, TWh.

Källa: Energimyndigheten och SCB, Årliga energibalanser och Månatlig elstatistik för 2022.

... för att förstå dagens elsystem.

Även om det ur ett tekniskt perspektiv inte har skett dramatiska förändringar i det svenska elsystemet under de senaste åren har förändringarna ur ett sociotekniskt perspektiv varit större. Jämfört med den kraftiga expansion som skedde fram till mitten på 1980-talet har de grundläggande spelreglerna för elsektorns aktörer förändrats. Det har lett till förändringar av elmarknadens funktionssätt, av organisationsstrukturen och ägarsammansättningen inom branschen samt till nya former av offentlig styrning av elsektorn.⁷ Överföringskapaciteten har successivt byggts ut från Sverige till grannländer och kontinenten. Sammanlänkningsen med andra länder och då i förlängningen med resten av Europa möjliggör ökad elöverföring och handel över gränserna. Detta gör att Sverige idag är en del av en integrerad europeisk elmarknad.

⁶ Energimyndigheten, Minskad elanvändning 2022, *Energimyndigheten*. Minskad elanvändning under 2022 (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-05-12)

⁷ Högselius, Per och Kaiser, Arne. *När folkhemselen blev internationell – Avregleringen i ett historiskt perspektiv*. Stockholm: SNS Förlag, 2007.

Det har skett förändringar i elsystemet...

Även om det totala elbehovet i stort sett varit konstant sedan mitten på 80-talet så har det skett förändringar i elsystemet. Befolkningen har ökat med ungefär 2 miljoner sedan 80-talet och därmed har antalet elanvändare och användningen av hushålls- och driftel ökat.⁸ På senare år har även användningen av el i transportsektorn ökat. Övergången till ett informationssamhälle och en ökad digitalisering i kombination med att fler sektorer har elektrifierats i högre grad har lett till att hela energisystemet blir mer integrerat än tidigare. Detta skapar också potentialer för flexibel användning av el. Samtidigt har det skett effektiviseringar inom flera områden i elsystemet vilket förklarar varför den totala elanvändningen ändå varit relativt konstant. Under de senaste tio åren har det också skett förändringar i den svenska elproduktionen. Flera kärnkraftsreaktorer har stängts ner och idag finns sex kvar i drift. De sex kvarvarande reaktorerna motsvarar ändå 73 procent av den installerade produktionskapaciteten som alla 12 reaktorerna hade då de togs i drift.⁹ Utbyggnaden av vindkraft har ökat kraftigt och under 2022 producerade vindkraften 33 TWh. Utbyggnadstakten av vindkraft har de senaste tio åren i genomsnitt varit 3 TWh/år (2012–2022) och för perioden 2019–2024 så förväntas utbyggnadstakten öka till cirka 6 TWh/år.¹⁰ Detta kan jämföras med utbyggnadstakten av kärnkraft på 80-talet som var i genomsnitt som högst ungefär 6 TWh/år under en femårsperiod. Även utbyggnaden av solkraft har ökat kraftigt som under 2022 producerade 2 TWh.¹¹

... och i framtiden väntas ännu större förändringar.

Mycket tyder på att elsystemet idag står inför omfattande förändringar där elektrifiering blir en förutsättning för flera sektorer i syfte att fasa ut fossila bränslen. Elektrifieringen kan komma att mer än fördubbla elbehovet till 2050 och omfattningen kan jämföras med den elektrifiering av samhället som skedde under 1900-talet. Stora transformationer av energisystemet likt den som väntas är inget unikt, ett tydligt exempel är utfasningen av olja framför allt inom uppvärmning men även inom industrin vilket möjliggjordes genom en övergång till el och fjärrvärme. Elektrifieringen innebär däremot att en ny betydande utbyggnad av elsystemet är nödvändig både vad det gäller elproduktion och nätkapacitet. I följande arbete analyseras förutsättningarna för en storskalig utbyggnad av elproduktionen för att möjliggöra en energi- och klimatomställning samt nyindustrialisering.

1.2 Elektrifiering är idag den dominerande framtidsbilden för att fasa ut fossila bränslen

Samhället och energisystemet står inför stora förändringar i samband med att flera sektorer ska fasa ut fossila bränslen och el blir i stället i flera fall den primära energibäraren. Omställningen sker dels i syfte att minska utsläppen för att uppnå klimat- och energipolitiska mål, dels i syfte att stärka Sveriges konkurrenskraft. Störst förändringar

⁸ Statistiska centralbyrån, Befolkningsstatistik. Befolkningsstatistik (scb.se) (hämtad 2023-05-29)

⁹ IAEA, PRIS – Country Details (iaea.org) (hämtad 22-12-06)

¹⁰ Utbyggnadstakterna är ungefärliga eftersom vindkraftens och kärnkraftens kapacitetsfaktor skiljer sig mellan åren. Siffrorna är baserad på: Vindkraftsstatistiken Vindkraftsstatistik: Antal verk, installerad effekt och elproduktion, hela landet, 1982-. PxWeb (energimyndigheten.se)), statistik över nettoelproduktion (Elproduktion (nettoproduktion) per kraftslag fr.o.m. 1970, TWh. PxWeb (energimyndigheten.se)) och Energimyndighetens Kortsiktprognos vinter 2023 (ER 2023:09)

¹¹ Energimyndigheten, Kortsiktprognos vinter 2023, ER 2023:09.

kommer troligen att ske inom transport- och industrisektorn då sektorerna har höga utsläpp idag och flera aktörer menar att omställningen behöver göras för att de ska vara konkurrenskraftiga både på kort och lång sikt.^{12,13} Elintensiva branscher där den framtida elanvändningen förväntas öka kraftigt är bland annat industrier som på olika sätt använder vätgas producerad genom elektrolys, såsom för järn- och stålproduktion eller produktion av elektrobränslen. Andra exempel på elintensiva branscher är datacenter och batteriproduktion. Förutom att det direkta bränslebytet från fossila bränslen till el inom existerande industrier kommer driva på en ökning av elanvändningen till 2050, så kommer även en ökad produktion inom landet och en nyetablering av industrier bidra till ökningen. En ökad elektrifiering är en global trend och inte unikt för Sverige.

1.2.1 Scenarier visar på att elanvändningen kan mer än fördubblas till 2050

I Energimyndighetens rapport *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*¹⁴ presenteras olika scenarier över Sveriges energi- och elanvändning 2050. I scenariot *Högre elektrifiering* uppgår elanvändningen till 349 TWh vilket innebär mer än en fördubbling mot dagens elanvändning. Scenariot representerar att det sker en omfattande elektrifiering som en del av omställningen för att nå klimatomålen.

Inom industrisektorn sker elektrifieringen när branscher ställer om, ökar sin produktion samt vid nyetablering av olika elintensiva verksamheter. En högre efterfrågan på produkter som är hållbart producerade eller har lägre klimatavtryck leder till ytterligare ökad industriell produktion av exempelvis fossilfritt stål, elektrobränslen och batterier. Teknikerna för att producera dessa varor är elintensiva varpå elanvändningen ökar kraftigt. Inom transportsektorn ökar efterfrågan på eldrivna fordon samt infrastruktur kopplat till detta, vilket ytterligare bidrar till att öka elbehovet. Även inom bostäder och service sker en ökad elanvändning främst genom ett ökat elbehov i datacenter och att arbetsmaskiner elektrifieras i högre utsträckning.

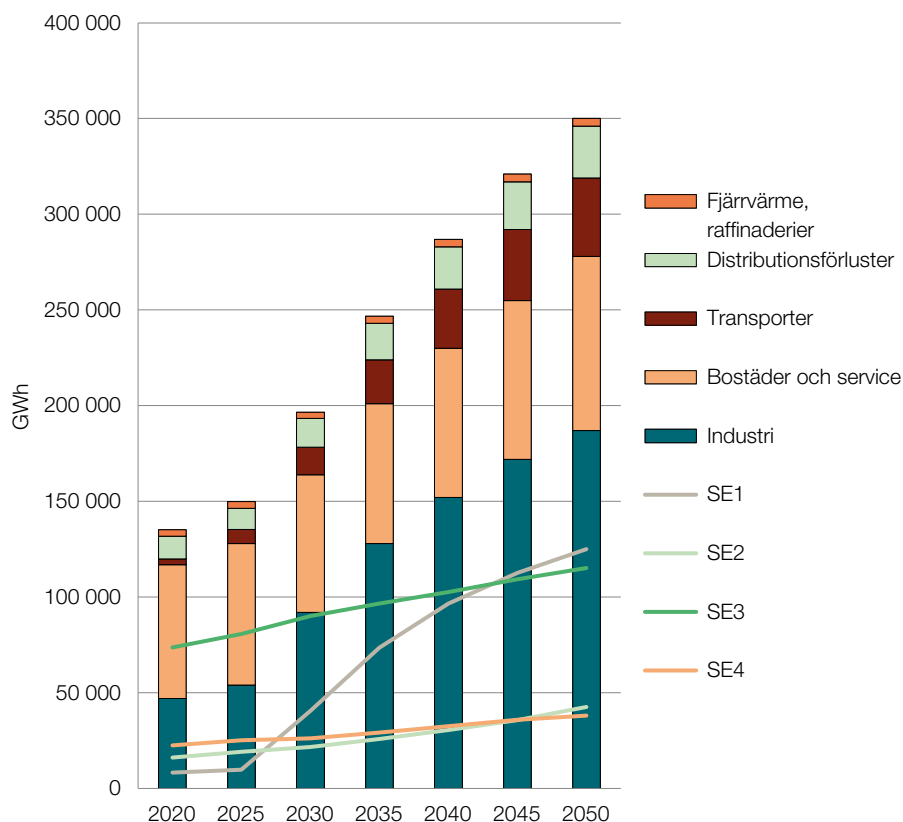
Det som framför allt driver upp elanvändningen i det här scenariot är behovet inom industrisektorn. Detta behov kommer främst från järn- och stålindustrin och produktionen av vätgas genom elektrolys. Vätgasen används för direktreduktion av järnmalmspellet för att producera järnsvamp som i sin tur kan användas i en ljusbågsugn för att producera fossilfritt stål.¹⁵ Totalt uppgår elanvändningen inom industrisektorn till 187 TWh 2050 varav ungefär 100 TWh beräknas gå till produktion av vätgas. Majoriteten av denna ökning sker i elområde 1 eftersom det främst är där verksamheter inom järn- och stålindustrin finns och nyetableringar förväntas ske. I Figur 2 visas den totala ökningen av elanvändningen per elområde samt per sektor.

¹² Fossilfritt Sverige, Färdplaner för fossilfri konkurrenskraft – Omställning och utveckling av svensk industri. <https://fossilfritt Sverige.se/fardplaner/> (hämtad 2023-02-28)

¹³ Sweco på uppdrag av Svenskt Näringsliv, Klimatneutral konkurrenskraft – Kvantifiering av åtgärder i klimatifärdplaner, 2019.

¹⁴ Energimyndigheten (2023), Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifieringen 2050, ER 2023:07.

¹⁵ HYBRIT, "En fossilfri utveckling", *Hybrit Development*, hämtad 16 februari, 2023, Smälta järnsvamp i ljusbågsugn – Hybrit (hybritdevelopment.se).



Figur 2. Elanvändningen per elområde (linjer) och per sektor i Sverige (staplar) i scenariot *Högre elektrifiering*.

1.2.2 Det finns flera drivkrafter och möjligheter bakom en ökad elektrifiering

Det finns flera drivkrafter bakom en omfattande elektrifiering av samhället som beskrivs i scenariot ovan. Den huvudsakliga drivkraften är målsättningen om att fasa ut användningen av fossila bränslen och på så sätt bidra till att begränsa klimatförändringarna. Men en utfasning av fossila bränslen kan även motiveras mot andra samhällsmål som luftkvalitetsmål och försörjningstrygghet, då antalet förbränningsprocesser kraftigt minskas och importberoendet av fossila bränslen bryts.

Transport- och industrisektorn har högst utsläpp i Sverige idag och elektrifiering av dessa sektorer blir i många fall avgörande för klimatomställningen. Omställning inom transportsektorn bidrar också till lokala miljöförbättringar med lägre utsläpp och bullernivåer. Utöver detta så bedömer flera aktörer att omställningen också är avgörande för verksamhetens konkurrenskraft och besluten om ett tekniskifte har fattats på företagsekonomiska grunder. Omställningen samt nyetableringar av elintensiva branscher skapar också nya arbetstillfällen. Om svenska industrier som tillverkar fossilfria produkter ökar sina marknadsandelar på en global marknad så kan det även bidra till att minska utsläppen utanför Sverige.

Elektrifieringen är således viktig för Sveriges konkurrenskraft och välfärd, försörjnings-trygghet och för att nå Sveriges klimatmål. Detta bidrar till alla de tre energipolitiska pelarna om ett ekologisk hållbart, konkurrenskraftigt och försörjningstryggt energisystem. Däremot innebär en så omfattande elektrifiering som scenariot visar på en stor infrastrukturell förändring i samhället. En storskalig utbyggnad av elproduktion och elnät och tillhörande infrastruktur¹⁶ behövs. För att möjliggöra detta kommer avvägningar och prioriteringar behöva göras vilket kan vara på bekostnad av andra samhällsmål eller intressen. Detta är i slutändan en värderingsfråga, men ska Sverige fortsatt vara en ledande industrination samtidigt som klimatmålen nås så kan det vara nödvändigt. Detta förutsätter att det finns en tydlighet i det politiska ledarskapet och en insikt i samhället som helhet kring att omställningen kommer att medföra såväl nytta som kostnader för samhället.

1.2.3 Faktorer som påverkar det framtida elbehovet

Scenariot *Högre elektrifiering* presenterar en väldigt hög efterfrågan på el till följd av en omfattande elektrifiering. Det är dock viktigt att belysa att osäkerheten är stor avseende det framtida elbehovet och det kommer främst påverkas av vilka industriprojekt som realiserar. Ett fåtal aktörer inom industrisektorn förväntas stå för majoriteten av det tillkommande elbehovet vilka kommer kräva tillgång på el till konkurrenskraftiga priser för sin produktion. Det är därför viktigt att komma ihåg att det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och elnätsutbyggnad. Vilka förutsättningar som råder för de olika delarna och hur de utvecklas kommer vara avgörande för hur den framtida utvecklingen av elsystemet kan se ut. Oavsett hur behovet av ny el tillgodoses kommer det att ta en viss tid för att fatta investeringsbeslut, få tillstånd, förankra beslut lokalt, och bygga nya elnät.

Finns det inte tillräckligt med elproduktion eller elnätsutbyggnad så påverkas även elanvändningen då elen kanske inte finns att tillgå till de konkurrenskraftiga priser som industrin efterfrågar. Vad som anses som ett konkurrenskraftigt pris är däremot dynamiskt och beroende av betalningsviljan (för fossilfritt framställda produkter) hos slutkunderna som är en del av en global marknad.

En effektiv användning av el är en viktig möjliggörare för elektrifieringen som helhet samt för enskilda aktörer. Energieffektivisering samt flexibilitet (som tillåter en förflyttning av elanvändning i tid) har potential att minska den totala mängden ny elproduktion och nätutbyggnad som krävs för att uppfylla efterfrågan på el vid alla tidpunkter. Det är en viktig del i att genomföra en elektrifiering samt omställning av energisystemet på ett resurseffektivt sätt. Framför allt på kort sikt kan effektivisering och flexibilitet bidra till att tillräckligt med energi och effekt finns tillgängligt för den kraftiga elektrifieringen. Fossilfritt Sverige har bland annat bedömt i sin strategi för effektiv användning av energi och effekt¹⁷ att det finns en effektiviseringspotential på 14,5 TWh el till 2030. För enskilda aktörer, framför allt inom elintensiva verksamheter, är ökad energieffektivitet samt flexibel elanvändning en möjlighet att med kort framförhållning minska påverkan av variationer i elpriser samt öka potential för fortsatt tillväxt i verksamheten. Detta ökar inte minst deras konkurrenskraft på marknaden.

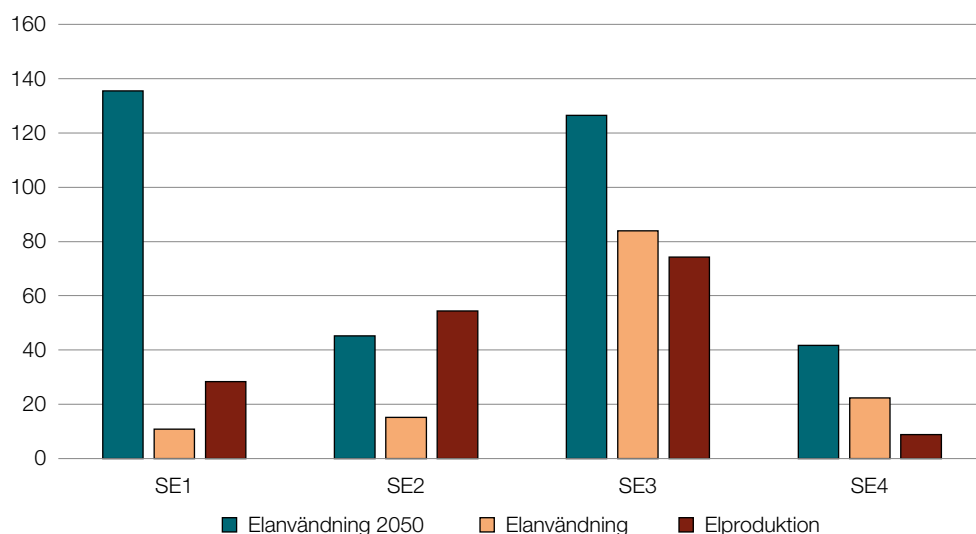
¹⁶ Exempelvis olika typer av kraftsystemelektronik, styrsystem, data- och IT-säkerhet, vägar, hamnar etc.

¹⁷ Fossilfritt Sverige, Strategi för fossilfri konkurrenskraft – Effektiv användning av energi och effekt.

Fokus i det här arbetet är att undersöka förutsättningar för en utbyggnad av elproduktion i syfte att möta ett kraftigt ökat elbehov till 2050. För ytterligare analys av själva elanvändningen och olika sektors förutsättningar så hänvisas till Energimyndighetens rapport *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifieringen 2050*.¹⁸ För ytterligare analys avseende energieffektiviseringspotentialer så kommer detta hanteras i Energimyndighetens pågående uppdrag att analysera en effektivare användning av energi.¹⁹

1.3 Vilken utbyggnad av elproduktion krävs för att möta det ökande elbehovet?

För att tillgodose det ökade elbehovet som beskrivs i scenariot *Högre elektrifiering* behöver en storskalig utbyggnad av elproduktionen äga rum de kommande 25 åren. Den totala elproduktionen i Sverige har varierat mellan 140–160 TWh de senaste tio åren beroende på väderår och förändringar i elproduktionen (nedläggning av reaktorer och utbyggnad av vindkraft). Idag finns ett underskott på elproduktion i södra Sverige och ett överskott i norra Sverige, se Figur 3, vilket innebär ett flöde av el från norr till söder. Som framgår av figuren ökar elanvändningen kraftigt i scenariot *Högre elektrifiering*, främst i elområde 1. Ökningen uppskattas till cirka fem gånger mer än den nuvarande årliga elproduktionen i elområdet. Elanvändningen ökar även i övriga elområden och blir högre än nuvarande elproduktion förutom i elområde 2, vilket visar att behovet av en utbyggnad av elproduktion är högt även i södra Sverige.



Figur 3. Elproduktion och elanvändning per elområde 2022 samt elanvändning 2050 i scenariot *Högre elektrifiering*, TWh.

¹⁸ Energimyndigheten 2023, *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifieringen 2050*, ER 2023:07

¹⁹ Regeringsuppdrag till Energimyndigheten, *Analysera en effektivare användning av energi, effekt och resurser*, Analysera en effektivare användning av energi (energimyndigheten.se)

1.3.1 Flera produktionsanläggningar kommer behöva generationsväxlas

Samtidigt som ny elproduktion behöver tillkomma för att möta ett ökande elbehov, så kommer stora delar av den befintliga elproduktionen nå sin livslängd till 2050. Detta gäller i princip samtliga elproduktionsanläggningar, förutom vattenkraften, i tidsperspektivet 2045–2050, vilket framgår av Figur 4.²⁰ Det skulle kunna innebära att mer än **250 TWh elproduktion** behöver realiseras under tidsperioden fram till 2050 genom förnyelser och/eller nyetableringar för att tillsammans med befintlig vattenkraft möta den efterfrågan som antas. Dessutom behöver elnätet både byggas ut och befintligt nät behöver uppdateras.

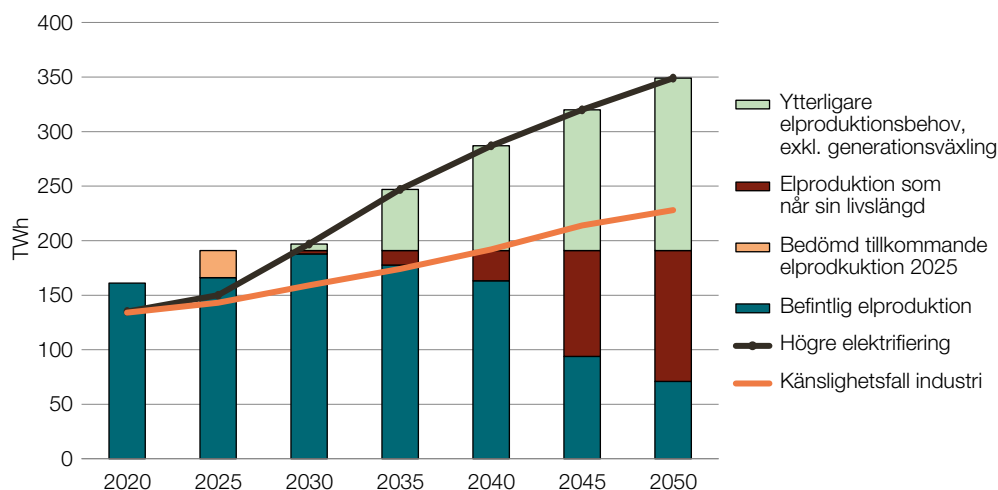
Hur definieras anläggningars livslängd?

Utgångspunkten från Energimyndigheten är att anläggningar ska byggas och drivas av aktörer på el- och energimarknaden. Aktörer kommer endast att reinvestera och fortsätta driva en anläggning så länge det anses lönsamt. Alla anläggningar har således en ekonomisk livslängd. I ett elsystem under förändring kan nya förutsättningar innebära att den ekonomiska livslängden förändras. Detsamma gäller även nya regelverk, styrmedel och krav. Uppskattningar av livslängd för olika anläggningar ska därför ses som ungefärliga.

Rent tekniskt varierar slitage med driftförhållanden och investeringar i underhåll. Anläggningar renoveras i större eller mindre etapper och komponenter byts ut löpande. Den tekniska livslängden för ett kraftverk har därför här definierats som sammanfallande med den ekonomiska. Den ekonomiska livslängden definieras som den tiden då förutsättningarna för underhåll och reinvesteringar är tillräckligt goda för fortsatt drift och är egentligen svår att uppskatta då de ekonomiska förutsättningarna förändras med tiden. Ett exempel på detta är fortsatt drift av befintliga kärnkraftsreaktorer där aktörer i nuläget talar om 80 år för vissa reaktorer.

I scenariot *Högre elektrifiering* ökar elbehovet mer än vad befintlig och känd tillkommande elproduktion levererar på årsbasis redan till 2030. Figur 4 visar även ett annat utfall för elanvändningen, *Känslighetsfall industri*, som innebär en lägre elektrifiering inom industrin där omställningsprojekt förskjuts i tid och tillkommande projekt är färre till antal eller etableras endast delvis till följd av hinder kring förutsättningarna för projektens genomförande. Det stora spannet mellan de två användningsscenarierna visar på de osäkerheter som finns kring framtidens elanvändning.

²⁰ Detta är däremot beroende av hur lång drifttid som antas för befintlig och ny elproduktion. Uppskattningen av befintlig elproduktion baseras på en antagen livslängd av vindkraftverk på 25 år. Under den här perioden är det också avgörande huruvida befintlig kärnkraft drivs längre än 60 år eller inte.



Figur 4. Ökning av elbehovet till 2050 (utfallsrummet visar skillnaden mellan *Högre elektrifiering* och *Känslighetsfall industri*) i jämförelse med befintlig elproduktion, antagande om elproduktion 2025 och ytterligare behov för att nå det högre utfallet.

Behovet av utbyggnad och återinvesteringar kommer innebära en historiskt hög utbyggnadstakt. Om produktionen ska möta elanvändningen i scenariot *Högre elektrifiering* så innebär det en utbyggnadstakt av ny elproduktion på i genomsnitt **3,5 TWh/år** mellan 2021 och 2030. Det motsvarar ungefär den utbyggnadstakt för vindkraft som skett de senaste fem åren. Mellan 2030 och 2035 behöver däremot utbyggnadstakten öka avsevärt, till omkring **12 TWh/år**. Detta kan i stället jämföras med den tidigare nämnda högsta ökningen i elproduktion i Sverige under en 5-årsperiod vilket är ungefär 6 TWh/år när kärnkraften byggdes ut.²¹ Detta visar på utmaningarna som finns redan på kort sikt avseende hur elproduktionen kan möta elbehovet givet en kraftig elektrifiering.

1.3.2 Ledtiderna för olika kraftslag påverkar hur elbehovet kan tillgodoses

Vilka kraftslag som kan möta det ökade elbehovet inom olika tidsperioder fram till 2050 kommer vara beroende av ledtider för olika kraftslag från projektering till driftstart. Ledtiderna påverkas bland annat av hur lång tid tillståndprocessen tar eller den tekniska komplexiteten att bygga ut olika typer av produktionstekniker. Ledtiderna i kraftsystemet är ofta långa, cirka 5–10 år från planeringsstart till drift men kan i vissa fall ta längre tid än så. Detsamma gäller även vid etablering av nya nät. Långa ledtider innebär att förutsättningarna kan ha förändrats en hel del från det att projekteringen startat. I kombination med att större komponenter i elsystemet har långa drifttider, i vissa fall upp mot 100 år (vattenkraft, kärnkraft och elnät) så finns en viss tröghet i systemet.

Ledtider för olika kraftslag kan vara svåra att identifiera och varierar även med lokala förutsättningar. Det finns också en skillnad i att uppskatta ledtider för elproduktion som har byggts ut i närtid jämfört med produktion som inte har det, till exempel för kärnkraft och havsbaserad vindkraft. Däremot går det att göra en ungefärlig uppskattning av ledtider för solkraft och landbaserad vindkraft baserat på tidsåtgång för dagens tillstånds- och byggnadsprocesser. Tiden för tillståndsprocesser kan också skilja sig beroende på hur många överklaganden som sker exempelvis. Att uppskatta ledtider för olika kraftslag

²¹ Energimyndigheten, Årliga energibalanser, tabell Elproduktion (nettoproduktion) per kraftslag fr.o.m. 1970, TWh. Microsoft Power BI (hämtad 2023-01-30).

i framtiden innebär också stora osäkerheter då en rad förutsättningar kan ha förändrats. I Tabell 1 ges en sammanfattande uppskattning av ledtider för olika kraftslag fördelat på olika faser.

Tabell 1. Uppskattad jämförelse av olika ledtider för olika kraftslag. Grön motsvarar kortast tidsspann, gul längre tid och röd färg längst tid. Grå symboler representerar delar där det är mycket svårt att göra en uppskattning. Eftersom ledtiderna är svåra att uppskatta ger indelningen i de olika grupperna endast en ungefärlig jämförelse mellan olika kraftslag.

	Kärnkraft	Kärnkraft (SMR)	Vindkraft på land	Vindkraft till havs	Solkraft	Vattenkraft (effekthöjning)	Kraftvärme
Projektering	■	■	■	■ / ■	■	■	■
Tillståndprocess	■	■	■	■ / ■	■	■	■
Byggtid	■ / ■	■ / ■	■	■	■	■	■
Drifttid	45–60 år	45 år	25 år	25–30 år	30 år	+50 år	30 år

Solkraft sticker ut i jämförelse med andra kraftslag med ledtider på cirka ett år. Däremot skiljer sig detta beroende på om det är solceller på tak eller om det är en solpark, samt lokalisering och storlek på anläggningen. Möjligheten att ansluta anläggningar till elnätet är också en allt vanligare orsak till att ledtiderna för sol kan vara längre. För landbaserad vindkraft har Svenskt Näringsliv nyligen gjort en uppskattning att ledtiden från utredning till byggfas är 10–12 år idag.²² Själva byggfasen uppskattas endast till 2–3 år medan 7–8 år beräknas gå till planering och prövning. Svensk vindenergi presenterade i början av 2023²³ ledtidsuppskattningar för vindkraftsprojekt i olika skeden. Tiden för att få miljötillstånd uppskattas till 3–7 år. Vidare kan projekt med miljötillstånd (men utan nätkoncession) vara i drift 3–5 år efter elnätskoncession är beslutat. Projekt med alla tillstånd kan vara i drift 2–3 år efter ett investeringsbeslut fattas. Till det kommer tid för tidiga utredningar och samråd. Totalt blir det 6 till 12 år efter miljöprövningen börjas.

Att uppskatta ledtider för ny kärnkraft är betydligt svårare då det inte skett någon utbyggnad i Sverige sedan mitten på 1980-talet. För att få en uppfattning om hur lång tid byggnadsfasen tar går det att titta på projekt utomlands. Exempelvis har IAEA gjort en sammanställning av medianen för byggnadstid för kärnkraft tagen i drift mellan 2016–2020 vilket landar på cirka 8 år.²⁴ Tittar man på drifttagna reaktorer mellan 2012–2021 så hamnar medianen på cirka 9 år med ett stort spann i längd, minimum på 4,2 år och ett maximum på 42,8 år.²⁵ En undre gräns för tid från ansökan till driftstart för en ny svensk reaktor kan skattas till cirka 10 år. Detta är däremot beroende av en rad faktorer, exempelvis hur beprövad tekniken är, hur komplett ansökan är och om reaktorn ska anläggas på befintlig eller ny plats. Att skatta hur lång tid tillståndprocessen för en ny reaktor skulle ta är mycket svårt då ingen ansökan har färdigbehandlats i Sverige sedan 1980-talet och enligt dagens regelverk.²⁶ Eftersom tillståndsförfarandet skiljer sig mellan olika länder är det inte heller representativt att titta på hur lång tid det tagit i andra länder för att få en uppfattning. En del av drivkrafterna bakom SMR

²² Svenskt Näringsliv, Startprogram för mer vindkraft, mars 2023.

²³ Svensk Vindenergi (2023), Statistik och prognos – Q4 2022 (hämtad 2023-05-17)

²⁴ IAEA, Nuclear Power Reactors in the World, Reference data series no 2, 2021, Nuclear Power Reactors in the World IAEA-RDS-2/41 (hämtad 22-12-06)

²⁵ WNISR (2022), World Nuclear Industry Status Report 2022.

²⁶ Miljöbalken exempelvis.

(små modulära reaktorer) är att ledtiderna skulle vara kortare än dagens stora reaktorer. Detta förutsätter däremot att det har skett en del regelmässiga förändringar. Idag finns det uppskattningar på en byggtid på cirka 5 år för SMR.²⁷ Detta är dock ännu förenat med stora osäkerheter. En utbyggnad av kärnkraft i Sverige befinner sig endast i förstudiefaser²⁸ idag och det finns ännu inga framskridna planer eller tillståndsansökningar kring ny kärnkraft i Sverige.

För havsbaserad vindkraft uppskattas själva byggtiden till liknande som för landbaserad vindkraft på cirka 2–3 år enligt Svensk Vindenergi²⁹, däremot uppskattas den totala ledtiden till upp emot 12,5–17,5 år. Svenskt Näringsliv uppskattar 7–9 år för planering och prövning vilket skulle leda till en total ledtid på 9–12 år.³⁰ Detta är likt kärnkraften förenat med stora osäkerheter där det är svårt att veta vad utfallet faktiskt skulle bli. Däremot uppskattas byggtiden för havsbaserad vindkraft vara 2–3 gånger snabbare än för kärnkraft. Detta innebär att havsbaserad vindkraft skulle kunna byggas ut snabbare om planering och prövning skulle gå fortare. Idag finns det också flera havsbaserade vindkraftsprojekt som har lämnat in tillståndsansökan eller befinner sig tidigare i planering- och prövningsfasen (samråd exempelvis).³¹

Ledtiderna är generellt sett långa för att bygga ut ny elproduktion men det finns flera projekt, framför allt vindkraftsprojekt, som redan kommit långt i sin planering- och även till viss del tillståndprocess. Dessa projekt börjar därmed inte ”från noll” och har god potential att bidra med ny elproduktion tidigare än de ledtiderna som redovisas här. Det finns även ansträngningar att förkorta ledtiderna. I september gav Regeringen Energimarknadsinspektionen, Lantmäteriet och länsstyrelserna i uppdrag att utveckla arbetssätt för kortare ledtider för elnätsutbyggnad.³² Energimarknadsinspektionen fick 2023 ett nytt uppdrag om att implementera åtgärderna i projektet.

1.4 Utgångspunkter för att analysera utvecklingsvägar för elproduktionen

Utifrån det elbehov som följer av en omfattande elektrifiering samt en förändring av elproduktionen, avseende generationsväxling och elproduktionsmix, så är det angeläget att titta på vilka möjliga utvecklingsvägar som finns för elproduktionen fram till år 2050.

Det är viktigt att ha med sig att det finns svårigheter i att göra bedömningar av förutsättningar för utbyggnad av elproduktion till och med 2050. Vad som kan anses vara realistiskt om cirka 25 år är betydligt mer osäkert än vad som anses realistiskt om några få år. Exempel på svårigheter med att bedöma framtiden kan hämtas i närtid. Det var först i slutet av 2010-talet som en omfattande elektrifieringstrend på allvar började presenteras som tänkbara scenarion från både myndigheter och branschorganisationer. Nu är detta den dominerande framtidsbilden.

Elsystemet är ett stort sociotekniskt system som inte enbart innefattar en mängd tekniska komponenter och anläggningar utan även människor och organisationer som bygger, driver

²⁷ Energiforsk (2019), Small modular reactors. 2019:625, s.14.

²⁸ Vattenfall och Fortum genomför förstudier för ny kärnkraft i Sverige.

²⁹ Svensk Vindenergi (2022), Sammanställning över planerad havsbaserad vindkraft i Sverige, 3 maj 2022.

³⁰ Svenskt Näringsliv, Startprogram för mer vindkraft, mars 2023.

³¹ Svenskt Näringsliv, Startprogram för mer vindkraft, mars 2023.

³² Regeringen (2021), Uppdrag att utveckla arbetssätt och parallella processer för kortare ledtider för elnätsutbyggnad, Diarienummer I2021/02334/I2021/01110.

och nyttjar anläggningarna samt institutioner som reglerar aktörernas handlande. Det kan därför vara svårt att ändra riktningen på stora elektriska kraftsystem utan förståelse att systemen utgör sociala och kulturella skapelser, snarare än isolerade tekniker.³³ Utveckling och förändring av sociotekniska system är till sin natur beroende av tidigare förutsättningar och vägval i systemet. Olika förstärkningsmekanismer gör att det skapas inlåsningseffekter kring exempelvis olika teknikval som kan vara svåra att bryta. Samtidigt finns också möjligheter att påverka och styra utveckling och omställning i önskade riktningar för samhället.³⁴

Förändringen av energisystemet som nu pågår innebär en omfattande systemförändring som kommer få genomgripande effekter på samhället som sträcker sig utanför energisektorn. Samtidigt pågår flera andra stora samhällsförändringar så som digitalisering och artificiell intelligens som får minst lika genomgripande påverkan på hela samhället och därmed även på energisystemen. I scenarier över framtiden och övervägande av olika utvecklingsvägar kan det vara svårt att frigöra sig och se utvecklingsmöjligheterna bortom dagens system och trender. Tiden det tar för nya lösningar att mogna underskattas ofta men även hur fort omställningen kan gå när den väl sker. Olika systemomvälvande innovationer kan också skapa möjligheter för helt nya utvecklingsvägar och det kan uppstå helt nya förutsättningar som idag inte är kända.

Det är alltså svårt att göra långsiktiga scenarier för ett energisystem som befinner sig i en omställningsprocess där vissa gamla lösningar är på väg ut och nya lösningar är på väg in. Det är också viktigt att vara medveten om att scenarier kan ha en direkt påverkan på aktörer inom området. Befintliga aktörer i ett system kan vara begränsade av att, oavsiktligt eller avsiktligt, inte se möjligheterna hos alternativen. Scenarier kan ha en viktig funktion för att visa på möjligheterna med alternativa utvecklingsvägar och skapa legitimitet åt dessa alternativ. Men scenarier kan också ha en begränsande effekt på samhället om de inte lyckas fånga möjligheterna i ett systemskifte. Beskrivningar av teknikutveckling och paradigmskiften fokuserar ofta mycket på själva tekniken. Det finns dock alltid en användare av tekniken som är en del av ett system som påverkas av faktorer som beteenden, normer, lagar, regler osv. Utöver den tekniska mognaden för en lösning är dessa faktorer avgörande i omställningen.

När en jämförelse ska göras mellan olika kraftsystem med utgångspunkt från olika elproduktionsmixer bör det också göras med en viss försiktighet. En elproduktionsmix i sig är inte enskilt ett tillräckligt väldefinierat tillstånd för att säga om det bidrar till ett försörjningstryggt, konkurrenskraftigt och ekologiskt hållbart elsystem. Energimyndigheten har i tidigare rapporter pekat på bland annat vikten av geografisk placering, teknikval inom respektive produktionsslag, graden av flexibilitet, omvärldens utveckling (inte minst det nordiska elsystemet) samt nätutbyggnad som starkt påverkande faktorer för exempelvis hållbarhet och försörjningstrygghet.^{35,36}

³³ Högselius, Per och Kaiser, Arne. *När folkhemselen blev internationell – Avregleringen i ett historiskt perspektiv*. Stockholm: SNS Förlag, 2007.

³⁴ Andersson J, Hellsmark H och Sandén B. *The outcomes of directionality: Towards a morphology of sociotechnical systems*, Environmental Innovation and Societal Transitions, 2021.

³⁵ Energimyndigheten 2019, 100 procent förnybar el Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar, ER 2019:06.

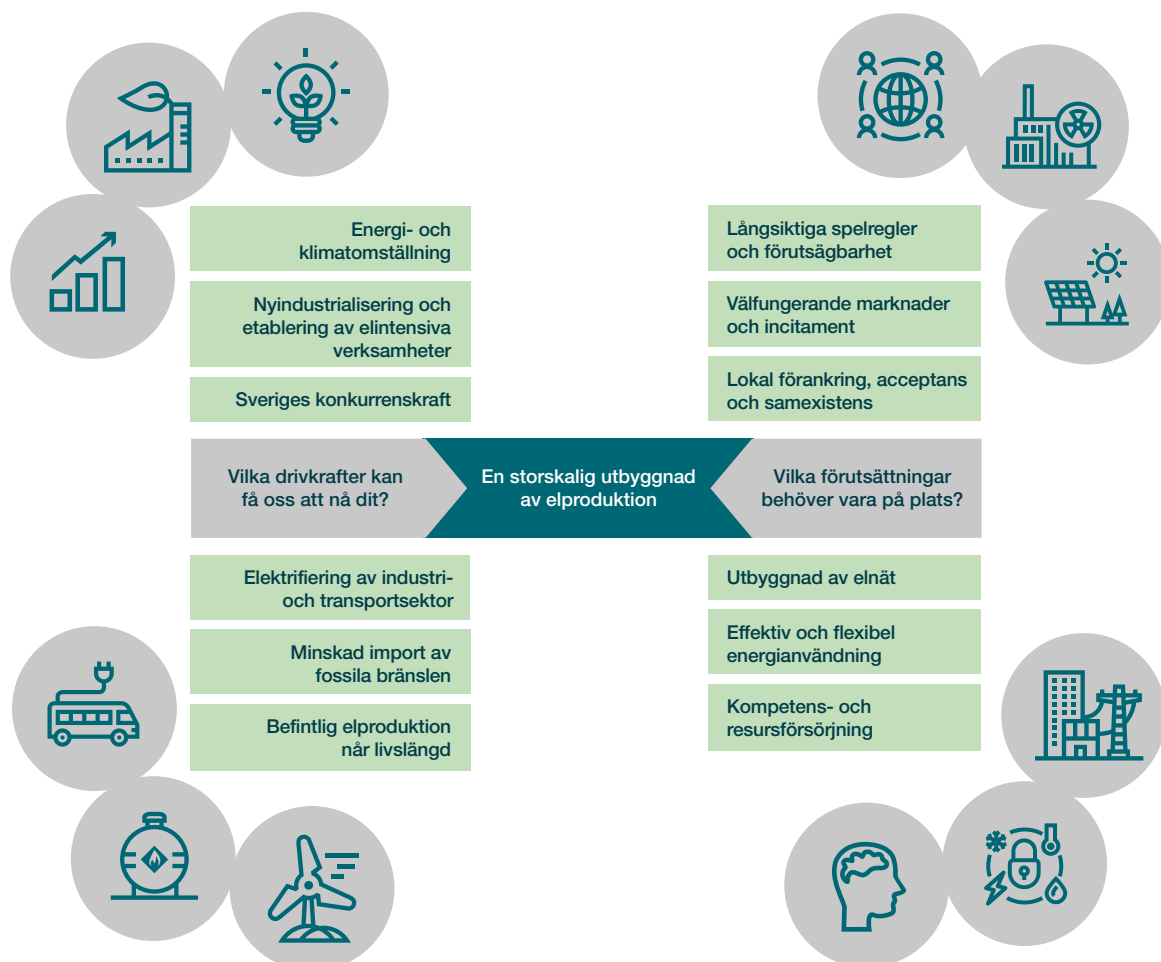
³⁶ Energimyndigheten 2021, Framtidens elektrifierade samhälle – Analys för en hållbar elektrifiering, ER 2021:28.

2 Drivkrafter och förutsättningar för en storskalig utbyggnad av elproduktionen

Detta kapitel fokuserar på de förutsättningar som krävs för att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktion som en del av omställningen. Sverige har generellt sett goda förutsättningar att tillgodose ett ökat elbehov då det finns en stor realiserbar potential för utbyggnad av elproduktion. Däremot finns det vissa generella förutsättningar som behöver vara på plats oavsett vilken utvecklingsväg eller vilket kraftslag som studeras. Det finns också utmaningar och hinder för utbyggnaden av olika kraftslag som kan påverka den praktiskt genomförbara potentialen. Kapitlet sammanfattar de mest väsentliga drivkrafterna och förutsättningarna för utbyggnad av olika kraftslag. Avslutningsvis beskrivs vägen fram till 2050 och vilka kraftslag som bedöms ha potential att tillgodose det ökade elbehovet på kort och på lång sikt. Det leder sedan vidare till scenarier över utvecklingsvägar som analyseras i kapitel 3.

2.1 Generella drivkrafter och förutsättningar

För att uppnå omställningen till ett fossilfritt energi- och elsystem kan det finnas flera möjliga utvecklingsvägar för en utbyggnad av elproduktionen som innebär delvis olika, delvis gemensamma utmaningar, drivkrafter och förutsättningar. Drivkrafterna bakom den omfattande elektrifiering som undersöks i det här arbetet har introducerats i kapitel 1. Storleken av det uppskattade utbyggnadsbehovet innebär att det finns flera gemensamma förutsättningar som behöver vara på plats. I Figur 5 sammanfattas drivkrafter och förutsättningar som krävs för en storskalig utbyggnad av elproduktion för att möjliggöra omställningen.



Figur 5. Drivkrafter och förutsättningar för en storskalig utbyggnad av elproduktionen.

2.1.1 Långsiktiga spelregler och förutsägbarhet

En så omfattande omställning till följd av en ökad elektrifiering som analyseras i det här arbetet kräver en långsiktighet i den energipolitiska styrningen. Detta för att skapa en högre förutsägbarhet för de aktörer som ska investera i elsystemet. Detta gäller framför allt kapitaltunga investeringar med långa ledtider. Exempelvis innebär investeringar i ny kärnkraft ett stort risktagande till följd av höga investeringskostnader, lång livslängd och lång återbetalningstid. Även för havsbaserad vindkraft som också har relativt höga investeringskostnader är långsiktighet och förutsägbarhet en förutsättning.

Etablerandet av ett långsiktigt teknikneutralt policyramverk är alltså en förutsättning för en framgångsrik ökad elektrifiering och utfasning av fossila bränslen. Alltför frekventa politiska svängningar avseende energipolitik skapar ett osäkert investeringsklimat som riskerar att fördröja eller hindra Sveriges omställning. Lärdomar för en ökad långsiktighet i energisektorn kan dras från andra områden där man tidigare sökt långsiktig stabilitet, såsom pensionssystemet och klimatravverket. Politiska avvägningar och prioriteringar mellan olika samhällsintressen kommer också vara nödvändiga om den elektrifiering och önskade samhällsutveckling som efterfrågas ska kunna åstadkommas.

2.1.2 Vålfungerande marknader och incitament

Utbyggnaden, användningen och lönsamheten för olika typer av kraftproduktion påverkas av marknaden samt olika ekonomiska incitament. I ett elsystem som i huvudsak ska utvecklas på marknadsmässiga grunder är en vålfungerande marknad grunden för ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Kommande decennier väntas förändringar ske när det gäller såväl elproduktion som elanvändning vilka är förenade med stora osäkerheter. Det rör sig om relativt snabba och stora förändringar, i komplexa system, vilket kommer ställa nya krav på elmarknaden och dess funktion. Detta är inte enbart en nationell fråga, då det svenska elsystemet är tätt sammankopplat med det nordeuropeiska elsystemet innebär det att utvecklingen i Sverige också påverkas av övriga Europa.

En kontinuerlig översikt av marknadsstruktur och incitament kan vara viktigt för att energimarknaderna ska utvecklas så effektivt som möjligt. Ett exempel är framför allt utformandet av ekonomiska incitament för att utnyttja flexibilitet för elsystemet och för mer långsiktiga effektiviseringsåtgärder. I ett hållbart energisystem bör alla positiva och negativa effekter internaliseras i prissättningen eller i regelverk. En ökad utbyggnad av elproduktion och elnät kan komma att leda till ökad lokal miljöpåverkan. Därför bör även miljöpåverkan prissättas, alternativt regleras, för att miljöåtgärder ska kunna konkurrera på marknaden och bidra till minskad miljöbelastning. Kan detta göras på en vålfungerande marknad med långsiktiga spelregler och prissignaler som når fram till aktörer skapas starka incitament för att nå de energipolitiska målen.

2.1.3 Lokal förankring, acceptans och samexistens

Investeringsbeslut i elproduktion påverkas utöver prissignaler på en elmarknad även av andra förutsättningar, exempelvis tillgänglig nätkapacitet, tillståndprocesser, lokal acceptans och möjlighet till samexistens med andra intressen som naturvård och försvaret. En viktig förutsättning är hela samhällets förståelse och acceptans för en utbyggnad och utveckling av elsystemet. Detta gäller inte endast utbyggnaden av olika kraftslag utan för hela omställningen och elektrifieringen som krävs till följd av det. Utbyggnad av fossilfri elproduktion som bidrar till klimatomställningen kan ha en lokal miljöpåverkan som påverkar de närboendes inställning till utbyggnaden negativt. Det är därför viktigt att arbeta för att skapa en lokal förankring i syfte att öka incitamenten för kommuner att acceptera en utbyggnad.

Utbyggnaden av elproduktion kan även göra anspråk på ytor där det finns motstående intressen från exempelvis naturvården, renskötsel och försvaret. En viktig förutsättning för hantering av målkonflikter är att hitta lösningar för samexistens mellan olika intressen. Men en storskalig utbyggnad helt utan påverkan på andra intressen kommer däremot inte gå att åstadkomma. Det kommer således inte vara möjligt att uppnå samexistens och/eller lokal förankring på alla platser. Politiska avvägningar och prioriteringar mellan olika samhällsintressen kommer som ovan nämnt vara nödvändiga. Energiintresset kan då i vissa fall behöva prioriteras på bekostnad av andra intressen om elektrifieringen ska åstadkommas.

2.1.4 Kompetens- och resursförsörjning

En storskalig utbyggnad av elproduktion kommer innebära ett stort behov av både kompetens och resurser. Detta innefattar både kompetent personal som kan utveckla, installera och sköta driften av olika produktionstekniker. Dels kommer nya kompetenser

behövas och nuvarande kompetens kan komma att användas på nya sätt. Om det inte finns tillgång till kompetent personal kan det bli en begränsande faktor som kan hindra eller bromsa utvecklingen. Behovet kommer vara stort både i omfång och typer av kompetenser med allt från elektriker, montörer, industrianställda, till myndighetspersoner, forskare med flera. Tillgång till kompetens omfattar inte bara utbildning och kompetensutveckling utan även möjlighet för företag att rekrytera och anställa kompetent personal. Det innebär att frågor som tillgång till bostäder, möjlighet till arbetspendling och infrastrukturfrågor som bredbandstillgång för arbete på distans blir viktiga för kompetensförsörjningen.

Tillgång till rätt kompetens och tillräckliga resurser är en utmaning för alla företag i branschen, men det är en minst lika stor utmaning för alla berörda myndigheter. Utbyggnaden kommer innebära att en ökad mängd tillståndsansökningar ska hanteras av olika myndigheter som redan idag har ett stort behov av kompetens och resurser för att hantera mängden ärenden. Det finns också ett behov för att arbeta med utvecklingen av processer och planering för att effektivare kunna hantera utbyggnaden. Elektrifieringen innebär också att det uppstår en konkurrens om samma typ av kompetenser mellan olika branscher. Den här utvecklingen är inte isolerad till Sverige vilket även kan innebära en konkurrens om kompetens och resurser mellan olika länder.

Råvaruförsörjning

Utöver kompetens kommer en storskalig utbyggnad innebära ett ökat behov av olika komponenter och råvaror. Råvarubehoven kommer förändras över tid i takt med en ökad elektrifiering både i Sverige och globalt. Detta innefattar ett ökat behov av olika innovationskritiska metaller och mineral för exempelvis produktion av batterier, solceller och vindturbiner. Efterfrågan av dessa förväntas även öka över tid kopplat till helt andra användningsområden. På längre sikt kan försörjningen vara en utmaning till följd av det ökade behovet och konkurrensen globalt samt geopolitiska faktorer. Detta kan i sin tur skapa flaskhalsar i leverantörskedjan och försena utbyggnaden av olika kraftslag. En effektiv resursanvändning är viktigt för att begränsa det totala behovet. Även cirkulära materialflöden genom återanvändning, återvinning och substitution till förnybara råvaror kommer vara centralt för långsiktig hållbarhet.

2.1.5 Överföringskapaciteten behöver öka i samband med ökad produktion och efterfrågan

Utbyggnad av ny elproduktion sker med fördel där det finns rätt förutsättningar, möjligheter och lönsamhet. Dessa platser är inte alltid geografiskt nära områden där efterfrågan på el är högst. Samtidigt så varierar efterfrågan på el inom olika tidsperioder från sekunder upp till dagar, veckor och årstider. Ett elsystem med robust nätinfrastruktur är inte bara en nödvändighet för att balansera efterfrågan och produktion vid alla tillfällen, men också för att göra detta på ett kostnads- och resurseffektivt sätt.

Begränsningar i nätkapacitet, så kallade flaskhalsar, kan leda till olika typer av utmaningar. Flaskhalsar inom transmissionsnätet³⁷ orsakar prisskillnader mellan olika elområden.

³⁷ Transmissionsnätet transporterar stora mängder el från de stora elproducenterna till de regionala distributionsnäten. Det löper genom hela landet, från norr till söder, och kopplar ihop Sveriges elnät med andra länders elnät. Stora elproduktionsanläggningar och mycket stora elanvändare är vanligtvis anslutna direkt till transmissionsnätet. Distributionsnätet används för vidaredistribution el från och till transmissionsnätet. Sveriges distributionsnät består av regionnät och lokalnät.

Begränsningar i regional- och lokalnät kan leda till fördröjning i anslutning av både ny elproduktion samt ny förbrukning, till exempel laddstationer för elektrifierad transport eller etablering av elintensiva verksamheter. En utbyggnad av nätinфраstruktur i samband med en ökad elektrifiering och utbyggnad av elproduktion är därför även viktig för att inte begränsa möjligheter för lokal tillväxt och arbetstillfällen.

Utbyggnad av nätkapacitet är projekt med långa ledtider och höga kapitalinsatser. Det behövs därför långsiktighet för att möjliggöra planering och investering från nätbolagens sida. Även en helhetsbild för etablering av nätförstärkningar, produktion och användning är viktigt som underlag för proaktiv utbyggnad av nät, eftersom många aktörer framför allt endast har insyn i den egna verksamheten. Luftledningarna är oftast det bästa teknikvalet, men projektering möts av motstånd. Kunskapshöjande åtgärder och informationskampanjer kan vara ett stöd i att synliggöra nyttorna av utbyggnad nätinфраstruktur. För en storskalig utökning av nätinфраstruktur är det viktigt att säkra kompetens för att genomföra dessa projekt, både på kort och lång sikt. Idag är resurser och kompetenser redan ett problem där transmission-, region-, och lokalnätsbolag konkurrerar om samma resurser. En förkortning av ledtider behövs för att inte begränsa möjligheter för utbyggnad av elproduktion samt elektrifiering på kortare sikt.

Då utbyggnad av elnätet tar tid, 10 år eller mer, är det av stor vikt att den befintliga överföringskapaciteten utnyttjas så effektivt som möjligt. Här kan flexibilitet och energieffektiviseringar samt olika marknadsbaserade mekanismer och avtalsformer, som stödtjänster och villkorade avtal, för att realisera detta spela viktiga roller. Villkorade avtal skulle exempelvis kunna användas under en begränsad tid för att tillåta att en kund snabbare ansluter till nätet när överföringskapaciteten är begränsad och inte räcker till för årets alla timmar.³⁸ Energimarknadsinspektionen publicerade i april 2023 en rapport³⁹ i syfte att vägleda elnätsföretagen och branschens aktörer gällande regelverket för villkorade avtal. Slutsatsen från rapporten är att marknadsbaserade mekanismer ska användas i första hand och att villkorade avtal kan vara en effektiv metod när marknadsbaserade mekanismer inte räcker till eller saknas.

2.1.6 Flexibilitet främjar elektrifiering och utbyggnad av elproduktion

Som komplement till elnätsutbyggnad kan flexibilitet inom elsystemet påskynda elektrifieringen och hjälpa till att möta efterfrågan på el på ett effektivt sätt. Flexibilitet inom användning av el och exempelvis energilagring kan förflytta elbehovet i tid. På det sättet kan effektoppar reduceras samt efterfrågan på el flyttas till perioder med hög elproduktion. Väderberoende elproduktionskällor så som sol- och vindkraft visar variationer på olika tidsskalor, från timmar upp till flera dygn eller säsongsvariationer. Olika flexibilitetsresurser kan även vara tillgängliga över olika långa tidsperioder.⁴⁰ Ökad flexibilitet i elsystemet kan därmed både accelerera elektrifieringen, samt underlätta integrationen av produktionskällor som sol- och vindkraft.

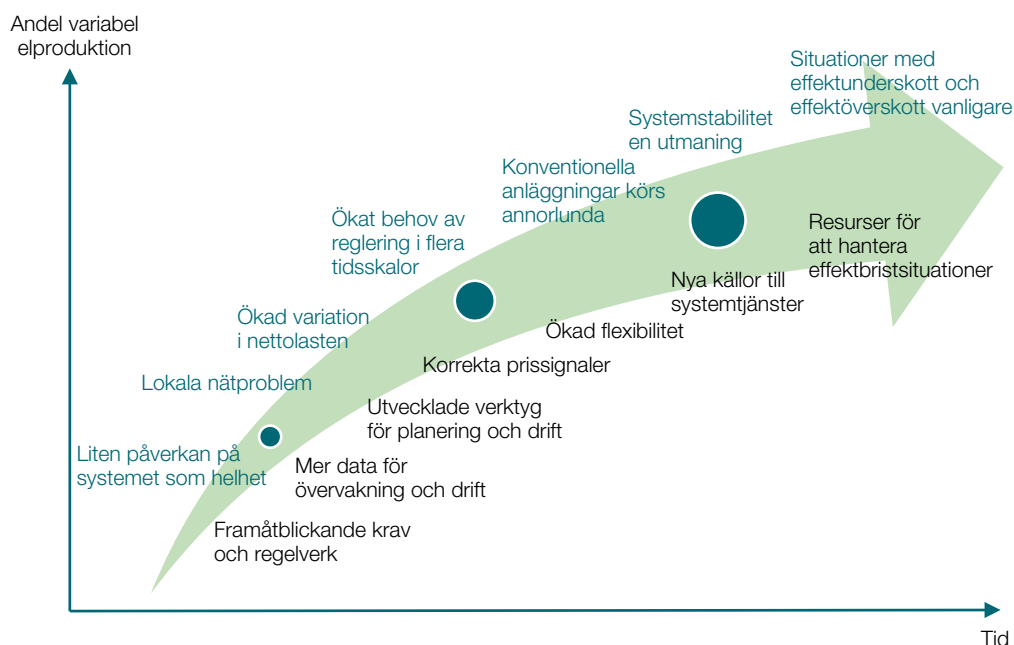
³⁸ När överföringskapaciteten är knapp riskerar nätet överbelastning. Villkorade avtal (som innebär att kunden) nedregleras helt eller delvis, är en möjlig åtgärd för att hantera överbelastning och kan vara en lösning i väntan på att elnätet hinner byggas ut.

³⁹ Energimarknadsinspektionen, "Villkorade avtal, Ei R2023:08", Ei R2023:08 Villkorade avtal (hämtad 2023-05-23)

⁴⁰ Som exempel används batterier med fördel som flexibilitetsresurs på tim- och dygnsbasis vilket kan vara ett bra komplement för variationerna från solkraft. Vätgaslager å andra sidan har möjligheten att lagra större mängder energi och kan därför med fördel användas som flexibilitetsresurs på dygns- och veckobasis vilket kan vara ett bra komplement för variationerna från vindkraft.

Flexibilitet möjliggör en mer effektiv energi-, resurs- och effektanvändning och har potential att minska den totala mängden ny elproduktion och nätkapacitet som behövs för att lyckas med omställningen till ett klimatneutralt energisystem. Att utnyttja potential för flexibilitet är därmed en viktig del i ett resurseffektivt samhälle. Teknikutvecklingen och pågående kostnadsminskning i områden som digitalisering, smart styrning och hantering av stora datamängder underlättar utformningen av ändamålsenliga incitament och utveckling av marknader. Det möjliggör även för flera olika aktörer att tillhandahålla flexibilitet. Ofta så kan nyttiggörandet av flexibilitet i systemet realiseras på kortare tidsskalor än bygg- och tillståndprocesser för ny elproduktion- och nätinфраstruktur.

Flexibilitet i elsystemet kan tillhandahållas på olika sätt, genom flexibel elproduktion, flexibilitet inom användningen av el eller energilagring. Detta för med sig en komplexitet i utvecklingen av strategier för att främja flexibilitet i elsystemet. Olika regelverk, utbyggnad av infrastruktur och marknadsförutsättningar krävs för olika typer av flexibilitet. Ett ökat samspel mellan aktörer och sektorer förutsätter en högre grad av koordinering och standardisering, samt en tydlig definition av roller och ansvarsområden. För de aktörer som inte tidigare har erbjudit flexibilitet eller lösningar som främjar flexibilitet kan det behövas ökad information kring de mest effektiva sätten att realisera flexibilitet samt kring regler och möjliga affärsmodeller. Om rätt incitament kopplade till när och var i systemet flexibilitet är av värde finns på plats, så kan det finnas nytta för både elsystemet samt för de aktörer som har möjlighet att vara flexibla. Flexibilitet är inte bara en förutsättning för en högre andel väderberoende elproduktion, på samma gång skapar en ökande andel sol- och vindkraft i elsystemet förutsättningar för affärsmodeller kring flexibilitet för olika aktörer. Figur 6 visar hur en ökande andel variabel elproduktion leder till olika förutsättningar och behov i elsystemet.



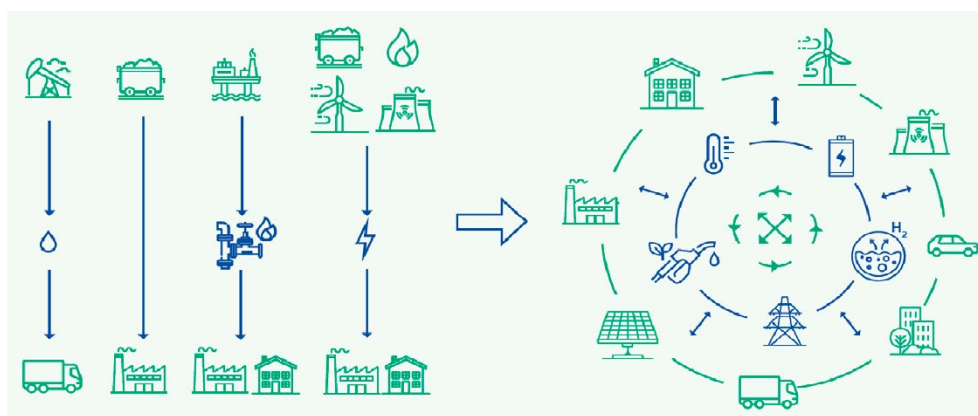
Figur 6. Exempel på hur elsystemets egenskaper och behov kan förändras över tid och med ökad andel variabel elproduktion.

Källa: Energimyndigheten (2018).⁴¹

⁴¹ Energimyndigheten (2018) *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem*.

2.1.7 Synergier i ett integrerat energisystem

En ökad elektrifiering innebär en ökad användning av el som energibärare i flera olika delar av energisystemet. Några exempel är övergången till en eldriven fordonsflotta, omställningen av industriprocesser eller utbyggnaden av elintensiva verksamheter. I samband med elektrifieringen så möjliggörs nya sätt att tillhandahålla flexibilitet samt synergier mellan olika sektorer. Historiskt har energisystemet till stor del byggt på separata värdekedjor från specifika energiresurser till specifika slutanvändarsektorer. Den omställning som sker innebär att energisystemet blir alltmer integrerat där olika energibärare, infrastrukturer och slutanvändare samverkar, se Figur 7. Starkare kopplingar mellan sektorer innebär möjligheter för energisystemet att planeras och förvaltas mer effektivt som en helhet.



Figur 7. Övergång från ett energisystem med enkelriktade flöden till ett integrerat system.

Källa: EIT InnoEnergy (2021).⁴²

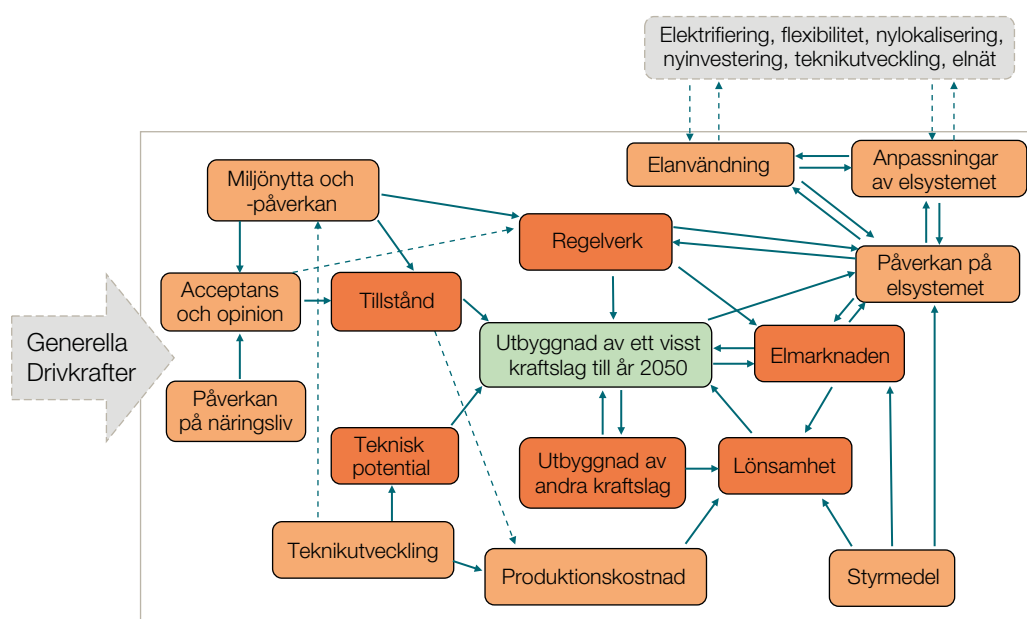
Med en starkare koppling mellan elsystemet och andra sektorer ökar potentialen för flexibilitet. Ofta så finns goda förutsättningar där en del av elförbrukningen som uppstår till följd av elektrifiering kan förflyttas i tid. Användning av energilagring, såsom batterier inom elektrifierad transport, lager för vätgas eller elektrobränslen, eller värmelager skapar fler möjligheter för flexibilitet inom elanvändningen. Ekonomiska incitament så som tidsvarierande elpriser skapar intäktsmöjligheter där flexibilitet inom elanvändningen kan vara lönsamt för ett flertal aktörer inom olika branscher och sektorer.

Exempel för nya potentialer för flexibilitet till följd av en ökad elektrifiering finns bland annat inom transport, industri eller uppvärmning. Ett stort antal batterier förväntas introduceras inom laddbara batterifordon inom de närmaste åren. Laddningen kan styras i tid och mängd, när de är kopplade till en laddstation. Inom industrin kan stålindustrins satsning på fossilfritt stål, nämnas som ett exempel. I processer där vätgas ska ersätta kolprodukter möjliggör ett vätgaslager en mer flexibel användning av el i elektrolysörerna som framställer vätgas. Inom uppvärmningen tillåter värmelager mer flexibilitet där värme produceras med el (till exempel värmepumpar eller elpannor) eller i samband med kraftvärmeverk som producerar både el och värme. Aktörerna som kan dra nytta av att vara mer flexibla i sin elanvändning är många och mångfaldiga. Det gör koordinering och utformning av rätt marknadsförutsättningar och incitament till viktiga aspekter för att möjliggöra en effektiv elektrifiering.

⁴² EIT InnoEnergy (2021), Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem.

2.2 Drivkrafter och förutsättningar för olika kraftslag att tillgodose elbehovet fram till 2050

Sverige har en stor realiserbar potential för utbyggnad av ny elproduktion och därmed goda förutsättningar att tillgodose det elbehov som krävs för att uppnå ett fossilfritt elektrifierat samhälle. I teorin finns stora möjligheter för utbyggnad av alla enskilda kraftslag, men det finns hinder för olika kraftslag som påverkar den praktiskt genomförbara potentialen. För att få en uppfattning om de olika kraftslagens möjligheter att bidra till att tillgodose elbehovet är det viktigt att beakta utbyggnaden av ett kraftslag ur ett brett samhällsperspektiv. I Figur 8 illustreras några av de generella drivkrafterna för och emot utbyggnaden av ett visst kraftslag.



Figur 8. Generella drivkrafter för och emot utbyggnad av ny elproduktion.

I följande avsnitt redovisas de mest väsentliga drivkrafterna och förutsättningarna för olika kraftslag att tillgodose det ökade elbehovet.

2.2.1 Kraftvärme

Fjärr- och kraftvärmen fyller en viktig roll i det svenska energisystemet, både i det kortare perspektivet för att tillgodose dagens behov, och för att bidra till ett hållbart energisystem i framtiden. Med sina tekniska egenskaper bidrar fjärr- och kraftvärmen med el och energi då användningen är som störst, med systemtjänster och lokal nytta i städer och även med ett resurseffektivt tillvaratagande av restprodukter från industri och avfall.

Kraftvärmens roll i det framtida elsystemet är viktig då den besitter flera värdefulla systemegenskaper...

Kraftvärme, inkluderat industriella mottrycksanläggningar, producerar idag cirka 15 TWh⁴³ el per år vilket procentuellt sett är en förhållandevis liten del jämfört med vattenkraft, kärnkraft och numera vindkraft. Kraftvärme i fjärrvärmesystemen bidrar med viktiga egenskaper, som att den producerar som mest el när det är kallt och elbehovet är stort, samt att den oftast är placerad i eller i närheten av städer och därmed utgör ett viktigt tillskott av effekt i lokalnäten. Kraftvärme är en uthållig resurs som kan producera större delen av året och har teoretisk möjlighet att reglera upp eller ned elproduktionen inom några minuter upp till timmar, även om den lämpar sig bäst för balansering med något längre framförhållning. Kraftvärme har även en stor betydelse lokalt i elnätet, och kan bidra både till att hantera överbelastning inom eller mellan elområden och att förbättra den lokala kapacitetssituationen.

... däremot begränsas utbyggnaden av värmeunderlaget.

Värmeunderlaget avgör hur mycket el som kan produceras med kraftvärme. Detta betyder att det finns en begränsning i hur mycket kraftvärmeproducerad el som kan fås genom investeringar i ny kraftvärme. Ifall det inte finns någon möjlighet att få avsättning för värmen i ett fjärrvärmenät (eller för annan användning eller genom att lagra den) så kan inte kraftvärmen öka.⁴⁴ Utbyggnadspotentialen av kraftvärme är därför begränsad. I Energimyndighetens förslag till en fjärr- och kraftvärmestrategi⁴⁵ uppskattades värmeunderlaget som går att ersätta med kraftvärmeproducerad fjärrvärme till 19 TWh. Ifall fjärrvärmen i stället skulle komma ifrån biokraftvärme för ett värmeverk skulle ytterligare ca 10 TWh el kunna produceras.⁴⁶ Här är teknikvalet avgörande eftersom elverkningsgraderna skiljer sig åt mellan olika typer av kraftvärmetekniker. En ORC-turbin⁴⁷ ger exempelvis väsentligt mycket mindre elutbyte medan en gaskombicycle ger uppåt 55 procent. Förutsättningarna att öka andelen kraftvärme beror emellertid på de ekonomiska förutsättningarna.⁴⁸

I takt med en ökad elektrifiering kommer det också att genereras alltmer överskottsvarme från exempelvis datahallar eller elektrolysörer. Givet rätt temperaturer och avstånd till bebyggelse kan detta innebära stora mängder spillvärme som kan komma att konkurrera om samma värmeunderlag som kraftvärmen. Uppskattningar visar att kraftvärmen kommer köra färre timmar i framtiden⁴⁹ då kampen om värmeunderlaget ökar exempelvis från spillvärme och effektiviseringar, vilket kommer kräva en högre ersättning för de timmar den körs, för att kraftvärmen fortsättningsvis ska vara lönsam.

⁴³ Energimyndigheten, *Årlig energibalans*, Årlig energibalans (energimyndigheten.se) (hämtad 22-12-2016)

⁴⁴ Bortsett från att det kan finnas en viss flexibilitet och möjlighet till överdimensionering.

⁴⁵ Energimyndigheten 2023, *Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi Delrapportering till uppdrag Förslag till en strategi för en långsiktig hållbar utveckling av fjärr- och kraftvärmesektorn samt rapportering av deluppdraget 5 Kartläggning av potentialen i befintlig och outnyttjad elproduktion i Uppdrag att stärka försörjningstryggheten i energisektorn.*, ER 2023:14.

⁴⁶ Utgående från en elverkningsgrad på 35 procent.

⁴⁷ Organic Rankine Cycle är en liten turbin med elverkningsgrad på 10–20 procent som kan kopplas på ett litet värmeverk. Elen används framförallt till de egna processerna.

⁴⁸ Vilket kommer att utvecklas närmre i Energimyndighetens slutleverans av förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi.

⁴⁹ I modellen Times Nordic, av konsultfirman Profu.

Ifall elpriserna är tillräckligt höga vintertid så behöver det minskade värmeunderlaget inte leda till minskade investeringar i kraftvärme. Resultat från modellkörningar⁵⁰ visar att vinterpriserna är tillräckligt höga för att till och med öka den installerade kraftvärmekapaciteten framåt trots att anläggningarna bedöms köra färre timmar. En ökad elanvändning i norra Sverige⁵¹ kan leda till spillvärme som tränger undan en del kraftvärme. Större delen av den installerade kraftvärmen är emellertid belägen i SE3 och SE4 medan norra Sverige redan har mycket spillvärme att tillgå. Sammantaget är kraftvärmens framtid beroende av hur värmeunderlaget utvecklas, konkurrenssituationen från den ökande spillvärmen samt elpriser och kapacitetsmekanismer.

Det finns en viss potential för effekthöjningar i befintliga anläggningar...

Energimyndigheten har ett pågående uppdrag att ta fram en kraft- och fjärrvärme-strategi där en första delredovisning publicerades under våren 2023.⁵² I delredovisningen framkommer det att det finns en viss effekt på cirka 300–500 MW som skulle kunna tillgängliggöras i existerande kraftvärmeanläggningar under kalla vinterdagar då elpriserna är höga. Den största potentialen att öka elproduktionen från kraftvärmeanläggningar finns enligt de undersökningar som gjorts under vår-sommar-höst.⁵³

... men det måste finnas ekonomiska och tekniska förutsättningar...

Den primära anledningen till att kraftvärmeanläggningar inte körs på full effekt även när elpriserna är höga är kostnaden för att köra i gång en extra spetslastpanna, eftersom elproduktionen är dimensionerad efter värmeunderlaget och värmen prioriteras. Det finns även en del potential i avställda fossila anläggningar men det skulle krävas en hel del i termer av stöd, tillstånd, och ändrade miljöpolicyer för att ta dessa i drift. Den största utmaningen för kraftvärmeanläggningarna är framför allt att kunna producera el under årstider när det finns begränsningar i avsättningen för värmen i fjärrvärmenätet. Trots höga elpriser under exempelvis augusti och september 2022 producerades därför relativt lite el från kraftvärmen. Incitament till ökade kylmöjligheter skulle däremot kunna bidra till en ökad tillgänglig effekt när elpriserna är höga under vår-sommar-höst.

... samt långsiktiga spelregler.

Förutom ökade kylmöjligheter så är långsiktiga spelregler en viktig förutsättning som lyfts fram av branschen i flera olika sammanhang och påverkar investeringar även på kort sikt. De snabba och kraftiga förändringarna av koldioxidskatten som skett genom åren, och som nyligen avskaffades helt, är ett exempel på när förutsättningarna inte är långsiktiga och som gör det svårt för aktörerna att fatta beslut om investeringar som ska löpa under många år framåt. Ett annat exempel är aktörernas önskemål om längre upphandlingstider än ett år i taget för att tillhandahålla mothandelskapacitet.⁵⁴ Även på

⁵⁰ I modellen Times Nordic, av konsultfirman Profu.

⁵¹ Hybrit, H2Green steel med flera.

⁵² Energimyndigheten 2023, *Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi Delrapportering till uppdrag Förslag till en strategi för en långsiktig hållbar utveckling av fjärr- och kraftvärmesektorn samt rapportering av deluppdraget 5 Kartläggning av potentialen i befintlig och outnyttjad elproduktion i Uppdrag att stärka försörjningstryggheten i energisektorn.*, ER 2023:14.

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Ibid.

marknaderna för stödtjänster⁵⁵ efterlyser branschen längre kontrakt som underlättar för företagen att investera långsiktigt i den utrustning och anpassning som behövs.

För en djupare analys av kraftvärmens roll i elsystemet så hänvisas till Energimyndighetens arbete med en kraft- och fjärrvärmestrategi.⁵⁶

2.2.2 Kärnkraft

Det finns idag flera drivkrafter som talar för att kärnkraften fortsatt kommer vara en del av elproduktionsmixen 2050. Kärnkraften har även potential att kunna tillgodose en stor andel av utbyggnadsbehovet till 2050. Utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige innebär däremot en rad utmaningar då kärnkraft är ett kraftslag med långa ledtider och som kräver högre riskhantering, både kopplat till strålsäkerhet i drift och långsiktig hantering av kärnavfallet. Att bygga ny kärnkraft innebär en stor och långsiktig investering för aktörer. Detta innefattar en större ekonomisk risk än för många andra kraftslag på grund av den långa återbetalningstiden. Det föreligger även en del regelmässiga hinder kopplat till utbyggnad av ny kärnkraft särskilt om kärnkraft ska byggas på nya platser och med nya reaktortekniker. Även samhällets acceptans för utbyggnad av kärnkraft är en nyckelfaktor och det krävs ett brett stöd i samhället.

Kärnkraften är en viktig komponent i dagens och framtidens elsystem, ...

Kärnkraft har länge tillsammans med vattenkraften utgjort majoriteten av elproduktionen i Sverige. Vårt elsystem har med åren anpassats efter kärnkraftverken och de utgör idag tillsammans med vattenkraften viktiga systemstabiliserande komponenter för elsystemets funktion. Kärnkraften fungerar framför allt som en baskraft vilket innebär att den producerar el på maximalt installerad effekt under större delen av året, med undantag för när revisioner sker.⁵⁷ Kärnkraften kan i stort sett producera oavsett väderförhållanden⁵⁸ vilket gör den viktig för elsystemets försörjningstrygghet och leveranssäkerhet. Kärnkraften bidrar även med andra förmågor till elsystemet såsom rotationsenergi och reaktiv effekt vilket underlättar att upprätthålla frekvens- och spänningsstabilitet. Det finns således flera drivkrafter ur ett elsystemsperspektiv att genomföra återinvesteringar och bibehålla dagens kärnkraft. En utbyggnad av ny kärnkraft kan också vara en förutsättning för att kunna tillgodose det höga elbehov som en omfattande elektrifiering innebär.

... har en lägre konfliktyta avseende markanvändning...

En fördel med kärnkraft är att den har ett litet markanspråk, sett till själva produktionsanläggningen, jämfört med till exempel vindkraften för samma mängd producerad energi. Drifftidsförlängning av befintlig kärnkraft innebär inte heller att ny mark tas i anspråk då existerande anläggning och plats nyttjas. Om ny kärnkraft skulle byggas på befintliga platser enligt dagens regelverk så skulle det vara i anslutning till eller på samma markyta

⁵⁵ Svenska kraftnäts marknader för upphandling av reserver för att balansera och stabilisera elsystemet.

⁵⁶ Energimyndigheten 2023, *Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi Delrapportering till uppdrag Förslag till en strategi för en långsiktig hållbar utveckling av fjärr- och kraftvärmesektorn samt rapportering av deluppdraget 5 Kartläggning av potentialen i befintlig och outnyttjad elproduktion i Uppdrag att stärka försörjningstryggheten i energisektorn.*, ER 2023:14.

⁵⁷ Vanligtvis sen vår eller sommar.

⁵⁸ Höga temperaturer har vid vissa tillfällen gett för höga temperaturer på kylvattnet vilket i sin tur begränsat produktionen. Händelse i Frankrike under sommaren 2022.

där det tidigare har stått reaktorer och därför inte ta någon ny mark eller platser i anspråk. Det finns även ett brett stöd hos allmänheten för kärnkraft i de kommuner där det idag finns reaktorer. Skulle däremot regelverket förändras och kärnkraftsreaktorer skulle kunna byggas på andra platser än idag förutsätter det att det finns en lokal acceptans för detta. Den lokala acceptansen är viktigt då kärnkraft inte kan byggas utan godkännande från kommunen.⁵⁹ Utöver lokal acceptans finns även andra faktorer som kan påverka förutsättningarna för antalet lämpliga platser för nya kärnkraftsreaktorer. Exempel på detta är säkerhet- och beredskapsfrågor, transport och logistik, anslutning till transmissionsnätet samt möjligheter till avsättning för kylvatten. Det kommer därför krävas en översyn kring dessa aspekter kopplat till val av lämplig plats. Ett scenario med ny kärnkraft på nya platser förutsätter alltså att det finns lämpliga platser för detta, att målkonflikter kan lösas och att det finns en acceptans hos allmänheten.

... och teknikutveckling kan förbättra förutsättningarna för utbyggnad.

Lokaliseringen av nya reaktorer kan bli mer flexibel med SMR-teknik (små modulära reaktorer). Till följd av den mindre storleken och den lägre effekten skulle de kunna lämpa sig att installeras på fler tänkbara platser än storskaliga konventionella reaktorer. Detta skulle kunna medföra lägre krav på tillgång till kylvatten eller tillgänglighet för stora transporter. Beredskapszoner för SMR skulle också kunna vara mindre vilket kan möjliggöra nyttjande av värmeproduktionen då reaktorer kan förläggas närmare användaren. För det här kommer dock lokal acceptans spela en avgörande roll om reaktorer ska placeras i närheten av bebyggelse. SMR-tekniken kan även erbjuda en större flexibilitet vad avser storlek på anläggning över tid, då en anläggningsägare skulle kunna välja att lägga till eller dra bort moduler över tid om elbehovet ökar eller minskar.⁶⁰

Dagens storskaliga reaktorer är inte reglerbara i någon högre grad och för att öka flexibiliteten från befintlig kärnkraft behöver hinder sett till säkerhet och kostnader överkommas. Nya reaktortekniker skulle kunna förändra förutsättningarna för kärnkraften att bidra med flexibilitet i elsystemet. Exempelvis så förväntas flertalet SMR-typer under utveckling förväntas kunna drivas på ett mer flexibelt sätt jämfört med den storskaliga konventionella kärnkraften. Möjligheten som avancerade SMR⁶¹ erbjuder för att bland annat kunna producera process- eller fjärrvärme öppnar även upp för en mängd tänkbara användningsområden förutom elproduktion. Ett flertal SMR-typer förväntas även ha möjligheten att reglera sin uteffekt inom tidsperspektiv från minuter och uppåt.⁶²

Men det måste finnas rätt ekonomiska och marknadsmässiga förutsättningar...

Kärnkraften konkurrerar på elmarknaden på samma villkor som andra kraftslag. Att investera i ny kärnkraft är en stor och långsiktig investering som innefattar en större ekonomisk risk för aktörer som ska investera på grund av den långa återbetalningstiden. Politisk risk och höga kapitalkostnader påverkar finansieringsförutsättningarna för kärnkraft. På grund av de höga beloppen och långa ledtiderna från investering till första avkastning blir kapitalkostnaderna mycket höga. Statliga kreditgarantier har

⁵⁹ För kärnkraft gäller inte den ”ventil” i Miljöbalken 17 kap 6§ i det kommunala vetot där regeringen kan medge tillåtlighet om det från nationell synpunkt är angeläget att en verksamhet kommer till stånd.

⁶⁰ WSP 2022, *Små modulära reaktorer en framtidsprognos för energi och samhälle*.

⁶¹ Avancerade SMR, baserade på innovativa reaktorteknologier (Gen IV). Dessa reaktorer kylv typiskt med andra medel än vatten exempelvis flytande metaller, gaser, eller smält salt.

⁶² WSP 2022, *Små modulära reaktorer en framtidsprognos för energi och samhälle*.

framförts av regeringen som en möjlighet för att minska risken.⁶³ Detta genom att göra kapitalkostnaden för ett kärnkraftsprojekt hanterbar och minska den politiska risken, eftersom staten genom sina kreditgarantier binds upp för en längre tid. Vidare utgör inte kreditgarantin en direkt kostnad för staten. Kreditgarantier innebär att staten går in och direkt bär en del av risken för projektet. I en framtid med kärnkraft och utbyggnad av nya reaktorer så kan man tänka sig att en drivkraft skulle kunna vara att de marknadsmässiga förutsättningarna för kärnkraft förbättras. Detta skulle kunna ske om nya marknader infördes som ger ersättning för exempelvis rotationsenergi och reaktiv effekt för att säkerställa ett försörjningstryggt och robust elsystem. I så fall skulle kärnkraftens lönsamhet kunna förbättras i konkurrens med andra kraftslag.⁶⁴ Det finns även potential till alternativa intäktsströmmar bortom enbart elproduktion för kärnkraft, bland annat från fjärrvärme och kyla samt från olika industriapplikationer som vätgasproduktion.

Historiskt har kärnreaktorer ofta byggts så stora som möjligt för att utnyttja skalfördelarna⁶⁵ fullt ut. Vid en satsning på SMR tappas en del av dessa ekonomiska skalfördelar, men kan minska den ekonomiska risken då investeringskostnaderna vid volymproduktion på sikt kan bli märkbart lägre än för storskaliga konventionella reaktorer. Dock kan man förvänta sig att det ekonomiska risktagandet kommer vara högre för de aktörer som är först ut med att söka tillstånd för ny teknik och installera de första SMR. På sikt kan konstruktions- och tillverkningsmetoder så som modularisering, standardisering, designförenklningar och volymproduktion i fabrik även leda till lägre kostnader. En kortare byggnationstid skulle kunna uppnås vilket innebär en kortare tid till intäktsgenerering. Typgodkännanden och harmonisering av regelverk skulle kunna leda till effektivare tillståndsprocesser och kostnadsbesparingar.

... samt acceptans och politisk vilja för långsiktiga förutsättningar.

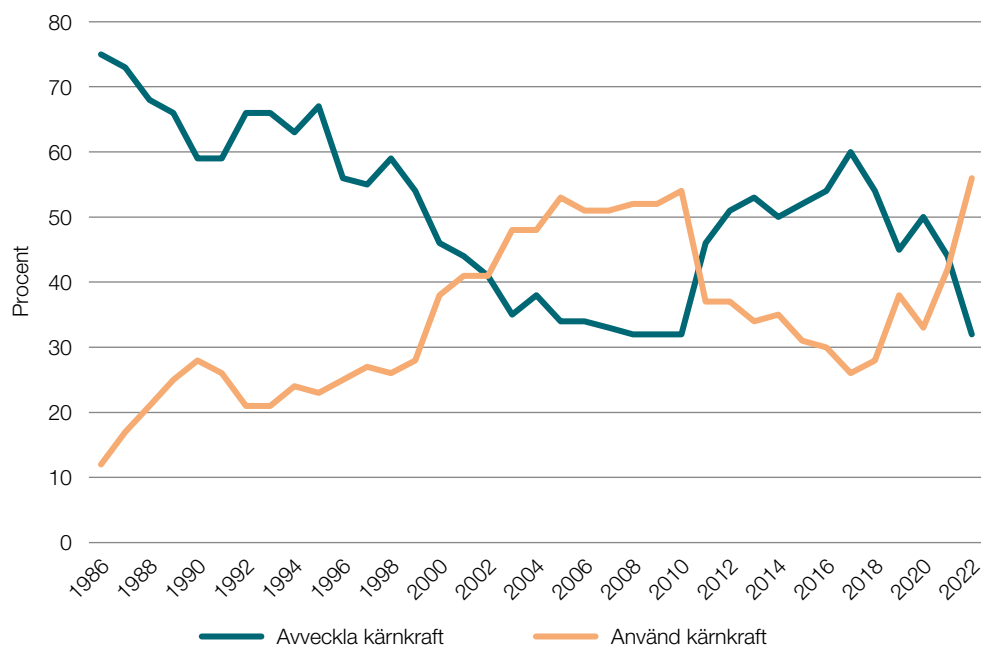
Kärnkraft är ett kraftslag som har varit politiskt känsligt sedan det byggdes ut i Sverige. En olycka kan få förödande konsekvenser samtidigt som det genereras radioaktivt avfall som måste hanteras under en väldigt lång tid framöver, vilket förutsätter att det finns en långsiktig stabilitet i samhället. Kärnkraft innebär också ett beroende av uran som måste brytas vilket är en ändlig resurs och som idag skapar ett beroende av andra länder.⁶⁶ Om man i framtiden kan använda fjärde generationens reaktorer så skulle det redan använda kärnbränslet kunna återanvändas som bränsle. De politiska svängningarna om kärnkraftens vara eller icke-vara har varit många vilket skapar en oförutsägbarhet och ett ökat risktagande för investerare. Även allmänhetens inställning till kärnkraft har svängt över tid vilket bland annat SOM-institutet visar enligt sina undersökningar, se Figur 9.

⁶³ Regeringen med samarbetsparti 2022, *Tidöavtalet: överenskommelse för Sverige*.

⁶⁴ Svenskt Näringsliv 2022, *Startprogram för ny kärnkraft*.

⁶⁵ "Economy of scale".

⁶⁶ Det är idag förbjudet att bryta uran i Sverige.



Figur 9. Inställningen kring kärnkraft, 1986–2022.

Källa: Den nationella SOM-undersökningen 1986–2022.⁶⁷

Anm: *Använd kärnkraft* summerar svaren Använd kärnkraften och ersätt de nuvarande reaktorerna med som mest lika många nya som idag och Använd kärnkraften och bygg fler reaktorer än de nuvarande i framtiden. *Avveckla kärnkraft* summerar svaren Avveckla kärnkraften snarast och Avveckla kärnkraften men utnyttja de kärnkraftsreaktorer som finns tills de tjänat ut.

Som framgår av figuren så har stödet för kärnkraft ökat de senaste åren men samtidigt var stödet ungefär lika högt runt 2010, vilket sedan vände tvärt till följd av Fukushima-olyckan. Ny kärnkraft innebär en stor och långsiktig investering och en viktig förutsättning är att det finns en långsiktighet i den politiska styrningen. Om inriktningen i politiken för eller emot kärnkraft svänger kraftigt mellan mandatperioderna uppfattas det som ett ökat risktagande för investerarna. En bred blocköverskridande överenskommelse kring den långsiktiga energipolitiska inriktningen lyfts av aktörerna som en avgörande faktor för att ny kärnkraft ska byggas i Sverige. Här lyfts även att det energipolitiska målet bör ändras från nuvarande ”100 procent förnybar-” till ”100 procent fossilfri-” elproduktion till 2040, vilken nuvarande regering föreslagit i vårändringsbudgeten för 2023. I en framtid med ett större politiskt och regulatoriskt stöd kan göra att befintliga reaktorer drifttidsförlängs och nya reaktorer byggs om det anses lönsamt.

Flera förutsättningar finns på plats för drifttidsförlängning av befintlig kärnkraft...

Vattenfall bedömer att det finns goda förutsättningar att förlänga drifttiden på alla fem reaktorer i Ringhals och Forsmark från nuvarande 60 år till 80 år. Det kommer dock kräva nya tillstånd och investeringsbeslut som måste fattas innan det står helt klart men de har hitintills inte stött på några hinder som kan omöjliggöra en drifttidsförlängning.⁶⁸ För att ta hand om avfallet från den befintliga kärnkraften så fattade regeringen beslut om att ge tillstånd till ett slutförvar av kärnbränsle i Forsmarks kommun i januari 2022.

⁶⁷ Göteborgs Universitet, Svenska trender 1986–2022, SOM-institutet. Svenska trender 1986–2022 (gu.se), (hämtad 2023-04-27)

⁶⁸ ”Förutsättningar förlänga våra kärnkraftsreaktorer till 80 år” – DN.SE

Systemet för avfallshantering är dimensionerat utifrån det avfall som dagens reaktorer kommer generera under såväl drift som avveckling, detta gäller också för eventuell drifttidsförlängning.⁶⁹ Flera förutsättningar finns alltså på plats för en drifttidsförlängning av befintliga reaktorer.

... men inte för utbyggnad av ny kärnkraft baserad på ny teknik.

Om man ska bygga ny kärnkraft i Sverige idag så finns det vissa regulatoriska förutsättningar som begränsar detta. Den nuvarande regleringen i miljöbalken⁷⁰ sätter begränsningar för utbyggnad av ny kärnkraft både vad gäller lokalisering och antalet reaktorer. Regeringen har lämnat förslag om att ta bort nuvarande begränsningar i miljöbalken gällande lokaliseringen och antal, vilket kan ses som ett första steg.⁷¹ Det föreligger dock ytterligare begränsningar i miljöbalken för lokalisering av nya reaktorer längs vissa kuststräckor.⁷² Dagens regelverk för tillståndsprövning är anpassat för stora konventionella lättvattenreaktorer och inte för nya reaktortekniker som SMR. Ett exempel på det är bland annat avgiftsförordningen som är densamma oavsett reaktorstorlek och typ. Detta kan utgöra ett finansiellt hinder vid de situationer då exempelvis flera SMR ska anläggas vid samma plats. I ett scenario där ny kärnkraft byggs både i form av stora konventionella reaktorer och SMR så är en förutsättning att regelverket förändras som möjliggör detta. Strålsäkerhetsmyndigheten genomför för närvarande en översyn över deras föreskrifters tillämpbarhet för nya reaktortekniker som SMR.⁷³

En förutsättning för ett scenario med ny kärnkraft är att det finns ett system för att ta hand om kärnavfallet. Om nya reaktorer ska byggas i Sverige så behöver det skapas ett nytt system alternativt att det nuvarande systemet för omhändertagande av kärnavfallet dimensioneras om i syfte att tillgodose de utökade behoven av behandling och lagring. Detta innebär att nya processer för ansökan om tillstånd behöver göras. Det behöver även möjliggöras för nya aktörer att ingå i eller upprätta ett nytt system för hantering av kärnavfallet. Om det däremot finns ett starkt politiskt och regulatoriskt stöd för kärnkraft så bör dock processen för detta kunna gå snabbare än processen för det nuvarande systemet för hantering av kärnavfall.

2.2.3 Solkraft

Solkraften är i en expansiv fas och det är inte en fråga ”om” solkraften kommer vara en del av framtidens elproduktion utan ”hur”. Inom EU är solenergi en uttalad lågt hängande frukt i omställningen mot ett fossilt oberoende energisystem och förutsättningarna för kraftslagets utveckling har accelererats i lagstiftning och riktlinjer det senaste året. I Sverige är allmänheten mycket positiv till el från sol medan den nationella målsättningen är outtalad.

⁶⁹ Befintligt slutförvar är dimensionerat för nuvarande reaktorer med eventuell drifttidsförlängning till 80 år enligt SKB. Avfallskritik mot svensk satsning på kärnkraft: ”Man har inte lärt sig så mycket” (nyteknik.se), Hämtad 2023-06-01

⁷⁰ Miljöbalken 17 kap. 6 a §.

⁷¹ Regeringen 2023, Ny kärnkraft i Sverige – ett första steg, Dnr KN2023/01921.

⁷² Miljöbalken 4 kap. 4§ andra stycket.

⁷³ Regeringen 2022, Uppdrag om utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft. regeringen.se (hämtad 2022-05-16)

Utbyggnaden av solkraft har ökat kraftigt och kommer sannolikt att fortsätta öka...

Tillväxten i form av installerad solkraftproduktion och investeringar i solkraft har ökat kraftigt under de senaste åren. Den höga investeringstakten i Sverige förklaras främst av sjunkande kostnader för solceller, styrmedelsförändringar, samt ett ökat intresse av att vilja producera miljövänlig el som samtidigt är ekonomisk lönsam. Detta gäller både för stora kommersiella anläggningar, som för små nätanslutna anläggningar på villatak. Utbyggnaden av solkraft har hittills skett relativt snabbt (jämfört med andra förnybara kraftslag) på grund av korta ledtider kring tillstånd och utrustning, vilket har bidragit till den höga tillväxttakten. Enligt Energimyndighetens kortsiktsprognos⁷⁴ antas solkraftproduktionen vara cirka 5 TWh år 2025. Denna prognos kan däremot vara i underkant. Mycket pekar på att den utveckling som skett de senaste åren kan fortsätta de närmaste åren. De tre senaste åren har marknaden vuxit med ungefär 50 procent om året.⁷⁵ Om den takten skulle hålla i sig landar årsproduktionen i stället runt 7 TWh till 2025. Hur länge den exponentiella tillväxten kan fortsätta är svårt att bedöma men det finns potential till bibehållen utvecklingstakt och utrymme för ytterligare ökning. Det finns med andra ord mycket som pekar mot att större mängder solkraft kan finnas i det svenska elsystemet redan till 2030.

... till följd av flera drivkrafter som accelererar utvecklingen.

Låga investeringskostnader, korta ledtider, möjligt att bygga ut på ytor med lågt alternativvärde, starkt folkligt stöd samt ett intresse av att främja lokal och småskalig elproduktion fortsätter att vara drivkrafter som sporrar utvecklingen. Utbyggnaden av solkraft är marknadsstyrd vilket innebär att solcellsanläggningar kan anläggas när och där de är ekonomiskt lönsamma. Möjligheten att sänka sin elräkning och sin exponering för prisvolatilitet genom egen elförsörjning från solceller är en drivkraft. Detta förstärktes under 2022 med anledning av höga elpriser i kombination med kriget i Ukraina. Tillsammans med det faktum att solkraften är tillgänglig för många olika typer av investerare, från mikroproducent till solparksprojektör, samt att investeringar generellt kan realiseras snabbt ökar intresset ytterligare. Spännvidden från småskaliga till storskaliga solkraftanläggningar, och alternativ till egenanvändning genom olika typer av kollektiv användning (såsom lokala energigemenskaper) möjliggör en fortsatt stadig utvecklingstakt. Om något skulle få utbyggnaden av solkraften att stanna av är det troligtvis med anledning av avsaknad av kompetens inom installationsbranschen, materialbrist och i vissa fall begränsningar att ansluta till det lokala nätet.

Solkraften är en lågt hängande frukt på kort och lång sikt...

Inom EU pekas solenergi ut som betydande för utfasningen av EU:s beroende av rysk naturgas. Solkraft och solvärme är därför viktiga delar i EU:s REPowerEU-paket. Det som särskilt lyfts fram är solkraftens förmåga att tillgodose en större del av elbehovet på kort sikt eftersom det är en av de tekniker som går snabbast och är billigast att bygga. En annan aspekt som lyfts är även att etableringen kan ske nära efterfrågan, till exempel när solkraft monteras utanpå eller integreras med en byggnads fasad eller tak. Därför

⁷⁴ Energimyndigheten (2023), Kortsiktsprognos vinter 2023, ER 2023:09.

⁷⁵ Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016 -. PxWeb (energimyndigheten.se) (hämtad 2023-05-26).

var en tidig åtgärd⁷⁶ från EU med anledning av kriget i Ukraina, införandet av den så kallade Nödförordningen.⁷⁷ Det tillfälliga regelverket införde en tidsfrist för den typen av solenergiutrustning som placeras på byggnader eller andra konstruktioner. Resultatet blev att handläggningstiden ska uppgå till högst tre månader⁷⁸ för att snabbt underlätta tillståndsförfarande och öka takten i utbyggnaden av förnybar energi i unionen.

...som möjliggör ytterligare fördelar genom utvecklade systemlösningar med energilager och smart styrning.

Energilager så som batterier samt flexibilitet inom elanvändning genom till exempel styrning av utrustning eller smart laddning av batteridrivna elfordon kan bidra till att hantera variationer i solkraftproduktion på ett effektivt sätt. I takt med att lagringslösningar blir billigare och mer effektiva är det mer ekonomiskt intressant att kombinera solkraft med energilagring. Att kombinera solenergi med lagringslösningar möjliggör förflyttning av användningen av den producerade elen i tid och kan på det sättet öka den lokala användningen (försörjningsförmågan). Solceller och solkraft är därmed också intressant ur ett försörjningstrygghetsperspektiv. I kombination med energilagring och flexibilitet kan lokal elproduktion från solceller bidra till lösningar som kopplar till begränsningar i elnätet. Exempelvis nämns det i Svenska kraftnäts omvärldsanalys⁷⁹ som lösningar för redundans i områden där kunder upplever problem med elförsörjningen. En sannolik drivkraft till kombinationen solkraft och energilager är därför möjligheten att bidra till den lokala elförsörjningen på platser där det finns utmaningar med leveranssäkerheten.

Nationellt finns ännu inga utpekade strategiska mål...

I regeringens förslag till vårändringsbudget 2023 presenteras ett nytt energipolitiskt mål som innebär 100 procent fossilfri elproduktion år 2040. Målet utgör en långsiktig inriktning för Sveriges energipolitik. Energimyndigheten har tidigare tagit fram ett förslag till strategi för att öka användningen av sol.⁸⁰ I förslaget lyftes att cirka 5–10 procent av Sveriges totala elanvändning skulle kunna komma från solenergi år 2040 förutsatt att ett antal främjande åtgärder genomförts. Förslaget till strategi har realiserats i vissa delar men inte i sin helhet. Det finns idag inte ett specifikt mål eller en uttalad strategi för hur utbyggnaden av solenergi i Sverige ska främjas eller hur solkraften ska bedömas och bidra till samhället.

⁷⁶ Boverket, EU-förordning påverkar handläggning – PBL kunskapsbanken – Boverket (hämtad 2023-05-26).

⁷⁷ Förordning (EU) 2022/2577 om fastställande av en ram för att påskynda utbyggnaden av förnybar energi.

⁷⁸ Energimyndigheten, Ny förordning för att påskynda utbyggnaden av förnybar energi (energimyndigheten.se) (hämtad 2023-05-26).

⁷⁹ Svenska kraftnät (2022), Lagring av el – omvärldsanalys, Svk 2022/2773.

⁸⁰ Energimyndigheten 2016, Förslag till strategi för ökad användning av sol, ER 2016:16.

...men avsaknad av nationellt produktionsmål är i sig inte ett hinder...

Det finns andra målsättningar som sätter styrning, exempelvis EU:s strategi för solenergi inom REpowerEU som syftar till att nå en produktionskapacitet på 320 GW⁸¹ solenergi senast 2025 och närmare 600 GW till 2030. Ett av initiativen inom strategin är att främja solenergi på tak, vilket om det genomförs i sin helhet förväntas påskynda takbaserade installationer och tillföra el motsvarande 58 TWh fram till 2025. Initiativet har omvandlats till regelverk i EU-kommissionens förslag till omarbetat direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD)⁸² vilket stipulerar att alla nya byggnader bör vara ”förberedda för solenergi”. I direktivet föreslås varje byggnadsrenoveringsplan omfatta en färdplan med nationellt fastställda mål bland annat beträffande utbyggnaden av solenergi i byggnader. Kommande beslut om förslaget förväntas innebära att medlemsstaterna ska säkerställa att alla nya byggnader utformas så att deras potentiella solenergiproduktion optimeras, vilket möjliggör en kostnadseffektiv installation av tekniker för solenergi.

...däremot behövs tydligare styrning och samordning i planering nationellt.

Energimyndigheten har tidigare understrukt behovet av långsiktighet i nuvarande styrmedel för att utbyggnaden av solkraft ska fortsätta att öka. Långsiktighet saknas till exempel för undantag och skattereduktioner inom skattelagstiftningen. Det är även viktigt att det finns en långsiktig plan för justering av styrmedlen vid förändringar i kostnadsbilden. Osäkerheten som skapas vid outtalade målsättningar kan riskera att hämma marknaden. Även Elmarknadsdirektivet⁸³ tar sedan tidigare upp rättsliga och kommersiella hinder. Exempelvis oproportionella avgifter för el som förbrukas internt, skyldighet att mata in egenproducerad el i energisystemet samt administrativa bördor för konsumenter som egenproducerar el och säljer den till systemet måste uppfylla kraven för leverantörer. Hinder för konsumenter att producera el, och att använda, lagra eller sälja egenproducerad el på marknaden behöver röjas, samtidigt som det bör säkerställas att egenproducerande konsumenter i rimlig omfattning bidrar till systemets kostnader.

Bilden kompliceras ytterligare genom att solcellsanläggningar inte är homogena varken vad gäller storlek eller typ av ägarkategori. Förutsättningarna är vitt skilda för de olika kategorierna bland annat avseende regelverk⁸⁴ för mikroproducenter eller solparker. Etablering av större markanläggningar för solkraft har utgjort ett relativt begränsat område men etableringstakten och intresset ökar. Expansionen av kategorin solparker har satt ljus på behovet av överblick och gemensamma nationella metoder i planeringen⁸⁵ för att väga en tryggad energiförsörjning mot till exempel vikten av tryggad livsmedelsförsörjning eller ett stärkt totalförsvar. I nödförordningen och i förslag för skarpare

⁸¹ Vid utgången av 2020 hade EU nått en installerad produktionskapacitet på 136 GW genom solcellsteknik. Målen innebär att installationstakten behöver vara ungefär 45 GW per år.

⁸² Europaparlamentets ändringar antagna den 14 mars 2023 av förslaget till Europaparlamentets och rådets direktiv om byggnaders energiprestanda (omarbetning) (COM(2021)0802 – C9-0469/2021 – 2021/0426(COD)), Antagna texter – Byggnaders energiprestanda (omarbetning) – Tisdagen den 14 mars 2023 (europa.eu)

⁸³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU.

⁸⁴ Exempelvis skatt på el som är differentierad mellan mikroproduktionsanläggningar och större anläggningar.

⁸⁵ Kommittén för teknologisk innovation och etik 2022, *Policyförslag samhällsplanering och solel*, Komm2022/00336/N2018:04. Policyförslag-samhällsplanering-och-solel.pdf (kometinfo.se)

krav inom den europeiska gröna given⁸⁶ skrivs förnybar energi som övervägande allmänintresse att ta hänsyn till vid avvägning i planering. EU-medlemsländerna föreslås även inrätta särskilda nationella accelerationsområden för påskyndat införande av förnybar energi. Det förväntas påverka målsättningar och nationell planering framöver. Utvecklingen av samverkan och nya arbetssätt är därför en förutsättning för nationell planering⁸⁷ vid större etableringar av solkraft. Möjligtvis kommer samlokalisering av solkraft och andra intressen⁸⁸ vara en möjlig mellanväg framöver, men det kräver mer nationell kunskap och kompetens.

Solkraftens variabilitet kan skapa utmaningar...

Elproduktionen från solkraft är kopplad till både kortvariga variationer (till följd av skuggning, moln eller dag/nattcykeln) samt variationer i produktionen över året. Solinstrålningen (direkt och indirekt) i Sverige skiljer sig även relativt mycket mellan olika delar av landet. Generellt har sommarmånaderna juni och juli högre instrålning än vintermånaderna december och januari. En snabb utbyggnad av solcellsanläggningar på olika platser samt deras tidsvarierande elproduktion kan skapa utmaningar inom lokal- och regionnät samt förutsätta fler lösningar för balansering av efterfrågan och produktion inom elsystemet vid varje tidpunkt.

Solkraftens väderberoende variationer behöver hanteras och ställer krav på elnätet. Begränsningar i lokal- och regionnät är idag en vanlig orsak till fördröjning i anslutning av nya anläggningar. I ett tidigare arbete av Energimyndigheten⁸⁹ undersöktes ett scenario där solkraft stod för cirka 14 procent av elproduktionen. I scenariot uppstår stora förändringar i nettolasten från en timme till en annan och dygns- och säsongsvariationerna blir tydliga. Det innebär att det finns större behov för flexibilitet inom elsystemet, samtidigt med att det ökar incitamenten för att tillhandahålla flexibilitet.

... samt skapa möjligheter för nya affärsmodeller och mer lokal användning av el.

Lösningar som energilagring samt flexibel användning av el bidrar till att hantera variationer från solkraftproduktion och kan samtidigt skapa nya möjligheter för små aktörer och lokal användning av el. En större spridning av batteridrivna fordon, stationära batterilager samt smart styrning i hemmet möjliggör att i högre grad flytta elanvändningen till tider med hög elproduktion från solkraft. Elbilar är ofta parkerade längre tid än vad som behövs för laddningen. Med rätt incitament kan det nyttjas för smart laddning i samband med när elproduktionen från solkraft är högst. Det ökar möjligheter för den lokala egenanvändningen av el. V2X⁹⁰ möjliggör även att exempelvis ladda ur från fordons batterier till nätet eller för elanvändningen i byggnader. Möjligheter som kopplar samman olika lokala resurser för elproduktion, lagring eller flexibilitet, så som energigemenskaper, kollektiv egenanvändning eller aggregeringstjänster kan förenkla för små aktörer att utnyttja dessa resurser på det mest effektiva sättet. Alla ovannämnda lösningar har

⁸⁶ Snabbare utbyggnad av förnybar energi (europa.eu)

⁸⁷ Miljösamverkan Sverige, Solcellsanläggningar på mark – Miljösamverkan Sverige (miljosamverkansverige.se), (hämtad 2023-06-01)

⁸⁸ Exempelvis Jordbruk.

⁸⁹ Energimyndigheten (2019), *100 procent förnybar el – Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar*, ER 2019:06.

⁹⁰ Vehicle to everything, Nytt projekt för snabbare integration mellan laddfordon och elnät (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-02)

potential att förbättra förutsättningarna för en större utbyggnad av solkraft samt skapa mervärden för olika aktörer.

2.2.4 Vattenkraft

Vattenkraftens roll i det framtida elsystemet behöver värnas och vidareutvecklas. När befintlig vattenkraft miljöanpassas ska hänsyn tas till vattenkraftens, för elsystemet viktiga, förmågor. Befintlig vattenkraft behöver även vidareutvecklas genom ökad möjlighet till flexibilitet och effekthöjningar.

Vattenkraftens roll är viktig i framtidens elsystem...

Vattenkraftens roll har varit relativt oförändrad sedan slutet av 1900-talet och står idag för majoriteten av Sveriges elproduktion. Vattenkraften är i dag det huvudsakliga kraftslag som bidrar till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom det är en reglerbar elproduktionskälla, med möjlighet att snabbt ändra stora produktionsmängder under både korta och längre tidshorisonter. Den har även andra viktiga förmågor för kraftsystemstabilitet och är viktig ur ett elberedskapsperspektiv och för effekttillräcklighet. Detta behov kan förstärkas ytterligare av en ökad mängd variabel elproduktion och förändrade förbrukningsmönster i elsystemet. Detta gör vattenkraften till en viktig resurs även i framtidens elsystem.

... däremot kan utbyggnad av vattenkraft anses begränsad idag.

Den största potentialen för utbyggnad av vattenkraft i Sverige finns framför allt i vad som benämns som nationalälvar⁹¹ vilka är skyddade enligt miljöbalken. Miljöbalkens skydd är ett tydligt exempel på hur en målkonflikt har hanterats på ett bestående sätt när värdet av att ha fritt strömmande vatten i de skyddade älvarna anses vara högre än andra samhällsvärden. Således kan utbyggnaden av vattenkraft i någon större omfattning anses begränsad. Totalt skyddas 42 vattendrag mot vattenkraftsutbyggnad i miljöbalken.⁹² Dagens regelverk begränsar även till viss del vattenkraftens potential till vidareutveckling av den befintliga vattenkraften genom effektivisering och effekttutbyggnad.

Tillrinningen kan öka till följd av klimatförändringar...

I forskningsprogrammet Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraften⁹³ beskrivs hur ett varmare klimat kommer öka mängden vatten i Sveriges älvar och vattendrag och deras analyser indikerar hur vattenkraftsproduktionen kan förväntas stiga på längre sikt. Förändringen i lokaltillrinning i de tio största vattenkraftsälvarna vid olika uppvärmningsnivåer har använts för att undersöka klimatförändringens inverkan på vattenkraftens produktions- och balanseringsförmåga. Totalt indikerar analyserna att vattenkraftproduktionen förväntas stiga med mellan 2,8–4,5 TWh/år i de undersökta älvsystemen vid olika uppvärmningsnivåer. Vad gäller balanseringsförmågan indikerar analyserna att den inte minskar i ett framtida varmare klimat.⁹⁴

⁹¹ Torne älv, Kalixälven, Pite älv och Vindelälven. Vid Freden i Sarek år 1961 enades Naturvårdsdelegationen och Vattenfall om vilka älvar som kunde byggas ut och vilka som skulle bevaras.

⁹² 4 kap 6 § Miljöbalken.

⁹³ Energiforsk, Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga, Rapport 2023:924.

⁹⁴ Ibid.

... men omprövningen av vattenkraften till moderna miljövillkor kan reducera elproduktionen.

Den 25 juni 2020 beslutade regeringen om en nationell plan för omprövning av vattenkraften.⁹⁵ Det innebär att vattenverksamheter för produktion av vattenkraftsel ska föras med moderna miljövillkor och omprövningarna för detta påbörjades 2022. Omprövningen är pausad under 2023 för att utreda konsekvenserna för elsystemet och eventuella justeringsbehov för att begränsa omprövningens påverkan på elsystemet. När planen beslutades så fastställdes också att största möjliga hänsyn ska tas till riktvärdet på 1,5 TWh i produktionsförluster, vilket utgör ett nationellt planeringsmål för att inte få en betydande negativ påverkan på vattenkraftsproduktion. Trots riktvärdet finns det en risk att omprövningarna kan leda till en stor påverkan på vattenkraftsproduktionen bland annat på grund av åtgärder som följer av Natura 2000-kraven.⁹⁶ Vattenkraftens reglerförmåga kan komma att försämrats och produktionsförluster bli större än riktvärdet om 1,5 TWh, eftersom de EU-rättsliga Natura 2000-kraven behöver beaktas i prövningarna.

Det finns däremot en potential för effekthöjningar och ökad flexibilitet från befintliga kraftverk...

Även om det inte finns en större potential för utbyggnad av ny vattenkraft enligt dagens regelverk så finns det en potential för effekthöjningar av den befintliga vattenkraften. Enligt analys av Sweco 2016⁹⁷ finns det en potential för effektutbyggnad på omkring 3–4 GW i redan utbyggda älvsträckor. Effekthöjningspotentialen baseras på att kraftverken i en älvsträcka anpassats efter ett dimensionerande kraftverk i älvsträckan och sedan samkörs på ett sätt så att alla aggregat kan köras för fullt utan att spilla vatten. Med en högre andel variabel kraft i elsystemet och det ökade behovet av flexibilitet som följer av det gör effekthöjningspotentialen i befintlig vattenkraft mer intressant än tidigare.

... men det måste finnas juridiska förutsättningar och tillräckliga ekonomiska incitament.

Nya effekthöjningsprojekt inom befintlig vattenkraft är däremot kapitaltunga projekt med relativt långa ledtider som inte kan realiseras på kort sikt. Det finns idag flera exempel på projekt som har kommit olika långt i processen.⁹⁸ Effektiviseringar kan ofta genomföras under ett halvår medan större effektutbyggnader kräver betydligt mer tid för byggnation. Det är därför rimligt att anta att endast utbyggnadsprojekt som redan har kommit långt i processen kan realiseras på kort sikt (1–3 år). Det ökade behovet av balansering till följd av mer variabel elproduktion och förändrade förbrukningsmönster kan i sin tur förbättra de ekonomiska incitamenten för att genomföra investeringar i effekthöjande åtgärder. Omprövning för moderna miljövillkor kan ge motverkande effekt genom försämrad lönsamhet och osäkerhet kring framtida förutsättningar för verksamheten.

⁹⁵ Regeringsbeslut M2019/01769/Nm

⁹⁶ Natura 2000 är ett nätverk av skyddade områden inom EU som utses med stöd av fågel- samt art- och habitatdirektivet. Dessa skyddade områden kan innebära särskilda krav på miljöanpassningsåtgärder.

⁹⁷ SWECO Rapport Effektutbyggnad Vattenkraft, 2016.

⁹⁸ Vid Rengård kraftverk i Skellefteälven pågår byggnation av en ny produktionsenhet som planeras att tas i drift i slutet av 2023. Kraftverkets effekt kommer då att öka från 35 till cirka 70 MW. Det planeras även för utbyggnad i andra älvar där arbete har kommit olika långt i processen. Det finns projekt med ansökningar i domstol för olika typer av utbyggnads- och effektiviseringsprojekt för vattenkraftverk bland annat i Umeälven och Indalsälven motsvarande ökad effekt på cirka 100 MW. I Luleälven har fler förstudier inletts för effekthöjning upp till 340 MW och de slutligen genomförs kan de vara realiserade från 2026 och fram till 2032 Vattenfall planerar för ny vattenkraft i Sverige – Vattenfall (Hämtad 2023-06-02).

För att kunna investera i effekthöjande åtgärder behöver det finnas juridiska förutsättningar att genomföra investeringarna. Vilken förändring av vattenkraftsverksamheten som kan tillåtas begränsas av bestämmelserna i 5 kap. 4 § miljöbalken. Där anges att en verksamhet eller åtgärd inte får tillåtas om den försämrar vattenmiljö på ett otillåtet sätt eller äventyrar möjligheten att uppnå miljökvalitetsnormen. Icke-försämringskravet i vattenförvaltningsförordningen⁹⁹ anger att miljökvalitetsnormen ska fastställas så att tillståndet i vattenförekomsten inte försämrar. Vattenförvaltningsförordningen medger undantag från 5 kap. 4 § miljöbalken givet särskilda krav. Där ges möjlighet att tillåta en försämring från hög till god status om verksamheten eller åtgärden är en hållbar mänsklig utvecklingsverksamhet. En förändring från hög till god status har troligtvis mycket begränsad tillämpning för storskalig vattenkraft. Det som kvarstår är den förändring i vattenmiljö som inte medför en otillåten försämring. Med en bättre kunskap och tydlig vägledning om vilken typ av förändring som inte medför en otillåten försämring kan utbyggnad och effekthöjning underlättas. Icke-försämringskravet kan utgöra ett hinder eller begränsa effekthöjande åtgärders möjlighet till ökad vattenanvändning och korttidsreglering vilket reducerar investeringens lönsamhet.

Pumpkraft kan öka i framtiden.

I Sverige har det funnits fem pumpkraftverk, varav två¹⁰⁰ är aktiva idag. Det största av dessa, Juktan (upp till 380 MW, cirka 30 GWh lagringskapacitet), är idag ombyggt till ett vanligt kraftverk men ägaren Vattenfall tittar på möjligheterna att ta pumpkraftverket i drift igen.¹⁰¹ Idag har också tekniken att utnyttja övergivna gruvor utvecklats för att lagra vatten och med hjälp av höjdskillnaden i gruvan producera el. Potentialen för detta skulle kunna vara stor i Sverige då det finns flera övergivna gruvor och det skulle innebära en låg miljöpåverkan på lokala ekosystem.¹⁰² Detta har bland annat Mälarenergi och företaget Mine Storage inlett ett fördjupat förstudiearbete om.¹⁰³

2.2.5 Vindkraft

Det finns ett flertal drivkrafter som talar för att vindkraft kan komma att ha en dominerande ställning i vår framtida elproduktion. Men det finns samtidigt hinder och utmaningar kopplade till en storskalig utbyggnad av vindkraft. För den landbaserade vindkraften är de huvudsakliga positiva drivkrafterna att den ger billig ny elproduktion med relativt korta ledtider. Den har därför stor potential att bidra till att täcka behovet av elproduktion i närtid. De främsta hindren mot vindkraft ligger i de konflikter med andra intressen om markanvändning och i de utmaningar som finns med nationell planering och ett oförutsägbart kommunalt veto. Dessa hinder riskerar att bromsa utbyggnad av landbaserad vindkraft redan på några års sikt. Enligt Energimyndighetens korttidsprognos kommer produktionen från den landbaserade vindkraften öka till 50 TWh 2025.¹⁰⁴ För att tillgodose det höga elbehovet som en omfattande elektrifiering innebär är landbaserad

⁹⁹ Miljöbalken 4 kap. 2 §.

¹⁰⁰ Lettens kraftstation (36 MW) och Kymmens kraftstation (55 MW) i Värmland.

¹⁰¹ Vattenfall planerar för ny vattenkraft i Sverige – Vattenfall (Hämtad 2023-06-02)

¹⁰² Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser.

¹⁰³ Energinyheter.se (2022), Mine Storage och Mälarenergi samarbete kring energilager.

¹⁰⁴ Energimyndigheten (2023), Kortsiktsprognos vinter 2023, ER 2023:09.

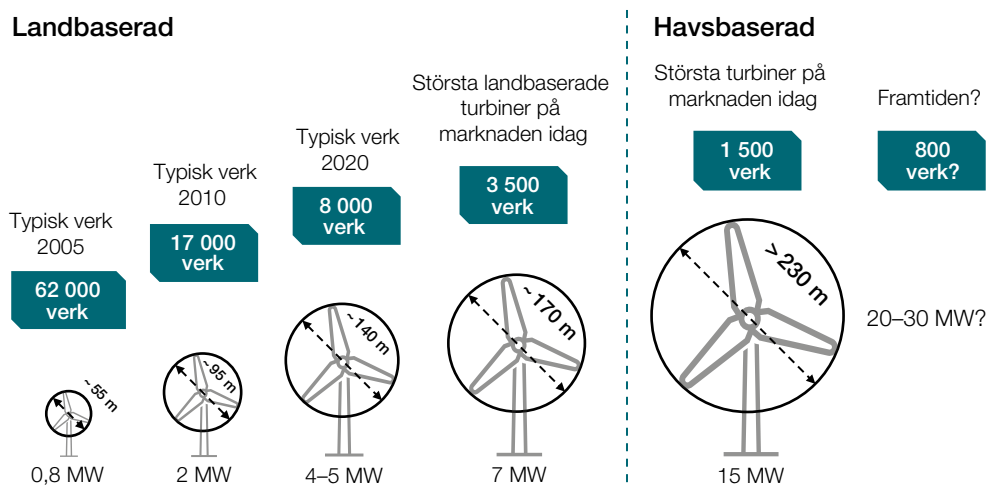
vindkraft det mest ”utbyggnadsredo” alternativet för ny elproduktion¹⁰⁵ som finns tillgängligt (tillsammans med solkraft).

Kostnaderna har sjunkit och teknikutvecklingen har gått fort...

Landbaserad vindkraft är det kraftslag som de senaste åren har stått för huvuddelen av den tillkommande elproduktionen i det svenska elsystemet och det kraftslag som byggs till lägst LCOE¹⁰⁶ i Sverige.¹⁰⁷ Vindkraft både på land och till havs fortsätter att bli billigare och teknikutvecklingen har varit snabb. Den tekniska utvecklingen går i takt med den globala marknadstillväxten och innebär att kostnaderna har sänkts kraftigt sedan utbyggnaden började ta fart. På kort sikt kommer sannolikt kostnaderna att öka till följd av stigande räntor, energi- och råvarupriser. Teknisk och industriell utveckling kommer på längre sikt göra att kostnaderna fortsätter att sjunka framför allt för havsbaserad vindkraft. Samtidigt finns det en risk att resursbrist avseende kritiska råvaror och kompetenser kan bli kostnadsdrivande.

Mer produktion behöver nödvändigtvis inte betyda fler vindkraftverk...

Den snabba teknikutvecklingen inom vindkraften har gått mot allt större turbiner vilket betyder att en expansion av vindkraften inte nödvändigtvis innebär fler vindkraftverk. Räkneexemplet i Figur 10 visar att teknikutvecklingen medför att det i framtiden kommer krävas färre vindkraftverk jämfört med dagens teknik för att producera samma mängd el. Med utgångspunkt i en förväntad livslängd på 25 år för ett vindkraftverk kommer all befintlig vindkraft installerad före 2025 behöva ersättas fram till 2050. Det ger stora möjligheter till att ersätta äldre verk med färre, större och effektivare verk.



Figur 10. Räkneexempel över hur många vindkraftverk som krävs för att producera 100 TWh med olika turbintekniker.

Anm: I slutet av 2022 fanns det 5 164 vindkraftverk i drift i Sverige.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Se exempelvis Industrijättarna i norr vill helst ha mer vindkraft – ”den är billigast” | SVT Nyheter och Ny enkätstudie: industrier vill se snabbt utbyggd vindkraft – Svensk Vindenergi (hämtad 2022-12-06)

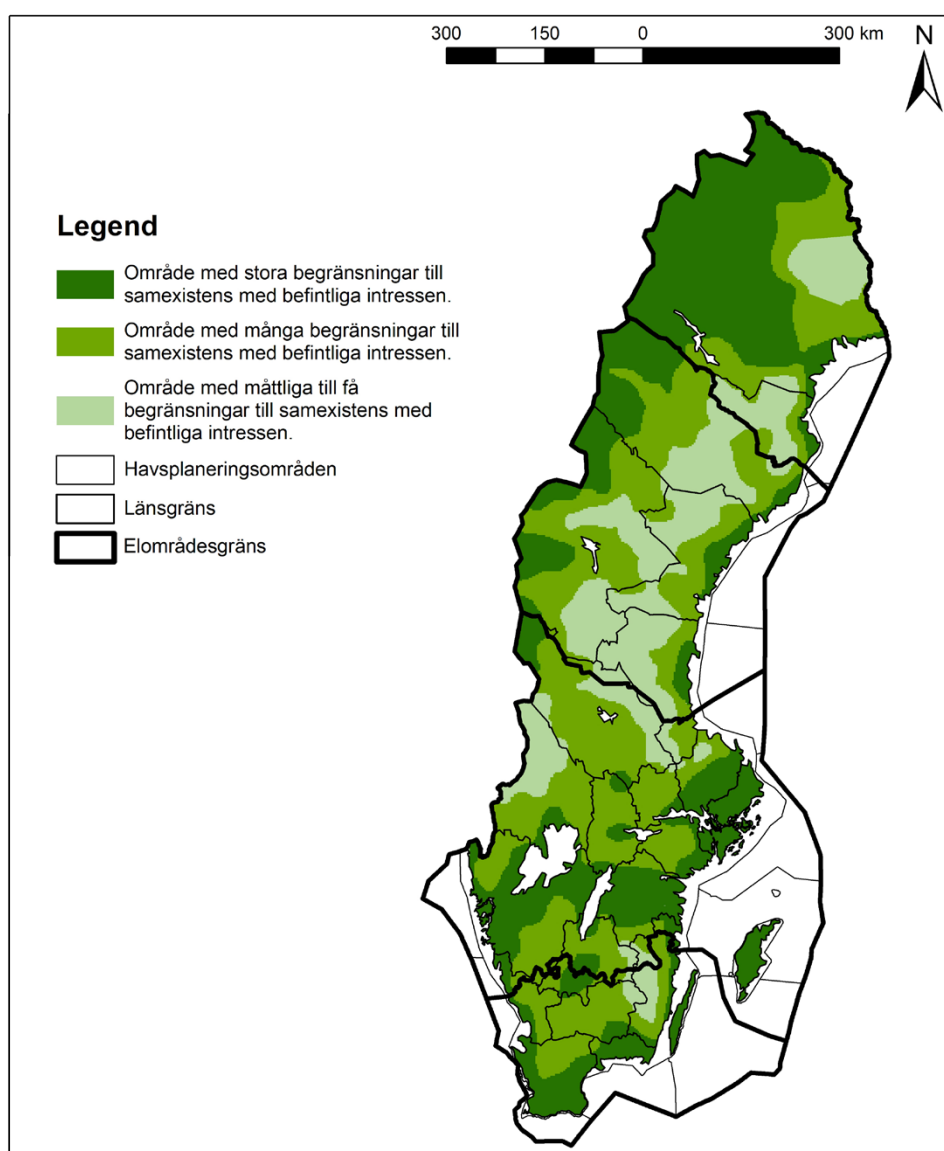
¹⁰⁶ Levelized cost of electricity, LCOE, är ett sätt att generera transparenta jämförbara produktionskostnader per kilowattimme (kWh) för olika kraftslag eller kraftverk. Bilagor till rapporten (energiforsk.se) (hämtad 2022-12-06)

¹⁰⁷ Energiforsk, *El från nya anläggningar*, Rapport 2021:714.

¹⁰⁸ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik Antal verk, installerad effekt och elproduktion, hela landet, 1982-. PxWeb (energimyndigheten.se) (hämtad 2023-04-25).

...men målkonflikter kring markanvändning påverkar utbyggnaden av landbaserad vindkraft.

Elproduktion med vindkraft tar mark- och havsområden i anspråk. Den faktiska ytan varje vindkraftverk tar i anspråk är begränsad, men har en påverkan på större ytor än det faktiska markanspråket. Hur stor påverkan blir beror på vilket annat intresse som påverkas, hur landskapet ser ut samt vilken annan markanvändning som bedrivs. Även om Sverige till ytan är ett stort land, är det få platser som inte berörs av markanspråk från olika intressen. Detta rör sig till exempel om skyddad natur och kulturmiljö, bebyggelse och infrastruktur, andra verksamheter, samt försvarets intressen. Dessa markanspråk behöver inte nödvändigtvis betyda att det uppstår målkonflikter med vindkraftsetablering men ger en bild av komplexiteten kring samexistens mellan vindkraft och andra intressen. I Figur 11 ges en generaliserad kartbild av begränsningar i samexistens mellan vindkraft och andra nationella intressen.



Figur 11. Karta över möjligheter och begränsningar till samexistens med andra nationella intressen.

Klassificeringen av möjlighet till samexistens följer klassificeringen från den nationella vindkraftsstrategin.¹⁰⁹ Kartan ska läsas som om att den visar en sammanvägning av existerande intressen och svarar inte på möjligheten att arbeta med att lösa enskilda intressekonflikter. Av kartan framgår det var geografiskt de största potentialerna finns att hitta lämpliga markområden utifrån konkurrensen med andra markanspråk finns. Den visar även på inom vilka geografiska områden det kommer behövas särskilt stora ansträngningar för att möjliggöra samexistens och en utbyggnad av vindkraft. Det blir särskilt tydligt för norra Sverige och elområde 1 där frågan om målkonflikter avseende markanvändning och det största tillkommande elbehovet behöver adresseras.

Stark opinion för förnybart behöver inte innebära lokal acceptans...

I ljuset av att det ofta finns konkurrerande intressen på en specifik plats är det viktigt med kunskap om vad som skapar förankring hos befolkningen när det gäller energiomställningen. SOM-institutet vid Göteborgs universitet mäter sedan många år tillbaka energi-opinionen i Sverige, och den fortsätter att visa ett mycket starkt stöd för de förnybara energislagen.¹¹⁰ Ändå är det snarare regel än undantag att ny vindkraft skapar debatt i det område som ansökan gäller. Även den som står bakom en energiomställning kan vara motståndare till att den byggs just i deras hembygd. Det är naturligt eftersom förändringar i den närmiljö man känner väcker känslor och det är människors närmiljö som ofta står i fokus för diskussionen lokalt. Det blir en fråga om hur landskapet ska se ut och användas. Kanske nyttjas den redan till något annat, exempelvis jakt, rekreation eller turism och det finns en oro för att vindkraften ska störa.

... och planering och delaktighet är avgörande.

Det är svårt att hitta områden helt utan konflikter för en storskalig utbyggnad av vindkraft, men det är tydligt att den geografiska placeringen av vindkraft har stor betydelse för hur konfliktgraden med andra intressen och lokalbefolkningen upplevs. Det har tidigare framkommit att information och möjlighet att påverka planeringen är viktiga för acceptansen av ny vindkraft.¹¹¹ Upplevelse av en lokal nytta, exempelvis i form av nya jobb och näringslivsutveckling, gör att acceptansen ökar. På samma sätt minskar acceptansen om människor upplever att de får bära nackdelarna lokalt, men att nyttan med vindkraften åtnjuts någon annanstans.¹¹² Även den kommunala planeringen är en viktig del i den lokala demokratiska förankringen. I den statliga utredningen *Värdet av vinden* presenteras förslag som syftar till att skapa bättre incitament för lokal planering som inkluderar vindkraft.¹¹³ Även den kommunala planeringen är en viktig del i den lokala demokratiska förankringen. Utifrån kunskapen som forskningen ger om vad som har betydelse för lokal acceptans för vindkraft är en väl fungerande kommunal planering, där region och länsstyrelser är aktiva och bidrar med stöd, av största betydelse för möjligheterna att bygga ut vindkraften.¹¹⁴

¹⁰⁹ Nationell strategi för en hållbar vindkraft, ER 2021:02.

¹¹⁰ Göteborgs Universitet, Svenska trender 1986–2022, SOM-institutet. Svenska trender 1986–2022 (gu.se), (hämtad 2023-04-27)

¹¹¹ Se bl a Naturvårdsverkets rapport 6497 från Vindval om vindkraftens påverkan på människors intressen.

¹¹² Energimyndigheten (2019), *100 procent förnybar el – Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar*, ER 2019:06.

¹¹³ Värdet av vinden, SOU 2023:18.

¹¹⁴ Se Johanna Liljenfeldt "Where the Wind Blows – The socio-political geography of wind power development in Finland, Norway and Sweden", Umeå universitet, 2017.

Potentialen i havet har uppmärksammats...

Intresset för havsbaserad vindkraft är mycket stort. Drivande faktorer är bland annat insikten om en framtida kraftig ökning av elbehovet samt ett tydligare motstånd mot nya vindkraftsetableringar på land. Tack vare satsning på havsbaserad vindkraft i andra länder har teknikutvecklingen gått framåt och kostnaderna för etablering börjat sjunka. Möjligheterna att bygga på djupare vatten med fasta fundament och flytande vindkraft är exempel på denna utveckling. De första kommersiella parkerna med flytande vindkraftverk börjar nu tas i drift.¹¹⁵ Jämfört med landbaserad vindkraft har turbinerna ungefär dubbelt så mycket installerad effekt, se Figur 11, och en bättre vindtillgång till havs möjliggör fler fullasttimmar. Det gör att havsbaserad vindkraft inte kräver lika många vindkraftverk för att ge en viss elproduktion.

... där även produktionen av vätgas kan vara en drivkraft...

En stor andel av den kraftigt ökade elanvändningen beror som tidigare nämnts på vätgasproduktion via elektrolys. Det finns exempel på havsvindprojekt som tittar på integration med vätgasproduktion på olika sätt, produkten av en vindkraftpark blir på så sätt vätgas i stället för el. De mest aktuella projekten är förmodligen de energiöar som Danmark var först ut med att ta initiativ till.¹¹⁶ Vad som blir den mest konkurrenskraftiga lösningen för den havsbaserade vindkraften beror på kostnader för att transportera och överföra el jämfört med vätgas (eller andra mer förädlade produkter). Begränsningar i elsystemet kan vara en drivkraft för en utveckling mot mer produktion av vätgas.

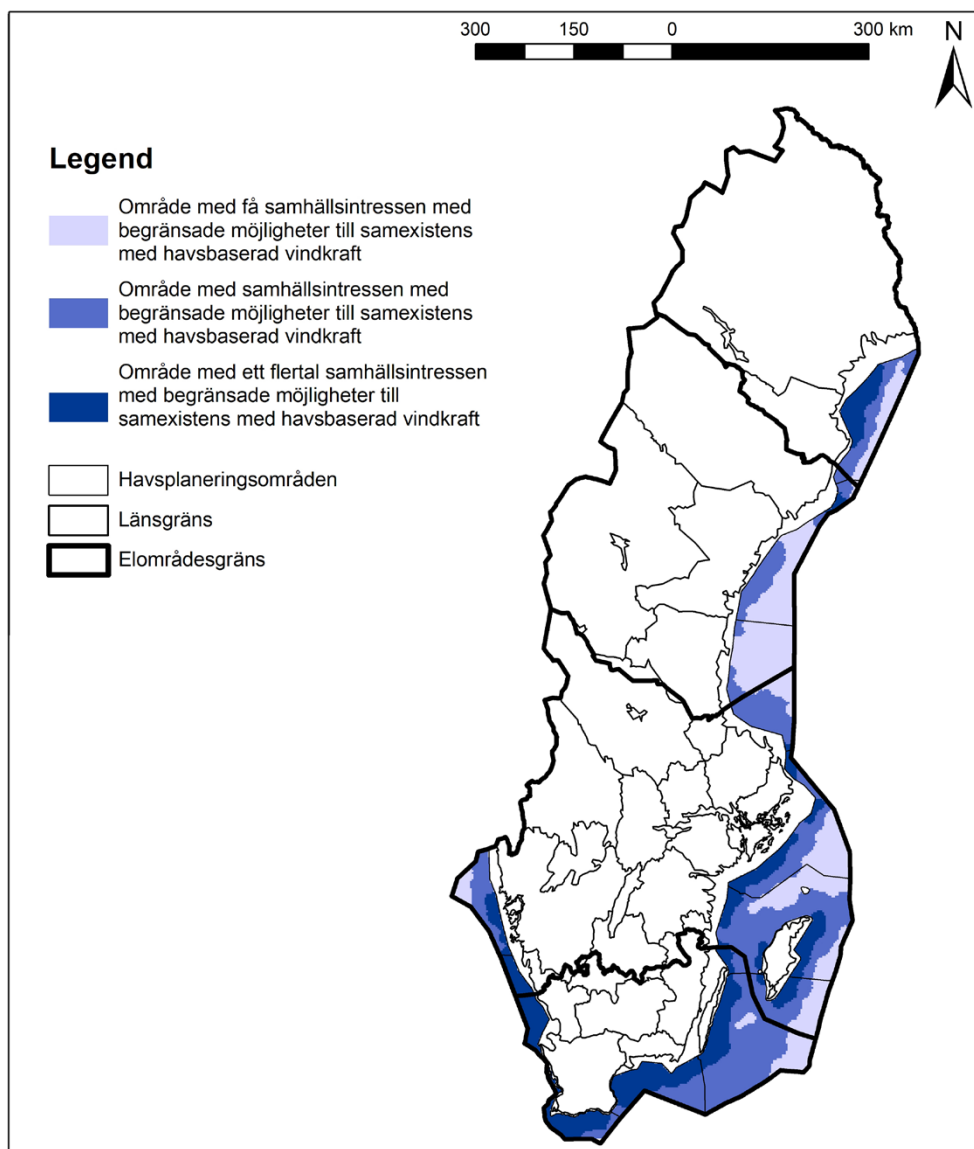
... men målkonflikter existerar även ute i havet.

Precis som på land har vindkraften många andra intressen att samsas med i havet. Natur- och kulturmiljövärden, fiske, sjöfart, försvar och rekreation är exempel på samhällsintressen som har stora legitima anspråk där flera även kommer få ökade anspråk. Till exempel ska mängden skyddade naturområden öka enligt EU-direktiv och Försvarsmakten ska öka sin förmåga. Mot denna bakgrund är det inte möjligt att hitta stora helt konfliktfria ytor för ett nytt samhällsintresse som en storskalig utbyggnad av havsbaserad vindkraft. Det framgår av redovisningen av regeringsuppdraget om att ta fram ett underlag över lämpliga områden för energiutvinning till havs.¹¹⁷ I Figur 12 ges en generaliserad bild av hur befintliga samhällsintressen fördelar sig i havet vilket ger en indikation på potentiell konkurrens om ytan med vindkraftsetableringar till havs. De flesta områden med störst potential för havsbaserad vindkraft sammanfaller med områden där det finns hög koncentration av andra intressen med begränsade möjligheter till samexistens med havsbaserad vindkraft.

¹¹⁵ Till exempel projektet ”Hywind Tampen” (Equinor), First power from Hywind Tampen – Equinor (hämtad 23-05-24)

¹¹⁶ Energy Islands | Energistyrelsen (ens.dk) (Hämtad 2023-06-02)

¹¹⁷ Energimyndigheten 2023, Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna, ER2023:12.



Figur 12. Karta över möjligheter och begränsningar till samexistens mellan havsbaserad vindkraft och andra samhällsintressen. Kartan visar en sammanlagd bedömning utifrån överlapp av intressen med begränsade möjligheter till samexistens med havsbaserad vindkraft.¹¹⁸

Samexistenslösningar kan öppna nya möjligheter...

Det finns möjligheter för vindkraften och andra intressen att anpassas till varandras förutsättningar. På så sätt kan man i olika utsträckning möjliggöra för olika intressen att vara samlokaliserade inom samma område. Detta kan gälla såväl fiske som naturskydd eller försvarsintressen. Att fortsätta utveckla kunskapsunderlag, tekniska lösningar och metoder för samexistens kan möjliggöra för etablering av mer vindkraft och samtidigt minska påverkan på andra samhällsintressen.

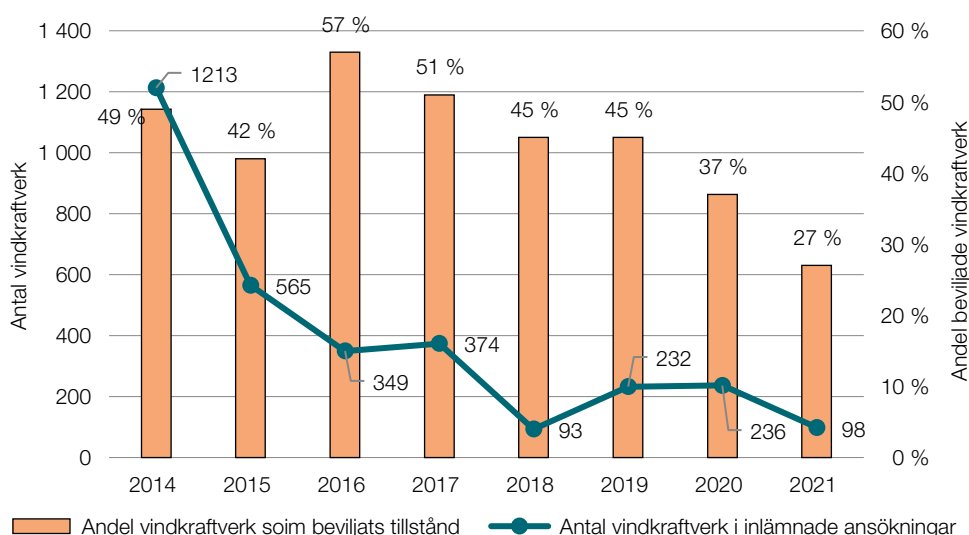
¹¹⁸ Indelningen är baserad på dialoger i med uppdragsmyndigheterna i samband med uppdraget om "Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna" (ER2023:12).

... men avvägningar mellan olika intressen kommer också krävas.

Det är också viktigt att klargöra att det inte kommer vara möjligt att uppnå samexistens på alla platser och att en storskalig utbyggnad av vindkraft helt utan påverkan på andra intressen inte går att åstadkomma. Det kommer därmed bli nödvändigt att göra avvägningar mellan olika samhällsintressen. En förutsättning för elektrifiering och den samhällsutveckling som efterfrågas är att energiintresset i vissa fall kan behöva prioriteras över andra intressen och att andra intressen behöver anpassa sig till nya förutsättningar med vindkraft.

Antalet tillståndsansökningar har minskat, antalet avslag har ökat ...

En viktig faktor som påverkar förutsättningarna för utbyggnad av vindkraft är tillståndsprocessen. Utöver tillståndsprocesser för all utbyggnad av vindkraft i framtiden så finns även behov av förnyade tillstånd (anpassad till teknikutvecklingen) för generationsväxling på i princip all vindkraft som finns idag, eller när detta inte är möjligt nya tillstånd på nya platser. Dagens höga utbyggnadstakt är resultatet av tillstånd beviljade för runt 5–10 år sedan. Andelen vindkraftverk som beviljats tillstånd i första instans har minskat kraftigt sedan 2014. Även antalet nya ansökningar för landbaserade vindkraftverk har minskat vilket Figur 13 visar.¹¹⁹



Figur 13. Antal vindkraftverk i inlämnade tillstånd och andel vindkraftverk som beviljats tillstånd 2014–2021.

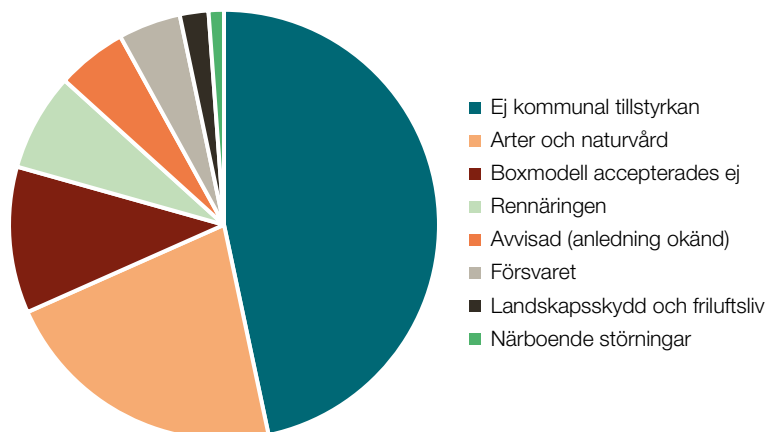
För 2021–2022 kan detta delvis vara påverkat av tillfällig politisk risk kopplat till valet och i avvaktan på utredningen om incitament för ny vindkraft.¹²⁰ Men tillståndsstatistiken visar på att denna negativa trend har pågått under en längre tid. Kombinationen av osäkerheter och hinder kopplade till tillståndsprocesser innebär att utbyggnaden av den landbaserade vindkraften sannolikt kommer bromsa in kraftigt på 5–10 års sikt.

¹¹⁹ Energimyndigheten (2022), Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30, ER 2022:16.

¹²⁰ Svenskt näringsliv (2023), Startprogram för mer vindkraft, mars 2023.

... och brist på kommunal tillstyrkan är vanligaste skälet för avslag.

Under första halvåret 2021 stod avsaknad av kommunal tillstyrkan för 77 procent av alla avslagsanledningar vilket är en kraftig uppgång från tidigare år. De projekt som togs i drift under 2021 startade sina tillståndprocesser mellan 2008–2016. Den höga nivån för avsaknad av kommunal tillstyrkan kommer därmed ge utslag på utbyggnadstakten under slutet av 2020-talet och början av 2030-talet.



Figur 14. Avslagsanledning fördelat per vindkraftverk under perioden 2014 – juni 2021.
Källa: Energimyndigheten (2022).

I miljöprövningen stoppades 49 procent av vindkraftverken 2014–2022 på grund av motstående intressen såsom artskydd och renskötsel.¹²¹ Många ansökningar dras också tillbaka efter samråd varför denna sammanställning inte ger hela bakgrundsbilden till de olika orsaker som ligger bakom att vindkraftsprojekt inte förverkligas. Exempelvis är det många projekt som efter ett negativt yttrande från Försvarmakten i samrådsprocessen väljer att inte gå vidare med ansökan.

Inom art- och naturskydd identifieras en diskrepans mellan hur länsstyrelsernas miljöprövningsdelegationer och Mark- och Miljödomstolarna bedömer vindkraftens påverkan. En förvånansvärt stor andel av de projekt som passerar länsstyrelsernas miljöprövningsdelegation stoppas senare i Mark- och miljödomstolen.¹²²

Generationsväxling ger resurseffektiv användning av redan påverkad mark. Generationsväxling till modernare teknik kan öka mängden elproduktion på platser där det redan finns vindkraft och samtidigt minska antalet verk. Bristen på kommunal tillstyrkan samt motstående intressen är stora osäkerheter för möjligheten att utföra generationsväxling av vindkraftverk när dess ekonomiska eller tekniska livslängd nåtts. Behovet av klarhet för generationsväxling är stort i framför allt elområde 3 och 4, där stora delar av den installerade vindkraften kommer behöva generationsväxlas under 2030-talet. Goda förutsättningar för en smidig generationsväxling bedöms vara en förutsättning för att kunna nå utbyggnadsmålen.¹²³

¹²¹ Svenskt näringsliv (2023), Startprogram för mer vindkraft, mars 2023.

¹²² Energimyndigheten (2022), Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30, ER 2022:16.

¹²³ Ibid.

Långa ledtider en utmaning för omställningen

En annan viktig fråga kopplat till tillståndsprocessen är långa ledtider, både för själva prövningsprocessen och för planeringsprocessen från det att ett vindkraftsprojekt initieras till att parken står i drift. Långa ledtider gäller även för etablering av elnät. Själva byggnationen av en vindkraftspark tar bara cirka 2–3 år. Däremot uppskattas hela ledtiden från utredning till byggfas till uppåt 12 år för landbaserad vindkraft och längre för havsbaserad vindkraft vilket framkom i kapitel 1. De långa ledtiderna i tillståndsprocessen i kombination med snabb teknisk utveckling medför också att det är viktigt att tillstånden är utformade så att de ger utrymme för bästa möjliga teknik för en resurs-effektiv vindkraftsutbyggnad. Snäva begränsningar av höjd och positionering av vindkraftverken i tillståndsbeslutet innebär en stor risk för att de mest effektiva vindkraftverken inte kan användas när tillståndsprövningen är avslutad och det är dags att bygga parken.

Behov av tydligare regelverk för havsbaserad vindkraft

Svenska regelverket kring offshoreverksamhet är outvecklat. Ett flertal olika tillstånd krävs från flera olika myndigheter. Det finns behov av förtydliganden i processen och det finns potential till förbättringar och en enklare process. Den svenska öppen-dörr modellen för etablering har fördelen att det ger stor frihet för marknadens aktörer och det är ett system med hög grad av transparens. Nackdelen är att samordning och övergripande styrning är begränsad och det är inte säkert att de övergripande målen för samhällsutvecklingen nås. En tydligare politisk styrning och avvägning mot andra intressen bedöms avgörande för att få till stånd en storskalig utbyggnad av havsbaserad vindkraft. Regeringen tillsatte i maj 2023 en utredning som ska titta på hur processerna för tillståndsansökningar för etablering av havsbaserad vindkraft kan effektiviseras.¹²⁴

2.3 Vägen fram till 2050 – Sammanfattning av möjligheter och olika utvecklingsvägar

Det här arbetet fokuserar på utvecklingsvägar samt förutsättningar som måste skapas för att realisera en storskalig utbyggnad av elproduktion. Som beskrevs i kapitel 1 så förväntas det innebära en stor och snabb ökning av elbehovet, redan på kort sikt. Fram till 2030 så uppskattas elbehovet kunna vara högre än vad befintlig och känd tillkommande elproduktion antas leverera på årsbasis. Till 2035 antas elbehovet kunna öka med mer än 100 TWh mot idag. Det betyder att en snabb och storskalig utbyggnad av elproduktionen behövs för att inte begränsa möjligheterna för elektrifiering, nyetableringar och omställningen av olika sektorer i Sverige. All typ av fossilfri kraftproduktion behöver därmed öka i den mån det är möjligt för ett hållbart fungerande elsystem.

Möjligheter för snabb ökning i kraftproduktion måste utnyttjas på kort sikt...

Inom de närmaste 5–10 åren så har – baserad på förutsättningar och drivkrafter som beskrivs ovan – landbaserad vindkraft, solkraft samt havsbaserad vindkraft goda förutsättningar för att bidra med en stor del av den nödvändiga tillkommande kraftproduktionen. Viktigt för att främja utbyggnaden av dessa produktionstekniker är ett fortsatt arbete med minskning av ledtider för tillståndsprocesser, en ökad lokal förankring,

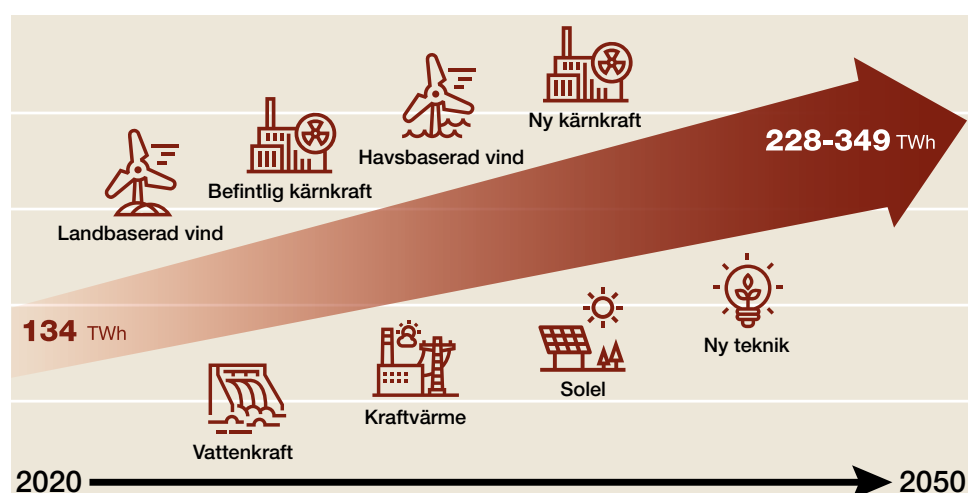
¹²⁴ Regeringskansliet. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02)

incitament för nybyggnadsprojekt samt en ökad samexistens med motstående intressen. Även effekthöjningar i både vattenkraft, kärnkraft och kraftvärme kan leverera viktig nytillkommande kraftproduktion inom kort tid. En effektiv användning av el samt utnyttjande av flexibilitetsresurser har stor potential att minska den totala mängden ny produktionskapacitet som är nödvändig för att möta den ökande efterfrågan och är därmed viktiga för ett resurs- och kostnadseffektivt system. Speciellt där nätutbyggnad krävs för att tillgodose den tillkommande efterfrågan på el så utgör flexibilitet och effektivisering viktiga åtgärder som kan realiseras på kort sikt, då utbyggnad av elnät ofta karakteriseras av långa ledtider.

...men på längre sikt kan olika utvecklingsvägar föreställas.

På längre sikt så är det framför allt land- och havsbaserad vindkraft samt kärnkraft som har potential att kunna leverera de stora mängder elproduktion som elektrifieringen förutsätter. Alla dessa kraftslag bedöms kunna vara lönsamma på längre sikt. Hur stor andel av dessa tekniker som kan tänkas inom olika möjliga framtida utvecklingsvägar för elsystemet beror på hur stor del av potentialen som kan realiseras, vilka utmaningar och hinder för utbyggnad som kommer prioriteras att lösas, samt hur reinvestering och utbyggnad av det befintliga elnätet kommer se ut. Flexibilitet och energieffektivisering spelar även lika stor roll på lång sikt som på kort sikt. Kostnader för utbyggnad av havsbaserad vindkraft och kärnkraft är svåra att uppskatta då inga större projekt har genomförts i Sverige i närtid. Vad gäller havsbaserad vindkraft med etablerad teknik finns däremot många exempel från nordvästra Europa över kostnader.

Det är viktigt att redan nu skapa långsiktiga förutsättningar som möjliggör utbyggnaden av kraftproduktion fram mot 2040–2050. Viktiga områden som behöver prioriteras är bland annat tillgång till resurser och kompetens, samt långsiktigheten i planeringen och strategin för Sveriges omställning till ett fossilfritt samhälle. Figur 15 visualiserar hur en ökad användning av el kan mötas på kort och längre sikt av en mix av olika fossilfria produktionstekniker.



Figur 15. Illustration av hur olika kraftslag kan bidra till att tillgodose ett ökat elbehov.

3 Analys av olika utvecklingsvägar för elproduktionen

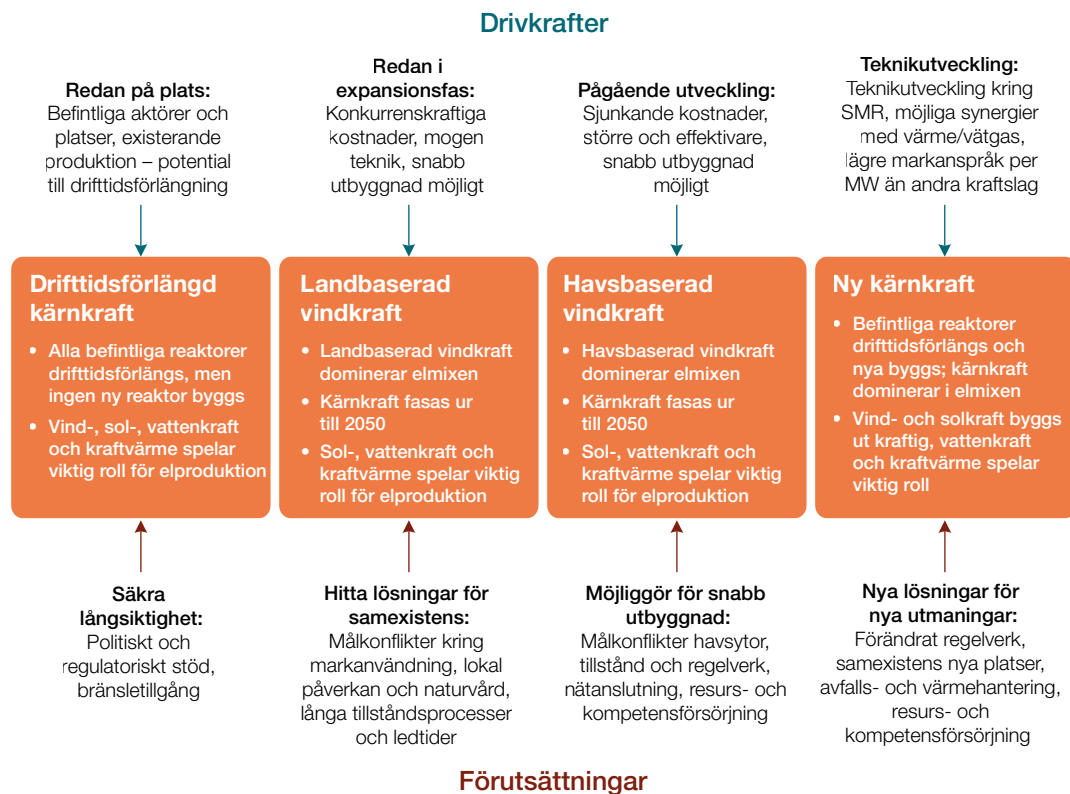
I det här kapitlet analyseras och jämförs fyra olika utvecklingsvägar som tagits fram utifrån de drivkrafter och förutsättningar som beskrivs i kapitel 2. I verkligheten kan många fler utvecklingsvägar tänkas och dessa är beroende av vilka förutsättningar som råder. Det skiljer sig också vilka kraftslag som kan bidra inom vilket tidsperspektiv och i vilken omfattning. Analysen och jämförelsen mellan utvecklingsvägarna har fokuserat på elsystemet, försörjningstrygghet, miljöpåverkan, markanspråk samt resursanvändning och råvaruförsörjning. I slutet av kapitlet tas det upp ytterligare faktorer som kan påverka utvecklingen i el- och energisystemet som inte har studerats djupare i det här arbetet.

3.1 Fyra utvecklingsvägar för elproduktion

I syfte att analysera olika utvecklingsvägar för en utbyggnad av den svenska elproduktionen har fyra scenarier studerats. Dessa har tagits fram med utgångspunkt i de drivkrafter och förutsättningar för ny och befintlig elproduktion som presenteras i kapitel 2. Skillnaderna i utvecklingsvägarna samt övergripande slutsatser analyseras och inget scenario är egentligen mer troligt än något annat.

Syftet med utvecklingsvägarna är inte att svara på frågan ”hur elsystemet kommer se ut 2050” utan ska ses som ett medel för att utforska innebörden och konsekvenser av en utveckling i en viss riktning. Det här arbetet, som nämnt tidigare, utgår från ett scenario för hur elanvändningen kan tänkas utvecklas under förutsättning att det sker en storskalig elektrifiering av samhället. I verkligheten så kommer användning och produktion att utvecklas i växelverkan och inget kommer realiseras utan den andra. För att analysera utvecklingsvägar för elproduktionen har vi utgått från de kraftslag som bedöms ha en stor potential att bidra till en storskalig utbyggnad av elproduktionen på både kort- och lång sikt. Det ska dock poängteras att det finns en stor realistisk potential för flera kraftslag att bidra till en storskalig utbyggnad av elproduktionen. Det innebär att antalet möjliga utvecklingsvägar för elsystemet fram till 2050 är nära nog oändligt.

Den stora skillnaden mellan de fyra utvecklingsvägarna som undersöks i det här arbetet ligger i utbyggnaden av kraftslagen land- och havsbaserad vindkraft samt kärnkraft. Dessa karakteriseras därför av skillnaderna i förutsättningar och drivkrafter för de kraftslag som varierar mellan de olika utvecklingsvägarna, se Figur 16. Solkraft, vattenkraft och kraftvärme spelar alla en viktig roll i samtliga fyra även om de inte skiljer sig märkbart i utbyggnad mellan dem. De potentialbedömningar som ligger till grund för utbyggnad och användning av olika kraftslag finns i Bilagan.



Figur 16. Drivkrafter och förutsättningar för fyra olika utvecklingsvägar för kraftigt ökande svensk elproduktion.

I utvecklingsvägarna *Landbaserad* och *Havsbaserad vindkraft* antas land- respektive havsbaserad vindkraft kunna nyttja större delar av sin potential och bli de i särklass största elproduktionskällorna. Här antas att inga reinvesteringar i den befintliga kärnkraften görs efter 60 års drifttid vilket innebär att kärnkraften fasas ut till 2045.

För *Drifttidsförlängd kärnkraft* antas drifttidsförlängning av samtliga sex svenska reaktorer som är i drift idag. För *Ny kärnkraft* antas även att nya storskaliga reaktorer kan byggas i elområde 3 och 4 och att små modulära reaktorer, SMR, byggs ut i anslutning till de stora industriprojekten i elområde 1 eller på de platser där reaktorer idag är lokaliserade i elområde 3.

Solkraft antas kunna byggas ut redan på kort sikt i samtliga utvecklingsvägar. För både kraftvärme och vattenkraft finns det potential för effektökning i alla. Som nämnt i kapitel 2 är det viktigt för en analys av potentiella utvecklingsvägar att skilja mellan möjliga utvecklingar på kort och lång sikt och att beakta tiden som krävs att genomföra olika projekt (se ledtider i kapitel 1). En mer detaljerad beskrivning av potentialbedömningar för olika kraftslag och scenarier för både kort och lång sikt samt av elmarknadsmodellen som använts finns i Bilagan.

3.2 Ett framtida svenskt elsystem med ökad elproduktion

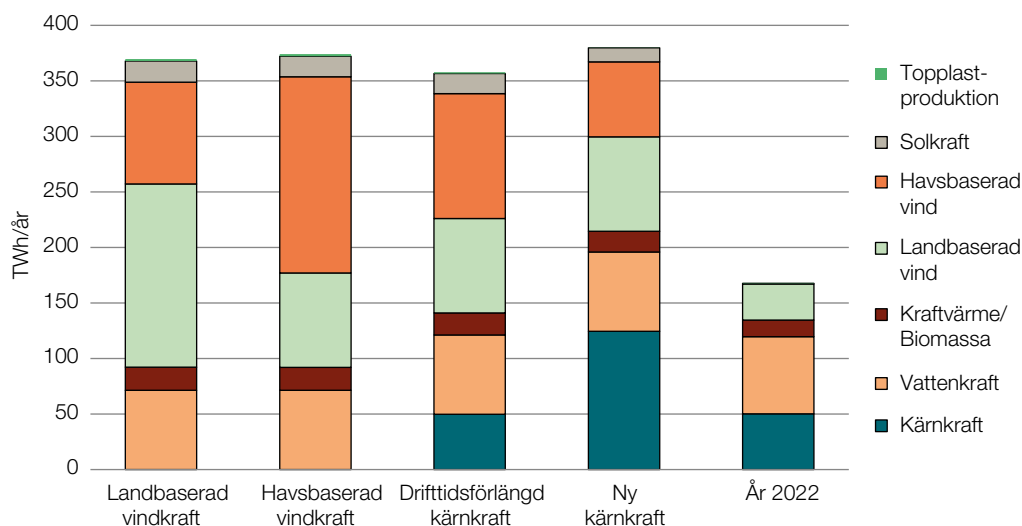
De olika utvecklingsvägarna av elproduktionen har undersökts ur ett systemperspektiv med hjälp av en elsystemoptimeringsmodell. Baserat på potentialerna för möjlig utbyggnad av de olika kraftslagen inom de fyra utvecklingsvägarna har elsystemets sammansättning modellerats samt elproduktionen som möter efterfrågan på el varje timme år 2050.

I modellen representeras de fyra svenska elområdena (SE1 till SE4), samt regioner i andra nordiska länder och länderna i resten av Europa. Modelleringen tar hänsyn till både rörliga kostnader för elproduktion och kostnader för investering i ny produktionskapacitet, samt olika tekniska begränsningar. Resultaten som presenteras är därför kopplade till bland annat antaganden kring framtida kostnader, vilka är behäftade med stora osäkerheter. Utöver detta finns det, som tidigare beskrivits, flera andra hinder för realiseringen av enskilda projekt, som exempelvis tillståndprocesser och politiska drivkrafter, som i modellen enbart kan representeras av mer eller mindre potential.

Modelleringen ger en bättre förståelse av den geografiska fördelningen av elproduktion och efterfrågan samt transmissionen både inom Sverige och till/från grannländerna i de olika utvecklingsvägarna (se detaljer om modelleringen i Bilagan). Viktigt att notera här är att elanvändningen, i samtliga utvecklingsvägar för elproduktionen, endast speglar en utveckling som leder till ett stort behov av el. I realiteten samspelar behovet av el, utbyggnad av elproduktion och överföringskapacitet, och är ömsesidigt beroende av varandra. Hur elproduktionen utvecklas och vilka möjligheter det finns att bygga överföringskapacitet mellan elområden påverkar elpriserna och därmed även elanvändningen. De ekonomiska förutsättningarna, framför allt intäkterna från olika kraftslag, är också starkt beroende av graden av flexibilitet hos elanvändarna, vilket inte är väl representerat i modellen. Fokus för analysen i modelleringen ligger på elproduktionsmixen, och både elanvändning och transmission är givna värden i elsystemmodellen.

Den svenska elproduktionsmixen skiljer sig mellan utvecklingsvägarna...

I jämförelse med dagens elsystem (2022) så innebär den ökade efterfrågan att elproduktionen i modelleringen mer än fördubblas fram till 2050 för att möta den efterfrågan på el som undersöks. Elproduktionsmixen för år 2050 ser olika ut i de fyra utvecklingsvägarna, se Figur 17.



Figur 17. Årlig elproduktion i *Landbaserad vind*, *Havsbaserad vind*, *Drifftidsförlängd kärnkraft* och *Ny kärnkraft* samt år 2022, resultat från modellering för år 2050.

Källa för 2022: Månatlig elstatistik, Energimyndigheten och SCB.¹²⁵

Anm: Under 2022 utgörs produktionen i huvudsak av biomassa i posten Kraftvärme/Biomassa och posten Topplastproduktion motsvarar kondensproduktionen.

¹²⁵ Statistiskdatabasen, Eltillförsel i Sverige efter produktionsslag. *Statistiska centralbyrån*. Eltillförsel i Sverige efter produktionsslag. Månad 1974M01 – 2023M02. PxWeb (scb.se) (Hämtad 2023-06-02)

I *Landbaserad vindkraft* möjliggörs mer utbyggnad av landbaserad vindkraft än i de andra scenarierna, vilket också bidrar med den i särklass största produktionen. Vindkraft karakteriseras av låga kostnader och väderberoende variabilitet.

I *Havsbaserad vind* antas en lägre potential för landbaserad vindkraft och förbättrade förutsättningar för havsbaserad vindkraft¹²⁶, vilket leder till en systemsammansättning med högre andel havsbaserad vindkraft. Summan av den totala vindkraftsproduktionen liknar den i *Landbaserad vind*.

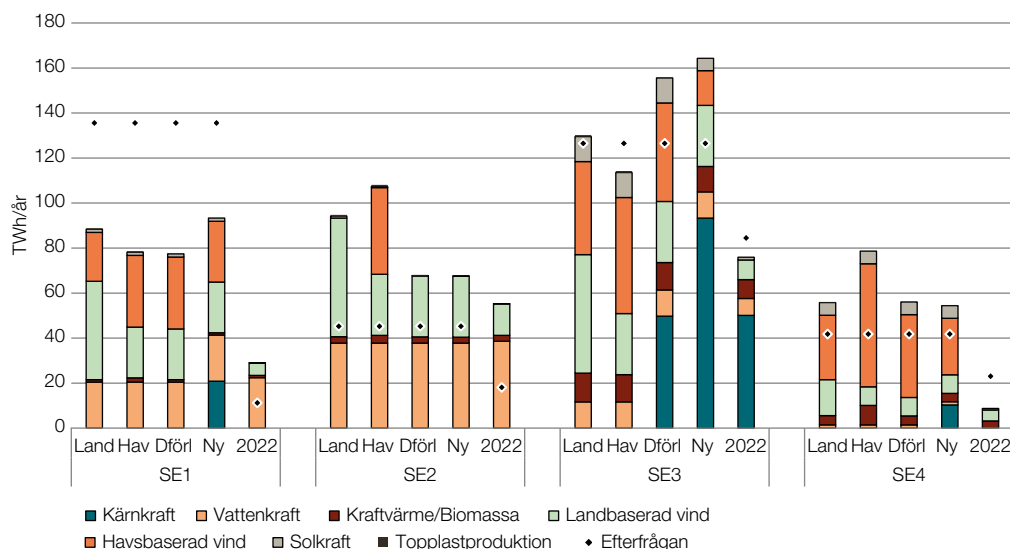
Elproduktion från kärnkraft i *Drifftidsförlängt kärnkraft* och särskilt *Ny kärnkraft* resulterar i en lägre andel elproduktion från andra kraftkällor men även här sker stor del av elproduktionen med vindkraft.

... även fördelningen av kraftproduktion inom landet varierar ...

Fördelningen av såväl produktion som elbehov mellan Sveriges elområden år 2050 uppvisar i samtliga utvecklingsvägar tydliga skillnader mot dagens fördelning, se Figur 18. Detta påverkar också behovet av import och export mellan regioner. Det högsta elbehovet och den i särklass största ökningen jämfört med idag antas för elområde 1. Detta är kopplat till den planerade elektrifieringen i befintliga industrier och de aviserade nyetableringarna av industrier i området. I alla fyra fall är elproduktionen i elområde 1 betydligt lägre än det ökade elbehovet för 2050, vilket innebär att skillnaden måste täckas med ökad import från elområde 2 samt från grannländerna Finland och Norge. Även om elproduktion i elområde 1 ökar kraftigt i samtliga utvecklingsvägar jämfört med dagens nivåer, når den ändå inte upp till de nivåer som behövs för att möta det kraftigt ökade behovet av el. Detta belyser vikten av att skapa förutsättningar för en utökad utbyggnad av elproduktion och transmissionskapacitet i Sveriges nordliga regioner.

Den största skillnaden i elproduktion mellan de fyra utvecklingsvägarna uppstår i elområde 3, där både efterfrågan och produktionen idag är högst i Sverige. Där finns möjligheten för såväl drifftidsförlängning samt den största potentialen för utbyggnad av ny kärnkraft i de fall som undersöks i modellen. Det leder till en högre elproduktion i elområde 3 i utvecklingsvägarna med kärnkraft jämfört med dem utan. I fallet *Havsbaserad vindkraft* leder en högre andel havsbaserad vindkraft till högre elproduktion och ett överskott på produktion i elområdena 2 och 4, där elanvändningen är betydligt lägre än i 1 och 3.

¹²⁶ För *Havsbaserad vindkraft* uppskattades minimum värden för havsbaserad vindkraft i de fyra svenska elområden, för att modellera ett system med hög andel havsbaserad vindkraft. Se bilagan om potentialbedömningar för mer detaljer.



Figur 18. Årlig elproduktion och årlig efterfrågan i *Landbaserad vind* (Land), *Havsbaserad vind* (Hav), *Drifttidsförlänga kärnkraft* (Dförl) och *Ny kärnkraft* (Ny) per elområde 2050 samt för år 2022.

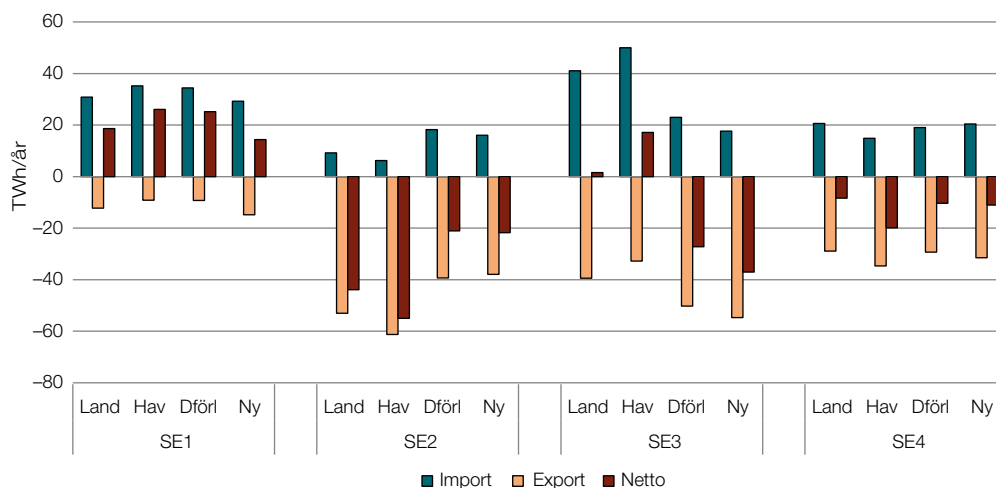
Källa för 2022: Månatlig elstatistik, Energimyndigheten och SCB.¹²⁷

Anm: Kraftvärmens består i huvudsak av biomassa men inte enbart och kraftvärme inkluderar även kondens- och spetslastproduktion under 2022.

... vilket sin tur påverkar regionala skillnader i import och export av el.

Fördelningen av produktion och efterfrågan över landet pekar även på betydelsen av transmission, både inom landet samt till och från grannländerna, som behövs för att tillgodose det ökade elbehovet i olika elområden, se Figur 19. Elområde 1 är nettoimportör av el i alla undersökta utvecklingsvägar. Störst skillnad mellan utvecklingsvägarna syns i elområde 3, där en högre export är möjligt i scenarierna med drifttidsförlängd och ny kärnkraft. I alla fyra utvecklingsvägar så är Sverige nettoexportör av el på årsbasis. Import och export till och från Sverige, samt mellan elområden skiljer sig dock åt mellan olika tidpunkter på året. I alla fyra utvecklingsvägar utnyttjas överföringskapaciteten till elområde 1 fullt ut för import under stora delar av året. Detta förtydligar återigen att en kombination av utbyggnad av både elproduktion och transmission, både inom och utanför landet, är en förutsättning för en kraftigt ökad elanvändning i norra Sverige.

¹²⁷ Statistikdatabasen. *Elproduktion och elanvändning efter elområde*. Statistiska centralbyrån. Elproduktion i netto och användning, i GWh efter produktion och användning, elområde och månad. PxWeb (scb.se) (Hämtad 2023-06-02)



Figur 19. Årlig import, export samt nettohandel per elområde i *Landbaserad vind* (Land), *Havsbaserad vind* (Hav), *Drifftidsförlängd kärnkraft* (Dförl) och *Ny kärnkraft* (Ny) för 2050.

En likhet mellan utvecklingsvägarna är värdet av flexibilitet och reglerförmåga. Den kraftigt ökade efterfrågan på el som undersöks i det här arbetet förutsätter att mycket av den bedömda potentialen för ny elproduktion byggs ut. Det innebär att väderberoende elproduktion som land- och havsbaserad vindkraft samt solkraft byggs ut i alla undersökta utvecklingsvägar, framför allt på kort sikt. En utbyggnad av dessa produktionsslag ger ökade incitament och behov av flexibilitet inom elsystemet för balansering av variationer i elproduktionen. Även den förväntade utbyggnaden av förnybar elproduktion i Sveriges grannländer bidrar till denna utveckling. Även i utvecklingsvägarna med kärnkraft ökar andelen väderberoende elproduktion för att möta den ökande efterfrågan. Behovet av reglerresurser och flexibilitet blir därför viktiga även i utvecklingsvägar med kärnkraft. Vattenkraften är idag det kraftslag som bidrar mest till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom det är en reglerbar elproduktionskälla, med möjlighet att snabbt ändra stora produktionsmängder. I scenarierna utnyttjas vattenkraftens reglerförmåga i samband med variationer i annan elproduktion, vilket visar på att vattenkraften fortsatt kommer att ha en viktig roll, men det kommer även att krävas ytterligare flexibilitetsresurser i systemet.

3.3 Elektrifieringen kommer leda till förändrade förutsättningar för en trygg energiförsörjning

Omställningen till ett mer elektrifierat samhälle kommer både påverka försörjningstrygghet och ställa nya krav på de åtgärder som kan behövas för en god försörjningstryggheten i vardagen, vid kris och inför höjd beredskap. Det är viktigt att identifiera och beskriva de utmaningar som finns kopplat till omställningen så att det framtida energisystemet blir så robust som möjligt. För att kunna analysera hur försörjningstryggheten påverkas är det viktigt att först identifiera vad begreppet innebär. I det här avsnittet ges en kort beskrivning av olika begrepp för att sedan analysera hur olika utvecklingsvägar kan påverka försörjningstryggheten.

3.3.1 Vad innebär en trygg elförsörjning?

Vad olika personer, aktörer eller allmänheten menar med försörjningstrygghet eller ett robust elsystem är inte entydigt. Det finns flera begrepp i diskussionerna runt ämnet som inte alltid är väldefinierade vilket gör det svårt att avgränsa dem från varandra. Beskrivningar av begreppen baseras framför allt på indelningar som gjordes i förra regeringens nationella strategi för elektrifiering¹²⁸ och i rapporten *Resilient och trygg elförsörjning*.¹²⁹

En trygg elförsörjning används ofta som rubrik för att prata om ett energi- eller elsystems egenskaper som *leveranssäkerhet* eller *beredskap*. Det finns svårigheter i att diskutera en trygg elförsörjning i samhället då det inte är entydig vad som avses med tryggt. Samtidigt skiljer sig förmodligen uppfattningar om vilken nivå av trygghet som bör uppnås mellan enskilda personer och mellan olika grupper inom samhället. I samband med de stora förändringar som sker i Sveriges energi- och elförsörjning behöver samhället enas om hur mycket ”trygghet” vårt elsystem ska ha. Leveranssäkerhet och beredskap innebär kostnader i investering och underhåll av elsystemet, kostnader som elkunderna eller samhället i stort behöver stå för. Medan det går att bygga upp ett mycket robust system med hög leveranssäkerhet kommer detta ske delvis på bekostnad av konkurrenskraft och hållbarhet.

Leveranssäkerhet beskriver elsystemets förmåga att leverera tillräcklig effekt under normal drift och vid lätta störningar. Här ingår förmågan att bibehålla leverans under olika driftförhållanden. Det handlar till exempel om hantering av situationer med låg tillgång till sol- och vindkraft eller minskad tillgång till kärnkraft eller vattenkraft (till exempel på grund av planerat eller oplanerat underhåll eller isläggning i älvarna).

Beredskap, även ”resiliens” beskriver elsystemets förmåga att hantera förhållanden utöver det vanliga som angrepp eller kriser på kort och lång sikt. Kriser kan vara extremväder eller minskad tillgång till resurser och bränslen som är avgörande för Europas elförsörjning. Angrepp kan avse både fysiska och exempelvis IT-attacker. Beredskap möjliggörs av förmågor som bibehållen leverans i ett starkt påverkat elsystem, ö-drift och återuppbyggnadsförmågor efter ett storskaligt bortfall av elförsörjningen.

¹²⁸ Regeringen (2022), Nationell strategi för elektrifiering – en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning.

¹²⁹ Jesper Werneskog, Johanna Barr – Power Circle (2022), *Resilient och trygg elförsörjning* – En syntesrapport om forskningsläget och framtida forskningsbehov.

Planerbarhet och reglerbarhet

Graden av "planerbarhet" i elsystemet lyfts ofta upp som en förutsättning för försörjningstrygghet. Produktion som inte är väderberoende ges ofta som exempel för vad som menas med planerbar produktion, men det bör inte blandas ihop med reglerbarhet. Kärnkraft används exempelvis inte som en reglerbar kraft utan fungerar som baskraft som bidrar med en närmast konstant effekt. Det har en indirekt påverkan på planerbarhet genom att en del av efterfrågan täcks av den mestadels jämna produktionen och behöver inte täckas av annan produktion. Ändringar i elanvändningen behöver dock fortfarande hanteras av andra kraftslag.

Kärnkraft liksom annan produktion baserad på synkrongeneratorer medför fördelar för ett synkront elsystem. Till exempel tillför synkrongeneratorerna rotationsenergi, som minskar behovet av snabb frekvensreglering från andra leverantörer. En stor del av vattenkraften i Sverige kan producera oberoende av kortvariga väderförändringar och reglerar efter elpris och därmed elbehov. Utöver det utgörs en majoritet av de stödtjänster som används för att upprätthålla frekvensen i elnätet av vattenkraftsproduktion. Samtidigt finns det även potential att bidra med stödtjänster från energilager och resurser med variabel produktion eller förbrukning men förutsättningar behöver förbättras för att möjliggöra det idag. Även nätförbindelser till utlandet utgör likt vattenkraften en omfattande resurs för planerbarheten och reglerbarheten i elsystemet.

All produktion, även väderberoende sådan, i elsystemet är planerbar såtillvida att det går att använda sig av prognosverktyg för att i förväg uppskatta om och hur mycket produktion som kommer vara tillgänglig. Därtill finns osäkerheter i prognoserna för alla typer av produktionsslag på grund av förändrade förutsättningar och beroende på hur långt i förväg som prognoserna görs. Olika kraftslags styrbarhet eller reglerförmåga kan däremot underlätta planeringen av systemet som helhet för att hålla det stabilt och i balans. Det i sin tur bidrar till leveranssäkerheten och kan bidra med förmågor som krävs i en beredskapssituation.

3.3.2 Förutsättningar för en trygg energiförsörjning förändras

En grundläggande förutsättning för en trygg energiförsörjning är välfungerande energimarknader så att samhällets efterfrågan på energi kan tillgodoses på ett effektivt sätt. Den önskade leveranssäkerheten och beredskapsförmågor behöver tillhandahållas med hjälp av passande incitament och styrmedel. Men det kan fortfarande innebära att det i händelse av kris måste även finnas åtgärder som kan träda i kraft när marknaden på egen hand inte kan tillgodose samhällets behov av el. Exempel på områden som är särskilt viktiga ur försörjningstrygghetssynpunkt är åtgärder för att förebygga och lindra konsekvenser av uppkomna störningar eller avbrott i energiförsörjningen. Dessa syftar till att minska de negativa effekterna i samhället som kan uppstå i händelse av allvarliga störningar eller avbrott i energiförsörjningen. Ett annat viktigt område är framtidens totalförsvar och samhällets förmåga att stå emot antagonistiska angrepp, där en fungerande energiförsörjning kommer att spela en avgörande roll.

En omfattande elektrifiering av samhället kommer att leda till att fler funktioner i samhället blir beroende av ett välfungerande elsystem. I och med elektrifieringen kommer processer som tidigare varit bränslebaserade att öka sitt elberoende. En ökad

elektrifiering av transportsektorn och industrisektorn minskar Sveriges stora importberoende av fossila bränslen vilket är positivt för försörjningstryggheten. Men när allt fler processer i samhället övergår till el som energibärare innebär det att betydelsen av lager av fasta och flytande bränslen minskar. För att möta denna förändring kommer andra typer av reserv- eller lagersystem behöva byggas upp. Detta för att samhället ska ha förmåga att agera vid en omfattande och långvarig störning i elförsörjningen. Det är viktigt att påpeka att de flesta system även idag är beroende av el oavsett energibärare. Förmågan att hantera elavbrott på kort sikt kan finnas i lokal reservkraft, men hantering av ett långvarigt bortfall av el är utmanande.

Det svenska elsystemets robusthet är även beroende av de nordeuropeiska länderna och vice versa, vilket på olika sätt är reglerat inom EU och europeiska ramverk. Hänsyn måste exempelvis tas till gränsöverskridande resurser för att bedöma om det behöver vidtas åtgärder som ligger utanför elmarknaden. På en integrerad europeisk marknad är det inte heller säkert att det kommer vara nationsgränser som avgör för vilka regioner försörjningstrygghet ska beräknas för eller om indelningen i elområden kommer förändras.

Elektrifieringen i samhället med en ökad elanvändning i olika sektorer kommer ske samtidigt som en förväntad förändring av elproduktionen från stora synkrogeneratorer till en mer variabel elproduktion. Ett i högre grad elektrifierat energisystem kommer fortfarande vara sårbart men sårbarheterna kommer skilja sig från dagens. Elektrifieringen sammanfaller även med en ökad grad automatisering och digitalisering av energisystemet vilket innebär att IT-säkerhetsfrågor måste vara ett prioriterat område för att säkerställa en trygg energiförsörjning. Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningarna för en robust energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta.

Det framtida elsystemet kan komma att kräva olika lösningar för försörjningstrygghet

I en analys av olika utvecklingsvägar för elproduktionen är det relevant att titta på påverkan på leveranssäkerhet och beredskap. I det här arbetet har det inte genomförts några djupare kvantitativa analyser av detta vilket bör undersökas i vidare arbeten. Däremot kan det vara intressant att diskutera kring olika framtida utvecklingsvägars påverkan på systemets försörjningstrygghet.

En ökad utbyggnad av vind- och solkraft, vilket sker i samtliga utvecklingsvägar, kommer leda till en högre grad av decentraliserad elproduktion. En sådan utveckling kan minska effekten av enskilda händelser på systemnivå. Samtidigt bygger det på att tillförsel och användning kan balanseras på alla nivåer (stam-, region och lokalnät) och på så sätt bibehålla leveranssäkerheten. Balanseringen kan ske genom en kombination av flexibel produktion, efterfrågeflexibilitet samt energilager vilket kan leda till ökade kostnader. Avvägningen mellan kostnader och leveranssäkerhet påverkar vilka tekniska lösningar som väljs och dess relativa sammansättning. En fortsatt kostnadsminskning av småskalig elproduktion, lösningar för energilagring och tekniker för smart styrning av utrustning samt den kontinuerliga ökningen i antal laddbara batterifordon har potential att öka försörjningstryggheten. Sårbarheten för störningar på det överliggande nätet minskar genom att beroendet gentemot enskilda storskaliga och kritiska anläggningar minskar. Ett elsystem med mer geografiskt utspridd elproduktion, energilager och flexibilitet kan öppna upp för större möjligheter till ö-drift, som innebär att elproduktionsanläggningar kan drivas tillsammans med elanvändare i ett geografiskt avgränsat elnät

utan koppling till det omkringliggande nätet. Ö-drift skulle, med rätt tekniska förutsättningar, kunna användas i krissituationer vid omfattande störningar och nätsammanbrott, som exempelvis kan uppkomma genom extrema väderhändelser eller sabotage.

3.4 Miljöpåverkan, mark- och resursanvändning

En långtgående elektrifiering av samhället kommer ha positiv inverkan på den ekologiska hållbarheten, främst genom att utsläppen av växthusgaser och andra luftföroreningar som bildas vid förbränning av fossila bränslen kraftigt reduceras. En ökad elanvändning innebär att elsystemet behöver utvecklas för att möta de ökade behoven. En ökad utbyggnad av elproduktion och elnät medför ökade ytanspråk och ett ökat behov av resurser vilket i sin tur kan påverka miljön. I följande avsnitt analyseras och jämförs utvecklingsvägarna med avseende på miljöpåverkan, mark- och resursanvändning. De olika installerade kapaciteterna för respektive kraftslag som presenterades i avsnitt 3.2 har bland annat använts som grund för analysen.

Elektrifieringen bidrar till att uppnå ekologisk hållbarhet

Elektrifieringen av framför allt transport- och industrisektorn är en förutsättning för att Sverige ska nå sina klimatmål och en möjliggörare för att nå miljökvalitetsmålen. Detta då elektrifieringen kraftigt kan minska användningen av fossila bränslen inom dessa sektorer. En förutsättning för att elektrifieringen ska bidra till klimatomställningen är att den el som används för att ersätta de fossila bränslena är fossilfri. En storskalig elektrifiering av samhället kan förutom att kraftigt reducera utsläppen av växthusgaser även bidra till att minska andra utsläpp, som luftföroreningar relaterade till förbränningen av fossila bränslen. Utsläpp av luftföroreningar orsakar stora miljö- och hälsoproblem och problemen är som störst i stadsmiljöer. En övergång från fossila bränslen till el som energibärare kan även innebära en energieffektivisering, främst inom transportsektorn. Detta ger en potential för en minskad total energianvändning, men samtidigt kan det finnas risk för rekyleffekter¹³⁰ som kan uppstå vid användning av billigare och fossilfri el. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där fossila bränslen utvinns. Ett effektivt energi- och resursutnyttjande utgör en potential för minskad miljöbelastning då det kan minska behovet av att bygga ny elproduktion och elnät. Här kan ökad flexibilitet, genom att använda el på ett smart sätt bidra till att skapa nytta i elsystemet.

3.4.1 Omställningen medför att nya miljöutmaningar måste beaktas

Alla kraftslag, både fossila och fossilfria, samt utbyggnaden av elnät och användandet av flexibilitet ger effekter på miljön. En genomgripande omställning av energisystemet betyder att en förståelse behövs för vilka miljöeffekter som kan förväntas uppstå och omfattningen av dessa. Detta är viktigt för att undvika oönskade effekter och utforma åtgärder för hur detta ska hanteras. Det är även viktigt att sätta uppkomna miljöeffekter i relation till vilka konsekvenserna blir om elektrifieringen inte sker.

¹³⁰ Elektrifieringen kan medföra direkta rekyleffekter på så vis att om en elbil blir billigare att köra kan det leda till ett ökat bilkörande och därmed en ökad miljöpåverkan.

I ett tidigare arbete av Energimyndigheten¹³¹ inom ramen för Miljömålsrådet analyserades elektrifieringens påverkan på miljön med utgångspunkt i de svenska miljömålen. I analysen värderades även vilken inverkan en storskalig utbyggnad av elproduktion, elnät och åtgärder för flexibilitet kan få på miljömålen. Med utgångspunkt i de påverkansfaktorer som identifierades i det arbetet har de olika utvecklingsvägarna för elproduktion värderats kvalitativt för hur de kan komma att skilja sig åt i potentiell påverkan på miljön, se Tabell 2. Den kvalitativa bedömningen avser elproduktionsmixen som helhet i respektive fall. Listan på påverkansfaktorer som lyfts här är inte heltäckande, en mer omfattande kvantitativ och kvalitativ miljöanalys av olika elektrifieringsscenarier kommer att genomföras inom ramen för Energimyndighetens regeringsuppdrag ”Uppdrag att analysera en effektiv användning av energi, effekt och resurser”.¹³²

Tabell 2. En jämförelse av miljöpåverkansfaktorer mellan de olika utvecklingsvägarna.

Påverkansfaktorer	Utvecklingsväg			
	Landbaserad vind	Havsbaserad vind	Drifftidsförlängd kärnkraft	Ny kärnkraft
Markanvändning	++++	+	++	++
Etablering till havs	++	++++	+++	+
Användning av ämnen och metaller exempelvis REE	+++	++++	++	++
Resurs- och energiåtgång vid tillverkning och byggnation	+++	+++	++	+
Risk för kärnkraftsolycka, hantering av använt kärnbränsle			++	++++
Utvinning och anrikning av uran			++	++++

* Påverkansfaktorer undersöks med hänsyn till all installerad elproduktion inom varje utvecklingsväg, dvs. de olika elproduktionsmixerna i varje utvecklingsväg (se även beskrivning i *kapitel 3.1*).

Skillnaderna beror av vilka kraftslag som dominerar utbyggnaden i respektive utvecklingsväg. Markanvändningen bedöms påverkas mest i *Landbaserad vind*, då det innebär en fördubblad utbyggnad av vindkraft på land än i de övriga utvecklingsvägarna. Kärnkraft är betydligt mer yteffektiv per producerad kWh men innebär samtidigt ett mycket mer långsiktigt markanspråk. Vilken miljöpåverkan en ökad markanvändning kan få beror naturligtvis på den geografiska lokaliseringen av vindkraften. En ökad utbyggnad av vindkraft i norra Sverige i goda vindlägen kan exempelvis störa känsliga fjällmiljöer och även påverka renskötseln och det rörliga friluftslivet negativt. Utbyggnad i glesbebyggda områden innebär sannolikt att det krävs en större utbyggnad av annan infrastruktur såsom vägar och elnät jämfört med en ökad utbyggnad i mer tätbebyggda områden. Anläggning av både vägar och elnät skapar nya barriärer och ökar fragmenteringen av landskapen vilket kan leda till en minskad biologisk mångfald och bidra till att rekreativvärden för människor påverkas.

¹³¹ Energimyndigheten (2021), Framtidens elektrifierade samhälle- Analys för en hållbar elektrifiering, ER 2021:28.

¹³² Regeringen (2022), Uppdrag att analysera en effektivare användning av energi, effekt och resurser i-2022-01393-uppdrag-att-analysera-en-effektivare-anvandning-av-energi-effekt-och-resurser.pdf (regeringen.se)

Den största etableringen av vindkraft till havs sker i *Havsbaserad vind*, även i fallet *Drifttidsförlängd kärnkraft* byggs havsbaserad vind ut i högre grad. Havsbaserad vindkrafts direkta miljöpåverkan i drift liknar till viss del den för landbaserad. En fördel är att negativ påverkan på människors livsmiljö kan minska om vindkraften placeras långt från land. Behovet av att anlägga vägar minskar även i fallet med en högre andel havsbaserad vindkraft. I anläggningsfasen sker ofta arbeten i form av muddring och pålning vilket temporärt påverkar djur- och växtliv på havsbotten eller i vattenmassan negativt. Under driftsfasen kan havsbaserad vindkraft påverka fågellivet negativt men är beroende av lokalisering och utformning av parker. En fördjupning kring mark- och ytanspråk kopplat till samexistens görs i nästkommande avsnitt.

De båda utvecklingsvägarna med kärnkraft bedöms ha den lägsta påverkan på resurs- och energieffektivitet vid tillverkning och byggnation. Sett ur ett livscykelperspektiv är kärnkraft det kraftslag som har den minsta resursåtgången vid tillverkning och byggnation per producerad kWh. Detta beror på den långa livslängden, cirka 60 år, möjligtvis upp till 80 år, för anläggningarna i kombination med den höga elproduktionen per reaktor. Att drifttidsförlänga den befintliga kärnkraften bidrar till ökad resurs- och energieffektivitet. De förnybara utvecklingsvägarna innebär en högre resurs- och energiåtgång vid tillverkning och byggnation. Ett mer decentraliserat system baserat på väderberoende produktion kommer även kräva en större utbyggnad av elnät samt insatser för flexibilitet och lagring. Att effektivt nyttja de inneboende flexibilitetsresurser som vätgaslager och batterier inom transportsektorn kan minska resurs- och energiåtgången. I efterföljande avsnitt görs en fördjupning kring råvaruförsörjning.

Fortsatt drift av befintliga reaktorer och utbyggnad av ny kärnkraft innebär att det inte går att utesluta en risk för kärnkraftsolyckor som kan få mycket allvarliga miljökonsekvenser. Även hanteringen av använt kärnbränsle kan vara riskfyllt samt vid slutförvar av kärnavfall. Lokal miljöpåverkan av kärnkraften uppstår också vid brytning och anrikning av uran. Brytning av uran är förbjudet i Sverige, vilket innebär att all miljöpåverkan från uranbrytning och anrikning sker i andra länder. Återanvändning av utbränt uran¹³³ för att tillverka nytt kärnbränsle kan bidra till att minska behovet av ny brytning.

Jämförelserna här omfattar enbart potentiell miljöpåverkan av en utbyggnad av elproduktionen i de olika utvecklingsvägarna, vilket då representerar den potentiellt negativa påverkan på miljön. Det är viktigt att komma ihåg i sammanhanget att en drivkraft bakom den omfattande elektrifiering som studeras i det här arbetet är att fasa ut fossila bränslen och lyckas med klimatomställningen. Således finns det också flera positiva effekter på miljön som kommer av omställningen av användarsektorerna som inte presenteras explicit i det här arbetet.

¹³³ Det återvunna uranet antingen anrikas och återanvänds i så kallat ERU-bränsle eller blandas samman med höganrikat uran i så kallat SIU-bränsle. ERU-bränsle har använts i svenska reaktorer.

3.4.2 Ytanspråk och samexistens med befintlig markanvändning och värden

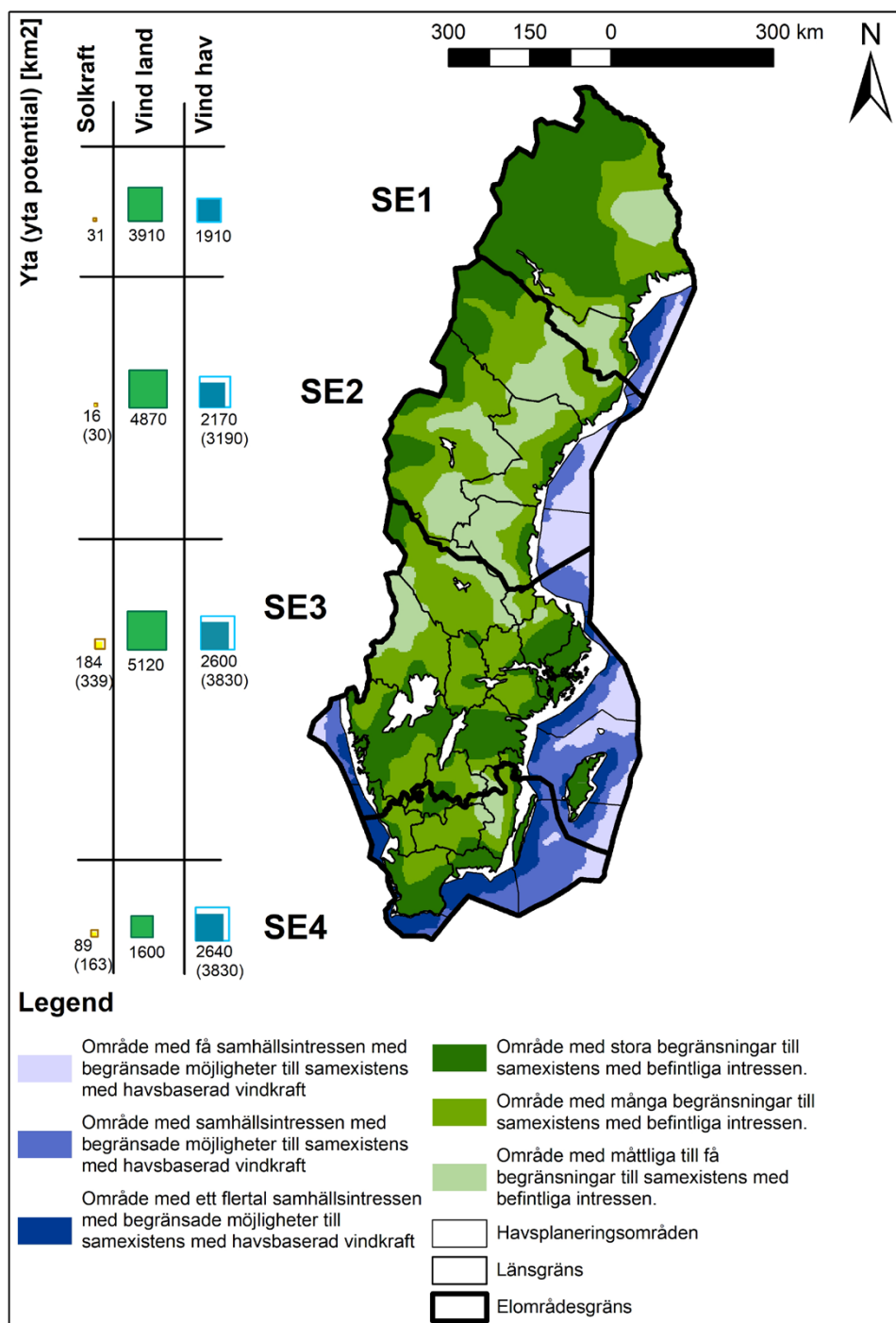
En naturlig konsekvens av elektrifieringen är att fler mark- och vattenområden behöver tas i anspråk för utbyggnad av elproduktion och överföring av el. Det ökade ytanspråket kan påverka befintliga naturmiljöer som ersätts av nya typer av miljöer, människors livsmiljö och pågående mark- och vattenanvändning. Ett ökat ytanspråk kan därmed ge en miljöpåverkan och ge upphov till konflikter om hur landskapet ska användas och se ut. I den inneboende konflikten ligger aspekterna:

- Vilken grad av hänsyn och anpassning ny elinfrastruktur ska ta till den befintliga markanvändningen.
- I vilken omfattning andra intressen och värden kan och ska anpassa sig till nya förutsättningar.

Utvecklad planering och arbete för samexistens och fleranvändning gör att förutsättningar för utbyggnad av elinfrastruktur kan kombineras med en hållbar utveckling genom att möjliggöra val mellan tekniker och geografiska placeringar. Omfattningen på behovet av ny elinfrastruktur som behöver komma till stånd medför att det kommer finnas ett stort behov av avvägningar och anpassningar hos befintliga intressen.

Vindkraften har särskilda egenskaper...

I alla fyra utvecklingsvägarna utgör vindkraft en väsentlig del av elproduktionen. I jämförelse med andra produktionsslag har vindkraft ett relativt stort markanspråk per installerad effekt och en större geografisk spridning. Lokalisering och geografisk fördelning av produktionen har därför stor betydelse för en hållbar utbyggnad av vindkraft. Sverige är ett stort, relativt glesbefolkat land med generellt sett goda vindresurser, vilket ger en stor potential för utbyggnad av vindkraft. Samtidigt finns det både på land och i havet intressen som har mer eller mindre tolerans för samexistens med vindkraft, se Figur 20. Det maximala ytanspråk som elproduktionen från vindkraft och solkraft motsvarar i våra utvecklingsvägar finns representerade i figuren som skalenliga rutor till vänster. För landbaserad vindkraft motsvarar markanspråket den bedömda max-potentialen i modellen, medan det för havsbaserad vindkraft finns ytterligare potential kvar (syns som ej ifylld ruta). Ytanspråket för vindkraft representerar hela projektytan för en vindkraftpark och inte det faktiska direkta ytanspråket för fundament, uppställningsplats, vägar etcetera. För solkraft är ytanspråket beräknat utifrån att all utbyggnad sker på mark. Kärnkraft finns inte representerat i Figur 20, eftersom det ytmässiga avtrycket för kraftslaget är mycket begränsat och utbyggnaden i utvecklingsvägarna sker till största del på redan ianspråktaga platser som sedan tidigare använts för kärnkraft. Undantaget är *Ny kärnkraft* där SMR även byggs i elområde 1 i anslutning till stora elintensiva industrier.



Figur 20. Karta över möjligheter och begränsningar till samexistens mellan vindkraft och andra nationella intressen. Kartan visar en sammanlagd bedömning utifrån hur möjligheterna till samexistens mellan olika intressen och vindkraft från den nationella vindkraftstrategin¹³⁴ samt från arbetet med att ta fram förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna.¹³⁵ I tabellen till vänster visas nödvändiga kumulativa projekteringsområden per kraftslag. Ramen runt kvadraterna motsvarar potentialen (potentialen för landbaserad vindkraft används fullt ut).

¹³⁴ Energimyndigheten (2021), Nationell strategi för en hållbar vindkraft, ER 2021:02.

¹³⁵ Energimyndigheten (2023), Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna, ER 2023:12.

... och samexistenslösningar och anpassningar till nya förutsättningar är nödvändiga

Möjligheterna till samexistens mellan vindkraft och andra intressen varierar stort över landet, se Figur 20. I områden med begränsade möjligheter till samexistens finns det särskilt stort behov av arbete med konstruktiva samexistenslösningar och anpassningar. Det handlar även om att befintliga samhällsintressen behöver anpassa sig till de nya förutsättningar som ett större inslag av vindkraft i landskapet innebär. Möjligheterna till anpassning till nya förutsättningar hos olika intressen varierar där det generellt sett finns större möjligheter till anpassning hos verksamheter som människor råder över, så som tekniska system, försvarsförmåga och areella näringar. Det människor skapat och är beroende av har förändrats över tid och följt samhällets utveckling, den utveckling av elsystemet som sker idag kan betraktas som bara ytterligare ett förändringssteg. Det här gäller även i hög grad hur människor uppfattar landskapet och hur det ska se ut och användas, här finns stora möjligheter till förändrat synsätt på elinfrastruktur och en acceptans för att den förkommer i landskapet. Vad gäller naturvärden och biologisk mångfald är möjligheterna till anpassning till nya förutsättningar inte lika stora utan här ligger det mer på den nya elinfrastrukturen att anpassa sig i proportion till hur stor negativ påverkan den har.

Samexistenslösningar och anpassningar behövs eftersom många områden med stora möjligheter till samexistens inte nödvändigtvis sammanfaller med där det behövs ny elproduktion ur ett elsystemperspektiv. Det kan leda till ett större behov av elnät och överföringskapacitet, men även till ökade motsättningar mellan vindkraft och lokala intressen där utbyggnaden blir intensiv. Exempel på områden som kan komma behöva mycket ansträngningar avseende arbete med samexistens finns inom elområde 1. En stor andel av elområdet är klassat som att ha mycket begränsade möjligheter till samexistens med andra intressen, se Figur 20 ovan. Samtidigt pekar utvecklingsvägarna på att det är i elområde 1 en hög elanvändning kommer sammanfalla med ett stort underskott av elproduktion utifrån de maxpotential för utbyggnad som antagits i det här arbetet.

Det finns stora möjligheter även om vindkraftens ytanspråk ökar...

I princip all landbaserad vindkraft byggs idag i skogslandskapet där det finns stora möjligheter till utbyggnad utan att väsentligt påverka de värden som har svårt att anpassa sig till nya förutsättningar. Arealen skogsbeklädd mark med begränsade naturvärden där aktivt skogsbruk bedrivs är mycket stor och där är samexistens mellan skogsbruk och vindkraft i högsta grad möjlig. På samma sätt finns det stora tillgängliga ytor i havet där vindkraft har en begränsad påverkan på värden som inte kan anpassa sig till nya förutsättningar.¹³⁶ En jämförelse mellan Sverige och Tyskland förtydligar potentialen för vindkraft i Sverige som jämfört med Tyskland har en 17 procent större landareal, en väsentligt mindre befolkning och mer gynnsamma vindförhållanden.¹³⁷ Tyskland har i sin tur en betydligt högre elproduktion från vindkraft än Sverige med en årsproduktion för år 2022 på 100 TWh från landbaserad vindkraft och 25 TWh från havsbaserad vindkraft.¹³⁸ Det är ungefär fyra gånger mer än vad vindkraften producerade i Sverige under samma år.

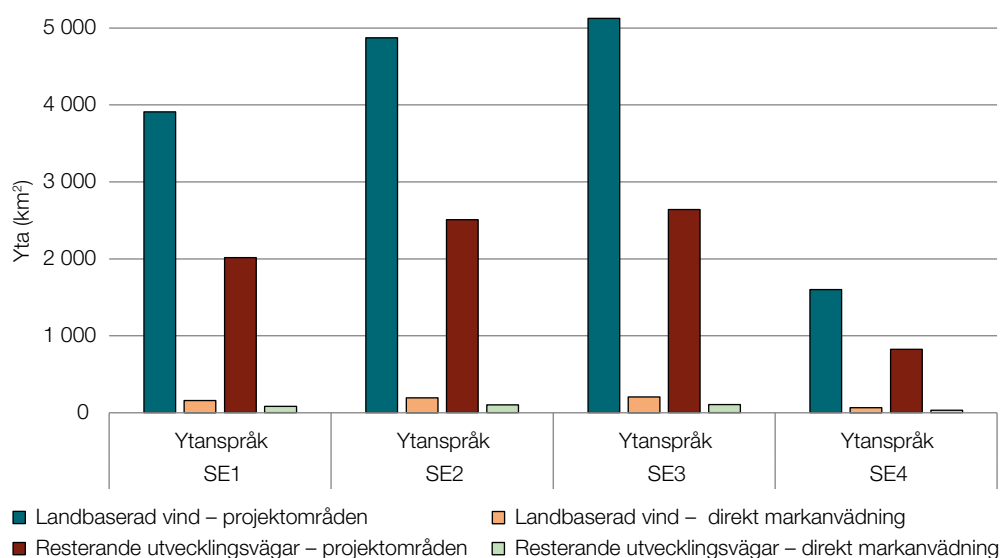
¹³⁶ Energimyndigheten 2023, *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*, ER 2023:12.

¹³⁷ Delar av Tyskland har begränsade vindresurser att ta vara på.

¹³⁸ Vindkraft i Tyskland – Siffror och fakta: Faktablad (Original: „Windenergie in Deutschland – Zahlen und Fakten“). Hämtad från: Deutschland in Zahlen | BWE e.V. (wind-energie.de)

... och det direkta ytanspråket för vindkraft är mycket mindre än projekteringsområdet.

Vad gäller markanspråk och vindkraft kan dess ytanspråk bedömas som projektområde respektive direkt ytanspråk. Markanspråket kan även anges som ett påverkansområde vilket varierar stort beroende på vilken typ av påverkan som avses. Det direkta ytanspråket utgörs av den faktiska ytan som vägar, fundament, erosionsskydd och vägar tar upp och är ganska litet och motsvarar cirka 3–5 procent av projektområdet för landbaserad vindkraft och 1–2 procent för havsbaserad vindkraft. Ytanspråket per elområde för den installerade effekten vindkraft för respektive utvecklingsväg visas i Figur 21. För *Landbaserad vindkraft* kommer ytanspråket för projektområde utgöra cirka 4 procent av landytan i respektive elområde medan det direkta ytanspråket ligger på 0,2 procent av landytan. Den havsbaserade vindkraften upptar som mest 8,6 procent av havsplaneområdet (projekttyta, *Havsbaserad vindkraft*) och med ett direkt ytanspråk på 0,1 procent.

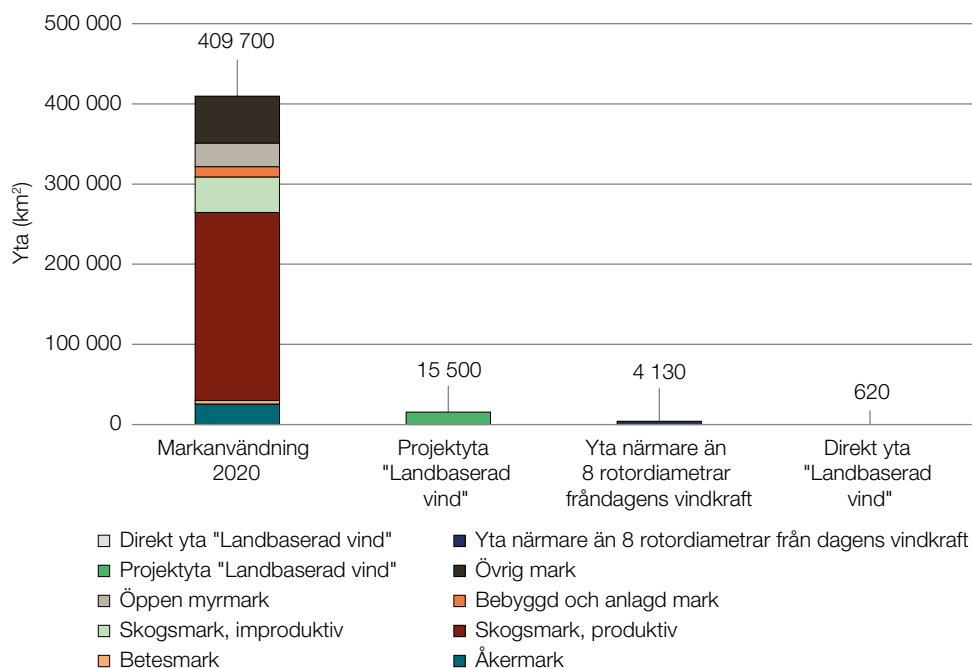


Figur 21. Uppskattat ytanspråk för landbaserad vind i de olika utvecklingsvägarna. Siffrorna skiljer sig bara mellan *Landbaserad vind* och de resterande utvecklingsvägarna. Projektområden¹³⁹ avser huvudsakligen området inom en vindkraftpark och är de samma som visualiseras i Figur 20. Direkt markanvändning är en uppskattning av ytan som krävs för fasta strukturer, som kranplatser, vägar och fundament.¹⁴⁰

En utbyggnad av landbaserad vindkraft i den omfattning som utvecklingsvägarna ger innebär i jämförelse med annan markanvändning ett relativt litet markavtryck, se Figur 22. Tar man även i beaktande att en utbyggnad sker i skogsmark där möjligheten till samexistens med befintlig markanvändning är god kan den negativa påverkan av markanspråket begränsas.

¹³⁹ Räknad på turbiner med en effekt på 6 MW, rotordiameter på 170 m och ett avstånd mellan turbinerna på åtta gånger rotordiametern (1,36 km).

¹⁴⁰ Den direkta markanvändningen uppskattas till 4procent av projekteringsområden.



Figur 22. Den landbaserade vindkraftens projektområde, dagens projektområde (åtta rotordiametrar runt turbinerna) och direkt markanvändning i "Landbaserad vind".

Källa: SCB.¹⁴¹

3.4.3 Naturresurser och råvaror till elektrifiering

Energiomställning och storskalig utbyggnad av elproduktion innebär förändrade och nya behov av råvaror och material. Precis som vid etablering av all annan infrastruktur och byggnation kommer det finnas behov av standardmaterial som stål, cement, ballast, koppar och aluminium. Med elektrifieringen kommer även ett ökat behov av andra metaller och material till exempel till vindturbiner, solceller och batterier, se Tabell 3. Olika kraftslag och komponenter i elsystemet är i olika grad beroende av kritiska och strategiskt viktiga ämnen och metaller vilket illustreras genom färgkodningen i Tabell 3. Förutom standardmaterial och metaller och mineraler kommer det också finnas ett behov av bränsle i form av uran till kärnkraft och biobränsle till kraftvärme.

¹⁴¹ Statistikdatabasen. Land- och vattenareal per den 1 januari efter region och arealtyp. Statistiska centralbyrån. Land- och vattenareal per den 1 januari efter region och arealtyp. År 2012–2023. PxWeb (scb.se), Vindbrukskollen (Hämtad 2023-06-02)

Tabell 3. Betydelsen och användningen av kritiska och strategiskt viktiga ämnen och metaller i elektrifiering (● = hög, ● = medel, ○ = låg). Källa: Figur skapad från IEA.¹⁴²

	Koppar	Kobolt	Nickel	Litium	REE*	Krom	Zink	PGM**	Aluminium
Solkraft PV	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Vindkraft	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Vattenkraft	●	○	○	○	○	●	●	○	●
Bioenergi	●	○	○	○	○	○	●	○	●
Kärnkraft	●	○	●	○	○	●	○	○	○
Elnät	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Batterier	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Vätgas	○	○	●	○	●	○	○	●	●

* Sällsynta jordartsmetaller, ** Platinagruppens metaller.

Vad gäller ändliga resurser och hållbarhet är resurseffektivitet, återvinning och cirkulärt omhändertagande centralt. Återvinning kommer fram till 2040-talet endast till mycket begränsad del ha möjlighet till att fylla behovet av elektrifieringens nödvändiga metaller och mineral. IEA uppskattar till exempel att omkring tio procent av behovet av de viktigaste metallerna och mineralen till Li-jonbatterier kommer från återvinning vid 2040.¹⁴³ Orsaken är att dessa ämnen idag i mycket begränsad omfattning finns i råvarusystemet, samtidigt som användningen går in i en exponentiell fas samt att metoder för återvinning behöver utvecklas eller kommersialiseras. Det betyder att elektrifiering kommer vara beroende av primära resurser och att den huvudsakliga källan till dessa metaller och mineral inom överskådlig tid är brytning av jungfruligt material samtidigt som det är viktigt att från början bygga in och möjliggöra för cirkulärt omhändertagande av olika typer av material i systemet.

Det ökade behovet av råvaror från primära källor ställer krav på miljömässig och social hållbarhet. Utvinning av metaller, ämnen och mineral är förknippat med en negativ miljöpåverkan. Det gäller inte bara metaller och mineral att bygga in i elektrifieringskomponenter utan även utvinningen av uran till kärnbränsle och utvinning av kol, olja och gas. Landområden tas i anspråk och förändras och omöjliggör annan markanvändning på platsen och det finns risk för anrikning och spridning av föroreningar samt att stora mängder avfall produceras. Vidare finns det risker för korruption och brister i socialt ansvarstagande och mänskliga rättigheter i flera av de länder där mycket av råvarorna kommer ifrån idag. Det här är frågor som behöver finnas med centralt i resonemang om elektrifieringens miljöpåverkan. Det finns internationella samarbeten och initiativ inom branschen som utgör en grund för att motverka låg miljöhänsyn och främja socialt ansvarstagande. Exempel på internationella samarbeten är ICMM Mining Principles¹⁴⁴ och IRMA Standard for Responsible Mining.¹⁴⁵ Det kan komma att behövas vidare arbeta med att utveckla dessa initiativ.

¹⁴² IEA (2022), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.

¹⁴³ Ibid.

¹⁴⁴ ICMM. Our principles. ICMM. ICMM – Our Principles (Hämtad 2023-06-02)

¹⁴⁵ IRMA. Standard. IRMA. Standard – IRMA – The Initiative for Responsible Mining Assurance (Hämtad 2023-06-02)

I och med att elektrifieringen sker globalt och i ett relativt högt tempo blir frågan om att säkra tillgången på kritiska råvaror alltmer central. En stor efterfrågan kan leda till högre priser, brist på material och protektionism. Det öppnar också upp för att starka beroenden skapas till enskilda länder och leverantörer vilket i sin tur har betydelse för försörjningstryggheten. Inom EU finns flera initiativ bland annat Raw materials act vilket syftar till att minska riskerna och ta vara på egna möjligheter till råvaruförsörjning och att bygga upp förädlingskedjor.¹⁴⁶

3.5 Fler faktorer i utvecklingen av elsystemet

Som beskrivs i avsnitt 1.4 finns det många utmaningar och osäkerheter med att studera utvecklingar inom el- och energisystemet, speciellt långt fram i tiden. I analyserna behöver alltid avgränsningar och förenklingar göras. Utöver analysen i det här uppdraget finns därför ett flertal områden att undersöka vidare i samband med utvecklingar inom el- och energisystem, några exempel ges nedan.

3.5.1 Vidareutvecklingar i scenario- och modelleringsarbete, samt energisystemanalys

I det här uppdraget har modelleringen fokuserat på utfallet av potentialbedömningar för olika kraftslag till år 2050. Antaganden om elnätsutbyggnad är i linje med det som är annonserat idag. Användningen av batterier och annan flexibilitet är begränsat i modelleringen. Variationer inom elproduktion och efterfrågan hanteras i modellen framför allt genom reglerbar vattenkraft, topplastproduktion och priskänslig förbrukning. Modellresultat behöver alltid tolkas utifrån de antaganden som gjorts och begränsningar som finns i den använda modellen. Resultaten i det här arbetet ska framför allt ses om en indikation av hur efterfrågan på el kan mötas under olika antaganden kring potentialer för elproduktion. Modelleringen används därmed för att beskriva konsekvenserna av att kunna realisera olika potentialer för olika typer av elproduktion samt som ett underlag till att undersöka utvecklingsvägar med hänsyn till miljöpåverkan, mark- och resursanvändning.

Framtidens el- och energisystem kommer vara mer integrerade än dagens system, med fler komplexa värdekedjor på olika geografiska nivåer, ökad potential för och behov av flexibilitet och lager. En ökad digitalisering kommer både skapa möjligheter och utmaningar som i sin tur kommer påverka systemens utformning och funktion. För dessa system behöver fler fördjupade analyser genomföras med fokus på bland annat variationer inom elproduktion och efterfrågan, värdet av förstärkningar i elnätet, användning av olika energibärare så som vätgas, olika former av energilagring, samt påverkan på elpriser. Även efterfrågan på el till följd av elektrifiering inom olika sektorer, såsom elektrifierad transport samt olika typer av industri i Sverige bör undersökas vidare. En ökad användning av vätgas samt olika möjligheter för produktion och distribution av vätgas kan påverka utvecklingen i elsystemet samt inom olika sektorer. Det finns pågående och planerade arbeten vid Energimyndigheten inom flera av dessa områden.

Elproduktionen är endast en delmängd i att möjliggöra hela omställningen och i realiteten finns som tidigare nämnt ett nära samspel mellan produktion, efterfrågan, elnät och en

¹⁴⁶ European Commission. Critical raw materials. *European Commission*. Critical raw materials (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

effektivare energianvändning samt flexibilitet. Detta samspel och en ökande koppling mellan olika delar i energisystemet genom användning av el inom fler områden skapar ett bredare spektrum av utvecklingsvägar. I takt med att elsystemet blir en större del av energisystemet behöver fler möjliga utvecklingsvägar undersökas som fångar ett energisystemperspektiv och inte endast fokuserar på elproduktionen. Detta är också relevant för att kunna genomföra en analys med avseende på de energipolitiska pelarna som gäller energisystemet som helhet och inte specifikt elsystemet.

3.5.2 Solkraftens utveckling underskattas av många

Många scenarioarbeten som inkluderar modellering (från såväl IEA som Energimyndigheten) har haft svårt att fånga dynamiken och den snabba utvecklingen av solcells-marknaderna på kort sikt. Det finns många exempel från andra länder som visar på hur snabbt utvecklingen kan gå från obetydliga till betydande nivåer. Sverige befinner sig nu i ett läge där solkraft byggs ut i en skala som kan få betydelse för elsystemet som helhet. Med en liknande utveckling som den som skett de senaste åren kommer de nivåer av elproduktion från solkraft som bedömts möjliga på lång sikt i det här arbetet kunna uppnås redan innan 2030.

Varför det kan vara svårt att fånga solkraftens utveckling har framför allt att göra med att den snabba kostnadsutvecklingen lätt kan underskattas. Investeringen i en solcells-anläggning görs inte heller nödvändigtvis ur ett systemperspektiv. Det kan räcka med att anläggningen är lönsam under årets soliga period. Lönsamhetsbedömning av olika aktörer kan baseras på olika prissättning och tariffer för el, samt möjliga fördelar av till exempel egenanvändning av el. Det finns även andra drivkrafter och incitament (för exempelvis privatpersoner), som minskat beroende av köpt el, möjlighet till egen småskalig fossilfri elproduktion och lokal optimering tillsammans med olika former av lagring och flexibel elanvändning för ökad egenanvändning.

Energimyndigheten ser ett behov i att fördjupa förståelsen för solkraftens utveckling och förbättra sina analyser av hur den kommer att bidra till och påverka det svenska energisystemet. Det handlar om förbättrade underlag kring utvecklingen och drivkrafterna av såväl storskaliga solparker som decentraliserade lokala system och energigemenskaper där solceller är en delkomponent. Det är även viktigt att följa de initiativ som kommer från EU som syftar till att främja utvecklingen mot ett fossilfritt energisystem. Här finns flera förslag som kan komma att påverka utvecklingen för solkraften, exempelvis krav på installation på offentliga byggnader och implementering av direktiv för energigemenskaper.

3.5.3 Olika omvärldsfaktorer kan påverka utvecklingen i Sverige

Utvecklingen i Sverige är även starkt beroende av omvärldsfaktorer. Det gäller det europeiska elsystemet, gemensamma marknader och regelverk, samt Sveriges roll som importör och exportör i en globaliserad värld.

Sverige är en del av ett integrerat europeiskt elsystem. Det innebär en konstant transmission av el mellan länder. Utvecklingar inom elproduktion och efterfrågan på el i andra länder, samt deras strategier för en omställning till ett fossilfritt elsystem har därför en påverkan på utvecklingen i Sverige.

Även varor säljs och köps på en global marknad, där Sverige är både importör och exportör. Ett starkt beroende av import av vissa varor har potential att skapa flaskhalsar och utmaningar inom olika utvecklingsvägar för det svenska elsystemet. Ett exempel är råvaror, så som kritiska metaller och mineral som krävs för en utbyggnad av fossil-fri elproduktion, elnät, lagringsteknologier och liknande. Svenska aktörer och deras konkurrenskraft påverkas av marknaderna där de säljer sina produkter. Efterfrågan och prisnivåer på en global marknad har därför påverkan på möjligheterna för omställningen inom svensk industri och näringsliv. Sverige är en del av EU där det för närvarande pågår mycket arbete med att ta fram nya eller reviderade direktiv och förordningar som kan komma att påverka utbyggnaden av elproduktion samt omställningen till ett fossil-fritt samhälle i Sverige. Två av dessa är revideringen av förnybartdirektivet och förslag till förordningen om netto-nollindustri.

I det här arbetet har fokus framför allt varit på utvecklingsvägar i Sverige utifrån olika påverkansfaktorer inom landet. Det är viktigt att koppla analysen av utvecklingsvägar även till olika omvärldsfaktorer vilket det bör arbetas vidare med.

Flera arbeten som pågår inom EU påverkar Sverige

Det reviderade förnybartdirektivet (RED3) nådde den 30 mars en preliminär politisk överenskommelse.¹⁴⁷ Om RED3 når en slutgiltig överenskommelse finns en mängd artiklar som skulle komma att påverka såväl utbyggnad som generationsväxling av elproduktion i Sverige.¹⁴⁸ En av de mest centrala förändringarna är att områden ska utses där tillståndsprövsprocessen för förnybar elproduktion ska ske snabbare och enklare (renewables acceleration areas). Områdena ska utses av respektive medlemsstat och de ska kontrolleras i förhand så att inte en miljökonsekvensbeskrivning behöver göras för varje enskild produktionsanläggning inom området. Revideringen av RED3 innebär även att förnybar elproduktion ska behandlas som ett överordnat samhällsintresse i tillståndsprövningen. Detta skulle kunna innebära en utökad utbyggnad av förnybar elproduktion eftersom fler projekt lättare skulle få tillstånd.

Förslag till förordning om netto-nollindustri presenterades av EU-kommissionen den 16 mars 2023.¹⁴⁹ Förordningen är en del av EU-kommissionens lagstiftningspaket den gröna given¹⁵⁰, vars huvudsakliga syfte är att bidra till att uppnå klimatmålet om 55 procent minskade växthusgasutsläpp till 2030 jämfört med 1990. Netto-nollindustrin utgör, tillsammans med akten om kritiska råvaror¹⁵¹ och förslag till reform av EU:s

¹⁴⁷ European Commission. European Green Deal: EU agrees stronger legislation to accelerate the rollout of renewable energy. *European Commission*. 2023. Accelerate the rollout of renewable energy (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁴⁸ När en sådan slutgiltig överenskommelse har slutits har revideringen en stegvis implementeringstid där första implementeringen ska ha skett efter 18 månader, de första effekterna av revideringarna kan därför tidigast väntas år 2025.

¹⁴⁹ Europeiska kommissionen. Akten om nettonollindustri. *Europeiska kommissionen*. Akten om nettonollindustri (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁵⁰ Europeiska kommissionen. EU:s gröna giv. *Europeiska kommissionen*. EU:s gröna giv (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁵¹ Europeiska kommissionen. Akten om kritiska råvaror. *Europeiska kommissionen*. Akten om kritiska råvaror (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

elmarknadsdesign¹⁵², implementeringen av den gröna givens industriplan.¹⁵³ Syftet med en netto-nollindustri är att öka det europeiska energisystemets motståndskraft och självförsörjandegrad. Målet är att förbättra förutsättningarna för den inhemska produktionen av netto-nolltekniker och komponenter som är kritiska för omställningen av energisystemet. Netto-nollindustrin är därför EU:s svar på internationella satsningar som exempelvis Inflation Reduction Act i USA men också som svar på störningar i leveranskedjor till följd av pågående geopolitiska spänningar (som Rysslands invasionskrig mot Ukraina).

Ett möjligt hinder för en framtida storskalig expansion av utbyggnaden av elproduktion i Sverige är leverantörskedjorna för nödvändiga komponenter. Förordningen om netto-nollindustrin och övriga delar i den gröna givens industriplan kan bidra till att förbättra förutsättningarna för att en sådan utbyggnad ska vara möjlig. Exempelvis vill EU skala upp den Europeiska tillverkningen av vindkraftverk till 36 GW/år. En sådan utbyggnad av produktionskapacitet på EU-nivå kan dock föra med sig ett ytterligare behov av el inom EU. Utvecklingen är alltså avgörande för det framtida elbehovet.

¹⁵² European Commission. Electricity market design. *European Commission*. Electricity market design (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁵³ Europeiska kommissionen. Industriplanen för den gröna given. *Europeiska kommissionen*. Industriplanen för den gröna given (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

4 En ekologiskt hållbar, konkurrenskraftig och försörjningstrygg elförsörjning – Vägval, behov och åtgärder

Detta kapitel beskriver hur elektrifieringen och olika utvecklingsvägar kan påverka de energipolitiska pelarna; ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. Det kan finnas målkonflikter där avvägningar behöver ske, vilka har direkt eller indirekt påverkan på de energipolitiska pelarna. Det finns en utmaning i att balansera de energipolitiska pelarna och det är svårt att idag svara på vad som definieras som ett hållbart elsystem 2050. Detta kommer vara resultatet av en lång rad beslut vid olika vägval där riktningen vid dessa vägval kommer ha olika påverkan på de tre pelarna. Vägvalen påverkas bland annat av de hinder som finns för en storskalig utbyggnad av elproduktionen. Det här kapitlet beskriver de behov och åtgärder som har identifierats i arbetet för att röja hinder.

4.1 Att balansera de energipolitiska pelarna

Den svenska energipolitiken bygger på samma tre grundpelare som energisamarbetet inom EU och syftar till att förena *försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet*. Energipolitiken ska skapa villkor för en effektiv och hållbar energianvändning och en kostnadseffektiv svensk energiförsörjning med låg negativ påverkan på hälsa, miljö och klimat samt underlätta omställningen till ett ekologiskt hållbart samhälle. För att nå upp till målen är det viktigt att det finns en förståelse för innebörden av de tre pelarna samt hur de förhåller sig till och är beroende av varandra, särskilt i ljuset av den omställning vi står inför. Framtidsscenarier är ett sätt att utvärdera vilken påverkan olika framtida elsystem har på de energipolitiska pelarna. Samtidigt ska man vara medveten om att scenarier har begränsningar eftersom det inte är möjligt att fånga alla möjliga utvecklingsvägar. Det scenarierna ger oss är däremot indikationer och förståelse för vad olika utvecklingsriktningar kan ha för inverkan på de tre pelarna. Omställningen kommer även att ske stegvis och hur ett framtida elsystem balanserar mellan de tre energipolitiska pelarna kan se mycket olika ut beroende på de beslut som fattas på vägen. I rutan nedan ges en beskrivning av de olika energipolitiska pelarna.¹⁵⁴

¹⁵⁴ Energimyndigheten (2023), Energiindikatorer 2023, ER 2023:15.

Försörjningstrygghet

Försörjningstrygghet är som tidigare nämnt ett brett begrepp som framför allt handlar om energisystemets kapacitet, flexibilitet och robusthet att leverera energi i önskad omfattning i tid och rum enligt användarnas behov, till en accepterad kostnad. Begreppet innefattar också diversifiering av energimix, dvs. att undvika ett ensidigt beroende av energibärare från instabila länder eller regioner. Det innebär också att leveranssäkra och diversifierade distributionskedjor och tillräckligt utbyggd energiinfrastruktur. Försörjningstrygghet handlar om att förebygga och lindra negativa konsekvenser för samhälle och energi-användare som uppkommer på grund av störningar och avbrott i energiförsörjningen. Detta uppnås genom robusta försörjningskedjor och en välplanerad och övad krishanteringsförmåga i vardag, vid kris samt inför och under höjd beredskap. För elsystemet är, förutom energi, tillgången till effekt avgörande och en ansträngd effektbilans skulle i dagsläget kunna påverka försörjningstryggheten negativt.

Konkurrenskraft

Konkurrenskraft handlar om hur svenska företags marknadsandelar och positioner ser ut på en nordisk, europeisk och internationell marknad. Med konkurrenskraft inom energiområdet avses också en välfungerande konkurrens på energimarknaderna som leder till effektiv prisbildning och ett effektivt resursutnyttjande. Konkurrenskraft hanteras främst inom näringspolitiken där målet är att stärka den svenska konkurrenskraften och skapa förutsättningar för fler jobb i fler och växande företag. Kopplat till målet finns tre delmål:

- Ramvillkor och välfungerande marknader som stärker företags konkurrenskraft.
- Stärkta förutsättningar för innovation och förnyelse.
- Stärkt entreprenörskap för ett dynamiskt och diversifierat näringsliv.

Ekologisk hållbarhet

När det kommer till ekologisk hållbarhet hanteras det främst inom den svenska miljöpolitiken och följaktligen genom Sveriges miljömålssystem. Sveriges miljömål är riktmärken för det nationella miljöarbetet. Energiförsörjning påverkar alla miljö kvalitetsmål, men i olika stor omfattning. Till följd av att energiförsörjningen står för en stor del av Sveriges växthusgasutsläpp påverkar energiförsörjningen främst miljö kvalitetsmålet *Begränsad klimat-påverkan*. Andra miljö kvalitetsmål som energiförsörjningen har en betydande påverkan på är bland annat *Frisk luft*, *God bebyggd miljö*, *Bara naturlig försurning*, *Giftfri miljö* och *Levande sjöar och vattendrag*. Den oönskade miljö påverkan bör vara låg i ett långsiktigt tillförlitligt och hållbart energisystem.

Elektrifieringen i sig kan komma att bidra positivt till samtliga energipolitiska mål. Drivkrafterna för elektrifieringen motiveras av att uppnå *ekologisk hållbarhet* genom minskade utsläpp och en utfasning av fossila bränslen. Samtidigt är *konkurrenskraft* en stark drivkraft för elektrifieringen där många företag ser en övergång till fossilfri produktion som ett måste för bibehållen konkurrenskraft och en förutsättning för nyetablering av verksamheter. Elektrifieringen är även positivt för *försörjnings-tryggheten* eftersom beroendet av fossila bränslen i samhället minskar. Eftersom Sveriges behov av fossila bränslen helt tillgodoses genom import, innebär en minskad import en minskad prisrisk och mindre sårbarhet för störningar.



Figur 23. Energipolitikens grundpelare: Ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Källa: Energimyndigheten (2023).¹⁵⁵

I ett framtida elektrifierat samhälle kommer vi däremot ställas inför nya utmaningar med kopplingar till de energipolitiska pelarna. En omfattande utbyggnad av elsystemet gör att mer mark behöver tas i anspråk vilket kan påverka den *ekologiska hållbarheten*, samtidigt kan en mer decentraliserad och geografisk utspridd elproduktion bidra till att öka *försörjningstryggheten*. Omställningen kommer även innebära ett ökat behov av nya råvaror med de metaller och mineral som krävs för utbyggnad av ny elproduktion och batterier inom transportsektorn, vilket kan påverka såväl *ekologisk hållbarhet* som *försörjningstrygghet*. I och med att el blir en betydande insatsvara för företagen blir tillgång till el till konkurrenskraftiga priser och leveranssäkerhet viktigt för *konkurrenskraften*. Många svenska industriföretag ser elektrifieringen av sina processer som avgörande för att även i framtiden vara konkurrenskraftiga. Tillgång på kompetens är även det avgörande för *konkurrenskraften* då elektrifiering sker på global nivå.

Vägvalen kommer avgöra hur framtidens elsystem ser ut

Elektrifieringen innebär en stor strukturell samhällsomställning där flera sektorer förändras i grunden. För att möjliggöra denna omställning behöver vi känna till de utmaningar och vägval vi kommer ställas inför samt förstå konsekvenserna av de olika vägval som görs. Framtidens elsystem kommer vara resultatet av en lång rad beslut av såväl politik som av marknadsaktörer. I dessa beslut kommer det krävas avvägningar och prioriteringar mellan olika samhällsmål. Det är därför viktigt att aktörer på alla nivåer är medvetna om konsekvenserna av att välja en viss riktning.

En välfungerande marknad och incitament är en central förutsättning för att uppnå ett elsystem som balanserar de tre energipolitiska pelarna. För en välfungerande marknad är det nödvändigt att prissignaler når fram till aktörerna och att det finns kunskap, tekniska förutsättningar och regelverk som möjliggör investeringar samt att strukturella hinder

¹⁵⁵ Energimyndigheten (2023), Energiindikatorer 2023 – Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål, ER 2023:15.

undanröjs. En långsiktighet i den politiska styrningen är i sin tur efterfrågat av aktörerna eftersom det i huvudsak är vinstdrivande företag på en internationellt konkurrensutsatt marknad som genomför de flesta investeringarna inom industrin och elsektorn, vilka efterfrågar förutsägbarhet för sina investeringar. Samtidigt som en långsiktig politisk styrning har betydelse för marknaden behöver det finnas möjlighet till anpassningar utifrån nationella mål, regelverk och samhällsbehov.

Inom det här arbetet har ett antal behovs- och åtgärdsområden identifierats i syfte att röja hinder för en storskalig utbyggnad av elproduktion. Olika åtgärder kommer påverka de energipolitiska pelarna i olika riktningar och utmaningen ligger i att balansera mellan de tre målen. För möjliggöra för de prioriteringar och avvägningar som kommer att behöva göras mellan olika samhällsintressen behövs en gemensam vision om samhällsomställningen och i vilken riktning vi ska. I Figur 24 ges en översikt och kort beskrivning av de identifierade behovs- och åtgärdsområdena, samt visionen och de energipolitiska pelarna.

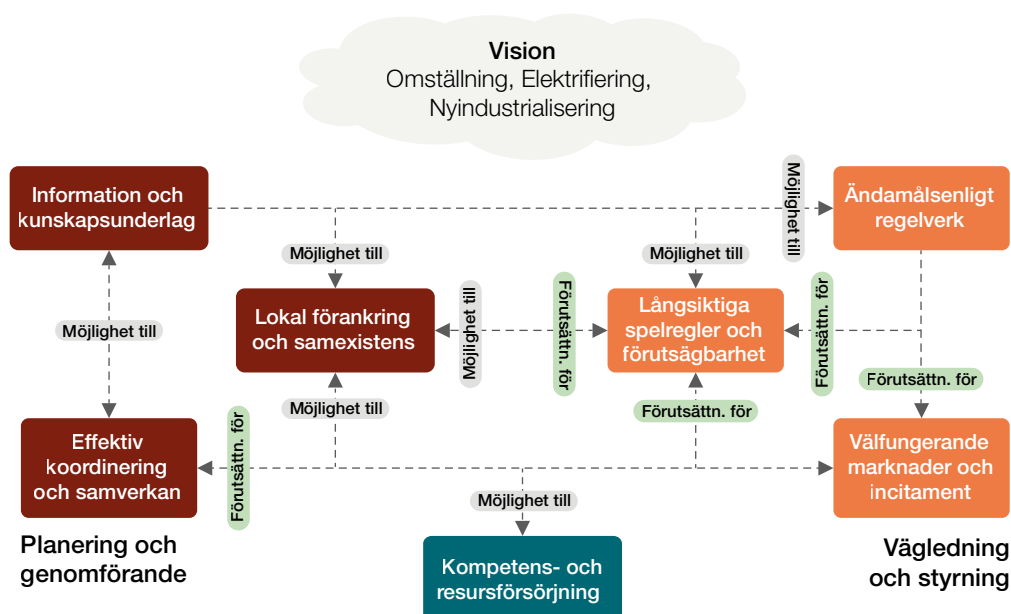


Figur 24. Identifierade behovs- och åtgärdsområden för en storskalig utbyggnad av elproduktionen, de energipolitiska pelarna och visionen om en energi- och klimatomställning, elektrifiering och nyindustrialisering.

4.2 Behovs- och åtgärdsområden för en storskalig utbyggnad av elproduktionen

I kapitel 2 beskrevs generella förutsättningar som behöver komma på plats för att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktion oavsett utvecklingsväg. Där belystes även de mest väsentliga drivkrafterna och förutsättningarna för olika kraftslag och utifrån detta analyserades och jämfördes fyra olika utvecklingsvägar i kapitel 3. Med utgångspunkt i utvecklingsvägarna har ett antal behov och åtgärder inom olika områden identifierats i syfte att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktionen och därmed även omställningen till ett fossilfritt och elektrifierat samhälle. Flera behov och åtgärder som tas upp täcks också in av redan pågående relevanta processer. Det finns en nära

relation och komplext samband mellan dessa områden och en åtgärd inom ett område kan skapa möjligheter eller förutsättningar för ett annat. Relationen mellan områden beskrivs i Figur 25.



Figur 25. Beskrivning av relationen mellan olika behovs- och åtgärdsområden.

4.2.1 *Komplexa förändringar och storskaliga investeringar kräver långsiktiga spelregler och förutsägbarhet*

Långsiktiga spelregler och förutsägbarhet är viktiga för de aktörer som ska investera i ny elproduktion. Det har en avgörande betydelse då komplexiteten i den systemomvälvande förändring vi står inför medför osäkerheter i kombination med omfattande behov av investeringar. Generellt kräver en ökad elektrifiering, utfasning av fossila bränslen, utbyggnad av elproduktion en långsiktig stabilitet och en tydlig målsättning för Sveriges omställning. Frekventa politiska svängningar i energipolitiken skapar ett osäkert investeringsklimat. Det är viktigt att skapa förutsättningar på lång sikt som genomsyras av teknikneutralitet för att möjliggöra för alla fossilfria kraftslag som kan bidra till en hållbar elförsörjning. Lärdomar för ökad långsiktighet i energisektorn kan dras från andra områden där långsiktig stabilitet efterfrågats, såsom inom pensionsystemet och klimatramverket. Även när elproduktionen byggdes ut historiskt, vattenkraften och kärnkraften under 1900-talet, så fanns en långsiktighet inom energisektorn, däremot skedde investeringarna på helt andra premisser än idag.

Betydelsen av långsiktig stabilitet är särskilt viktig för kapitaltunga investeringar med lång livslängd, som investeringar i ny kärnkraft. Höga investeringskostnader, lång livslängd och lång återbetalningstid innebär ett risktagande om den långsiktiga riktningen inom energipolitiken inte är entydig. Det samma kan även gälla för storskalig havsbaserad vindkraft vilket är en ny typ av utbyggnad av elproduktion i Sverige. En elproduktion som även den har relativt stora initiala etableringskostnader.

Tabell 4. Behov och åtgärder för att underlätta komplexa förändringar och storskaliga investeringar.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Det finns ett behov av en enad energipolitik och en långsiktig viljeinriktning och ambition för hur marknaden ska fungera för att nå de energipolitiska målen. En tydligare målinriktad politisk styrning och planering är viktig för de avvägningar och prioriteringar som kommer behöva göras.	Långsiktiga förutsättningar med en bred politisk förankring är av betydelse för utbyggnaden av alla kraftslag. Extra tydligt är det för exempelvis investeringar kärnkraft där politisk risk är starkt förknippat med kostnaderna. För utbyggnaden av elnät är det viktigt att det finns tydliga budskap från politiker på nationell, regional och lokal nivå att elnätet behöver byggas ut. Långsiktiga förutsättningar är också viktigt för att bibehålla existerande investeringsvilja i vindkraft och därmed tillgång till kapital nationellt och från utlandet.	Regeringen/riksdag [Regeringen aviserade i vår- ändringsbudgeten ¹⁵⁶ att de avser återkomma med en energipolitisk inriktningsproposition till hösten 2023]
Kärnkraft		
Bred energipolitisk överenskommelse kopplat till kärnkraften. Översyn av energipolitiska målen.	Ny kärnkraft innebär stora och långsiktiga investeringar som sträcker sig över många mandatperioder. Här krävs långsiktig samsyn kring mål och riktning.	Regeringen/riksdag [Tidöavtalet och förslag till nytt energipolitiskt mål om 100 procent fossilfri elproduktion i vårändringsbudgeten]
Solkraft		
Nationell vägledning i planering och tydligare politiska avvägningar kring solkraftens roll i elsystemet.	Förutsägbarhet av befintliga och eventuellt kommande stöd, samordning mellan olika styrmedel. Tydliga budskap nationellt kopplat till EU:s strategi för solenergi.	Regeringen/riksdag
Vattenkraft		
Instruktion till länsstyrelserna att verka för att ökad effekt och flexibilitet beaktas i samverkan inför omprövning av vattenkraftens miljövillkor.	Detta gäller förutsättningar för effektutbyggnad, ökad flexibilitet och översyn av vattenhushållningsbestämmelser som begränsar vattenkraftens förmåga att ta tillvara nuvarande och ökat tillrinning som följd av klimatförändringar med bibehållen dammsäkerhet. Tydliga signaler uppmuntrar länsstyrelserna och verksamhetsutövarna till ett helhetsgrepp i samband med omprövning.	Regeringen [Nationell plan för moderna miljövillkor för vattenkraften ¹⁵⁷]

¹⁵⁶ Regeringen 2023, 2023 års ekonomiska vårproposition, Prop. 2022/23:100.

¹⁵⁷ Havs- och vattenmyndigheten. Regeringens beslut och prövningsgrupper. *Havs- och vattenmyndigheten*. 2023 Regeringens beslut och prövningsgrupper – Nationell plan för omprövning av vattenkraft – Arbete i vatten och energiproduktion – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se) (Hämtad 2023-06-02)

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Tydliga direktiv om tillvägagångssätt för Natura 2000-tillstånd inom ramen för omprövning för moderna miljövillkor.	Det råder idag otydlighet kring Natura 2000-tillstånd i samband med omprövning för moderna miljövillkor. Otydlighet kring process skapar osäkerhet som kan göra att verksamhetsutövaren avstår från förändring av verksamhet. Ett förtydligande är dock inte en förutsättning för att värna befintlig vattenkraft.	Regeringen eller Havs- och vattenmyndigheten
Vindkraft (havsbaserad)		
Styrande statlig planering och tydligare politiska avvägningar.	Staten bör underlätta för politiska avvägningar mellan intressen och en starkare mer förutsägbar nationell planering. Detta omfattar allt från kortsiktig hantering av avvägningar i aktuella tillståndsärenden till att mer långsiktigt utveckla regelverk och tillståndsprocess (se åtgärdsförslag under Målkonflikter och Regelverk nedan). Ett första steg mot detta har tagits i och med att Regeringen tillsatte en utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft. ¹⁵⁸ Det är viktigt att de förslag som utredningen tar fram snabbt omsätts i lag.	Regeringen [Tillståndsärenden havsbaserad vindkraft, Havsplaneprocessen] [En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft ¹⁵⁹]

4.2.2 Välfungerande marknader och incitament är en grundförutsättning för en hållbar elförsörjning

Välfungerande marknader och incitament är en grundförutsättning för utbyggnaden av elproduktion samt för att skapa ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Ur ett försörjningstrygghetsperspektiv är en förutsättning att energimarknaderna fungerar väl så att samhällets efterfrågan på energi kan tillgodoses årets alla timmar och att det finns incitament för att bygga ut systemet för att skapa redundans och robusthet. På en välfungerande marknad bör även miljöpåverkan prissättas, alternativt regleras, för att miljöåtgärder ska kunna konkurrera på marknaden och bidra till minskad miljöbelastning. I takt med att energisystemet förändras kan en kontinuerlig översikt av marknadsstrukturen och incitament vara viktigt för att energimarknaderna ska utvecklas så effektivt som möjligt. I ett hållbart energisystem bör alla positiva och negativa effekter internaliseras i prissättning eller i regelverk. Sker det på en välfungerande marknad med långsiktiga spelregler och prissignaler som når fram till aktörer, skapas starka incitament för att nå de energipolitiska målen

¹⁵⁸ Regeringskansliet. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02)

¹⁵⁹ Regeringskansliet. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02) Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se

Sverige har en väl fungerande elmarknad som avspeglar utbud och efterfrågan av el. Däremot finns ett behov av att utveckla marknader för flexibilitet och kraftsystemsstabilitet för att utöka den fulla potentialen för elproduktionen från alla kraftslag. Variabla kraftslag såsom vind- och solkraft skulle kunna bidra med viss flexibilitet om förutsättningarna på balansmarknader anpassades. På samma sätt kan införande av marknader för nya stödtjänster, exempelvis rotationsenergi och reaktiv effekt, förbättra förutsättningarna för exempelvis kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme men även andra kraftslag med nödvändig installerad kraftelektronik.

Tillgång till marknader och ekonomiska incitament är en förutsättning för att främja efterfrågefleksibilitet och användandet av energilager. Idag finns det inte prissignaler som i tillräcklig utsträckning reflekterar kapacitetsbehoven lokalt och regionalt. För att utnyttja potentialen för flexibilitet på bästa sätt, behöver de finansiella incitamenten vara kopplade till när en förändring av efterfrågemönstren är av mest värde, samt vara tillgängliga för olika aktörer. Tidsvarierande elpriser är ett exempel på avtalsform som idag används av en liten del av alla slutkunder av el.¹⁶⁰ Speciellt för små aktörer kan tillgång till marknader för att ta del av ekonomiska incitamenten utgöra ett hinder. Lösningar så som lokala flexibilitetsmarknader eller aggregering av flera kunder behöver därför vidareutvecklas för att koppla flexibilitet till ett finansiellt värde. Aktörer såsom industrier är i behov av att kunna leverera sina produkter till konkurrenskraftiga priser, vilket gör ekonomiska förutsättningar viktiga för att kunna utnyttja flexibilitetsresurser inom industrisektorn. En välfungerande marknad leder även till incitament för mer långsiktiga effektiviseringsåtgärder.

Det pågår arbeten för att utveckla elmarknaden. Svenska kraftnät utreder till exempel nya marknader för stödtjänster med syftet att fler aktörer ska kunna bidra med nyttor till elsystemet och kunna delta på befintliga marknader för frekvensreglering. Bland annat pågår en pilotstudie för att göra det möjligt att delta med mindre bud på frekvensmarknaden.¹⁶¹ Ytterligare en pilotstudie startade under 2022 som syftar till att utveckla stödtjänster från variabel¹⁶² produktion och användning, samt en studie om hur energilager¹⁶³ kan bidra med resurser för stödtjänster. Dessutom pågår tester för och utveckling av lokala flexibilitetsmarknader.¹⁶⁴ Sammantaget finns det nationella projekt som kan öppna för fler och nya aktörer att leverera stödtjänster till elsystemet. Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen, Energimyndigheten och Swedac har augusti 2022 fått i uppdrag att utveckla förutsättningarna för att realisera potentialen för flexibilitet

¹⁶⁰ 11,2 procent enligt officiell statistik för april 2023: Fördelning av avtal på olika avtalstyper (scb.se).

¹⁶¹ Svenska kraftnät. Pilotstudie: Sänkt budstorlek för mFRR. *Svenska kraftnät*. 2023. Pilotstudie: Sänkt budstorlek för mFRR | Svenska kraftnät (svk.se) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁶² Svenska kraftnät. Pilotstudie: Leverans av stödtjänster från resurser med variabel produktion eller förbrukning. *Svenska kraftnät*. 2023. Pilotstudie: Leverans av stödtjänster från resurser med variabel produktion eller förbrukning | Svenska kraftnät (svk.se) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁶³ Svenska kraftnät. Pilotstudie: Ökad leverans av stödtjänster från energilager. *Svenska kraftnät*. 2023. Pilotstudie: Ökad leverans av stödtjänster från energilager | Svenska kraftnät (svk.se) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁶⁴ Svenska kraftnät. Lokala flexibilitetsmarknader. *Svenska kraftnät*. 2023. Lokala flexibilitetsmarknader | Svenska kraftnät (svk.se) (Hämtad 2023-06-02)

i elsystemet.¹⁶⁵ De första fyra deluppgifterna har redovisats vår 2023¹⁶⁶, slutredovisningen sker december 2023.

Energimyndigheten finansierar forskning och innovation för att utveckla elmarknaden och denna har lett och leder till ökad kunskap och även byggandet av kompetens i samhället för att vara bättre rustade att hänga med i de förändringar som nu sker. Förändringar som sker både internationellt och nationellt och som gör att nya aktörer kliver in på elmarknaderna samtidigt som etablerade aktörer får delvis nya roller. Denna förändringsprocess ändrar förutsättningarna för aktörer och funktioner på elmarknaderna och det ställer nya krav på ett flexibelt, robust och leveranssäkert system. Energimyndigheten ser ett fortsatt behov av forskning och innovation som studerar och bidrar till att utveckla välfungerande marknader och riktlinjer.

Begreppet välfungerande marknad innefattar inte enbart den nationella marknaden, då Sverige är en del av den europeiska elmarknaden. Inom EU pågår arbete med att reformera utformningen av den gemensamma elmarknaden. Kommissionens förslag¹⁶⁷ som presenterades den 14:e mars 2023 syftar bland annat till att snabba på andelen förnybar energi och utfasningen av naturgas, skydda konsumenterna mot framtida pristoppar och stärka konkurrenskraften hos EU:s industri.

Tabell 5. Åtgärder för välfungerande marknader och ökade incitament.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Finansiering av forskning och innovation inom elmarknadsområdet.	Elmarknadsforskning stöts för att bygga kunskap och kompetens för att utveckla elmarknaden, olika marknadsmodeller, ökad förmåga till flexibilitet och stabilitet i elsystemet. Från grundläggande studier av marknadsförutsättningar till test och pilotverksamhet i samverkan med berörda aktörer.	Energimyndigheten i samarbete med Svenska kraftnät och Energimarknadsinspektionen och andra aktörer i innovations-systemet.
Kontinuerlig översyn av marknadsstrukturen och incitament.	Det är viktigt att kontinuerligt se över marknadsstrukturer och incitament för att möjliggöra en utbyggnad med hänsyn till de energipolitiska målen. Till exempel behöver även externa effekter prissättas så som miljöpåverkan och påverkan på försörjningstrygghet för att uppnå en välfungerande marknad.	Regeringen/riksdag [Pågående arbeten på EU-nivå]

¹⁶⁵ Regeringen, Uppdrag att främja ett mer flexibelt elsystem, Diarienummer: I2022/01578. Uppdrag att främja ett mer flexibelt elsystem – Regeringen.se

¹⁶⁶ Energimarknadsinspektionen. Många åtgärder föreslås för att främja flexibilitet i elsystemet. *Energimarknadsinspektionen*. 2023. Regeringsuppdrag överlämnat: Många åtgärder föreslås för att främja flexibilitet i elsystemet – Energimarknadsinspektionen (ei.se) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁶⁷ Regeringen, Faktapromemoria 2022/23:FPM73 – En reform av EU:S elmarknadsdesign FAKTAPM_APP (regeringen.se) (Hämtad 2023-06-02)

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Möjliggör och förbättra/förenkla tillgång till olika stödtjänstmarknader för olika resurser. ¹⁶⁸	Dagens stödtjänstmarknader är fortfarande till hög grad anpassade efter vattenkraften och gör det svårt för vissa resurser att delta. Detta gäller till exempel olika flexibilitetsresurser, vindkraft, solkraft och kraftvärme.	Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen [Pågående arbeten på Svenska kraftnät] ¹⁶⁹
Översyn av ersättning för systemtjänster/nya marknader.	Ett införande av nya marknader och översyn av befintliga för att ge ersättning för exempelvis reaktiv effekt och rotationsenergi kan behövas för att säkerställa ett försörjningstryggt och robust elsystem. Elmarknadens förutsättningar att prissätta effekt kan förbättra förutsättningarna för exempelvis kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme. Alternativt annan elproduktion med rätt kraftsystemelektronik. Dessa är relativt kapitaltunga och långsiktiga investeringar. Med ersättning för elsystemsnyttor ökar kraftslagets konkurrenskraft. Svenska kraftnät har presenterat början på ett förslag till kapacitetsmekanismer som bör följas upp.	Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen, Energimyndigheten [Pågående arbeten på Svenska kraftnät] ¹⁷⁰
Flexibilitet		
Se över tariffstruktur, effektabonnemang samt förutsättningarna för villkorade abonnemang.	Översyn av tariff- och abonnemangsutformning för att möjliggöra effektiv utbyggnad och utnyttjande av nätinfrastuktur.	Svenska kraftnät, Energi-marknadsinspektionen [Se tidigare förslag från Svenska kraftnät ¹⁷¹ och Energimarknadsinspektionen ¹⁷²]
Standardisering av marknadsplatser för flexibilitet.	Ett gemensamt tydligt ramverk för flexibilitetsmarknader underlättar att delta på marknader för nätföretag samt flexibilitetsleverantörer.	Svenska kraftnät, nätbolag [Se tidigare förslag från Svenska kraftnät ¹⁷³]
Förtydliga och förenkla regler kring balansansvar, BSP- och aggregatorrollen.	Tydliga regelverk kring dessa förenklar för mindre aktörer att tillhandahålla flexibilitetsresurser.	Svenska kraftnät, Energi-marknadsinspektionen [Se tidigare förslag från Svenska kraftnät ¹⁷⁴]

¹⁶⁸ Se mer detaljerade åtgärdsförslag gällande stödtjänstmarknader i Svenska kraftnäts *Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet*, Ärende nr: Svk 2022/2276.

¹⁶⁹ Svenska kraftnät (2021), Stödtjänster och avhjälpande åtgärder i ett energisystem under förändring, Svk 2021/4162.

¹⁷⁰ Ibid.

¹⁷¹ Se mer detaljerade åtgärdsförslag gällande Tariff- och abonnemangsutformning i Svenska kraftnäts *Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet*, Ärende nr: Svk 2022/22768.

¹⁷² Energimarknadsinspektionen publicerade i april 2023 en rapport i syfte att vägleda elnätsföretagen och branschens aktörer gällande regelverket för villkorade avtal. Slutsatsen från rapporten är att marknadsbaserade mekanismer ska användas i första hand och villkorade avtal bedöms inte vara en marknadsbaserad mekanism. Energimarknadsinspektionen gör bedömningen att villkorade avtal kan vara en effektiv metod när marknadsbaserade mekanismer inte räcker till eller saknas.

¹⁷³ Se mer detaljerade åtgärdsförslag gällande Flexibilitetsmarknader i Svenska kraftnäts *Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet*, Ärende nr: Svk 2022/2276.

¹⁷⁴ Ibid.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Säkerställ att korrekta prissignaler når slutkunderna.	Ändra bestämmelser som motverkar att korrekta prissignaler och prissättning av flexibilitet når kunden. Nätföretagen bör utforma kostnads-reflektiva tariffer så att kunderna nås av korrekta prissignaler.	Energimarknadsinspektionen, Nätföretag [Se tidigare förslag från Energimarknadsinspektionen ¹⁷⁵¹⁷⁶]
Kraftvärme		
Långsiktiga kontrakt när det gäller upphandling av stödtjänster underlättar för företagen att investera långsiktigt i den utrustning och anpassning som behövs.	Att Svenska kraftnät ser över möjligheten till längre upphandlingsintervall för stödtjänster.	Svenska kraftnät [Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi ¹⁷⁷]
Kärnkraft		
Översyn av avgiftsnivåer för tillståndsansökan och hantering av kärnavfall – för ny kärnkraft och nya aktörer.	Avgiftsnivåerna är desamma oavsett reaktorstorlek eller typ, vilket kan utgöra ett finansiellt hinder vid de situationer då exempelvis flera SMR ska anläggas vid samma plats. Finansiering av hantering av använt kärnbränsle och kärnavfall – nya aktörer.	Strålsäkerhetsmyndigheten, Riksgälden [Behov lyfts i delredovisningen av SSM:s regeringsuppdrag "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]

4.2.3 Regelverk kan behöva ses över för att möjliggöra en storskalig utbyggnad

Utöver långsiktighet i den politiska styrningen och marknadsmässiga förutsättningar är även reglering styrande för hur elproduktionen byggs ut. Idag finns det flera regulatoriska faktorer som påverkar utbyggnaden. Till exempel är den vanligaste orsaken för att landbaserad vindkraft får avslag på tillståndsansökningar brist på kommunal tillstyrkan och påverkan på andra intressen, såsom renskötsel, försvaret och naturvård.¹⁷⁸ Regelverket kring havsbaserad vindkraft är outvecklat och kommer möta liknande hinder som för landbaserad vindkraft avseende påverkan på andra intressen. Ny kärnkraft, såväl storskalig som småskalig, kringgärdas av olika regelverk som påverkar förutsättningarna för utbyggnad. Miljöbalken innebär idag en begränsning för utbyggnad av ny kärnkraft vad avser antal och lokalisering av reaktorer. Det krävs även en översyn om nuvarande lagstiftning och föreskrifter för tillståndsprövning är tillämplig för nya reaktortekniker på nya platser. Systemet för hantering av kärnavfallet behöver anpassas om ny kärnkraft ska byggas och om det är nya aktörer som ska driva den. Vattenkraftens produktionskapacitet och potential för effekthöjningar kan påverkas av de pågående processerna att förse kraftverken med moderna miljötillstånd. Kraft- och fjärrvärmens konkurrenskraft påverkas

¹⁷⁵ Se även Energimarknadsinspektionens förslag för åtgärder i *Konsumenter och efterfrågeflexibilitet*, Ei R2023:04.

¹⁷⁶ Se även Energimarknadsinspektionens förslag för åtgärder i *Flexibilitet i distributionsnäten*, Ei R2023:05.

¹⁷⁷ Energimyndigheten 2023, *Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi*, ER 2023:14.

¹⁷⁸ Energimyndigheten (2022), *Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30*, ER 2022:16.

bland annat av utformningen av byggreglerna. Solparker kan hindras av exempelvis målkonflikter vid etablering på jordbruksmark där regelverket är relativt outvecklat.

En förutsättning för att klara en storskalig utbyggnad av elproduktion och tillhörande infrastruktur på relativt kort tid, är att det finns regelverk och processer som är ändamålsenliga i en tid av snabb förändring. Det kan till exempel handla om standardiserade förfaranden eller tydliga vägledningar i syfte att underlätta de avvägningar mellan intressen som kommer att krävas. Exempelvis är miljöbalken till stor del inriktad på bevarande och trädde i kraft under tid med relativt låg investeringstakt i industri och infrastruktur. Omställningen av energisystemet kommer medföra ett behov av stora förändringar i snabb takt och regelverk behöver utformas så att de i större utsträckning tolererar förändring och påverkan. Det är också viktigt att undvika specialbestämmelser för att hindra specifika kraftslag, samt utveckla processer och lagstiftning där det finns stora behov så som för havsbaserad vindkraft och kärnkraft.

Den pågående revideringen av förnybartdirektivet (RED3) och de förordningar som tillsammans utgör den gröna givens industriplan kan medföra ett behov av att se över det svenska regelverket vid implementering av direktiven nationellt. Om förslaget om accelerationsområden i förnybartdirektivet beslutas kan det medföra förändringar inom tillståndprocessen för förnybar elproduktion, exempelvis lättas kraven på miljökonsekvensbeskrivning, då accelerationsområdena ska utses och kontrolleras av medlemsstaten i förhand. Den nuvarande regleringen inom miljöbalken kan i det hänseendet vara ett hinder för en snabb utbyggnad av elproduktion inom potentiella accelerationsområden.

Tabell 6. Åtgärder och behov av översyn kring regelverk.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
En generell översyn av Miljöbalken i syfte att öka takten i omställningen till ett mer hållbart samhälle.	Det kan komma ett behov för översyn av Miljöbalken vid implementering av ny EU-lagstiftning (RED3) vilket bör samordnas med en bredare översyn. Exempelvis kan det vara lämpligt att i vissa avseenden införa möjligheten att beakta klimatperspektivet i prövning enligt miljöbalken, vilket föreslogs i SOU 2022:21 Rätt för klimatet.	Regeringen
Elnät		
Översyn av hantering av överklagan inom nätutvecklingsprocessen.	Frågan om överklaganden av beslut inom nätutvecklingsprocessen bör utredas särskilt med avseende på vem som kan överklaga de olika besluten, antalet instanser och krav på prövningstillstånd samt vem som ska bära rättegångskostnader.	Energimarknadsinspektionen, Lantmäteriet, Länsstyrelserna, Regeringen [Se tidigare förslag från Energimarknadsinspektionen] ¹⁷⁹

¹⁷⁹ Energimarknadsinspektionen(2023), Kortare ledtider för elnätsutbyggnad – Utveckla arbetssätt och parallella processer, Ei E2023:09.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Flexibilitet		
Översyn och anpassning av regelverk för att möjliggöra alla former av flexibilitet.	Dagens regelverk bygger mycket på användning och produktion av el. Detta kan behöva ses över för att möjliggöra för bland annat energilagring. ¹⁸⁰	Energimarknadsinspektionen
Standardiserade protokoll för produkter som kan stötta elsystemet med efterfrågeflexibilitet, såsom värmepumpar, elbilsladdare och batterier	Energimyndigheten avser att tillsammans med andra aktörer fortsätta arbetet med att driva öppna och gärna standardiserade protokoll för dessa produkter.	Energimyndigheten och andra berörda aktörer [Se tidigare förslag av Energimyndigheten] ¹⁸¹
Utredning av säkerhetskrav och protokoll som behöver utvecklas med en ökad digitalisering och smart styrning i energisektorn	Utredning samt översyn av regelverk inom IT-säkerhet och dataskydd i samband med digitalisering och ökat tillgång till olika data.	Energimyndigheten och andra berörda myndigheter
Kraftvärme		
Ökade möjligheter för kylning i vattendrag skulle öka kraftvärmens förmåga till flexibilitet och därmed elproduktion	Harmonisering och översyn av reglerna kring kylning i vattendrag med syfte att öka elproduktionspotentialen när fjärrvärmenätet inte kan kyla.	Länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Energimyndigheten. [Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi] ¹⁸²
Ökad kondensdrift	Dispens för ökad kondensdrift kan ge ökad elproduktion när det är ansträngt.	Länsstyrelserna, Naturvårdsverket, Energimyndigheten [Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi]
Långa ledtider	Energimyndigheten förslår att en anmälan i stället för en ansökan om nytt miljötillstånd skulle vara tillräcklig för mindre åtgärder i syfte att öka elproduktion, exempelvis installationer av ORC-turbiner.	Regeringen, Länsstyrelserna [Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi]
Teknikneutral marknad	Översyn av byggreglerna och viktningsfaktorerna för fjärrvärme och el för att säkerställa teknikneutralitet.	Boverket, Energimyndigheten [Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi]
Kärnkraft		
Ta bort miljöbalkens begränsningar vad avser antal och platser för ny kärnkraft i 17 kap. 6a§.	Nuvarande bestämmelse innebär att max 10 reaktorer kan finnas i drift samtidigt på de platser där reaktorer finns i drift idag.	Regeringen/riksdag [Regeringens promemoria "Ny kärnkraft i Sverige- ett första steg"]

¹⁸⁰ Det finns idag bland annat en otydlighet kring hur tillsynen ska gå till avseende att nätbolag inte får äga, utveckla, förvalta eller driva energilagransanläggningar. Jämfört med hur lagarna för elproduktionsverksamhet regleras för nätbolag, som handlar om hur en koncern får drivas som innehåller både elproducerande bolag samt ett som bedriver energiproduktionsverksamhet. Det handlar bland annat om hur korssubventionering ska förhindras, övervakningsplaner ska bedrivas samt att personer i styrelse/firmatecknare m.m. inte får vara desamma i båda bolag.

¹⁸¹ Se även Energimyndighetens förslag för åtgärder i *Smart styrning av elanvändning*, ER 2023:13.

¹⁸² Energimyndigheten 2023, *Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi*, ER 2023:14.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Ta bort miljöbalkens begränsningar för ny kärnkraft vad avser lokalisering längs vissa kuststräckor i 4 kap. 4§	Nya kärntekniska anläggningar får inte komma till stånd inom större delen av kustområdena i södra Sverige, utom på platser där det redan finns sådana anläggningar eller andra större industrianläggningar.	Regeringen/riksdag [Strålsäkerhetsmyndigheten har lämnat författningsförslag på ändring i delredovisningen av regeringsuppdraget "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Inför "ventilen" i det kommunala vetot även för kärnkraft.	För samtliga kraftslag förutom kärnkraft gäller att regeringen kan medge tillåtighet om det från nationell synpunkt är angeläget att en verksamhet kommer till stånd, även om kommunen har sagt nej.	Regeringen/riksdag [Strålsäkerhetsmyndigheten har lämnat författningsförslag på ändring i delredovisningen av regeringsuppdraget "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Ta bort förbudet mot återstart av en permanent avstängd reaktor i kärntekniklagen.	Om begränsningen i miljöbalken i 17 kap. 6a§. avseende antal reaktorer lyfts bort så finns inte längre behovet av denna reglering.	Regeringen/riksdag [Strålsäkerhetsmyndigheten har lämnat författningsförslag på ändring i delredovisningen av regeringsuppdraget "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Översyn av SSM:s föreskrifters tillämpbarhet för olika typer av nya reaktortekniker.	SSM:s föreskrifter som trädde i kraft i mars 2022 utvecklades främst med utgångspunkt befintlig kärnkraft, men med viss anpassning för ny kärnkraft. Här krävs en översyn i förhållande till nya reaktortekniker och SMR.	Strålsäkerhetsmyndigheten [SSM regeringsuppdrag "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Tillståndsprövningar – Föresättningar för att möjliggöra snabb och effektiv tillståndsprövning för ny och befintlig kärnkraft.	Strålsäkerhetsmyndigheten föreslår en rad åtgärder i deras delredovisning som syftar till att effektivisera tillståndsprövningen exempelvis att ta bort den dubbla tillämpningen av miljöbalken, så att miljöbalken inte tillämpas vid tillståndsprövning enligt kärntekniklagen om samma verksamhet också provas enligt balken.	Strålsäkerhetsmyndigheten [SSM regeringsuppdrag "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Översyn av systemet för hantering av använt kärnbränsle och kärnavfall – nya aktörer.	Nuvarande system är dimensionerat för och ägs av befintliga reaktorägare. Här krävs en översyn i förhållande till utbyggnad av nya reaktorer och av nya aktörer.	Strålsäkerhetsmyndigheten [SSM regeringsuppdrag "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"]
Reglering av beredskaps- och planeringszoner – om ny kärnkraft ska byggas på nya platser.	En översyn av FSO kan krävas beroende på typ av reaktorer och geografisk placering.	Länsstyrelsernas planering enligt förordningen (2003:789) om skydd mot olyckor (FSO).

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Vattenkraft		
Utöka tidsramen i 22 kap 25 § andra stycket miljöbalken.	Tillståndsgivna arbeten för vattenverksamhet måste vara utförda inom tio år. I de fall tidpunkt för omprövning inte sammanfaller väl med reinvesteringsbehov finns det mindre incitament för att samordna planering av effekthöjning med miljöåtgärder.	Regering/riksdag
Översyn av den nationella vattenförvaltningen i linje med vattenförvaltningsutredningens slutbetänkande SOU 2019:66 En utvecklad vattenförvaltning.	Det finns behov av att se över strukturen för den nationella vattenförvaltningen, i det längre perspektivet, till förmån för att gängse förvaltningsstruktur inom svensk statsförvaltning används. Detta för att säkra en nationell helhetssyn i avvägningarna i samband med beslut av miljökvalitetsnormer, exempelvis samhällets behov av vattenresurser och vattenkraftens värden i elsystemet. Översyn behöver ske på sådant sätt att vattenförvaltningen på kort sikt inte tappar effektivitet och ger förseningar i genomförandet av vattendirektivet och rapportering till EU-kommissionen.	Regering/riksdag [SOU 2019:66 En utvecklad vattenförvaltning]
Vindkraft (havs- och landbaserad)		
Förändra reglerna kring "kommunal tillstyrkan".	Enligt förslaget som levererades tillsammans med vindkraftsstrategin. Kommunal tillstyrkan ska ske tidigare och ska inte kunna ändras en viss tid/under processen. En inte given tillstyrkan ska behöva motiveras och ske avgränsad till relevanta aspekter, t. ex. angående placering och höjd.	Regeringen [Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad]
Vindkraft (havsbaserad)		
Samordnat ansökningsförfarande.	För att underlätta samordning av tillståndsprocess och dialog med tillståndsmyndigheter föreslås ett samordnat ansökningsförfarande där verksamhetsutövare endast behöver ha kontakt med en myndighet när de ansöker om tillstånd.	Berörda tillståndsmyndigheter, Energimyndigheten [Redovisning av uppdraget att ta fram ett underlag för nya eller ändrade områden för energiotvinning i havsplanerna som möjliggör ytterligare 90 TWh årlig elproduktion]
Anpassa regelverk.	Nuvarande regelverk är i behov av utveckling för anpassning till havsbaserad vindkraft och det finns potential till förenklingar. Exempel på viktiga frågor som lyfts är exklusivitet till havs samt prövningen enligt kontinentalsockellagen. ¹⁸³	Regeringen [En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft] ¹⁸⁴

¹⁸³ Regeringskansliet. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02)

¹⁸⁴ Ibid.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Utred nytt etableringssystem.	Ett anvisningsbaserat etableringssystem skulle kunna erbjuda vissa fördelar över dagens etableringssystem. En utredning om lämpliga former för hur ett mer optimerat system för prövning av havsbaserad vindkraft bör utformas och implementeras, samt vilka konsekvenser det väntas ge bör genomföras. ¹⁸⁵	Regering, berörda myndigheter [En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft]
Statsstödsprövning av öppen dörr-system.	Danmark utreder för närvarande sitt öppen dörr-system för havsbaserad vindkraft utifrån statsstödsperspektiv, vilket väntas leda till förändringar. Frågan bör bevakas och beaktas under utvecklingen av regelverket för det svenska etableringssystemet för havsbaserad vindkraft.	Regeringen [En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft]
Vindkraft (landbaserad)		
Utred möjligheterna att underlätta för generationsväxling.	Skapa förutsättningar för en förenklad generationsväxling, för att inte tappa befintlig infrastruktur och några av de bästa vindlägena vi har i Sverige. Utred möjligheterna under vilka förutsättningar det räcker med en ändringsansökan.	Regeringen, Energimyndigheten, Naturvårdverket och Försvarsmakten.

4.2.4 Förbättrat kunskapsläge och bättre information kan bidra till underlag och förståelse

Det finns generellt ett behov av mer kunskaps- och informationsstöd för att bygga upp förståelse för innebörden av energiomställningen och behovet av utbyggnad av elproduktion. Myndigheter har särskilt ansvar att tillhandahålla korrekt information och kunskapsunderlag som motvikt mot spridning av desinformation. En ökad förståelse hos allmänhet och beslutsfattare ger insikt om vad samhället behöver göra, och ökar motståndskraft mot desinformation, vilket är avgörande för människors inställning, acceptans och förtroende för energiomställning. Detta kan i sin tur bidra till en långsiktig stabilitet och förutsägbarhet för utbyggnaden av elproduktion och tillhörande infrastruktur.

För att undvika för stora negativa effekter och miljöpåverkan behövs förbättrade kunskapsunderlag om hur intressen som blir påverkade av olika kraftslag kan anpassa sig till nya förutsättningar samt hur utbyggnad av kraftslag i sin tur kan anpassas. Underlag är en förutsättning för att lättare lösa målkonflikter. Samtidigt är det viktigt att betona att beslut ska fattas mot bakgrund av existerande fakta även om det alltid kommer finnas behov av mer kunskap för att kunna fatta än mer välgrundade beslut. En betydande del i kunskapsuppbyggande ligger i att pröva, utvärdera och dra erfarenheter av utbyggnad.

¹⁸⁵ Även denna uppgift är inkluderad i ovan nämnda uppdrag.

Genom att finansiera forskning och innovation skapas förutsättningar för en snabb omställning och utbyggnad av elsystemet. För att kunna fortsätta omställningsresan är det viktigt att fortsätta att bygga upp kunskap och kompetens genom starka forskningsmiljöer. Forskningen kan bidra med kunskapsunderlag för att hantera intressekonflikter och förbättra elsystemets hållbarhet, robusthet och resurseffektivitet. Kunskapsunderlag och kompetenta individer behövs för att samhällets aktörer ska fatta välgrundade beslut. En fortsatt forskning och innovation som kopplar till elproduktion, elanvändning och framtidens elnät och bidrar till att skapa ett elsystem som kännetecknas av tillförlitlighet, konkurrenskraft samt ekologisk och social hållbarhet behövs.

För att utveckla fossilfria elproduktionstekniker och skapa konkurrenskraftiga elpriser behövs samarbete och kunskapsutbyte inom en gemensam europeisk kontext. Det är viktigt att svenska aktörer har möjlighet att påverka och värna svenska intressen och bygga internationella nätverk och att utnyttja erfarenheterna från andra länder inom områden med mer kunskap och erfarenhet (framför allt avseende implementeringen av ”ny” teknik, exempelvis kärnkraft och havsbaserad vindkraft).

Utöver kunskap om nya produktionstekniker finns det även behov av ett ökat kunskapsunderlag för befintlig elproduktion. När vattenkraftens tillstånd omprövas för moderna miljövillkor uppstår ett unikt tillfälle att även utveckla vattenkraften för framtidens elförsörjningsbehov. Förutom kunskap om miljöåtgärder behövs relevanta analyser som visar hur verksamhetsutövarna kan utveckla sin vattenkraft. Inför omprövning av vattenkraft i olika älvsystem är det därför viktigt med underlag som visar vad som krävs för att aktuella kraftverk ska kunna bidra ännu mer.

När det gäller flexibilitet så finns det behov av ökat kunskapsunderlag samt informationsinsatser i samband med att många aktörer inte tidigare har erbjudit flexibilitet eller lösningar som främjar flexibilitet. Ökad kunskap om regler, affärsmodeller samt om olika marknader, och förutsättningar för att delta inom dessa, kan möjliggöra för mer efterfrågeflexibilitet, flexibel elproduktion samt energilagring. Även information om de mest effektiva sätten att realisera potentialen för flexibilitet kan hjälpa att tillhandahålla mer flexibilitet inom elsystemet. Dessutom finns det behov för bättre kunskap om hur en mer flexibel användning påverkar livslängden och säkerheten för utrustningen inom elproduktion¹⁸⁶ samt teknologier som till exempel batterier.

¹⁸⁶ Detta gäller bland annat turbintillverkare till vindkraft men också inom kärnkraft om turbinerna ska köras mer flexibelt än idag.

Tabell 7. Åtgärder för förbättrat kunskapsläge och information.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Finansiering av forskning, innovation och demonstration inom elsystemet.	Forskning för att bygga kunskap och kompetens inom elsystemområdet. Från grundläggande studier av marknadsförutsättningar till test och pilotverksamhet i samverkan med berörda aktörer.	Energimyndigheten i samverkan med Strålsäkerhetsmyndigheten, Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen, Elsäkerhetsverket och med berörda aktörer i innovationssystemet.
Kunskapscentrum och informationsinsatser.	Det finns ett behov av kunskapsstöd samt av informationsinsatser för att öka förståelsen för behovet av en utbyggd elproduktion i ett samhällsperspektiv. Energimyndigheten bör ansvara för att samla och tillhandahålla kunskap och information om energiomställningen och elproduktion och att Energimyndigheten tillsammans med regionala och lokala aktörer ska genomföra kunskaps- och informationsgivning riktad till tjänstemän, politiker och allmänheten.	Energimyndigheten
Elnät		
Informationskampanjer.	Som förklarar teknikval vid nybyggnation av elnät och då framför allt varför luftledning är ett bättre teknikval än markkabel. Information behövs också för att motverka missuppfattningar och desinformation kring elledningar och produktionsanläggningar.	Svenska kraftnät och nätägare, Energimyndigheten.
Flexibilitet		
Riktade informationsinsatser med målgruppsanpassad information.	Allmänt: Riktad information om flexibilitet, flexibilitetstjänster och -marknader till aktörer som producenter, olika kundgrupper, lokalnätägare, energiföretag med flera.	Myndigheter, kommuner, regioner
	Specifik: Ge Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen och Konsumentverket ett uppdrag om att ta fram målgruppsanpassad information om flexibilitet samt ett uppdrag om att skapa och driva en digital plattform för flexibilitetsinformation.	Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, Konsumentverket [Se tidigare förslag från Energimyndigheten] ¹⁸⁷
Kärnkraft		

¹⁸⁷ Se även Energimyndighetens förslag för åtgärder i *Smart styrning av elanvändning*, ER 2023:13.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Informationsinsatser både lokalt och nationellt om utbyggnad av ny kärnkraft.	Viktigt att skapa förståelse i samhället vad avser kärnkraftens nyttor och frågor kopplade till strålsäkerhet, miljö, skillnader mellan olika tekniker, avfallshantering och slutförvar samt nationell säkerhet.	Energimyndigheten, Strålsäkerhetsmyndigheten med andra berörda myndigheter och organisationer
Tillståndsprövningar – Kompetensbyggande för att möjliggöra snabb och effektiv tillståndsprövning för ny och befintlig kärnkraft.	Strålsäkerhetsmyndigheten identifierar behov i deras delredovisning som syftar till kompetensbyggande, exempelvis kring ny reaktorteknik som modulbyggda komponenter och nya lösningar för att uppnå och upprätthålla strålsäkerhet medför att SSM behöver bygga kunskap om dessa frågor. Kunskapen är nödvändig i kommande tillståndsprövningar och framtida tillsyn.	Strålsäkerhetsmyndigheten [SSM regeringsuppdrag "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"] [Regleringsbrevsuppdrag till SSM "Stärkt kompetens till strålsäker kärnkraft"]
Solkraft		
Ökad information om effektiv solkraftproduktion.	Exempelvis utifrån optimerad egenanvändning, kollektiv mikroproduktion, solkraft i energigemenskap, samt i kombination med energilager och smarta system.	Energimyndigheten i samarbete med andra berörda myndigheter och organisationer. [Informationsplattformar som Solelportalen, Husguiden]
Vattenkraft		
Kartläggning och kunskapsunderlag av vattenkraftens åtgärdsbehov, utifrån både vattenförvaltningens generella kravnivå och särskilda Natura 2000-krav.	Ett förbättrat kunskapsunderlag om vattenkraftens nationella åtgärdsbehov för att uppfylla moderna miljövillkor är nödvändigt för att kunna bedöma vattenkraftens framtida produktionsförutsättningar. Kunskapsunderlag för bedömning och nationell prioritering av områden för att säkerställa gynnsam bevarandestatus för arter och naturtyper på biogeografisk nivå bör tas fram. Det bör stödja att största möjliga miljönytta uppnås i de fall tillstånd enligt 7 kap. 29 § miljöbalken lämnas efter regeringens tillåtelse.	Havs- och vattenmyndigheten, länsstyrelserna, Energimyndigheten, Svenska kraftnät [Redovisning av regeringsuppdrag om att följa upp och analysera arbetet med att förse vattenkraften med moderna miljövillkor ¹⁸⁸]

¹⁸⁸ Havs- och vattenmyndigheten (2023), Uppdrag om att följa upp och analysera arbetet med att förse vattenkraften med moderna miljövillkor, dnr 2135-22.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Ökad kunskap om vattenhushållningsbestämmelser som begränsar vattenkraftens flexibilitet och potentiell effekthöjning.	Det finns behov av ökad kunskap om hur nuvarande och framtida vattentillrinning kan tas tillvara inom ramen för befintliga vattenhushållningsregler och hur de bör justeras för att vattenresursen tas tillvara för ökad reglerförmåga och elproduktion från vattenkraft med bibehållen dammsäkerhet. Även kunskapsunderlag och vägledning om vilka typer av förändringar av verksamhet eller vattenhushållningsbestämmelser som kan rymmas inom omprövning.	Verksamhetsutövarna, länsstyrelserna, Universitet/forskning, SMHI, Havs- och vattenmyndigheten
Stöd till vattenmyndigheterna i form av metodik och underlag för bedömning av miljöåtgärders påverkan på vattenkraftens förmågor, exempelvis reglerförmåga och elberedskap. Det gäller underlag för hur värdering av nyttor ska göras. Det samhällsekonomiska värdet av vattenkraftens alla förmågor behöver beaktas kvantitativt eller kvalitativt så långt det är möjligt.	När vattenkraftens omprövas för moderna miljövillkoren måste dess samhällsviktiga egenskaper värnas. Det samhällsekonomiska värdet av vattenkraftens alla förmågor behöver beskrivas kvantitativt eller kvalitativt så långt det är möjligt. Miljöanpassning av den svenska vattenkraften innebär påverkan på vattenkraftens förmågor. I samband med normsättning och miljöanpassning behöver vattenkraftens samtliga nyttor beaktas fullt ut för att minska påverkan på vattenkraften.	Energimyndigheten och Svenska kraftnät [Redovisning av regeringsuppdrag om att följa upp och analysera arbetet med att förse vattenkraften med moderna miljövillkor ¹⁸⁹]
Vindkraft (havs- och landbaserad)		
Bättre kunskapsunderlag om påverkan och lösningar.	Det finns viktiga frågor att utreda som kan möjliggöra mer välgrundade beslut, bättre förutsägbarhet i planeringsunderlag och nya möjligheter till samexistens. Exempel på sådana frågor: Påverkan på vintersjöfarten, hantering av försvarssekretess i samhällsplanering, samexistens med försvarsintressen, anpassningar till kulturmiljö.	Energimyndigheten, Sjöfartsverket, Försvarsmakten, Havs- och vattenmyndigheten, Jordbruksverket, Riksantikvarieämbetet, Naturvårdsverket [Havsplaneuppdraget]
Vindkraft (havsbaserad)		
Uppföljningsprogram.	När utbyggnaden tar fart bör den inkludera systematiskt upplagda kontrollprogram och följeforskning för att bidra till kunskapsuppbyggnad och erfarenhetsöverföring. I brist på nationella erfarenheter är även internationell samverkan och samanställning av bästa tillgängliga kunskap av stor vikt.	Energimyndigheten, Havs- och vattenmyndigheten, Naturvårdsverket, Länsstyrelserna

¹⁸⁹ Havs- och vattenmyndigheten (2023), Uppdrag om att följa upp och analysera arbetet med att förse vattenkraften med moderna miljövillkor, dnr 2135-22.

4.2.5 Lokal förankring, acceptans och samexistens är avgörande för att lösa målkonflikter

Det kan finnas utmaningar med att få till stånd en storskalig utbyggnad av elproduktion som samtidigt har lokal förankring och ett folkligt stöd för denna utveckling. Utbyggnad av elproduktion kan exempelvis ha en lokal miljöpåverkan som påverkar de närboendes inställning till utbyggnaden. Arbete med att bygga förståelse och synliggöra nyttan av ny elproduktion behöver ha sin utgångspunkt i det faktum att det finns en efterfrågan på el. Grundläggande är därför att perspektivet om att utbyggnad sker, därför att det finns behov av elproduktion, behöver finnas med och vara centralt i kommunal planering, informationsinstanser och kunskapsunderlag. I sammanhanget är det viktigt att det är de lokala och regionala behoven som står i centrum och vad som behövs för regional utveckling. Förslag för att stärka planering och informations- och kunskapsinsatser finns bland annat med i utredningen *Värdet av vinden*¹⁹⁰ tillsammans med förslag på kompensation till närboende för att stärka utbyggnaden av vindkraft.

Det finns också en utmaning i att skapa förutsättningar för en utbyggnad som är förenlig med andra samhällsintressen. Utbyggnaden av elproduktion kan göra anspråk på ytor där det finns motstående intressen från exempelvis naturvården, renskötseln och försvaret. En förutsättning för att hantera uppkomna målkonflikter är att hitta lösningar för samexistens mellan olika intressen. Förbättrade kunskapsunderlag om elproduktionens påverkan på olika intressen samt effektiv koordinering av samverkan är verktyg för att hitta samexistenslösningar. Det kommer emellertid inte vara möjligt att uppnå samexistens och/eller lokal förankring på alla platser. Politiska avvägningar och prioriteringar mellan olika samhällsintressen kommer vara nödvändiga om omställningen ska kunna åstadkommas. Energiintresset kommer i vissa fall behöva prioriteras framför andra intressen och andra intressen kommer behöva anpassa sig till nya förutsättningar. Att utifrån ett samhällsperspektiv med helhetssyn för alla intressen skapa samspel och lösa intressekonflikter på ett optimalt sätt är också viktiga forskningsfrågor.

¹⁹⁰ SOU 2023:18. Värdet av vinden. Kompensation, incitament och planering för en hållbar fortsatt utbyggnad av vindkraften. Del 1: Överväganden och lagförslag.

Tabell 8. Åtgärder för hantering av målkonflikter.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Vägledning – Kommunal energiplanering.	Lagen om kommunal energiplanering utgör en god grund för den lokala energiförsörjningen men behöver tillämpas mot bakgrund av den förestående omställningen av energisystemet och den stora utbyggnaden av fossilfri elproduktion som krävs. Vägledning bör tas fram över innehållet i de kommunala energiplanerna, varvid goda exempel ska tas till vara och framgångsrika arbetssätt kan spridas.	Energimyndigheten [Förslag i incitaments-utredningen] ¹⁹¹
Planeringsstöd – Kommunal energiplanering.	Det finns ett behov av kommunala energiplaner som är anpassade till det ökade elbehov som elektrifieringen innebär. Vidare bör de kommunala vindbruksplanerna anpassas till den stora utbyggnad av fossilfri elproduktion som krävs. Ett planeringsstöd till kommunerna för den uppdatering av de kommunala energiplanerna och vindbruksplanerna som kommer att krävas bör införas och stödet ska avse både kunskapsstöd och ekonomiskt stöd. Det ekonomiska stödet föreslås preliminärt administreras av Energimyndigheten och att Länsstyrelserna ges i uppdrag att fortsätta det arbete som påbörjats med att ta fram planeringsunderlag för kommunernas fysiska planering avseende uppdatering av vindbruksplanerna.	Energimyndigheten, Länsstyrelserna [Förslag i incitaments-utredningen] ¹⁹²
Klimaträttsutredningen förslag till utredning som särskilt ska analysera hur energi- och klimatplaneringen på olika nivåer kan struktureras och samordnas på ett tydligare sätt än i dag.	Det behövs översyn av hur stärkt planering och samverkan kan öka förutsättningarna för en effektiv klimatomställning och elektrifiering.	Regeringen [Klimaträttsutredningen] ¹⁹³
Finansiering av forskning och innovation.	Forskning som bidrar till att skapa samspel i energisystemet och för att hantera intresse- och målkonflikter.	Energimyndigheten i samverkan med Naturvårdsverket, Försvarsmakten, Havs- och vattenmyndigheten och länsstyrelserna samt andra berörda aktörer.

¹⁹¹ SOU 2023:18. Värde av vinden. Kompensation, incitament och planering för en hållbar fortsatt utbyggnad av vindkraften. Del 1: Överväganden och lagförslag.

¹⁹² Ibid.

¹⁹³ SOU 2022:21. Rätt för klimatet.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Kärnkraft		
Vägledning eller föreskrifter kring utpekande av lämplig plats – ny kärnkraft på nya platser.	Om ny kärnkraft ska byggas på nya platser kan det krävas antingen vägledning alternativt föreskrifter kring vad som är en lämplig plats för ny kärnkraft. Ett utpekande skulle även kunna ske genom riksintresse för energiproduktion.	Energimyndigheten, Strålsäkerhetsmyndigheten i samverkan med andra berörda myndigheter och organisationer [Behovet har lyfts i SSM:s delredovisning av "Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft"] [Riksintressesystemet]
Solkraft		
Stärkt nationell planering.	Stöd för avvägning mellan olika intressen, möjliggöra för att utnyttja oanvänd mark, samexistens försvaret. Utreda eventuellt behov av riksintressen eller liknande planeringsunderlag genom exempelvis pilotplaneringsprojekt.	Regeringskansliet, berörda myndigheter
Vattenkraft		
Förtydliganden om vad som kan anses som en godtagbar försämring i samband med effektutbyggnad och ökad vattenreglering (korttidsreglering). Förtydliganden om samhällets behov och nytta av åtgärder för effektutbyggnad och ökad vattenreglering (korttidsreglering).	Vid tillståndsprövning för olika typer av förändrad vattenverksamhet ställs miljönytta mot klimatnytta. För vattenmiljön gäller miljöbalkens icke-försämringskrav och försiktighetsprincipen. Tillstånd för effekthöjning innebär ofta långa och resurskrävande tillståndprocesser med dålig förutsägbarhet. Detta gäller även vattenkraft som påverkar Natura 2000-områden.	Havs- och vattenmyndigheten, berörda sektorsmyndigheter
Vindkraft (havs- och landbaserad)		
Lokala incitament.	Ta vid från förslagen i incitamentsutredningen ¹⁹⁴ och skapa klarhet om lokala incitament. Så länge förslagen hänger i luften skapar det risker och bromsar utbyggnaden.	Regeringen [Incitamentsutredningens slutbetänkande]
Regional planering över hela landet.	Regional planering i alla Sveriges län enligt Vindkraftsstrategin, fast med en uppdaterad syn på det möjliga elbehovet i framtiden. Tillsatt resurser till Länsstyrelserna.	Länsstyrelserna, Regeringen, Energimyndigheten

¹⁹⁴ SOU 2023:18. Värde av vinden. Kompensation, incitament och planering för en hållbar fortsatt utbyggnad av vindkraften. Del 1: Överväganden och lagförslag.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Samexistens och avvägningar – Försvar.	Tillsätt ett uppdrag tillsammans med Energimyndigheten och Försvarsmakten för att främja dialog och utnyttja samexistensmöjligheter. Ta med de positiva bidrag elproduktion från vindkraft kan ha för totalförsvaret. Utred möjligheter i befintliga öppna intressen, stoppområden för höga objekt och speciellt lågflygningsområden, här finns det även en tydlig koppling till generationsväxling. Kan också inkludera hantering av hemliga intresseområden.	Regeringen, Försvarsmakten, Energimyndigheten
Möjliggör för behovsstyrd hindersbelysning.	Hindersbelysningen som krävs för höga byggnader som vindkraftverk upplevs som störande. Behovsstyrd hinderbelysning kan öka acceptans av vindkraftverk både till havs och på land. Det finns olika tekniska system och behovsstyrd hinderbelysning används inom flera andra länder. ¹⁹⁵	Regeringen, Försvarsmakten, Transportstyrelsen
Vindkraft (havsbaserad)		
Utred samexistens för aktuella projekt fullt ut.	Det finns flera tillstånd som ligger för beslut hos regeringen och där länsstyrelserna avslutat sin beredning. För de flesta projekt krävs avvägningar mellan olika intressen (ex försvar och natur). Det snabbaste lösningen för att möjliggöra för mer havsbaserad vindkraft är om det går hitta lösningar för att kunna acceptera tillstånd och bygga på dessa platser.	Regeringskansliet, Försvarsmakten och andra berörda myndigheter [Uppdrag att ta fram förslag till ändrade havsplaner för att möta behovet av ökad energiutvinning, genom att skapa förutsättningar för havsbaserad vindkraft ¹⁹⁶]
Planeringsunderlag som möjliggör energiutvinning.	Havsplanerna utgör ett viktigt planeringsverktyg som skapar förutsägbarhet för etableringen av havsbaserad vindkraft (oavsett vilken typ av etableringssystem vi går mot framöver). Det är viktigt att den pågående översynen av havsplanerna resulterar i utpekade områden som kan möjliggöra utnyttjandet av den stora potentialen i den havsbaserade vindkraften.	Havs- och vatten- myndigheten, berörda myndigheter [Uppdrag att ta fram förslag till ändrade havsplaner för att möta behovet av ökad energiutvinning, genom att skapa förutsättningar för havsbaserad vindkraft]

¹⁹⁵ Totalförsvarets forskningsinstitut (2022): *Möjligheter till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*, FOI-R--5293—SE

¹⁹⁶ Havs- och vattenmyndigheten. Uppdrag om nya områden för energiutvinning i havsplanerna (2022). *Havs- och vattenmyndigheten*. 2022. Uppdrag om nya områden för energiutvinning i havsplanerna (2022) – Regeringsuppdrag – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se) (Hämtad 2023-06-02)

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Tydligare styrning – Pilotfall Östersjön.	Det är önskvärt med tydligare styrning för de avvägningar mellan olika intressen som i slutändan måste göras. Osäkerheterna är som störst i Östersjön. Som ett pilotfall föreslås därför att initiera ett nytt arbete med fokus på Östersjön och med en tydligare styrning för att kunna leverera ett bättre avvägt och förutsägbart underlag. Ett sådant arbete bör dock inte föregå den utredning som Regeringen tillsatt om att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft. ¹⁹⁷	Regeringen, Energi- myndigheten, Havs- och vattenmyndigheten, Naturvårdsverket, Försvarsmakten [Uppdrag att ta fram förslag till ändrade havsplaner för att möta behovet av ökad energiutvinning, genom att skapa förutsättningar för havsbaserad vindkraft] [En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft ¹⁹⁸]
Vindkraft (landbaserad)		
Samexistens och avvägningar – Renskötsel.	Renskötsel är ett riksintresse med betydande anspråk i Sveriges norra delar. Tillsatt ett uppdrag tillsammans med Energimyndigheten och Sametinget för att främja dialog och utnyttja samexistensmöjligheter fullt ut.	Energimyndigheten, Sametinget

4.2.6 Effektiv koordinering och samverkan möjliggör snabbare processer

Elektrifieringen och visionen av ett fossilfritt samhälle rör många olika aktörer. För att utvecklingen och omställningen ska kunna ske på ett effektivt sätt är en koordinering och samverkan mellan aktörer och sektorer viktig. En tydlig helhetssyn och samordning kan underlätta att definiera roller och ansvarsområden inom till exempel elektrifieringen inom olika sektorer eller utformningen av flexibilitetmarknader och flexibilitetstjänster. En tydlig målbild möjliggör för olika aktörer att utföra sin planering i enklang med framtida utvecklingar.

En effektiv koordinering och samverkan kan också vara viktiga verktyg för att förkorta prövnings- och tillståndprocesser. Detta kan uppnås genom att samordna prövnings-regelverk och ansökningsförfaranden samt att effektivisera arbetsprocesser. En ökad samverkan mellan aktörer är även viktigt för att lösa målkonflikter och hitta samexistens-lösningar. Här kan olika samarbetsplattformar samt pilot- och demoprojekt bidra.

¹⁹⁷ Regeringskansliet. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. Regeringen tillsätter utredning för att effektivisera etableringen av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02)

¹⁹⁸ Regeringskansliet. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft. *Regeringen*. 2023. En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft – Regeringen.se (Hämtad 2023-06-02)

Tabell 9. Åtgärder för effektiv samverkan och koordinering.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Kontinuerlig och långsiktig uppföljning av hur elsystemet utvecklas i linje med samhällets elbehov – "Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering 2.0"	Uppdraget "Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering" pågår till 2025. Det finns behov att denna form av uppföljning fortsätter framgent, i syfte att fånga behov av exempelvis regelförändringar eller åtgärder	Regeringen [Regeringsuppdraget "Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering"]
Kartläggning och översyn av tillståndprocesser kopplat till utbyggnad av elproduktion och nät.	Det finns behov av att samlat kartlägga och fånga vart i tillståndprocesserna det kan finnas behov av åtgärder i syfte att korta ledtiderna.	Energimyndigheten i samråd med berörda myndigheter
Behov av samarbete och kunskapsöverföring mellan akademi, näringsliv och offentlig sektor	Samarbetsformer med aktörer från näringsliv, akademi och offentlig sektor kan vara ett viktigt verktyg för att skapa innovation och tillväxt (trippelhelix). Detta är ofta fördelaktigt när det finns en geografisk närhet mellan samverkansparterna där man kan samordna utvecklingsresurser.	Energimyndigheten med berörda aktörer [Uppdrag att samordna en nationell kraftsamling för kompetensförsörjning för elektrifieringen]
Elnät		
Bredda samverkan för att skapa en helhetsbild.	Idag finns samverkan mellan TSO/DSO. Samverkan behöver vännas och breddas till att inkludera alla relevanta aktörer inom energibranschen.	Alla aktörer inom elnätsbranschen. Svenska kraftnät samordnar.
Ta vidare åtgärder som Energimarknadsinspektionen har föreslagit för att korta ledtiderna	Energimarknadsinspektionen har föreslagit ett antal åtgärder för att korta ledtiderna genom utvecklade arbetssätt och parallella processer. ¹⁹⁹ Myndigheten fick inför 2023 ett nytt uppdrag som handlar om att implementera de åtgärder som föreslagits tidigare.	Energimarknadsinspektionen, Lantmäteriet och länsstyrelserna [Se tidigare föreslagna åtgärder och nuvarande uppdrag hos Energimarknadsinspektionen] ^{200,201}

¹⁹⁹ Energimarknadsinspektionen (2023), Kortare ledtider för elnätsutbyggnad – Utveckla arbetssätt och parallella processer, Ei R2023:09.

²⁰⁰ Energimarknadsinspektionen. Kortare ledtider för elnätsutbyggnad. *Energimarknadsinspektionen*. Kortare ledtider för elnätsutbyggnad – Energimarknadsinspektionen (ei.se) (Hämtad 2023-06-02)

²⁰¹ Energimarknadsinspektionen (2023), Kortare ledtider för elnätsutbyggnad – Utveckla arbetssätt och parallella processer, Ei R2023:09.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Flexibilitet		
Samordning och tydligare roller inom områden som till exempel utbyggnad av laddinfrastruktur ²⁰² eller flexibilitetstjänster	Uppdrag till samordning som omfattar bland annat stödgivning, information och kunskapsspridning	Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, Svenska kraftnät, branschaktörer, kommuner
Demo- och pilotprojekt och testbäddar för att främja samverkan mellan olika aktörer	Verka för fler test- och demonstrationsprojekt där koncept och samverkan kan prövas och vidareutvecklas ²⁰³ (till exempel inom områden efterfrågeflexibilitet, lokala marknader samt energigemenskaper)	Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, Svenska kraftnät, regioner, kommuner
Kärnkraft		
Säkerställ tillräckliga resurser hos myndigheter och departement – ny kärnkraft	I syfte att säkerställa en samordnad styrning i frågan och bidra till effektiva tillståndprocesser.	Regeringen
Solkraft		
Samordnat prövningsregelverk	Vägledning och information för att undanröja lokala skillnader och ta hänsyn till lokala intressen vid tillståndsgivning och bedömning av lovplikt för solparker. Exempelvis anmälan om samråd eller prövning enligt miljöbalken vid markanvändning och ansökan om bygglov enligt Plan- och bygglagen (2010:900)	Regeringen [Policyutvecklande förslag från kommittén för teknologisk innovation och etik (Komet) ²⁰⁴ , Projekt inom Miljösamverkan Sverige kopplad till handläggning hos Länsstyrelser ²⁰⁵]

²⁰² Se även Energimyndighetens *Delrapport inom uppdraget om handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vägtas*, ER 2023:06.

²⁰³ Se även Energimyndighetens förslag för åtgärder i *Smart styrning av elanvändning*, ER 2023:13.

²⁰⁴ Kommittén för teknologisk innovation och teknik, Policyutvecklande förslag – Regeringsuppdrag att genomföra pilotprojekt som rör samhällsplanering och markanläggningar för solcellproduktion, N 2018:04. Policyförslag-samhällsplanering-och-solel.pdf (kometinfo.se) (hämtad 2023-06-01)

²⁰⁵ Miljösamverkan Sverige. Solcellsanläggningar på mark, *Miljösamverkan Sverige*. Solcellsanläggningar på mark – Miljösamverkan Sverige (miljosamverkansverige.se), (hämtad 2023-06-01).

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Samverkan nationellt för att främja en resilient värdekedja inom solenergiindustrin.	För att minska försörjningsriskerna för den storskaliga utbyggnaden av solenergi behövs en diversifiering av försörjningen genom en mer varierad import och upptrappad tillverkning av solceller. Därför är en åtgärd inom EU:s solenergi strategi att införa en europeisk allians för solenergiindustrin. Alliansen syftar till att identifiera och samordna processer som kopplar till investeringsmöjligheter, projektplanering och teknikportföljer och hitta vägar för solenergiindustri i Europa.	Regeringen [The European Solar PV Industry Alliance ²⁰⁶]
Vattenkraft		
Samordna flexibilitets- och effektökning med omprövning för moderna miljövillkor där det är möjligt. Det gäller även anpassning för ändrade flöden som följd av klimatförändringar med omprövning för moderna miljövillkor.	Det finns samordnings- och planeringsutmaningar för att utveckla befintlig vattenkraften i ett älvsystem. Många olika verksamhetsutövare påverkas och behöver involveras på olika sätt. Tidsplan för investeringar styrs även av reinvesteringsbehov för enskilda kraftverk. Lagstadgad omprövning för moderna miljövillkor är indelad i olika prövningsgrupper för att skapa möjlighet till helhetssyn. Det är därför fördelaktigt om utveckling av vattenkraft beaktas i samband med samverkan inför omprövning. Det kan även viktigt att i samband med omprövning att ta hänsyn ökad vattentillrinning till följd av klimatförändring där så krävs.	Verksamhetsutövarna, Länsstyrelserna, Havs- och vattenmyndigheten [Nationell plan för moderna miljövillkor för vattenkraften ²⁰⁷]
Vindkraft		
Främja utbyte mellan vindkraftsintressen och andra intressen	Skapa en samarbetsplattform mellan vindkraftsintressen (projektörer, branschorganisationer) och berörda intresseorganisationer.	Energimyndigheten, branschorganisationer, intresseorganisationer

²⁰⁶ Home – European Solar PV Industry Alliance (solaralliance.eu)

²⁰⁷ Regeringens beslut och prövningsgrupper – Nationell plan för omprövning av vattenkraft – Arbete i vatten och energiproduktion – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se)

4.2.7 Tillgången på resurser, kompetens och råvaror är avgörande i framtiden

En storskalig utbyggnad av elproduktion kommer innebära ett stort behov av både kompetens och resurser. Nya kompetenser kommer behövas och nuvarande kompetens kan komma att användas på nya sätt. Tillgång till rätt kompetens och tillräckliga resurser är en utmaning för alla företag i branschen, men det är en minst lika stor utmaning för alla berörda myndigheter. Elektrifieringen innebär också att det uppstår en konkurrens om samma typ av kompetenser mellan branscher och länder. Om det inte finns tillgång till kompetent arbetskraft kan det bli en begränsande faktor som kan bromsa upp eller hindra utvecklingen.

Att säkerställa att det finns tillräckligt med kompetent arbetskraft för elektrifieringen är komplext och det är många faktorer som påverkar. Utbildningssystemet behöver vara relevant och erbjuda såväl gymnasieutbildning, livslångt lärande, yrkeshögskoleutbildning och utbildning på universitets- och högskolenivå. Genom samarbete med aktörer i sektorn, såsom näringsliv och tillståndsgivande myndigheter kan utbildningsanordnarna säkerställa att de tillhandahåller efterfrågad kompetens. Rekryteringsbasen behöver breddas för att fler ska utbildas och attraktiviteten öka för att arbeta i sektorn. Det måste helt enkelt vara intressant för människor att vilja att utbilda sig inom energi-sektorn och arbeta med elektrifieringen.

Kompetenserna kan delvis även byggas genom forskning och utveckling, men behöver kombineras med till exempel riktade utbildningsinsatser, vidareutbildningar och nya gymnasie- och universitetsutbildningar. Samarbete och kunskapsöverföring mellan akademi och näringsliv är också viktigt. Utbildningssatsningar kan vara ett verktyg för att hjälpa människor att ställa om i de fall där omställningen innebär att deras arbetsuppgifter förändras eller försvinner. Detta är en viktig fråga för den sociala hållbarheten och acceptansen för omställningen. Att det finns personal med rätt kompetens är också av stor vikt för näringslivets konkurrenskraft.

Energimyndigheten har fått i uppdrag att samordna en nationell kraftsamling kring kompetensförsörjning för elektrifieringen. Arbetet ska utgå från den inriktning för kompetensförsörjning som förra regeringen presenterade i sin nationella strategi för elektrifiering och främja närmare samverkan mellan näringsliv, offentlig sektor och utbildningsväsendet. Energimyndigheten ska särskilt verka för en närmare och mer koordinerad samverkan mellan myndigheter och branschaktörer i fråga om kompetensförsörjning kopplat till elektrifieringen, bland annat för att stärka möjligheten att rekrytera fler till relevanta utbildningar. I arbetet med uppdraget har Energimyndigheten identifierat tre huvudblock; breddad rekryteringsbas, relevant utbildningssystem och attraktiv arbetsplats. Dessa block skapar tillsammans förutsättningar för kompetensförsörjning för samhällets elektrifiering. Energimyndigheten samverkar med berörda aktörer i sektorn och delrapporterar en kartläggning och analys av behov av kompetens samt pågående initiativ i årsredovisningen för 2023. Möjliga åtgärder för att undvika att kompetensbrist blir ett hinder för elektrifieringen presenteras i november 2024.

Energiomställning och storskalig utbyggnad av elproduktion innebär förändrade och nya behov av råvaror och material. Detta innefattar både ett ökat behov av standardmässiga material och olika innovationskritiska metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller och vindturbiner. Förutom dessa material handlar det om bränsle i form av uran till kärnkraft och biobränsle till kraftvärme. På längre sikt

kan råvaruförsörjningen bli en utmaning till följd av det växande behov och global konkurrens samt geopolitiska faktorer. Det kan i sin tur skapa flaskhalsar i leverantörskedjan och försena utbyggnaden av olika kraftslag. I och med att elektrifieringen sker globalt och i ett relativt högt tempo bli frågan om att säkra tillgång på kritiska råvaror alltmer central. Vad gäller ändliga resurser och hållbarhet är resurseffektivitet, återvinning och cirkulärt omhändertagande centralt. Däremot kommer återvinning endast till mycket begränsad del ha betydelse för att fylla behovet av elektrifieringens nödvändiga metaller och mineral.

Det betyder att elektrifiering kommer vara beroende av primära resurser och att den huvudsakliga källan till dessa metaller och mineraler inom överskådlig tid är brytning av jungfruligt material. Samtidigt behöver cirkulärt omhändertagande av olika typer av material från början byggas in och möjliggöras för i systemet. Inom EU finns flera initiativ bland annat *Raw materials act* vilket syftar till att minska riskerna och ta vara på egna möjligheter till råvaruförsörjning och bygga upp förädlingskedjor.²⁰⁸

Tabell 10. Åtgärder för bibehållen resurs – och kompetensförsörjning.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Generellt		
Finansiering av forskning.	Forskning och innovation som genererar kunskap och kompetens exempelvis genom finansiering av kompetenscentrum och forskarmiljöer.	Energimyndigheten i samarbete med aktörer i innovationssystemet
Nationell kraftsamling för kompetensförsörjning för elektrifiering och omställning.	Energimyndigheten har fått i uppdrag att samordna en nationell kraftsamling för kompetensförsörjning för elektrifieringen och ser inom ramen för det uppdraget på åtgärder för breddad rekryteringsbas, relevant utbildningssystem samt attraktiv sektor. Inom ramen för uppdraget ska en gemensam målbild tas fram för kompetensförsörjning för elektrifiering.	Energimyndigheten tillsammans med berörda aktörer (inom myndighetsvärlden, näringslivet, utbildningsanordnare samt lokal- och regionalsamhälle)
Behov av utvecklade risk- och sårbarhetsanalyser kopplat till tillgången till resurser och råvaror för energiomställningen.	Tillgången till resurser och råvaror behöver säkerställas för att en utökad utbyggnad av elproduktion och flexibilitet, i form av exempelvis batterier, ska vara möjlig. I syfte att säkerställa tillgången behöver samhällets uppföljning i form av risk- och sårbarhetsanalyser på området utvecklas.	Regeringen, Energimyndigheten, SGU med berörda aktörer. [Uppdrag om att utveckla samverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk batterivärdekedja ²⁰⁹]

²⁰⁸ European Commission, Critical raw materials, *European Commission*. Critical raw materials (europa.eu) (Hämtad 2023-05-17)

²⁰⁹ Energimyndigheten (2022), Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier, ER 2022:14.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Behov av en ökad återvinningsgrad av viktiga metaller och mineraler.	Genom att öka återvinningsgraden av de metaller och mineraler som används för att bygga elproduktionsanläggningar, elnät och flexibilitetstjänster så ökar också tillgången till dessa. Detta minskar beroendet av ny jungfrulig råvara och förbättrar möjligheterna att tillgången säkerställs. Energimyndigheten har ett pågående arbete som tittar på miljöanalyser för olika elektrifieringsscenarier där detta kommer beröras mer.	Regeringen, [Riksrevisionens granskning- Statens insatser för en effektiv hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad] [Pågående regeringsuppdrag på Energimyndigheten ²¹⁰]
Kärnkraft		
Insatser för utbildning och forskning i syfte att säkerställa kompetensförsörjning.	Insatser för att stärka utbildning och forskning dels inom Naturvetenskap, teknik, konstruktion och matematik generellt, dels specifikt kopplat till kärnkraftsinriktad forskning och utbildning.	Regeringen [SSM "Förslag till nationell strategisk inriktning för Sveriges kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet"] [Regleringsbrevsuppdrag till SSM "Stärkt kompetens till strålsäker kärnkraft" i samverkan med Energimyndigheten] [Forskningsfinansiering och kompetensuppdraget på Energimyndigheten] [Kompetenscentrum ANITA ²¹¹]
Vattenkraft		
Behov av resurser för omprövning.	Lagstadgad omprövning för moderna miljövillkor kräver stora resurser hos myndigheter, verksamhetsutövare, domstolar, projektörer och entreprenörer. I princip samma resurser som krävs för att utveckla vattenkraften för ökad effekt och ökad flexibilitet. Resurser för tillstånd och domstolsprövningar kommer också behövas för andra ärenden som följer med elektrifieringen (etablering av olika elintensiva verksamheter till exempel).	Länsstyrelserna, verksamhetsutövare, domstolar

²¹⁰ Regeringsuppdrag till Energimyndigheten: *Cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad till vindkraftverk och Uppdrag att analysera en effektiv användning av energi, effekt och resurser.*

²¹¹ Uppsala universitet – Akademiskt-industriellt kärntekniskt initiativ för att uppnå en framtida hållbar energiförsörjning.

Åtgärdsförslag	Detalj/Beskrivning	Berörda aktörer [Relevanta processer]
Vindkraft (havs- och landbaserad)		
Prioritera resurser för tillståndprocessen.	Resurser för hanteringen av tillståndsärenden är en flaskhals för närvarande som även gör det svårare att avsätta resurser för nödvändigt planerings- och utvecklingsarbete. Ytterligare resurser bör tilldelas för handläggning hos berörda myndigheter. Det bör kompletteras med bättre stöd i tillståndprocessen för både verksamhetsutövare och myndigheter i form av vägledning, kunskapsunderlag och information.	Länsstyrelserna, Försvarsmakten

4.3 Summering behov och åtgärder för olika kraftslag, elnät och flexibilitet

Åtgärdsförslag för att möjliggöra en storskalig utbyggnad av elproduktion inom olika behovsområden har presenterats i tidigare avsnitt. Här ges en sammanfattning av de viktigaste faktorerna att beakta men för respektive kraftslag samt elnät och flexibilitet. Som framgått av tidigare avsnitt är även forskning och innovation viktigt för att bygga ett hållbart elsystem med bibehållen säkerhet, även med de förändringar som ligger runt hörnet. Förutom teknisk utveckling behövs även anpassade regelverk och välfungerande elmarknader.

4.3.1 Elnät

Sverige har, sett till landet som helhet, ett produktionsöverskott av el på årsbasis men det uppstår prisskillnader mellan landets elområden när elnätets kapacitet inte är tillräcklig för att överföra all kraft som efterfrågas från norr till söder. Lokalt förekommer det även nätkapacitetsbrist. I framtiden kommer behovet av överföringskapacitet i elnätet att öka och med ändrade flöden kommer risken för nätkapacitetsbrist att öka och uppstå på fler ställen i landet. För att möta energiomställningen och den ökade efterfrågan på el i alla delar av landet så behöver elnätet förstärkas och byggas ut. Nedan listas några av de viktigaste punkterna för elnätets utveckling.

- Nätbolagens stämman är entydig: Långsiktiga spelregler och politisk enighet i energifrågorna krävs.
- Luftledning är oftast det bästa teknikvalet. Men projektering av nya luftledningar möter ett hårt motstånd. För att minska motståndet krävs tydlig styrning med klara budskap och informationskampanjer som skapar förståelse hos allmänheten för teknikval och utbyggnad.
- En helhetsbild av elnätets utveckling på alla nivåer behövs där alla aktörer i energibranschen samverkar för att skapa den. Helhetsbilden blir ett stöd i valet av plats för etablering av nätförstärkningar, produktion och användning. Helhetsbilden kan fungera som ett underlag för proaktiv utbyggnad.
- Ledtider behöver kortas och överklagandeprocessen ses över.
- Kompetens behöver säkras nu och i framtiden.

4.3.2 Flexibilitet

Flexibilitet kommer vara en viktig del i framtidens el- och energisystem, oavsett hur den svenska elproduktionsmixen kommer byggas ut inom de närmaste decennierna. El som energibäraren i flera av energisystemets delar ger stora möjligheter för synergier och möjliggör för ett flertal sektorer och aktörer att bidra till ett hållbart, robust och konkurrenskraftigt elsystem. Flexibilitet har en viktig roll i att balansera elproduktion och efterfrågan på el på ett effektivt sätt, vilket är en förutsättning för ett resurseffektivt system. Ofta så kan nyttiggörandet av flexibilitet realiseras på kortare tidsskalor än utbyggnadsprojekt för elproduktion och nätinфраstruktur. Det är därför viktigt att både rätt incitament för att tillhandahålla flexibilitet samt kunskap om värdet av flexibilitet inom olika tidsskalor når fram till de olika aktörer som kan bidra med flexibilitetsresurser i ett integrerat energisystem.

Flexibilitet kan nyttiggöras inom elproduktion, efterfrågan på el samt genom användning av energilagring.

- För att främja flexibilitet inom elproduktion så är det viktigt att säkerställa tillgång till olika marknader, så som stödtjänstmarknader, samt en ersättning som möjliggör lönsamhet från flexibilitet till alla fossilfria kraftkällor.
- En snabb utökning av flexibilitet inom användningen av el förutsätter en effektiv koordinering, där det bland annat är viktigt med:
 - Tydliga gemensamma ramverk för marknadsplatser för flexibilitet samt ökad standardisering för bland annat värmepumpar, elbilsladdare och batterier;
 - Riktade informationsinsatser och kunskapsstöd kring de mest effektiva sätten att realisera flexibilitetspotential, samt möjliga affärsmodeller och intäktssformer;
 - Utvecklat regelverk kring nya roller såsom aggregatorer och energigemenskaper.
- Förutsättningar för flexibilitet genom energilagring kan förbättras genom en översyn av regelverket samt tydliga ramverk för marknadsplatser och aggregatorer för att främja användning av energilagring med fokus på flexibilitet för mindre aktörer.

Energimarknadsinspektionen tillsammans med Energimyndigheten, Svenska kraftnät och Swedac redovisade i april 2023 ett antal åtgärdsförslag för att främja ett mer flexibelt elsystem.²¹² Ytterligare förslag kommer att redovisas i en gemensam handlingsplan senast 15 december 2023.

4.3.3 Kraftvärme

När det gäller potentialen för ökad elproduktion från kraftvärme så är det viktigt att ha med sig att elproduktionen tidigare mer setts som en ”biprodukt” av fjärrvärmeproduktionen. Bidraget från kraftvärmen har emellertid blivit allt viktigare i takt med stigande elpriser, elektrifiering, behov av stödtjänster och lokal effekt samt ett ökat fokus på

²¹² Energimarknadsinspektionen. Många åtgärder föreslås för att främja flexibilitet i elsystemet. *Energimarknadsinspektionen*. 2023. Regeringsuppdrag överlämnat: Många åtgärder föreslås för att främja flexibilitet i elsystemet – Energimarknadsinspektionen (ei.se) (Hämtad 2023-06-02)

beredskap och försörjningstrygghet. För att få till stånd investeringar krävs stabila spelregler och marknadsförutsättningar liksom en korrekt värdering av kraftvärmens nyttor. Men även en värdering av kraftvärmens bidrag till en trygg energiförsörjning som inte alltid prissätts. På kortare sikt beror potentialen främst på möjligheten att öka flexibiliteten i elproduktionen i existerande anläggningar genom att de blir mer oberoende av värmeunderlaget. På vintern handlar det framförallt om möjligheten att köra igång en extra spetslastpanna (eller använda lager) för att slippa ”backa på elen”. Varmare årstider handlar det främst om ökade kylmöjligheter. Några viktiga åtgärder för att värna om och utveckla kraftvärmen är:

- Långsiktiga spelregler är en förutsättning för att branschen ska våga investera. Inte minst när det gäller utformningen av skatter (ex. koldioxidskatten) men även när det gäller stödtjänster och mothandel där branschen efterfrågar längre kontrakt än 1 år i taget.
- Långsiktigt är även elmarknadens utformning och tillräcklig ersättning för kapacitet viktig för att få till stånd investeringar i kraftvärme som beräknas köras allt färre timmar i framtiden.
- För att öka kraftvärmens möjlighet att bidra till ökad elproduktion och flexibilitet behöver möjligheterna att kyla bort värme när fjärrvärmenätet inte räcker till ses över. En ökad kylförmåga genom kylning i vattendrag skulle kunna öka elproduktionen under varmare årstider högst väsentligt när elpriserna är höga (exempelvis som de var augusti och september 2022). Detta kräver emellertid en förändring av miljötillstånden.
- En åtgärd för att snabbare få elkapacitet från kraftvärme på plats är att förkorta installationstiden för mikrokraftvärme genom att underlätta för ORC-turbiner (Organic Rankine Cycle). Energimyndigheten förslår därför att en anmälan i stället för en ansökan om nytt miljötillstånd skulle vara tillräcklig för mindre åtgärder i syfte att öka elproduktion. Ett exempel är installationer av ORC-turbiner som då kan komma på plats snabbare.

4.3.4 Kärnkraft

Kärnkraft har länge tillsammans med vattenkraften utgjort majoriteten av elproduktion och effekttillgång i Sverige och har även viktiga systemstabiliserande egenskaper för elsystemets funktion. Det finns idag flera drivkrafter som talar för att kärnkraften fortsatt kommer vara en del av elproduktionsmixen 2050 då kärnkraft har en stor potential att kunna tillgodose en stor andel av utbyggnadsbehovet till 2050.

För att möjliggöra att kärnkraft åter byggs i Sverige så finns det hinder som behöver hanteras men som också kommer att skilja sig åt beroende på om det handlar om att drifttidsförlänga, bygga nya reaktorer på befintlig plats och av samma typ som idag eller om det handlar om att bygga nya typer eller på nya platser. Att bygga nya reaktorer är en stor och långsiktig investering som innefattar en stor risk för de aktörer som ska investera på grund av den långa återbetalningstiden.

- En grundläggande förutsättning för en investering är att det finns en politisk enighet eller acceptans för att kärnkraften har en plats i elsystemet under lång tid och att det därmed finns grundläggande långsiktiga spelregler.
- Det finns ett behov av att upprätthålla och utveckla kompetensförsörjningen inom industrin och säkra återväxten av forskare vid lärosäten.

Om det finns möjligheter att drifttidsförlänga en eller flera befintliga reaktorer så minskar behovet av ny produktion när de annars skulle stängas under början av 2040-talet. Ny kärnkraft på befintliga platser uppskattas ta åtminstone kring tio år att uppföra och att bygga på ny plats eller av annan typ av rektor kan sannolikt ta längre tid. Dagens regelverk för tillståndsprövning är anpassat för stora konventionella lättvattenreaktorer och inte för nya reaktortekniker som SMR.

- Det är därför viktigt att säkerhetskrav, föreskrifter osv. tas fram och anpassas även för nya reaktortyper som SMR men även anpassa avgiftsförordningen som idag är densamma oavsett reaktorstorlek.
- Att legala begränsningar i Miljöbalken för ny kärnkraft på nya platser ses över. Regeringen har föreslagit att begränsningen avseende på antal och plats tas bort, men det finns behov av att även se över de begränsningar av vissa kuststräckor som idag är skyddade från kärnkraft.

I ett elsystem som i huvudsak ska utvecklas på marknadsmässiga grunder är en väl fungerande marknad grunden för ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Skulle marknader för nya stödtjänster såsom rotationsenergi och reaktiv effekt införas skulle det kunna förbättra förutsättningarna för exempelvis kärnkraft men även för andra kraftslag beroende på elsystemets behov.

- Översyn av behovet av olika nyttor och systemtjänster i elsystemet samt ersättningsmodeller kan öka lönsamheten.

Systemet för avfallshantering är dimensionerat utifrån det avfall som dagens reaktorer kommer generera under såväl drift som avveckling, detta gäller också för drifttidsförlängning. Nya reaktorer kräver ny dimensionering av avfallshanteringen och nya reaktorer kan också innebära nya aktörer. Avfallshantering behöver även möjliggöras för eventuellt nya aktörer att ingå i eller upprätta ett nytt system för hantering av kärnavfallet.

4.3.5 Solkraft

Solkraften utgör fortfarande en liten andel av den totala elproduktionen i det svenska elsystemet men har gång på gång underskattats i bedömningar gällande framtida produktionsutveckling. Det finns flera faktorer som accelererat utvecklingen, bland annat snabb etableringstakt och fortsatt lönsamhet med anledning av höga elpriser. Det finns även outnyttjad potential för en stor expansion av solkraft både på byggnader och på mark. Solkraft på tak är generellt en lågt hängande frukt på så vis att takbaserad anläggningar sällan stöter på motstånd samt går relativt snabbt att få på plats, medan solkraft på mark som tar plats i landskapet kan stöta på utmaningar om den påverka andra intressen i anslutning till etableringsområdet. Därför kan fortsatt utbyggnad av solkraften innebära att det uppstår fler intressekonflikter kring förändring av landskapet liknande dem som förekommit kring vindkraften. I utbyggnaden av solkraft (specifikt solparker) innebär det att arbete för samexistenslösningar med andra intressen och annan markanvändning behöver intensifieras. För att en fortsatt hög utbyggnadstakt av solkraft i ett längre tidsperspektiv ska möjliggöras finns det även andra hinder som behöver hanteras:

- Planeringsförfarandet behöver bli mer förutsägbart och det är därför viktigt att stödja länsstyrelser och kommuner i frågor kring energiomställning och solkraft.
- Ökad förutsägbarhet i planeringsförfarandet kan underlättas genom tydligare politisk styrning och målsättning.

- Det finns behov av kompetenshöjning och stöd kring solkraften som en möjliggörare för lokal elförsörjning samt analys av konsekvenser vid utebliven utbyggnad av elproduktionen och/eller nyttan för elnätet.
- Solkraft i samexistens med andra intressen behöver belysas och hanteras. Exempelvis hur solkraft kan utvecklas för att stärka och inte störa försvarsförmågan.
- Även solkraften som komplement till andra kraftslag och rollen som flexibel produktionsresurs behöver belysas samt hur rollen kan stärkas av utvecklade systemlösningar (exempelvis lagring).

4.3.6 Vattenkraft

Vattenkraftens roll har varit relativt oförändrad sedan slutet av 1900-talet och är det huvudsakliga kraftslag som bidrar till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom det är en reglerbar elproduktionskälla. Utvecklingspotential är idag begränsad till de älvar där det redan har etablerats vattenkraft då miljöbalken skyddar nationalälvarna från vattenkraftsutbyggnad. Miljöbalkens skydd är ett tydligt exempel på hur en målkonflikt har hanterats på ett bestående sätt när värdet av att ha fritt strömmande vatten i de skyddade älvarna anses vara högre än andra samhällsvärden som kommer från en ökad vattenkraftsproduktion.

Den svenska vattenkraften har en viktig roll i dagens elsystem och dess flexibilitetsresurser kommer att bli allt viktigare i framtidens elsystem oavsett utvecklingsväg. Det är därför viktigt att vattenkraften värnas när den omprövas för moderna miljövillkor och att potential för ökad effekt och flexibilitet i befintlig vattenkraft tas till vara.

- Det samhällsekonomiska värdet av vattenkraftens alla förmågor behöver beskrivas kvantitativt eller kvalitativt så långt det är möjligt. Det är underlag som vattenmyndigheterna behöver för att kunna ta hänsyn till vattenkraftens alla förmågor i normsättningen inför omprövning.
- Kartläggning av vattenkraftens åtgärdsbehov, utifrån både vattenförvaltningens generella kravnivå och särskilda Natura 2000-krav, nödvändigt för att bedöma vilken påverkan omprövningen kan innebära för vattenkraftens produktionsförutsättningar.
- Kunskapsunderlag för bedömning och nationell prioritering av områden nödvändiga för att säkerställa gynnsam bevarandestatus för arter och naturtyper på biogeografisk nivå bör tas fram.
- Vid omprövning för moderna miljövillkoren är det viktigt att skapa förutsättningar för effektutbyggnad och optimering av älvsystemets vattenhushållningsbestämmelse så att vattenkraftens flexibilitet och potential kan utnyttjas fullt ut.
- Det är viktigt att det finns ekonomiska incitament så att potential för effektutbyggnad och ökad flexibilitet inom befintlig vattenkraft kan realiseras. Nya systemtjänster i kombination av ökad efterfrågan på olika tjänster ökar vattenkraftens konkurrenskraft och främjar effektutbyggnad och ökad flexibilitet.

4.3.7 Vindkraft – Landbaserad

Landbaserad vindkraft har under senare år stått för ett betydande tillskott av ny elproduktion till det svenska elsystemet. Det finns fortsatt stor outnyttjad potential för en fortsatt kraftig expansion av vindkraft på land då Sverige har relativt stor landyta och är glesbefolkat. Den förhållandevis korta etableringstiden, inarbetade arbetssätt, låga kostnader och ett stort antal projekt i olika faser i etableringsprocessen gör att landbaserad vindkraft i närtid kommer vara ett kraftslag som har potential att fortsätta bidra med ny elproduktion.

För att i ett längre tidsperspektiv möjliggöra en fortsatt hög utbyggnadstakt av landbaserad vindkraft finns det hinder som behöver hanteras. Under senare år har det kommunala vetot växt fram som det största enskilda hindret för ny vindkraft. Det kommunala vetot behöver förändras för att bli mer förutsägbart men lika viktigt är att stödja kommunerna i frågor kring energiomställning och vindkraft. Eftersom det inte finns någon enskild orsak till att kommuner använder sitt veto behöver åtgärderna adressera olika aspekter. Energimyndigheten ser en stor potential i att stärka kommunerna samt länsstyrelser och regioner genom att:

- Stärka förmågan till energiplanering genom ekonomiska planeringsstöd för energiplanering och utveckling av mellankommunala samarbeten kring elförsörjning.
- Ge länsstyrelser och regioner förutsättningar att tillhandhålla planeringsunderlag och regionala underlag för vindbruksplanering utveckla regionala samarbeten kring behov av att stärka elförsörjningen
- Kompetenshöjning och stöd kring vindkraften som en förutsättning och möjliggörare för regional utveckling samt konsekvenser av utebliven utbyggnad av elproduktionen.

Vindkraften tar plats i landskapet och påverkar andra intressen utanför själva etableringsområdet. En fortsatt utbyggnad av landbaserad vindkraft kommer därför kräva ett arbete kring att utveckla samexistenslösningar med andra intressen och annan markanvändning. Det kan även innebära att existerande verksamheter behöver anpassa sig efter nya förutsättningar med ett större inslag av vindkraft. En fortsatt utbyggnad av vindkraft innebär att mer av intressekonflikterna blir aktuella, till exempel kring förändringar av landskapet. Här har politiken ett ansvar för att göra avvägningar om elektrifieringen ska vara möjlig. Vad gäller utveckling av samexistenslösningar är det särskilt viktigt med arbete avseende:

- Vindkraft och totalförsvarets militära del och hur vindkraft kan utvecklas utan att försvarsförmågan försämras.
- Undersöka och utveckla arbetssätt för konstruktiva lösningar avseende vindkraft och renskötsel för att möjliggöra vindkraft samtidigt som renskötselns behov kan tillgodoses och dess förutsättningar inte försämras.

Omkring 2030 kommer det bli alltmer aktuellt med generationsväxling av existerande vindkraft. Att nyttja befintlig infrastruktur på redan etablerade platser möjliggör en resurseffektiv modernisering av elsystemet och bör kunna genomföras effektivare än om motsvarande ny elproduktion ska etableras. Det är därför nödvändigt att generationsväxling kan genomföras med förenklade tillståndprocesser och ha företräde gentemot andra intressen.

4.3.8 Vindkraft – Havsbaserad

Den havsbaserade vindkraften är en nästintill outnyttjad potential i Sverige. Men likt vindkraften på land finns det många projekt under utveckling, där flertalet projekt är långt gångna. En realisering av en stor andel av dessa projekt har potential att bidra med stora volymer ny elproduktion redan till 2030, inte minst i södra Sverige.

I och med att havsbaserad vindkraft i stor omfattning är nytt för Sverige kommer andra verksamheter i havet till exempel sjöfart, fiske och försvar anpassa sig till de nya förhållanden som vindkraften medför. För att tillvarata den potential som havsbaserad vindkraft erbjuder är det nödvändigt att:

- Ta vara på de möjligheter och konkret arbeta med samexistenslösningar för anpassningar hos berörda intressen.
- Ha stark prioritering av energiintresset i havet vid politiska avvägningar.

Gemensamt för både vindkraft på land och till havs är konflikter i ytanspråk mellan olika legitima samhällsintressen. Lösningar för samexistens behöver utvecklas och nyttjas där det går men till slut kommer det behövas avvägningar mellan intressen för att möjliggöra för mer vindkraft. Ett viktigt verktyg för att möjliggöra havsbaserad vindkraft är att:

- Sverige arbetar med mer styrande planeringsförutsättningar i havet och anpassade effektiva processer för etablering av havsbaserad vindkraft i Sverige.²¹³

²¹³ Initiativ till detta har redan tagit genom *Uppdrag om nya områden för energiutvinning i havsplanerna* (M2022/00276) och *En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft* (Kommittédirektiv 2023:61).

Bilaga – Elsystemmodellering och potentialbedömningar

Elsystemmodellering

Modellen som har använts är en linjär optimeringsmodell²¹⁴ som hittar det system som har lägst kostnader för elproduktion samt investering i ny produktionskapacitet. Modelleringen sker med timupplösning för ett år, för denna analys år 2050. I modellen representeras de fyra svenska elområdena (SE1 till SE4), samt regioner i andra nordiska länder och länderna i resten av Europa. Kapaciteten antas öka jämfört med idag i transmissionsnätet mellan SE2 och SE3, SE3 och SE4, och utlandsförbindelserna mellan SE1 och Finland samt SE4 och Tyskland.²¹⁵ Efterfrågan på el antas öka i resten av Europa enligt antaganden i ENTSO-Es scenario *National trends*.²¹⁶ Utveckling av efterfrågan på el i Sverige är, som beskrivit i *kapitel 1*, baserad på scenariot *Högre elektrifiering* från Energimyndighetens rapport *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*.²¹⁷ I modellen antas priskänslighet för vissa typer av efterfrågan på el (framför allt inom industrin och för elektrolysörer), dvs. efterfrågan antas reduceras vid vissa elprisnivåer. Väderberoende variationer i produktion från vind- och solkraft samt flödesvariation för vattenkraft är baserad på historiska data. Efterfrågan på el i varje region uppfylls genom en kombination av produktion samt transmission mellan regioner och länder.

Utbyggnaden av elproduktion och den årliga elproduktionen från olika kraftslag (Figur 17) påverkas av tillgången till flexibilitet samt den tillgängliga överföringskapaciteten i elnätet. Modellering av flexibilitet genom förflyttning av efterfrågan över tid eller energilagring är ett pågående utvecklingsarbete inom Energimyndigheten och ska därmed ses som en begränsning för resultaten inom det här arbetet. En mer detaljerad representation av flexibilitet inom efterfrågan på el samt energilagring har potential att minska den nödvändiga utbyggnaden av elproduktion för att tillgodose efterfrågan på el varje timme, exempelvis den installerade effekten för topplastproduktion.

Utbyggnaden av respektive kraftslag i modelleringen beror även på antaganden så som teknisk indata och kapital- och rörliga kostnader. Det antas exempelvis lägre kostnader för installation av landbaserad än havsbaserad vindkraft, vilket leder till att potentialen för landbaserad vindkraft utnyttjas i alla utvecklingsvägar, medan hela potentialen för utbyggnad av havsbaserad vindkraft inte används. Även potentialen för utbyggnad av solkraft i SE1 utnyttjas fullt i alla utvecklingsvägar. Resultat där hela potentialen i ett område utnyttjas visar på värdet av elproduktionen (från det kraftslaget) inom det området och pekar på behovet av fördjupade analyser kring utbyggnad.

²¹⁴ <https://thema.no/en/price-forecasts-and-models/power-market-model/>

²¹⁵ Avstämt med Svenska kraftnät.

²¹⁶ ENTSO-E, *TYNDP 2022 Scenario report version April 2022*, hämtad september 2023, TYNDP 2022 Scenario Report: Download (entsos-tyndp-scenarios.eu)

²¹⁷ Energimyndigheten (2023), *Scenarier över Sveriges energisystem 2023-Med fokus på elektrifieringen 2050*, ER 2023:07.

Att göra potentialbedömningar långt fram i tiden

Uppskattningar av potential för framtida elproduktion är alltid kopplade till olika typer av begränsningar. Det kan handla om tillgängliga resurser eller begränsningar i den tekniska praktisk genomförbara eller ekonomiska potentialen. Exempelvis är den tekniska potentialen för vindkraft i Sverige väldigt stor till följd av Sveriges geografiska förutsättningar med stora obebyggda ytor, långa kuststräckor och höga medelvindhastigheter. Den tekniska potentialen för solkraft är framför allt kopplat till tillgängliga takytor samt obebyggt mark. Den praktiskt genomförbara potentialen är däremot betydligt lägre då begränsningar såsom tillgång till elnätet, överföringskapacitet, eller acceptans för användande av land- och vattenområden eller olika typer av tekniker påverkar.

Den praktiskt genomförbara potentialen för ett kraftslag är oftast problematisk att kvantifiera då faktorer som påverkar kan förändras i takt med att elsystemet och samhället utvecklas. Exempelvis kan tekniska lösningar möjliggöra för elsystemet att hantera en högre andel variabel produktion. Dessutom kommer lönsamhet att vara centralt för vad som faktiskt byggs ut. Lönsamhet är starkt sammankopplad med de faktorer som kategoriseras under praktiskt genomförbar potential eftersom den beror på systemfaktorer så som tillgängligheten till energiresursen och hur produktionen från energiresursen kan nyttjas och värderas i systemet.

Kärnkraft

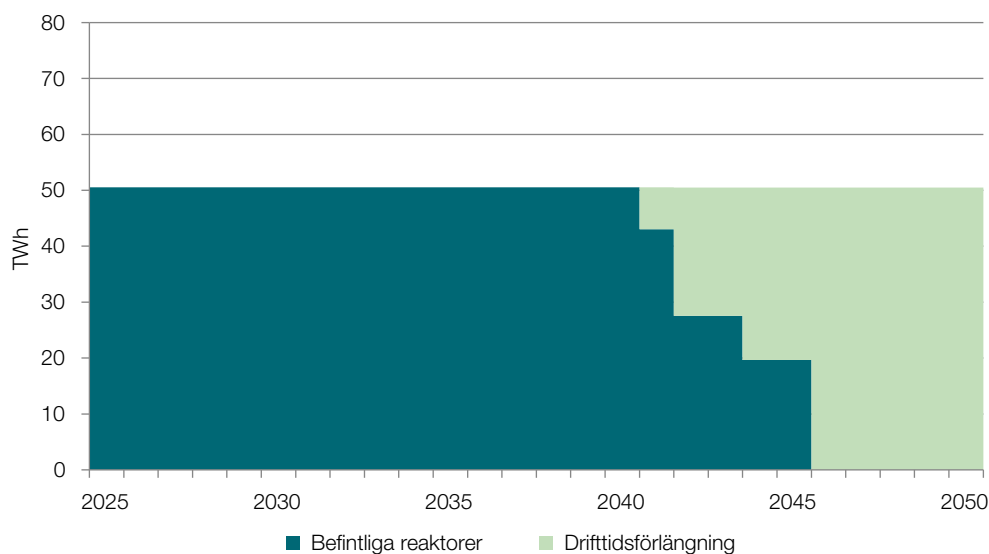
Idag finns sex reaktorer i drift i Sverige på tre platser, Ringhals, Forsmark och Oskarshamn. Samtliga ligger i elområde 3. Tillsammans har de en installerad effekt om drygt 6 860 MW_{el} och producerade under 2021 drygt 51 TWh el. En genomsnittlig produktion för de senaste 5 åren från dessa reaktorer är knappa 49,7 TWh. Från modellår 2025 blir genomsnittlig elproduktion cirka 51 TWh om effektökningen på 100 MW i Forsmark 1 läggs till.²¹⁸

I utvecklingsvägarna *Landbaserad*- och *Havsbaserad vindkraft* som enligt uppdraget inte ska innehålla kärnkraft efter dagens planerade drifttid, så antas den av den anledningen inte drifttidsförlängas utan ställs av efter 60 års drifttid. Detta innebär att de sista reaktorerna fasas ut 2045 (se ”Befintliga reaktorer” i Figur B1). I övriga utvecklingsvägar har potentialer för dessa tagits fram och redovisas nedan.

Drifttidsförlängd kärnkraft

Livstidsförlängning är möjlig att göra så länge ägare finner det lönsamt och reaktorn även fortsättningsvis uppfyller samtliga säkerhetskrav. Det är alltså möjligt för samtliga kvarvarande reaktorer men kommer också att vara en avvägning mellan kostnad, lönsamhet och att göra andra investeringar som i till exempel en ny reaktor alternativt SMR (små modulära reaktorer). I utvecklingsvägen antas att drifttidsförlängning är möjlig i samtliga 6 reaktorer som är i drift idag vilket motsvarar 6 960 MW i samband med att de närmar sig 60 års livslängd.

²¹⁸ Det pågår också en utredning att göra en effektökning om max 250 MW i Forsmark 3 enligt Vattenfall. En effektökning om 250 MW motsvarar kring 2 TWh och skulle kunna vara genomförd till omkring 2030. Genomsnittlig elproduktion från de 6 befintliga reaktorerna skulle då vara omkring 53 TWh och därmed en installerad effekt på drygt 7 210 MW. För Oskarshamn 3 finns en potential att öka verkningsgraden något som motsvarar tillkommande 35 MW men det finns i dagsläget inga planer på att genomföra denna åtgärd men kan inte uteslutas i framtiden. Dessa är inte med som potentialer i utvecklingsvägarna.



Figur B1. Möjlig elproduktion från kärnkraft i fallet med Drifftidsförlängd kärnkraft, TWh.

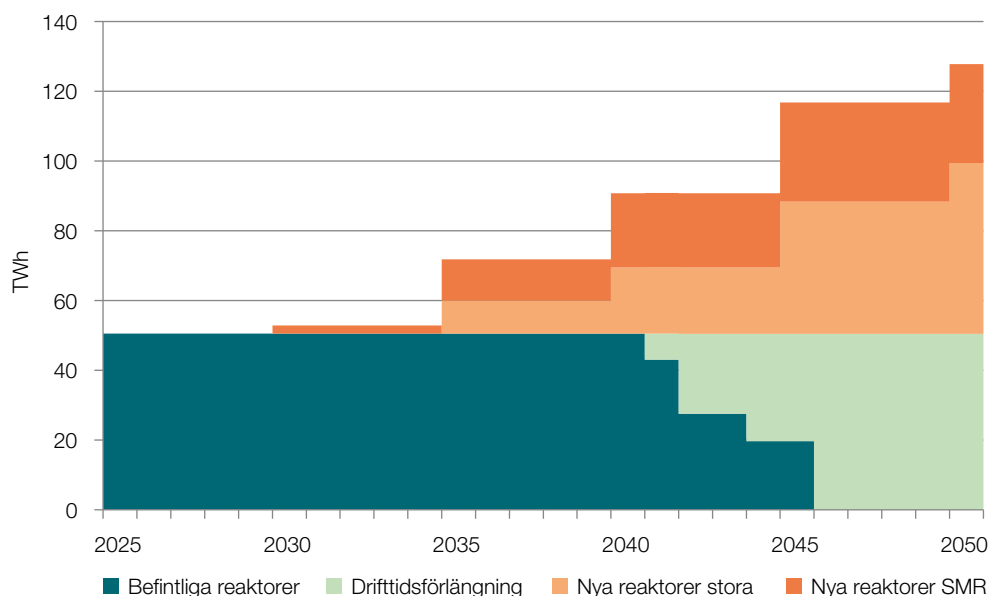
Ny kärnkraft

I *Ny kärnkraft* antas regelverket öppnas för att även bygga reaktorer på fler platser utan ett begränsat antal och även anpassas för att inkludera små modulära reaktorer, SMR.

Även om regelverk öppnar för platser som idag inte används för kärnkraft så bedöms stora reaktorer byggas på platser där kärnkraft funnits tidigare. Storlek på en ny reaktor kommer att bero på flera faktorer som elbehov i elområdet, lönsamhetskalkyler osv. I denna utvecklingsväg är storleken satt till på 1 200 MW och 4 nya stora reaktorer är möjliga att bygga i SE3 mellan 2035–2050 och bygger på befintliga reaktors teknik. En ny reaktor kan vara större likt Oskarshamn 3 som är på 1 400 MW eller som Olkiluoto 3 i Finland som är på 1 600 MW. Barsebäck i elområde 4 bedöms åter vara en möjlig plats och där en ny stor reaktor på 1 400 MW kan byggas. I utvecklingsvägen ges elmarknadsmodellen möjlighet att investera i total 5 nya och stora reaktorer. Således finns då potentiellt 6 200 MW (4 800MW plus 1 400MW) ny storskalig kärnkraft i den utvecklingsvägen. De drifftidsförlängningar som antogs möjliga i utvecklingsvägen *Drifftidsförlängd kärnkraft* kan göras även i denna utvecklingsväg.

SMR antas kunna byggas i närheten av stora industriprojekt vilket gör att de byggs i SE1 eller på befintliga platser i SE3. Då det är svårt att bedöma hur många SMR som kan tillkomma har ett förenklat antagande gjorts som innebär att mellan 9–14 procent av tillkommande effektbehov i SE1 utgörs av SMR. Det innebär att potentialen i SE1 motsvarar max 9 SMR²¹⁹ eller totalt 2 700 MW mellan 2035 och 2050. I SE3 kan 900 MW SMR byggas mellan 2030–2050. Här antas SMR vara av typen lättvattenreaktorer och nya tekniker finns inte med i detta arbete även om de kan komma att bli mer aktuella i framtiden. Sålunda finns det i utvecklingsvägen *Ny kärnkraft* en potential på max 16 760 MW och 128 TWh kärnkraft fram till 2050 enligt figur och tabell nedan. Kärnkraft finns därmed potentiellt i elområde 1, 3 och 4.

²¹⁹ Ett storleksantaganden på 300 MW har gjorts.



Figur B2. Potentiell elproduktion från kärnkraft i fallet med Ny kärnkraft, TWh.

Tabell B1. Sammanfattning av antagna potentialer för kärnkraft för olika utvecklingsvägar och år.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	El-område
Landbaserad och havsbaserad vindkraft							
Befintlig kärnkraft, 60 år							
Elproduktion, TWh	51	51	51	51	19	0	SE3
Effekt, el, GW	7,0	7,0	7,0	7,0	2,6	0	SE3
Drifttidsförlängd kärnkraft							
Drifttidsförlängning							
Elproduktion, TWh	0	0	0	0	32	51	SE3
Effekt, el, GW					4,4	7,0	SE3
Ny kärnkraft							
Ny kärnkraft, stor, befintlig plats							
Elproduktion, TWh	0	0	9	19	38	38	SE3
Effekt, el, GW	0	0	1,2	2,4	4,8	4,8	SE3
Ny kärnkraft, stor och ny plats							
Elproduktion, TWh	0	0	0	0	0	11	SE4
Effekt, el, GW	0	0	0	0	0	1,4	SE4
Ny kärnkraft, SMR							
Elproduktion, TWh	0	2,4	11,8	21,3	28,4	28,4	SE1/SE3
Effekt, el, GW	0	0,3	1,5	2,7	3,6	3,6	SE1/SE3

Landbaserad vindkraft

Under 2022 producerade den landbaserade vindkraften 32,5 TWh med nästan 5100 verk. De senaste åren har utbyggnadstakten av landbaserad vindkraft varit hög i Sverige. Den installerade effekten har fyrdubblats sedan 2012 och enligt prognoser kommer den installerade effekten bli runt 17 GW och produktionskapaciteten runt 50 TWh vid slutet

av år 2025.²²⁰ Den maximala utbyggnadspotentialen är svårt att förutsäga och det finns teoretiskt sett en mycket stor potential i Sverige. Målkonflikter med andra intressen som vindkraft kan påverka och kring markanvändning är dock begränsande. Det visar sig också i förutsättningarna att erhålla tillstånd, vilket är den största osäkerheten.

Potentialbedömningarna för landbaserad vindkraft per elområde i de olika scenarierna har utgått från ett visst antagande om utbyggnadstakt. Tillvägagångssättet för detta har genomförts i två steg. Först identifieras en maximalpotential för hela Sverige baserat på en generell utbyggnadstakt för hela Sverige. I nästa steg har en fördelningsnyckel valts för att fördela utbyggnaden mellan Sveriges nuvarande elområden. Eftersom alla befintliga vindkraftverk når sin livslängd till 2050, motsvarar utbyggnaden automatisk befintlig vindkraft år 2050.

Maxpotentialer 2030

I alla utvecklingsvägar antas potentialerna vara likadana fram till 2030. Potentialen för den maximala nationella utbyggnadstakten (och därmed kumulativa övre gränser) är satt 5 TWh/år mellan 2025 och 2030. Detta ligger i mitten mellan (det förväntade) 10 års genomsnittet (2014–2024) och (det förväntade) 5 års genomsnittet (2019–2024). Efter 2030 antas en förändrad utbyggnadstakt beroende på utvecklingsväg.

Landbaserad vindkraft

Vindkraftens utbyggnadspotential i denna utvecklingsväg ökar med 40 procent till 7 TWh/år efter 2030.²²¹ Den totala maxpotentialen för landbaserad vindkraft landar på 165 TWh utifrån tillvägagångssättet som har beskrivits ovan. Uppdelningen av vindkraft per elområde visas i Tabell B2.

Övriga utvecklingsvägar

I utvecklingsvägarna där möjligheterna för landbaserad vindkraft antas vara mer begränsade antas det en lägre utbyggnadspotential efter 2030 (3 TWh/år)⁹. För de övriga scenarierna så antas att utbyggnaden av den landbaserade vindkraften begränsas på sikt. Slutligen landa på totalt 85 TWh 2050. Uppdelningen av vindkraft per elområde visas i Tabell B2.

Fördelning mellan elområden

Den totala utbyggnadstakten och därmed även de kumulativa potentialerna kan man fördela på olika sätt på de olika elområdena. I det här arbetet har utbyggnadstakten fördelats baserat på landytan som användes²²² i ”*Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*” (Vindkraftsstrategin).²²³ Jämfört med den slutliga fördelningen som valdes i Vindkraftsstrategin motsvarar detta huvudsakligen en omfördelning från SE1 till SE3.²²⁴

²²⁰ Energimyndigheten (2023), Kortsiktsprognos vinter 2023, ER 2023:09.

²²¹ Mellan 2017 och 2022 låg utbyggnadstakten ungefär mellan 5 och 7 TWh per år.

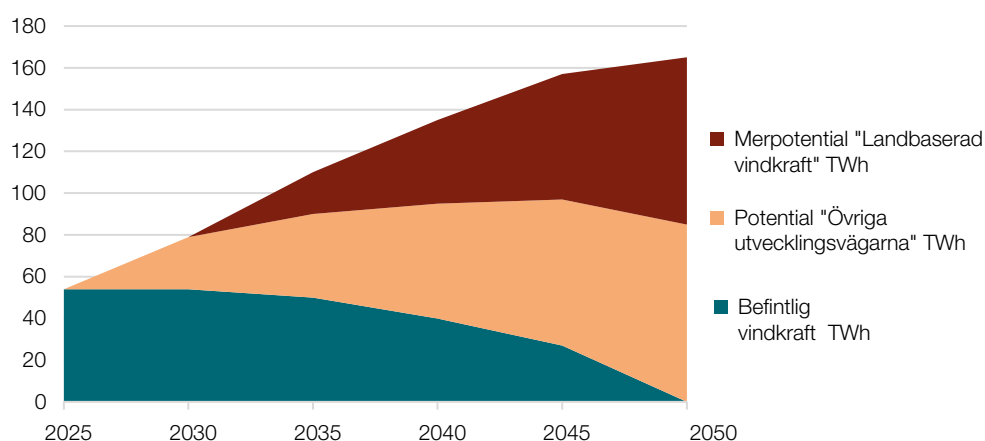
²²² Total landyta exklusive 100 m från sjöar, hav och vattendrag.

²²³ Energimyndigheten (2021), Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad, ER 2021:02.

²²⁴ I Vindkraftsstrategin spelade hade elbehovet i de olika elområdena in i fördelningen. Elbehoven som användes skiljer sig mycket från de i det här arbetet, därför valdes en fördelning bara utifrån landytan.

Tabell B2. Sammanfattning av antagna potentialer för landbaserad vindkraft för olika utvecklingsvägar och år.

		2025	2030	2035	2040	2045	2050
Befintlig vindkraft	TWh	54	54	50	40	27	0
Potential "Övriga utvecklingsvägarna"							
SE1	GW						6,5
	TWh	0	7	11	15	19	23
SE2	GW						8,1
	TWh	0	8	13	18	22	27
SE3	GW						8,6
	TWh	0	8	13	18	22	27
SE4	GW						2,7
	TWh	0	2	4	5	7	8
Total	GW						
	TWh	0	25	40	55	70	85
Potential "Landbaserad vindkraft"							
SE1	GW						12,7
	TWh	0	7	16	25	34	44
SE2	GW						15,8
	TWh	0	8	19	30	42	53
SE3	GW						16,6
	TWh	0	8	19	30	41	53
SE4	GW						5,2
	TWh	0	2	6	9	13	16
Total	GW						
	TWh	0	25	60	94	130	165



Figur B3. Sammanfattade potentialer för elproduktion från landbaserad vindkraft inkl. befintlig vindkraft som når sin livslängd. Utveckling i tid från 2025 framåt.

Havsbaserad Vindkraft

Idag finns endast 4 äldre och mindre havsvindparker i drift i Sverige. Total installerad effekt är 0,2 GW och årlig elproduktion ca 0,5 TWh. På tillståndssidan finns det sex projekt som har tillstånd klara. Ett av projekten är ett mindre projekt i Vänern (Stenkalles grund 0,1 GW). Två av projekten är äldre tillstånd med höjder som begränsar turbinval (Kattegatt offshore och Storgrundet) och dessa söker därför om ändringstillstånd för att kunna bygga med färre och större turbiner. De resterande projekt är projekt med moderna turbiner: Kriegers Flak (runt 2,7 TWh årlig elproduktion) som nu har alla tillstånd på plats, samt Kattegatt Syd (runt 5 TWh) och Galene (runt 1,5 TWh) i Västerhavet som fått tillstånd av regeringen under maj 2025. För inget av dessa projekt har slutligt investeringsbeslut fattats.²²⁵

På projektutvecklingssidan pågår omfattande aktivitet och det finns många nya projekt under utveckling. Den teoretiska potentialen är väldigt stor och eftersom det finns många långt utvecklade projekt skulle det också, i teorin, kunna gå relativt fort med utbyggnaden om rätt förutsättningar ges. Även till havs är den största osäkerheten förutsättningarna att erhålla tillstånd. Det finns påverkan på flera intressen och det är svårt att bedöma vad som slutligen kan komma att accepteras i tillståndsprocesserna. Det finns också osäkerheter kopplade till teknisk, tillgång till elnät, lönsamhet och investeringsvilja.

Maxpotentialer

Till 2025 är det bara projekt med alla tillstånd på plats som kan vara möjligt att genomföra. Av dessa projekt är det enbart Stenkalles grund som planeras uppföras innan 2025. Till 2030 finns det goda möjligheter att genomföra flera stora projekt med rätt förutsättningar och om tillstånd ges. Den maximala möjliga utbyggnaden antas begränsas av vilken takt som bedöms vara möjlig att uppnå. Även om det finns väldigt många projekt under utveckling så kommer det uppstå begränsningar både hos myndigheter i planerings- och tillståndsprocesser och hos företag och infrastruktur i leverantörskedjorna. Detta kommer byggas upp över tid och det kommer att variera exempelvis som följd av utvecklingen i vår omvärld. För enkelhetens skull har en linjär maximal utbyggnadstakt antagits på 12,5 GW över varje 5 års period, dvs 2,5 GW per år.

Minpotentialer

För *Drifttidsförlängd* och *Ny kärnkraft*, samt *Landbaserad vindkraft* kan 0 användas som minpotential för ny havsbaserad vindkraft och i stället låta elmarknadsmodellen välja hur mycket som byggs. För utvecklingsvägen *Havsbaserad vindkraft* bör däremot en optimistisk utveckling antas och minpotentialerna för detta presenteras i Tabell B3.

Tabell B3. Minpotentialer för utvecklingsvägen "Havsbaserad vindkraft".

Minpotential havsvind	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Minpotential Effekt [GW]	0,1	5	12,5	22,5	32,5	42,5
Minpotential elprod. [TWh]	0,3	20	50	90	130	170

Fördelning av max- och minpotentialer mellan elområden

~~Havsbaserad vindkraft har potentialen att byggas ut i södra Sverige. Eftersom behovet~~
²²⁵ Uppgifter från Vindbrukskollen 2023-03-13, samt projektens hemsidor. Vindbrukskollen i närtid är som störst i södra Sverige antas inledningsvis huvuddelen av produktionen (lansstyrelsen.se)

hamna där. Det är också där huvuddelen av den pågående projektutvecklingen görs, inte minst de projekt som bedöms ha kommit längst. På sikt bedöms dock havsbaserad vindkraft även bli aktuellt i elområde 1 och 2, för att stödja industriutvecklingen där. Det är även så att förutsättningarna utifrån påverkan på och konkurrens med andra legitima samhällsintressen är generellt bättre i Bottniska viken än i Västerhavet och Östersjön.²²⁶ Utvecklingsvägen ”Havsbaserad vindkraft” förutsätter att det går hitta lösningar och eller görs prioriteringar som möjliggör en omfattande etablering även i Västerhavet och Östersjön.

I Tabell B4 visas fördelningsnyckeln för potentialer för havsbaserad vindkraft per elområde med ett femårsintervall. Utmaningarna med att hitta möjliga platser för etablering som kan ansluta till SE 3 och 4 och det förväntade kraftigt ökade elbehovet från industrisatsningar i framför allt SE1 kan göra att fördelningen nedan får en starkare förskjutning mot norr och att den kommer tidigare än vad som har använts som antagande här.

Tabell B4. Maximala potentialer havsbaserad vindkraft för alla utvecklingsvägar.

		2025	2030	2035	2040	2045	2050
SE1	GW	0	0	3	4	8	9
	TWh	0	0	9	13	26	32
SE2	GW	0	3	5	9	13	16
	TWh	0	9	18	34	45	57
SE3	GW	0	4	9	13	15	19
	TWh	0	15	35	53	61	76
SE4	GW	0	6	9	11	15	19
	TWh	1	26	37	48	63	79
Total	GW	0,3	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5
	TWh	1	51	99	147	195	244

Kraftvärme

Kraftvärme producerar idag en relativt liten del av den totala elproduktionen men har viktiga egenskaper i elsystemet. Utbyggnadspotentialen i framtiden begränsas däremot av värmeunderlaget. Energimyndigheten har tidigare undersökt ett scenario med 35 TWh kraftvärme²²⁷ och kraftvärmestrategin²²⁸ har tittat på utmaningar med att frigöra mer effekt och öka produktionen i befintliga kraftverk.

²²⁶ Energimyndigheten (2023), Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna, ER2023:12.

²²⁷ Energimyndigheten (2019), 100 procent förnybar el – Delrapport 2, ER 2019:06.

²²⁸ Energimyndigheten (2023), Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi, 2023:14.

Kraftvärmens utveckling enligt Energimyndighetens långsiktiga scenarier

I Energimyndighetens arbete med långsiktiga scenarier²²⁹ ligger den totala produktionen från kraftvärme och industriellt mottryck i stort sett kvar på dagens nivå under hela perioden fram till 2050. Skillnaderna mellan scenarierna är små och produktionen 2050 hamnar på omkring 17–18 TWh beroende på scenario. I scenariot *Högre elektrifiering* (som har samma elbehov som i antas i det här arbetet) hamnar i det högre intervallet. Kraftvärmens från fjärrvärmenäten förväntas öka något på längre sikt medan kraftvärme inom industrin (Industriellt mottryck) minskar över tid och understiger långsiktigt 4 TWh.²³⁰

Utvecklingen är beroende av många olika faktorer. Ett exempel är fjärrvärmesektorn som antagits vara relativt oförändrad. Värmeunderlaget i fjärrvärmesektorn beror bland annat på marknaden för värmepumpar utvecklas och på lång sikt vilka energieffektiviseringskrav som kommer att gälla för bostäder och lokaler.

Den tekniska potentialen för kraftvärme begränsas av värmeunderlaget. Värmeunderlaget avgör hur mycket el som kan produceras med kraftvärme. Detta betyder att det finns en begränsning i hur mycket kraftvärmeproducerad el man kan få genom investeringar i ny kraftvärme. Ifall det inte finns någon möjlighet att få avsättning för värmen i ett fjärrvärmenät (eller för annan användning eller genom att lagra den) så kan inte kraftvärmens öka.²³¹ Den totala fjärrvärmeproduktionen inklusive spillvärme uppgick till 62,3 TWh 2021, därav 26,5 TWh från kraftvärme (exklusive rökgaskondensering) som producerade 15,7 TWh el varav 6,9 TWh inom industrin. Fjärrvärmeproduktionen från rena värmeverk uppgick till 19 TWh. Kraftvärmens möjlighet att expandera genom att värmeverk uppgraderas eller ersätts med kraftvärmeverk begränsas alltså till dessa 19 TWh.²³² Hur mycket el man får ut av kraftvärmeverk som producerar 19 TWh värme beror på vilken typ av kraftvärme och bränsle som används. Ifall vi antar att all värmeproduktion skulle ersättas med biokraftvärme med ett elutbyte på 35 procent av värmeproduktionen skulle det innebära ytterligare 6,7 TWh elproduktion. Ifall man kan hitta avsättning för värmen skulle exempelvis ytterligare 6 TWh och totalt 25 TWh kraftvärmeproducerad fjärrvärme ge nästan 9 TWh ny el.

I praktiken så utgörs emellertid en stor del av värmeunderlaget från värmeverk av mindre anläggningar i mindre orter vilket gör att det i många fall framför allt är aktuellt med en ORC²³³-turbין med lägre elutbyte. Det är även möjligt att öka elproduktionen från kraftvärmeverken genom att använda teknik med högre elutbyte vilket skulle kunna införas på längre sikt.

²²⁹ Energimyndigheten (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*. ER 2023:07.

²³⁰ Huvudskälet till detta är att effektiviseringar inom massindustrin antas leda till ett minskat ångbehov varför underlaget för att producera el med hög verkningsgrad krymper.

²³¹ Bortsett från att det kan finnas en viss flexibilitet och möjlighet till överdimensionering.

²³² Förutsatt att spillvärmeleveranserna och värmepumparna antas fortsätta som förut.

²³³ Organic-Rakine-Cycle.

Potentialen för kraftvärme i utvecklingsvägarna

Även om det finns en viss teknisk potential att öka elproduktionen från kraftvärme så påverkas genomförbarheten av ett antal faktorer som nämnts tidigare. Detta betyder att den praktiskt genomförbara potentialen kan vara mer begränsad. Mot bakgrund av detta antas ingen utbyggnad av kraftvärme i scenarierna i det här arbetet.²³⁴ Däremot har ett visst antagande om effekthöjningar gjorts.

Tabell 15. Kraftvärme i alla utvecklingsvägar. Utnyttjande och energiproduktion är beroende av andra antaganden i utvecklingsvägarna, därav redovisas endast effekt här.

			2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kraftvärme i fjärrvärmesystemet	SE1	GW	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	SE2	GW	0,23	0,23	0,34	0,34	0,34	0,34
	SE3	GW	2,03	2,03	2,80	2,80	2,80	2,80
	SE4	GW	0,47	0,47	0,69	0,69	0,69	0,69
Kraftvärme inom industri	SE1	GW	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	SE2	GW	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40
	SE3	GW	0,53	0,53	0,55	0,55	0,55	0,55
	SE4	GW	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41
Total		GW	4,40	4,40	5,45	5,45	5,45	5,45

Solkraft

Elproduktion från solkraft har ökat kraftigt de senaste åren i Sverige (om än från låga nivåer) och kommer troligtvis att fortsätta öka. I nuläget uppgår den totala installerade effekten till ungefär 2,4 GW (50 procent ökning under 2022).²³⁵ Sveriges solelproduktionen är fortfarande relativt liten jämfört med andra kraftslag och andra länder. År 2022 producerades 2 TWh solkraft i Sverige vilket motsvarar 1,2 procent av den totala elproduktionen.

Den starka tillväxten under de senare åren är en kombination av sjunkande systempriser, ökad lönsamhet på grund av högre elpriser, ett ökat intresse av att vara självförsörjande på el, samt främjande politiska styrmedel. Stödsystem som investeringsstöd för solceller²³⁶, skattereduktion för levererad el samt reducerad energiskatt för mikroproducenter har gjort den snabba utvecklingen möjlig. Idag finns det mest installerad effekt i solceller i södra Sverige, elområde 3 och 4.

Eftersom solpaneler är en av de tekniker som går snabbast att bygga ut är solenergin en viktig del i REPowerEU.²³⁷ Paketet omfattar flera delar, däribland en EU-strategi för solenergi.²³⁸ I strategin föreslås installationstakten inom EU öka från 18 GW per år

²³⁴ Det pågår ett arbete på Energimyndigheten med att ta fram en kraft- och fjärrvärmestrategi, som undersöker kraftvärmens roll i framtiden noggrannare.

²³⁵ Energimyndigheten, "Antalet solcellsanläggningar fortsätter öka", *Energimyndigheten*. Antalet solcellsanläggningar fortsätter att öka (energimyndigheten.se) Hämtad 31 mars, 2023.

²³⁶ Från år 2021 ersatt av skattereduktion för grön teknik.

²³⁷ Presenterades av EU-kommissionen den 18 maj 2022 med anledning av Rysslands krig mot Ukraina EUR-Lex – 52022DC0230 – EN – EUR-Lex (europa.eu)

²³⁸ European comission (2022), EU Solar Energy Strategy, COM(2022) 221 final EUR-Lex – 52022DC0221 – EN – EUR-Lex (europa.eu)

(2020) till 45 GW per år med målet att över 320 GW solenergi ska vara i drift senast 2025 och nästan 600 GW senast 2030.

Potential och utvecklingsvägar för solkraft

Uppskattningar kring potential och utvecklingsvägar för solkraft har i det här arbetet utgått ifrån tidigare potentialuppskattningar, samt från formulerade strategiska mål såsom det i REpowerEU strategin för solenergi. Utbyggnaden av solkraft sker både byggnadsintegrerad (tak och fasad) på villor, kommersiella och offentliga fastigheter, samt på mark (solparker). Dessa skiljer sig i inte bara i teknisk potential (olika typer av ytor) men även i form av drivkrafter och regelverk när det gäller installation, samt kostnader och tekniska aspekter. Analysen i det här arbetet omfattar den totala utbyggnaden av solkraft i Sverige och det har inte tagits särskild hänsyn till skillnader mellan olika typer av solcellsinstallationer.

Tidigare uppskattning och teknisk potential i Sverige

I Energiforsk rapport *Utbyggnad av sol i Sverige*²³⁹ uppskattades tillgängliga ytor genom en litteraturstudie. Studien visade relativt stora skillnader i tidigare potentialutredningar bland annat på grund av vilka typer av ytor som inkluderas eller exkluderas. Det innebär att potentialspannet blir stort, 40 TWh – 120 TWh. Sammantaget, i rapporten, bedömdes tillgängliga ytor motsvara en kapacitet av 60 GW solkraft eller mer, beroende på tidshorisont och teknisk tillämpning. I storleksordning kan det motsvara 60 TWh årlig elproduktion.

Hur mycket av den tekniska potentialen som är praktisk genomförbar, och inom vilka tidsramar, beror på ett flertal olika faktorer. Den tekniska potentialen och tillgängliga ytor i Sverige bedöms inte vara begränsande för en storskalig utbyggnad av solkraft i Sverige.

Exempel på utbyggnadstakt fram till 2050

Två olika utvecklingsvägar för solkraft i Sverige baserade på olika målvärden beskrivs för att visualisera utbyggnadstakten i relation till dessa. I Tabell 16 visas två olika exempel i femårsperioder. Det första visar en utbyggnadstakt fram till en installerad effekt som kan tillgodose runt 10 procent av efterfrågan på el för åren 2040/45/50.²⁴⁰ För åren 2040/45/50 räknas andelen av efterfrågan ut, för åren innan har en jämn fördelning utgående från dagens effekt antagits. Det andra exemplet visar en utveckling i installerad effekt motsvarande potentiell andel för Sverige för att möta de föreslagna strategiska målen inom REPowerEU. Sveriges andel av utbyggnadsmålen är då baserat på dagens (2020) andel av den totala installerade solkrafteffekten inom EU.

²³⁹ Energiforsk (2017), *Utbyggnad av sol i Sverige*, Rapport 2017:376.

²⁴⁰ Observera att årlig elproduktion från solkraft från en viss installerad effekt påverkas av ett flertal olika faktorer, bland annat solinstrålning vid olika geografiska placeringar samt tidpunkter.

Tabell 16. Exempel på utbyggnadstakt för solkraft i Sverige; installerad solkraftseffekt GW per år.

GW	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Andel av efterfrågan (cirka 10 procent år 2040/45/50)	3,2	12,1	21,1	30,0	33,6	36,0
REPowerEU (utifrån Sveriges andel av total installerad solkraftseffekt inom EU)	3,2	7,6	12,0	16,4	20,8	25,2

Solpotential i modellering samt fördelning över elområden

Samma potential för solkraft har antagits för modelleringen av alla fyra utvecklingsvägar som undersöks i det här uppdraget. Värdet för år 2050 och exemplet ”*Andel av efterfrågan*” i Tabell 16 har använts som maximalvärde för solkraft och har delats upp över de fyra svenska elområdena (SE1, SE2, SE3, SE4) enligt dagens fördelning av installerad effekt i Sverige. Det antagandet leder till ett betydligt lägre maximalvärde för SE1 och SE2 jämfört med SE3 och SE4, eftersom bara en liten andel av Sverige solkraftinstallationer är lokaliserade i norra Sverige idag. Maximalvärden för SE1 och SE2 har därför skrivits upp lite högre, vilket ger följande maximalvärden för år 2050:

- SE1: 2 GW
- SE2: 2 GW
- SE3: 22,6 GW
- SE4: 10,9 GW

Värdena avser den totala solkraften i Sverige, dvs. både byggnadsintegrerade installationer samt solparker. Det är värt att notera att resultat för modelleringen av alla fyra utvecklingsvägar visar en utbyggnad av 2 GW i SE1, vilket är maximalvärden för det elområdet. Det tyder på ett möjligt stort värde av potentiell elproduktion från solkraft i norra Sverige i samband med en ökande elanvändning i det området och ett behov att undersöka vidare potentialer och förutsättningar för utbyggnad av solkraft i hela Sverige.

Vattenkraft

Vattenkraften producerar mest el i Sverige idag, år 2021 producerade vattenkraften 73 TWh. Årsproduktionen är däremot något som kan variera bland annat beroende på väderår. Utbyggnaden av vattenkraft kan anses begränsad då den största potentialen finns i de nationalälvar som är skyddade enligt svensk lagstiftning. Däremot finns det potential för effekthöjningar i befintliga kraftverk, vilket skulle kunna bli aktuellt i ett framtida elsystem där behovet av flexibilitet ökar. Detta förutsätter dock att det finns rätt ekonomiska förutsättningar för detta då det kan vara en relativt kapitaltung investering. Men också att det finns rätt juridiska förutsättningar i samband med att vattenkraften ska omprövas till moderna miljövillkor.

Effekthöjningar i befintlig vattenkraft

Enligt analys utförd av Sweco 2016²⁴¹ finns det en potential för att öka effektuttaget i befintlig vattenkraft med omkring 3–4 GW. I och med att analysen utfördes 2016 kan viss del av potentialen redan blivit realiserad. Det finns även analyser för vissa älvar som pekar på högre potential jämfört med Swecos analys. Nya effekthöjningsprojekt inom befintlig vattenkraft är ofta kapitaltunga projekt med relativt långa ledtider som inte kan realiseras på kort sikt. Det är därför rimligt att anta att endast utbyggnadsprojekt som redan har kommit långt i processen kan realiseras på kort sikt (1–3 år).

Omprövning av vattenkraften till moderna miljövillkor kan reducera elproduktionen

Den 25 juni 2020 beslutade regeringen om en nationell plan för omprövning av vattenkraften.²⁴² Det innebär att vattenverksamheter för produktion av vattenkraft ska förses med moderna miljövillkor och omprövningarna för detta påbörjades 2022. När planen beslutades så fastställdes också 1,5 TWh i produktionsförluster som ett nationellt planeringsmål för att inte få en betydande negativ påverkan på vattenkraftsproduktion. I samband med omprövningen så kan alltså elproduktionen från vattenkraft minska, utöver är det viktigt att bibehålla reglerförmågan vilket framför allt utgörs av cirka 255 så kallade klass 1-kraftverk.²⁴³ Om effekthöjning utreds på ett samordnat sätt i samband med omprövning kan reglerförmåga inom vattenkraften öka.

Pumpkraft kan öka i framtiden

I Sverige har det funnits fem pumpkraftverk, varav två²⁴⁴ är aktiva idag. Det största av dessa, Juktan (upp till 380 MW, cirka 30 GWh lagringskapacitet), är idag ombyggt till ett vanligt kraftverk men ägaren Vattenfall tittar på möjligheterna att ta pumpkraftverket i drift igen.²⁴⁵

Antagna potentialer för vattenkraft

I det här arbetet har vi antagit att det sker en relativt låg effektutbyggnad av den svenska vattenkraft motsvarande knapp 500 MW i samtliga scenarier till 2050. Antagandet är lågt jämfört med den potential som kan vara möjlig att realisera och även i underkant av de projekt som är under byggnation, har ansökt om tillstånd och där förstudie har inletts. Detta för att den potential som har redovisats är effekthöjande projekt med varierande utnyttjningstid och med okända investeringskostnader.

Bortfall av produktion genom miljöåtgärder och ökning på grund av klimatförändringar antas ta ut varandra. Antaganden per elområde presenteras i tabell.

²⁴¹ SWECO (2016), Rapport Effektutbyggnad Vattenkraft – En kvantitativ analys av potentialen för effektutbyggnad i befintliga svenska vattenkraftverk.

²⁴² Nationell plan för moderna miljövillkor för vattenkraften – Regeringen.se

²⁴³ Cirka 255 vattenkraftverk bidrog med drygt 98 procent av reglerbidraget i de tre tidsnitten 365, 28 och 1 dygn under åren 2009–2014.

²⁴⁴ Lettens kraftstation (36 MW) och Kymmens kraftstation (55 MW) i Värmland.

²⁴⁵ Vattenfall. Vattenfall planerar för ny vattenkraft i Sverige. *Vattenfall*. 2023. Vattenfall planerar för ny vattenkraft i Sverige – Vattenfall (Hämtad 2023-06-02)

Tabell 18. Vattenkraftens antagna effekt och elproduktion 2050.²⁴⁶ i alla utvecklingsvägar.

		2019	2020	2021	2023	2050
SE1	GW			5,4	5,4	5,5
	TWh	18,4	18,8	22,3		20,0
SE2	GW			8,1	8,1	8,4
	TWh	35,4	41,2	39,1		38,0
SE3	GW			2,7	2,7	2,7
	TWh	10,4	11,1	11,3		12,0
SE4	GW			0,3	0,3	0,4
	TWh	1,3	1,3	1,2		1,0
Totalt	GW			16,4	16,5	17,0
	TWh	65,4	72,1	73,9		71,0

²⁴⁶ SWECO (2016), Rapport Effektutbyggnad Vattenkraft – En kvantitativ analys av potentialen för effektutbyggnad i befintliga svenska vattenkraftverk.



Hållbar energi för alla

Energimyndigheten leder samhällets omställning till ett hållbart energisystem.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens fordon och bränslen, förnybara energikällor och smarta elnät får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se