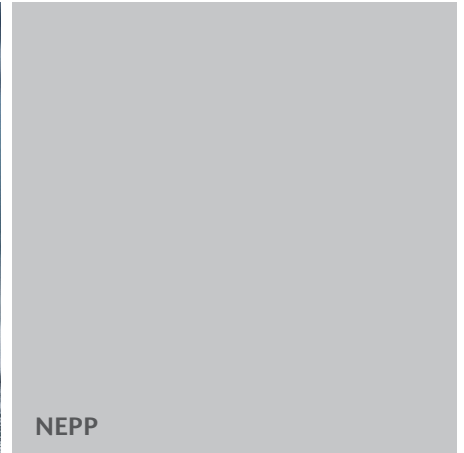
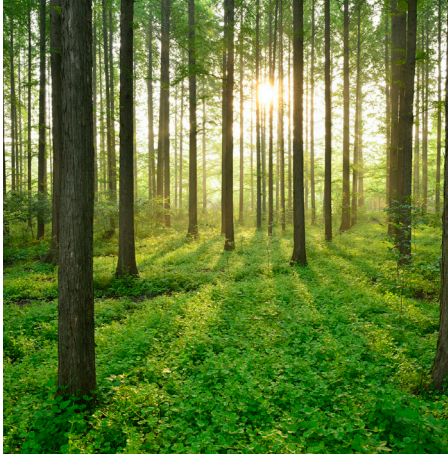


KRITISKA METALLER FÖR ENERGIOMSTÄLLNINGEN MED FOKUS PÅ VINDKRAFT- OCH SOLCELLSUTBYGGNAD I SVERIGE

RAPPORT 2026:1218



Kritiska metaller för energiomställningen med fokus på vindkraft- och solcellsutbyggnad i Sverige

- ett behovs-, fördelnings- och försörjningsperspektiv

NINA CHI JOHANSSON, JULIA HANSSON, GEORGIA SAVVIDOU,
FILIP JOHNSON, MARIA LJUNGGREN

ISBN 978-91-89917-61-3 | © Energiforsk september 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Omställningen av energisystemet innebär en snabbt växande efterfrågan på råmaterial varav många av dessa klassas som kritiska och strategiska metaller i EU. För tekniker som vindkraft och solceller innebär detta frågor om till exempel framtida materialbehov, ursprung för dessa metaller, möjligheter att minska efterfrågan genom teknikutveckling och cirkulära strategier, samt hur en hållbar försörjning av dessa metaller kan säkerställas.

Mot denna bakgrund och med utgångspunkt i två av de resultatblad som tagits fram inom ramen för Nepp under 2024–2026 och angränsande forskning på Chalmers tekniska högskola har denna rapport tagits fram.

Syftet med rapporten är att samla och vidareutveckla kunskap om kritiska metaller kopplade till vindkrafts- och solcellsutbyggnad i Sverige, utifrån ett behovs-, fördelnings- och försörjningsperspektiv. Vi tror att resultaten i rapporten kan bidra med intressanta insikter om kopplingen mellan energisystemets omställning i Sverige och behovet av kritiska metaller.

Studien har utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet och Chalmers. Författare till rapporten är Nina Chi Johansson, Julia Hansson, Georgia Savvidou, Filip Johnsson och Maria Ljunggren. Energiforsk vill rikta ett stort tack till rapportförfattarna och andra aktörer som har gjort detta arbete möjligt. Det är rapportförfattarna som ansvarar för innehållet i rapporten.

Energiforsk

Sammanfattning

Omställningen till ett mer elektrifierat och fossilfritt energisystem innebär en ökad efterfrågan på kritiska och andra strategiskt viktiga metaller. Denna rapport belyser kritiska metaller i energiomställningen med fokus på vindkrafts- och solcellsutbyggnad i Sverige, utifrån tre perspektiv: framtida metallbehov, fördelning av globala tillgångar samt försörjnings- och geopolitisk sårbarhet.

Rapporten visar att behovet av flera metaller kan minskas betydligt genom satsningar på teknikutveckling och strategier för cirkulär ekonomi, såsom minskad materialintensitet, materialsubstitution, längre teknisk livslängd och återvinning. Samtidigt räcker dessa åtgärder inte för att helt eliminera behovet av primär försörjning fram till 2050.

Rapporten visar också att Sveriges behov av metaller för vindkrafts- och solcellsutbyggnad i flera fall är högt i relation till olika fördelningsprinciper för globala resurser, reserver och produktionskapacitet. Därtill är Sveriges och EU:s försörjning av flera kritiska metaller och komponenter beroende av ett antal länder. Kina har en särskilt stark ställning när det gäller sällsynta jordartsmetaller till permanentmagneter i vindkraftverk samt gallium, germanium och flera delar av värdekedjan för solcellsproduktion. Sammantaget visar rapporten att energiomställningen inte bara är en fråga om att bygga ut mer vindkraft och solceller, utan också om hur metallbehovet kan begränsas, hur kvarstående behov kan mötas på ett hållbart sätt och hur nya geopolitiska beroenden kan hanteras.

Rapporten har tagits fram inom ramen för Energiforsks program Nepp.

Nyckelord

Kritiska råmaterial, kritiska metaller, energiomställning, vindkraft, solceller, cirkulär ekonomi, försörjningstrygghet, Kina, jämlik fördelning

Summary

The transition to a more electrified and fossil-free energy system entails increased demand for critical and other strategically important metals. This report examines critical metals in the energy transition, with a focus on the expansion of wind and solar power in Sweden, from three perspectives: future metal demand, distribution of global resources, and supply-related and geopolitical vulnerability.

The report shows that demand for several metals can be reduced substantially through technological development and circular economy strategies, such as reduced material intensity, material substitution, longer service lifespans, and recycling. At the same time, these measures are not sufficient to eliminate the need for primary supply by 2050.

The report also shows that Sweden's demand for metals related to wind power and solar PV expansion is, in several cases, high in relation to different principles for allocation of global resources. In addition, the supply of several critical metals and components to Sweden and the EU is concentrated in a small number of countries. China plays a particularly important role in the supply of rare earth elements for permanent magnets used in wind turbines, as well as in the production of gallium, germanium, and key parts of the solar photovoltaic value chain. Taken together, the report shows that the energy transition is not only a matter of expanding renewable electricity generation, but also of limiting metal demand, meeting the remaining demand in a sustainable way, and managing new geopolitical dependencies.

The report has been produced within Energiforsk's programme Nepp.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	rapportens upplägg	11
2	Kritiska metaller och råmaterial för vindkraft och solceller	12
3	Metallbehov för vindkraft och solceller i Sverige och möjligheter att minska efterfrågan genom cirkulära strategier	15
3.1	Utbyggnad och teknikval styr metallbehovet	15
3.2	Cirkulär teknikdesign kan minska efterfrågan betydligt	17
3.3	Återvinning minskar den primära efterfrågan	18
4	Behov av kritiska metaller kopplat till solceller och vindkraft i Sverige ur ett fördelningsperspektiv	20
5	Kina och andra länders betydelse för svensk vindkraft- och solcellsutbyggnad	24
5.1	Kinas reglering av export påverkar Sveriges försörjning vid utbyggnad av förnybar energi	28
6	Alternativa försörjningskedjor för kritiska metaller för vindkraft och solceller	30
6.1	Strategiska partnerskap med länder utanför EU för att säkra tillgång och diversifiera leveranskedjor	30
6.2	EU:s strategiska projekt för ökad inhemsk försörjning	32
6.3	Nordisk produktion och försörjningspotential av kritiska metaller	33
7	Avslutande summering och inspel	35
8	Referenslista	38

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar analyser inom forskningsprogrammet Nepp om kritiska metaller i energiomställningen. Fokus ligger på hur behovet av metaller för svensk utbyggnad av vindkraft och solceller kan utvecklas till 2050 och hur detta förhåller sig till globala tillgångar av metaller. Även Kinas betydelse för Sveriges och EU:s försörjning av kritiska metaller belyses liksom möjliga vägar att stärka Sveriges och EU:s försörjningstrygghet.

Omställningen till ett koldioxidsnålt energisystem innebär en ökad efterfrågan på kritiska och strategiska metaller som används i bland annat vindkraftverk, solceller, batterier och elektronik. Det finns studier som visar att EU kan komma att behöva en betydande andel av världens tillgångar av vissa kritiska metaller för att genomföra den gröna omställningen givet dagens teknik och utan större teknikutveckling¹. Detta aktualiserar frågor om hur efterfrågan på metaller kan minskas genom teknikutveckling och cirkulära strategier, men också hur efterfrågan förhåller sig till rättviseaspekter och till globala försörjningsrisker.

För flera av de metaller som används i vindkraft och solceller är EU i hög grad beroende av import från länder utanför unionen. Utvinning och bearbetning är dessutom ofta koncentrerad till ett fåtal länder, vilket gör leveranskedjorna sårbara. Kina har en särskilt stark ställning när det gäller sällsynta jordartsmetaller till permanentmagneter i vindkraftverk² samt, gallium och germanium, och spelar även en central roll i värdekedjor kopplade till solcellsproduktion³. Sveriges och EU:s försörjning av material för energisystemets omställning påverkas därmed av det globala politiska läget, av handelspolitiska motsättningar och av utvecklingen i internationella leveranskedjor. Frågor kopplat till försörjningstrygghet, diversifiering och möjligheten att minska beroendet av enskilda länder är därför centrala.

Denna rapport behandlar kritiska metaller i energiomställningen, med fokus på vindkrafts- och solcellsutbyggnad i Sverige. Rapporten bygger på tidigare arbete och resultatblad ^{4,5,6} inom Nepp och angränsande vetenskapliga studier av

¹ J.M. Malmaeus, E.C. Alfredsson och E. Lindblom, On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition, *Environmental Development*, 54, 101157, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101157>

² N.T. Nassar, D.R. Wilburn och T.G. Goonan, Byproduct Metal Requirements for U.S. Wind and Solar Photovoltaic Electricity Generation up to the Year 2040 under Various Clean Power Plan Scenarios, *Applied Energy*, 183, 1209–1226, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.062>.

³ J. Bordoff och M. O'Sullivan, Green Upheaval: The New Geopolitics of Energy, *Foreign Affairs*, 101(1), 68–79, 2022.

⁴ N. Chi Johansson m.fl., *Kritiska metaller för energisystemets omställning – perspektiv på Sveriges behov med fokus på vindkraft och solceller*, NEPP Rapport 9/2025, Energiforsk, 2025.

⁵ N. Chi Johansson och J. Hansson, *Kritiska metaller kopplat till vindkraft och solceller – Kinas dominans och nordiska möjligheter*, NEPP Rapport 3/2026, Energiforsk, 2026.

⁶ M. Olsson och J. Hansson, *Kritiska råmaterial i energisystemet ur ett miljöperspektiv – en översikt i ljuset av Ukrainakriget*. NEPP Rapport 1/2024. Energiforsk, 2024.

Savvidou m.fl.^{7,8} och Malmaues m.fl.⁹. Syftet är att belysa hur Sveriges behov av utvalda metaller kan utvecklas, i vilken utsträckning behovet kan minskas genom teknikutveckling och cirkulära strategier, samt vilka utmaningar som kvarstår ur ett fördelnings- och försörjningsperspektiv. Med fokus på svensk utbyggnad av vindkraft och solceller belyser rapporten tre övergripande frågor: det framtida behovet av utvalda metaller, hur detta behov förhåller sig till olika fördelningsprinciper samt hur beroendet av externa leveranskedjor, särskilt från Kina, ser ut och kan minskas.

1.1 RAPPORTENS UPPLÄGG

Rapporten är upplagd enligt följande. Kapitel 2 beskriver de viktigaste vindkrafts- och solcellsteknikerna samt de metaller som är relevanta för dessa tekniker. Kapitel 3 analyserar hur metallbehovet kan utvecklas i Sverige vid utbyggnad av vindkraft och solceller till 2050, och i vilken utsträckning detta behov kan minskas genom teknikutveckling och strategier för cirkulär ekonomi. Kapitel 4 belyser hur Sveriges behov av metaller förhåller sig till olika fördelningsprinciper och rättviseperspektiv. Kapitel 5 behandlar Kina och andra länders betydelse för Sveriges och EU:s försörjning av kritiska metaller. Kapitel 6 behandlar möjliga vägar att minska beroendet genom alternativa försörjningskedjor, strategiska partnerskap, EU:s strategiska projekt och nordisk försörjningspotential. Kapitel 7 ger en avslutande summering.

Rapporten är avgränsad till de tekniker, metaller och scenarier som behandlas i de studier som utgör dess huvudsakliga underlag. De metaller som ingår beskrivs i kapitel 2 och 3. Det innebär att rapporten inte ger en fullständig kartläggning av samtliga metaller som ingår i vindkraftverk och solceller, utan fokuserar på de metaller som bedömts som mest relevanta i de analyser som redovisas. Utöver kritiska metaller inkluderar analysen även ett fåtal metaller som inte ingår i EU:s lista över kritiska råmaterial från 2023, men som ändå är relevanta utifrån teknikanvändning, biproduktkaraktär eller risk för framtida bristsituationer, såsom indium, selen, silver och tellur. Exempel på metaller i vindkraftverk och solceller som inte ingår i analysen är aluminium, koppar, nickel och halvmetallerna kisel och bor. För vindkraft tillkommer även metaller som mangan, niob och halvmetallerna antimon och arsenik¹⁰.

⁷ G. Savvidou, m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion, *Journal of Industrial Ecology*: 30 (2026): s.589-605, <https://doi.org/10.1007/s44498-026-00040-0>

⁸ G. Savvidou, M. Ljunggren och F. Johnsson, Slowing, narrowing, and closing material flows: Impacts on metal demands in wind and solar power, *Sustainable Production and Consumption*: 64 (2026): s. 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>

⁹ J.M. Malmaeus, E.C. Alfredsson och E. Lindblom, On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition, *Environmental Development*, 54, 101157, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101157>

¹⁰ Europeiska revisionsrätten. *Särskild rapport 04/2026: Kritiska råmaterial för energiomställningen*. (2026) <https://www.eca.europa.eu/sv/publications/SR-2026-04> (2026-04-13)

2 Kritiska metaller och råmaterial för vindkraft och solceller

Kritiska råmaterial är material som har stor ekonomisk betydelse för EU:s ekonomi och samtidigt en hög försörjningsrisk. De kan förändras över tid. De viktigaste vindkrafts- och solcellsteknikerna samt de metaller som är relevanta för dessa tekniker beskrivs i detta avsnitt.

För vindkraft och solceller finns det olika typer av tekniker, som i sin tur innehåller olika metaller. I **Error! Reference source not found.** visas en översikt över dagens tekniker och ett urval av de metaller som används för respektive teknik. Här redovisas också om metallen är ett kritiskt råmaterial (CRM), strategiskt råmaterial (SRM), om det är en metall som framställs som biprodukt vid utvinning av andra metaller eller en metall som det kan bli brist på grund av ökad efterfrågan kopplat till energiomställningen. Strategiska råmaterial är de råmaterial med störst strategisk betydelse, högst prognostiserad efterfrågetillväxt och som det är svårast att öka produktionen av. Kritiska råmaterial omfattar de strategiska råmaterialen men har också stor ekonomisk betydelse för EU:s ekonomi och samtidigt en hög försörjningsrisk. Vilka råmaterial som är kritiska och strategiska fastställs enligt förordningen (EU) 2024/1252.

Tabell 1 Vindkraft- och solcellstekniker inklusive de relevanta metaller som ingår och dess status enligt EU^{11,12}.

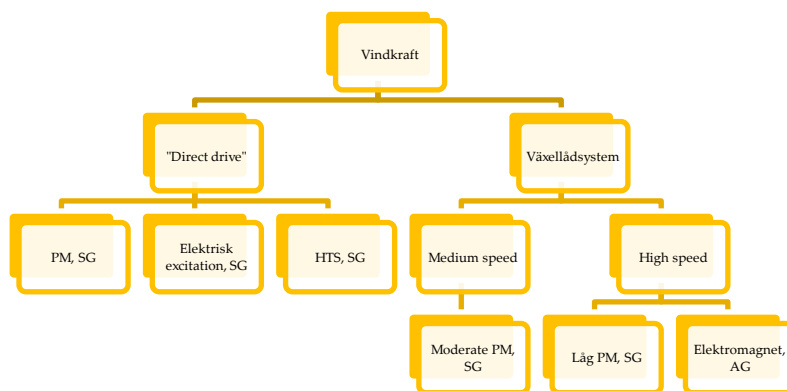
Produktionsteknik	Tekniker	Metall	Kritisk råvara enligt EU:s lista
Vindkraft (land- och havsbaserad)	Direct-drive och växellådsystem	Neodym (Nd)	Ja - CRM/SRM
		Praseodym (Pr)	Ja - CRM/SRM
		Dysprosium (Dy)	Ja - CRM/SRM
		Terbium (Tb)	Ja - CRM/SRM
		Bor (B) (Borat)	Ja - CRM/SRM (används i permanentmagneter - PM)
Solceller	Kiselbaserade kristallina (c-Si)	Silver (Ag)	Nej, men kan eventuellt bli brist.
		Germanium (Ge)	Ja - CRM/SRM
	Kadmiumtelleruid (CdTe)	Kadmium (Cd)	Nej, men biproduktsmetall.
		Tellur (Te)	Nej, men biproduktsmetall.
	Koppar indiumgallium selenid (CIGS)	Koppar (Cu)	Nej – endast SRM
		Indium (In)	Nej. CRM under 2020, men ej i uppdaterad version 2023.
		Gallium (Ga)	Ja - CRM/SRM
		Selen (S)	Nej, men biproduktsmetall.

¹¹ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. s.589-605.

¹² SGU. Kritiska och strategiska råvaror. (2025-01-24)
<https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/> (2026-04-13)

Det finns i huvudsak två typer av kategorier av vindturbinstekniker, "direct-drive"-turbiner och turbiner med växellådsystem. Båda typerna av vindkraftsturbiner innehåller dock konfigurationer som omfattar synkrona generatorer med permanentmagneter (PM) som i sin tur innehåller av sällsynta jordartsmetaller (Rare Earth Elements, REE)¹³. I permanentmagneterna används framför allt den sällsynta jordartsmetallen neodym (Nd), men också i varierande utsträckning praseodym (Pr), dysprosium (Dy) och terbium (Tb). En fördel med generatorer som använder permanentmagneter är att de fungerar väl vid varierande varvtal (dvs varierande vindhastigheter), vilket ofta möjliggör drift utan växellåda. Därmed kan turbinerna göras både enklare, lättare och mer kompakta än turbiner med växellådsystem¹⁴. De är också effektivare och kräver mindre underhåll än vindkraftverk med växellådsystem, vilket gör dem lämpliga för havsbaserad vindkraft. Direct-drive-turbiner kräver en större andel permanentmagneter än vindturbiner med växellådsystem per enhet.

För båda vindturbinsteknikerna finns alternativ som kräver låg eller ingen användning av REE. För direct-drive finns "elektrisk excitation" (EESG) och "high-temperature super conductors (HTS)". HTS-tekniken är fortfarande under utveckling men skulle kunna minska behovet av neodym (Nd) och dysprosium (Dy). Tekniken kräver dock i stället yttrium, som också är en sällsynt jordartsmetall (REE). För turbiner med växellådsystem finns asynkrona generatorer (AG) som använder elektromagneter i stället för PM¹⁵. I Figur 1 visas de olika vindkraftsteknikerna. Det pågår forskning- och utveckling av ytterligare tekniker som inte använder sig av REE se t ex Udosen m.fl.¹⁶.



Figur 1. Vindkraftstekniker uppdelat på "direct-drive" och växellådsystem¹⁷.

¹³ A. Månberger och B. Stenqvist, Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. Energy Policy: 119 (2018): s.226–241. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.056>

¹⁴ Energimyndigheten. Vindkraftens resursanvändning. (2021)

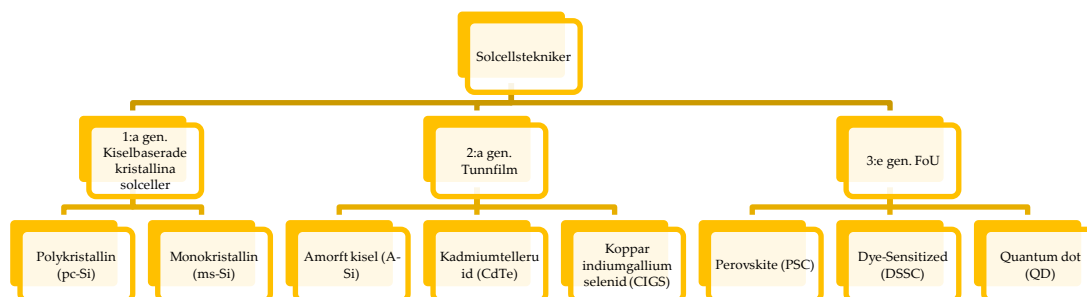
https://www.energimyndigheten.se/48ff35/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning_slutversion-20210127.pdf

¹⁵ A. Månberger och B. Stenqvist, Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. s.226–241.

¹⁶ Udosen, D. m.fl. Nonconventional, nonpermanent magnet wind generator candidates. Wind, 2(3), (2022): s. 429–450. <https://doi.org/10.3390/wind2030023>

¹⁷ A. Månberger och B. Stenqvist, Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. s.226–241.

Det finns även olika solcellstekniker (Figur 2) där första generationen, kiselbaserade (mono och poly) kristallina solceller (c-Si) har största marknadsandel om ca 98 % av totala produktionen 2024¹⁸. Det är i huvudsak monokristallina solceller som tillverkas idag. Dessa solceller innehåller inte kritiska metaller enligt EU:s Critical Raw Materials Act (CRMA), men använder silver (Ag) vilken kan vara begränsande på sikt i takt med en ökad solcellsutbyggnad för att nå klimatmål^{19,20}. Andra generationens solceller är så kallade tunnfilmssolceller som har en marknadsandel om ca 2 % 2024²¹ och inom denna grupp ingår amorft kisel (a-Si) som innehåller germanium (Ge). Två andra tunnfilmstekniker är kadmiumtellerid (CdTe) och koppar indiumgallium selenid (CIGS). Tredje generationens solceller är under utveckling varav perovskite solceller är en av dessa. Dock innehåller perovskite bly, vilken kan ersättas med tenn²².



Figur 2. Solcellstekniker uppdelad på generationer²³.

Sammanställningen visar att olika vind- och solcellstekniker är kopplade till olika metallbehov. För vindkraft gäller detta särskilt användningen av sällsynta jordartsmetaller i permanentmagneter, medan metallinnehållet i solceller varierar tydligt mellan olika teknikspår. Skillnaderna mellan teknikerna innebär att val av teknik och delteknik påverkar både vilka metaller som behövs och hur stora mängder som efterfrågas.

Nästa fråga blir därför hur stort behovet av utvalda metaller kan bli i Sverige vid utbyggnad av vindkraft och solceller, och i vilken utsträckning detta behov kan minskas.

¹⁸ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, *Photovoltaics Report* (Freiburg: Fraunhofer ISE, 2025), <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>.

¹⁹ IEA, Solar PV Global Supply Chains (Paris: IEA, 2022), <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>.

²⁰ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

²¹ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Photovoltaics Report, (2025).

²² A. Månberger och B. Stenqvist, Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. s.226–241.

²³ Ibid.

3 Metallbehov för vindkraft och solceller i Sverige och möjligheter att minska efterfrågan genom cirkulära strategier

Hur mycket metaller behövs för omställningen av energisystemet i Sverige? Mot bakgrund av de olika tekniker som beskrivits i föregående avsnitt analyseras här hur metallbehovet kan utvecklas i Sverige vid utbyggnad av vindkraft och solceller till 2050. I vilken utsträckning detta behov kan minskas genom teknikutveckling och strategier för cirkulär ekonomi presenteras också.

Kapitlet baseras på två nyligen publicerade studier av Savvidou m.fl. Den första studien, Savvidou m.fl.²⁴, analyserar hur längre teknisk livslängd, minskad materialintensitet och materialsubstitution påverkar efterfrågan på elva metaller i samband med storskalig utbyggnad av vind- och solkraft i Sverige. Den andra studien, Savvidou m.fl.²⁵, bygger vidare på denna analys genom att även inkludera återvinning som strategi och genom att skilja mellan bruttoefterfrågan, sekundär tillförsel och primär efterfrågan för sex metaller som klassas som kritiska och strategiska enligt EU:s Critical Raw Materials Act, CRMA²⁶. I denna studie undersöks även hur olika utvecklingsvägar för delteknikerna med hänsyn till antagna marknadsandelar (låg, mellan och hög) påverkar resultatet.

Det är viktigt att notera att de cirkulära strategier som analyseras i studierna, såsom längre livslängd, minskad materialintensitet, materialsubstitution och återvinning, i dag endast i begränsad utsträckning tillämpas i industriell skala. Resultaten ska därför inte tolkas som prognoser, utan som scenariobaserade analyser av hur metallbehovet skulle kunna utvecklas om dessa strategier implementeras och får ett brett genomslag i den omfattning som antas i studierna.

3.1 UTBYGGNAD OCH TEKNIKVAL STYR METALLBEHOVET

Båda studierna utgår från ett scenario för Sverige som innebär hög elektrifiering och omfattande utbyggnad av vindkraft och solkraft till 2050²⁷. I detta scenario ökar särskilt havsbaserad vindkraft och solkraft kraftigt, samtidigt som landbaserad vindkraft fortsatt har en viktig roll i elsystemet (se Figur 3). Metallbehovet drivs därmed både av tillkommande kapacitet och av behovet att ersätta anläggningar som når slutet av sin tekniska livslängd.

²⁴ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

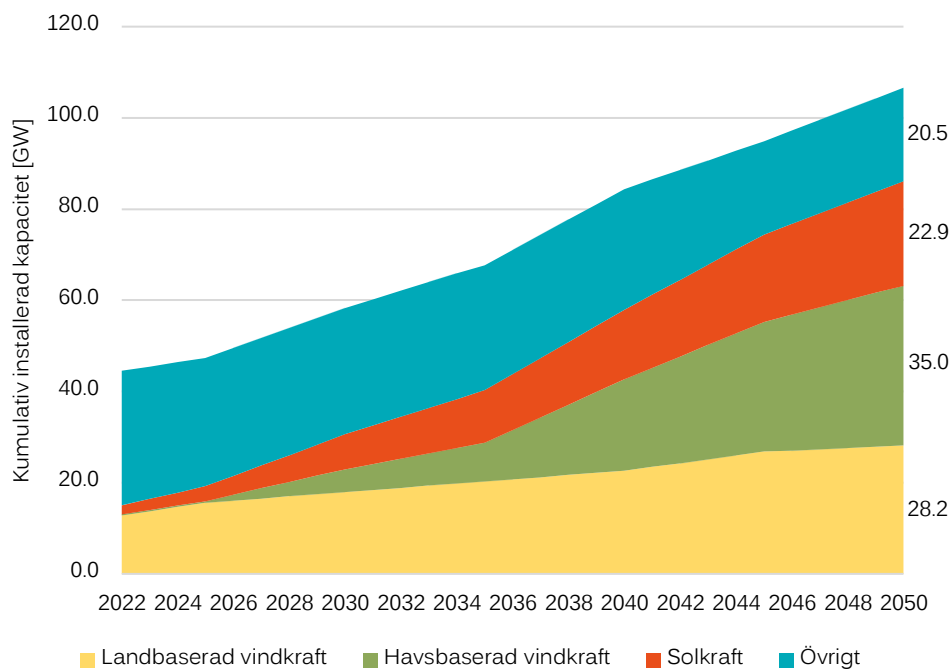
²⁵ G. Savvidou, M. Ljunggren och F. Johnsson Slowing, narrowing, and closing material flows: Impacts on metal demands in wind and solar power. Journal of Industrial Ecology (2026). <https://doi.org/10.1007/s44498-026-00040-0>.

²⁶ Critical Raw Materials Act - Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, 2026-08-19

²⁷ Svenska kraftnät (2021). Långsiktig marknadsanalys 2021: Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050. Svk 2019/3305. <https://www.svk.se/4ab626/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

Savvidou m.fl.²⁴ analyserar följande metaller i olika vind- och solkraftstekniker: neodym, praseodym, dysprosium och terbium i vindkraft samt silver, germanium, kadmium, tellur, indium, gallium och selen i olika solcellstekniker. Savvidou m.fl.²⁵ fokuserar på sex metaller som samtidigt är kritiska och strategiska enligt CRMA: germanium och gallium i solceller samt neodym, praseodym, dysprosium och terbium i vindkraft.

En viktig utgångspunkt i båda studierna är att metallbehovet inte endast beror på hur mycket vind- och solkraft som byggs ut, utan också på vilka deltekniker som får genomslag och i vilken omfattning. För vindkraft analyseras både direct-drive-turbiner och turbiner med växellåda, där båda kan innehålla permanentmagneter men med olika materialintensitet. För solkraft analyseras kristallint kisel (c-Si), amorft kisel (a-Si), kadmiumtellurid (CdTe) och CIGS, det vill säga tekniker med tydligt olika metallprofiler. Detta innebär att framtida efterfrågan på metaller påverkas starkt av teknikmixen.



Figur 3. Antagen utbyggnad av vindkraft och solkraft i Sverige till 2050 ²⁸. Utbyggnaden utgår ifrån Svenska kraftnäts (2021) scenario som innebär hög elektrifiering och kraftig utbyggnad av vind- och solkraft. Figuren baseras på Savvidou m.fl.²⁸

²⁸ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

3.2 CIRKULÄR TEKNIKDESIGN KAN MINSKA EFTERFRÅGAN BETYDLIGT

Savvidou m.fl.²⁸ analyserar tre strategier kopplade till cirkulär teknikdesign: längre teknisk livslängd, minskad materialintensitet och materialsubstitution²⁹. Resultaten visar att dessa strategier sammantaget kan minska den kumulativa efterfrågan på de studerade metallerna med mellan 42 och 80 procent fram till 2050, beroende på teknik och metall (se Tabell 2).

För vindkraft uppskattas den samlade reduktionspotentialen till 45–53 procent jämfört med ett basfall utan dessa strategier. För solceller är motsvarande reduktion större, och för flera metaller över 60 procent. Studien visar också att olika strategier har olika betydelse beroende på teknik och metall. För solceller har minskad materialintensitet generellt störst effekt, medan substitution ofta har störst betydelse för vindkraftens sällsynta jordartsmetaller. Längre teknisk livslängd har jämförelsevis mindre effekt fram till 2050, även om denna strategi kan få stor betydelse då det som installeras under expansionsåren tas ur bruk och återvinns.

Tabell 2. Behov av kritiska metaller (i ton) kopplat till utbyggnaden av vindkraft och solceller i Sverige ackumulerat för perioden 2022–2050 för ett basfall och procentuell minskning av behovet för studiens fyra andra scenarier jämfört med basfallet. Potentialen att minska behovet har färgkodats, där mörk- och ljusorange anger en liten minskning och gul-grön anger en betydande minskning ³⁰.

Produktionsteknik	Tekniker	Metall	Kumulativt behov 2022-2050 [ton]	Minskning av kumulativt behov jämfört med basfall [%]			
			Basfall	Ökad teknisk livslängd	Reducerad metallintensitet	Material-substitution	Kombination
Vindkraft (land- och havsbaserad)	Direct-drive och växellådsystem	Nd	5729	4%	19%	31%	45%
		Pr	1143	4%	19%	31%	45%
		Dy	859	4%	31%	31%	53%
		Tb	188	4%	31%	31%	53%
Solceller (decentraliserade & distribuerade)	c-Si	Ag	857	4%	78%	12%	80%
		Ge	12	5%	42%	10%	49%
	CdTe	Cd	100	3%	67%	13%	71%
		Te	77	3%	56%	13%	62%
	CIGS	In	20	2%	51%	14%	58%
		Ga	7	2%	66%	14%	71%
		Se	46	2%	55%	14%	62%

Savvidou m.fl.³¹ analyserar även relationen mellan ny efterfrågan på metaller och de mängder som blir tillgängliga i anläggningar som når slutet av sin livslängd (dvs som potentiellt sett skulle kunna återvinnas). Studien tillämpar en materialflödesanalys vilket innebär en beskrivning av materialbalansen mellan inflöden och utflöden. En negativ balans innebär att metaller tillgängliga i uttjänta

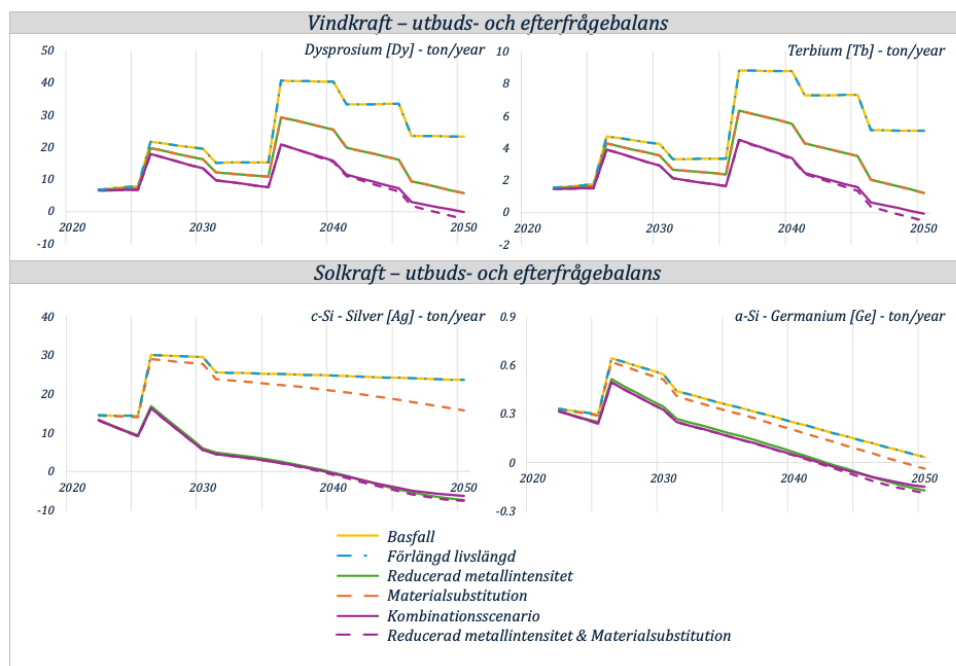
²⁹ Ökad teknisk livslängd för solceller, landbaserad vindkraft och havsbaserad vindkraft antas öka linjärt från basåret 2021 (26,3, 21,7 respektive 23,6 år) till 40, 30 och 35 år för 2050. För reducerad metallintensitet antas reduktionsnivåer per metall baserat på genomsnitt i litteratur för 2050 och/eller 2030. För substitution antas en linjär ökning till 20 % substitution för solceller, där nuvarande tekniker antas ersättas av perovskit-solceller och koppar ersätta silver i c-Si paneler. För substitution antas också linjär ökning till 50 % substitution av vindkraft, där permanentmagneter (PM) ersätts av sällsynta jordartsmetall-fria PM och teknologier som består av PM med HTS-teknologi.

³⁰ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

³¹ Ibid.

anläggningar överstiger ny efterfrågan. En positiv balans innebär att ny efterfrågan är större än de mängder som frigörs oavsett om anläggningarna återvinns eller ej. Detta innebär att ytterligare primär eller extern sekundär försörjning krävs.

Resultaten visar att silver och germanium i vissa scenarier kan nå negativ balans före 2050. För dysprosium och terbium uppnås detta först när flera strategier kombineras. För indium, gallium, selen, tellur, kadmium, neodym och praseodym kvarstår däremot en positiv balans under hela perioden, vilket innebär att metaller från uttjänta anläggningar inte räcker för att täcka ny efterfrågan fram till 2050. I Figur 4 visas materialbalansen för ett urval av metallerna.



Figur 4. Materialbalans för utvalda metaller fram till 2050. Baserad på Savvidou m.fl., 2026 ³².

3.3 ÅTERVINNING MINSKAR DEN PRIMÄRA EFTERFRÅGAN

Savvidou m.fl.³³ vidareutvecklar analysen genom att inkludera återvinning som en egen strategi. En viktig skillnad jämfört med den tidigare studien är att denna analys skiljer mellan bruttoefterfrågan, sekundär tillförsel dvs återvinning och primär efterfrågan. Bruttoefterfrågan avser den totala mängd metall som behövs i systemet, medan primär efterfrågan avser den del som måste täckas av nyutvunna eller nyprocessade metaller efter att återvunnet material räknats av.

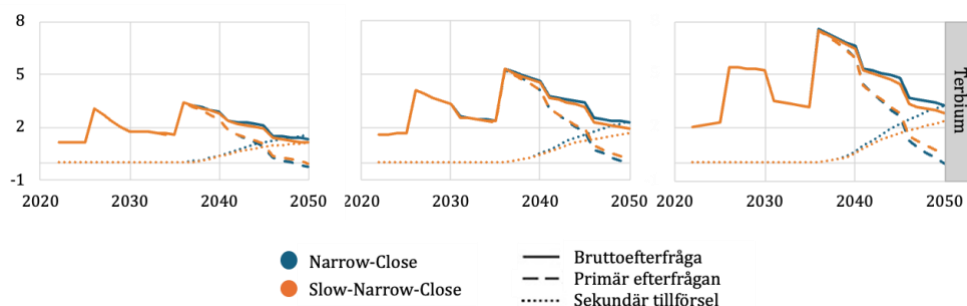
Studien visar att kombinationen av längre livslängd, minskad materialintensitet, substitution och återvinning kan minska den kumulativa primära efterfrågan med 52–60 % för vindkraft och 55–72 % för solkraft jämfört med ett basfall. Återvinning har dock begränsad betydelse i början av perioden, eftersom relativt få anläggningar når slutet av sin livslängd före slutet av 2030-talet och eftersom

³² Ibid.

³³ G. Savvidou, M. Ljunggren och F. Johnsson Slowing, narrowing, and closing material flows: Impacts on metal demands in wind and solar power, Journal of Industrial Ecology (2026). <https://doi.org/10.1007/s44498-026-00040-0>.

återvinningskapaciteten för flera av metallerna i dag är låg. Betydelsen ökar därefter när mer material blir tillgängligt i uttjänta anläggningar och när återvinningsgraden antas öka.

För vissa metaller är potentialen för återvinning stor. I vissa scenarier kan sekundär tillförsel av germanium helt täcka bruttoefterfrågan före 2050, och för dysprosium och terbium kan återvunnet material mot slutet av perioden täcka en stor del av behovet (se Figur 5). För gallium är potentialen lägre, och för neodym och praseodym kvarstår ett tydligt behov av primär försörjning genom större delen av perioden.



Figur 5. Bruttoefterfrågan (heldragen), primär efterfrågan (streckad) och sekundär tillförsel (prickar) för de tre utvecklingsvägarna låg, mellan och hög marknadsandel av tekniker (från vänster till höger) för terbium som visas som ett exempel³⁴. Färgerna visar vilka kombinationer av strategier som tillämpas, där blå "Narrow-Close" innebär att strategierna materialsubstitution och reducerad materialintensitet (Narrow), samt återvinning (Close) tillämpas. Orange färg innebär att även att ökad teknisk livslängd inkluderas.

Ett viktigt resultat i studien är också att kombinationen av olika strategier kan ge upphov till en målkonflikt. Ett scenario där även längre livslängd inkluderas kan ge lägre bruttoefterfrågan än ett scenario med endast minskad materialintensitet, substitution och återvinning, men samtidigt högre primär efterfrågan under perioden fram till 2050. Förklaringen är att längre livslängd skjuter upp när anläggningar når slutet av sin livslängd och därmed även tillgången på material för återvinning. Den sekundära tillförseln blir därför lägre under själva omställningsperioden, trots att den totala materialomsättningen i systemet minskar.

³⁴ Ibid.

4 Behov av kritiska metaller kopplat till solceller och vindkraft i Sverige ur ett fördelningsperspektiv

Hur förhåller sig möjlig framtida efterfrågan av kritiska metaller kopplat till solceller och vindkraft i Sverige till tillgångar och utbud? Denna fråga analyseras i detta avsnitt där vi tillämpar några olika fördelningsprinciper för att bredda perspektivet.

Både globala reserver³⁵ och produktionen av kritiska metaller kopplat till den gröna omställningen är begränsade på kort sikt. Marknaden bestämmer hur de fördelas. Malmaeus m.fl.³⁶ utgår från att kritiska metaller kan betraktas som en gemensam global resurs, eftersom de är en nödvändig komponent i den gröna omställningen mot nettonollutsläpp av växthusgaser. En sådan omställning behöver ske i alla länder för att målen i Parisavtalet ska kunna uppnås. Detta är naturligtvis ett starkt förenklat antagande då metallerna i dagsläget utgör nationella resurser. Men förenklingen motiveras av att det ändå ger en möjlighet att studera hur förväntad efterfrågan på kritiska metaller i EU och Sverige som kopplas till den gröna omställningen förhåller sig till tillgången på ett antal kritiska metaller utifrån tre i klimatsammanhang vanliga fördelningsprinciper (motsvarande hypotetiska fördelningssätt):

- **Grandfathering** – Länderna har rätt till deras nuvarande och historiska fördelning och tillämpas genom att anta EU:s/Sveriges andel av globala bruttonational-produkten (BNP/GDP).
- **Jämlikhet** – Människor har lika rätt till resurserna, vilket i studien innebär en lika stor andel metall per capita.
- **Rätten till utveckling (i studien kallad Rättvis utveckling)** – Människor har lika rätt till ett liv med rimliga villkor varpå människor i länder med lägre utveckling bör få en större andel av resurserna. Här antas att energifattiga länder har ett större behov och antas behöva en större andel av de kritiska metallerna än energirika länder.

Baserat på resultatet från Savvidou m.fl.³⁷ presenterade i avsnitt 3.2 och metoden i Malmaeus m.fl.³⁶ som presenteras kort ovan undersöks här följande fråga:

- Hur ser Sveriges behov av kritiska metaller kopplat till utbyggnaden av solceller och vindkraft ut i förhållande till utvalda fördelningsprinciper?

³⁵ Den del av malmen som är kommersiellt utvinningsbar idag. Mängden kan variera över tid och beror på ekonomiska, tekniska och geopolitiska faktorer.

³⁶ J.M. Malmaeus, E.C. Alfredsson och E. Lindblom, On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition, 2025.

³⁷ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026).
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

Detta studeras för följande tre fall. Ett **basfall** där ingen teknikutveckling antas. Ett **kombinationsscenario** med hänsyn tagen till minskat behov via teknikutveckling genom förverkligande av de tidigare studerade strategierna förlängd livslängd, reducerad metallintensitet och materialsubstitution. Ett **kombination med 100 % återvinnings**-scenario som utgår från kombinationsscenariot men där metaller som används för sol- och vindkraft som uppnått sin tekniska livslängd antas återvinnas till 100 % och som då ersätter motsvarande behov av nyutvunna metaller. Samtliga scenarier baseras på Savvidou m.fl.³⁸.

Jämförande andelar för Sverige enligt valda fördelningsprinciper utgår ifrån de nivåer som togs fram i Malmaeus m.fl.³⁹. I figur 6 visas efterfrågan för metallerna från vindkraft och solceller i Sverige för de tre scenarierna uttryckt i procent av globala tillgångar i jämförelse med de för Sverige uppskattade andelarna för de tre fördelningsprinciperna. Total kumulativ efterfrågan fram till 2050 i procent av de globala reserverna⁴⁰ och resurserna⁴¹ visas, samt årlig efterfrågan för metallerna för år 2030 och 2050 som procent av totala globala produktionen, nuvarande och med en antagen årlig produktionsökning på 5 % jämfört med idag.

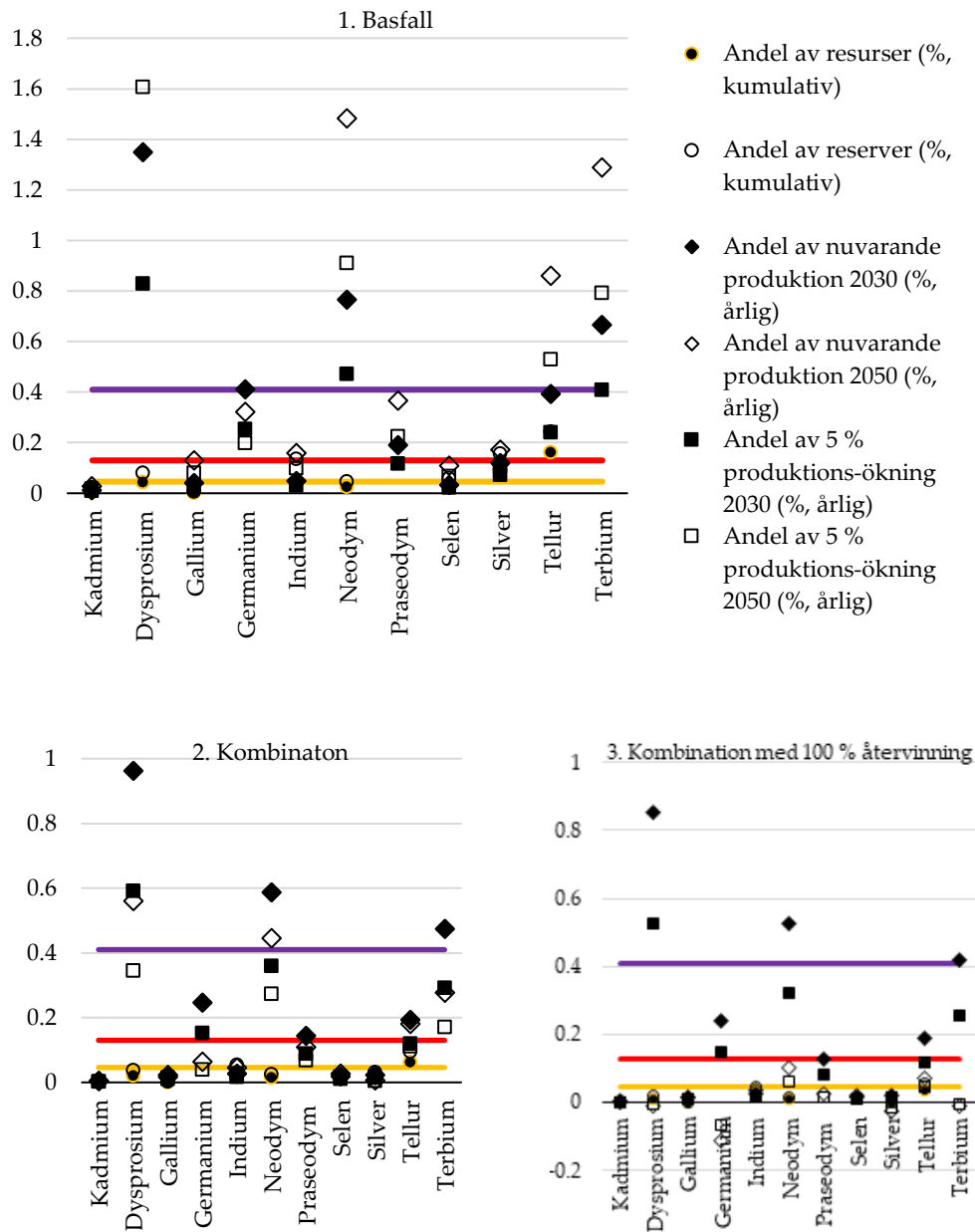
I basfallet hamnar kadmium lägre än samtliga av de uppskattade jämförande andelarna och selen lägre än andelarna för GDP och jämlikhet. En kombination av strategier för att minska efterfrågan bidrar till att vissa metaller hamnar under vissa av fördelningsnivåerna. Metallerna gallium, indium och silver hamnar med en kombination av strategier lägre än andelen för jämlikhet, och germanium och tellur hamnar lägre än andelen för GDP. Återvinning bidrar till att ett fåtal ytterligare metaller (dysprosium, neodym, tellur och terbium) år 2050 hamnar lägre än nivån för jämlik andel (vit fyrkant under röd linje). Resultatet visar dock att även om efterfrågan minskas i kombinationsscenariot, är det fortsatt 4–6 av 11 metaller som överskrider nivån för jämlik andel för produktion 2030 och 3–4 av 11 metaller för 2050. För kombinationsscenariot med 100 % återvinning skiljer sig inte resultatet för 2030 nämnvärt med kombinationsscenariot, men för produktion år 2050 underskrider samtliga metaller nivån för jämlik andel (vit diamant/fyrkant under röd linje).

³⁸ G. Savvidou m.fl., Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion. Sustainable Production and Consumption, 64, (2026).
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>.

³⁹ J.M. Malmaeus, E.C. Alfredsson och E. Lindblom, On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition, 2025.

⁴⁰ Reserver är identifierade malmfyndigheter som kan brytas med lönsamhet under rådande marknadsförhållanden.

⁴¹ Resurser avser identifierade malmfyndigheter som ännu inte är ekonomiskt brytvärda, men som kan bli det vid förändrade tekniska eller ekonomiska förutsättningar och därmed övergå till reserver.



Figur 6. Resultaten som visas i figuren är framtagna med metoden från Malmaeus m.fl (2025) och använder data över efterfrågan på kritiska metaller för sol- och vindkraftsutbyggnad i Sverige från Savvidou m.fl. (2026). Figuren visar efterfrågan av kritiska metaller för sol- och vindkraftsutbyggnad i Sverige (kumulativt behov för perioden 2021–2050) i relation till globala tillgångar (=1) i form av resurser, reserver (svarta och vita prickar) och årlig efterfrågan i relation till årlig produktion i förhållande till fördelningsprinciper. 1.Basfall (övre graf), 2. Kombination (nedre graf vänster), 3. Kombination med 100 % återvinning (nedre graf höger). Notera att värdet för dysprosium för basfallet är utanför grafens spann: 2,6 % för nuvarande produktion 2050.

I Tabell 3 redovisas antal metaller vars andel ligger över uppskattad jämlig andel för de olika scenarierna.

Tabell 3. Antal metaller vars andel överskrider uppskattad jämlig andel för de tre scenarierna basfall, kombination och kombination med 100 % återvinning för uttjänta vindkraftverk och solceller.

	Resurser	Reserver	Nuvarande produktion		Produktion, 5 % ökning	
			2030	2050	2030	2050
Basfall	1	3	6	8	5	6
Kombination	0	0	6	4	4	3
Kombination 100% återvinning	0	0	5	0	4	0

På kort sikt till 2030 har återvinning en mindre effekt på resultatet vilket beror på att en större del av elproduktionens tekniska livslängd nås vid senare tidpunkt. Återvinning får en större effekt år 2050, då samtliga metaller andel av produktion underskrider nivån för jämlig andel. Antagandet om 100 % återvinning av metaller från anläggningar som nått sin tekniska livslängd är väldigt optimistiskt, men visar på betydelsen och potentialen av återvinning som ett sätt att minska behovet av att utvinna nya metaller. Att tillägga till detta är att Sveriges efterfrågan egentligen är större då efterfrågan här inkluderar metallbehovet vid utbyggnad av vindkraft och solceller men inte efterfrågan av metaller inom andra delar av den gröna omställningen och andra sektorer.

För att möjliggöra en mer hållbar omställning måste Sveriges efterfrågan på kritiska metaller minskas kraftigt genom olika strategier och teknikutveckling. Samtidigt visar analysen att en ökad utvinning av vissa metaller är nödvändig. Den faktiska fördelningen av användning av metaller till olika länder bestäms i praktiken av marknaden, där rättvisaspekten kan beaktas genom att det säkerställs att producent- och export-länder får rimlig ersättning och att utvinningen sker under godtagbara sociala och miljömässiga villkor.

Läs mer om denna analys i resultatbladet "Kritiska metaller för energisystemets omställning"⁴².

⁴² N. Chi Johansson m.fl., Kritiska metaller för energisystemets omställning – perspektiv på Sveriges behov med fokus på vindkraft och solceller, NEPP Rapport 9/2025, Energiforsk, 2025.

5 Kina och andra länders betydelse för svensk vindkraft- och solcellsutbyggnad

Globalt sett är utvinning och upparbetning av olika kritiska råmaterial ibland koncentrerat till ett fåtal länder eller regioner. I detta avsnitt diskuteras Kinas och andra länders betydelse för Sveriges och EU:s försörjning av kritiska metaller med fokus på möjliga efterfrågan från utbyggnad av vindkraft och solceller.

Kina är en viktig exportör av flera kritiska metaller till vindkraftverk och solceller, framför allt sällsynta jordartsmetaller som omfattar både lätta (LREE) och tunga (HREE) sällsynta jordartsmetaller samt gallium och germanium. Silver, kadmium och selen som inte bedöms som kritiska råvaror är de med störst inhemsk försörjning i EU, det vill säga har en förhållandevis låg import. Indium som tidigare varit en kritisk råvara men som inte är det längre har en produktion inom EU som är större än efterfrågan⁴³. Koppar som är en strategisk råvara (men inte kritisk) har en diversifierad försörjning med en lägre andel import.

Försörjningskedjan för metaller delas upp i två stadier, utvinningsstadiet och processtadiet, där det sistnämnda inkluderar olika typer av bearbetning såsom raffinering, separation och modifiering. Utvinning av en metall kan exempelvis ske i vissa länder medan bearbetning kan ske i andra länder.

I Tabell 4 visas de kritiska metallerna som används i vindkraftverk och solceller uppdelat på utvinningsstadiet eller processtadiet tillsammans med vilka länder som EU importerat från, med Kinas andel av importen markerad. De största globala leverantörerna för respektive metall redovisas också. Kina stod för större delen av utvinning av REE under 2016–2020, 68 % för LREE och 84 % för HREE. Vad gäller bearbetning av REE dominerar Kina än mer, där landet står för 85–100% beroende på typ av REE⁴⁴. För germanium kom 94 % (130 ton av 139 ton) från kinesiska gruvor under 2022. För gallium var motsvarande värde 98 % (606 ton av 616 ton)⁴⁵. Sammanfattningsvis är Kina både den största globala leverantören och exportören till EU av REE, gallium och germanium. Kina är även den största globala leverantören av tellur och står för cirka 20% av importen till EU. För bor sker utvinningen av det som importeras till EU till 99% i Turkiet, och även bearbetning sker till största del inom Turkiet, ca 68%.

Efterfrågan på samtliga material i tabellen förväntas öka under de kommande åren i takt med en växande marknad och efterfrågan på teknologier med låga växthusgasutsläpp, men också på grund av användning inom andra applikationer. Konkurrenten om kritiska material och EU:s importberoende av ett begränsat antal leverantörländer innebär försörjningsrisker för flera råvaror. Riskerna påverkas

⁴³ M. Grohol, C. Veeh, European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report (Luxembourg: European Commission, 2023).

⁴⁴ Ibid.

⁴⁵ M. Ericsson, och O. Löf. Critical materials, the EU, the Nordic mining cluster and China – background and reflections. *Matériaux & Technique*: 113(2): (2025) 201.
<https://doi.org/10.1051/mattech/2025008>

dock även av faktorer såsom styrning och stabilitet i producentländer, möjligheterna till substitution samt potentialen för återvinning. Det är därför viktigt att diversifiera leveranskedjorna, öka materialåtervinningen och utveckla alternativa material där så är möjligt

Tabell 4. Kritiska metaller för vindkraft- och solcellstekniker tillsammans med de viktigaste exportörerna till EU, de största leverantörerna och exempel på EU-länder med tillgångar. Informationen baseras på⁴⁶, ^{47a}. Genomsnittliga värden anges i första hand för åren 2019–2023⁴⁸ och i andra hand för åren 2016–2020⁴⁰ markerat med *.

Kritiska råmaterial	Teknik	Viktigaste exportörer till EU 2019–2023 eller *2016–2020	Största globala leverantörer 2019–2023 eller *2016–2020	Exempel EU-länder med tillgångar, Andel import
Magnet-LREE Praseodym Neodym Samarium <i>Processtadiet</i>	Permanent-magneter (Pr,Nd)-Fe-B i vindkraft-turbin	Kina 81% Malaysia 7% Japan 6% USA 3 % Indien 2%	Kina 65% USA 14% Myanmar 10% Australien 7%	<i>Bearbetning - Nd och Pr oxide:</i> Estland, Frankrike (Ingen produktion av magnet-LREE i metallisk form.) <i>Utvinning: Inget EU-land</i>
LREE Neodym Praseodym <i>Utvinnings-stadiet</i>	Permanent-magneter i vindkraft-turbiner	*Kina 43 % *Japan 30 % *USA 16% *Malaysia 6 % *Indien 5 %	*Kina 68 % *Australien 10 % *USA 9 % *Myanmar 8 % *Ryssland 2% *Thailand, *Indien 1%	*Import 80 %
LREE Neodym Praseodym <i>Processtadiet</i>		*Kina 85 % *Malaysia 11 % *Ryssland 2 % *Indien 2 % *Vietnam 1 % *Norge 0,1%	*Kina 85 % *Malaysia 11% *Indien 2% *Vietnam 1% *Norge, *Australien 0,1%	*Import 100%
HREE Dysprosium Terbium <i>Utvinnings-stadiet</i>	Permanent-magneter i vindkraft-turbiner	*Kina 100 %	*Kina 84% Myanmar 9% Ryssland 2% Thailand, Indien, Brasilien 1%	*Import 100 %
HREE Dysprosium Terbium <i>Processtadiet</i>		*Kina 100 %	*Kina 100 %	*Import 100 %

⁴⁶ M. Grohol, C. Veeh, European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report (Luxembourg: European Commission, 2023).

⁴⁷ SCRREEN3 (2025). CRM factsheets directory. <https://screen3.flexx.camp/factsheets>

⁴⁸ Ibid.

Kritiska råmaterial	Teknik	Viktigaste exportörer till EU 2019–2023 eller *2016–2020	Största globala leverantörer 2019–2023 eller *2016–2020	Exempel EU-länder med tillgångar, Andel import
Bor <i>Utvinningsstadiet</i> <i>Processtadiet</i>	Används i små mängder i NdFeB magneter, men har stort ekonomiskt värde	<i>Utvinningsstadiet</i> *Turkiet 99 % <i>Processtadiet:</i> Turkiet 68% USA 19 % UK 3 %	Turkiet 47% USA 22% Chile 8% Kina 6% Bolivia 6% Peru 4% Argentina 4%	<i>Bearbetning:</i> *Tyskland, *Italien, *Slovakien, *Portugal, *Kroatien, *Danmark (Alla steg i värde-kedjan finns inom EU förutom utvinning) <i>Utvinning:</i> Import 100% av råvaran.
Silver <i>Utvinningsstadiet</i>	Kiselbaserade kristallina solceller (c-Si)	*Polen 58 % *Sverige 20 % *Mexiko, *Spanien, *Portugal 3 % *Argentina, *Bulgarien 2%	*Mexiko 24 % *Peru 14 % *Kina 13% *Chile, *Ryssland, *Australien, *Polen 5 %	<i>*Utvinning:</i> Polen, Sverige, Spanien, Portugal, Bulgarien, Grekland, Finland, Rumänien, Cypern, Tyskland, Irland, Slovakien. Import 5% <i>Bearbetning:</i> Tyskland, Belgien Import 49% <i>Bearbetning:</i> Nederländerna, Tyskland, Bulgarien, Polen Import 8%
Germanium <i>Processtadiet</i> <i>(Biprodukt huvudsakligen till zink)</i>	Amorft kisel solceller (a-Si)	Kina 54% Belgien 24% Tyskland 14% USA 3% Hongkong 2%	Kina 87% Belgien 4% Ryssland 4% Tyskland 2%	<i>Bearbetning:</i> Tyskland, Belgien Import 49% <i>Bearbetning:</i> Nederländerna, Tyskland, Bulgarien, Polen Import 8%
Kadmium <i>Processtadiet</i> <i>(Biprodukt huvudsakligen till zink)</i>	Kadmium-telleruid solceller (CdTe)	*Nederländerna 24% *Kanada 21% *Tyskland 16% *Norge 8% *Bulgarien 8 % *Polen 5 %	*Kina 36% *Sydkorea 17% *Japan 8% *Kanada, *Kazachstan 7%, *Mexiko, *Nederländerna *Ryssland 4 % m.fl.	<i>Bearbetning:</i> Tyskland, Belgien Import 49% <i>Bearbetning:</i> Nederländerna, Tyskland, Bulgarien, Polen Import 8%
Tellur <i>Processtadiet</i> <i>(Biprodukt huvudsakligen till koppar)</i>	Kadmium-telleruid solceller (CdTe)	Kanada 35% Filipinerna 34% Kina 19% Sverige 8% Hongkong 2%	Kina 70% Japan 10% Ryssland 8% Sverige 6% Kanada 4%	<i>Bearbetning:</i> Sverige Import 90%

Kritiska råmaterial	Teknik	Viktigaste exportörer till EU 2019–2023 eller *2016–2020	Största globala leverantörer 2019–2023 eller *2016–2020	Exempel EU-länder med tillgångar, Andel import
Koppar <i>Processtadiet</i>	Elektrifiering, elnät, elfordon, lagring av el, elektrolys-anläggningar, tunnfilmssolcell mm.	Tyskland 20% Polen 18% Spanien 9% Belgien 9% Ryssland 7% Chile, Bulgarien, Sverige 6% m.fl.	Kina 42% Chile 9% Japan 6% Kongo, D.R. 4% Ryssland 4% USA 4% m.fl.	<i>Bearbetning:</i> Tyskland, Polen, Spanien, Belgien, Bulgarien, Sverige, Österrike, Finland Import 15%
Indium <i>Processtadiet (Biprodukt huvudsakligen zink och koppar)</i>	Tunnfilmssolcell, elektronik, LCD-paneler, ljusdioder	Frankrike 40% Belgien 25% Kina 21% Taiwan 5% USA 5 %	Kina 60% Sydkorea 21% Japan 7% Kanada 5% Frankrike 3% Belgien 2%	<i>Bearbetning:</i> Frankrike, Belgien
Gallium <i>Processtadiet (Biprodukt huvudsakligen till aluminium)</i>	Tunnfilmssolcell	Kina 87% Kanada 4% Ryssland 3% USA 3%	Kina 97% *Ukraina 2% *Ryssland 2% *Japan 1% *Sydkorea 0,9% *Tyskland 0,3%	<i>Bearbetning:</i> Tyskland Import 100%
Selen <i>Processtadiet (Biprodukt huvudsakligen från koppar)</i>	Tunnfilmssolcell	*Tyskland 34% *Belgien 18 % *Finland 9 % *Polen 6 % *Ryssland 6 % *Sverige 5 % *Sydkorea, *Japan, 4 % m.fl.	*Kina 26% *Japan 20 % *Sydkorea 11% *Tyskland 10 % *Belgien, *Ryssland 5% m.fl.	<i>Bearbetning:</i> *Tyskland, *Belgien, *Finland, *Polen, *Sverige *Import 2 %

Utöver Kinas dominans kopplat till relevanta kritiska råmaterial, utvinning och bearbetning, så dominerar även Kina alla tillverkningssteg av solcellsmoduler (såsom polykisel, kiselgöt (ingots), kiselplattor (wafers), celler och moduler) med en andel över 80% av total produktion under 2022. Baserat på tillverkningskapacitet under uppbyggnad kan Kinas andel uppgå till nästan 95 % under kommande år. Kina har dessutom tio av de största tillverkarna av utrustning för solcellstillverkning. Världen riskerar att inom en snar framtid vara nästan helt vara beroende av Kina för tillgång på viktiga komponenter för produktion av solcellsmoduler. Utöver detta har Kina investerat i Malaysia och Vietnam vilket har gjort dessa länder till exportörer av solcellsprodukter⁴⁹.

⁴⁹ IEA, Solar PV Global Supply Chains (Paris: IEA, 2022), <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>.

Kina dominerar även produktionen av permanentmagneter innehållandes sällsynta jordartsmetaller vars andel av global produktion uppgår till 94 % idag. Även om de vindturbiner som installeras i Sverige till största del, ca 96%, kommer från europeiska och amerikanska tillverkare med fabriker i Europa, förlitar sig dessa till hög grad på kinesiska komponenter och material. Kina dominerar exempelvis tillverkningskapaciteten för flera centrala komponenter inom vindkraftssektorn, där landet står för 80 % av växellådorna, 73 % av generatorerna, 82 % av omriktarna och 82 % av gjutgodset. Kina svarar dessutom för 60 % av den globala produktionskapaciteten för rotorblad och över 70 % för tornen⁵⁰. För vindkraft är därmed beroendet av kinesiska leveranskedjor stort. Det är viktigt att följa hur detta utvecklas framöver.

5.1 KINAS REGLERING AV EXPORT PÅVERKAR SVERIGES FÖRSÖRJNING VID UTBYGGNAD AV FÖRNYBAR ENERGI

Handelskriget mellan USA och Kina, liksom med andra länder, påverkar flera industrier i länder världen över. För att sätta press på USA nyttjar Kina sin dominans bland annat inom sällsynta jordartsmetaller, andra viktiga råvaror, och processteknologier⁵¹. Kina har under olika perioder infört exportkontroller kopplat till olika kritiska och strategiska råmaterial, vilket innebär att exportören måste inneha en licens för att få exportera dessa material⁵². Den 1 augusti 2023 införde exempelvis Kina exportkontroller för gallium och germanium. I april 2025 introducerades ytterligare exportkontroller för sju REE (som inkluderar terbium och dysprosium) med relaterade föreningar, metaller och magneter^{53,54}. I oktober 2025 annonserades ytterligare och mer omfattande exportkontroller. Fler REE och relaterade produkter till dessa omfattades, samt utrustning och teknologier. Omfattningen gick bortom fysiska varor och inkluderade kontroll av teknologiskt kunnande och utländska produkter med kinesiska insatsmaterial. Exempelvis behövde utländska företag få godkännande för att exportera magneter som innehåller minst 0,1 % kinesiska sällsynta jordartsmetaller eller som producerats med kinesisk teknik. Kinas motivering till exportkontrollerna är i första hand att upprätthålla nationell säkerhet och att skydda nationella intressen⁵⁵.

⁵⁰ Wachtmeister, H. Chinese presence in the Swedish wind energy sector. Swedish National China Centre: No. 3 (2024)

⁵¹ Hagman, J., Kinas exportkontroller av sällsynta jordartsmetaller och li-jonbatterier. (6 november 2025). https://gansub.com/t/v/1_NDU2ODI5ODQxMTM=/

⁵² Reuters, China to restrict exports of gallium and germanium used in chipmaking, 4 Juli 2023, <https://www.reuters.com/markets/commodities/china-restrict-exports-chipmaking-materials-us-mulls-new-curbs-2023-07-04/>

⁵³ Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Announcement No. 18 of 2025 of The Ministry of Commerce and The General Administration of Customs of The People's Republic of China announcing the decision to implement export control on some medium and heavy rare earth related items. 2025. https://english.mofcom.gov.cn/Policies/AnnouncementsOrders/art/2025/art_0dd87cbee7b045bf93fabe6ab2faceee.html

⁵⁴ IEA, With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality, 2025, <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>

⁵⁵ M. Szczepański, China's rare-earth export restrictions (Brussels: European Parliament, 2025), [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2025/779220/EPRS_ATA\(2025\)779220_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2025/779220/EPRS_ATA(2025)779220_EN.pdf)

De exportkontroller som Kina annonserade i oktober 2025 är temporärt pausade till 10 november 2026, men hotet finns kvar att de träder i kraft vid senare tillfälle⁵⁶. Exportkontrollerna innebär att varje exporttransaktion inom specificerade områden kräver en detaljerad ansökan som måste godkännas av Kinas handelsministerium. Ansökan innehåller uppgifter om syfte, försäljning, tidigare export- och importhistoria samt certifikat som verifierar tilltänkta användningsområdet⁵⁷. Exportkontrollerna är främst riktade mot produkter som används militärt, men också så kallade dual-use produkter samt AI-sektorn⁵⁸. De av Kina specificerade områden från oktober 2025 omfattar 4 av 6 sällsynta jordartsmetaller på olika vis vilka markeras i Tabell 5.

Tabell 5. Specificerade områden som exportkontrollerna som infördes i oktober 2025 omfattade, samt vilka sektorer de påverkar⁵⁹. Notera att dessa exportkontroller är pausade ett år framåt.

Område	Påverkan på sektorer
Superhårda material	Rymd-, flyg- och försvarsindustri
Utrustning och råmaterial relaterat till utvinning av sällsynta jordartsmetaller	Utvinning och separations-utrustning
Medium och tunga sällsynta jordartsmetaller och tillhörande produkter	Magneter för försvarsindustrin, elfordon, vindkraft
Li-jon-batterier, grafit och anoder	Elfordon, lagringsteknologier
Sällsynta jordartsmetaller export utomlands	Försvar, halvledare, AI, elfordon
Teknologier och expertis för sällsynta jordartsmetaller	Industriellt know-how, utbildning, R&D

För EU och Sverige är Kinas exportrestriktioner ett hot mot industri- och energiomställningen. Förseningar eller nekande av exportlicenser leder till avbrott i leveranser, ökade priser och kan leda till akut materialbrist, vilket påverkar inkomster, konkurrenskraft och sysselsättning i leveranskedjorna. Exportkontrollerna kan försvåra internationella satsningar att skala upp strategisk produktion av sällsynta jordartsmetaller och därmed sakta ner utvecklingen av alternativa leveranskedjor⁶⁰ (IEA, 2025). Restriktionerna kopplat till utrustning för bearbetning av REE och expertis riskerar att begränsa möjligheten för nya projekt som förädlar råmaterial och producerar permanentmagneter.

⁵⁶ J. Hagman, Kinas exportkontroller av sällsynta jordartsmetaller och li-jonbatterier, 6 november 2025, https://gansub.com/t/v/1_NDU2ODI5ODQxMTM=/

⁵⁷ Benchmark Minerals, 'China extends export controls to lithium ion batteries and battery materials', 10 October 2025, <https://source.benchmarkminerals.com/article/china-extends-export-controls-to-lithium-ion-batteries-and-battery-materials>

⁵⁸ MERICS, What you now need to know about China's expansion of REE export controls, 2025, <https://merics.org/en/interview/what-you-now-need-know-about-chinas-expansion-ree-export-controls>.

⁵⁹ Ibid.

⁶⁰ IEA, With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality, 2025.

6 Alternativa försörjningskedjor för kritiska metaller för vindkraft och solceller

Vilka möjliga vägar att minska beroendet av Kina genom alternativa försörjningskedjor finns och hur ser den nordiska försörjningspotentialen ut? Vad är på gång inom EU vad gäller strategiska partnerskap och projekt kopplat till kritiska råmaterial?

För att EU och Sverige ska kunna minska beroendet av Kina eller andra länder, kopplat till utbyggnaden av vindkraftverk och solceller, krävs en diversifierad marknad. Betydelsefulla leverantörer visas i Tabell 4.4 i föregående kapitel, men det finns även fler än de som listas där.

För REE är alternativa importmöjligheter begränsade. Australien, USA och Myanmar, samt Thailand och Indien är möjliga alternativ i utvinningsstadiet, medan Malaysia och Myanmar är alternativa leverantörländer från processtadiet. Flera av dessa länder är redan leverantörer till EU men i en mindre omfattning än Kina. Kina är en stor global leverantör av germanium och gallium och även stor exportör till EU, men det finns flera alternativa leverantörer som redan levererar till EU. För tellur finns det också flera globala leverantörer även om Kina är en dominerande global leverantör också för denna metall. För bor finns ett importberoende till Turkiet, men det finns flertalet länder i Sydamerika som möjliga leverantörer samt USA som redan är exportör till EU.

6.1 STRATEGISKA PARTNERSKAP MED LÄNDER UTANFÖR EU FÖR ATT SÄKRA TILLGÅNG OCH DIVERSIFIERA LEVERANSKEDJOR

Strategiska samarbeten med länder som innehar kritiska och strategiska råvaror är något EU arbetar med för att säkra tillgången på råvarorna och diversifiera importen. CRMA har som mål att högst 65 % av EU:s årliga behov av varje strategiskt råmaterial ska komma från ett enda land utanför EU år 2030. EU har därför under de senaste åren ingått strategiska partnerskap med 15 länder (se Tabell 6). Med vissa av dessa länder har även EU så kallade strategiska projekt där vissa är relevanta för vindkrafts- och solcellsindustrin (exempel visas i Tabell 6). Strategiska projekt finns även inom EU.

Tabell 6. Sammanställning över länder som EU år 2025 hade partnerskap med kring försörjning av kritiska råmaterial, samt exempel på strategiska projekt EU har i dessa länder (de relevanta för sol och vind är fetmarkerade)^{61,62}.

	Partnerskap kring råmaterial	Strategiska projekt utanför EU
Nord-Amerika	Kanada (2021)	Utvinning av nickel och kobolt för batterier.
Syd-Amerika	Argentina (2023), Chile (2023), (Brasilien, ska inleda samtal 2026)	Bearbetning nickel och kobolt för batterier i Brasilien.
Europa	Serbien (2024), Ukraina (2021), Norge (2024), Grönland (2023)	Utvinning bor och litium i Serbien. Utvinning koppar i Norge.
Afrika	Namibia (2022), DRC (2023), Zambia (2023), Rwanda (2024), Sydafrika (2025)	Utvinning av REE för magneter och mangan för batterier i Sydafrika.
Asien	Kazakstan (2022), Uzbekistan (2024)	Projekt i Kazakstan finns (se löpande text) men listas ej i EU:s lista över strategiska projekt.
Oceanien	Australien (2024)	

Två exempel på länder är Kazakstan och Uzbekistan som ligger i en region med omfattande resurser av kritiska råmaterial. Kazakstan har 21 av 34 kritiska råmaterial i sina reserver, däribland germanium men även silver, koppar, kadmium, selen och tellur, samt kisel. Uzbekistan har gallium och indium, men också metallerna koppar, silver, kadmium, selen, tellur och kisel. Trots de strategiska avtalen mellan EU och dessa länder har det varit ett begränsat engagemang från investerare inom EU. Fem projekt pågår, varav fyra av dessa omfattar utvinning och export av antingen litium, kobolt, nickel och grafit. Det femte projektet omfattar utveckling av fyndigheter av REE för produktion av solpaneler i Samarkandregionen.

De bolag som driver projekten kommer från Tyskland, Danmark, Frankrike och i ett fall sker projektet genom ett samarbete mellan Australien och europeiska banken för återuppbyggnad och utveckling (EBRD). EU:s investeringstakt går långsamt och skulle kunna öka takten enligt många experter. Det råder dock konkurrens med Kina, USA och Ryssland som också har olika initiativ och samarbeten med Centralasien. EU är i förhållande till Kina en mindre partner, där Kina har investerat i 25 projekt som omfattar geologisk prospektering, utvinning och produktion av kritiska råmaterial i Centralasien. Under 2024 importerade Kina 70 % av all kritiska råmaterial som utvanns i Centralasien⁶³.

⁶¹ European Commission, 'Raw materials diplomacy', 2025a, https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/raw-materials-diplomacy_en.

⁶² European Commission, 'Selected strategic projects', 2025b, https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/strategic-projects-under-crma/selected-projects_en.

⁶³ R. Vakulchuk, Start slow to go fast? Unlocking EU–Central Asia cooperation on critical materials (Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2025).

6.2 EU:S STRATEGISKA PROJEKT FÖR ÖKAD INHEMSK FÖRSÖRJNING

Att öka den inhemska produktionen av kritiska och strategiska råvaror är ett annat sätt. CRMA har mål för ökad självförsörjning och minskat importberoendet av kritiska råvaror till 2030, som innebär att 10 % utvinning, 40 % förädling och 25 % återvinning av EU:s årliga förbrukning ska ske inom EU. För att uppnå detta har EU 47 nya strategiska inhemska projekt fördelade över 13 EU-länder. Projekten omfattar ett eller flera segment av råvaruvärdekedjan, där 25 projekt avser utvinning, 24 bearbetning, 10 återvinning och 2 ersättning av råmaterial. Projekten omfattar 14 av 17 strategiska råmaterial och flertalet projekt har fokus på litium, nickel, kobolt, mangan och grafit, vilket stärker EU:s värdekedja framförallt för batteriråmaterial⁶⁴ (European Commission, 2025c). Vad gäller metaller kopplade till vindkraft och solceller sammanställs de strategiska projekten i Tabell 7. Ett av dessa projekt omfattar Sverige.

Tabell 7. Strategiska projekt för försörjning av kritiska metaller kopplat till vindkraft och solceller inom EU⁶⁵.

Projekt	Metall	Del av råvarukedjan	Företag, land
ReeMAP Project: Malmberget, Luleå Industrial Park, Per Geijer fyndigheten	REEs för magneter	Integrerad utvinning och förädling	LKAB, Sverige
Pulawy Rare Earths Separation Plant	REEs för magneter	Förädling	Mkango Resources Ltd., Polen
MagFactory	REEs för magneter	Återvinning	Frankrike
LIFE-22-ENV- IT-INSPIREE	REEs för magneter	Återvinning	Italien
CAREMAG	REEs för magneter, Bor	Förädling	CAREMAG SAS, Frankrike
GePETO	Germanium	Förädling	Umicore, Belgien
ReGAIN	Germanium	Substitution	Umicore, Belgien
Metlen BAUX-EU, GALLANT, LEADER	Gallium, Bauxite / aluminium	Integrerad utvinning och förädling	Metlen Energy and Metals and European Bauxites, Grekland
Totalt 10 projekt	Koppar	Utvinning, förädling, återvinning	Spanien, Frankrike, Portugal, Polen, Italien, Finland, Rumänien

I tillägg till de strategiska projekten så finns det fyndigheter av gallium i Tyskland och Polen. Det finns även REE fyndigheter i Tyskland men dessa är i förhållande till svenska och norska fyndigheter mindre⁶⁶. Den nordiska potentialen beskrivs i nästa avsnitt.

⁶⁴ European Commission, 'Commission selects 47 Strategic Projects to secure and diversify access to raw materials in the EU', 25 mars 2025c, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_864.

⁶⁵ European Commission, 'Selected strategic projects', 2025b.

⁶⁶ GSEU, 'European critical raw materials*' (Brussels: Geological Service for Europe, 2024), https://www.geologicalservice.eu/upload/content/1753/egs_gseu_all_crm_maps.pdf.

6.3 NORDISK PRODUKTION OCH FÖRSÖRJNINGSPOTENTIAL AV KRITISKA METALLER

Den nordiska försörjningspotentialen i form av befintlig och kommande produktion, samt fyndigheter av kritiska metaller sammanställs i Tabell 8 (baserat på data från^{67,68}). Flera av metallerna är biprodukter vid annan framställning. För fyndigheterna är det inte säkert att det är ekonomiskt eller av andra anledningar möjligt att utnyttja dem. Det pågår projekt för utvinning och förädling av REE i både Sverige och i Norge.

LKAB har som mål att starta produktion av kritiska och strategiska råmaterial, som bi-produkter från järnmalmproduktionen. Företaget har tre projekt som omfattar planerad industripark i Luleå, gruvan i Malmberget Gällivare och en ny järnmalmfyndighet Per Geijer i Kiruna. LKAB:s fyndigheter innefattar alla 17 REE, däribland de som används i permanentmagneter. Gruvavfall från Malmberget processas för att producera koncentrat av REE i apatit som skickas till Luleå industripark där det förädlas till kommersiella produkter inklusive REE oxider. En mindre demonstrationsanläggning planeras ha produktionsstart 2026 och fullskalig produktion förväntas under 2030-talet. Per Geijer fyndigheten är en av Europas största fyndigheter av REE med stor potential men den utredning som pågår är i ett tidigt skede. Projekten har fått statusen strategiska projekt av EU vilket innebär att de kan ha fördelar genom effektivare tillståndprocesser, finansieringsmöjligheter och annat EU stöd⁶⁹.

Norge har den största fyndigheten av REE i Europa, Fen, vilken Rare Earth Norway (REN) avser utveckla. En hållbar mineralindustri är viktig för Norge och REN arbetar därför med att ta fram en ny standard för mineralutvinning och utveckla ett gruvkoncept kallat "Invisible mining" som innebär en elektrifierad och autonom gruva med återfyllnad. I konceptet används elektrifierade och autonoma fordon för tunga lyft, där cementerat restmaterial direkt återförs till gruvgångarna för att fylla de tomrum som uppstår efter brytning. Utvecklingen av konceptet och tekniken för bearbetning av mineraler sker genom tre större forskningsprojekt i 20 länder⁷⁰. Det norska företaget REEtec har utvecklat en helt ny tillverkningsprocess för REE och håller just nu på att bygga sin första industriella separationsanläggning. Sedan 2019 har en industriell demoanläggning varit i drift som visar på en låg miljöpåverkan i jämförelse med konventionella separationsprocesser. LKAB är den största ägaren av REEtec⁷¹.

⁶⁷ EGDI, 'European Geological Data Infrastructure', 2025, <https://maps.europe-geology.eu>.

⁶⁸ P. Eilu m.fl., The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a green energy transition (2021), <https://www.nordicinnovation.org/2021/nordic-supply-potential-critical-metals-and-minerals-green-energy-transition>.

⁶⁹ LKAB, 'LKAB's future initiatives designated as Strategic Projects by the EU', 25 mars 2025, <https://lkab.com/en/press/lkabs-future-initiatives-designated-as-strategic-projects-by-the-eu/>.

⁷⁰ M. Prestvik, 'Norway hosts the largest known deposit of rare earth elements in Europe', 20 december 2024, <https://www.ngu.no/en/nyheter/norway-hosts-largest-known-deposit-rare-earth-elements-europe>.

⁷¹ REEtec, 'REEtec', 2025, <https://www.reetec.no/>.

Tabell 8. Sammanställning av nordisk produktion och fyndigheter av kritiska metaller för vindkraft och solceller.

Metall	Nordisk produktion och fyndigheter/resurser
Neodym (Nd)	Ingen gruvproduktion i Norden ännu av dessa metaller. Kända fyndigheter finns i Finland, Grönland, Norge och Sverige. Finland har i förhållande till de andra tre länderna inte lika stora fyndigheter. Grönland har ett flertal platser med potentiella REE fyndigheter. I Norge finns flera fyndigheter varav en är mycket stor (Fen) och en annan bedöms som stor. Sveriges potential är också stor med flera fyndigheter och inkluderar apatite-järnoxidmalmer och relaterade gruvavfall ^{72,73} . I Sverige och Norge pågår projekt för utvinning och förädling av REE.
Praseodym (Pr)	
Dysprosium (Dy)	
Terbium (Tb)	
Bor (B)	Inga fyndigheter i Norden eller EU. Två fyndigheter finns i Serbien vilket är ett land EU har strategiskt partnerskap och strategiska projekt med ^{72,74} .
Silver (Ag)	Produktion i Finland och Sverige. Det finns flera stora fyndigheter i Sverige. I Finland finns det ett antal mellanstora fyndigheter. I Norge och Grönland finns det fyndigheter som bedöms som små. ⁷² .
Germanium (Ge)	Ingen produktion eller kända fyndigheter i Norden. Potentiellt finns det dock mindre fyndigheter i Finland, Norge och Sverige. Norra Grönland har potential via zinkfyndigheter. Finland hade tidigare produktion av germanium via raffinering av importerad zinkmalm, men produktionen är idag minimal ⁷³ .
Kadmium (Cd)	Mindre fyndigheter i Sverige och Finland ⁷² .
Tellur (Te)	Stor fyndighet i Sverige med produktion. Finns även mindre fyndigheter i Sverige och i Finland ⁷² .
Koppar (Cu)	Produktion i Finland och Sverige. Kända fyndigheter finns i Finland, Sverige, Norge och Grönland. Raffinering- och smältverksproduktion finns i Finland, Norge, Sverige ⁷³ .
Indium (In)	Ingen produktion eller kända fyndigheter i Norden. Potentiella fyndigheter finns dock i områden på Grönland, i Sverige och Finland ⁷² .
Gallium (Ga)	Ingen produktion i Norden, men på Grönland finns kända resurser. Det finns potential att producera gallium i Norden. Island skulle kunna genom importerad råaluminium som raffineras producera ca 100–120 t/år. Norge skulle kunna extrahera Ga från bauxite som processas, ca 5 t Ga/år.
Selen (S)	Stor fyndighet i Sverige, men vars gruvdrift är stängd. Mindre fyndigheter i Sverige och Finland ⁷² . Processtadiet/bearbetning sker i Sverige och Finland ⁷⁵ .

⁷² EGDI, 'European Geological Data Infrastructure', (2025).⁷³ P. Eilu m.fl., The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a green energy transition (2021).⁷⁴ European Commission, 'Selected strategic projects', 2025b⁷⁵ M. Grohol, C. Veeh, European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report (Luxembourg: European Commission, 2023).

7 Avslutande summering och inspel

Omställningen till ett mer elektrifierat och fossilfritt energisystem innebär en ökad efterfrågan på kritiska metaller. Denna rapport belyser kritiska metaller i energiomställningen med fokus på vindkrafts- och solcellsutbyggnad i Sverige, utifrån tre perspektiv: framtida metallbehov, rättvis fördelning av globala resurser samt försörjnings- och geopolitisk sårbarhet.

Rapporten visar att metallbehovet för vindkraft och solceller i Sverige kan minska betydligt genom teknikutveckling och strategier för cirkulär ekonomi. Minskad materialintensitet, materialsubstitution, längre teknisk livslängd och återvinning kan sammantaget reducera efterfrågan på flera metaller avsevärt. Samtidigt framgår att dessa strategier inte är tillräckliga för att helt eliminera behovet av primär försörjning fram till 2050. För de flesta metaller kvarstår därför ett betydande behov av nytvunna eller på annat sätt tillförda metaller även i scenarier med omfattande cirkulära åtgärder. Cirkulär ekonomi är därmed nödvändig, men inte tillräcklig i sig.

Rapporten visar också att Sveriges behov av metaller för vindkrafts- och solcellsutbyggnad kan innebära en hållbarhetsutmaning ur ett globalt fördelningsperspektiv. Även om efterfrågan kan minskas genom teknikutveckling och återvinning kvarstår i flera fall nivåer som är höga i relation till vissa fördelningsprinciper. Detta understryker att energiomställningen inte enbart är en fråga om teknisk genomförbarhet, utan också om hur begränsade resurser används och fördelas mellan länder. I praktiken bestämmer dock marknaden hur fördelningen sker, men marknaden kan påverkas av olika regleringar, restriktioner och krav. För att omställningen ska vara långsiktigt hållbar kan emellertid efterfrågan på nytvunna kritiska metaller behöva minska, samtidigt som användningen av de metaller som ändå behövs sker på ett ansvarsfullt, transparent och rättvist sätt.

Sveriges och EU:s försörjning av flera kritiska metaller och komponenter är idag starkt beroende av ett fåtal länder och speciellt Kina. Detta gäller särskilt sällsynta jordartsmetaller till permanentmagneter i vindkraftverk, men också gallium och germanium samt centrala delar av värdekedjan för solcellsproduktion. Kinas dominerande ställning i utvinning, bearbetning och tillverkning innebär att försörjningen är sårbar för handelspolitiska konflikter, exportrestriktioner och andra geopolitiska förändringar.

Rapporten belyser samtidigt hur behovet av metaller och tillhörande sårbarhet kan begränsas genom diversifierad import, strategiska partnerskap och en ökad europeisk och nordisk produktion av kritiska metaller. Sverige bör fortsätta arbeta för att minska ensidiga importberoenden och långsiktigt bredda leveransrelationer av nämnda kritiska metaller för att minska beroendet av ett fåtal länder inklusive Kina. En ökad europeisk tillverkning av solceller och vindkraftverk (permanentmagneter) för att öka inhemsk försörjning och minska beroendet av Kina är också nödvändig. Teknikutveckling kan minska sårbarheten genom att minska behovet av de mest kritiska metallerna. Samtidigt tar utvecklingen av nya

leveranskedjor tid, och nya projekt måste hantera både ekonomiska, miljömässiga och sociala avvägningar. Ökad europeisk och nordisk försörjning bör därför ses som ett långsiktigt komplement till, snarare än en snabb ersättning för, dagens globala leveranskedjor. Möjligheterna till ökad nordisk och svensk produktion av utvalda kritiska material utan att bidra till ökad lokal miljöpåverkan behöver utredas och diskuteras vidare.

Sammantaget visar rapporten att energiomställningen inte bara är en fråga om att bygga ut mer vindkraft och solceller. Den är också en fråga om hur metallbehovet kan begränsas, hur kvarstående behov kan mötas på ett hållbart sätt och hur nya geopolitiska beroenden kan hanteras.

För beslutsfattare innebär detta att klimat och energipolitik, industripolitik, resurseffektivitet och försörjningstrygghet behöver ses som nära sammanlänkade frågor. Kritiska råmaterial bör därmed behandlas som en integrerad del av Sveriges energi-, klimat-, industri- och säkerhetspolitik. I Sveriges mineralstrategi⁷⁶, som publicerades i juli 2026, framhålls att klimatomställningen medför ett ökat behov av kritiska och strategiska metaller, bland annat till vindkraftverk och solceller. Denna strategi behöver dock kompletteras med insatser kopplade till energiområdet.

Ett förslag är att prognoser och scenarier för energisystemets omställning i Sverige som tas fram av berörda myndigheter (och som visar utvecklingen för till exempel vindkraft, solceller, elektrifiering, vätgas och elektrobränslen) kompletteras med analyser av vilka kritiska material som krävs och var de största försörjningsriskerna finns. Hänsyn behöver då tas till teknikval och utveckling av strategier kopplat till cirkulär ekonomi som minskad materialintensitet, ökad materialsubstitution, förlängd teknisk livslängd och återvinning. Kopplat till detta är det viktigt att stödja framtagande av nya återvinningsprocesser, utveckling och implementering av vindkrafts- och solcellstekniker som använder mindre mängder kritiska metaller, ersätter de mest kritiska material med andra, möjliggör återvinning och som förlänger komponenters och anläggningars livslängd.

Ett annat förslag är att berörda myndigheter och branschorganisationer tar fram försörjningsplaner för de material där framtida behov och försörjningsrisker sammantaget bedöms vara stora. Sådana planer kan exempelvis belysa varifrån materialen kommer i dag, vilka alternativa leverantörer som finns och hur tillgången kan påverkas av geopolitiska kriser. Metaller som enligt denna rapport bör omfattas är neodym, praseodym, dysprosium och terbium för vindkraft samt germanium, tellur, indium, gallium och selen, vilka används i olika solcellstekniker.

Ett fortsatt viktigt arbete framåt är att utveckla styrmedel och strategier som både minskar materialbehovet, stärker återvinning och substitution, och samtidigt främjar en mer robust och hållbar försörjning av de metaller som fortsatt behövs för att möjliggöra energiomställningen givet nuvarande teknikalternativ. Samtidigt bör det noteras att framtida teknikutveckling, nya material eller nya substitutionslösningar kan förändra efterfrågan på enskilda metaller och därmed

⁷⁶ Regeringskansliet, Sveriges mineralstrategi: med sikte på en stark mineralindustri som ökar Sveriges konkurrens- och motståndskraft, 2026.

vilka metaller som betraktas som kritiska. Sådana utvecklingsvägar har inte analyserats inom ramen för denna rapport.

Kort summering av våra inspel till fortsatt arbete:

Integrera kritiska råmaterial i energiplaneringen genom att komplettera nationella energi- och omställningsscenarier med analyser av materialbehov, försörjningsrisker och konsekvenser av olika teknikval.

Prioritera cirkulära strategier och resurseffektiv teknik, inklusive minskad materialintensitet, materialsubstitution, längre livslängd och ökad återvinning, för att begränsa efterfrågan på kritiska metaller.

Stöd utveckling av nya återvinningstekniker. Sverige har en betydande återvinningsindustri och ett bra innovationsklimat. Det borde därför finnas bra förutsättningar att utveckla ny återvinningsteknik som gör att de material som återfinns i befintlig infrastruktur (vind- och solkraft och i batterier) kan återvinnas när dessa tekniker uppnått sin ekonomiska livslängd. Det bör även vara intressant att utveckla tekniker för att utvinna sällsynta jordartsmetaller ur befintliga gruvavfalls- och restströmmar från järnmalmsbrytning.

Ta fram försörjningsplaner för särskilt kritiska metaller där behov och försörjningsrisker är stora, med fokus på alternativa leverantörer, importberoenden och geopolitiska risker.

Minska beroendet av enskilda länder, särskilt Kina, genom diversifierad import, strategiska partnerskap samt ökad europeisk och nordisk produktion och förädling av kritiska metaller och komponenter.

Utveckla samordnade styrmedel som stärker försörjningstryggheten, främjar återvinning och substitution samt säkerställer att kvarvarande behov av primära metaller möts på ett hållbart och ansvarsfullt sätt.

8 Referenslista

- Benchmark Minerals (2025). *China extends export controls to lithium ion batteries and battery materials*. 10 October.
<https://source.benchmarkminerals.com/article/china-extends-export-controls-to-lithium-ion-batteries-and-battery-materials>
- EGDI (2025). *European Geological Data Infrastructure*.
<https://maps.europe-geology.eu>
- Eilu, P., Bjerkgård, T., Franzson, H. m.fl. (2021). *The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a green energy transition*. Nordic Innovation.
<https://www.nordicinnovation.org/2021/nordic-supply-potential-critical-metals-and-minerals-green-energy-transition>
- Energimyndigheten (2021). *Vindkraftens resursanvändning*.
https://www.energimyndigheten.se/48ff35/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning_slutversion-20210127.pdf
- Ericsson, M. och Löf, O. (2025). Critical materials, the EU, the Nordic mining cluster and China – background and reflections. *Matériaux & Techniques*, 113(2), 201.
<https://doi.org/10.1051/mattech/2025008>
- European Commission (2025a). *Raw materials diplomacy*.
https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/raw-materials-diplomacy_en
- European Commission (2025b). *Selected strategic projects*.
https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/strategic-projects-under-crma/selected-projects_en
- European Commission (2025c). *Commission selects 47 Strategic Projects to secure and diversify access to raw materials in the EU*. 25 March.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_864
- Europeiska revisionsrätten (2026). *Särskild rapport 04/2026: Kritiska råmaterial för energiomställningen*.
<https://www.eca.europa.eu/sv/publications/SR-2026-04>
- Grohol, M., Veeh, C. och European Commission (2023). *Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report*.
- GSEU (2024). *European critical raw materials*.
https://www.geologicalservice.eu/upload/content/1753/egs_gseu_all_crm_maps.pdf
- Hagman, J. (2025). *Kinas exportkontroller av sällsynta jordartsmetaller och li-jonbatterier*. 6 november.
https://gansub.com/t/v/1_NDU2ODI5ODQxMTM=/
- IEA (2022). *Solar PV Global Supply Chains*. Paris: IEA.
<https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>

- IEA (2025). *With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality*. Paris: IEA.
<https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>
- Johansson, N.C., Hansson, J., Savvidou, G. och Johnsson, F. (2025). *Kritiska metaller för energisystemets omställning – perspektiv på Sveriges behov med fokus på vindkraft och solceller*. NEPP Rapport 9/2025. Energiforsk.
- Johansson, N.C. och Hansson, J. (2026). *Kritiska metaller kopplat till vindkraft och solceller – Kinas dominans och nordiska möjligheter*. NEPP Rapport 3/2026. Energiforsk.
- LKAB (2025). *LKAB's future initiatives designated as Strategic Projects by the EU*. 25 March.
<https://lkab.com/en/press/lkabs-future-initiatives-designated-as-strategic-projects-by-the-eu/>
- Malmaeus, J.M., Alfredsson, E.C. och Lindblom, E. (2025). On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition. *Environmental Development*, 54, 101157.
<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101157>
- MERICs (2025). *What you now need to know about China's expansion of REE export controls*.
<https://meric.org/en/interview/what-you-now-need-know-about-chinas-expansion-ree-export-controls>
- Ministry of Commerce of the People's Republic of China (2025). *Announcement No. 18 of 2025 of The Ministry of Commerce and The General Administration of Customs of The People's Republic of China announcing the decision to implement export control on some medium and heavy rare earth related items*.
https://english.mofcom.gov.cn/Policies/AnnouncementsOrders/art/2025/art_0dd87cbee7b045bf93fab6ab2faceee.html
- Månberger, A. och Stenqvist, B. (2018). Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. *Energy Policy*, 119, 226–241.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.056>
- Phillips, S., Bett, A., Burger, B. m.fl. (2025). *Photovoltaics Report*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.
- Prestvik, M. (2024). *Norway hosts the largest known deposit of rare earth elements in Europe*. 20 December.
<https://www.ngu.no/en/nyheter/norway-hosts-largest-known-deposit-rare-earth-elements-europe>
- REEtec (2025). *REEtec*.
<https://www.reetec.no/>
- Regeringskansliet (2026). *Sveriges mineralstrategi: med sikte på en stark mineralindustri som ökar Sveriges konkurrens- och motståndskraft*.
<https://www.regeringen.se/informationsmaterial/2026/07/sveriges-mineralstrategi/>
- Reuters (2023). *China to restrict exports of gallium and germanium used in chipmaking*. 4 July.

<https://www.reuters.com/markets/commodities/china-restrict-exports-chipmaking-materials-us-mulls-new-curbs-2023-07-04/>

Savvidou, G., Johnsson, F., Ljunggren, M., Liu, Q., Tasseven, U. och Zachariadis, T. (2026a). *Circular technology design and its potential influence on minor metals demand in wind and solar expansion*. *Journal of Industrial Ecology*.
<https://doi.org/10.1007/s44498-026-00040-0>

Savvidou, G., Ljunggren, M. och Johnsson, F. (2026b). Slowing, narrowing, and closing material flows: Impacts on metal demands in wind and solar power. *Sustainable Production and Consumption*, 64, 137–150.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2026.02.007>

SCREEN3 (2025). *CRM factsheets directory*.
<https://screen3.flexx.camp/factsheets>

SGU (2025). *Kritiska och strategiska råvaror*. 24 januari.
<https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/>

Svenska kraftnät (2021). *Långsiktig marknadsanalys 2021: Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*. SvK 2019/3305.
<https://www.svk.se/4ab626/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

Szczepański, M. (2025). *China's rare-earth export restrictions*. European Parliament.
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2025/779220/EPRS_ATA\(2025\)779220_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2025/779220/EPRS_ATA(2025)779220_EN.pdf)

Udosen, D., Kalengo, K., Akuru, U.B., Popoola, O. och Munda, J.L. (2022). Nonconventional, nonpermanent magnet wind generator candidates. *Wind*, 2(3), 429–450. <https://doi.org/10.3390/wind2030023>

Vakulchuk, R. (2025). *Start slow to go fast?: Unlocking EU–Central Asia cooperation on critical materials*. Friedrich-Ebert-Stiftung.

Wachtmeister, H. (2024). *Chinese presence in the Swedish wind energy sector*. No. 3.

KRITISKA METALLER FÖR ENERGIOMSTÄLLNINGEN MED FOKUS PÅ VINDKRAFT- OCH SOLCELLSUTBYGGNAD I SVERIGE

Omställningen till ett mer elektrifierat och fossilfritt energisystem innebär en ökad efterfrågan på kritiska metaller. Denna rapport belyser kritiska metaller i energiomställningen med fokus på vindkrafts- och solcellsutbyggnad i Sverige, utifrån tre perspektiv: framtida metallbehov, rättvis fördelning av globala resurser samt försörjnings- och geopolitisk sårbarhet.

Rapporten visar att metallbehovet för vindkraft och solceller kan minska betydligt genom teknikutveckling och cirkulära strategier som minskad materialintensitet, materialsubstitution, längre livslängd och återvinning. Dessa åtgärder kan dock inte helt ersätta behovet av primär försörjning fram till 2050. Cirkulär ekonomi är därför nödvändig men inte tillräcklig.

Resultaten visar också att Sveriges framtida metallbehov kan innebära hållbarhetsutmaningar ur ett globalt fördelningsperspektiv och att energiomställningen handlar både om teknisk genomförbarhet och om hur begränsade resurser används och fördelas. Samtidigt är Sveriges och EU:s försörjning av flera kritiska metaller starkt beroende av ett fåtal länder, särskilt Kina, vilket skapar geopolitiska risker. För att minska sårbarheten behöver Sverige och EU kombinera cirkulära lösningar med diversifierad import, strategiska partnerskap och ökad europeisk produktion av kritiska metaller och komponenter. Rapporten pekar även på behovet av att integrera materialförsörjning i energi-, klimat-, industri- och säkerhetspolitiken, utveckla analyser av framtida materialbehov och försörjningsrisker samt ta fram strategier som stärker återvinning, substitution och en robust försörjning av de metaller som fortsatt behövs för energiomställningen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.