



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 10 ★ AUG 2026

– om kritiska metaller och mineral

Kampen om jordens resurser har genomsyrat människans historia. I dag är intresset särskilt riktat mot de metaller och mineral som är nödvändiga för klimatomställningen och den snabba tekniska utvecklingen. Vad säger vetenskapen om vårt beroende av jordskorpans mest eftersökta grundämnen – och hur det påverkar världspolitiken?



Framtidens viktigaste byggstenar

Framtidens viktigaste byggstenar

1 H	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
--------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	---------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Kritiska grundämnen

Tillgången börjar bli kritisk (rödmarkerade) på många grundämnen i det periodiska systemet.

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf

Varje grundämne har unika egenskaper. Det beror främst på elektronerna kring atomkärnan – hur lätt de släpper taget, hur de skapar bindningar med andra atomers elektroner, hur de påverkas av elektriska fält och mycket annat.

Metaller är elektriskt laddade på grund av att deras yttersta elektroner är lätttrögliga. Vid rumstemperatur har silver högst ledningsförmåga av alla metaller, tätt följd av koppar och guld. Men världsproduktionen av koppar är ungefär tusen gånger större än den av silver. Ledningar av koppar hittar vi inte bara i våra sladdar, utan även i elektromagneter, som är grunden för alla elmotorer, och i stora spolar som finns i alla transformatorer.

Minst lika viktig för den snabba datorutvecklingen, inte minst kopplat till AI, är halvledare. Det är material som kan leda elektrisk ström – dock inte lika bra som metaller. Det mest använda halvledarmaterialet är kisel. Det råkar vara det näst vanligaste ämnet i jordskorpan (efter syre). Däremot kräver kiselframställning mycket energi och Europa är beroende av import från ett fåtal länder, vilket gör kisel till ett kritiskt grundämne i EU.

I den här skriften ska vi fördjupa oss i de grundämnen, främst olika typer av metaller, som är nödvändiga för

den moderna elektroniken såväl som den pågående energiomställningen. EU:s lista över *Critical Raw Materials* (CRM) omfattar ett brett spektrum av grundämnen.

Anledningen till att så mycket fokus riktas mot dessa ämnen i dag är att efterfrågan på dem ökar rekordartat. Det gäller särskilt för litium, kobolt, nickel, kol i form av grafit och sällsynta jordartsmetaller, men också för koppar.

Därför får länder som kontrollerar utvinning, förädling och produktion ett övertag – och det gäller såväl den snabba utvecklingen inom datorteknik och AI som den globala energiomställningen. Detta leder till en maktkamp liknande den om fossila bränslen som olja och naturgas.

Eftersom gruvdrift och utvinning alltid innebär påverkan på miljö, mark och människor blir även återvinning en allt hetare fråga i hanteringen av kritiska metaller.

					2 He
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Några definitioner

Kritiska metaller och mineral (kallas ibland innovationskritiska metaller och mineral) är sådana som är nödvändiga för viktiga samhällsfunktioner och framtidstekniker. Förutom att de har stor ekonomisk betydelse kännetecknas de också av hög risk för brist. Batterimetallerna litium och kobolt hör hit, liksom mineralet grafit.

Ibland förekommer också begreppet **strategiska metaller**. Det syftar på metaller som är avgörande för nationell säkerhet och självständighet, oavsett om tillgången är hotad eller inte. Hit hör de sällsynta jordartsmetallerna. Många metaller räknas som både kritiska och strategiska, till exempel litium och magnesium.

Förutom denna indelning i kritiska och strategiska, talar man också om **konfliktmetaller**. Som namnet antyder är det metaller som bryts där utvinningen bidrar till väpnade konflikter eller brott mot mänskliga rättigheter. Sedan 2024 finns dessutom kategorin **försvarskritiska råmaterial**, som NATO tagit initiativ till.

Definitionerna har brister. Det finns gott om exempel där utvinningen bidrar till allvarlig påverkan på mark, miljö och människor utan att slutprodukten räknas som konfliktmetall. Barnarbete i koboltgruvor brukar framhållas, liksom inkräktande på urbefolkningars rättigheter i samband med nickelutvinning. Självklart är också de ”klassiska” metallerna som järn och koppar helt avgörande för att vårt moderna samhälle ska fungera. Järn och stål står för 95 procent av all metallproduktion i världen. Koppar är strategiskt viktig eftersom den används som elektrisk ledare. Även guld används i elektriska kretsar där man behöver en tillförlitlig kontaktmetall – guld leder elektricitet mycket bra och oxiderar inte.

Typ	Fokus	Exempel
Kritiska metaller och mineral	Ekonomisk betydelse och risk för brist	litium, kobolt, grafit
Strategiska metaller	Viktiga för nationell säkerhet och självständighet	titan, nickel, sällsynta jordartsmetaller
Konfliktmetaller	Etiska och humanitära risker i utvinningen	guld, tenn, tantal, volfram
Försvarskritiska råmaterial	Avgörande för att producera avancerade försvarssystem	aluminium, litium, grafit

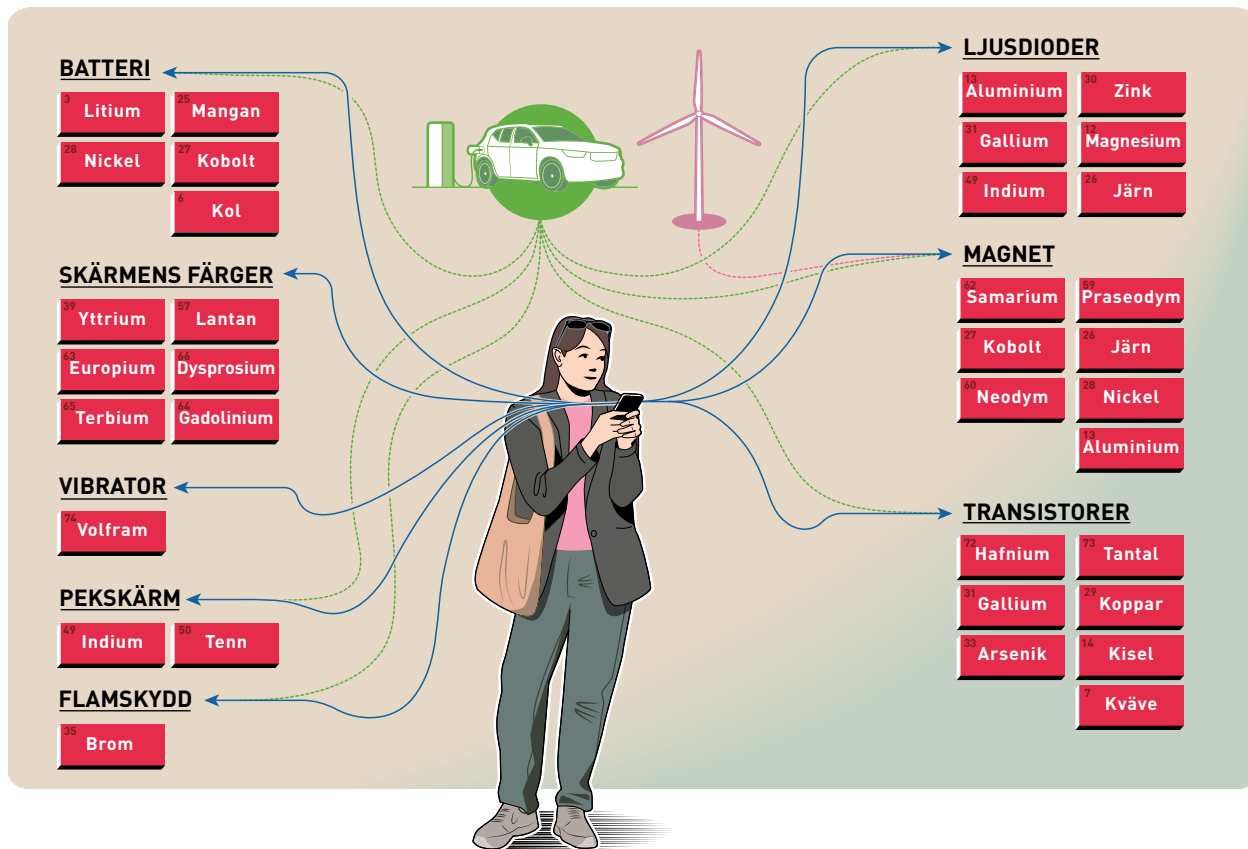
EU:s definition: En råvara är kritisk om den har stort ekonomiskt och strategiskt värde för EU:s industri och det samtidigt riskerar att uppstå brist på grund av geopolitiska, miljömässiga eller marknadsmässiga faktorer.

EU:s lista över CRM, *Critical Raw Materials* omfattar i dag 34 ämnen och uppdateras regelbundet (och inkluderar de strategiska). Här finns inte bara metaller utan också mineral som grafit, flusspat och fältspat, samt fosfor.

Se www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/

Kritiska metaller och mineral – varför behöver vi dem?

Nästan hälften av alla stabila grundämnen har vi i fickan – de är nödvändiga för att mobilen ska fungera. Samtidigt är vi beroende av dem för den pågående ökade elektrifieringen som minskar användningen av fossila bränslen.



Grundämnenas olika egenskaper

Anledningen till det starkt ökade behovet av olika kritiska råmaterial är intresset för de unika egenskaperna hos varje ämne.

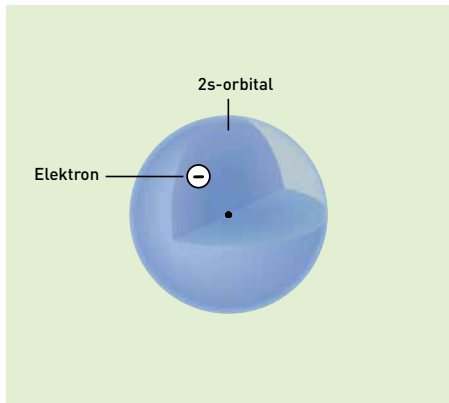
För att förstå hur elektronerna beter sig kring atomkärnorna behöver vi vidareutveckla den klassiska atommodellen där elektroner rör sig runt kärnan i fasta banor. I stället tänker vi oss att elektronerna befinner sig i olika orbitaler, former som beskriver var vi kan hitta elektronerna runt atomkärnan. De innersta orbitalerna närmast atomkärnan håller sina elektroner hårt bundna nära kärnan, medan orbitalerna längst från kärnan tillåter sina elektroner att bilda bindningar till andra atomer. Dessa elektroner kallas

valenselektroner. Ju större atom, desto fler elektroner har den och desto fler orbitaler krävs eftersom varje orbital bara kan rymma två elektroner. I metaller ligger många av de yttersta orbitalernas energinivåer nära varandra, vilket gör att elektroner lätt hoppar från en orbital till en annan. Elektroner som flyttar sig i ett material är samma sak som att materialet leder ström. Hur lätt elektroner kan flytta sig mellan orbitalernas olika energinivåer ger därför en förklaring till grundämnenas olika egenskaper, allt från reaktivitet och bindningsstyrka till elektriska egenskaper.

Här är några exempel på hur elektronerna kring atomkärnan hos några kritiska metaller och mineral bestämmer dessa grundämnens unika egenskaper:

LITIUM

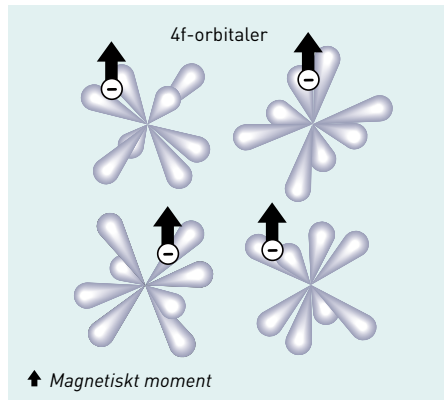
– laddningsbärare i batterielektrolyter. Litium ger hög energitäthet och möjlighet att ladda batteriet många gånger.



Litium är den lättaste alkalimetallen och är mycket reaktiv på grund av den ensamma valenselektronen.

NEODYM

– i starka permanentmagneter där man behöver mycket stark magnetism, relativt låg vikt och hög stabilitet över tid, till exempel vindkraftsgeneratorer, elbilsmotorer och datalagring.

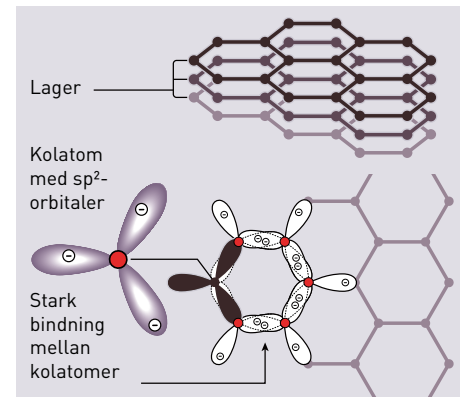


Neodyms magnetiska egenskaper uppkommer av att atomen har många av sina elektroner i varsin 4f-orbital. Dessa orbitaler ligger ganska nära atomkärnan vilket gör att de inte är med i bindningar, som valenselektronerna. Eftersom det bara är en elektron i varje 4f-orbital ställer de in sina magnetiska moment åt samma håll vilket innebär att neodym får starka magnetiska egenskaper.

GRAFIT

– litiumjonbatteriets anod där man utnyttjar att litiumjonerna kan kilas in mellan kolatomernas skikt. Denna reversibla process gör att batterierna kan laddas tusentals gånger.

Grafit används också för värmeavledning i olika typer av elektronik.



Grafitens hexagonala kristallstruktur bildas genom att flera kolatomer bildar bindningar till varandra, det bildas då nya typer av orbitaler som kallas sp² vilket ger mycket starka bindningar i varje lager, men svaga bindningar mellan olika lager. Det gör att grafit är kemiskt mycket stabilt samtidigt som andra atomer och joner kan kilas in i mellanrummen.

Vad är det speciella med sällsynta jordartsmetaller?

De sällsynta jordartsmetallerna har ett missvisande namn. De är inte mer sällsynta än andra – cerium är till exempel vanligare än koppar. Däremot har de inte anrikats i samma utsträckning i geologiska processer som klassiska metaller och återfinns därför bara i låga koncentrationer.

Engelskans *Rare Earth Elements* har gett upphov till förkortningen REE, som är vanlig även i svensk text. Man skiljer mellan lätta (light) och tunga (heavy) sällsynta jordartsmetaller, ibland förkortat LREE respektive HREE.

De lätta, som lantan, cerium och neodym, har större joner än de tunga. Det gör att jonerna blir lite rymligare vilket underlättar för 4f-elektronerna att bilda magneter. De används främst där man behöver starka permanentmagneter.

Energien som krävs för att 4f-elektronerna ska hoppa mellan olika 4f-orbitaler motsvarar ofta energin i synligt ljus. Detta

utnyttjas för att skapa skarpa färger i mobilskärmar, där REE ingår i materialens sammansättning.

Europium – rött ljus

Terbium – grönt ljus

Cerium – blått/gult ljus

I de tunga sällsynta jordartsmetallerna, HREE, är jonerna mindre trots att atomkärnorna är tyngre. De djupt liggande 4f-elektronerna är här hårdare bundna till kärnan. Detta ger ännu starkare magnetisk stabilitet, även vid höga temperaturer, vilket gör dem extra eftertraktade i avancerad elektronik, rymdteknik och försvarsteknik. De behövs i små men avgörande mängder, är ännu svårare att utvinna och separera och anses därför ännu mer kritiska än de lättare sällsynta jordartsmetallerna.

Det var en gång...



Varje berättelse har en början. För grundämnenas del behöver vi röra oss tillbaka i tiden så långt som det överhuvudtaget går, till universums födelse för 13,8 miljarder år sedan.

Visserligen bildades inte alla grundämnen där och då, men den stora smällen, big bang, blev startskottet. I en kaskad av energi, hetta och ljus uppstod efter bara några minuter de lättaste grundämnena: väte, helium och en gnutta litium. Efter ungefär hundra miljoner år hade gravitationen dragit samman gasmoln av väte och helium så till den grad att atomkärnorna kunde pressas ihop. Dessa fusionsprocesser gjorde att större atomkärnor bildades, upp till 26 protoner i kärnan (järn). Samtidigt frigjordes energi – de första stjärnorna tändes.

Dessa första stjärnor var mycket tunga och heta, de lyste bara några miljoner år innan de exploderade som supernovor. I dessa explosioner kunde de tyngre grundämnena bildas vilket gjorde det möjligt för nya, mer långlivade generationer av stjärnor att bildas. Vår stjärna, solen, med sitt planetsystem blev till för 4,5 miljarder år sedan.

Under den unga jordens första hundra miljoner år sjönk tunga metaller som järn och nickel ner mot jordens mitt och bildade jordens kärna. Mellan den och jordskorpan finns manteln, som utgör den största delen av jordklotet. Det är dock bara i jordskorpan, det tunna yttersta fasta skalet på vår planet, som vi kommer åt metaller och mineral.

Här finns nu universums grundämnen representerade – från väte till uran. De vanligaste är syre (46 viktprocent), kisel (28 viktprocent) och aluminium (8 viktprocent). Berget under våra fötter består alltså nära nog till hälften av syre, främst i form av silikater. De kritiska metallerna är betydligt ovanligare. Av en miljon atomer är till exempel bara 7 500 nickelatomer och endast 20 litiumatomer.

Bergarter – mineral – malmer

Guld är en ädelmetall och förekommer, liksom silver och i viss mån koppar, naturligt i metallisk form. De flesta andra metaller förekommer inte som rena metaller i jordskorpan, utan som kemiska föreningar där metallatomerna avgett elektroner och bildat joner. Dessa har i sin tur bundits till grundämnena som gärna tar upp elektroner, som syre och svavel, kristalliserat och bildat olika mineral. Järn, till exempel, förekommer i många olika mineral, bland annat malm-mineralen hematit (Fe_2O_3) och magnetit (Fe_3O_4).

Kristallstrukturen innebär att jonerna är ordnade i regelbundna tredimensionella mönster. Tillsammans med de ingående grundämnena, avgör denna struktur många av mineralets kännetecken, som hårdhet, glans och färg men också magnetiska och elektroniska egenskaper. Fastän diamant och grafit innehåller samma grundämne, kol, har de olika kristallstruktur och får därmed helt skilda egenskaper.

De sällsynta jordartsmetallerna anrikas i mineral som kan fånga in deras stora laddade joner i kristallstrukturen. Kirunas magnetitmalm är ovanligt rik på apatit, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$, ett mineral som kan inrymma lantan, cerium, neodym, praseodym och yttrium. Dessa "apatitjärnmalmer" gör området kring Kiruna till en av Europas största potentiella REE-resurser.

Mineral är alltså naturligt förekommande grundämnen eller kemiska föreningar med en bestämd sammanställning och kristallstruktur som bildats genom en geologisk process. Olika kombinationer av grundämnen, tryck och temperatur har gett upphov till olika mineral. Mineral med kisel och syre kallas silikatmineral. Fältspat och kvarts är vanligast.

Bergarter består av blandningar av mineral. De delas in i tre huvudtyper: magmatiska bergarter (som bildas när heta magmor från smälta bergarter svalnar och stelnar), sedimentära bergarter (sammanpressad sand, kalk, lera eller organiskt material) och metamorfa bergarter (som är berg som omvandlats av hög temperatur och högt tryck i jordskorpan utan att smälta). Tillsammans utgör dessa tre huvudtyper den så kallade bergartscykeln – en långsam men ständigt pågående process där berg smälter, stelnar, vittrar, eroderar, avsätts som sediment och pressas ihop, omvandlas och smälter igen.

Radioaktiva grundämnen

Ju större atomkärnor, desto större risk för radioaktivt sönderfall. Teknetium (atomnummer 43) och prometium (61), liksom alla grundämnen med atomnummer 83 och högre, saknar stabila isotoper och är därför alltid radioaktiva. Flera av dessa förekommer naturligt i berggrunden, till exempel radium (88), torium (90) och uran (92).

Kritiska råmaterial som inte är radioaktiva i sig kan förekomma i samma mineral och geologiska miljöer som radioaktiva grundämnen. Ett exempel är övergångsmetallen vanadin, som ofta förekommer i alunskiffer tillsammans med uran. Ett annat är fosfor som utvinns ur mineralet apatit, vilket ofta innehåller spår av uran och radium. Utvinning av sådana material, liksom de sällsynta jordartsmetallerna, innebär därför ofta hantering av radioaktiva restprodukter.



En malm är en bergart där koncentrationen av ett visst ämne, eller en kombination av olika ämnen, är så hög att brytning är ekonomiskt lönsam. Vad som räknas som malm kan alltså variera över tid beroende på ämnets efterfrågan och därmed pris.

Sveriges berggrund

Att lära sig om Sveriges geologi är att fortsätta vår tidsresa. Från det över två miljarder år gamla urberget i norr till kalkstensformationerna på Gotland – som utgör resterna av ett tropiskt korallrev som bildades för 430 miljoner år sedan – till sedimentära bergarter i sydvästra Skåne som avsattes för 60 miljoner år sedan. I större delen av Sverige dominerar graniter och liknande hårda magmatiska bergarter, men också olika typer av metamorfa gnejser, med sina karakteristiska band av olika mineral, är vanliga.

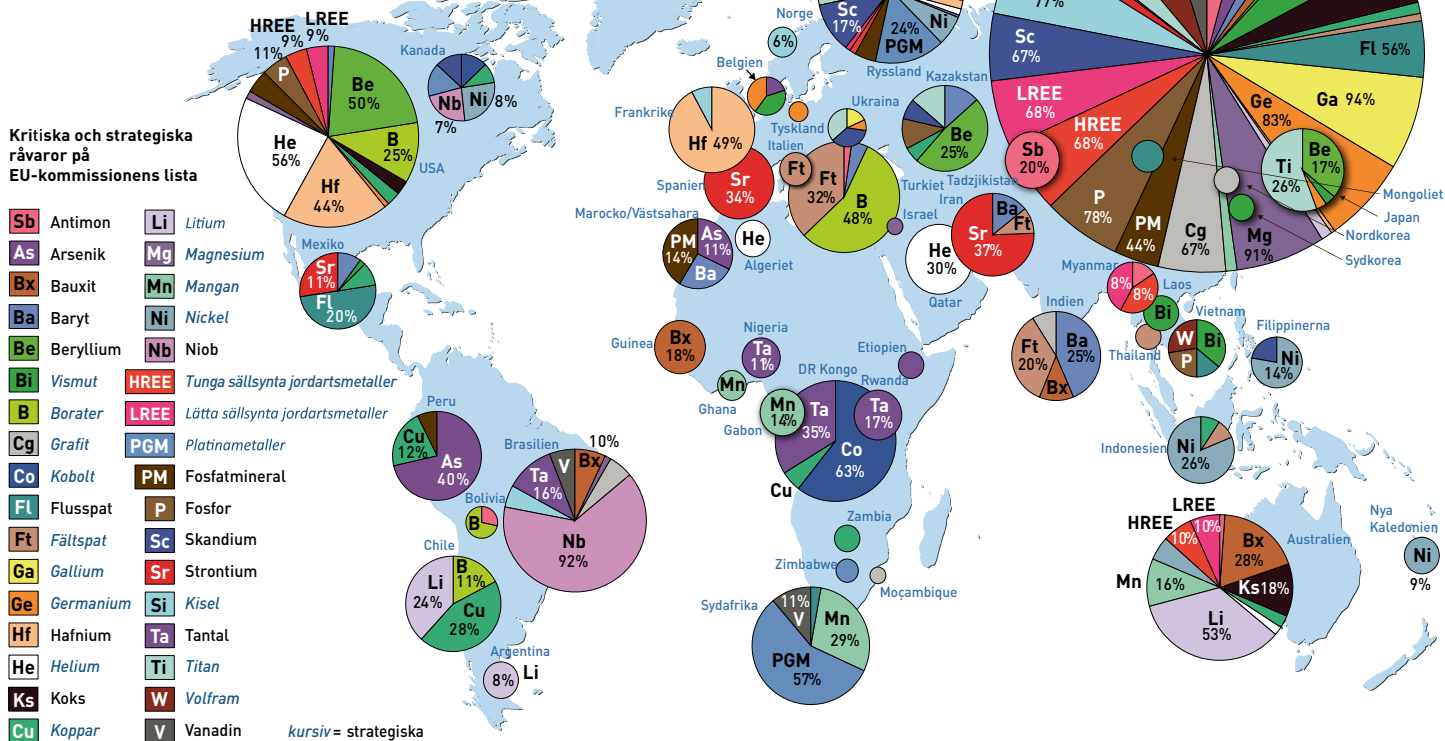
Under den senaste istiden, som tog slut för 12 000 år sedan, drog inlandsisen med sig sten och grus som slipade berget. Detta har bidragit till att många intressanta bergarter kommit i dagen. Stockholms skärgård är ett exempel på ett sådant område. I ett mineral från Utö upptäcktes litium och i mineral från Ytterby utanför Vaxholm har så många som nio nya grundämnen identifierats: tantal och de åtta sällsynta jordartsmetallerna skandium, yttrium, terbium, erbium, ytterbium, holmium, tulium och gadolinium (varav fyra har fått sina namn efter platsen).



Världsrekord? Mineral från Ytterby gruva har direkt eller indirekt lett till upptäckter av hela nio grundämnen.

Från mineral till samhällsnytta

Global produktion av kritiska och strategiska råvaror (CRM/SRM)



Så här läser du kartan:

Varje cirkel visar uppskattningar av varje lands genomsnittliga produktion av olika kritiska mineral och metaller mellan år 2016 och 2020, räknat på viktprocent. Produktion avser primär produktion, vilket i de flesta fall motsvaras av malm eller

koncentrat. I vissa fall redovisas istället metallinnehåll i någon form av förädlad produkt på grund av avsaknad av tillförlitlig statistik.

Procentsatserna som står utskrivna för de olika materialen visar dess andel av världsproduktionen ("tårtbitarnas" sammanlagda ytor för ett

visst råmaterial utgör tillsammans 100 procent, fortfarande baserat på vikt). Till exempel står Brasilien för 92 procent av världens produktion av niob. Kartan visar bland annat att Kina helt dominerar den sammanlagda produktionen även om de inte producerar samtliga kritiska råvaror.

Observera att denna karta gäller kritiska och strategiska råvaror. Därför finns till exempel inte Sverige med, som annars är en stor producent inom EU av järnmalm, ädelmetaller och basmetaller.

Källor: SCREEN23/EU, SGU

ILLUSTRATION: SGU 2024, CAROLINA ILLÉN-STOLPE OCH FREDRIK KARLSSON

Hur går utvinningen till?

När guldruschen tog fart i Kalifornien under mitten av 1800-talet drogs många lycksökare till platsen. I princip kunde man sätta spaden i jorden eller vaska fram de åtråvärda guldklimparna i första bästa vattendrag. Det som glänste var rent guld.

Utvinningen av dagens kritiska metaller har väldigt lite gemensamt med guldjägarnas äventyr. De flesta av de grundämnen som vi i dag karaktäriserar

som strategiska eller kritiska för industrin har det gemensamt att de dels är bundna i vissa mineral, dels att dessa mineral är väl utspridda och bara blivit måttligt anrikade genom olika processer i jordskorpan. Låga koncentrationer innebär att det är svårt att få lönsamhet i utvinningen. Och eftersom miljöhänsyn och dialog med lokalbefolkningen är processer som kostar både tid och pengar, har detta ofta prioriterats ned – vi återkommer till det problemet senare.

Förädlingen är en viktig del av produktionen, som innebär att man med pyrometallurgiska och hydrometallurgiska metoder separerar fram så koncentrerade produkter som möjligt. Som namnen avslöjar handlar det i första fallet om upphettning, i det andra om att använda vattenlösningar för att lösa ut metallerna kemiskt. Med rostning menas upphettning i luft och lakning innebär att metallen löses i vätska.

Pyrometallurgi

Hög temperatur
Smältning
Energiintensiv
Snabb separation
Vanlig för basmetaller

Hydrometallurgi

Sura och basiska lösningar
Lakning
Kemikalieintensiv
Fler processteg
Vanlig för låghaltiga malmer och REE

Pyrometallurgisk efterbearbetning används när metallen kan frigöras genom fysiska och termiska processer. Malmen krossas, anrikas och smälts i ugn, där metallen separeras från slaggen med hjälp av värme och olika flussmedel, som löser upp olika metalloxider. Metoden lämpar sig för vanliga metaller som järn, koppar, bly och zink, där skillnader i smältpunkt och densitet kan utnyttjas. När det gäller järn sker den primära järnproduktionen i masugn,

men för återvinning och vidareförädling av metallen används även elektrisk ljusbågsugn.

Hydrometallurgisk efterbearbetning används när metallen sitter kemiskt bunden som olika salter i mineralet. Då löses mineralet upp i syror eller baser, metallen separeras i lösning och fälls sedan ut som en kemiskt definierad, kontrollerad förening med hög renhetsgrad.

För att få tillgång till de kritiska metallerna har en rad olika utvinningsmetoder utvecklats. Eftersom grundämnena är många och olika, varierar också metoderna att få fram dem.

Nickel utvinns i dag till stor del i stora dagbrott i Indonesien, ofta med betydande påverkan på ekosystem och lokalsamhällen. Litium produceras dels genom gruvbrytning av hårdbergsmalmer, som i Australien, dels genom att salthaltigt grundvatten pumpas upp och koncentreras i avdunstningsdammar, som i Atacamaöknen i Chile. Kobolt bryts främst i gruvor i Demokratiska republiken Kongo, där arbetsvillkoren – särskilt inom småskalig gruvdrift – ofta ifrågasätts.

De sällsynta jordartsmetallerna utvinns oftast som bi-produkter vid brytning av koppar, nickel, järn eller zink.

Utvinningsmetoder (ett urval metaller)

Metall / råmaterial	Världmineral	Dominerande förädlingsmetod	Varför denna metod?
Litium	Spodumen, petalit, saltlake	Pyro (kalcinering) + Hydro (lakning → fällning)	Mineralets kristallstruktur ändras vid kalcinering så att Li blir möjligt att lösa upp via syrabakning och vattenlakning
Neodym (REE)	Bastnäsit, monazit, apatit	Hydro (syralakning + separation)	Olika metoder för olika mineral – för utvinning ur apatit finns ingen metod ännu
Kobolt	Koboltglans som biprodukt i Cu/-Ni-malmer	Pyro + Hydro	Rostas för att bli av med arsenik, även svavel oxideras, därefter hydrometallurgi
Järn	Magnetit, hematit	Pyro (masugn)	Järnoxider reduceras traditionellt med kol, men numera även med väte
Grafit (naturlig)	Grafit	Mekanisk (krossning, malning, flotation)	Kol, ingen smältmetall att utvinna
Volfram	Scheelit, wolframit	Hydro (lakning → reduktion)	Extremt hög smältpunkt
Fosfor	Apatit	Hydro (+ Pyro)	Vanligast att laka med svavelsyra för att bryta mineralstrukturen i apatiten där fosfor är hårt bundet till kalcium.

Kampen om råmaterialen

MATERIAL

TEKNOLOGI

Hög risk
för brist

Låg risk
för brist

SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER (REE)

MAGNESIUM SKANDIUM NIOB
GERMANIUM BORATER

STRONTIUM PLATINAMETALLER
KOBOLT NATURLIG GRAFIT

INDIUM VANADIN
LITIUM VOLFRAM
TITAN GALLIUM
HAFNIUM KISEL

MANGAN ZIRKONIUM NICKEL
KROM TELLUR KOPPAR

BATTERIER

BRÄNSLE-CELLER

VINDKRAFT

DRIV-MOTORER

SOLCELLER

ROBOTAR

DRÖNARE

3D-UT-SKRIFTER

IT & TELEKOM

Var används de kritiska grundämnena och var är risken störst för brist? Här ses försörjningsrisken på vänstra sidan, från den låga gröna nivån till den höga röda.

Vi går från ett fossilberoende till ett beroende av kritiska mineral och metaller.

Behovet av kritiska mineral och metaller (CRM) förväntas öka kraftigt de kommande åren. Antalet elbilar ökar stadigt – här i Sverige beräknas hälften av fordonen vara laddbara år 2030. Batterier är bara ett exempel som kräver en rad kritiska metaller och andra material. Solcells- och vindkraftparker är andra exempel som är viktiga för den gröna omställningen. Till detta kommer den ökade användningen av drönare och annan militär elektronik.

Kan någon kritisk metall ta slut?

På samma sätt som vi inte kommer att göra slut på den fossila oljan, kommer bristen på kritiska metaller inte att leda till att de tar helt slut. I takt med att det blir ont om en råvara stiger priset, vilket skapar incitament för nya lösningar. Återvinning kommer till exempel att bli mer ekonomiskt gynnsamt då råvarupriserna stiger.

Däremot tenderar bristsituationer att öka spänningar och konflikter. Under 2025 såg vi exempel på hur handelskonflikter och tullar försvårade för världshandeln.

 ANVÄNDNINGSMÅL
FÖRNYBAR
ENERGI

ELFORDON



FÖRSVAR OCH RYMD



Vad är geopolitik?

Det är inte bara en lång rad grundämnen som först identifierats i Sverige. Även begreppet *geopolitik* har svenskt ursprung. Den svenske statsvetaren och konservative politikern Rudolf Kjellén lanserade den nya ordsammansättningen i en artikel 1899 där han beskrev hur staten aktivt kan använda sina naturgivna och fysiska resurser för att stärka sig själv. Kjelléns idéer blev kritiserade, inte minst idén om att stater fungerar som livsformer präglade av en darwinistisk logik där den bäst anpassade överlever, men också för att han menade att staten behövde mer av ”manlig kraft”.

Begreppet geopolitik har fått ny aktualitet under senare tid. Bakom den gröna omställningen, men

också den pågående välbästande utveckling som innebär att människor lyfts ur fattigdom och medelklassen växer, pågår en geopolitisk dragkamp om mineral och metaller. Efterfrågan ökar medan utbudet domineras av framför allt Kina. Kritiska råmaterial har blivit säkerhetspolitik och många av materialen är dessutom helt nödvändiga i militär teknik. Vi ser allt fler exempel på hur stormakterna vill kontrollera andra länder för att säkerställa sin egen tillgång.

Från att vi varit beroende av bränsle från oljestater som Ryssland, USA och länder i Mellanöstern blir vi nu alltmer beroende av metaller och mineral från framför allt Kina, där den största delen av efterbearbetningen av materialen sker.

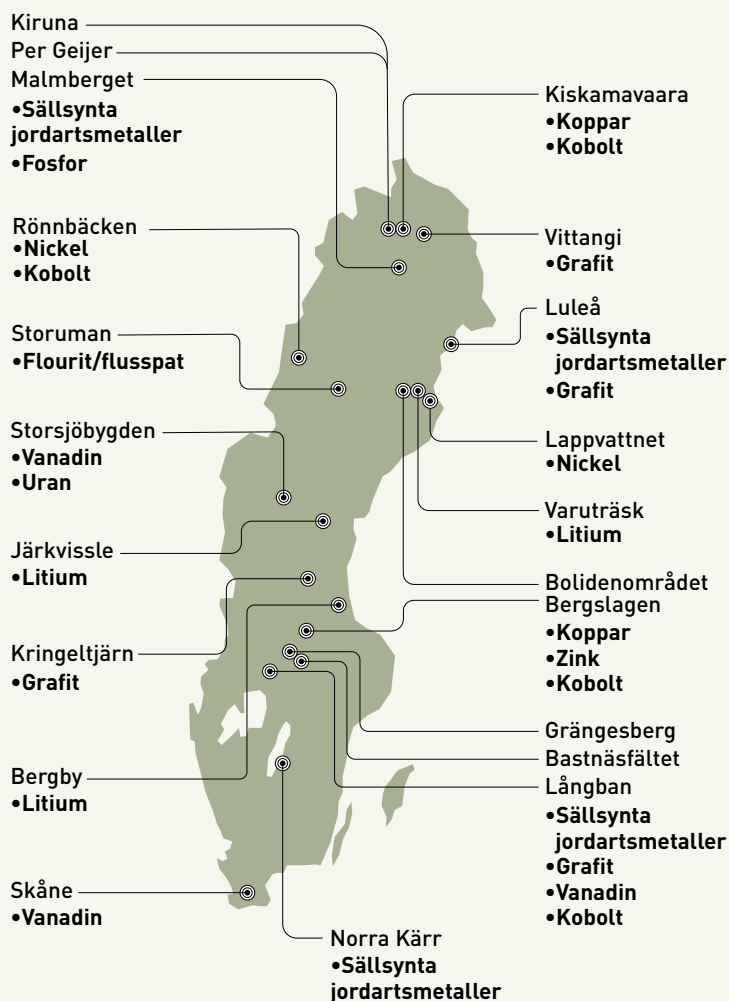
Vad finns i Europa?

Inom EU konsumerar vi runt 25 procent av världens kritiska mineral och metaller, men producerar endast omkring tre procent själva.

Sverige är en av Europas viktigaste gruvnationer. När det gäller järn dominerar svensk gruvindustri och står för över 90 procent av EU:s produktion. Sverige är även EU:s största producent av zink och en av de ledande vad gäller bly och silver.

Situationen för de kritiska metallerna är dock en helt annan. EU har endast en mycket begränsad utvinning och är helt beroende av import – i många fall rör det sig om mellan 90 och 100 procent av de kritiska metaller som marknaden kräver. Men i Portugal finns litiumgruvor, i Finland utvinns kobolt som biprodukt vid nickelutvinning och i Estland finns ett av Europas få anläggningar för produktion av sällsynta jordartsmetaller i form av förädling av mineralråvaror från Ryssland, Australien och USA. Förutom dessa metaller planeras även grafitutvinning i Finland och Sverige.

Vad finns i Sverige?



Kartan visar exempel på platser där olika innovationskritiska råvaror förekommer, förädlas eller undersöks. Alla fyndigheter är inte i produktion, och möjligheten till brytning beror på ekonomi, teknik, miljöprövning och tillstånd.

Närproducerat

Kritiska metaller och andra råmaterial som är nödvändiga för energiomställning och digitalisering har också stor betydelse för försvar, rymdindustri och annan avancerad säkerhetsteknik. EU har därför många anledningar att bli mer självförsörjande på dessa material och minska importen, framför allt från Kina.

I maj 2024 trädde därför en EU-förordning om kritiska råmaterial i kraft (*Critical Raw Materials Act*). Den syftar till att stärka alla steg i värdekedjan, från prospektering och utvinning till förädling, produktion av battericeller och andra högteknologiska artiklar till återvinning av de ingående materialen. Just batteriproduktion för elfordon är ett prioriterat område inom unionen, eftersom så viktig bilindustri finns här. Man räknar med att 13 miljoner européer får sin lön direkt eller indirekt från bilindustrin.

Strategiskt är det också viktigt att satsa långsiktigt på grundforskning, som kan öppna för helt nya sätt att lösa dagens utmaningar. Även detta gör EU, bland annat genom stora forskningsprogram och samarbetsplattformar forskare emellan.



I Sydamerika utvinns litiumsalt genom att mineralhaltigt vatten pumpas upp ur underjordiska ansamlingar och får avdunsta.

Utmaningar för mark, miljö och människor

Det blir allt svårare att förena ekonomisk tillväxt, ekologisk hållbarhet och social rättvisa. Forskarna kallar det ett trilemma och precis som med dilemman finns det inga enkla svar. Den allt intensivare jakten på kritiska råmaterial illustrerar vad forskarna menar. Den snabba elektrifieringen och digitaliseringen kräver stora mängder av vissa metaller och mineral, vilket ökar trycket på ekosystem och riskerar att fördjupa ojämlikheterna i de länder där råvarorna bryts.

Gruvverksamhet innebär stora ingrepp i landskapet, risker för vatten- och markpåverkan, buller, transporter och andra miljökonsekvenser för mark

och miljö. Ibland är detta kopplat till allvarliga kränkningar av mänskliga rättigheter. Men det behöver inte vara så. Skillnaderna är enorma mellan den moderna gruvindustri som till exempel svenska företag bedriver i dag och den vi ser lever kvar i många låginkomstländer.

Utmaningen är att säkra tillgången på kritiska råmaterial utan att överskrida planetens gränser eller kränka mänskliga rättigheter. Begreppet hållbar utveckling innebär att tillgodose dagens behov utan att äventyra framtida generationers möjligheter att tillgodose sina. Vi ska inte skjuta problemen på framtiden.

Målkonflikter

Länder med gott om naturresurser borde vara de rikaste. Ändå är det ofta tvärtom. Detta kallas naturresursförbannelsen och innebär att länder med omfattande naturresurser tenderar att ha svårt att omsätta dem i hållbar utveckling för hela befolkningen. I många låglöneländer har en politisk elit etablerat nära relationer med de stora företagen och i brist på fungerande regelverk och institutioner leder det ofta till korruption och konflikter, kränkningar av mänskliga rättigheter, dålig arbetsmiljö och miljöproblem. De som drabbas hårdast är ofta lokalbefolkningen.

För att råda bot på den här typen av problem presenterade FN 2011 nya vägledande riktlinjer för företagens ansvars- och riskanalyser när det gäller påverkan på mänskliga rättigheter. Dessa riktlinjer innebär att företag har ansvar att analysera risker kopplade till sina affärsaktiviteter från utvinning av råmaterial till färdiga produkter på marknaden. För att åstadkomma en helhetsbild krävs alltså ett samarbete och en öppenhet längs värdekedjorna.

Hur efterlevs då detta? Forskning har pågått kring hur riktlinjerna bäst implementeras och hur de blir meningsfulla. Kritik har riktats mot att de är frivilliga, eftersom många menar att det krävs lagstadgade krav för att producenterna ska leva upp till kraven. Men det finns också forskare som framhåller att riktlinjerna har skapat en förväntan och ett gemensamt språk som gör att det är lättare att samarbeta kring frågorna.

Det gäller ju också att vi som är slutkonsumenter är beredda att betala ett något högre pris. Kanske är vi mer motiverade att köpa vårt kaffe *fair trade* än att de material som använts i komponenterna i bilen, datorn eller mobilen är rättvist och miljövänligt producerade?

Målkonflikterna har stärkts i takt med den dramatiskt ökade efterfrågan: ökad utvinning leder till konsekvenser lokalt för mark, miljö och lokalbefolkning, men också globalt med ökade geopolitiska spänningar och nya säkerhetsrisker.

Exempel 1: Kobolt från Kongo

Demokratiska republiken Kongo står för cirka 70 procent av världens koboltproduktion. Även om många tillverkare nu försöker undvika kobolt i sina battericeller, är olika former av NMC-batterier (nickel, mangan, kobolt) fortfarande dominerande i mobiler och datorer.

Det är svårt för gruvföretag att verka i Kongo. Institutionerna är svaga, vilket innebär att staten är frånvarande samtidigt som den vill säkra tillgången och exporten. Den småskaliga lokala gruvdriften har länge haft problem med barnarbete och farliga arbetsförhållanden – frågor kring mänskliga rättigheter och miljöskydd har prioriterats ned. Gruvor kräver mycket vatten och konflikter uppstår när grundvattnet påverkas. Vems är ansvaret? Hur får man till stånd processer som stärker lokalbefolkningens situation?

Förhållandena ser annorlunda ut för stora företag, etablerade på en internationell marknad. De har råd med bättre arbetsvillkor, men också att investera i rapporteringar som kräver både administration och att man har koll på de data som insamlas. Samtidigt är konflikter mycket dyra för företagen att hantera och ett större företag har investerat mycket i sitt varumärke, det har ett rykte att försvara. Resultatet blir ofta att de etablerade företagen drar sig undan och kvar blir lokala, ibland tillfälliga, gruvföretag.



FOTO: ADOBE STOCK

Exempel 2: Sällsynta jordartsmetaller på Grönland

Grönland, som är ett självstyrande territorium inom det danska riket, har stora fyndigheter av sällsynta jordartsmetaller, ofta bundna till uranförekomster. Förekomsterna är dock inte så lättillgängliga och projekt har stoppats eller pausats på grund av miljörisker och lokala protester. Samtidigt finns ett starkt internationellt intresse (EU, USA, Kina) vilket ställer konflikten mellan självstyre, miljöskydd och geopolitiska strategier på sin spets.

Alla stormakter vill ha tillgång till Grönland, eller kanske ännu viktigare: vill hindra sina motståndare att ha det.



FOTO: ADOBE STOCK

Exempel 3: Gruvbrytning i Norrbotten

Gruvbrytning och rennärning, går de att förena? I Norrbotten illustreras målkonflikten i området kring Per Geijer-fyndigheten. Det är en av Europas största fyndigheter av sällsynta jordartsmetaller och en av de mest avancerade i sin planering. Gruvan står i konflikt med rennärningen eftersom den bryter den sista transportleden för att renarna ska kunna röra sig fritt mellan sina betesmarker. Om inte omfattande anpassningsåtgärder genomförs kommer projektet att kränka samernas internationellt etablerade rättigheter.

Ingen produktion har startat ännu och det är osäkert hur lång tid tillståndprocesser och miljöprövningar kommer att ta, men tiden från prospektering till produktion för mineralprojekt brukar ligga på 10–15 år eller mer.

Samerna hävdar sina urfolksrättigheter, forskare påpekar att dialogprocesser tar tid, och gruvindustrin påminner om att svensk gruvnäring håller högsta internationella klass vilket minimerar risken för skador på miljön.



FOTO: ADOBE STOCK

Återvinning

Kan man verka för en ansvarsfull klimatomställning och samtidigt motsätta sig gruvdrift? Denna målkonflikt leder ofta till att hoppet ställs till återvinning.

Det fina med metaller är att de i princip kan återvinnas hur många gånger som helst utan att förlora sina egenskaper. Däremot är det svårt att separera de olika materialen från varandra i allt från hemelektronik till elbilsbatterier. För att återvinning ska bli lönsamt måste tillverkarna designa produkterna med återanvändning av materialen i åtanke redan från början.

Detta är välutvecklat för basmetaller som järn, aluminium och koppar, med hög återvinningsgrad

som följd. Men för kritiska råmaterial är återvinningen mycket låg, ofta under en procent.

Med den kraftiga efterfrågan på kritiska råmaterial som bland annat IEA (*International Energy Agency*) framhåller, kommer återvinning endast att kunna bidra i begränsad utsträckning.

Även om vi lyckas återvinna alla kritiska metaller som vi redan hämtat upp ur jordskorpan, kommer primär gruvdrift att vara nödvändig under många decennier framöver.





En expertgrupp bestående av ledamöter av Vetenskapsakademien och inbjudna experter har tagit fram materialet till denna skrift som bygger på den samlade vetenskapliga litteraturen.

STEFAN CLAESSION*, professor emeritus i isotopgeologi, Naturhistoriska riksmuseet

MARIA-THERESE GUSTAFSSON, docent i statsvetenskap, Stockholms universitet

SVEN LIDIN*, professor i oorganisk kemi, Lunds universitet

HENRIK PEDERSEN, professor i oorganisk kemi, Linköpings universitet

CHRISTINA WANHAINEN, professor i malmgeologi, Luleå tekniska universitet

Skriften speglar expertgruppens uppfattning och ska inte ses som ett uttalande eller ställningstagande av Kungl. Vetenskapsakademien.

* Ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien

VETENSKAPEN SÄGER är en serie populärvetenskapliga skrifter från Kungl. Vetenskapsakademien. Målsättningen är att sprida vetenskapsbaserad information om viktiga och aktuella ämnen till allmänheten, särskilt på områden där forskningen har gjort stora framsteg på senare tid.

Beställ tryckta exemplar av Vetenskapen säger från vetenskapensager@kva.se eller ladda ned i pdf-format på www.kva.se/vetenskapensager.



©Kungl. Vetenskapsakademien, 2026

Vetenskapsredaktör: Eva Krutmeijer

www.kva.se

ISSN 2004-9056

Omslagsfoto:

Litiumglimmer, även kallad lepidolit.
Henri Koskinen/Adobe Stock

Illustrationer:

©Johan Järnestad/
Kungl. Vetenskapsakademien
Grafisk form: ©Fräulein Design



Vetenskapen säger
– om kritiska metaller och mineral
produceras och distribueras genom stöd
från Stiftelsen Natur & Kultur.