

Utmaningar för att möta ökade behov av metaller och mineral

Rapport inom IVAs projekt
Vägval för metaller och mineral



Kungl. Ingenjörsvetenskaps
Akademien

Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien är en fristående akademi med uppgift att främja tekniska och ekonomiska vetenskaper samt näringslivets utveckling. I samarbete med näringsliv och högskola initierar och föreslår IVA åtgärder som stärker Sveriges industriella kompetens och konkurrenskraft. För mer information om IVA och IVAs projekt, se IVAs webbplats: www.iva.se.

Utgivare: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2024
Box 5073, SE-102 42 Stockholm
Tfn: 08-791 29 00

Inom ramen för IVAs verksamhet publiceras rapporter av olika slag. Alla rapporter sakgranskas av sakkunniga och godkänns därefter för publicering av IVAs vd.

IVA-M 547
ISSN: 1100-5645
ISBN: 978-91-89181-48-9

Projektledning: Karin Byman, IVA
Text: Karin Byman, IVA
Fotografier: Unsplash & LKAB/Fredric Alm
Layout: Pelle Isaksson, IVA

Denna rapport finns att ladda ned på www.iva.se

Innehåll

1. Förord	4
2. Sammanfattning och slutsatser	6
3. Ordlista och det periodiska systemet	12
4. Bakgrund	16
5. Varför ökar efterfrågan på metaller och mineral?	18
Klimatmål och utfasningen av fossil energi	19
Digitalisering och teknikutveckling	21
Befolkningstillväxt, ekonomisk tillväxt och ökad levnadsstandard	21
Faktorer som dämpar efterfrågan på metaller och mineral	21
Går det att kvantifiera hur stor efterfrågan kommer att bli?	22
6. Europa har tappat i betydelse	24
7. Geopolitiska aspekter på marknaden för metaller och mineral	28
Metallernas värdekedjor är ofta mer komplexa än för olja	32
Kinas dominerande ställning	33
Ny lagstiftning och statligt stöd i andra länder	34
Nya samarbeten med mineralrika länder krävs för att klara försörjningen av metaller och mineral	37
8. Gruvlandet Sverige	38
Det svenska gruvklustret	40
Prospektering i Sverige	40
Sveriges gruvor	45
Smältverk i Sverige	47
Tillståndsprocesser	47
9. Definition av kritiska råmaterial och dess komplexa marknad	50
10. Övergripande bild av värdekedjan för metaller och mineral	54
Prospektering	55
Gruvbrytning och anrikning	56
Utvinning ur gruvavfall	58
Gruvbrytning på havsbotten	60
Utvinning och raffinering	60
Komponenter som är beroende av strategiska metaller och mineral	60
Bilagor	66



1. Förord

»En säker tillgång till metaller och mineral är nödvändig för att klara omställningen till ett fossilfritt samhälle.«

För att vi ska kunna bibehålla och utveckla vår högteknologiska industri, och klara omställningen till ett fossilfritt samhälle, är en säker tillgång till industriellt strategiska metaller och mineral nödvändig. När fossila bränslen fasas ut kommer efterfrågan på metaller och mineral att mångdubblas då dessa behövs för att genomföra en ökad elektrifiering och digitalisering. Idag kontrolleras viktiga mineraltillgångar och värdekedjor av ett fåtal länder utanför EU, såsom Kina, Ryssland, Brasilien, Demokratiska republiken Kongo och Sydafrika. Detta leder till ökad sårbarhet och riskerar att hämma den industriella utvecklingen inom EU. Sverige är en betydande gruvnation inom EU och kan därför spela en viktig roll för EU:s framtida försörjning av metaller och mineral.

Syftet med IVAs projekt *Vägval för metaller och mineral* är att bidra till att Sverige och Europa långsiktigt och hållbart säkrar tillgången till de metaller och mineral som behövs för en omställning till ett fossilfritt samhälle och stärkt konkurrenskraft.

Denna är den första av fyra rapporter inom projektet *Vägval för metaller och mineral*. De andra tre rapporterna är "Cirkulära flöden för att möta ökade behov av metaller och mineral", "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter" samt slutrapporten "Metaller och mineral för en hållbar utveckling och stärkt konkurrenskraft".

Rapporten fokuserar på att beskriva värdekedjor för framställning av de metaller och halvfabrikat som är viktiga för produktionen av den nya teknik som behövs för att klara klimatmålen och bygga hållbara samhällen.

Målet är att på ett pedagogiskt sätt beskriva viktiga försörjningskedjor till industrin, att belysa svagheter samt diskutera hur dessa kan stärkas. Tekniska processer som krävs för olika steg i framställningen diskuteras översiktligt. Avsikten är inte att ge utförliga tekniska beskrivningar. Men det är viktigt att ge en bild av storheter och sammanhang för att skapa en förståelse för de utmaningar vi har för att kunna klara klimatmålen.

Arbetet har genomförts under 2023, av en arbetsgrupp bestående av:

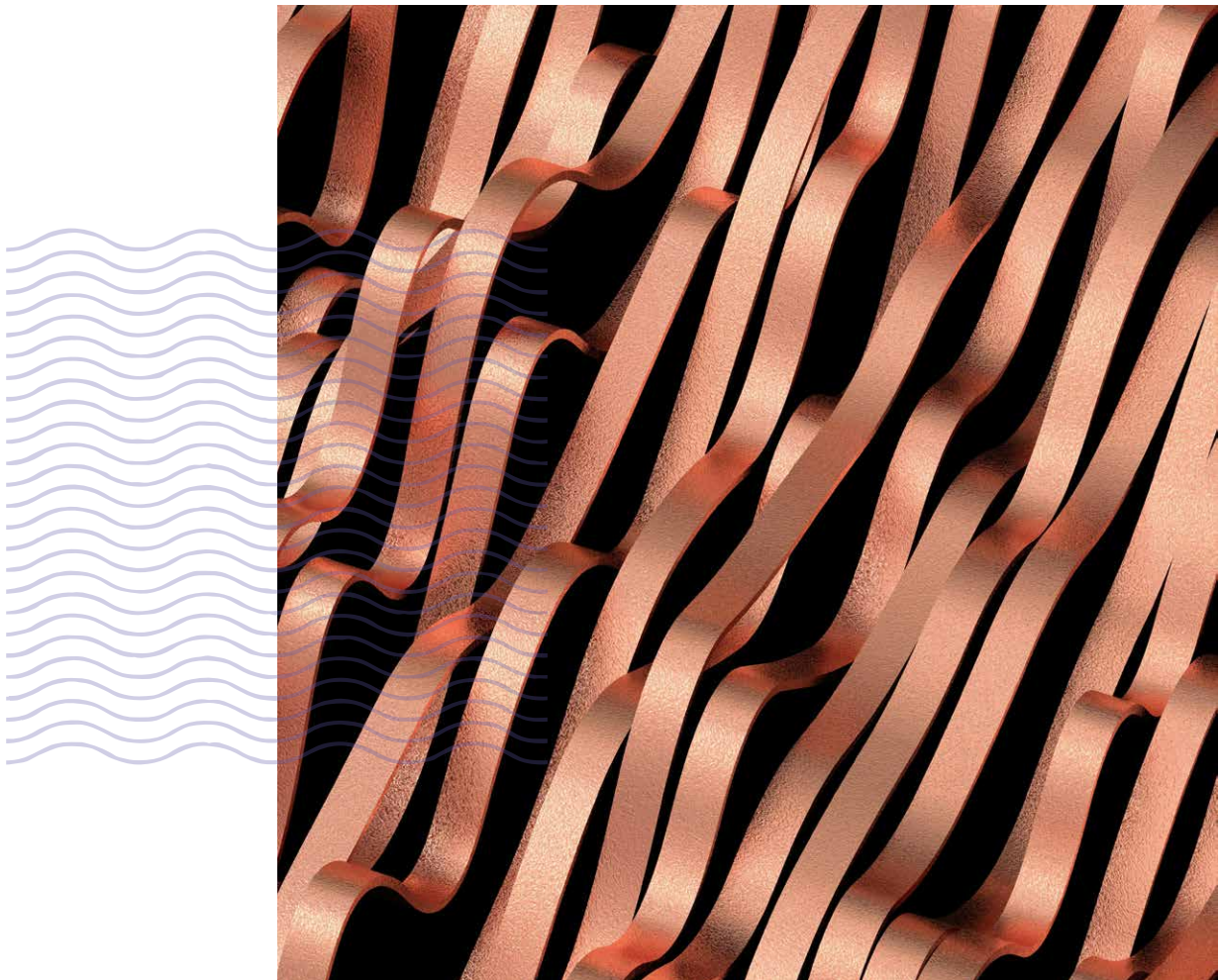
Magnus Ericsson, arbetsgruppens ordförande
juli 2023–februari 2024, RMG Consulting och Luleå tekniska universitet, IVA-ledamot
Kerstin Konradsson, arbetsgruppens ordförande
januari–juni 2023, LKAB och Erasteel AB, IVA-ledamot
Karin Byman, projektledare, IVA
Lena Alakangas, Luleå tekniska universitet
Jonas Albertson, Epiroc AB
Åsa Allan, Kaunis Iron AB
Linus Brander, Rise Research Institutes of Sweden
Christian Ekberg, Chalmers tekniska högskola, IVA-ledamot
Ulrika Håkansson, LKAB
Erik Jonsson, SGU och Uppsala universitet
André Månberger, Lunds universitet
Katarina Nilsson, Svemin
Charlotte Odenberger, Zinkgruvan Mining AB
Stefan Thorburn, ABB AB
Tommi Valkonen, Sandvik AB

Arbetsgruppen står bakom rapporten i sin helhet, men alla medlemmar står inte nödvändigtvis bakom alla formuleringar.

Finansiärer: ABB AB, Epiroc AB, LKAB, Ragn-Sells AB, Sandvik AB, Zinkgruvan Mining AB, Mistra (Stiftelsen för miljöstrategisk forskning), Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) och Swedish Mining Innovation, en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energi-myndigheten.

Stockholm, februari 2024

Magnus Ericsson,
arbetsgruppens ordförande



2. Sammanfattning och slutsatser

»Efterfrågan på metaller och mineral kommer att öka kraftigt. Gruvlandet Sverige och det svenska gruvklustret spelar en viktig roll för att tillgodose behoven.«

Denna delrapport inom projektet *Vägval för metaller och mineral* sammanfattas i en rad observationer kring förutsättningar och utmaningar, samt åtgärder som krävs för att säkerställa tillgången till metaller och mineral för att klara omställningen till ett fossilfritt samhälle. Rapportens faktaunderlag och slutsatser ligger till grund för projektets slutrapport "Metaller och mineral för en hållbar utveckling och stärkt konkurrenskraft" som ska ge rekommendationer till olika beslutsfattare.

Förutsättningar som vi har att förhålla oss till

Efterfrågan på metaller och mineral kommer att öka kraftigt på global nivå. Återvinning och resurseffektivisering räcker inte för att möta behoven.

- Omställningen till ett fossilfritt samhälle, digitalisering, befolkningstillväxt och höjd levnadsstandard ökar efterfrågan på metaller och mineral globalt, både de metallråvaror vi traditionellt använder (t.ex. stål, koppar och aluminium) och de som hittills inte använts i någon större omfattning, varav många klassificeras som kritiska inom EU.
- Det är stora skillnader i den globala efterfrågan på de traditionella metallerna stål (2 000 Mton/år), aluminium (70 Mton/år) och koppar (20 Mton/år) jämfört med behovet av de flesta kritiska råvarorna som är av en helt annan storleksordning, exempelvis sällsynta jordartsmetaller (0,2 Mton/år), kobolt (0,15 Mton/år) och platinagruppens metaller (400 ton/år).

- Osäkerheten kring vilka kritiska råvaror som kommer att efterfrågas i framtiden är stor på grund av den snabba tekniska utvecklingen. Stor flexibilitet krävs för att kunna möta snabba efterfrågesvängningar. Efterfrågan på de traditionella metallerna kommer att öka stadigt i linje med utvecklingen under det senaste halvsekle, medan efterfrågan på kritiska metaller och mineral kommer att mångdubblas, om än från låga nivåer.
- I takt med att efterfrågan ökar byggs allt större volymer av alla dessa råvaror, kritiska såväl som traditionella metaller och mineral, in i olika produkter vilket öppnar för återvinning. Tillgången till återvunnet material baseras dock alltid på de lägre volymer som producerats historiskt och kan alltså inte ens teoretiskt täcka behoven så länge efterfrågan ökar. Dessutom är det varken tekniskt eller ekonomiskt möjligt att materialåtervinna 100 procent av metallerna.

Vi befinner oss i en geopolitisk verklighet som skapar nya risker i de globala leveranskedjorna för metaller och mineral.

- Geopolitiskt är tillgången till, och kontrollen över, metaller och mineral en allt viktigare ekonomisk och säkerhetspolitisk maktfaktor, särskilt för EU som har ett stort importbehov. Detta märks främst genom växande spänningar och teknikkapplöpning mellan USA och Kina, tillsammans med deras ambitioner att skapa strategiska samarbeten med enskilda länder och regioner. Många etablerade handelsströmmar påverkas av den nya verkligheten och riskerna för

störningar i metalleveranser ökar. Allt fler företag som är beroende av kritiska råvaror sluter samarbetsavtal med gruvproducenter för att säkra direkt tillgång till råvaror.

- Kinesiska företag dominerar framför allt smältnings- och raffineringstegen i framställningsprocessen av många kritiska metaller, men också gruvproduktionen av flera kritiska metaller och mineral, exempelvis sällsynta jordartsmetaller och grafit. Samtidigt har Kina ett stort importberoende av basmetaller. Kinesiska företags ägande och kontroll över gruvor och mineralfyndigheter utanför landets gränser har ökat snabbt men från en låg nivå.
- Lagstiftning och statligt stöd till nationella värdekedjor för kritiska råmaterial utanför EU, såsom USA:s Inflation Reduction Act (IRA), leder redan idag till att nyinvesteringar förskjuts från EU till andra delar av världen. Varje elbils-, solcells- och batterifabrik som inte byggs i Europa innebär en förlorad möjlighet till ökad kompetens, kunskap och resurser som i stället ges till andra delar av världen. De långsiktiga konsekvenserna av denna utveckling är svårbedömd eftersom de bland annat kan orsaka indirekta effekter och påverka dynamiken avseende var i världen framtida innovationer uppstår.

Det svenska gruvklustret med höga krav på hållbarhet ger en internationell konkurrensfördel.

- Sverige har stora mineraltillgångar, livaktig prospektering och gruvor som producerar järnmalm, basmetaller och ädelmetaller av stor betydelse för landet och EU. Sverige har även ett antal dokumenterade fyndigheter för flera av de kritiska metallerna. Sverige är en stor exportör av metaller och mineral både till EU:s inre marknad och utanför denna.
- I ett internationellt perspektiv har Sveriges energisystem lågt klimatavtryck och elsystemet är i det närmaste fossilfritt. Det ger industrier som utvinna och förädlar mineral möjligheter att skapa fossilfria värdekedjor. En utmaning är att det krävs

omfattande investeringar i ny produktion och nätinфраstruktur för el för att hantera en kraftigt ökad efterfrågan de kommande decennierna.

- Det svenska gruvklustret består av världsledande gruvbolag, smältverk, leverantörer av gruvutrustning och konsulter samt avancerade forsknings- och utvecklingsresurser på universitet, institut och företag. Dessutom är svenska staten en långsiktig aktör genom ett helägt LKAB.
- I Sverige ställs höga krav på hållbarhet och det satsas stort på forskning och innovation, både av branschen och från statens sida. Det gör att bolagen ligger i framkant avseende effektiva tekniska lösningar och en hållbar produktion, vilket ger konkurrensfördelar på en internationell marknad.
- Det ömsesidiga beroendet mellan gruvorna och tillverkarna av gruvutrustning har varit, och förblir, en avgörande konkurrensfördel. Maskintillverkarna är lika viktiga för svensk ekonomi som gruvorna, och förutsättningarna för båda hänger intimt samman.

Utmaningar att hantera

Viktiga värdekedjor från prospektering och gruvor till smältverk hotas av brist på kapital, kompetens och kunskap.

- Europa var den dominerande gruvregionen i industrialismens vagga på 1800-talet. Sedan dess har Europa tappat i betydelse och svarar idag endast för cirka 3–4 procent av världens gruvproduktion. Av det samlande globala prospekteringskostnaderna går endast 3,3 procent till EU, varav knappt 1 procent till Sverige.
- Det finns möjlighet att utvinna flera av de kritiska metaller och mineral som behövs i EU för ökad elektrifiering och digitalisering i Sverige. Prospekteringen har dock inte varit inriktad på dessa råvaror och det behövs utökade insatser för att bygga

kunskap om deras förekomst och de processer som krävs för att hitta, utvinna och förädla metallerna.

- I EU byggs i det närmaste inga nya smältverk eller metallraffinaderier. Fokus ligger i stället på att expandera och utveckla befintliga anläggningar baserade på konventionell teknik för utvinning av bas- och järnmetaller. De nya anläggningar som behövs för produktion av de kritiska råvarorna, och en utökad produktion av de traditionella metallerna, kräver stora investeringar. Därtill kommer svårigheter med höga energikostnader och komplexa tillståndprocesser. Svenska Hybrit och H2GS är exempel på hur europeiska bolag försöker hitta nya processer för utvinning av metaller.
- När det gäller de kritiska råvarorna är det stor brist på både kunskap och anläggningar. Metallurgisk kompetens för kritiska råvaror finns delvis inom EU, men det krävs samordnade och kraftfulla satsningar på forskning och innovation, samt investeringar i nya anläggningar, för att möta behoven.
- Sverige har inga mineraltekniska labb eller pilotanläggningar motsvarande de som finns i Finland (Metso, GTK) och Norge (Sintef/NTNU). Nordiskt samarbete inom detta område behöver utvecklas.
- Miljöprövningen av nya gruvor och smältverk ska bidra till att minska deras miljöbelastning och väga olika samhällsintressen mot varandra. Det innebär många gånger svåra avvägningar, något som kan uppfattas som ett hinder i etableringen av nya anläggningar. Det ligger i allas intresse att göra processerna så tidseffektiva och förutsägbara som möjligt. Se vidare i projektets delrapport "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter".

Europa har stora utmaningar vad gäller konkurrenskraften relativt många mineralrika länder.

- Produktionskostnaderna för gruvbrytning och metallframställning i EU är högre än i många andra mineralrika regioner, exempelvis Afrika och

Sydamerika. Det gäller oberoende av metall eller mineral. De europeiska gruvorna och smältverken har högre kostnader för löner, insatsvaror och energi. Dessutom är kraven på god arbetsmiljö och minimal påverkan på miljön högre jämfört med många länder utanför EU.

- Marknaden för metaller och mineral är global. Den europeiska gruvindustrin är konkurrenskraftig men måste fortsatt vara effektiv och innovativ för att bibehålla sin konkurrenskraft. Sveriges gruvkluster ligger väl till i dessa avseenden, vilket ger en god grund för att fortsätta vara konkurrenskraftiga.
- Framtida gruvprojekt i Europa bör fortsatt vara konkurrenskraftiga. Det är tveksamt att starta gruvor enbart för att säkra försörjningstryggheten, vilket skulle innebära behov av omfattande subventioner och en försämrad effektivitet. Eventuella satsningar på nya gruvor inom EU som tillkommer av geopolitiska skäl kommer att kräva ingående analys.
- Det räcker inte med att enbart ha producerande gruvor för att säkerställa försörjningen av metaller och mineral. Det är också nödvändigt att, i smältverk och raffinaderier, ha tillgång till de olika förädlingssteg som krävs för att framställa den rena metallen och i förlängningen även kritiska halvfabrikat, exempelvis batterier och permanentmagneter. Dessa processindustrier är mycket kapitalintensiva och kräver särskild kompetens.

Åtgärder som behöver vidtas

Nya samarbeten med mineralrika länder i hela världen kommer att krävas för att klara Europas försörjning av metaller och mineral.

- Europa kan inte förlita sig på en fungerande global marknad för att tillgodose behoven. För att minska sårbarheten i leveranskedjorna bör EU ingå nya

strategiska samarbeten med länder, inom eller utom Europa, som antingen har mineraltillgångar, förädlingsprocesser eller tillverkning av strategiska komponenter.

- Sverige, som ett av Europas viktigaste gruvländer, bör aktivt arbeta för att skapa bättre förutsättningar för produktion av metaller och mineral. Sverige kan lära av de ledande gruvländerna Kanada och Australien. De har liknande förutsättningar och utmaningar som Sverige, men offensiva strategier för sin försörjning och roll på marknaden.
- I Afrika finns betydande tillgångar på metaller och mineral. Sverige och EU bör utöka samarbetet med afrikanska länder för att säkra tillgången till kritiska metaller och mineral samt stärka de mineralrika ländernas ekonomi. Afrikanska initiativ som den planerade ekonomiska zonen för batteriråvaror och komponenter, som är ett samarbete mellan Zambia, Demokratiska republiken Kongo och den Afrikanska Unionen, förtjänar svenskt och europeiskt deltagande. Svenska och europeiska insatser behövs också för den afrikanska produktionen av så kallade konfliktmineral (tenn, tantal och volfram). Flera av dessa klassificeras idag som kritiska av EU.

Öka kunskapen om Kinas behov och strategier.

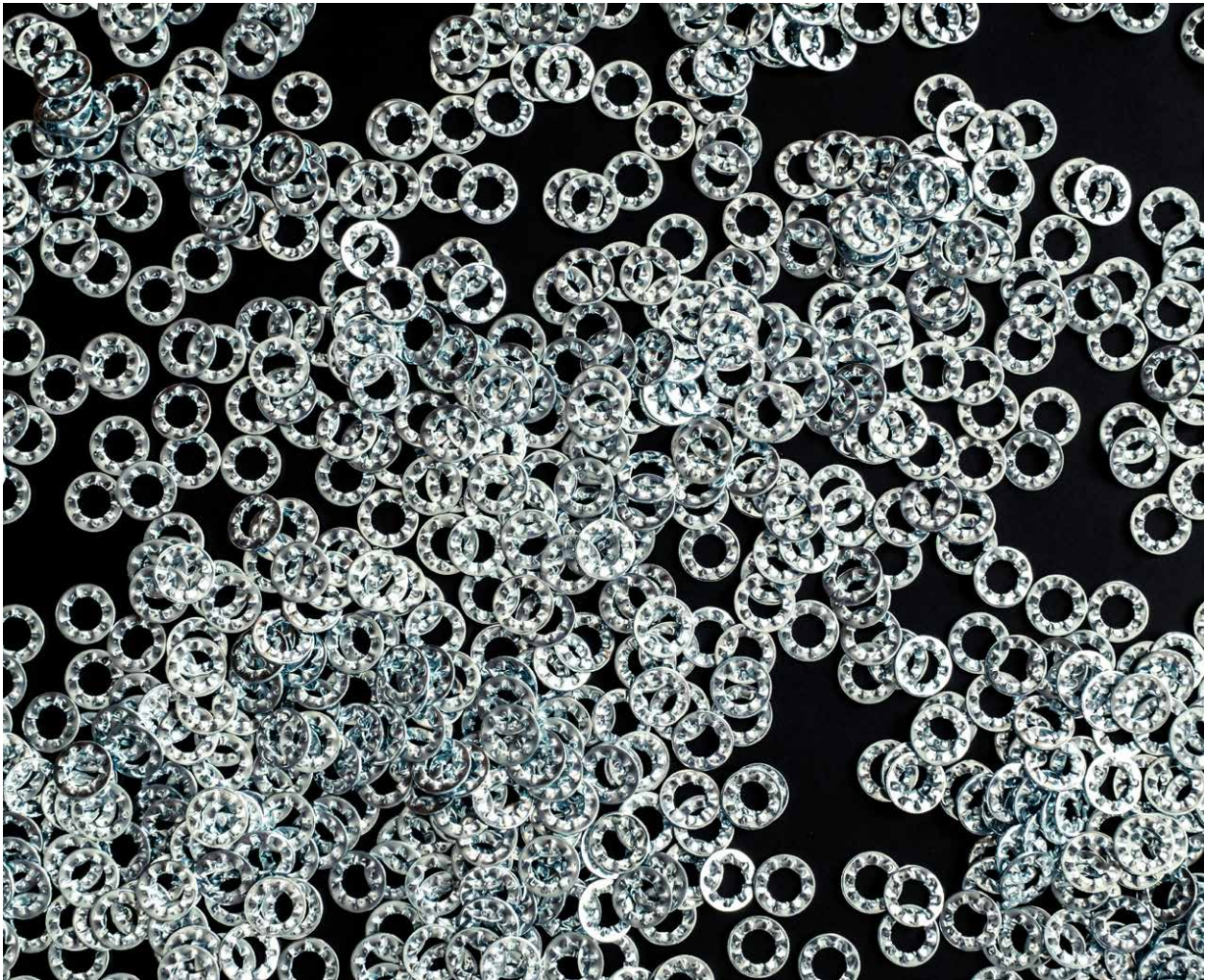
- Kina är en dominerande kraft vad gäller världens försörjning av kritiska råvaror. Landet har samtidigt ett stort importberoende avseende många traditionella metaller och mineral. Denna situation bör vara en grund för EU:s och Sveriges strategier för stärkt leveranssäkerhet. Djupare kunskap och fakta krävs om kinesiska gruvbolag och deras expansion utanför Kina, liksom om det statliga stödet till dessa gruvbolag som delvis sätter marknadskrafterna ur spel. Utökade kunskaper om Kinas mineralberoende och mineralpolicy skulle bidra till att Sverige och EU kan utforma en råvarupolitik baserad på fakta om Kinas och våra behov och förutsättningar.

Utveckla metoder för att bättre integrera ökad hållbarhet i gruvindustrin. Detta kan samtidigt bidra till stärkt konkurrenskraft.

- Gruvor, anrikningsverk och smältverk påverkar inte bara naturmiljön och klimatet utan även socio-ekonomiska förhållanden. Svensk gruvindustri är samtidigt en länk i en global försörjningskedja. Det gör att intressekonflikter aktualiseras på flera nivåer där till exempel miljöpåverkan är lokal men klimatpåverkan global.
- Vid planering av nya gruvor behöver ett helhetsperspektiv anläggas på gruvans hela livscykel för att minimera miljöpåverkan såväl under drift som efter att gruvan har stängts. Många bolag jobbar så idag, men metoden behöver utvecklas och tillämpas inte bara i Sverige utan i hela EU – och världen.
- För att minska miljöpåverkan och öka säkerheten för de som arbetar i gruvorna sker en utveckling mot elektrifiering och digitalisering samt införande av fjärrstyrda, autonoma arbetsfordon. Maskinerna kan därmed styras på ett säkert sätt på distans från ett kontrollrum.
- Det behövs ökad förståelse för gruvindustrins betydelse, både för ökad välfärd, minskad klimatpåverkan och stärkt konkurrenskraft. För att hitta sådana angreppssätt och tankemodeller krävs forskning och innovation, samt samverkan mellan olika aktörer, gruvbolag, utrustningsleverantörer, akademi och myndigheter.

Ökad kompetens, forskning och innovation behövs i alla steg i värdekedjan.

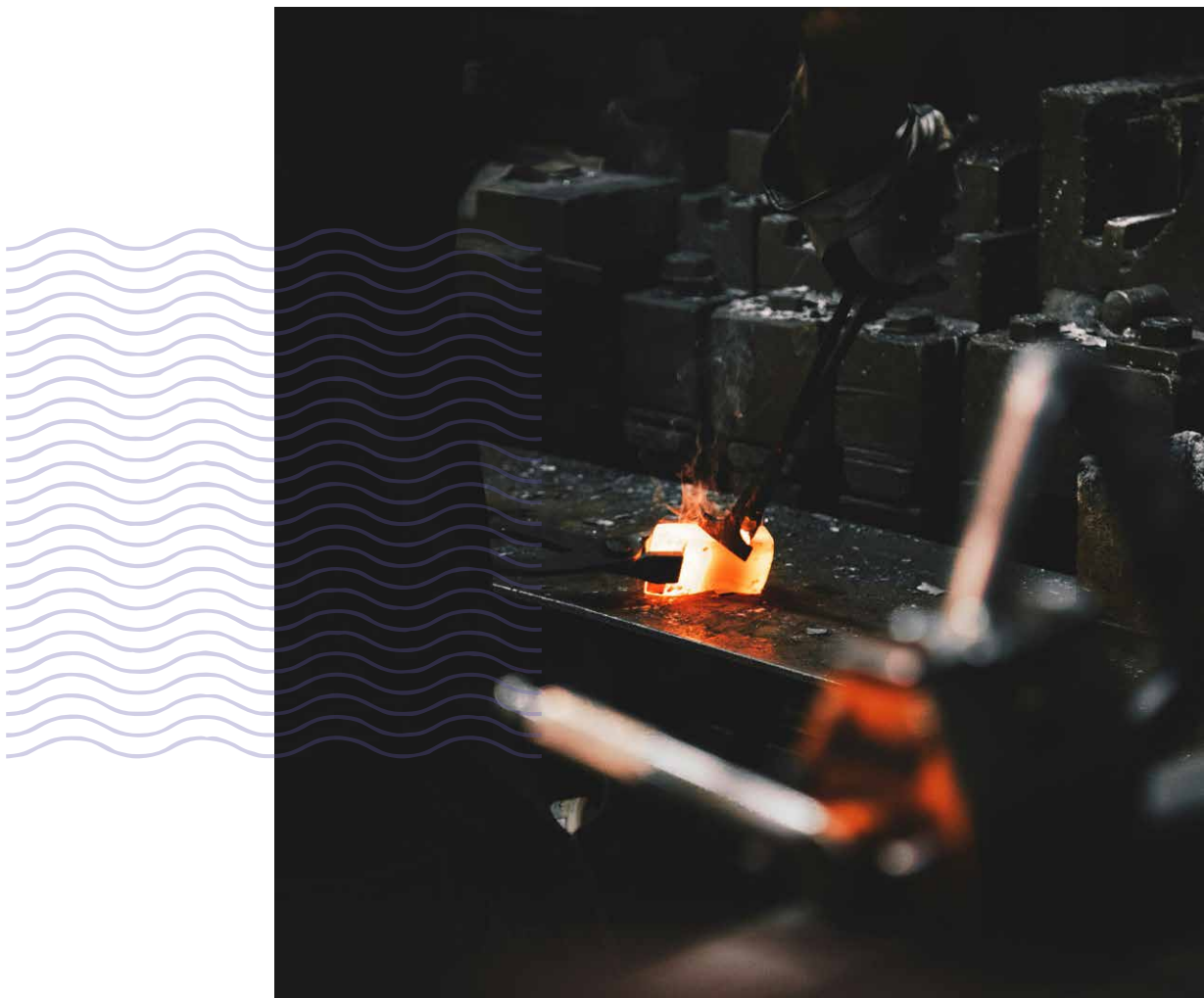
- Den svenska konkurrenskraften inom gruvnäringen måste stärkas genom att öka ambitionerna inom forskning och innovation. Samverkansforskning har varit en viktig del i att öka svensk gruvnäringens konkurrenskraft, men det tar för lång tid att gå från idé till praktisk tillämpning. Det krävs insatser för innovativ prospektering, anrikning, utvinning



och förädling med särskilt fokus på de kritiska metaller som krävs för en grön omställning. Gruv- och mineralnäringen behöver tillgång till forskningsmedel för såväl grundforskning som tillämpad forskning.

- Förutom tekniska aspekter behöver även samhällsvetenskaplig forskning utvecklas kring de miljömässiga och socioekonomiska förutsättningarna, som till exempel markanvändning och tillståndsgivning för en aktiv gruvindustri.

- Resurseffektivitet och återvinning är ytterligare en del av värdekedjan där insatser i forskning och utveckling är ytterst viktiga. Det saknas processer och metoder för att utvinna de kritiska metallerna, både från gruvor och ur olika typer av skrot. Idag saknas också mycket av den kompetens som krävs för att hantera hela värdekedjan för dessa metaller. Produktdesign för ökad resurseffektivitet och förenklad återvinning är andra områden där intensiv forskning borde initieras. Se vidare i projektets delrapport "Cirkulära flöden för att möta ökad efterfrågan på metaller och mineral".



3. Ordlista och det periodiska systemet

»Här får du en förklaring till många fackuttryck som används i rapporten.«

Anrikning

Process för att öka metallhalten i en malm.

Anrikningssand

Restprodukt i form av sand från ett anrikningsverk. Lagras i sandmagasin.

Basmetaller

Metaller med mycket breda användningsområden. Normalt åsyftas koppar, zink, bly, nickel och aluminium.

Batterimetaller

Ovetenskaplig gruppering av material som ingår i batterier. Vanligen åsyftas metallerna litium, kobolt, vanadin, mangan, nickel samt mineralen grafit.

Bimetaller

Metaller som utvinns som bimetaller (jmf Huvudmetaller).

Elektrometallurgi

Smältning av metall vid höga temperaturer med elektricitet, vanligen i en ljusbågsugn där värme skapas genom att en ljusbåge alstras mellan två grafit Elektroder, eller i en induktionsugn där växelström leds genom en induktionsspole som inducerar ett magnetfält i metallsmältan.

Flussmedel

Ämne som tillsätts en smälta för att sänka ett ämnes smältpunkt och göra det mer lättflytande.

Grafit

Mineral som består av grundämnet kol och som uppvisar både metalliska och icke-metalliska egenskaper.

Gruva

Plats där man bryter malm, kol eller andra geologiska råvaror.

Gråberg

Icke malmhaltigt berg som bryts för att komma åt malmen.

Huvudmetaller

De metaller i en malm som är mest vinstgivande (jmf Bimetaller ovan).

Hydrometallurgi

Extrahering av metall med hjälp av kemiska lösningar och vattenbaserade processer, ibland även med hjälp av elektrolys.

Industrimineral

Allt som bryts ur jordskorpan förutom energimineral, metallmalmer, vatten och ädelstenar. Exempel på industrimineral är grafit, kvarts och kalk.

Juniorbolag

Prospekteringsbolag som saknar intäkter från existerande gruvor. Verksamheten finansieras ofta med riskkapital.

Kobolt

Övergångsmetall som oftast används i kombination med andra metaller. Används i batterier, men också i legeringar, hårdmetallverktyg, magnetmaterial och vissa kemiska processer.

Kritiska råvaror/metaller

Råmaterial med betydande risk för leveransstörningar som kan få oönskade konsekvenser. Inom EU får råvaror denna klassning på grund av deras ekonomiska betydelse i relation till deras tillgångsrisk. Exempel på kritiska metaller inom EU är kobolt, litium, mangan och sällsynta jordartsmetaller. Listan med kritiska och strategiska råvaror för EU uppdateras vart tredje år, senast 2023. (Se även Bilaga 1 och kapitel 9.)

Figur 1: Periodiska systemet, en indelning av grundämnen och atomslag efter atomnummer samt kemiska och fysiska egenskaper.

1	H Väte 1,008	Atomic Tecken Namn Vikt																2	He Helium 4,0026																
3	Li Litium 6,94	4	Be Beryllium 9,0122																	5	B Bor 10,81	6	C Kol 12,011	7	N Kväve 14,007	8	O Syre 15,999	9	F Fluor 18,998	10	Ne Neon 20,180				
11	Na Natrium 22,990	12	Mg Magnesium 24,305																	13	Al Aluminium 26,982	14	Si Kisel 28,085	15	P Fosfor 30,974	16	S Svavel 32,06	17	Cl Klor 35,45	18	Ar Argon 39,948				
19	K Kalium 39,098	20	Ca Kalcium 40,078	21	Sc Skandium 44,956	22	Ti Titan 47,867	23	V Vanadin 50,942	24	Cr Krom 51,996	25	Mn Mangan 54,938	26	Fe Järn 55,845	27	Co Kobolt 58,933	28	Ni Nickel 58,693	29	Cu Koppar 63,546	30	Zn Zink 65,38	31	Ga Gallium 69,723	32	Ge Germanium 72,630	33	As Arsenik 74,922	34	Se Selen 78,971	35	Br Brom 79,904	36	Kr Krypton 83,798
37	Rb Rubidium 85,468	38	Sr Strontium 87,62	39	Y Yttrium 88,906	40	Zr Zirkonium 91,224	41	Nb Niob 92,906	42	Mo Molybden 95,95	43	Tc Teknetium (98)	44	Ru Rutenium 101,07	45	Rh Rodium 102,91	46	Pd Palladium 106,42	47	Ag Silver 107,87	48	Cd Kadmium 112,41	49	In Indium 114,82	50	Sn Tenn 118,71	51	Sb Antimon 121,76	52	Te Tellur 127,60	53	I Jod 126,90	54	Xe Xenon 131,29
55	Cs Cesium 132,91	56	Ba Barium 137,33	57–71		72	Hf Hafnium 178,49	73	Ta Tantal 180,95	74	W Volfraam 183,84	75	Re Rhenium 186,21	76	Os Osmium 190,23	77	Ir Iridium 192,22	78	Pt Platina 195,08	79	Au Guld 196,97	80	Hg Kviksilver 200,59	81	Tl Tallium 204,38	82	Pb Bly 207,2	83	Bi Vismut 208,98	84	Po Polonium (209)	85	At Astat (210)	86	Rn Radon (222)
87	Fr Francium (223)	88	Ra Radium (226)	89–103		104	Rf Rutherfordium (267)	105	Db Dubnium (268)	106	Sg Seaborgium (269)	107	Bh Bohrium (270)	108	Hs Hassium (277)	109	Mt Meitnerium (278)	110	Ds Darmstadtium (281)	111	Rg Röntgenium (282)	112	Cn Copernicium (285)	113	Nh Nihonium (286)	114	Fl Flerovium (289)	115	Mc Moscovium (290)	116	Lv Livermorium (293)	117	Ts Tenness (294)	118	Og Oganesson (294)
Atommassor inom parentes är ämnets vanligaste eller stabilaste isotop.																																			
6		57	La Lantan 138,91	58	Ce Cerium 140,12	59	Pr Praseodym 140,91	60	Nd Neodym 144,24	61	Pm Prometium (145)	62	Sm Samarium 150,36	63	Eu Europium 151,96	64	Gd Gadolinium 157,25	65	Tb Terbium 158,93	66	Dy Dysprosium 162,50	67	Ho Holmium 164,93	68	Er Erbium 167,26	69	Tm Thulium 168,93	70	Yb Ytterbium 173,05	71	Lu Lutetium 174,97				
7		89	Ac Aktinium (227)	90	Th Torium 232,04	91	Pa Protaktinium 231,04	92	U Uran 238,03	93	Np Neptunium (237)	94	Pu Plutonium (244)	95	Am Americium (243)	96	Cm Curium (247)	97	Bk Berkelium (247)	98	Cf Californium (251)	99	Es Einsteinium (252)	100	Fm Fermium (257)	101	Md Mendelevium (258)	102	No Nobelium (259)	103	Lr Lawrencium (266)				

Koncentrat

Koncentrat efter anriktningsprocess av malmen.

Litium

Den lättaste av alla metaller. Har hög elektrokemisk reaktivitet och används främst i batterier.

Malm

Ansamling av metallförande mineral bildad av geologiska processer som kan brytas ekonomiskt. Är mineralen inte lönsam att bryta definieras den inte som en malm.

Metall

Grundämnen delas in i metaller, halvmetaller (inkl. halvledare) och icke-metaller. Metallerna karaktäriseras av

egenskaper som hög ledningsförmåga för el och värme, formbarhet, hög densitet och metallglans.

Metallkategorier

På marknaden delas metallerna vanligtvis in i huvudgrupperna järn, basmetaller, lättmetaller och ädelmetaller. En ytterligare grupp är legeringsmetallerna som ofta tillförs till järn (stål); bland annat krom, vanadin och mangan. Utöver dessa grupper produceras en stor mängd andra metaller (ofta kallade "minor metals").

Metallurgi

Processer för utvinning av ren metall ur anrikad malm. Det kan vara pyrometallurgi (värmebaserade processer) eller hydrometallurgi (vätskebaserade processer).

Mineral

Kemiska föreningar, legeringar eller rena grundämnen med väldefinierad kemisk sammansättning, kristallstruktur och egenskaper, bildade av geologiska processer.

Platinagruppens metaller (PGM)

Gruppering bestående av sex metaller: platina, palladium, rodium, iridium, osmium och rutenium. PGM används industriellt i katalysatorer, elektronik samt inom kemisk industri.

Pyrometallurgi

Smältning och separering av metall med hjälp av höga temperaturer. (Se även Elektrometallurgi ovan.)

Raffinering

Utvinning av den rena metallen ur anrikad malm som sedan behandlas i ett smältverk, varefter raffinering kan ske till hög renhet. I hydrometallurgiska processer kan smältsteget ofta uteslutas.

REE

”Rare Earth Elements”, se Sällsynta jordartsmetaller.

Rödfyr

Restprodukt från förbränning av alunskiffer.

Sandmagasin

Lagringsdamm för anrikningssand.

Sintring

Process där fasta partiklar sammanfogas under högt tryck och temperatur.

Slaggbildare

Ämne som tillförs en smälta av malmkoncentrat för att avlägsna icke önskvärda ämnen och få fram den rena metallen.

Schakt

Lodrät eller brant lutande förbindelsegång från markytan, exempelvis i en gruva.

Slagg

Restprodukt eller biprodukt vid metallurgisk framställning av metaller.

Strategiska råvaror/metaller

Metaller som anses vara strategiska i ett framtidsblickande perspektiv, för att uppnå en prioriterad funktion, exempelvis elektrifiering av fordon (elbilar). Inom EU avses råvaror med extra stor relevans för strategiska teknologier kopplat till den gröna omställningen, digitalisering samt försvar. Se även Bilaga 1.

Sällsynta jordartsmetaller

Samlingsnamn för de femton lantaniderna (atomnummer 57 till 71). Ofta inkluderas även skandium (21) och yttrium (39). Betecknas ofta kort ”REE”, efter engelskans Rare Earth Elements, och delas vanligtvis in i två grupper – lätta och tunga – utifrån deras kemiska beteende. De används i elektronik och har speciella magnetiska, optiska och katalytiska egenskaper. Många REE har mycket specifika egenskaper som gör dem svåra att ersätta.

Varp

Gruvavfall i form av sten. Oftast högar av restmaterial av svagt mineraliserat sidoberg och låggradig malm som vanligen separerats ut löpande under drift.

Ädelmetaller

Guld, silver och platinagruppens metaller. Används exempelvis i smycken, elektronik och katalysatorer samt som värdesäkring.



4. Bakgrund

»Sverige är ett av Europas viktigaste gruvländer med producerande gruvor och en stor geologisk potential.«

Säker tillgång till metaller och mineral är en nödvändighet för att klara omställningen till ett fossilfritt samhälle. Efterfrågan kommer att mångdubblas när fossila bränslen fasas ut genom en ökad elektrifiering och digitalisering.

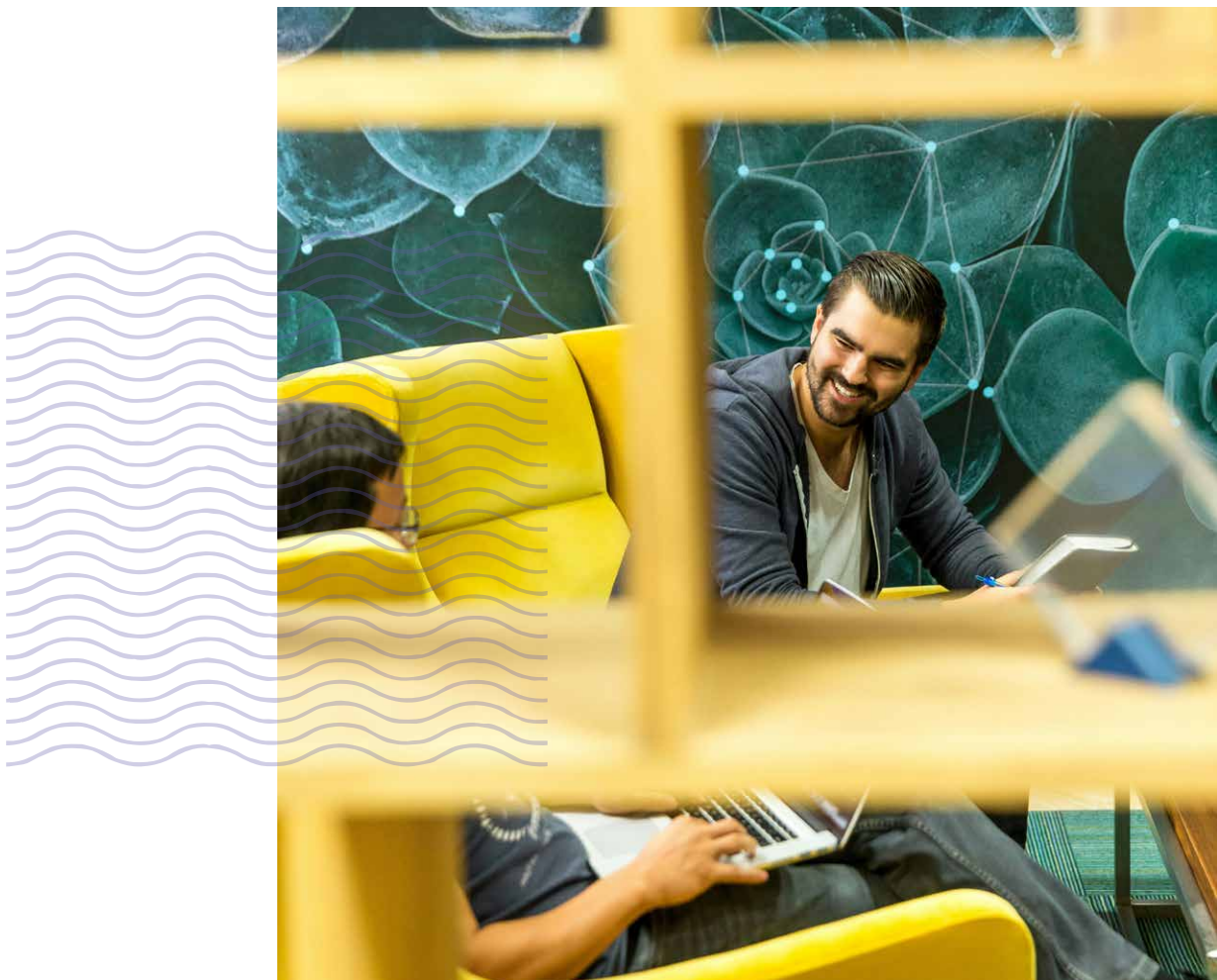
Omställningen kräver inte bara större volymer av de metaller och mineral som traditionellt används, utan också betydligt mer av många metaller och mineral som hittills bara använts i begränsad omfattning, exempelvis litium, indium, kobolt och grafit. Efterfrågan på metaller och mineral kommer även att öka på grund av befolkningsökning och en förbättrad levnadsstandard samt ökad industrialisering i stora delar av världen.

Det är en stor utmaning att på ett långsiktigt hållbart sätt säkra försörjningen av alla de kritiska metaller och mineral som krävs för att möjliggöra energiomställningen. För att framställa dessa krävs annan teknik och kunskap för prospektering, utvinning och framställning än för de bas-, ädel- och järnmetaller som idag produceras i Europa. Marknaden för metaller och mineral är global. Fyndigheterna som bryts idag ligger ofta i länder utanför EU och tillgången till dem har därför också en geopolitisk dimension.

Sverige är ett av Europas viktigaste gruvländer och har utöver producerande gruvor en stor geologisk potential. Metaller kan även återvinnas ur produkter och gruvavfall. Det finns dock en rad hinder för ökad utvinning och återvinning av metaller i Sverige och EU. Det saknas kunskap om flera av de kritiska metallerna, deras förekomst och processer för utvinning. Därtill krävs stora kapitalintensiva investeringar i nya anläggningar.

Många metaller förekommer tillsammans i gemensamma fyndigheter och dessa är beroende av gemensamma eller besläktade processer i olika utvinningssteg. Därför har vi i rapporten inte avgränsat analysen till enskilda "strategiska" eller "kritiska" metaller och mineral, utan använder ett brett perspektiv på värdekedjorna från prospektering till halvfabrikat och komponenter. Flertalet av våra observationer är applicerbara på samhällets mineralförsörjning i stort.

I ordlistan och i bilaga 1 förklaras olika indelningar av mineral och andra råmaterial.



5. Varför ökar efterfrågan på metaller och mineral?

»Befolkningstillväxt, elektrifiering och ökad levnadsstandard kommer att öka efterfrågan. Men det råder stor osäkerhet om storleksordningen och vilka metaller som kommer vara mest kritiska.«

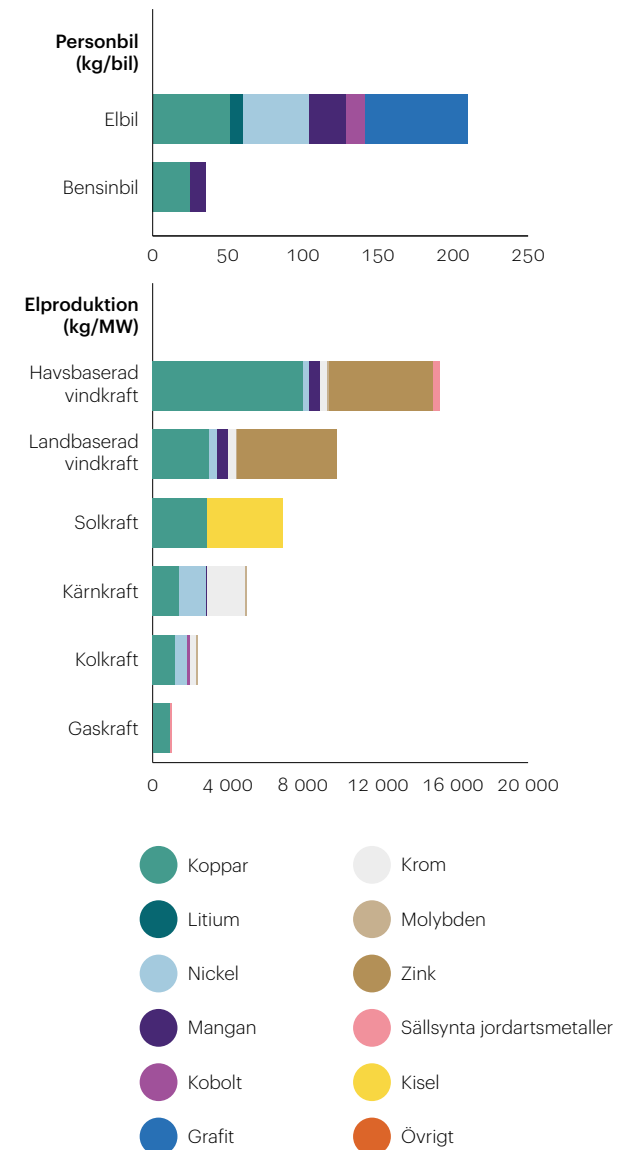
En rad faktorer bidrar till att efterfrågan på metaller och mineral ökar. Det handlar inte bara om metaller som används i ny teknik. Efterfrågan ökar även på stål (som kräver järn och olika legeringsmetaller) och på basmetaller som exempelvis zink, koppar, bly och nickel. Metallerna behövs i teknik för exempelvis förnybar elproduktion och batterier, men även i byggmaterial, maskiner och infrastruktur. Ekonomisk tillväxt, befolkningstillväxt, och en ökad urbanisering driver på efterfrågan både på traditionella metaller såsom stål, koppar och aluminium, och på de kritiska och strategiska metallerna,¹ exempelvis sällsynta jordartsmetaller. Metallerna handlas på en global marknad, så utvecklingen i andra delar av världen har stor påverkan på Sverige och Europa.

Starka drivkrafter ökar efterfrågan på metaller och mineral, men det finns också faktorer som dämpar ökningstakten, exempelvis teknikutveckling som möjliggör ökad resurseffektivitet, alternativa material och lösningar, ändrade konsumtionsbeteenden (till exempel delningsekonomi som minskar efterfrågan på produkter) samt i vilken takt cirkulära material- och produktflöden kan skapas. Utvecklingen är inte entydig, även om det idag står klart att det för tillgången till många metaller och mineral kommer att dröja länge innan återvinning kan spela en större roll.

Klimatmål och utfasningen av fossil energi

En stark drivkraft för ökad efterfrågan på metaller och mineral är elektrifieringen som innebär en övergång från ett fossilbränslebaserat till ett mineral- och metallbaserat samhälle.

Figur 2: Jämförelse mellan en konventionell personbil och en elbil, avseende skillnaden i antalet metaller och mängden metaller exkl. stål i kg/fordon, samt innehåll av olika metaller och mineral för olika kraftslag. Källa: The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transition, IEA, mars 2022.



¹ Se ordlista och Bilaga 1.

TEKNIKER SOM BEHÖVER KRITISKA METALLER OCH MINERAL

Vindkraftverk innehåller ofta permanentmagneter i generatoren för att få en kompakt och energieffektiv lösning. Permanentmagneter med neodym ger starkast magnetfält och reducerar storlek och vikt mest. Ferrit-magneter är betydligt svagare och ger en större och tyngre lösning. Även elektromagneter kan användas men kräver då ytterligare teknisk utrustning vilket ger en större och otympligare konstruktion. Därtill behövs metaller i konstruktionen, aluminium, koppar och stål, ofta legerat med den kritiska metallen niob.

Utvecklingen av **solceller** går snabbt. Konventionella solceller bygger på kisel, medan solcellstunntunnfilm bland annat innehåller gallium och germanium. Vissa högeffektiva solceller kräver även halvmetallen tellur eller metallen indium.

En nyckelfråga för att kunna gå från ett fossilbaserat till ett metall- och mineralbaserat samhälle är lagring av el. **Batteritekniken** utvecklas snabbt, men kräver i dagsläget stora mängder metaller och mineral, såsom litium, nickel, mangan och kobolt, samt grafit och fosfor. Nya batterier som ger högre prestanda och/eller minskat behov av kritiska råmaterial är under utveckling, exempelvis kan litium ersättas med natrium i jon-batterier. Ett annat exempel är att övergå till fasta elektrolyter vilket kan öka batteriets prestanda och säkerhet genom att eliminera tändbara flytande elektrolyt. Storskalig framtida lagring kan komma att ske med så kallade redoxflödesbatterier, vilka kräver den kritiska metallen vanadin.

Elbilar och andra eldrivna fordon innehåller motorer, batterier eller bränsleceller och elektronik som alla är beroende av en mängd olika metaller.

De kritiska/strategiska metallerna möjliggör olika tekniker med hög prestanda. De kan i varierande utsträckning ersättas med andra metaller som är mer vanligt förekommande, men vanligen med minskad prestanda som resultat. Teknikutvecklingen har dock möjliggjort att behovet av vissa metaller för att uppnå en specifik grad av prestanda har minskat. Exempelvis har kobolt i stor utsträckning ersatts av nickel i litiumjonbatterier under de senaste tio åren. Trots detta har efterfrågan på kobolt fortsatt att öka på grund av att efterfrågan på batterier har ökat kraftigt.



Elektrifieringen påverkar i hög grad efterfrågan på metaller. Exempelvis innehåller en elbil viktmissigt sex gånger så mycket metaller, exklusive stål, som en bensinbil och ett havsbaserat vindkraftverk nio gånger så mycket metaller och mineral per installerad megawatt jämfört med ett traditionellt gaskraftverk. (IEA, 2022). En elbil innehåller också i storleksordningen tre gånger så mycket koppar som en bensindriven personbil. (Se diagrammet i Figur 2.) Motsvarande behov uppstår i andra applikationer där elmotorer med kringutrustning ersätter förbränningsmotorer. Tekniker som omställningen bygger på behöver därför betydligt mer metaller och mineral än de fossila energisystemen.

Även produktionen av förnybar el, lagring av el, omvandling av el till vätgas och syntetiska bränslen samt omställningen av energisystemet i stort driver på efterfrågan på mer och fler metaller och mineral. Vindkraft, solkraft, värmepumpar, batterier och elektrolysörer för produktion av vätgas är tekniker som alla ökar efterfrågan på basmetaller men även behöver metaller som vi hittills inte använt i så stor omfattning.

Utbyggnaden av elnäten ökar efterfrågan på koppar och stål, men även på olika mineral och icke-metaller som exempelvis grafit, flourit, fosfor, bor och kisel.

Starkare och lättare konstruktioner i allt från större fordon till byggnader och vindkraftverk kräver specialstål som behöver både järn och legeringsmetaller, exempelvis den kritiska metallen niob.

I faktarutan ges exempel på metaller och mineral som behövs i olika applikationer.

Digitalisering och teknikutveckling

En starkt drivande trend som påverkar efterfrågan på metaller och mineral är den digitalisering och automation som pågår parallellt med elektrifieringen. Detta möjliggör nya tekniska lösningar för områden som kommunikation och robotik där användning av artificiell intelligens spelar en viktig roll. Litium-jonbatterier har möjliggjort lättare datorer, mobiltelefoner och andra liknande tekniska applikationer. Metaller som koppar, guld, silver, aluminium, litium,

gallium, germanium, kobolt och sällsynta jordartsmetaller spelar också en viktig roll i tillverkningen av elektroniska komponenter, batterier, kablar och andra infrastrukturkomponenter.

Befolkningstillväxt, ekonomisk tillväxt och ökad levnadsstandard

Andra starkt drivande faktorer som ökar den globala efterfrågan på metaller och mineral är befolkningstillväxt, fortsatt ekonomisk tillväxt och ökad levnadsstandard. Världens befolkning uppgår idag till åtta miljarder människor, vilket innebär en ökning med en miljard på tolv år. Befolkningstillväxten förväntas mattas av något framöver, men enligt FN:s prognoser kan världens befolkning uppgå till nio miljarder redan 2037. (United Nations, 2023). Befolkningstillväxten i kombination med förbättrad levnadsstandard ökar efterfrågan på infrastruktur, bostäder, transportmedel, elektronik och konsumtionsvaror. Detta driver i sin tur efterfrågan på olika typer av metaller och mineral.

Faktorer som dämpar efterfrågan på metaller och mineral

I enlighet med diskussionen ovan kommer efterfrågan på metaller och mineral sannolikt att öka kraftigt de kommande decennierna. Men det finns även faktorer som dämpar ökningstakten.

Cirkulära flöden (förlängd produktlivslängd, återanvändning, återtillverkning och materialåtervinning) måste öka för att skapa en långsiktigt hållbar försörjning av metaller och mineral. De kan inte ensamma täcka de ökade behoven, men förbättringsmöjligheterna är stora. Exempelvis är återvinningsgraderna i dagsläget låga för majoriteten av de metaller och mineral som EU klassar som kritiska.

Eftersom efterfrågan på många metaller och mineral beräknas mångdubblas de kommande decennierna kommer inte återvinning att kunna täcka behoven. Det finns helt enkelt inte tillräckligt mycket material tillgängligt i samhället. Idag

återvinns exempelvis cirka 80 procent av allt stål, men bara 29 procent av allt nyproducerat stål kommer från sekundär metall (skrot). Detta beror dels på stålprodukters livslängd, dels på att efterfrågan fortfarande ökar. (Material Economics, 2021)

Vissa metaller förekommer även i så komplexa blandningar och i så låga halter i slutprodukterna att återvinning under överskådlig tid inte kommer att vara ett ekonomiskt alternativ. Återvinning kan även vara mycket energikrävande.

Det är viktigt att systemen för återvinning byggs upp och förbättras parallellt med primär utvinning så att det blir möjligt att skapa cirkulära och resurseffektiva materialflöden när de metall- och mineralinnehållande produkterna når sin tekniska livslängd. Detta skulle bidra till att dämpa behovet av att bryta nya metaller och mineral. (Se vidare i rapporten "Cirkulära flöden för att möta ökade behov av metaller och mineral".)

Effektivare produktionsmetoder och resursanvändning.

Det sker en ständig teknikutveckling och effektivisering av industriella processer, vilket minskar användningen av material relativt det ekonomiska värdet de bidrar till. Att använda en mindre mängd material för att uppnå samma funktion kan minska efterfrågan även på kritiska material, exempelvis genom lättare och mindre fordon. Val av transportsystem (kollektivtrafik, personbil, etc.) kan också påverka mängden kritiska material som efterfrågas.

Substitution. I vissa fall kan specifika metaller och mineral ersättas med alternativa material eller tekniker, även om det oftast innebär försämrad prestanda hos produkten. Det medför i stället en ökad efterfrågan på substitutet. Val av teknik har stor inverkan på hur efterfrågan på specifika metaller utvecklas. Exempelvis, beroende på vilken typ av solceller, batterier eller magneter som tillverkas så efterfrågas olika mängder av specifika metaller som exempelvis litium, gallium, koppar eller neodym. (Månberger & Stenqvist, 2018)

I många fall innebär substitution att enskilda produkter blir sämre, mindre effektiva och tyngre, exempelvis när permanentmagneter ersätts med elektriska magneter, eller när de "bästa", men mer kritiska, sällsynta jordartsmetallerna (t.ex.

neodym) ersätts med mindre kritiska ämnen med sämre materialfunktion (t.ex. cerium). Det gör att substituten inte kan användas i samma tillämpningar som ämnena med optimala egenskaper, som exempelvis när det gäller magneter i vindkraftverk som kräver optimal prestanda till minimal vikt.

Ett annat exempel är alternativ till litium-jonbatterier. Anledningen till att litium är en populär batterimetall är att den har lägst densitet och minst elektronegativitet av alla metaller som är fasta i rumstemperatur. Ersätter man litium som laddningsbärare, till exempel med natrium i natriumjonbatterier, minskas batteriets energidensitet.

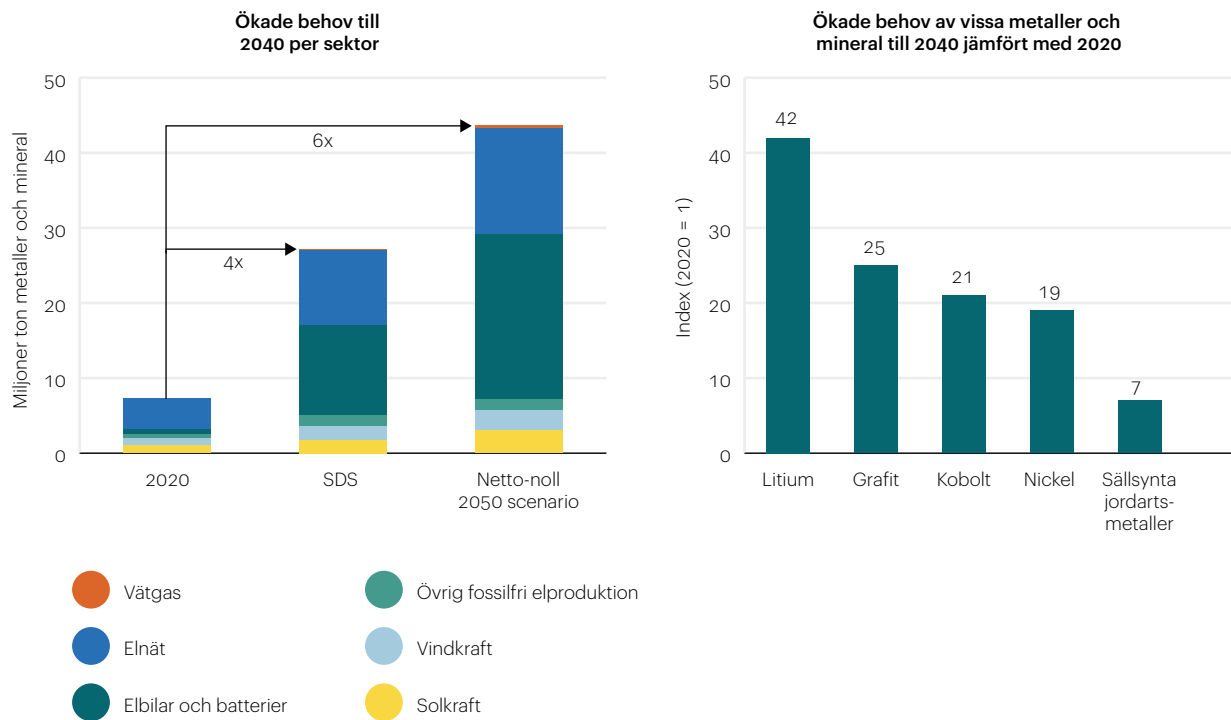
Går det att kvantifiera hur stor efterfrågan kommer att bli?

Globalt kommer efterfrågan på metaller och mineral att öka mycket kraftigt. För majoriteten av de basmetaller som används i stor omfattning idag kommer efterfrågan att öka relativt linjärt med den ekonomiska tillväxten. För vissa metaller, som exempelvis koppar, kommer efterfrågan att öka snabbare, och för de kritiska/strategiska metallerna som introduceras och efterfrågas i takt med teknikutveckling, elektrifiering och digitalisering, och som till viss del är nya på marknaden, mångfaldigas efterfrågan, om än från låga nivåer. (IEA, 2022)

Efterfrågan på primärproduktion av metaller och mineral påverkas således av teknisk utveckling, materialeffektivisering och återvinning. Vissa av dessa faktorer är dynamiska genom att marknadens prissättning kan hantera brist-situationer utan betydande konsekvenser för samhället. Som exempel kan nämnas marknadsandelen för litiumbatterier som innehåller kobolt som har minskat på senare år, dels till följd av att priset på kobolt har stigit, dels för att problemen med ohållbar utvinning, med bland annat barnarbete, av metallen i Demokratiska republiken Kongo har blivit allmänt kända. (Bobba, Mathieux, & Blengini, 2019)

Ett problem är dock de långa ledtider som resulterar i att gruvindustrin inte kan möta den snabba ökningen av efterfrågan på många metaller (särskilt de mer sällsynta) tillräck-

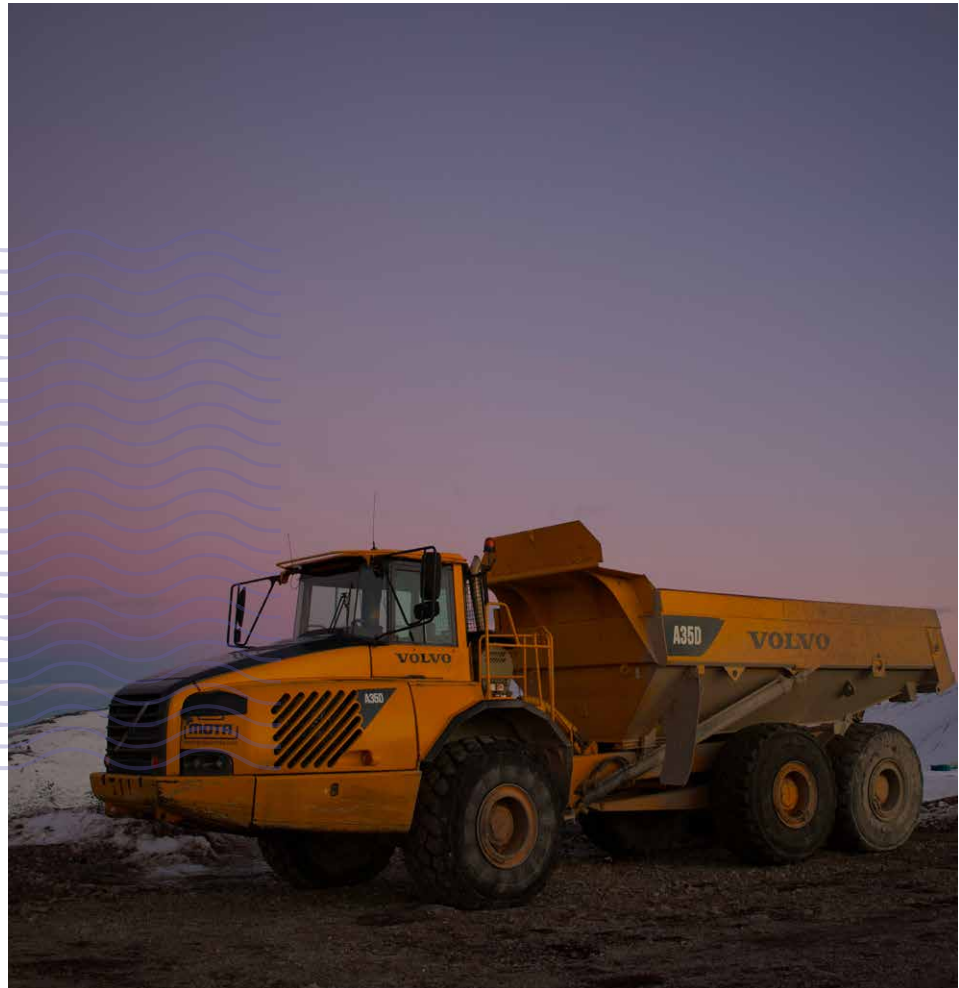
Figur 4: Efterfrågan på metaller och mineral kan komma att 4–6-dubblas fram till 2040 på grund av omställningen av energisystemet från fossila bränslen till el (SDS = Sustainable Development Scenario). Inkluderar ej stål och aluminium. Källa: The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transition, IEA, mars 2022.



ligt snabbt. Det gäller både produktion av metaller som är typiska bimetaller (t.ex. antimon, indium, kobolt och vismut) vid annan brytning av metaller (t.ex. zink eller koppar) och sådana där metallen eller en grupp besläktade metaller är huvudprodukten (t.ex. platinagruppermetaller eller sällsynta jordartsmetaller).

Det finns olika källor och bedömningar av utvecklingen. Många rapporter fokuserar på hur omställningen av energisystemet påverkar efterfrågan, men tar inte hänsyn till befolkningstillväxt, ökad levnadsstandard och teknikutveckling. Se Figur 4.

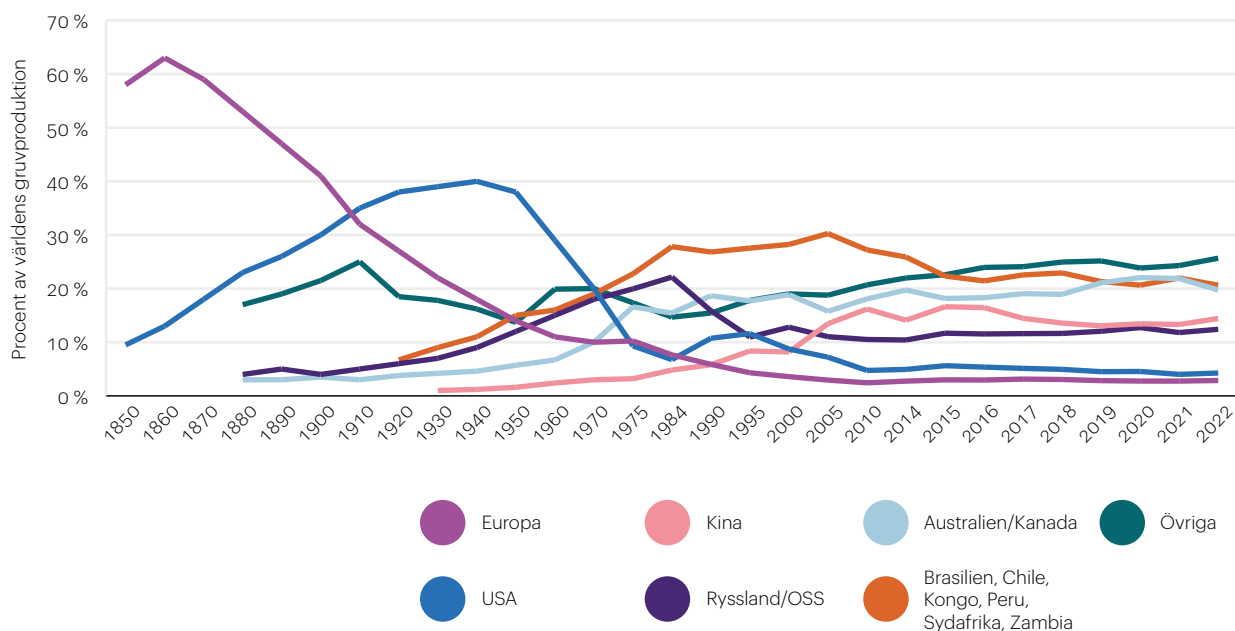
Det råder stor enighet om att efterfrågan på metaller kommer att öka. Samtidigt råder det osäkerhet kring storleksordningen och vilka metaller som kan bli mest kritiska. Detta beror bland annat på bedömningen av vilka alternativa lösningar eller substitut som finns tillgängliga i olika tidsperspektiv. Återvinning kommer att ha mycket liten påverkan på kort sikt, men på längre sikt kan dess betydelse öka. Effektivisering kan ha större påverkan på medellång sikt.



6. Europa har tappat i betydelse

»Det finns en geologisk potential för kritiska metaller och mineral i Europa, men det saknas metallurgisk kompetens och det krävs stora investeringar för att kunna utvinna dem.«

Figur 5: Lokalisering av gruvbrytning i olika regioner under perioden 1850–2022.
Källa: RMG Consulting, 2023.



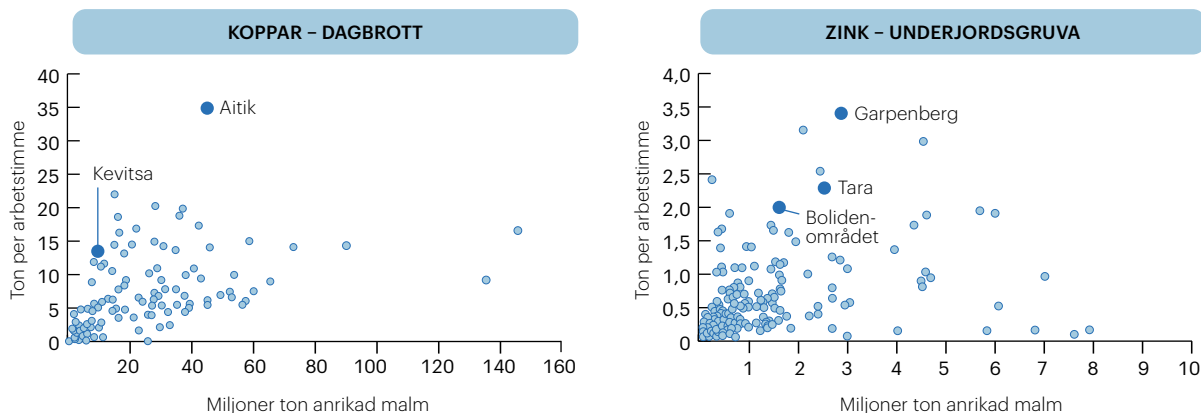
Europa var den dominerande gruvregionen redan långt innan industrialismens genombrott på 1800-talet då gruvindustrin expanderade och stod för över 60 procent av värdet av världens gruvproduktion. Vid 1900-talets början tog USA över och svarade som mest för 40 procent, innan gruvbrytningen tog fart i Sydamerika och Afrika, och senare även i Australien och Kanada. De forna Sovjetstaterna, med Ryssland i spetsen, var stora gruvländer fram till 1990 men har tappat i betydelse under de senaste decennierna. Kinas gruvbrytning har vuxit kraftigt sedan mitten av 1990-talet. I dag är gruvbrytningen spridd över stora delar av världen. Se Figur 5.

Sammantaget har Europa tappat mycket i betydelse och svarar idag bara för cirka 3–4 procent av värdet av gruvbrytning i världen. Australien och Kanada har en stark gruvindustri.

Generellt sett domineras gruvindustrin av länder på södra halvklotet. Utvecklingsländer står för hälften av produktionen av ett flertal strategiska metaller och dess andel ökar. De kontrollerar cirka en tredjedel av den totala produktionen. (Ericsson, 2023)

De svenska gruvorna tillhör de effektivaste i världen, se Figur 6. De konkurrerar på den globala marknaden och måste därför vara effektiva och innovativa för att vara konkurrenskraftiga. Hög automatisering och effektiva processer kompenserar för en högre kostnadsnivå avseende löner och insatsvaror. Därtill har svenska gruvor ofta en bättre arbetsmiljö och bättre miljösituation kring gruvorna jämfört med många länder utanför EU. Nya gruvsvetsningar i Europa måste uppfylla motsvarande krav på effektivitet och konkurrenskraft.

Figur 6: De svenska gruvorna tillhör de effektivaste i världen. Diagram över produktivitet relativt produktion i zink- respektive koppargruvor globalt. Källa: Boliden, 2024.



Svenska Hybrit och H2GS är exempel på hur bolag försöker hitta nya processer för utvinning av metaller. I deras fall sker utvinningen av järn ur järnmalm med vätgas i stället för kol. Mycket återstår dock att göra inom andra branscher för att utveckla nya processer, speciellt när det gäller de kritiska metallerna. Metallurgisk kompetens för kritiska råvaror finns delvis inom EU men det krävs samordnade och kraftfulla satsningar på forskning och innovation, samt investeringar i nya anläggningar för att möta behoven.

Gruvnäringens betydelse för landets ekonomi skiljer sig kraftigt mellan olika länder. Gruvindustrin är av väldigt stor betydelse för länder som exempelvis Demokratiska republiken Kongo, Chile och Australien. (Ericsson & Löf, 2019) I Sverige och Finland bidrar dock gruvindustrin mer till den nationella, och framför allt den regionala, ekonomin än i andra EU länder.

Kompetens och teknik saknas för de nya metallerna

Det finns en geologisk potential i Europa för flera av de kritiska metaller som behövs för ökad elektrifiering och

digitalisering, och som teoretiskt kan leda till gruvproduktion, inte minst i de nordiska länderna. (Jonsson, 2022) Det saknas dock mycket kunskap om dessa metaller geologi, mineralogi och förekomster samt de processer som krävs för att utvinna och förädla dem. Anledningen är att branschen hittills fokuserat på de metaller och mineral som traditionellt har varit (och är) viktiga för industrin. Exempelvis är Sverige bra på pyrometallurgi och smältverk, men de nya metallerna kräver helt andra processer, infrastruktur och kompetenser som exempelvis hydrometallurgi, elektrokemi och kemisk separation. Se även kapitel 8.

I dag byggs i princip inga nya anläggningar i Europa på grund av höga investeringskostnader i ny teknik och kompetens samt höga energipriser. Fokus ligger i stället på att expandera och utveckla befintliga anläggningar som baseras på konventionell teknik för utvinning av bas- och järnmetaller. De nya anläggningar som skulle behövas fordrar stora investeringar som ett enskilt bolag har svårt att hantera. För att åstadkomma detta krävs en samordning av investeringar och teknikutveckling inom EU.

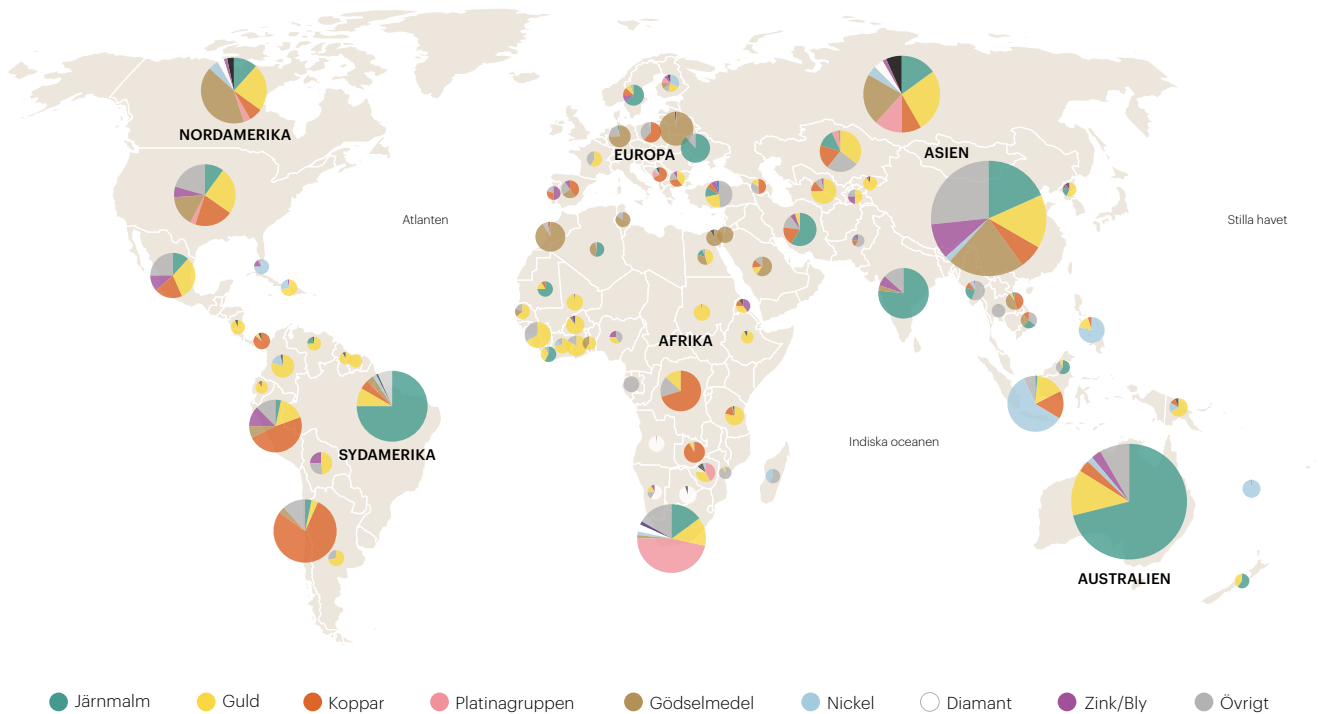




7. Geopolitiska aspekter på marknaden för metaller och mineral

»Sverige kan lära av gruvländerna
Kanada och Australien. De har liknande
förutsättningar och utmaningar men har
andra strategier för sin roll på marknaden.«

Figur 7: Gruvbrytning i ett globalt perspektiv. Ringarnas storlek representerar värdet och färgerna indikerar vilka metaller som avses. Som framgår dominerar brytningen på södra halvklotet, samtidigt som Europas tillskott är blygsamt. Källa: RMG Consulting, 2023.



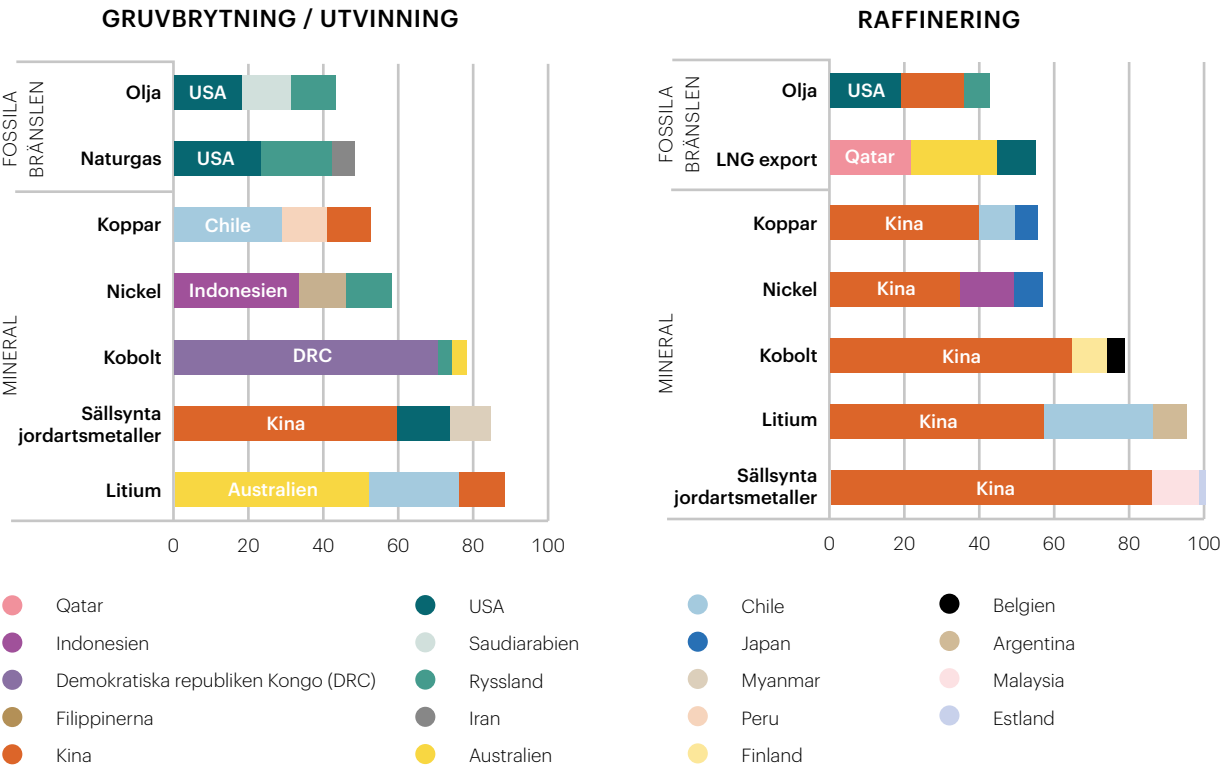
Värdekedjor för metaller och mineral är globala. De olika stegen i försörjningskedjorna från utvinning till färdig produkt ligger inte alltid i samma land och det sker en global handel även med mineralkoncentrat. Klimatomställningen av energisystem, elektrifiering och digitalisering påverkar vilka mineral som efterfrågas. Det leder till en maktförskjutning från oljenationer till länder med tillgång till metaller, mineral eller förädlingsprocesser.

Marknadskoncentrationen avseende de länder som utviner kritiska mineral är större än för olja och naturgas, se Figur 8. Som exempel kan nämnas att de tre största producentländerna av litium, kobolt och sällsynta jordartsmetaller står för mer än tre fjärdedelar av den globala produktionen. I vissa fall kan ett enskilt land bidra med mer än hälften av världsproduktionen, exempelvis Demokratiska republiken

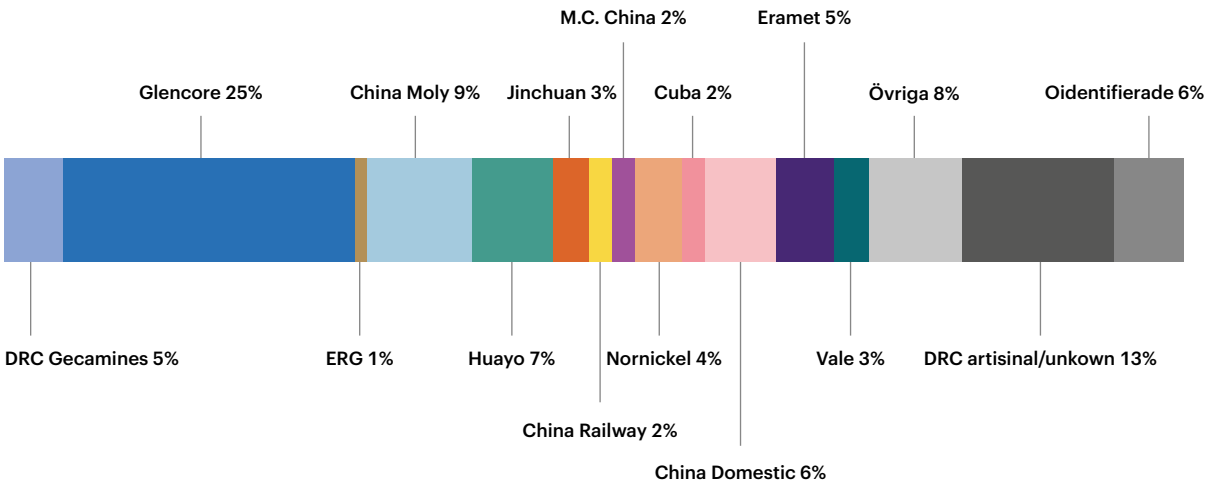
Kongo (DRC) som 2019 stod för 70 procent av den globala utvinningen av kobolt, och Kina, som samma år stod för 60 procent av den globala utvinningen av sällsynta jordartsmetaller. (IEA, 2022) Företagskoncentrationen för kobolt är dock väsentligt mycket lägre än landskoncentrationen, se Figur 9. (Ericsson M., Löf, Löf, & Müller, 2023)

Koncentrationen blir ännu större om man ser till efterföljande förädlingsled. Där dominerar Kina raffineringen av sällsynta jordartsmetaller (90 procent) och har en stark position även när det gäller nickel, litium, kobolt, grafit och mangan. I samtliga dessa fall bygger produktionen dock till stor del på importerade malmer och koncentrat. Kina utövar också inflytande över utvinningen i andra länder genom hel- eller delägarskap i viktiga bolag och gruvprojekt. Till exempel äger kinesiska litiumbolaget Tianqi Lithium

Figur 8: Marknadskoncentration av metaller och mineral för energiomställningen är större än för traditionella bränslen som olja och gas. Källa: IEA, 2022.



Figur 9: Företagskontroll över brytning av kobolt, 2018. Källa: RMG Consulting.



majoriteten av världens största litiumgruva Greenbushes i Australien, och en stor del av Chiles största litiumproducent SQM. (IEA, 2022)

Efterfrågan på kritiska metaller leder redan till geopolitiska konflikter och rivalitet mellan stormakterna. Kina producerar majoriteten av allt germanium och nästan 100 procent av allt gallium som används i världen idag. Ett bra exempel på geopolitikens påverkan på värdekedjorna är Kinas beslut sommaren 2023 att begränsa exporten av gallium och germanium, två metaller som är kritiska för tillverkningen av de mest avancerade datorchippen. De används bland annat i träning av AI-modeller som ChatGPT. (Europeiska kommissionen, 2023)

Även om markandskoncentrationen är betydande är det omdebatterat hur stor makt länder som kontrollerar nya värdekedjor kan få och vilken förmåga de har att utöva denna makt. (Gholz & Hughes, 2021) Ofta lyfts det fram att det finns större möjligheter till substitut av metaller än av fossil energi. Skadan som uppstår vid ett leveransbortfall av metaller är lägre då avsaknaden främst påverkar utvecklingen av nya tekniker medan de befintliga tekniska lösningarna kan fortsätta att användas i samhället.

När tillgången är begränsad bidrar den ökade efterfrågan på mineral till ökad konkurrens som i sin tur kan leda till rivalitet mellan importerande länder. Strategier för att trygga den egna försörjningen, exempelvis investeringar i länder med stora tillgångar, kan uppfattas som interventioner som blockerar andra staters åtkomst och sätter marknadsmekanismen ur spel. Ett exempel är Kinas investeringar i Afrika. Teknikutveckling och behovet av vissa metaller hänger också intimt samman med den säkerhetspolitiska utvecklingen.

Utöver stater som försöker utöva inflytande på försörjningskedjor kopplas geopolitik även ihop med flera andra risker som kan orsaka leveransbortfall, däribland:

- Resursnationalism och exportrestriktioner i producentländer.
- Instabilitet i ett producentland som påverkar exporten.
- Naturkatastrofer som påverkar exporten.

(IRENA, 2023)

RESURSNATIONALISM

Resursnationalism innebär att producerande länder försöker behålla en större andel av förädlingsvärdet inom landet. Exportrestriktioner för mineral är vanligt förekommande och kan exempelvis utgöras av avgifter och kvotsystem. (OECD, 2023)

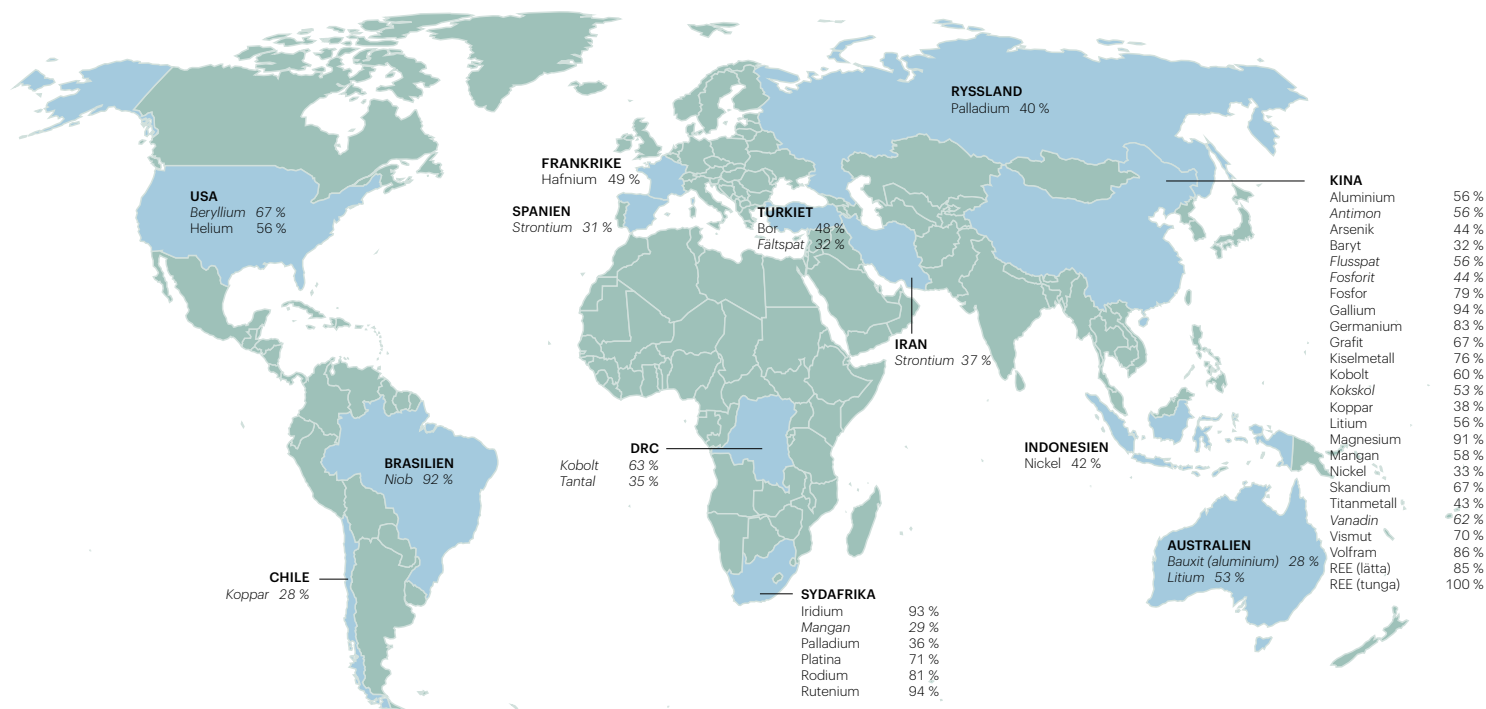
Det är dock omdebatterat i vilken utsträckning producentländerna gynnas eftersom de i flera fall saknar nödvändig kompetens och infrastruktur för andra insatsvaror till vidareförädlingen vilket leder till att investeringar i smältverk uteblir med minskade intäkter som följd. (Fliess, Idsardi, & Rossouw, 2017)

Det finns dock exempel där exportrestriktioner troligen har bidragit till att etablera inhemska industrier så som Kinas vidareförädling av sällsynta jordartsmetaller och Indonesiens industri för smältning och raffinering av nickel. På senare år har partnerskap etablerats mellan vissa länder för att båda parter ska uppleva att de gynnas, exempelvis investerar den kinesiska batteritillverkaren CATL i utvinning och vidareförädling av litium i Bolivia.

INSTABILITET OCH NATURKATASTROFER

Instabilitet och naturkatastrofer är externa händelser som kan begränsa möjligheter att utvinna och exportera mineral. Flertalet av råmaterialen som uppfattas som kritiska utvinns i huvudsak i länder som är instabila och/eller är sårbara för klimatförändringar. (Owen, 2022) Det förekommer även att flera olika intressen gör anspråk på marken där mineralen utvinns vilket också kan påverka möjligheterna till att öppna och bedriva gruvdrift.

I EU:s Critical Raw Materials Act (CRMA) återfinns ett flertal strategier, däribland ökad inhemsk självförsörjning, partnerskap med andra länder samt lagerhållning och återvinning. Utformning och implementering av dessa strategier kräver en avvägning mot andra samhällsmål. EU har exempelvis en målsättning om regional autonomi, alltså att kunna agera



Figur 10: Karta över de länder som står för den största andelen av den globala försörjningen av råvaror listade som kritiska för EU år 2023. Respektive marknadsandel av utbudet anges i procent för utvinning (*kursiv text*) och anrikning (vanlig text). Källa: Grohol & Veeh, 2023, och RMG Consulting, 2023.

självständigt gentemot andra regioner. Detta tolkas ibland som "självförsörjning" och "oberoende" vilket kan komma i konflikt med målsättningar om frihandel och ömsesidiga beroenden som konfliktförebyggande.

Metallernas värdekedjor är ofta mer komplexa än för olja

Strategiska metaller och mineral jämförs ofta med olja ur ett geopolitiskt perspektiv. Situationen är dock annorlunda och mer komplex för metaller och mineral. En del av förklaringen är de bakomliggande processer som lett till hur mineralförekomster bildats.

Olja har en i princip singulär bildningsprocess med ett mycket litet tidsfönster i den geologiska historien. Mineral däremot, har bildats under större delen av jordens historia,

från 4 miljarder år sedan fram till idag, i många aktiva geologiska miljöer, inte minst på och strax under havsbotten i vulkaniskt aktiva zoner. Eftersom de kan bildas genom ett stort antal olikartade processer i olika geologiska miljöer är de malmförande systemen också extremt olikartade. Detta, och det faktum att malmerna är diversifierade, gör det svårare att finna dem jämfört med olja och gas.

En ytterligare komplikation är avsaknaden av transparenta världsmarknadspriser för de flesta av de kritiska råvarorna. För olja och gas finns fungerade marknader där efterfrågan och utbud styr priset. Sådana finns också för flertalet av de traditionella metallerna.

För de flesta av de kritiska metallerna är situationen en annan. Där sker prissättningen istället i förhandlingar mellan köpare och säljare utan insyn från utomstående. Priserna på olika kritiska metaller är relativt oelastiska. En ökad efterfrågan leder visserligen till ett högre pris, men ofta inte till

ökad produktion. Detta beror dels på att det kan ta minst 10–15 år att öppna en ny gruva, dels på att vissa av de kritiska metallerna är biprodukter (bimetaller) till en huvudmetall. I det senare fallet är det priset på basmetallen som till stora delar styr utvinningen av bimetallerna. Se även kapitel 9 samt i ordlistan.

Vissa kritiska metaller, som de sällsynta jordartsmetallerna, har en relativt liten global marknad både volym- och värdemässigt, vilket gör att de, trots att de är kritiska, kan drabbas av prisras om den globala produktionen ökar snabbt med bara ett fåtal nya större gruvor. Det gör också att stora gruvbolag blir mindre villiga att investera i sådana projekt.

Det räcker inte med att enbart ha en producerande gruva för att säkerställa tillgången till metaller och mineral. Det är också nödvändigt att ha tillgång till de olika förädlingsprocesser i smältverk och raffinaderier som krävs för att framställa den rena metallen och i förlängningen även kritiska halvfabrikat som exempelvis batterier eller magneter. Anledningen är att dessa processindustrier är mycket kapitalintensiva och kräver särskild kompetens.

Den gröna omställningen leder till ökat beroende av såväl olika kritiska råmaterial som de värdekedjor där dessa förädlas. Detta kan påverka geopolitiken till att i större utsträckning handla om att utöva inflytande över, inte bara de tidiga stegen i värdekedjan, utan även förädlingen. (Emanuel Hache, 2018)

Kinas dominerande ställning

Ur ett globalt perspektiv dominerar Kina förädlingsstegen för framställning av flera kritiska metaller och mineral. De dominerar också hela försörjningskedjan för sällsynta jordartsmetaller (REE, Rare Earth Elements), både vad avser primär utvinning och förädling till rena metaller och mellanprodukter. I diagrammet i Figur 11 visas hur kinesiska företags kontroll över produktionen av kobolt, litium och sällsynta jordartsmetaller har ökat väsentligt mellan åren 1985 och 2018 jämfört med företag från andra regioner.

Kina och Australien är världens två största, ungefär likvärdiga, gruvländer rankade efter värdet på produktionen

exklusive kol, olja och gas. Kina står för ungefär hälften av världens totala användning av de flesta metaller och mineral. Kina måste dock importera stora mängder basmetaller som koppar, liksom järnmalm och bauxit, till totala volymer och värden som vida överstiger de strategiska metallernas. Bara den kinesiska järnmalsimporten 2022 uppgick till 1 100 miljoner ton, vilket motsvarar 70 procent av världens totala import. Importen av koppar och nickel är också betydande.

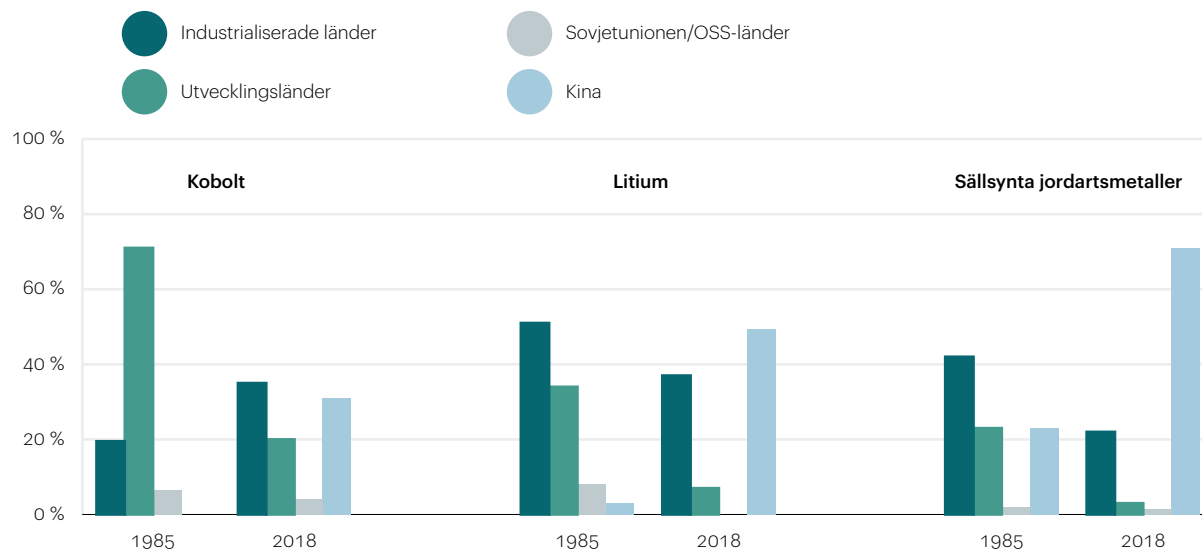
I en internationell jämförelse består Kinas gruvindustri till stora delar av relativt små gruvor och gruvföretag. Det har historiska och geologiska orsaker. Fram till revolutionen 1949 var Kina ett jordbruksland. Gruvindustrin bestod enbart av småskaliga gruvor med manuell drift där man huvudsakligen bröt kol. I och med den snabba ekonomiska utvecklingen kom en mekaniserad gruvindustri i gång men fortfarande är branschen uppdelad på många små enheter. Det har också geologiska orsaker. Många kinesiska gruvor bryter malmer och malmtyper som sällan bildar större volymer, vilket påminner om den tidiga gruvdriften i exempelvis Centraleuropa.

Den genomsnittliga kinesiska järnmalsgruvan producerar runt 100 000 ton per år. Det finns i landet cirka 3 000 gruvor med stor spridning i storlek men inga riktigt stora. Som jämförelse är den svenska produktionen från Kiruna och Malmberget vardera i storleksordningen 10–15 miljoner ton, medan Kaunis, som betraktas som en liten gruva i världsskala, når runt 2 miljoner ton. Det finns inget kinesiskt bolag bland de tio största i världen, även om man räknar med bolagens produktion utanför Kina.

Kinas expansion med förvärv av gruvor över hela världen, inte minst i Afrika, har rönt stor uppmärksamhet. Men trots en aggressiv strategi kontrollerar kinesiska gruvbolag utanför Kina bara runt tre procent av det totala värdet av all gruvproduktion i världen. De tio största icke-kinesiska bolagen kontrollerar tillsammans betydligt mer, mellan 25 och 30 procent. Kinas inflytande över den globala gruvindustrin ska alltså inte överdrivas. Men även om takten i utlandsexpansionen ser ut att ha minskat under de senaste fem åren kommer inflytandet troligtvis att öka då Kina förväntas fortsätta med sina ansträngningar att minska importberoendet. (Ericsson, Löf, & Löf, 2020)

Kinas dominans över kritiska metaller är inte given. 2010 inträffade en gränsdispyt mellan Kina och Japan. Kina

Figur 11: Kinas kontroll över tillgångarna på kritiska metaller har ökat de senaste 30 åren. Procentuell andel av global produktion av kobolt, litium och sällsynta jordartsmetaller. Källa: RMG Consulting, Presentation at the conference: Mineral deposits as a basis for raw materials safety, Kraków, 10 maj 2022.



minskade exporten av sällsynta jordartsmetaller till landet, något som Japan och flertalet andra länder tolkade som att Kina använde exportbegränsning som ett verktyg för att påverka Japan. Kina själva hävdar att man reglerar exporten av sällsynta jordartsmetaller i syfte att främja den inhemska industrin och minska miljöpåverkan. När begränsningarna infördes steg priserna kraftigt, men under åren som följde sjönk de igen. I takt med att utvinningen ökade i andra länder hade Kinas andel av den globala utvinningen ett årtionde senare minskat. Japan sjösatte även ett flertal strategier för att minska sin sårbarhet såsom material-effektivisering och utveckling av tekniker som inte använde sällsynta jordartsmetaller. Japan lagerhåller även vissa kritiska material för att säkra den högteknologiska industrins behov vid tillfälliga importbegränsningar. Under 2023 har Kina infört exportrestriktioner för gallium och germanium samt för teknik för separering av sällsynta jordartsmetaller.

Kinas dominerande roll inom kritiska råmaterial är mångfacetterad. Som framgår i Figur 10, har landet en dominerande ställning när det gäller förädling av många metaller och mineral. Detta kan inte direkt översättas till att landet

kan omsätta och använda det som ett effektivt förhandlingsvapen. Även i fallet med Japan, där landet hade en betydande sårbarhet, är det tveksamt om Kina vann något på kort sikt av att begränsa exporten. På längre sikt tappade de sin dominerande ställning i utvinningssteget.

Ny lagstiftning och statligt stöd i andra länder

Lagstiftning och statligt stöd för nationella värdekedjor för kritiska råmaterial utanför EU, såsom Inflation Reduction Act (IRA) i USA, anses generellt ha liten påverkan på Europas makroekonomi. Men det har redan blivit tydligt att andra regioner kan locka till sig stora investeringar som ursprungligen var avsedda för Europa från företag baserade i EU. (Automotive News Europe, 2023) (Electrek, 2023) (CNBC, 2023)

Nedan redovisas ett urval av de viktigaste nya lagstiftningarna och statliga åtgärderna med betydande inverkan på

gruv- och kritiska mineralindustrier över hela världen under de senaste 2–3 åren. Till dessa ska läggas Kinas kontinuerliga fokus på att stödja och förstärka sina inhemska råmaterialindustrier och försäkra sig om tillgång till kritiska råmaterial från andra länder.

USA: Inflation Reduction Act (IRA)

IRA undertecknades i augusti 2022 och är den största åtgärd som någonsin vidtagits av kongressen och den amerikanska regeringen för att bekämpa klimatförändringen. Den ger miljarder i skatteincitament för förnybar energi och syftar till att öka den inhemska tillgången till mineraler för att stödja övergången till förnybar energi, elfordon och batterier.

IRA stimulerar inhemsk mineralproduktion genom skattelättnader för fossilfria fordon och avdrag för avancerade tillverkningsprocesser. Lagen anslår upp till 500 miljoner dollar till "förbättrad användning" av Defense Production Act (DPA) för att stärka den amerikanska leveranskedjan för kritiska mineraler. Trots dessa bestämmelser utmanas ut-

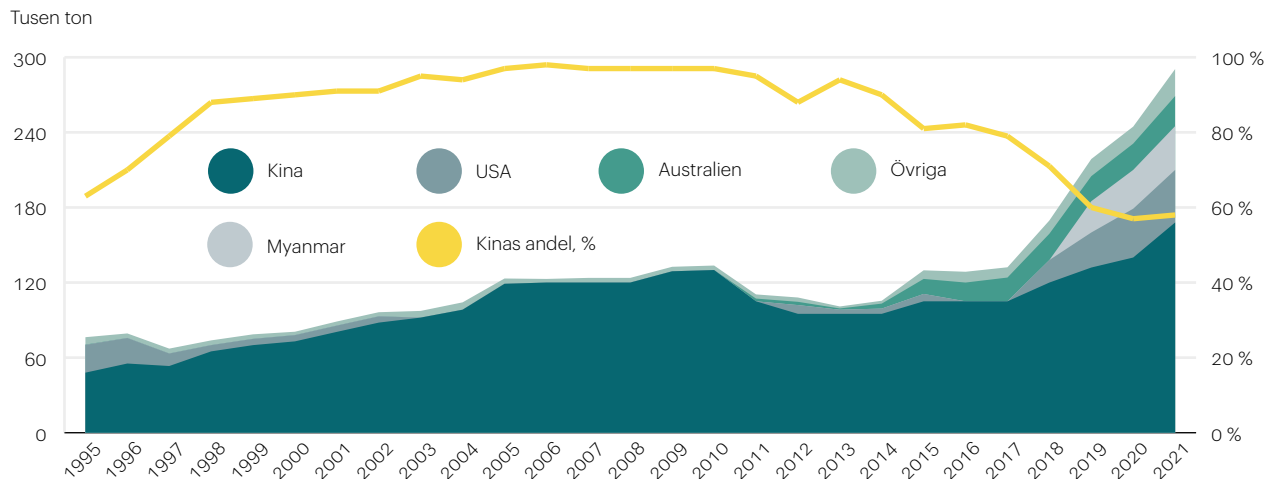
vecklingen mot användningen av inhemska källor för kritiska mineraler av den väletablerade asiatiska leveranskedjan och det faktum att det tar lång tid att utveckla nya gruvor i USA.

EU: Critical Raw Materials Act (CRMA)

CRMA, som offentliggjordes i mars 2023, ska främja industriell hållbarhet, EU:s strategiska oberoende och motståndskraften i dess värdekedjor. Syftet är att säkerställa en säker och hållbar försörjning av råvaror av avgörande betydelse för EU:s industri och avsevärt minska EU:s beroende av import från leverantörer i enskilda länder utanför unionen.

I CRMA fastställs en förteckning över strategiska råvaror av avgörande betydelse för teknologier kopplade till den gröna omställningen, digitalisering samt försvar. I förordningen fastställs även riktmärken för inhemsk kapacitet för olika delar av den strategiska leveranskedjan för råvaror som ska uppnås senast år 2030. För de strategiska råvarorna som konsumeras inom EU är målsättningen att 10 procent ska brytas, och 40 procent processas, inom unionen. Mål-

Figur 12: Kinas andel av utvinning och produktion av sällsynta jordartsmetaller gick ned efter en gränsdispyt med Japan 2010 som fick globala konsekvenser. Källa: Rizos & Righetti, 2022.



sättningen är därutöver att EU:s återvinningskapacitet ska täcka 25 procent av konsumtionen samt att maximalt 65 procent av varje strategiskt råmaterial importeras från ett enskilt land. Förslaget inkluderar åtgärder som nationella program för grundläggande geologisk kartläggning och möjligheten att ansöka om att bli ett så kallat strategiskt projekt med tidsreglerade tillståndprocesser. I skrivande stund pågår en lingvistisk och juridisk granskning av förslaget som ska börja gälla 2024.

Australien: Statligt stöd och finansiering av kritiska mineraler

Australien är tillsammans med Kina det mest betydelsefulla gruvlandet i världen. Australien är det enda industrilandet bland de tio länder i världen där gruvindustrin är den största industrisektorn och därmed viktigast för landets ekonomiska utveckling. Prospekteringen i landet är livaktig och borrar för en fortsatt betydande gruvproduktion.

Det finns också många australiensiska så kallade juniorbolag² som är aktiva över hela världen, inte minst i Sydostasien, Afrika och Latinamerika. Både på delstats- och federal nivå ser australiensiska politiker den kommande efterfrågeökningen på metaller och mineral som en möjlighet att leverera många av de råvaror som behövs. Dessutom ser de möjligheten att fortsätta landets ekonomiska utveckling byggd på både gruvproduktion och ökad vidareförädling. Stora program har startats med syfte att skaffa ytterligare geologisk kunskap för att öka förståelsen för branschens möjligheter och problem.

Den australiska regeringen tillkännagav den 25 oktober 2023 en ökning av statsbudgeten på 2 miljarder dollar för finansiering av produktion av kritiska mineral. Regeringens investeringar i australiska resurser ökar därmed till 6 miljarder dollar och förväntas befästa Australiens position som en världsledande leverantör av kritiska mineral. Finansie-

ringen kommer att fördubbla kapaciteten hos Australiens Critical Minerals Facility att finansiera australiensiska gruv- och bearbetningsprojekt för kritiska mineral.

Kanada: Federal strategi för kritiska mineraler och intervention mot kinesiskt ägarskap i kritiska litiumprojekt

Kanada har, liksom Australien, ökat sin gruvproduktion kraftigt sedan 1960-talet. Gruvindustrin är inte lika betydande som i Australien men landet är ändå ett av världens ledande. De kanadensiska börserna i Toronto och Vancouver är världens finansiella centrum för mindre och medelstora gruvbolag. Kanadensiska juniorbolag är aktiva i framför allt Latinamerika men också i andra delar av världen som Afrika. Liksom i Australien styrs gruvnäringen i Kanada på delstatsnivå. Flera stater har en modern lagstiftning som anses attraktiv för investerare.

I december 2022 släppte premiärminister Trudeau's regering en federal strategi för kritiska mineral, The Canadian Critical Minerals Strategy. Strategin kräver bland annat att tillsynsbeslut för gruvprojekt ska påskyndas.

Efter införandet av strängare regler för utländska investeringar i den kritiska mineralsektorn beordrade den kanadensiska regeringen i november 2022 tre kinesiska företag att avyttra sina tillgångar i litiumföretag i landet. De företag som påverkades var Sinomine (Hongkong), Rare Metals Resources, Chengze Lithium International och Zangge Mining Investment (Chengdu) som alla var tvungna att avyttra sina investeringar i Power Metals, Lithium Chile respektive Ultra Lithium – tre så kallade juniorbolag som prospekterar för litiumfynd i Kanada.

Beslutet fattades enligt Investment Canada Act (ICA), som granskar utländska investeringar ur ett nationellt säkerhetsperspektiv. Åtgärden var en del av en bredare strategi från

2 Juniorbolag har oftast inga inkomster från egna gruvor, utan bedriver prospektering med hjälp av riskkapital.



den kanadensiska regeringen för att begränsa utländska statsägda företags inblandning i branschen. Beslutet har dock väckt oro. Robert Friedland, grundaren av Ivanhoe Mines Ltd., ett av Kanadas största gruvbolag, sa att Kanadas tillslag mot kinesiska investeringar i kritiska mineraler skulle göra det svårare för den kanadensiska gruvbranschen att producera de metaller som behövs för den globala energiomställningen genom att på lång sikt kväva en viktig källa till riskkapital för juniorbolagen.

Nya samarbeten med mineralrika länder krävs för att klara försörjningen av metaller och mineral

Europa kan inte längre förlita sig på en fungerande global handel för att tillgodose sina behov. För att minska sårbarheten i leveranskedjorna bör vi ingå nya strategiska sam-

arbeten med länder som antingen har mineraltillgångar, förädlingsprocesser eller tillverkning av strategiska komponenter.

Sverige är redan en stor exportör av metaller och mineral inom EU men kan ändå ha mycket att lära av gruvländerna Kanada och Australien. Deras förutsättningar och utmaningar liknar Sveriges, men de har andra strategier för sin försörjning och roll på marknaden.

I Afrika finns betydande tillgångar på metaller och mineral. Afrikanska initiativ som den planerade ekonomiska zonen för batteriråvaror och komponenter, ett samarbete mellan Zambia, Demokratiska republiken Kongo och den Afrikanska Unionen, förtjänar svenskt och europeiskt stöd. Sverige och Europa bör utöka samarbetet med afrikanska länder av flera skäl: säkra tillgången till kritiska metaller och mineral, stärka dessa länders ekonomi och bidra till en mer hållbar gruvbrytning globalt.



8. Gruvlandet Sverige

»Sveriges industriella
utveckling bygger på
våra naturtillgångar,
ingenjörskonst, forskning och
framgångsrikt företagande.«

Sverige har en lång och rik historia av gruvbrytning och är idag ett av de viktigaste och största gruvländerna i Europa, både vad gäller produktion och teknologi. Inte minst den långa traditionen av att kontinuerligt utveckla teknik och vetenskap kring gruvorna och prospekteringen efter malmer har lett till en stark och innovativ svensk industri, något som ofta benämns som "det svenska gruvklustret", se nedan.

I Sverige bryts och produceras järnmalm och basmetallerna koppar, bly, zink samt ädelmetallerna guld och silver. Sverige står för 92 procent av järnmalmproduktionen inom EU och är en av världens största producenter av högvärdig järnmalm. (SGU, 2023) I Figur 14 visas Sveriges andel av EU27:s produktion av metallerna koppar, bly, zink, järn, guld och silver.

Den mineralrika berggrunden i Sverige innehåller fler metaller som nu efterfrågas i allt större utsträckning. I vissa fall ligger de i samma malmkroppar som de metaller som redan bryts, vilket innebär att de hamnar i gruvavfallet eller säljs vidare för utvinning i något annat land. Alternativt ligger de i andra fyndigheter på platser där det idag inte finns några aktiva gruvor.

Kartan i Figur 16 visar exempel på områden med potential för nya fynd av kritiska metaller och mineral. Kunskapen om vad som finns i den svenska berggrunden är begränsad eftersom vi hittills främst letat efter järnmalm och basmetaller, och våra verktyg är anpassade efter dessa förekomster.

Figur 13: Sveriges gruvor och mineraliseringar 2022.
Källa: Bergverksstatistik 2022, SGU 2023:1.

GRUVA I DRIFT

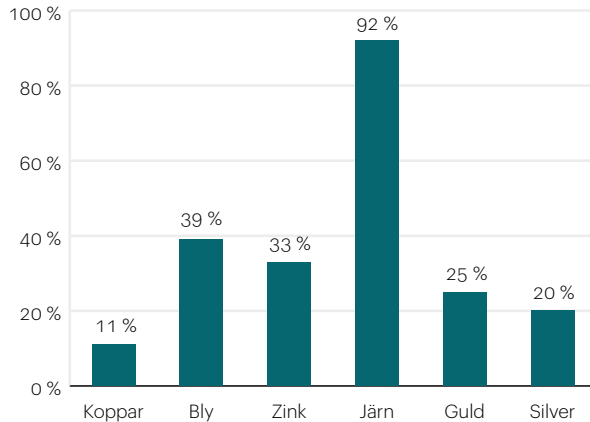
- Järnoxid
- Sulfid
- Ädelmetall

TYP AV MINERALISERING

- Järnoxid
- Annan oxid
- Sulfid
- Ädelmetall



Figur 14: Sveriges andel av EU27:s produktion av metallerna koppar, bly, zink, järn, guld och silver.
Källa: Bergverksstatistik 2022, SGU 2023:1.



Traditionellt har järnmalmer, tillsammans med basmetallmalmer som koppar, bly och zink samt en mindre produktion av ädelmetaller (guld och silver), varit viktigast inom svensk gruvindustri. Dessa är fortfarande i fokus för både prospektering och brytning, men i och med starten av brytning av Bolidens guld-tellurgruva Kankberg är Sverige idag också en viktig internationell producent av halvmetallen tellur som är viktig bland annat för högeffektiva solceller. Så sent som 2020 var Sverige den tredje största producenten av tellur i världen efter Kina och Japan. EU:s enda grafitgruva, i Voxna i Hälsingland, var i drift några år men stängdes på grund av dålig lönsamhet 2016. I Vittangi planeras för en ny grafitgruva.

Det svenska gruvklustret

Sveriges industriella utveckling bygger på våra naturtillgångar, ingenjörskonst, forskning och framgångsrikt företagande. Den svenska basindustrin förädlar skogen och malmen med hjälp av ett nästan fossilfritt elsystem där vattenkraften är avgörande för en väl fungerande elförsörjning. Basindustrin ligger i framkant och är globalt konkurrenskraftig genom en hög teknologisk nivå. Företagen är professionella beställare av utrustning från den svenska

verkstadsindustrin som i sin tur utmanas att ligga i framkant och därmed blir starkare i den globala konkurrensen. Denna symbios utgör grunden för det svenska gruvklustret.

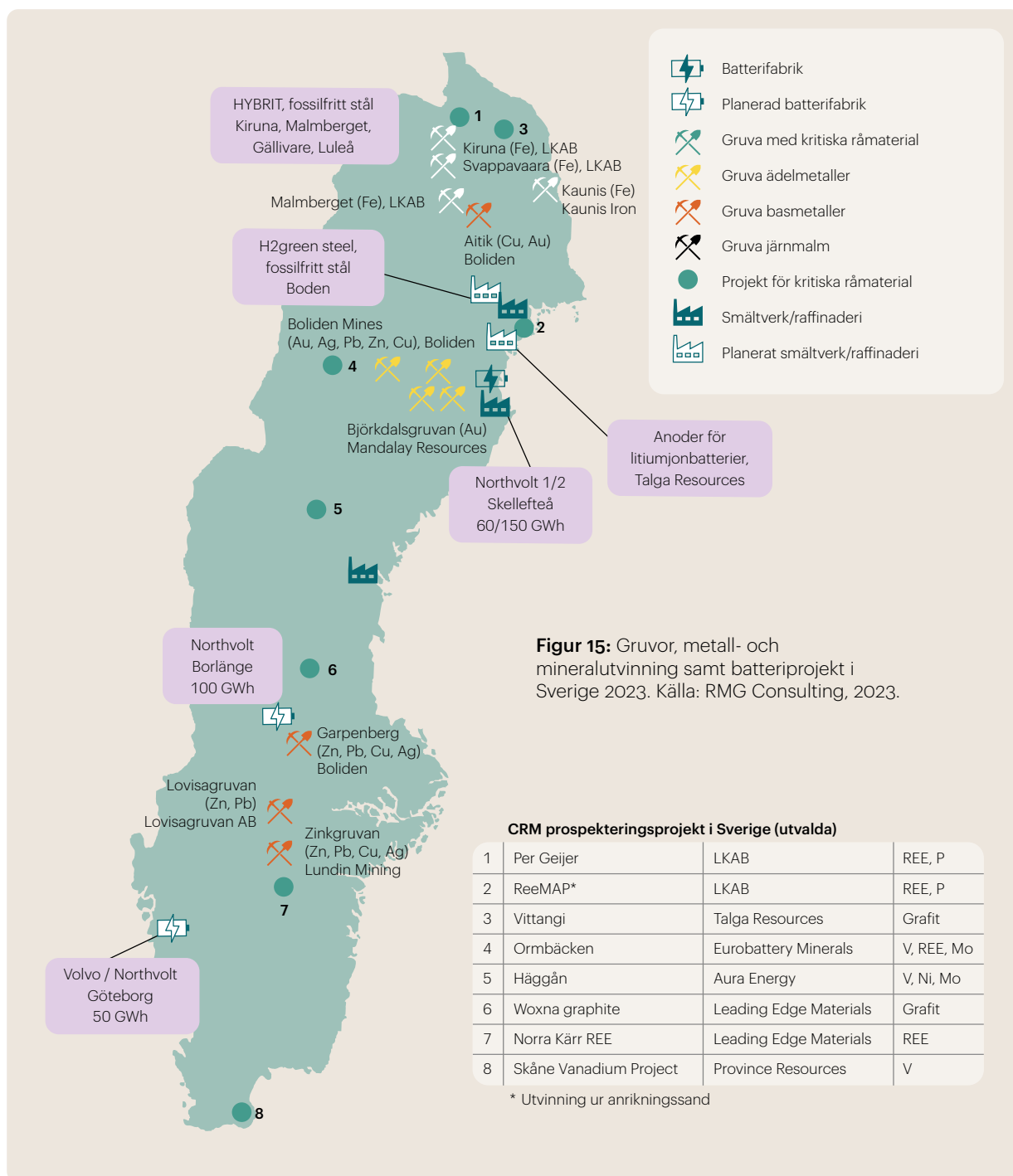
Det svenska gruvklustret består av gruvsektorn, leverantörer av gruvutrustning, industrier som producerar insatsvaror till gruvindustrin, konsulter samt forsknings- och utvecklingsresurser vid universitet och företag. Nedströms i värdekedjan återfinns stål- och metallindustrier som förädlar insatsvaror från gruvsektorn. Det svenska gruvklustret står för 3 procent av BNP, 8 procent av Sveriges export och uppskattningsvis mellan 100 000 och 125 000 årsarbeten. Störst regional betydelse för ekonomin har det i Norrbotten och Västerbotten. (Copenhagen Economics, 2021)

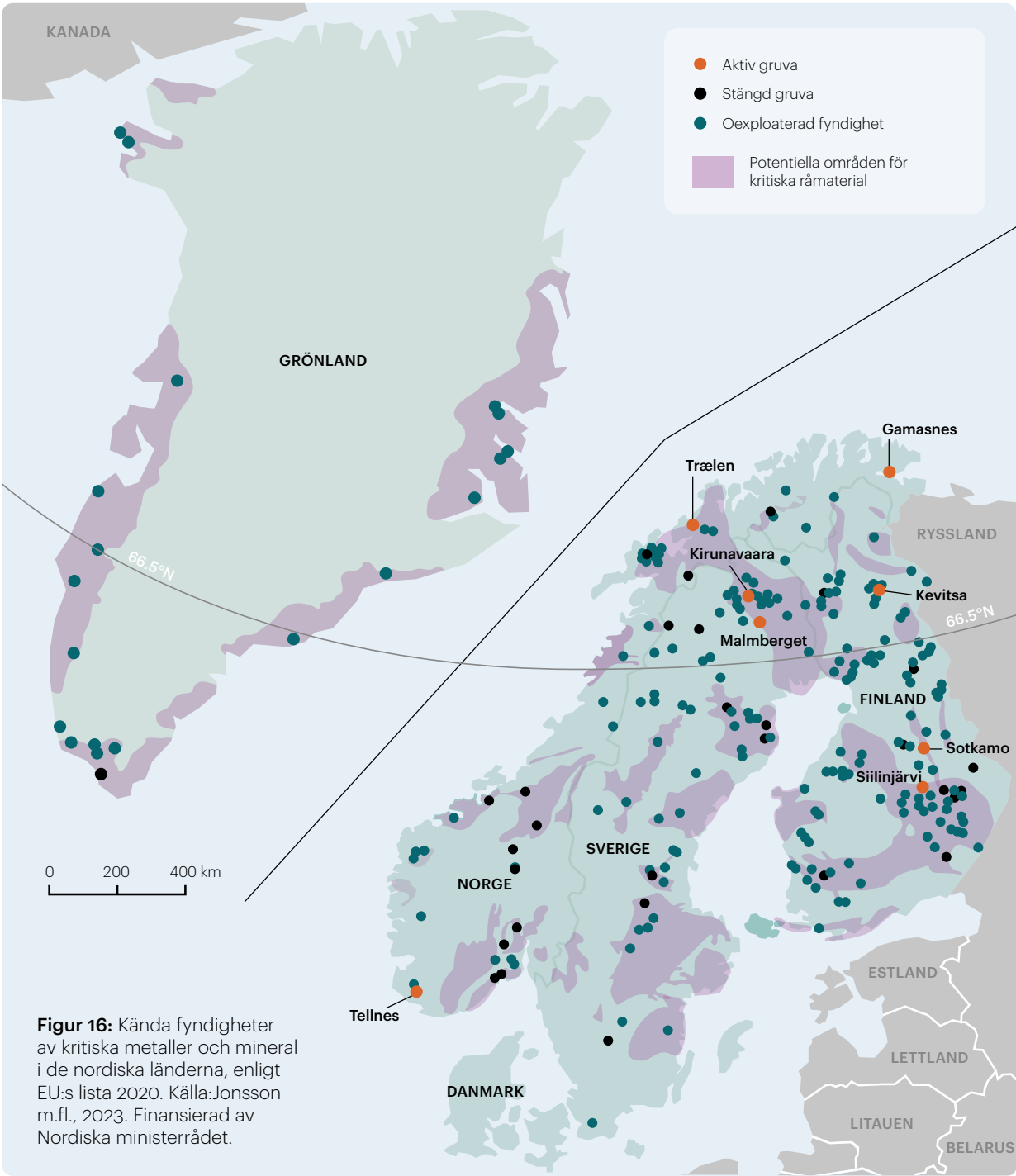
Den svenska gruvindustrin omfattar ett större ekosystem av högspecialiserade företag som ABB, Epiroc, Sandvik, Volvo, Scania och SSAB vilka är världsledande inom sina verksamhetsområden. Det ömsesidiga beroendet mellan gruvorna och maskintillverkarna har varit och förblir mycket viktigt. Nya högteknologiska bolag växer fram och kommer att bidra till en fortsatt framgångsrik utveckling inom gruvklustret, exempelvis Minalyze, Oryx Simulations, Mobilaris och OreExplore. Bolag som Northvolt bidrar indirekt genom att öka efterfrågan på batterimetaller och därmed även ny teknik för utvinning och återvinning av dessa. Se Figur 21.

Prospektering i Sverige

Prospektering efter malmer och mineral har liksom brytningen mycket gamla anor. Fram till 1800-talet byggde de flesta malmfynd på att man hittade malm i yttligt berg, "fast klyft". Senare har man med alltmer sofistikerade metoder utvecklat kombinationer av framför allt geologi, geofysik, geokemi och bergborrningsteknik, för att hitta dolda fyndigheter under jordtäcket och djupare ner i berget, som man inte kommit i närheten av tidigare.

Prospektering utförs både av de få stora svenska bolagen och mindre bolag, både svenska och utländska. Prospekteringen har främst varit inriktad mot traditionella bas-, järn- och ädelmetaller. På senare tid, till följd av större insikter om att vi behöver andra, oftast kritiska, metaller och mineral har





också prospekteringen efter dessa tilltagit. Pågående prospekterings- och gruvprojekt med sådan inriktning i Sverige omfattar framför allt sällsynta jordartsmetaller, grafit, flusspat, fosfor, vanadin och litium.

I Sverige står gruvbolagen LKAB och Boliden tillsammans för 78 procent av prospekteringsinvesteringarna. Nära 85 procent av prospekteringen utfördes av bolag som driver aktiva gruvor i Sverige. (SGU, 2023) Huvuddelen av dessa bolags investeringar utgörs av så kallad gruvnära prospektering, det vill säga inom eller nära befintlig gruvverksamhet. Övrig prospektering i Sverige utförs av juniorbolag. Dessa bolag har oftast inga inkomster från egna gruvor, utan finansieras av riskkapital. Sverige röner även intresse som prospekteringsmål från de största globala gruvjättarna. Nya prospekteringsaktörer är viktiga för inflödet av nya idéer, tekniker och arbetssätt till svensk prospektering

Trots behovet av kritiska och strategiska metaller och mineral går huvuddelen av prospekteringsinvesteringar till metaller som koppar och guld. Det gäller inte bara i Sverige, utan även globalt. (S&P, 2023) Vid slutet av 2022 var antalet gällande undersökningstillstånd i Sverige 640 stycken. De giltiga tillstånden gäller 40 olika metaller och mineral. De flesta undersökningstillstånd leder dock inte till gruvverksamhet. Globalt leder 1 av 1000 undersökningstillstånd till öppnande av en gruva.

Europa har svårt att locka till sig prospekteringsinvesteringar. Huvuddelen av dessa kanaliseras till Nord- och Sydamerika samt Australien. Endast cirka tre procent av prospekteringsinvesteringarna (exklusive järnmalm) når Europa, se Figur 18. (Ericsson, 2023) Orsaken är komplicerade tillståndprocesser i kombination med en okunskap om den geologiska potentialen. Huvuddelen av prospekteringsinvesteringarna i Europa går till projekt i Sverige och Finland.

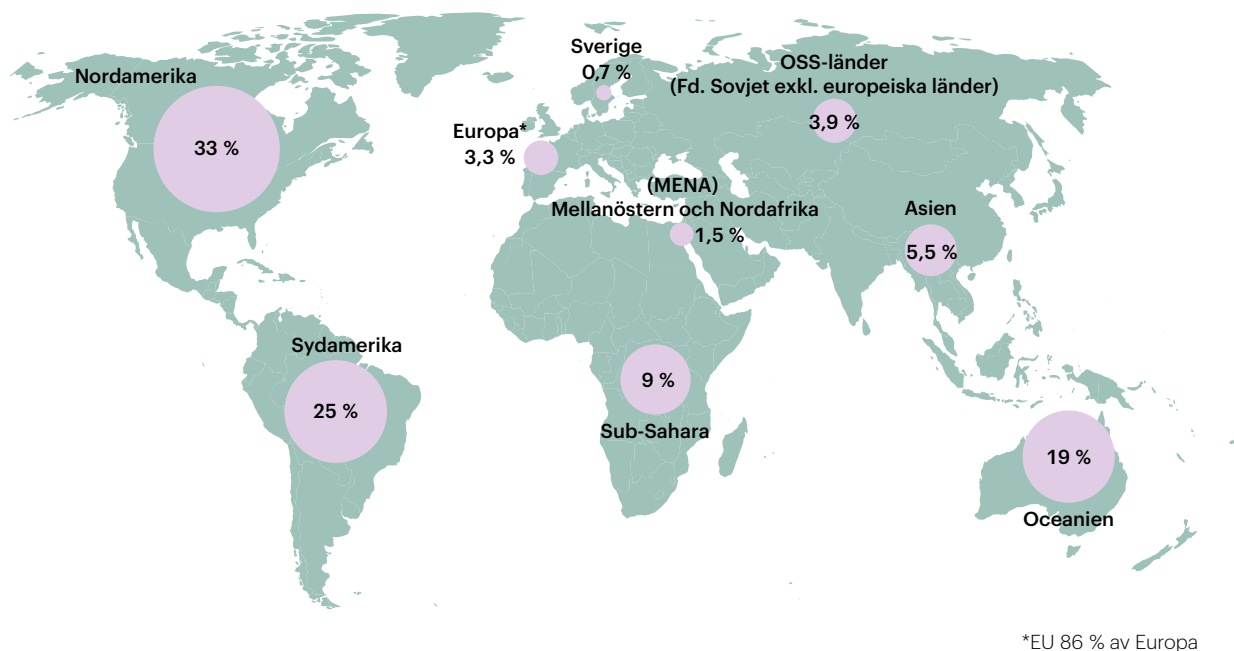
För juniorbolag är tillgång till kapital ofta en begränsande faktor för att utveckla nya fyndigheter. Många juniorbolag förlitar sig på riskkapital i olika former för att bedriva sin verksamhet och blir därför ytterst beroende av konjunkturen, metallpriser och klimatet för riskinvesteringar på olika kapitalmarknader. För att stimulera prospektering utanför de stora gruvbolagen och påverka inriktningen av prospekteringen mot strategiska metaller bör man i Sverige överväga någon form av



Figur 17: Ett intressant och lovande projekt för eventuell framtida brytning av mineral rika på sällsynta jordartsmetaller är det i Norra Kärr, öster om Vättern. Här en bild på en del av den mineraliserande bergarten i håll, med rikliga rödaktiga kristaller och aggregat av mineral ur eudialytgruppen, vilka är det centrala malmmineralet i denna fyndighet. Lupporna som skala, den största 4 cm lång. Foto: Erik Jonsson.

statliga insatser för prospektering på samma sätt som redan sker i Finland och Japan. Liknande initiativ har även funnits i Sverige tidigare, på 1960- och 70-talen.

Det finns idag prospekteringsprojekt av kritiska råvaror som kommit långt i tillståndprocesser inför gruvetablering. Det gäller bland annat grafitfyndigheten i Vittangi i Norrbotten. Även förekomsten av sällsynta jordartsmetaller har påvisats på ett flertal platser, exempelvis i Norra Kärr öster om Vättern. LKAB avser även att utvinna sällsynta jordartsmetaller



Figur 18: Fördelning av investeringar i prospektering i världen 2022. Siffrorna inkluderar inte järnmalmsprospektering. Om denna inkluderas växer Sveriges andel av totalen till cirka 1,2 procent. Totalt inklusive järnmalm investerades drygt 14 miljarder US-dollar 2022, vilket var en ökning med 16 procent jämfört med 2021. Källa: S&P Global.

och fosfor som biprodukt till nuvarande järnmalmsproduktion och har även påvisat en ny fyndighet, Per Geijer-fyndigheten, för eventuell framtida brytning i det fall tillstånd ges.

Problem med bristande kunskap om de kritiska metallerna och mineralen, deras förekomster och bildningsprocesser samt ett flertal metalls värde mineral och allmänna geologiska positioner gör dock att det är långt kvar innan vi realiserat den fulla potentialen för dem i svensk berggrund.

Malmgeologi och prospektering är innovation

Prospektering är en värdekedja som behöver utvecklas. Den bygger på vetenskap och grundforskning inom geo-

vetenskap och geofysik. För att hantera det nya behovet av metaller behöver vi utveckla kompetens och innovation inom prospekteringsmetodik i Sverige, exempelvis användning av avancerad geofysisk teknik på flygplan, helikoptrar, drönare och vid borrhäns scanning.

Integrerad kunskap om berggrundsgeologi, mineralogi och geofysik är avgörande för framgångsrik prospektering. Att utveckla teorier och modeller för bildning av malmer är också viktigt för att kunna förutse var förekomsterna finns samt deras utbredning. Bristen på tillräcklig forskning inom malmgeologi och malmmineralogi är ett problem i Sverige. Fokus behöver utvidgas till kritiska metall- och mineralförande system och den problematik som kommer med lägre metallinnehåll.

Kompetenstapp och minskad kartering utgör hot mot prospektering

Regionalgeologiska kunskaper är nödvändiga för utbildning av framtida geologer, geologisk kartering³ och forskning om svenska mineralförekomster. Aktuell och uppdaterad geologisk information är avgörande för meningsfull prospektering. Kartor och data har också begränsad hållbarhet och behöver regelbundet uppdateras med hjälp av ny teknik.

Idag minskar kompetensen inom svensk geologi vid universiteten, vilket hotar geoutbildningen och verksamheter som behöver denna kompetens, särskilt inom prospektering och kartering. Situationen är akut då allt färre forskare och lärare ägnar sig åt svensk geologi. Dessutom lider den statliga myndigheten Sveriges geologiska undersökning (SGU) av kompetenstapp inom regional geologi och bedriver betydligt mindre geologisk kartering än tidigare.

Sveriges gruvor

I Sverige finns tolv aktiva metallgruvor, se Tabell 1. I fem av dessa bryts järnmalm, i övriga basmetaller samt ädelmetallerna guld och silver. Förutom koppar bryts inga kritiska metaller eller mineral på EU:s lista i Sverige idag. Utöver metallgruvorna finns även knappt 30 svenska gruvor som producerar industrimineral.⁴

De nuvarande tolv metallgruvorna kan jämföras med de 260 metallgruvor som fanns i Sverige vid slutet av första världskriget, se Figur 19. Trots att antalet gruvor minskat kraftigt sedan mitten av förra seklet har produktionen mer än fördubblats, från cirka 20 miljoner ton malm (järn- och icke-järnmalm) 1953 till dagens närmare 90 miljoner ton. (SGU, 2023)

Det är främst dagbrottet i Aitik som dubblat sin produktion, men också underjordsgruvorna i Kiruna och Malmberget har

Tabell 1: Sveriges tolv aktiva gruvor 2022.
Källa: Bergverksstatistik 2022, SGU, 2023.

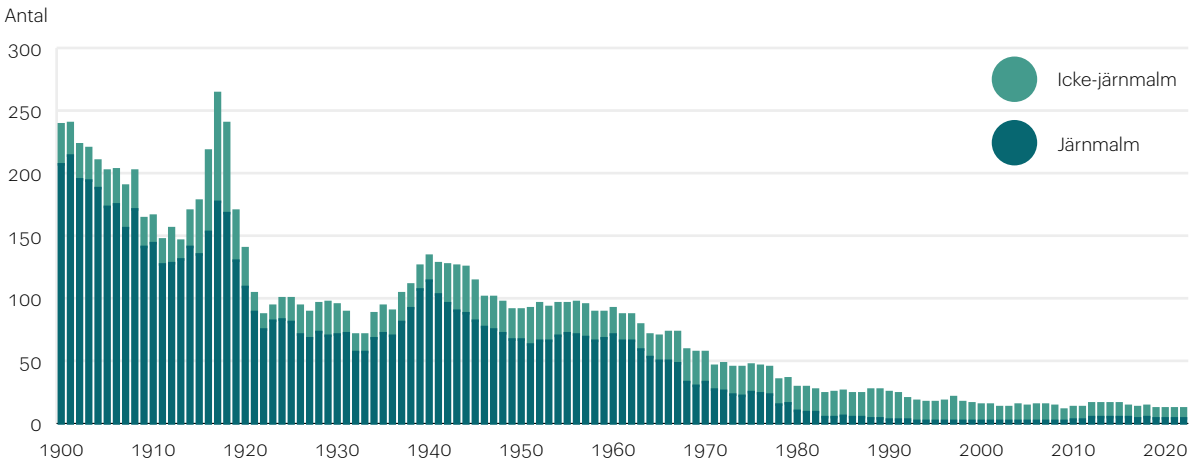
Bolag	Gruva	Malm/metall
LKAB	Malmberget	Järnmalm
	Kiirunavaara	Järnmalm
	Svappavaara	Järnmalm
Kaunis Iron	Tapuli	Järnmalm
Lundin Mining	Zinkgruvan	Zink, bly, koppar, silver
Lovisagruvan	Lovisagruvan	Zink, bly, silver
Boliden Mineral	Garpenberg	Zink, bly, koppar, silver, guld
	Kristineberg	Koppar, bly, zink, silver
	Renström	Koppar, bly, zink, silver
	Kankberg	Guld, tellur
	Aitik	Koppar, guld
Mandalay Resources	Björkdal	Guld

expanderat. Gemensamt för alla svenska gruvor är deras höga produktivitet även i global skala, vare sig de är mycket stora, som de redan nämnda, relativt små, som gruvorna i Skelleftefältet, eller riktigt små, som Lovisagruvan i Bergslagen, se Figur 13. De flesta gruvorna har varit verksamma länge, ofta i många decennier. Gruvan i Garpenberg var verksam redan på medeltiden, Zinkgruvan och järnmalmsgruvan i Malmberget kom i gång under 1800-talet och Kirunagruvan startades under 1900-talets första år. Alla gruvor har historiskt kopplats ihop med vidareförädling i stålverk eller basmetallsmältverk och raffinaderier. Denna koppling har alltid utgjort en konkurrensfördel även om export/import av malm också förekommer när så är lönsamt. Den senare tidens produktionsökning beror på en storskalig och kostnadseffektiv brytning med nya, mer produktiva maskiner både i dagbrott och i underjordsgruvor.

3 Insamling av data som kan ligga till grund för framställning av kartor.

4 Exempelvis grafit, kvarts och kalk.

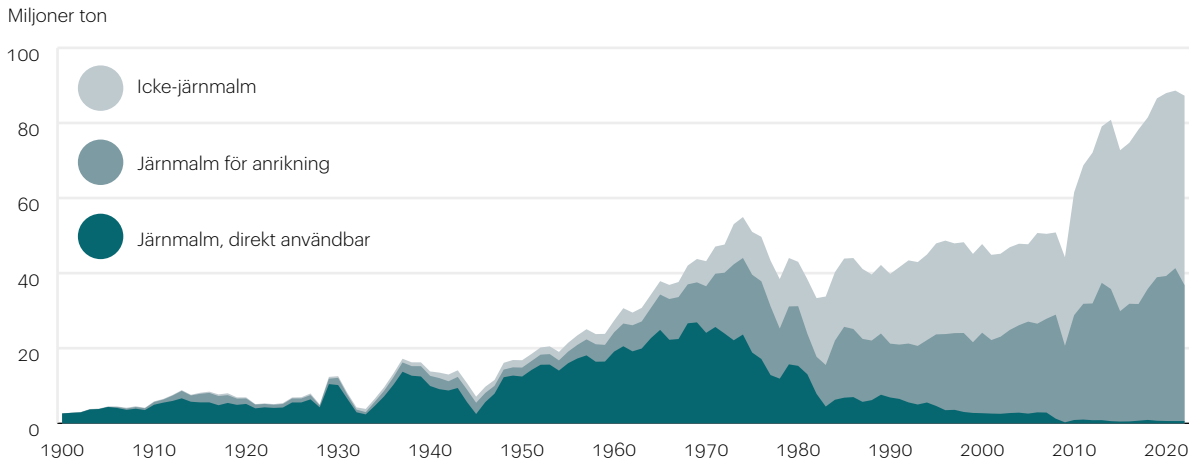
Figur 19: Antal gruvor i drift i Sverige 1900–2022, uppdelat på järnmalmgruvor och icke-järnmalmgruvor.
Källa: SGU:s Bergverksstatistik 2023.



Gruvor i produktion 2022

Icke-järnmalm = 8
Järnmalm = 4

Figur 20: Malmproduktionen i Sverige år 1900–2022, fördelat på järnmalm och icke-järnmalm.
Källa: Bergverksstatistik 2022, SGU 2023:1.



Gruvor i produktion 2022

Icke-järnmalm = 50,5 Mton
Järnmalm för anrikning = 36,2 Mton
Järnmalm direkt användbar = 0,6 Mton
Totalt = 87,3 Mton

Smältverk i Sverige

I Sverige finns det flera verksamma stålproducenter som förädlar järnmalmsprodukter till järn- och stålprodukter, till exempel Höganäs, SSAB, Outokumpu, Alleima och Ovako. Legeringsmetaller importeras ofta från andra länder. Ett undantag är det turkiskt ägda smältverket Vargön Alloys i Trollhättan som producerar ferrokrom av importerat kromitkoncentrat.

Utöver järnverken och ferrokromverket finns det bara två primärs smältverk i Sverige; det Bolidenägda Rönnskärsverket i Västerbotten och aluminiumsmältverket Kubal i Sundsvall som ingår i den ryske oligarken Oleg Deripaskas världsledande aluminiumkoncern Rusal. I Landskrona ligger det stora sekundärblysmältverket Boliden Bergsöe som är Nordens enda producent av återvunnet bly från traditionella bilbatterier.

Vid Rönnskär produceras framför allt koppar, men även guld, silver, bly, zink och svavelsyra, ur malmkoncentrat från såväl egna som andra aktörers gruvor och anrikningsverk. Rönnskärsverket är också en av världens ledande industrier för återvinning av metaller ur elektronikskrot. Under 2021 invigdes också ett hydrometallurgiskt verk som ett led i att tillvarata mer av metallerna från olika restströmmar såsom gasreningsstoft och slam som uppstår i Rönnskärsverkets dagliga produktion. Vid smältverket i Bergsöe återvinns bly från blybatterier. Boliden äger dessutom två smältverk i Finland (Harjavalta och Kokkola) och ett i Norge (Odda).

För att klara de behov vi står inför behöver den framtida metallurgin kunna hantera malmkoncentrat av lägre grad och ta ut fler metaller från komplexa malmer. Det kan också behövas ny teknologi och ny metodik för att bryta mindre malmkroppar, sådana som idag lämnas kvar. Det krävs även effektivare processer och fossilfria reduktionsmedel.

Vad gäller hydrometallurgiska metoder applicerade på kritiska råmaterial finns det flera exempel på satsningar i Sverige och Norden som redan påbörjats eller ligger nära i såväl tid som genomförande.

Talga AB, som fått tillstånd att bryta grafitmalm i Vittangi och genom termokemiska processer förädla den till grafit-

anodmaterial till litium-jonbatterier (Talga, 2023), framhåller att en av utmaningarna för dem blir att gå från laboratorieskala till pilotanläggningar och industriell produktion av grafitanod.

LKAB:s projekt ReeMAP i Luleå är gå ut på att utvinna kritiska råmaterial ur gruvavfall. LKAB har som mål att i samarbete med Luleå tekniska universitet och det lokala näringslivet anlägga ett centrum för kemiteknisk industri med syfte att ta fram metoder för att utvinna mineralgödsel, sällsynta jordartsmetaller, gips och fluor. Materialen ska utvinnas ur anrikningssanden, en restprodukt från järnmalmsproduktionen vid gruvorna i Kiruna och Malmberget. Innan den deponeras i sandmagasin ska den genomgå ytterligare ett anrikningsssteg som producerar ett apatitkoncentrat. Detta transporteras via järnväg till Luleå industripark, där materialet vidareförädlas genom hydrometallurgiska processer (upplösning i saltsyra och separation av fluor, fosforsyra och blandade sällsynta jordartsmetalloxider). De blandade oxiderna av sällsynta jordartsmetaller ska sedan skickas till Norge för separation till enskilda metaller. Planen är att anläggningen ska vara i drift 2027. (LKAB, 2023)

Sammanfattningsvis kan konstateras att flera aktiviteter redan pågår men att stora utmaningar kvarstår. Teknikutvecklingen i sig är mycket viktig för att öka effektiviteten och hållbarheten i alla typer av metallurgiska processer. Samtidigt krävs utveckling av kunskap och utbildning, nya affärsmodeller och materialflöden för att möjliggöra inhemska processer och förädling när nya fyndigheter kommer till stånd.

Tillståndprocesser

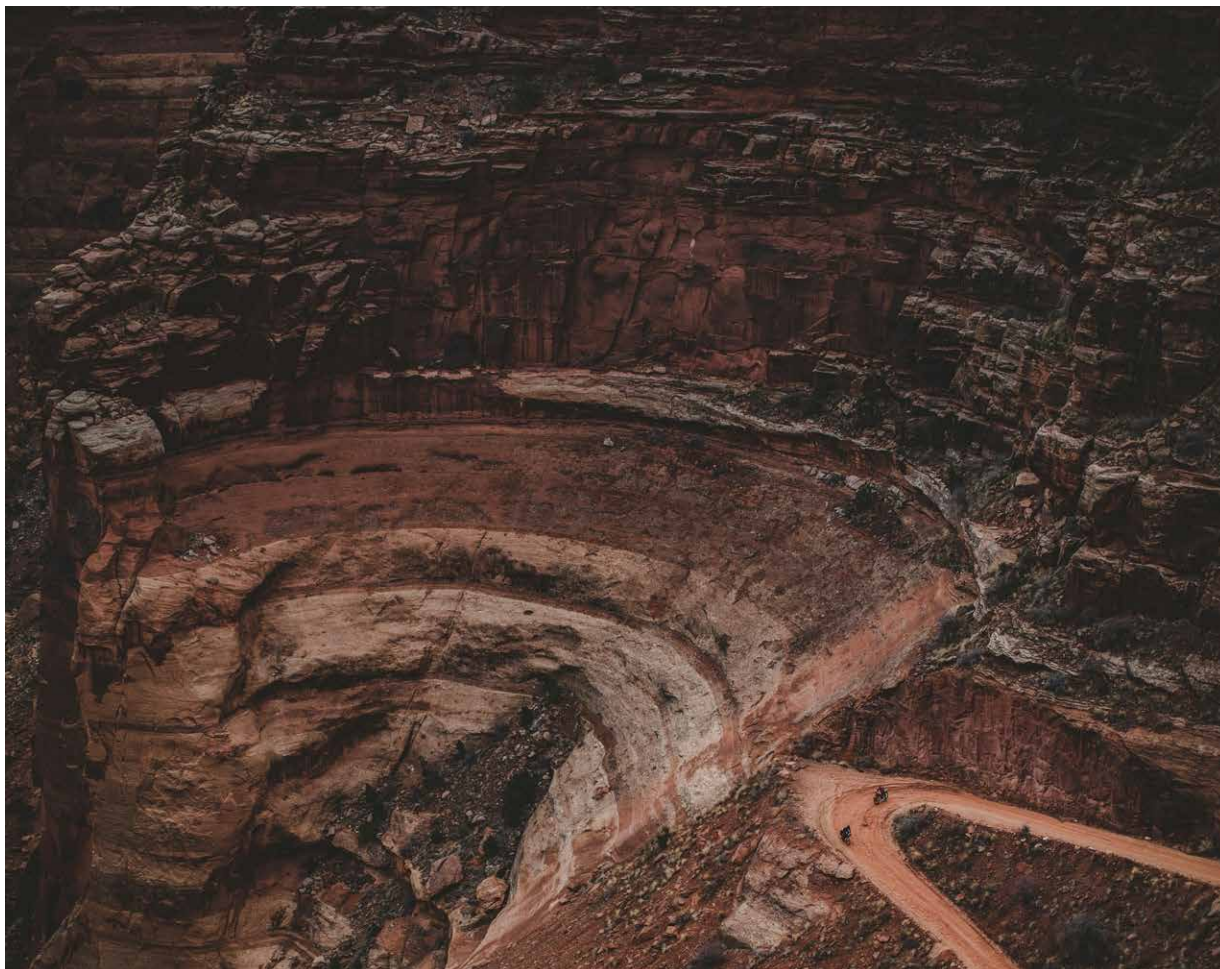
I diskussionen om hur det ökade behovet av metaller och mineral ska tillgodoses har tillståndprocesserna en central plats. Det gäller både dess ändamålsenlighet i Sverige och andra länder inom EU samt hur skillnader mellan olika länder på den internationella marknaden påverkar konkurrensförutsättningarna mellan företag på olika marknader.

Tillståndprocesserna är vår demokratis sätt att ur ett samhällsperspektiv hantera miljörisker på kort och lång sikt, lösa målkonflikter och hantera intressemotsättningar. Proces-

serna slutar alltid i ett beslut där man i efterhand kan ta del av vilka faktiska avvägningar som gjorts under en process som många gånger tagit lång tid.

Figur 21: Illustration av det nordiska gruvklustret, nordiska och internationella bolag verksamma i Sverige, Norge och Finland. Källa: RMG Consulting, 2024.

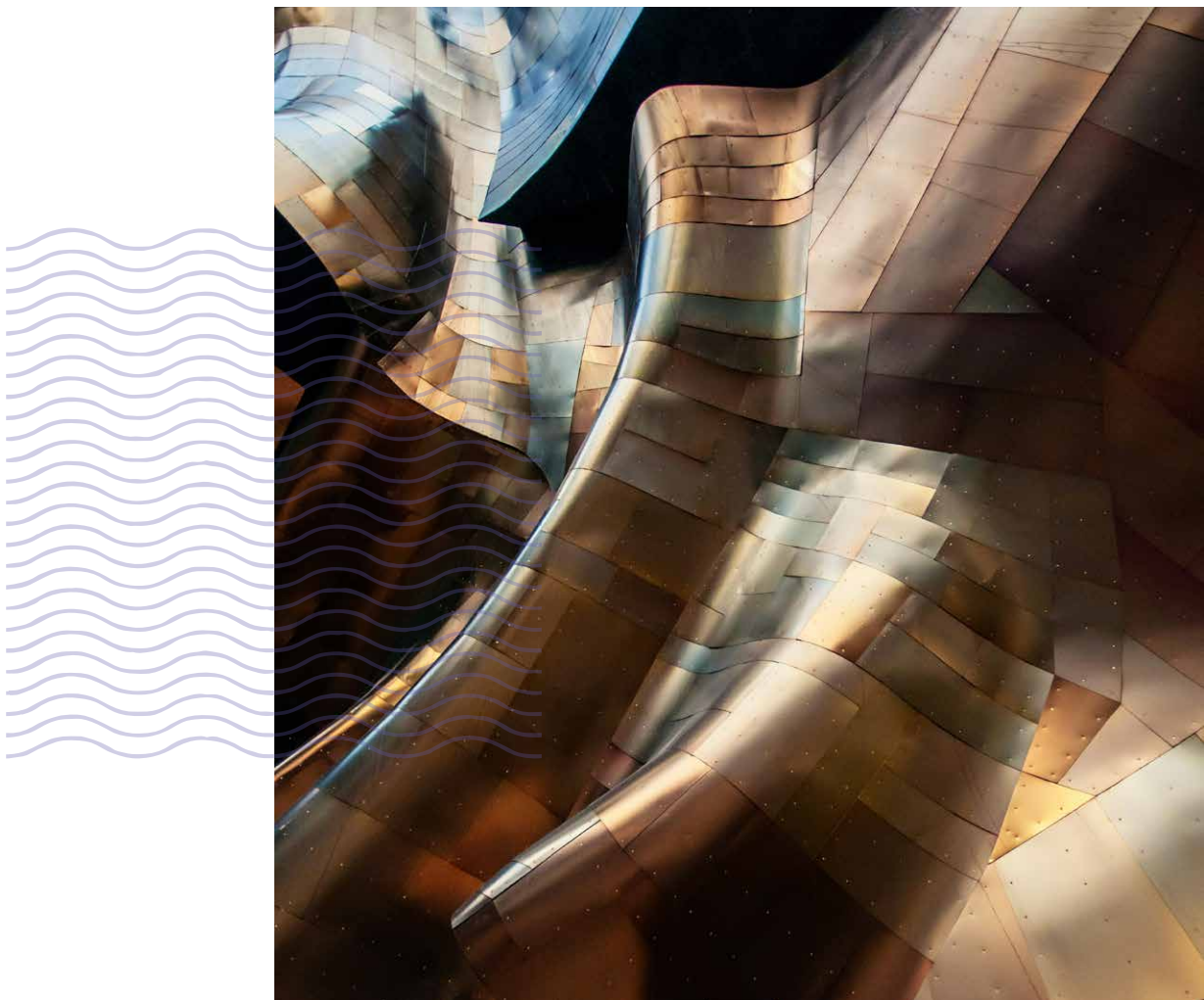




Sett i detta sammanhang, som funktionen att göra svåra avvägningar mellan olika samhällsintressen, är det naturligt att tillståndsprocesserna debatteras och ifrågasätts. Idag riktas kritik mot att de tar för lång tid, inte förmår att göra avvägningar mellan lokal och global miljönytta och att de i för liten grad öppnar upp för nödvändiga kompromisser mellan olika intressen. Många gånger uttrycker olika aktörer önskemål om att politikerna ska ta ett steg framåt och agera kraftfullare.

En av projektets arbetsgrupper behandlar just tillståndsprocesserna, och ambitionen är att göra en så rättvisande

beskrivning av dagens situation som möjligt. Centralt är att visa på de faktiska handlingsmöjligheter och begränsningar som finns i dag, sett ur olika aktörers perspektiv. Arbetsgruppens uppgift har därmed varit att skapa underlag för förslag till förbättringar, med respekt för de många svåra avvägningar mellan olika samhällsintressen som sådana förändringar kräver. Se vidare i den kommande rapporten "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter" inom IVAs projekt *Vägval för metaller och mineral*.



9. Definition av kritiska råmaterial och dess komplexa marknad

»De flesta kritiska metaller är biprodukter till de basmetaller som utvinns i större volymer. Det ger en komplex marknad.«

Det finns ingen universell, entydig definition av begreppet kritiska råmaterial. De definitioner som används idag refererar vanligtvis till metaller och mineral som hittills inte använts i större omfattning och som därför är relativt ovanliga eller sällsynta, inte minst i form av brytbara resurser. De ska också ha stor ekonomisk betydelse för en viss bransch, industrisektor eller geografiskt område.

Karakteristiskt för många kritiska metaller är att de sällan produceras i stora volymer globalt och/eller att de sällan ingår i en större mängd i produkter i jämförelse med basmetallerna koppar, zink och bly samt aluminium och stål. Ofta utgör de dock viktiga beståndsdelar där substitut oftast inte är ett alternativ eftersom det innebär en förflyttning av försörjningsproblemet från ett kritiskt råmaterial till ett annat, eller att prestandan försämras.

Det är stora skillnader i den globala efterfrågan på de traditionella metallerna stål (2 000 Mton/år), aluminium (70 Mton/år) och koppar (20 Mton/år) jämfört med behovet av de flesta kritiska råvarorna som är av en helt annan storleksordning, exempelvis sällsynta jordartsmetaller (0,2 Mton/år), kobolt (0,15 Mton/år) och platinagruppens metaller (400 ton/år).

EU har även infört klassificeringen "strategiska material" vilka har extra stor relevans för strategiska teknologier kopplat till den gröna omställningen, digitalisering och försvaret. Liknande definitioner har tagits fram i andra länder och regioner.

Se faktaruta till höger.

DEFINITIONER

Metaller och mineral delas in i olika kategorier och ges olika benämningar utifrån olika syften. Kategoriseringen varierar mellan olika länder/regioner. Exempel på klassificeringar inom EU är:

Kritiska material: Ett råmaterial definieras som kritiskt om det finns en betydande risk för leveransstörning och att det har en väsentlig betydelse för ekonomin.

Strategiska material: Ett råmaterial som har avgörande betydelse för den gröna och digitala omställningen och/eller i försvars- och rymdapplikationer. Alla strategiska material definieras också som kritiska.

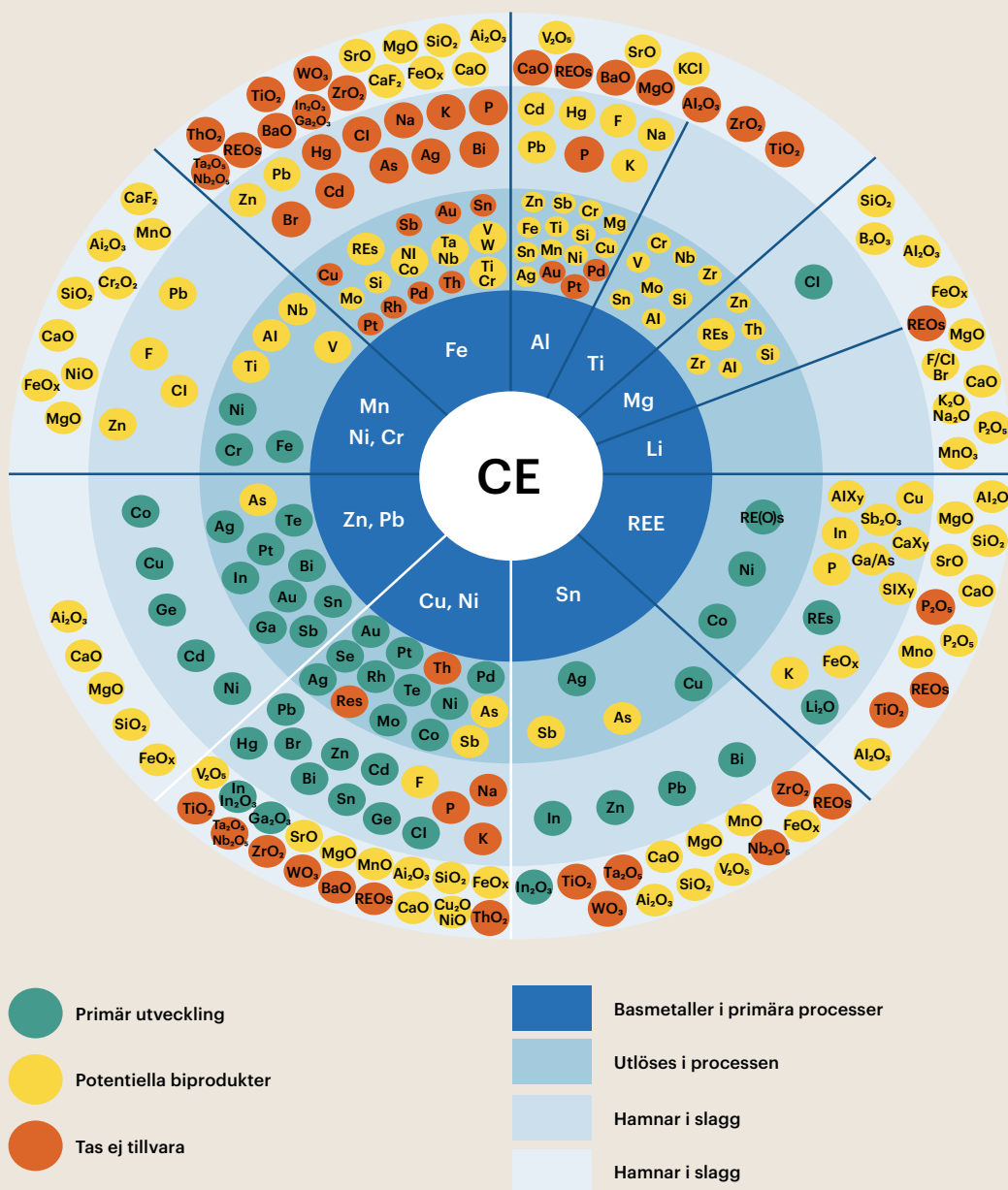
Placering i det periodiska systemet: Den vetenskapliga klassificeringen av metaller som grundämnen utgår ifrån dess fysiska egenskaper och placering i det periodiska systemet.

Se mer om olika kategoriseringar av metaller och mineral i bilaga 1 och ordlistan.

Komplex marknad för flera kritiska metaller

Som tidigare nämnts är flera av de kritiska metaller vi talar om idag biprodukter till de basmetaller som normalt utvinns i större volymer. De förekommer i låga halter i malmer tillsammans med basmetaller och bildar därför sällan eller aldrig egna brytvärda fyndigheter med dagens teknik och prisnivåer.

Figur 22: Metallhjulet beskriver hur olika metaller hänger ihop i olika typer av malmer (oxid- och svavelföreningar är vanligast) samt bimetaller som finns i mineraliseringar av olika basmetaller. Källa: Reuter, van Schaik, Gutzmer, Bartie, & Abadias-Llamas, 2019. Se även det periodiska systemet på sid 14 för förklaring av kemiska beteckningar.



När de utvinns sker det som biprodukt i senare steg i metallernas produktionskedja, i smältverk eller metallraffinering genom till exempel lakning och kemisk separation. Om biprodukterna kan extraheras med vinst genererar det en ökning av malmvärdet, men de kan också ge upphov till problem som driver upp produktionskostnaderna. Ofta kräver utvinningen av bimetallerna investeringar i sofistikerade processer. Eftersom volymerna av dessa metaller är små jämfört med basmetallerna kan det därför vara svårt att få investeringen att bära sig ekonomiskt för ett enskilt bolag. Av det skälet återfinns många av de metaller vi skulle behöva idag oanvända i gruvavfall och varp- eller slagghögar.

De låga volymerna innebär även att det inte är lönsamt att bryta de kritiska metallerna utan att ta ut huvudmetallen ur dagens fyndigheter. Som exempel kan nämnas att kobolt förekommer i många malmer tillsammans med nickel och koppar. En ökad utvinning av kobolt kommer förenklat därför även att medföra en ökad produktion av nickel eller koppar. Ett annat exempel är vanadin som utvinns samtidigt som järnmalm. I förlängningen medför det, lite förenklat, att utvinningen av kobolt och vanadin till stor del styrs av marknaden för nickel och koppar respektive järn – eller att efterfrågan på biproduktmetallerna, om priset blir tillräckligt högt, påverkar marknaden för basmetallerna. (Jonsson, 2021)

Oftast tillvaratas alltså endast en liten andel av bimetallerna. Det är därför möjligt att öka produktionen av dessa utan att öka gruvbrytningen. (Fu, Polli, & Olivetti, 2018) Av den totala mängden biprodukter som ingår i de mineral som utvinns

är det en mindre andel som skulle kunna separeras med dagens teknik och priser. Även på denna lägre nivå finns ett potentiellt utbud som överstiger dagens efterfrågan, men det saknas tillgängliga data för att kunna fastställa exakt hur mycket som skulle kunna utvinnas av alla bimetaller. Teoretiska beräkningar på global nivå för exempelvis gallium och germanium indikerar att potentialen är i storleksordningen tio gånger högre än vad som idag separeras. (Frenzel, Mikolajczak, Reuter, & Guzmer, 2017)

För indium är potentialen betydligt lägre, men den är fortfarande tre gånger större än dagens produktion. Det är inte klarlagt exakt varför inte mer av mineralvärdet plockas ut. Förklaringen är troligen en kombination av låg vinstmarginal för producenten i förhållande till den nyinvestering, med hög risk, som krävs. Även miljöpåverkan för dessa processer med åtföljande krav på tillstånd kan utgöra hinder.

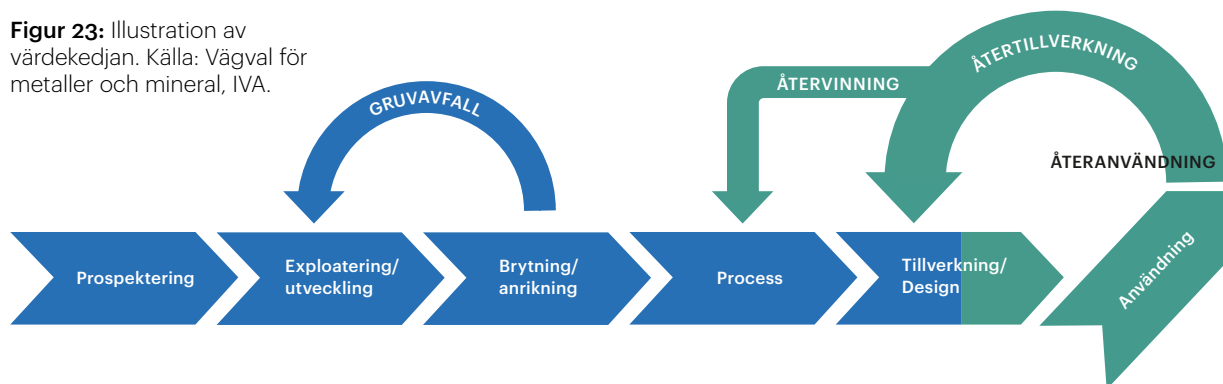
Dynamiken mellan utbud och efterfrågan är därför komplex. Ofta är utbudet relativt oelastiskt, det vill säga att även om efterfrågan ökar och priset stiger på den kritiska metallen, kommer produktionen av metallen inte att öka, åtminstone inte på kort sikt. I stället styrs en ökad produktion av den kritiska metallen av dess huvudmetalls efterfrågan och produktion. Alla basmetaller handlas i stora volymer och prissätts på metallbörser världen över. De flesta kritiska metallerna prissätts däremot på ett icke-transparent sätt utan större insyn och kontroll. (Reginiussen & Hallberg, 2018)



10. Övergripande bild av värdekedjan för metaller och mineral

»Det räcker inte med att ha en gruva.
Man måste också ha tillgång till förädlings-
processer för att kunna framställa den
rena metallen och viktiga komponenter.«

Figur 23: Illustration av värdekedjan. Källa: Vägval för metaller och mineral, IVA.



Värdekedjorna för metaller och mineral börjar i fundamental geologi och prospektering, och slutar, i ett optimalt system, i återcirkulering av en hållbar produkt. I den här rapporten diskuteras tillförsel av metaller och mineral, från brytning eller utvinning ur gruvavfall, till produktion av viktiga komponenter som behövs för industrins utveckling och en hållbar omställning. I projektets andra rapport, "Cirkulära flöden för att möta ökade behov av metaller och mineral", diskuteras återanvändning och återvinning närmare. I Figur 23 illustreras den värdekedja som diskuteras i dessa rapporter.

Prospektering

Prospektering innebär att leta efter ekonomiskt utvinningsbara förekomster av metaller, mineral och andra naturresurser genom geologiska, geokemiska, mineralogiska och geofysiska undersökningar. Det är en nödvändig grund för all grubbrytning och kräver omfattande fältarbete, provtagning och analys. Prospektering ger även viktig kunskap om berggrunden och regionens geologi. Det är en komplex och långvarig process som kräver expertkunskaper och omfattande undersökningar över stora områden, vilket innebär att den är mycket kostnadsdrivande.

Endast någon promille av alla prospekteringsinsatser utvecklas till en fungerande gruva. När en möjlig malmkropp

väl har påträffats kan det ta upp till tiotals år att provborra, analysera och samla in mer information om malmkroppens sammansättning och utbredning. Trots stora investeringar leder således mycket få projekt till producerande gruvor. Hinder på vägen kan vara att förekomsterna är för små eller låghaltiga, att priserna är för låga under aktuell tidsperiod eller att det på grund av miljöskäl är svårt att få tillstånd. (SGU, 2023) En ekonomisk mineralisering, alltså malm i den striktaste betydelsen, är därför att betrakta som en raritet.

Miljöaspekter vid prospektering

Prospektering har normalt inte stor påverkan på naturmiljön, men det varierar beroende på terrängen i undersökningsområdet, jordtäckets tjocklek och vilka undersökningsmetoder som används. Exempel på miljöpåverkan är avverkning av träd, påverkan på vegetation vid terrängkörning samt temporär påverkan på yt- och grundvatten vid borrhining. Även ljud- och ljusförhållanden påverkas.

För att förebygga och minimera negativ miljöpåverkan bör prospekteringen förberedas noga genom att kontrollera markförhållanden och vegetation, hitta lämpliga transportvägar och identifiera känsliga områden och objekt. (Svemin, 2018)

Gruvbrytning och anrikning

En gruva är en plats där man bryter malm och mineral eller annan naturresurs. Gruvbrytning kan ske ovan jord, i så kallade dagbrott, eller under jord. Gruvan kombineras ofta med mineralberedningsverk där malmen renas till koncentrat (slig, pellets) för vidare transport till smältverk och senare raffinaderi. Se även avsnitt *Anrikning* nedan.

När man hittat en malmfyndighet måste man ansöka om tillstånd för gruvdrift hos Bergsstaten och miljötillstånd hos Mark- och miljödomstolen. För en mer detaljerad genomgång av tillståndsprozesserna, se den kommande rapporten "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter" där dessa behandlas närmare.

Att anlägga en gruva är en omfattande process. Baserat på geologiska och tekniska data bestäms lämpliga metoder för gruvbrytning, antingen dagbrott eller underjordisk gruva. Generellt utvinns malmer med låga halter men stora volymer i dagbrott medan malmer som förekommer i mindre utbredning med höga koncentrationer bryts under jord. Det finns även olika brytmetoder vilka anpassas efter de geologiska förutsättningarna.

För verksamheten i gruvan behövs infrastruktur för energiförsörjning, vägar för transport av material och utrustning samt byggnader för olika verksamheter. Det behövs också anläggningar för att hantera vattenflöden från olika processer såsom dammar och vattenreningsanläggningar. Gruvor är beroende av kompetent arbetskraft och bostäder i närområdet för att fungera effektivt.

Även infrastruktur runt gruvan är viktiga för driften. Ett exempel är Malmbanan mellan hamnstäderna Luleå och Narvik, vars kapacitet ibland inte räcker till, eller att man har tillgång till vägnät som klarar tunga fordon. Närhet till elförsörjning påverkar också gruvdriftens potential.

Anrikning

I anslutning till gruvan ligger ofta ett anrikningsverk för att man inte ska behöva transportera stora mängder tungt och

låghaltigt material långa sträckor. I anrikningsverket krossas och mals malmen till fin sand så att det ska bli möjligt att separera mineral med det önskvärda grundämnet från övriga mineral. Malmmineralen separeras med fysiska och kemiska metoder.

Processen kräver mycket vatten som renas och återcirkuleras. I vilken omfattning varierar mellan olika anläggningar. Anrikningssanden som kvarstår efter separation kan innehålla mineral och grundämnen som utgör potentiella föroreningar, såsom sulfidmineral. Vid brytning av koppar, zink och bly, som ofta förekommer naturligt tillsammans med svavel i olika sulfidmineral (se kapitel 9), deponeras avfallet i sandmagasin för att skydda miljön. Sanden hålls mättad med vatten för att förhindra att den utsätts för syre och att sulfidrika mineral vittrar och bildar svavelsyra samtidigt som metaller lakas ut. Samtidigt kan grundämnen som är lösliga i vatten såsom salter lakas ut. Det är därför viktigt att man har kunskap om malmens och ingående bergs mineralogi. Det ställs höga krav på dammens konstruktion så att den inte brister av trycket från sand och vatten. Den utrustas därför med övervakningssystem och sensorer. En annan utmaning är att sandmagasinet tar stora landområden i anspråk.

Ett alternativ till sandmagasin, som tillämpas i många länder, är torrdeponier. De tar mindre yta i anspråk och är säkrare genom att man minimerar risken för dammhaverier. Det är oklart om torrdeponering lämpar sig för det svenska klimatet. Det behövs därför mer kunskap och teknikutveckling för att hitta alternativa kostnadseffektiva lösningar som kan passa svenska förhållanden.

Miljöaspekter vid gruvbrytning och anrikning

Att bryta malm för att utvinna metaller och mineral har en påverkan på den lokala naturmiljön och det globala klimatet. Det finns mycket som kan göras för att minimera miljöpåverkan under drift samt skapa förutsättningar för att återställa marken och vegetationen efter att gruvan har stängts. För detta behövs ett helhetsperspektiv på hela produktionskedjan. Man får exempelvis inte stirra

sig blind enbart på klimataspekterna. Biologisk mångfald och vattenkvalitet behöver också värderas högt i analys och planering.

Gruvan i sig påverkar mark och hydrologi, vilket i sin tur påverkar vegetation och djurliv. Anläggningar och processer inom området behöver förutom energi och vatten också resurser som kemikalier. Hur stor miljöpåverkan blir beror på naturmiljön och typ av mineralisering i det aktuella området, samt om det är en underjordsgruva eller ett dagbrott. Miljöpåverkan varierar även beroende på vilka tekniker som används vid brytning, hur energiförsörjningen ser ut, vilka kemikalier som används i processen, vilka tekniker som används för återvinning och rening av vatten samt hur avfallet hanteras.

Det är stora skillnader i förutsättningar att förebygga eller åtgärda miljöpåverkan beroende på om det är fråga om:

- Pågående drift i befintlig gruva.
- Expanderande eller ny gruva.
- Historiskt avfall från tidigare gruvdrift.

För att minimera miljöpåverkan krävs genomtänkt planering redan på ett tidigt stadium. Med ökad kunskap om malmen och det omgivande berget kan man bättre förutse och förebygga potentiella miljörisker som kan uppstå vid vatten- och avfallshantering i en framtida gruva samt avgöra vilken efterbehandling som krävs när gruvan inte längre är i drift och förbereda för den. Planeringen kan även ha en positiv påverkan på produktens kvalitet. Öppnar man en ny gruva har man därför större möjligheter till förebyggande åtgärder. Det är en framgångsfaktor att kunna projektera en anläggning för framtida stängning.

Nya malmtyper, processer och metoder skapar nya typer av avfall, slam och föroreningar där erfarenhet och forskning ännu saknas rörande grundämnens beteende i materialen. Det kan medföra att stabila metaller kan frigöras och koncentreras i lakvatten. För högre nyttjandegrad av allt material som tas ut från gruvan kan det vara gynnsamt att redan i planeringsskedet utforska avsättningsmöjligheter för olika restflöden och hurvida dessa kan bli produkter i stället för avfall.

Underjordsgruvor har inte lika stor påverkan på landskapet som dagbrott. Dagbrott innebär ofta omfattande förändringar av landskapsbilden eftersom markytan bryts upp och avlägsnas för att nå malmen. Det påverkar visserligen vegetation, biologisk mångfald och vattenflöden, men ytligt material som tas bort, som jord och torv, kan lagras och sedan återanvändas vid efterbehandling för att återställa marken efter avslutad drift. Gråberg från malmbrytning kan användas för återfyllnad av dagbrott eller underjordsgruva och, om inga miljörisker finns, som byggnadsmaterial i gruvan, exempelvis vid uppbyggnad av dammar.

Kemikalier som används vid separation av de värdefulla mineralen och för vattenrening förbrukas i processen och kan inte återanvändas.

Elektrifiering och autonoma fordon minskar miljöpåverkan

En gruva med dess anläggningar är energiintensiv. Dagbrottsgruvor har ofta lägre energiförbrukning än underjordsgruvor räknat per ton malm. Räknat per ton framställd metall blir resultatet ofta det omvända. Halterna i malmen och mängden gråberg som måste flyttas har avgörande betydelse för en gruvans energiförbrukning. (Priester, Ericsson, Dolega, & Löf, 2019)

Det behövs både el och drivmedel. Hur stor miljöpåverkan elanvändningen orsakar påverkas i stor utsträckning av hur elen är framställd och vilka drivmedel som används. För minimal klimatpåverkan bör fossilfri el användas.

Det behövs även drivmedel till arbetsmaskiner och interna transporter. För att minska miljöpåverkan och öka säkerheten för gruvarbetarna sker en utveckling mot elektrifiering och digitalisering av gruvorna samt införande av autonoma arbetsfordon. Maskinerna kan därmed styras på distans från ett kontrollrum. Med autonoma fordon behöver man inte ta ut lika mycket gråberg. Det minskar avfallsmängderna och energiförbrukningen. I takt med gruvornas elektrifiering kan mängden fossila bränslen minskas och luftkvaliteten förbättras.

Förebygg snarare än att rena vatten

En gruvanläggning kräver mycket vatten i sina processer, samtidigt som vatten måste pumpas bort från dagbrott och underjordsgruvor för att dessa inte ska vattenfyllas. I Sverige finns både ytvattentäkter och grundvatten som kan förse industrin med processvatten.⁵ (IVA, 2021) I andra länder kan vattenförsörjningen vara en kritisk faktor för industrins processer och påverka vilka metoder som väljs.

Vatten påverkas av omgivande mark, berggrund och mänskliga aktiviteter. Det finns inget vatten som är helt opåverkat. Man måste ha kontroll över vattenkvaliteten och vad som påverkar den. Det är viktigt att förebygga vattenföroreningar genom hela gruvprocessen så att vattnet kan återcirkuleras och i vissa fall släppas ut till recipienten.

Det är många gånger problematiskt att rena processvatten eller lakvatten eftersom dessa innehåller många olika typer av ämnen som kräver olika reningsprocesser. Alla reningsprocesser ger i sin tur upphov till nytt avfall (slam) som måste deponeras. Det är viktigt att ha god kunskap om avfallets egenskaper för att kunna särskilja avfall och garantera dess stabilitet på lång sikt. Det mest lönsamma och långsiktiga är att implementera förhindrande åtgärder för att minimera miljöpåverkan i ett så tidigt skede som möjligt. Med tiden ökar kostnaderna, samtidigt som möjliga alternativa åtgärder minskar.

Utvinning ur gruvavfall

Gruvavfall innehåller olika metaller och mineral i varierande mängd. Det kan vara mineral från malmen som bröts eller associerade mineral som inte varit föremål för utvinningen eller som av någon anledning inte kunnat tas tillvara. Den tekniska utvecklingen ändrar på förutsättningarna i dubbel bemärkelse. Dels bidrar den till att efterfrågan ökar på

metaller som vi tidigare inte behövde, dels möjliggör ny teknik utvinningen av de metaller och mineral som finns i gruvavfallet. Ny, snabb och billig analysteknik möjliggör också att på helt andra sätt än tidigare provta och analysera gruvavfall som man bedömer kan ha innehålla ämnen vi behöver idag.

De olika avfallen kan delas in i varphögar, gråberg, sandmagasin och slagg. Varphögar är sidoberg (vårdbergarter) samt sparsamt mineraliserad malm (typiskt från äldre tiders brytning), medan gråberg är icke-mineraliserat sidoberg från modernare brytning och sandmagasin är deponier av finmalt material efter anrikning. Slagg är restprodukter efter pyrometallurgiska processer, alltså smältning. De olika avfallen kan i vissa fall innehålla mer eller mindre intressanta halter av olika metaller. (Jonsson, Lewerentz, & Persson, 2023)

De aktiva metallgruvorna i Sverige svarar för uppskattningsvis 85 procent av allt gruvavfall. Enligt uppgifter från bolagen, redovisade i avfallshanteringsplaner till tillståndsmyndigheten, innehåller avfallet flera av de metaller och mineral som EU bedömt som kritiska.

I jämförelse med gruvbrytning kan man vid utvinning ur gruvavfall bortse från själva brytningen och krossning/malning (sandmagasin), men övriga steg i processen, såsom anrikning, smältning och raffinering, kvarstår. Om befintliga tekniker finns för att utvinna grundämnet, och besparingar av brytningskostnader kan täcka kostnader associerade med övriga steg i processen, blir utvinningen lönsam. Det återstår också att få miljötillstånd.

Det finns även förväntningar på att vi ska kunna utvinna nya metaller ur historiskt gruvavfall. Det går att ifrågasätta om detta är realistiskt, av flera anledningar. De metaller som är möjliga att utvinna ur detta avfall finns endast i begränsade volymer, och utvinning av dessa kommer inte att minska den totala mängden avfall nämnvärt. Utgrävning av avfall kräver nya metoder, exempelvis slamsugar, och det

⁵ Klimatförändringarna påverkar industrins möjliga vattenförsörjning, i synnerhet i de sydöstra delarna av landet.

AFFÄRSMODELLEN FÖR ETT SMÄLTVERK

Affärsmodellen för smältverk består i huvudsak av tre komponenter:

1. Gruvor betalar smältverk och raffinaderier en smält- respektive raffineringslön per ton material. Priset sätts enligt en benchmark, men påverkas om det är ett komplext eller ett rent koncentrat, vilket ställer olika krav på processen.
2. Fria metaller. I avtalet med gruvan har man en "payable-nivå". Allt som smältverket kan utvinna utöver avtalad nivå genererar en intäkt till smältverket som kan vara betydande.
3. Biprodukter, där exempelvis svavelsyra är störst i tonnage räknat, och premier.

Förutsättningarna i affärsmodellen, samt smältverkens tekniska förmåga och kapacitet att hantera föroreningar samt utvinna värdemetaller, styr hur smältverken väljer råmaterial. Exempelvis om det är stora volymer, enkla material eller svåra och komplexa material som ska hanteras.

Smältverk byggs ursprungligen ofta i anslutning till en gruva. När den ursprungliga gruvan inte längre är brytvärd tas istället material från andra aktiva gruvor. Med tiden kan därför avstånden till en aktiv gruva öka. Då gruvbolaget betalar transporten till smältverk, och smältverket i sin tur betalar transporten till kund i nästa produktled, har smältverkets lokalisering en ekonomisk betydelse.

Eftersom det finns ett kapacitetstak för hur mycket koncentrat ett smältverk kan ta emot rent volymmässigt, både totalt men också utifrån respektive förorening eller värdemetall, gäller det att optimera vilka typer av koncentrat man tar in för att få största möjliga ekonomiska värde.

Det gör att till exempel ett kopparsmältverk med förmåga att hantera komplexa material ofta tar in 10–20 olika koncentrat för att optimera sin intäkt, vilket medför att smältverket är beroende av koncentrat från den globala världsmarknaden då den europeiska koncentratmarknaden inte är tillräckligt stor.

Samtidigt kan det, även om ett gruv- och smältverksföretag har koncentrat i sin portfölj, vara en bättre affär att sälja koncentratet till ett annat smältverk än att ta hand om det själv. Koncentratet innehåller ofta fler bimetaller, varav några i tillräckligt stora kvantiteter för att utvinnas. Resterande har för låga halter för att göra det tekniskt eller ekonomiskt möjligt att utvinna. Kompetens för att hantera dessa bimetaller och färdigraffinera dem saknas i stor utsträckning, se kapitel 9. De traditionella pyrometallurgiska processerna börjar kompletteras med hydrometallurgi för att utvinna fler metaller.

finns risk för ras eller skred. Medan utvinning pågår kan en ny deponi behöva anläggas eftersom en stor mängd ursprungsavfall kommer att kvarstå som avfall även efter utvinningsprocessen.

Det kan också vara mer komplext att utvinna metaller ur gammalt avfall eftersom malmen kan ha oxiderat, mineral fått beläggningar eller metaller lakats ut. Det förändrar mineralogin, och befintliga processer i anrikningsverken är inte anpassade till detta.

Det pågår en rad initiativ hos olika bolag för att undersöka möjligheterna att utvinna metaller och mineral ur gruvavfall i aktiva gruvor. Det finns dock tekniska, ekonomiska och

juridiska hinder som begränsar möjligheterna att utvinna metaller och mineral ur gruvavfall. Det behövs nya tekniska lösningar och kompetens för att utvinna metaller som vi hittills inte har förädlat i Sverige. Det innebär också att det kan vara svårt att få lönsamhet i de investeringar som behöver göras. Även juridiskt finns det hinder då det råder osäkerhet om en rad frågeställningar exempelvis rörande äganderätt, tillståndprocesser, ansvar för förorenad mark, osäkerheter kring definition av avfall, miljöprövning och regler för deponering. (SGU & Naturvårdsverket, 2023) Att utvinna metaller ur deponier kan också vara mycket energikrävande och klimatpåverkande, eller vara förknippat med annan miljöpåverkan. Det innebär att produktion från historiskt avfall kanske inte leder till någon miljövinst.

Gruvbrytning på havsbotten

Möjligheten att utvinna mineral på och under havsbotten har fått stor uppmärksamhet vid flera tillfällen under de senaste 50 åren. I dagsläget utvinns små mängder av bland annat tenn och diamanter från upp till några hundra meters djup, men de största volymerna av utvunnet råmaterial utgörs av sand och grus nära stränderna. Tillgångarna på kobolt, koppar, mangan och nickel på större djup (3 000–5 000 m) antas vara betydande. De tekniska svårigheterna är dock mycket stora, och trots flera försök har ingen produktion ännu kommit i gång. Landbaserad produktion har hittills varit enklare, billigare och mera lönsam. Hur allvarliga de miljöproblem som produktion från djuphavsbotten skulle skapa är till stora delar okänt. Fortsatt forskning om havsbottenmiljöerna, och hur de problem som kan uppstå ska kunna lösas, är viktigt. (Löf, Ericsson, & Löf, 2022)

Utvinning och raffinering

Efter att malmen har koncentrerats i ett anrikningsverk utvinns den rena metallen från koncentratet. Detta kan ske med olika metallurgiska processer som antingen bygger på smältning av malmkoncentrat eller genom att man utvinnet den rena metallen på kemisk väg i våta processer. Det kan också ske genom kombinationer av de olika processerna.

Processer som bygger på smältning är pyrometallurgi och elektrometallurgi som båda sker i smältverk. Pyrometallurgi använder höga temperaturer för att smälta och separera metallen. Elektrometallurgi bygger också på smältning av metallen vid höga temperaturer med el. Hydrometallurgi använder i stället kemiska lösningar och vattenbaserade processer för att extrahera metallen. Vilka metoder som väljs beror på vilka metaller som ska utvinnas.

Även om det finns en potential att bryta flera av de nya metaller som behövs för ökad elektrifiering och digitalisering i Europa så saknas både kunskap och de processer som krävs för att utvinna och förädla dem. Sverige är bra på pyrometallurgi och smältverk, men de nya metallerna

kräver helt andra processer, infrastruktur och kompetenser såsom mer hydrometallurgi, elektrokemi och kemisk separation. Nya anläggningar är också kapitalkrävande, särskilt om nya metaller med låga halter i koncentraten ska utvinnas och nya processer måste utvecklas. Dessutom är tillståndsprocesserna komplexa, och de miljöåtgärder som krävs omfattande.

Miljöaspekterna vid utvinning och raffinering

Miljöpåverkan beror på flera faktorer beroende på vilken metall som bearbetas, vilka tekniker och utrustning som används, vilket avfall som bildas och hur avancerade reningsåtgärder som vidtas.

Pyrometallurgi är i regel mer energikrävande än hydrometallurgi, då mycket energi går åt till att smälta malmkoncentrat vid upp till 1 200–1 300°C. Dessutom krävs olika flussmedel och slaggbildare, i form av kemikalier och naturresurser såsom sand och kalksten, för att inte ännu högre temperaturer ska behövas och för att dra ut oönskade grundämnen från metallsmältan och in i slaggen. Dessa bidrar till klimatavtryck och annan miljöpåverkan, till exempel kontaminering av svavel, arsenik och andra relativt flyktiga ämnen från till exempel sulfidmalm.

Hydrometallurgiska processer sker generellt vid relativt låg temperatur, till och med i rumstemperatur, men kräver å andra sidan flera olika kemikalier för såväl upplösnings- och lakningssteget som för separation och rening samt fällning.

Komponenter som är beroende av strategiska metaller och mineral

För att möta industrins behov och klara energiomställningen räcker det inte med att bara ha tillgång till de rena metallerna. En stor utmaning ligger i tillverkningen av de kritiska komponenter som industrin är beroende av i senare produktionsstadier.

EU-kommissionen har identifierat 15 tekniker som är särskilt sårbara vad avser strategiska material.⁶ (JRC Science for policy report, 2023) Exempel på viktiga komponenter i dessa tekniker är batterier, permanentmagneter och halvledare, vilka i sin tur får sina egenskaper av olika metaller och mineral. Dessa komponenter är av avgörande betydelse för utveckling och funktion av fossilfria tekniker ibland annat elbilar, datalagring, vindkraftverk och bränsleceller för framställning av vätgas.

EU är i stor utsträckning beroende av import av dessa kritiska komponenter, vilket gör den europeiska industrin sårbar för störningar i globala leveranskedjor orsakade av exempelvis geopolitiska faktorer, handelshinder eller naturkatastrofer. Se även kapitel 7.

Nedan exemplifierar vi EU:s beroende av kritiska komponenter som innehåller strategiska metaller och mineral med batterier och permanentmagneter.⁷

Batterier

Batterier är centrala för elektrifiering av transporter och kan spela en viktig roll i ett elsystem med mycket förnybar kraft. De innehåller olika metaller och mineral såsom litium, nickel, mangan, kobolt och grafit som är nödvändiga för att uppnå hög kapacitet och effektivitet.

Litium-jonbatterier (Li-ion) är den mest populära batteriteknologin för elfordon, energilagring och olika elektronikprodukter på marknaden idag. De har hög energitäthet, vilket innebär att de kan lagra mycket energi i förhållande till sin vikt och storlek. De har successivt ersatt nickel-metallhybridbatterier och blybatterier, som är tyngre och har en

lägre energitäthet. Det pågår forskning och utveckling inom andra batteritekniker, men enligt nuvarande bedömningar kommer litium-jonbatterier att dominera batterimarknaden åtminstone under kommande två decennier. (JRC Science for policy report, 2023)

De mest centrala komponenterna i ett litium-jonbatteri är katod, anod, elektrolyt och separator. I Figur 24 redovisas vilka metaller och mineral som batteriets olika delar innehåller.

Europas leveranskedjor för litium-jonbatterier är sårbara. I Figur 25 illustreras sårbarheten i respektive steg (röda cirklar) samt hur stor andel Europas produktion utgör i respektive steg jämfört med global produktion.

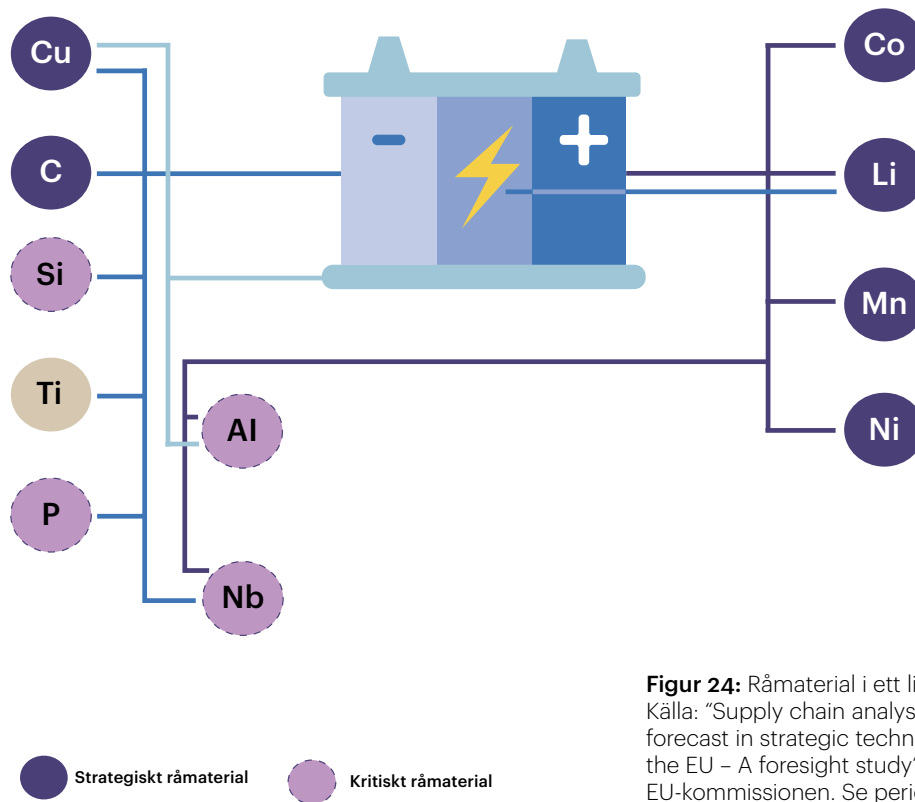
Flera initiativ pågår för att öka självförsörjningsgraden, inte minst svenska Northvolt. Men det räcker inte att sätta upp en fabrik för produktion av batterier då majoriteten av tillverkningen av halvfabrikat och råmaterial till batterier samt dess återvinning, fortfarande sker i andra delar av världen, främst i Kina. Det betyder att hela värdekedjan måste säkerställas, inklusive återvinning av materialet när batterierna är uttjänta. Northvolt avser att sluta kretsloppen genom återvinning av uttjänta batterier i anslutning till sina fabriker.

Asien dominerar marknaden för litium-jonbatterier, följt av USA. Asiatiska företag etablerar sig också i Europa (t.ex. koreanska företag i Ungern och Polen), men det utvecklas även europeiska företag för storskalig produktion av litium-jonbatterier för att möta den ökade efterfrågan.

Kina dominerar marknaden för raffinering och tillverkning av batterier, men har betydligt mindre tillgång till råvarorna i det egna landet. 2020 svarade Kina för 3 procent av den globala gruvkapaciteten för kobolt och 11 procent av

6 Litium-jonbatterier, bränsleceller, elektrolysörer, vindkraftverk, elmotorer, solceller, värmepumpar, vätgas för direktreduktion av stål samt ljusbågsugnar, datatransmissionsnät, datalagring och servrar, smartphones, 3D-printning, robotik, drönare och satelliter.

7 För mer detaljerade beskrivningar, se exempelvis rapporten "Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study" (JRC Science for policy report, 2023)



Figur 24: Råmaterial i ett litium-jonbatteris olika delar.
Källa: "Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study", JRC policy report, 2023. EU-kommissionen. Se periodiska systemet på sid 14 för förklaring av kemiska beteckningar.

litium. För att säkra upp tillgångarna ingår kinesiska företag avtal med aktörer i Demokratiska republiken Kongo, Sydamerika och Australien, och investerar ofta direkt i gruvbolag och gruvprojekt utomlands. (JRC Science for policy report, 2023)

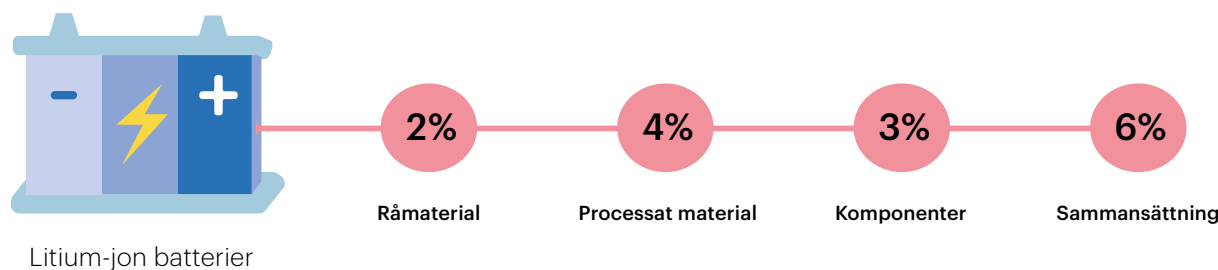
Permanentmagneter

Permanentmagneter används i en mängd olika sammanhang på grund av deras förmåga att producera ett konstant magnetfält. Vindturbiner och elfordon är de snabbast växande tillämpningarna, men i princip alla produkter som har en elmotor innehåller permanentmagneter, exempelvis pumpar, robotar och olika hushållsmaskiner.

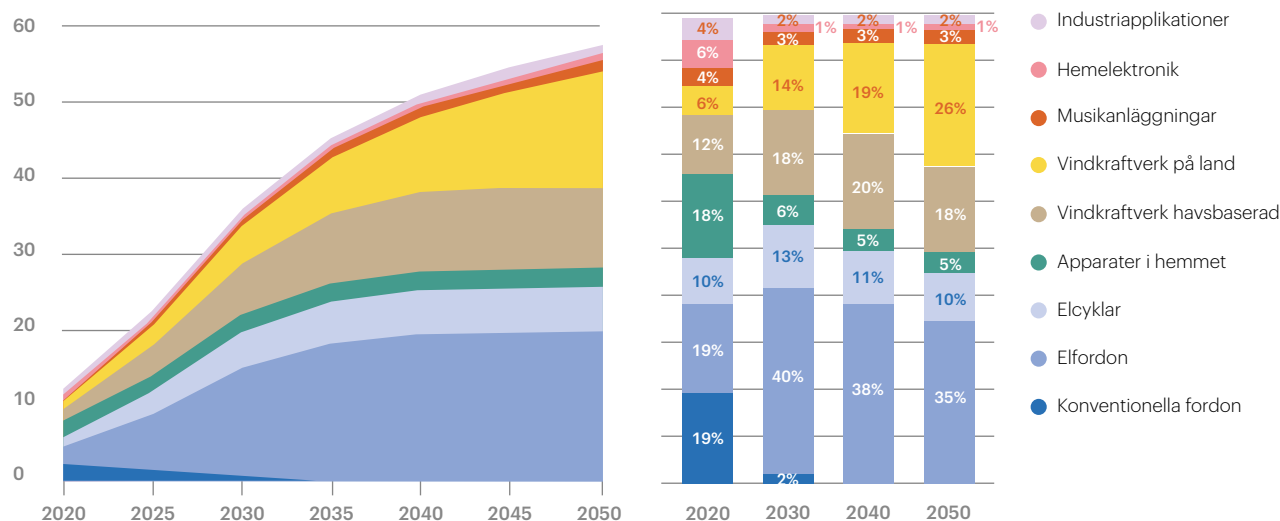
Permanentmagneter är tillverkade av material med magnetiska egenskaper, vanligtvis sammansatta av vissa legeringar eller föreningar. De flesta permanentmagneter, särskilt de starkaste, innehåller kritiska råvaror som neodym, praseodym, dysprosium, terbium, bor, samarium, nickel och kobolt. (Europaparlamentet, 2023)

Sintrad neodym-järn-bor (NdFeB) är det starkaste och det mest använda permanentmagnetmaterialet. Det har en hög magnetisk styrka och energitäthet kombinerat med låg vikt och volym, egenskaper som är särskilt viktiga i elbilar, vindkraftverk och kraftfulla elmotorer i industrin. Det finns även enklare permanentmagneter som istället för sällsynta jordartsmetaller innehåller järn eller aluminium-nickel-kobolt. De används i mindre produkter för exempelvis konsumentelektronik.

Figur 25: Det är risker i varje steg i leveranskedjan för litium-jonbatterier. Här anges Europas andel av den globala produktionen i respektive steg. Källa: JRC Science for policy report, 2023.



Figur 26: Uppskattad efterfrågan på permanentmagneter baserade på neodym-järn-bor (NeFeB) fördelat på olika tillämpningar. Källa: Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU. CEPS In-Depth Analysis 2022. Källa: Rizos & Righetti, 2022.



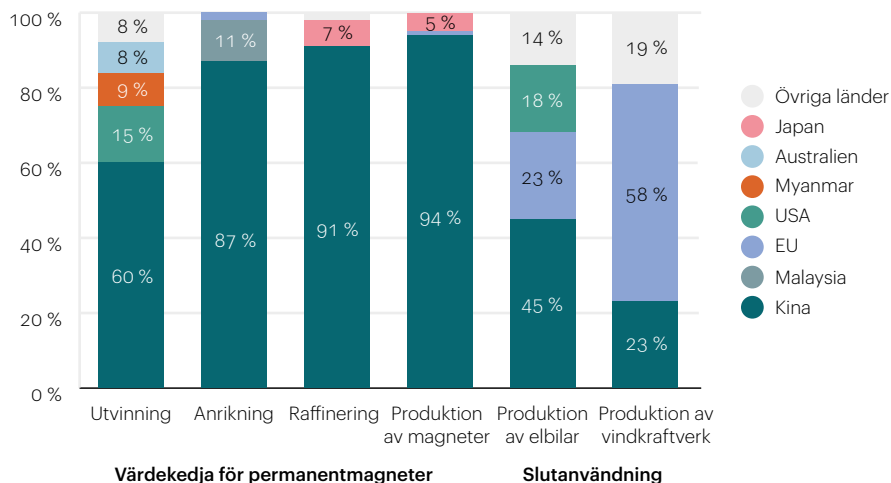
Efterfrågan på permanentmagneter kommer att mångdubblas det kommande decenniet. (Rizos & Righetti, 2022) De starkaste drivkrafterna är övergången till elbilar och utbyggnaden av vindkraft. I Figur 26 visas hur efterfrågan på de mest kraftfulla permanentmagneterna, baserade på neodym-järn-bor, kan förväntas att öka.

Värdekedjan för permanentmagneter kan delas in i tidigare beskrivna generiska steg: brytning av metaller, anrikning,

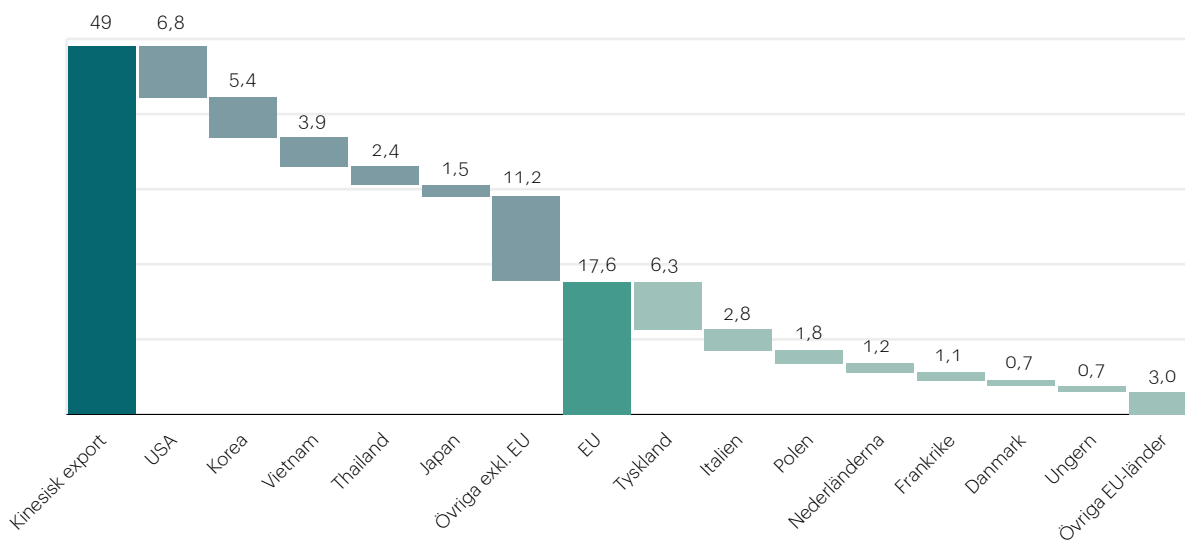
raffinering, produktion av magneter och slutligen produktion av slutprodukten som magneten ingår i.

Kina dominerar marknaden för permanentmagneter i hela värdekedjan från brytning och anrikning till produktion av magneterna, se Figur 27. Det finns en viss produktion av permanentmagneter i Europa, men huvuddelen av behoven möts med import, nästan uteslutande från Kina. EU som region är den största importören av

Figur 27: Värdekedjan för permanentmagneter med geografisk fördelning av de olika processtegen. Källa: Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU. CEPS In-Depth Analysis 2022. (Rizos & Righetti, 2022)

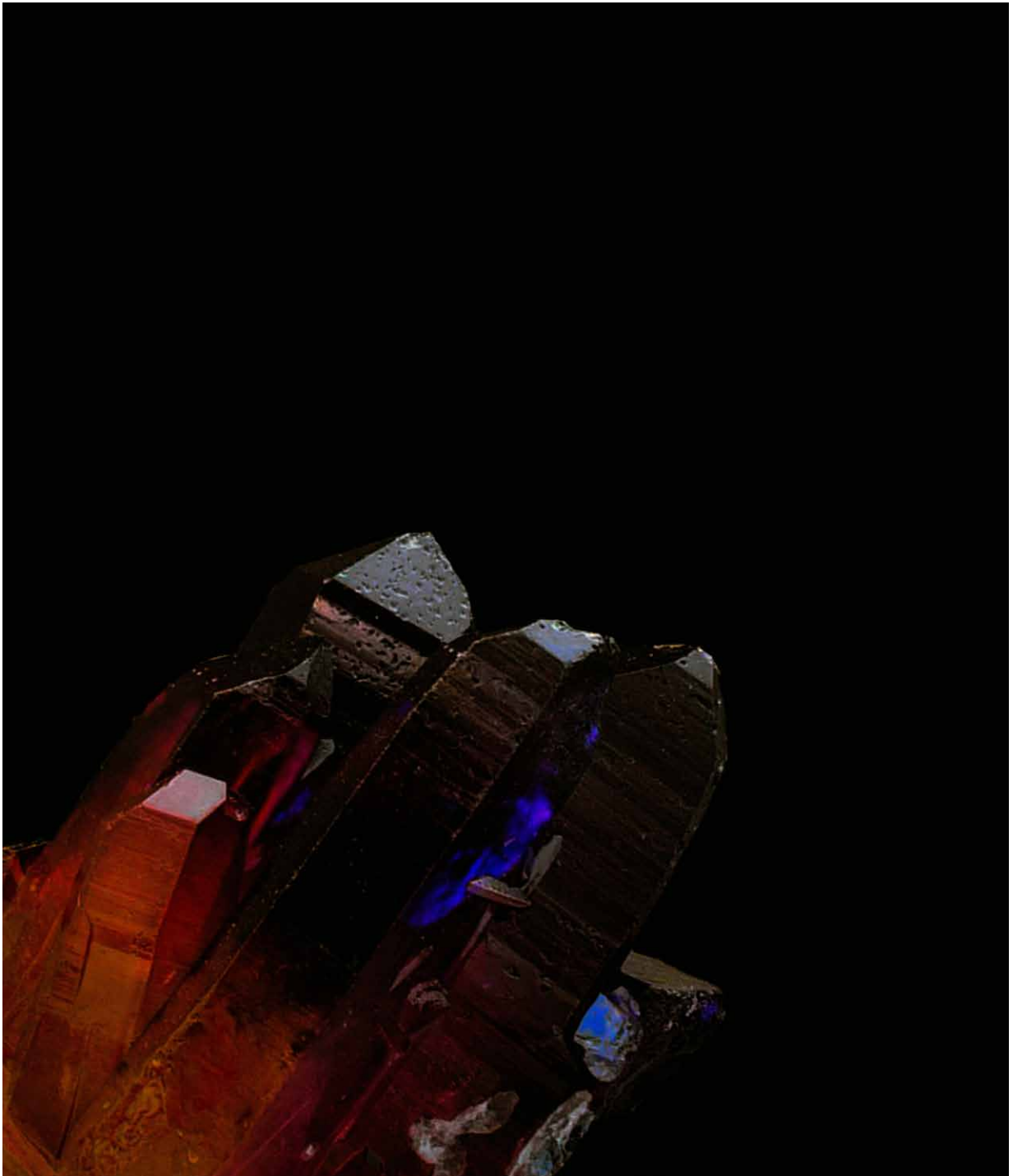


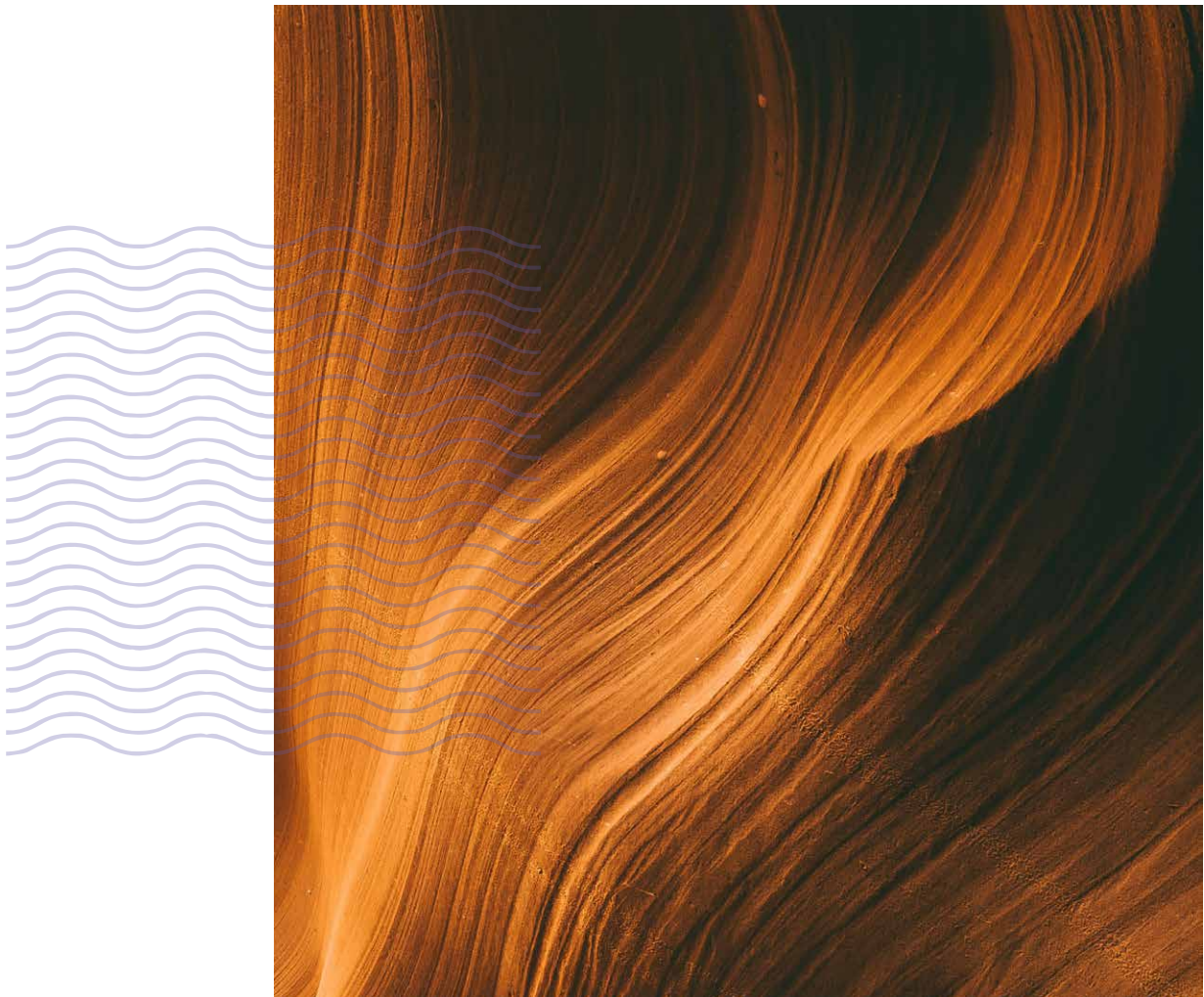
Figur 28: Kinas export av permanentmagneter baserade på sällsynta jordartsmetaller, fördelade på exportland (tusentals ton). Källa: Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU. CEPS In-Depth Analysis 2022. (Rizos & Righetti, 2022)



kinesiska NdFeB-magneter med närmare 18 kiloton per år (Rizos & Righetti, 2022). Totalt svarar EU:s import för 36 procent av Kinas export av NdFeB-magneter. Det innebär att Kina kontrollerar 98 procent av marknaden för permanentmagneter baserade på sällsynta jordartsmetaller inom EU. Se Figur 28.

Det finns stora tillgångar på sällsynta jordartsmetaller inom EU och Sverige (Rizos & Righetti, 2022), men ingen tillverkning av magneter. Det stora beroendet av Kina för import av kraftfulla magneter gör europeisk industri sårbar för störningar. Samtidigt ökar också Kinas egen efterfrågan på magneter i takt med att andelen elbilar ökar där.





Bilagor

Bilaga 1: Indelningar
av mineral och andra
råmaterial

Bilaga 2: Litteraturförteckning

Bilaga 1: Indelningar av mineral och andra råmaterial

Mineral och råmaterial delas ofta in i grupper. En grupp kan exempelvis representera:

- dess funktion och användning i samhället (*basmetaller, innovationskritiska etc.*)
- hur de vanligen utvinns (*primär- eller sekundärresurs*)
- hur betydelsefulla de uppfattas för att uppnå en viss funktion (*strategisk*)
- kombinationer av sårbarhet i tillgång och betydelse (*kritisk*).

Då dessa grupperingar delvis är subjektiva förekommer överlapp. Indelningarna är även dynamiska över tid och kan skilja sig åt beroende på vems perspektiv som används när indelningen görs.

Det finns även grupperingar som utgår från grundämnens placering i det periodiska systemet och i viss mån efter speglar likartade fysikaliska egenskaper. Dessa definitioner är därför mer statiska över tid. Som exempel kan nämnas *sällsynta jordartsmetaller och platinagruppen*. Men även för dessa indelningar kan det finnas flera tolkningar. I gruppen *ädelmetaller* ingår ibland alla metaller som har låg reaktivitet medan det i andra sammanhang enbart är de metaller som används för smyckesändamål (guld, silver, platina och palladium) som avses.

Det senaste årtiondet har intresset för kritiska råmaterial ökat. Ett råmaterial definieras som kritiskt om det finns en betydande risk för leveransstörning (ex. importberoende från ett fåtal länder) och om konsekvensen av störningen hotar något av värde (ex. betydande ekonomisk konsekvens). (Schrivers, 2020)

EU har sedan 2011 en lista över kritiska råmaterial, och 2023 utkom den femte reviderade upplagan. EU har valt att exkludera mineral som används för energiändamål men däremot inkludera vissa ädelgaser, trots att dessa egentligen inte är vare sig mineral eller råmaterial.

Det bör noteras att flertalet kritiska råmaterial är relativt vanligt förekommande i jordskorpan men samtidigt kan utvinningen av dem uppfattas som problematisk. I takt med att tekniker för utvinning och användning förändras påverkas även uppfattningar om vad som är kritiskt. Kvicksilver klassades som kritiskt i Sverige under tidigt 1900-tal på grund av importberoende och betydelse för industriell tillverkning av såpa. (Vikström, 2018) Kontroll över försörjningskedjor för svavel var under samma tid föremål för diplomatiska dispyter mellan England och Frankrike. (F & Genchi, 2016)

Att på samhällsnivå klassa ett råmaterial som kritiskt eller ej endast baserat på dess ekonomiska värdeskapande kan ibland vara missvisande för såväl samhället i stort som för enskilda aktörer. Som exempel kan nämnas att helium klassificerades som kritiskt av EU i 2017 års upplaga av kritiska råmaterial, togs bort i nästföljande utgåva från 2020, för att därefter återintroduceras i 2023 års uppdatering. (EU, 2017) (EU, 2020) (EU, 2023)

För sektorer som använder helium, exempelvis MR-scaning för cancerdiagnostik, kan ett leveransbortfall orsaka betydande konsekvenser även när helium inte ingick på listan. En ytterligare begränsning är att EU:s metod för att klassificera kritiska material i huvudsak utgår från användningsområdets nuvarande ekonomiska värdeskapande. Samtidigt finns det samhällssektorer som kan vara kritiska men utgör en liten del av ekonomin. Exempelvis kan försvarsindustrin vara beroende av resurser som inte återfinns på listan då sektorn utgör en liten andel av den totala ekonomin. Även sektorer som skulle kunna bli viktiga i framtiden undervärderas. För att adressera detta valde EU att 2023 introducera begreppet *strategiska resurser* som utvärderas i ett mer framtidsblickande perspektiv där hänsyn även tas till hur både tillgång och efterfrågan kan komma att utvecklas. (Carrara, 2023)

I denna rapport har vi valt att ta ett brett grepp på samhällets mineraldödsförsörjning. Där så behövs har vi avgränsat våra analyser till vissa specifika mineral eller grupper för att belysa intressanta trender, utmaningar och vägval framåt. Flertalet av våra observationer är dock applicerbara på samhällets mineraldödsförsörjning i stort.

Bilaga 2: Litteraturförteckning

Automotive News Europe. (den 8 mars 2023).

Europe Autonews.com. Hämtat från VW pauses on Europe battery plants, awaiting EU response to U.S. IRA: <https://europe.autonews.com/automakers/vw-favors-us-over-europe-battery-plant-bidens-ira-law>

Bergstaten. (den 5 maj 2023). *Prospektering*. Hämtat från SGU/Bergstaten: <https://www.sgu.se/bergsstaten/prospektering/>

Blue Institute. (2022). *The global battery value chain*. Stockholm: Blue Institute.

Bobba, S., Mathieux, F., & Blengini, G. (2019). How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries. *Elsevier Resources, Conservation and Recycling*, 279–291.

Boliden. (den 10 januari 2024). *General Presentation*. Hämtat från: https://www.boliden.com/4af040/globalassets/investor-relations/reports-and-presentations/general-presentation/boliden-post-q3_23-general-presentation-sbti.pdf

Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Christou, M. (2023). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*. Brussels: Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/386650, JRC132889]. .

CNBC. (den 29 september 2023). *Biden's IRA plan pushes battery maker Northvolt to plan new factory in Canada*. Hämtat från CNBC: <https://www.cnbc.com/2023/09/29/bidens-ira-plan-pushes-battery-maker-northvolt-to-plan-new-factory-in-canada.html>

Copenhagen Economics. (2021). *Det svenska gruvklustrets ekonomiska värde*. Stockholm: Svemin.

Electrek. (den 24 juli 2023). *Meyer Burger abandons German solar cell factory plans to build a US factory instead*. Hämtat från <https://electrek.co/2023/07/24/meyer-burger-solar-colorado/>

Emanuel Hache. (2018). Do renewable energies improve energy security in the long run? *International Economics* 156, 127–135.

Ericsson, M. (2023). The evolving structure of the global mining industry, (2023). *Matériaux & Techniques*, vol. 111, artikel 303. Hämtat från <https://doi.org/10.1051/mattech/2023017>.

Ericsson, M., & Löf, O. (2019). *Mining's contribution to national economies between 1996 and 2016*. Mineral Economics.

Ericsson, M., Löf, A., Löf, O., & Müller, B. D. (2023). *Cobalt: corporate concentration 1975–2018*. Mineral Economics.

Ericsson, M., Löf, O., & Löf, A. (2020). *Chinese control over African and global mining – past, present and future*. Mineral Economics.

EU. (2017). *The 2017 list of Critical Raw Materials for the EU*. Bryssel: Europeiska kommissionen.

EU. (2020). *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*. Bryssel: Europeiska kommissionen.

EU. (2023). *Establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724*. Bryssel: Europeiska kommissionen.

EU Commission Joint Research Center. (2023). *Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023*. Bryssel: Europeiska kommissionen.

Europeiska kommissionen. (2023). *Study on the Critical Raw Materials for the EU*. Bryssel: Europeiska kommissionen.

Europaparlamentet. (2023). *Europaparlamentets och rådets förordning om inrättandet av en ram för säkerställande av trygg och hållbar försörjning av kritiska råvaror*. COM(2023) 160 Final 16.3.2023. Bryssel: Europeiska kommissionen.

F, S., & Genchi, G. (Januari 2016). The Sulphur Mining Industry in Sicily, in *Essays on the History of Mechanical Engineering*. Springer International Publishing, ss. 111–130.

Fliess, B., Idsardi, E., & Rossouw, R. (2017). Export controls and competitiveness in African mining and minerals processing industries. *OECD Trade Policy Papers No. 204*.

Frenzel, M., Mikolajczak, C., Reuter, M., & Guzmer, J. (2017). Quantifying the relative availability of high-tech by-product metals – The cases of gallium, germanium, and indium. *Resources Policy* 52, 327–335.

Fu, X., Polli, A., & Olivetti, E. (den 25 mars 2018). High-Resolution Insight into Materials Criticality: Quantifying Risk for By-Product Metals from Primary Production. *Journal of Industrial Ecology* 23, Volume 23, ss. 452–465.

Gholz, E., & Hughes, L. (2021). Market structure and economic sanctions: the 2010 rare earth elements episode as a pathway case of market adjustment. *Review of International Political Economy*.

IEA, I. e. (2022). *The role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*.

IRENA. (2023). *Geopolitics of the energy transition: Critical materials*. Abu Dhabi: The International Renewable Energy Agency.

IVA. (2021). *Klimatförändringar och hållbar vattenförsörjning*. Stockholm: IVA.

Jonsson, E., Lewerentz, A., & Persson, L. (2023). *Undersökning, provtagning och karaktärisering av historiska gruvavfall. Kapitel 3 i: Rapportering av regeringsuppdrag – Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser*. Uppsala: SGU RR 2023:1.

Jonsson, E., Törmänen, T., Keiding, J., Bjerkgård, T., Eilu, P., Gautneb, H., Stendal, H. (2023). Critical Metals and Minerals in the Nordic Countries of Europe: diversity of mineralisation and green energy potential. *Geological Society of London, Special Publication* 526, 95–152.

JRC Science for policy report. (2023). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

LKAB. (den 3 maj 2023). *LKAB väljer Luleå för cirkulär industripark för fosfor och sällsynta jordartsmetaller*. Hämtat från: <https://lkab.com/press/lkab-valjer-lulea-for-den-cirkulara-industriparken-for-fosfor-och-sallsynta-jordartsmetaller/>

Löf, A., Ericsson, M., & Löf, O. (2022). Marine mining and its potential implications for low- and middle-income countries. *WIDER Working Paper 2022/170*, <https://doi.org/10.35188/UNU-WIDER/2022/303-1>.

Månberger, A., & Stenqvist, B. (2018). Global metal flow in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. *Elsivier, Energy Policy* 119 (2018), 226–241.

Nordic Innovation. (2021). *The Nordic Supply Potential of Critical Metals and Minerals for a Green Energy Transition*. Nordic Innovation.

Northvolt. (den 1 november 2023). *Northvolt News*. Hämtat från <https://northvolt.com/articles/northvolt-six/>

NRB. (2022). *Critical minerals – Global supply chains and Indo-pacific geopolitics*. Washington: NRB The national bureau of Asian research.

NS Energy business. (den 31 oktober 2023). Hämtat från NS Energy: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/chvaletice-manganese-project/#>

OECD. (den 30 oktober 2023). *Trade in raw materials*. Hämtat från: <https://www.oecd.org/trade/topics/trade-in-raw-materials/>

OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. Paris: OECD Publishing.

Owen, J. R., Kemp, D., Lechner, A., Harris, J., Zhang, R., & Lèbre, É. (den 1 december 2022). Energy transition minerals and their intersection with land-connected peoples. *Nature sustainability*, ss. 203–211.

Priester, M., Ericsson, M., Dolega, P., & Löf, O. (2019). Mineral grades: an important indicator for environmental impact of mineral exploitation. *Springer Link*, vol. 32, p 49–73.

Rapport från riksdagen 2021/22:RFR10. (2022). *Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt*. Stockholm: Riksdagstryckeriet.

Reginiussen, H., & Hallberg, A. (2018). *Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral*. Uppsala: SGU.

Reuter, M. A., van Schaik, A., Gutzmer, J., Bartie, N., & Abadías-Llamas, A. (2019). Challenges of Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. *The Annual Review of Materials Research*.

Rizos, V., & Righetti, E. (2022). *Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU*. Bryssel: CEPS.

Rosbach, N. H. (2023). *Sällsynta metaller och stormaktsrivalitet*. Stockholm: FOI.

S&P. (den 01 oktober 2023). *Exploration Budget in Perspective*. S&P Capital IQ Global Market Intelligence 2023. Hämtat från <https://www.capitaliq.spglobal.com/web/client#industry/CommodityExplorationBudgetInPerspective>

Schrivers, D., Hool, A., Eggert, R., Dewulf, J., Chen, W.-Q., Blengini, G., Wäger, P. (April 2020). A review of methods and data to determine raw material criticality. *Elsevier Resources, Conservation and Recycling*.

SGU. (2023). *Bergverkststatistik 2022*. Uppsala: SGU.

SGU. (den 5 maj 2023). SGU. Hämtat från Mineralnärings/prospektering: <https://www.sgu.se/mineralnaring/svensk-gruvnaring/prospektering/>

SGU. (den 5 maj 2023). *SGU.se/mineralnaring*. Hämtat från Anrikningsprocessen och anrikningssand: <https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/anrikningsprocessen-och-anrikningssand/>

SGU & Naturvårdsverket. (2023). *Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser*. Uppsala: SGU RR 2023:01.

Svemin. (2018). *Vägledning för prospektering*. Stockholm: Svemin.

Talga. (2023). Hämtat från Talga Group: <https://www.talgagroup.com/sv/>

Terrafame. (2023). Hämtat från Terrafame: <https://www.terrafame.com/>

Tillväxtanalys. (2017). *Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt – hur kan staten stödja utvecklingen*. Östersund: Tillväxtanalys.

U.S. Department of Energy. (2022). *Rare Earth Permanent Magnets, Supply Chain Deep Dive Assessment*. U.S. Department of Energy.

United Nations. (den 11 maj 2023). UN. Hämtat från <https://www.un.org/en/dayof8billion>

Van den Tweel, M. (2002). *Environmental assessment of metals: Through dynamic modelling of the metal life cycle system*. Delft: Applied Earth Sciences, Delft University of Technology.

Vikström, H. (Juli 2018). Is There a Supply Crisis? Sweden's Critical Metals, 1917–2014. *The Extractive Industries and Society* 5, ss. 393–403.



Kungl. Ingenjörsvetenskaps
Akademien

i samarbete med



Med stöd från

