

# Cirkulära flöden 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](http://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 548  
ISSN: 1100-5645  
ISBN: 978-91-89181-50-2

Projektledning: Pia Lingshede, IVA  
Text: Pia Lingshede, IVA  
Språkgranskning: Emelie Nord, IVA  
Layout: Pelle Isaksson, IVA

Denna rapport finns att ladda ned på [www.iva.se](http://www.iva.se)

# Innehåll

<b>1. Förord</b>	4
<b>2. Sammanfattning</b>	6
Utmaningarna	7
Förslag till åtgärder	9
<b>3. Ordlista</b>	12
<b>4. Förutsättningar</b>	16
Ökande behov av metaller och mineral och dess drivkrafter	17
Vi använder fler och fler metaller	18
Ett fåtal länder kontrollerar värdekedjorna	19
Olika sätt att minska behoven av primära material	20
Materialåtervinningen idag	21
Mycket är på gång inom EU och globalt	29
<b>5. Utmaningar</b>	30
Lönsamhet	31
Designen på många produkter främjar inte cirkularitet	32
Hinder för ökad produktivslängd	33
Tekniska utmaningar med komplexa material och blandade avfallsströmmar	34
Omogen marknad där återvunnet inte efterfrågas	37
Export av avfall och värdekedjor utanför EU	37
Linjär syn på avfall leder till sämre kvalitet på återvunnet material	38
Återvinning av material från avfallsdeponier och infrastrukturprojekt	40
Snävt fokus på en hållbarhetsutmaning riskerar att skymma helheten	41
Tillståndsprocesser	41
Regelverk inom EU	42
<b>6. Förslag till åtgärder</b>	44
Cirkulär styrning	45
Regelverk och synen på avfall	49
Kunskap och kompetens	50
<b>7. Fördjupning: Exempel och fakta</b>	52
Exempel: Bilar och cirkularitet	53
Fakta: Metaller och mineral	56
<b>8. Litteraturlista</b>	58



# 1. Förord

»Rapporten betonar vikten av att utveckla cirkulära system.«

För att nå klimatmålen behöver världen ställa om till fossilfria energikällor. Detta kräver i sin tur en ökad användning av de metaller och mineral som ingår i exempelvis vindkraftverk, elbilar och solceller. Även utvecklingen inom exempelvis informations- och kommunikationsteknik leder till en ökad efterfrågan på olika metaller. Efterfrågan på flera metaller och mineral beräknas mångdubblas under de kommande decennierna.

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

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

Rapporten betonar vikten av att utveckla cirkulära system, då de stora samhällsutmaningarna inte kan lösas enbart genom ökad användning av primära resurser från gruvdrift. I rapporten diskuteras, med fokus på materialåtervinning, bland annat:

- Rollen som cirkulära flöden kan spela både på kort och lång sikt när det gäller tillgång till metaller och mineral.
- Identifierade hinder inom teknik, juridik och marknad, samt de förutsättningar som krävs för att utnyttja möjligheterna med cirkulära flöden.
- Åtgärder som behövs för att realisera potentialen med cirkulära flöden.

Arbetet har genomförts under 2023–2024, av en arbetsgrupp bestående av följande personer:

**Mikael Dahlgren**, ABB/Hitachi Energy, ordförande  
**Pia Linghede**, projektledare IVA  
**Märta Bergfors**, Stena Recycling AB

**Christian Ekberg**, Chalmers tekniska högskola AB  
**Magnus Ek**, Boliden AB  
**Sebastian Holmström**, Inrego AB  
**Christian Junestedt**, IVL Svenska Miljöinstitutet AB  
**Anders Kihl**, Ragn-Sells AB  
**Martin Karlsson**, Northvolt AB  
**Mats W Lundberg**, Sandvik AB  
**Helena Malmqvist**, Jernkontoret  
**Linnea Petersson**, Volvo Cars  
**Per Roos**, Epiroc Rock Drills AB  
**Patrik Söderholm**, Luleå tekniska universitet  
**Cecilia Wästerlid**, RISE Research Institutes of Sweden AB

Arbetsgruppen har analyserat och diskuterat förutsättningar, utmaningar och åtgärder kopplat till cirkulära flöden i relation till projektets syfte. Faktarapporter och vetenskapliga artiklar har använts som underlag (se källförteckning och referenser) men rapporten bygger även på arbetsgruppens samlade kunskap.

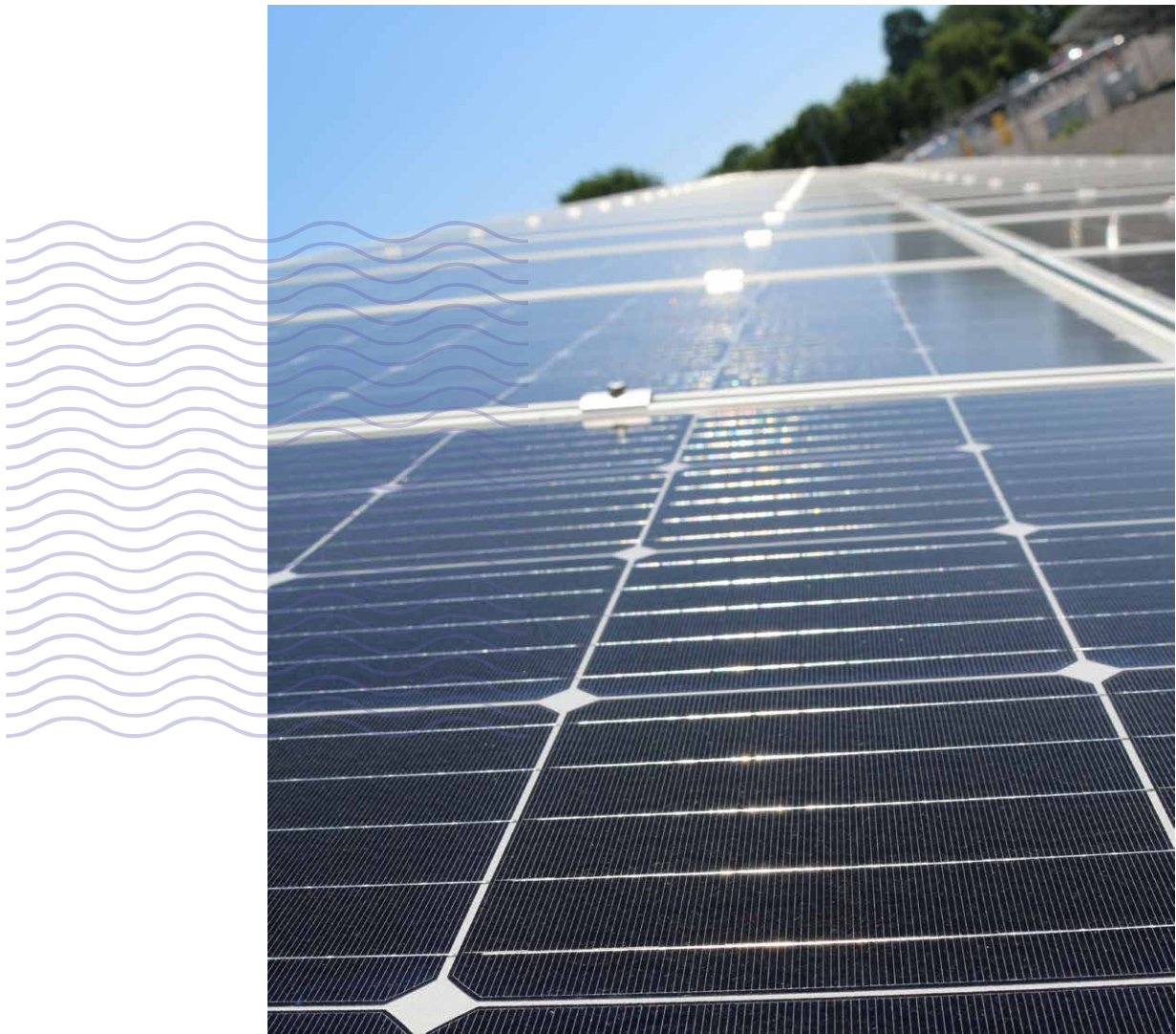
Arbetsgruppen står bakom rapporten i sin helhet, men alla individer står inte nödvändigtvis bakom alla formuleringar.

**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 Energimyndigheten.

**Relaterade IVA-projekt:** IVA har tidigare drivit projektet *Resurseffektivitet och cirkulär ekonomi* som hade ett bredare anslag med fördjupningar inom mobilitet, lokaler, livsmedel, textil och plast (IVA, 2020 a). Denna rapport innebär att IVA fortsätter arbetet inom området, nu med fokus på metaller och mineral.

Stockholm, mars 2024

**Mikael Dahlgren**,  
 arbetsgruppens ordförande



## 2. Sammanfattning

»Idag nyttjas avfall i  
alltför liten utsträckning  
som en resurs.«

För att långsiktigt och hållbart säkra tillgången till metaller och mineral i omställningen till ett fossilfritt samhälle behövs cirkulära material- och produktflöden. Cirkulära flöden, som i studien omfattar förlängd produktlivslängd, återanvändning, återtillverkning och materialåtervinning, kan inte täcka de ökade behoven, men förbättringsmöjligheterna är stora. Exempelvis är återvinningsgraderna idag låga för majoriteten av de metaller och mineral som EU klassar som kritiska.

Inom många områden innebär produkternas design att de är komplicerade att reparera samt att materialen är svåra att separera i materialåtervinningen. Ofta saknas stödjande lagstiftning, affärsmodeller och system (exempelvis demontering, sortering, bearbetning och förädling) för att ta vara på kritiska metaller och mineral från uttjänta produkter. Goda exempel finns, och de kan fungera som förebilder, men för att få till en större förändring bör utmaningarna nedan hanteras.

## Utmaningarna

Idag nyttjas avfall i alltför liten utsträckning som en resurs för att bidra till hållbar och säker tillgång till kritiska metaller och mineral. Att öka nyttjandet och cirkularitet i stort innebär flera utmaningar.

### Lönsamhet

Det är många gånger inte kommersiellt lönsamt med cirkulära flöden. Detta har enligt arbetsgruppens analys flera orsaker:

- Principen om att förorenaren betalar fungerar inte. Samhälleliga och miljömässiga kostnader för ändliga resurser och utsläpp avspeglas inte i prissättningen av material och produkter.
- Lagstiftning och infrastruktur för att ta hand om använda och uttjänta produkter är inte anpassade efter en cirkulär ekonomi.
- Återvinnningssystemen är småskaliga i jämförelse med produktion av ny råvara. För att uppnå lönsamhet i en återvinningsprocess krävs ofta storskaliga system. Kritiska material används vanligtvis i låga koncentrationer och systemen för deras återvinning riskerar därför att bli småskaliga.
- Samhället har inte satsat tillräckligt på forskning och utveckling inom sekundära material- och produktflöden, exempelvis inom metodutveckling för att effektivt materialåtervinna kritiska metaller och mineral.
- Befintliga producentansvarssystem är kostnadsneutrala för producenten, oavsett om produkten har en design som underlättar cirkularitet eller inte.

Det finns undantag och goda exempel där cirkularitet är ekonomiskt lönsamt. Koppar har till skillnad från många andra kritiska metaller en hög återvinningsgrad. Lönsamheten vid materialåtervinning påverkas bland annat av priset på råvaran, volymer, kostnad för demontering och separering samt tillgängliga återvinningstekniker. För reparationer och återtillverkning behöver en produkts nypris sättas i relation till vad reparationer och återtillverkning kostar i form av arbete och reservdelar.

## Tekniska utmaningar med komplexa material och blandade avfallsströmmar

Materialåtervinningen försvåras av att produkterna är uppbyggda av många material – ofta i låga koncentrationer. Exempelvis innehåller elektronikskrot kritiska metaller, som gallium, sällsynta jordartsmetaller med flera. Dessa små fraktioner är komplicerade att ta vara på, och idag materialåtervinns endast ett begränsat antal metaller från elektronik. Utmaningar finns i samtliga steg; design, insamling, förbehandling (demontering, separation och sortering) och slutbearbetning. Funktionella krav, som bygger på bland annat industrins konkurrenskraft och produkters energieffektivitet, har drivit fram behovet av komplexa material. Utmaningen är således att dels hitta lösningar för återvinning av komplexa material, dels hitta alternativa mindre komplexa material med tillräckliga egenskaper samt att, på etablerade sätt, enas om standarder (inom EU och globalt) som främjar cirkularitet.

## Avfall ses inte som en resurs

Separata lagstiftningar som innebär skilda spelregler för primära resurser och avfall försvårar för cirkulära flöden. Möjligheten att utveckla lönsamma tekniker för ökad materialåtervinning påverkas därmed.

- Deponiskatten hindrar återvinning av metaller lagrade i avfallsdeponier eftersom en del material kommer att behöva återdeponeras till hög kostnad. Skatten försvårar även för den mellanlagring av avfall som kan krävas för att samla större volymer av kritiska metaller och mineral och därigenom få upp en tillräcklig volym för en lönsam och effektiv återvinning. Det kan exempelvis handla om att lagra uttjänta solpaneler för återvinning tills en dedikerad anläggning kan byggas/uppgraderas för att kunna materialåtervinna alla material som finns i dessa.
- Regler för avfallstransporter inom EU är inte harmoniserade och innebär stora kostnader för återvinningsindustrin i form av administration och lagring samt osäkra förutsättningar. Konsekvensen är att återvinningsindustrin har utmaningar i att

exempelvis samla avfallsströmmar från den nordiska marknaden till gemensamma specialiserade anläggningar. Lagstiftningen är gjord för att skydda människors hälsa och miljön i den linjära ekonomin – inte för att underlätta för cirkulär ekonomi.

- Ett material som är klassat som avfall får endast användas som råvara av någon som har tillstånd att processa avfall. Detta begränsar möjligheten att använda dessa material som råvaror i produktionsprocesser. I vissa fall får avfall inte användas som råvara i produkter oavsett vilken kvalitet materialet har (exempelvis återvunnen fosfor). Inom EU:s avfallsdirektiv finns *end-of-waste*-kriterier som ska uppfyllas för att ett avfall inte längre ska klassas som ett avfall. Ett kriterium som ska uppfyllas är att det ska finnas en marknad för materialet. Detta skapar hinder för oetablerade sekundära råvaror som skulle kunna användas av kunder som saknar tillstånd att hantera avfall.

## Svåra helhetsbedömningar

Det är svårt att bedöma miljöpåverkan av olika vägval. Många gånger måste påverkan inom ett område vägas mot påverkan inom andra, och systemgränser har en stor betydelse för bedömningen. Att använda mindre material i produkter är resurseffektivt och eftersträvansvärt, men kan samtidigt göra att materialåtervinningen försvåras. Är det då bättre eller sämre för exempelvis klimatet och den biologiska mångfalden med en resurssnål design eller med en design som fokuserar på återvinningsbarhet? En annan svårighet kan vara att avgöra om materialåtervinning eller återanvändning av en viss produkt är att föredra. Vad som påverkar klimatet mest beror på produkten, energiåtgången och teknikutvecklingen, men även på vilka system (t.ex. insamling, förbehandling, processer för materialåtervinning och energimix) som finns på plats i omvärlden. På samma sätt kan det vara svårt att avgöra vilken strategi som bäst bidrar till att säkra tillgången till kritiska metaller och mineral. Det saknas många gånger globala data och beslutsstöd inom industrin för att kunna ta bättre och snabbare beslut som går i linje med de globala målen för hållbar utveckling.





## Regelverk på EU-nivå

Inom EU pågår arbete med många olika regelverk för att stärka cirkulära flöden. Det är positivt, men i detta arbete finns risk för bristande samordning, motstridiga regleringar och ökad administrativ börda. En aktuell fråga är också vilken påverkan EU-lagstiftningen kommer att ha för de europeiska företagens konkurrensförutsättningar på en global marknad.

## Tillståndsprocesser

Tillståndsprocesser i samband med satsningar inom återvinning upplevs av många företag som tidskrävande och oförutsägbara. Detta område hanteras inom en annan del av projektet och redovisas i rapporten "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter" (publiceras i maj 2024).

Flera av utmaningarna ovan är generella och gäller för cirkularitet i stort – inte bara för metaller och mineral. Detsamma gäller åtgärdsförslagen nedan.

## Förslag till åtgärder

Det behövs långsiktiga spelregler samt en översyn av de skatter och regelverk som idag hämmar cirkularitet. Staten bör underlätta för företag som vill bedriva cirkulär verksamhet på följande sätt:

### Cirkulär styrning

Stimulera framväxten av marknader för återvunnen metall och cirkulära produktflöden på följande sätt:

- Prioritera generella åtgärder riktade mot grundorsakerna till låg grad av cirkularitet såsom ojämna spelregler och obefintlig eller inkorrekt prissättning av externa kostnader. Exempel på åtgärder med positiv påverkan på cirkulära flöden är EU:s system för handel med utsläppsrätter och EU:s nya redovisningsregler för företag (CSRD).
- Öka den statliga styrningen inom selekterade områden. Det behövs en mix av styrmedel inom EU så att både efterfrågan och tillgång på

återvunnet material ökar. Säkerställ att företag och branschorganisationer bjuds in till dialog när regelverken utformas så att både konkurrenskraft och framsteg inom cirkularitet säkerställs.

- Ta fram långsiktiga statliga strategier och stöd som minskar osäkerheter och risktagande för olika aktörer vid omställningen till cirkulära affärsmodeller och materialåtervinning av kritiska metaller. Satsa på stöd till implementering av nya affärsmodeller/processer och pilotanläggningar för att öka återvinningen av kritiska råvaror.
- Satsa på standardiseringsarbete i etablerade industriella forum för att främja cirkulära flöden. Ett arbete med standarder är angeläget i samband med det nya ELV-direktivet (Directive on end-of-life vehicles) som innefattar rapportering av till exempel återvunnet material. Eftersom dagens standarder inte fastställer hur mängden återvunnet material ska räknas fram på ett enhetligt sätt kommer den nya lagstiftningen att behöva förtydliga detta. Det finns också ett behov av materialstandarder som både förädlings- och återvinningsbranscherna kan förhålla sig till. Ytterligare ett område är produktstandarder som tillåter återvunnet material.

Ovanstående åtgärder är svåra att genomföra och kräver samordning på internationell nivå för att undvika att EU:s tillverkningsindustri inte skall tappa konkurrenskraft. Icke desto mindre är det viktigt att jobba med dessa fundamentala områden.

## Förlängd produktlivslängd

Förenkla återanvändning och återtillverkning genom att exempelvis ta bort Sveriges kemikalieskatt på importerad begagnad elektronik samt ställa krav på reparerbarhet för fler produkter inom EU och på mer cirkularitet i offentliga upphandlingar i Sverige. Utred och implementera olika sätt att minska kostnaderna för företag som, genom exempelvis reparationer och återtillverkning, förlänger livslängden på olika produkter.

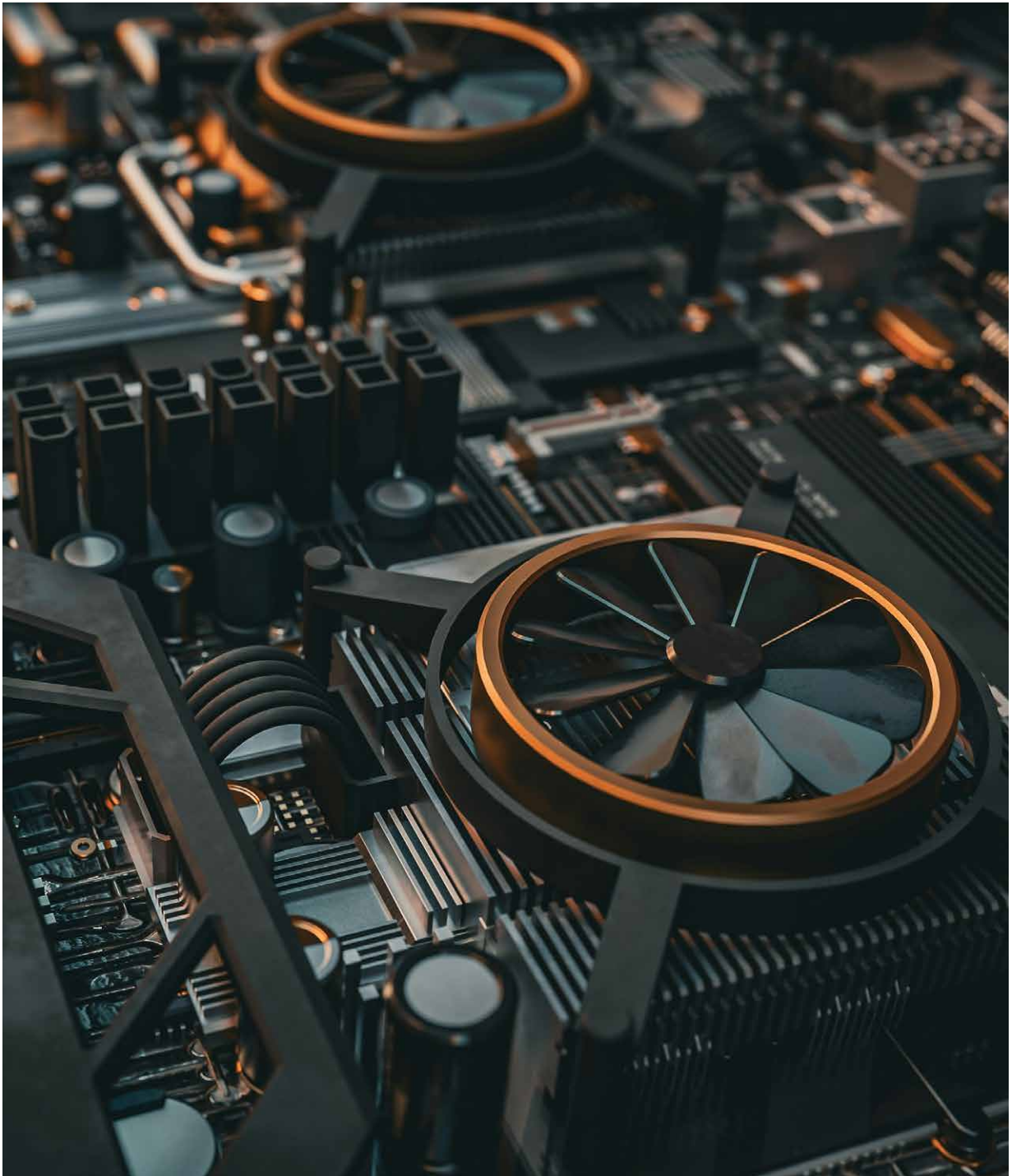
## Regelverk och synen på avfall

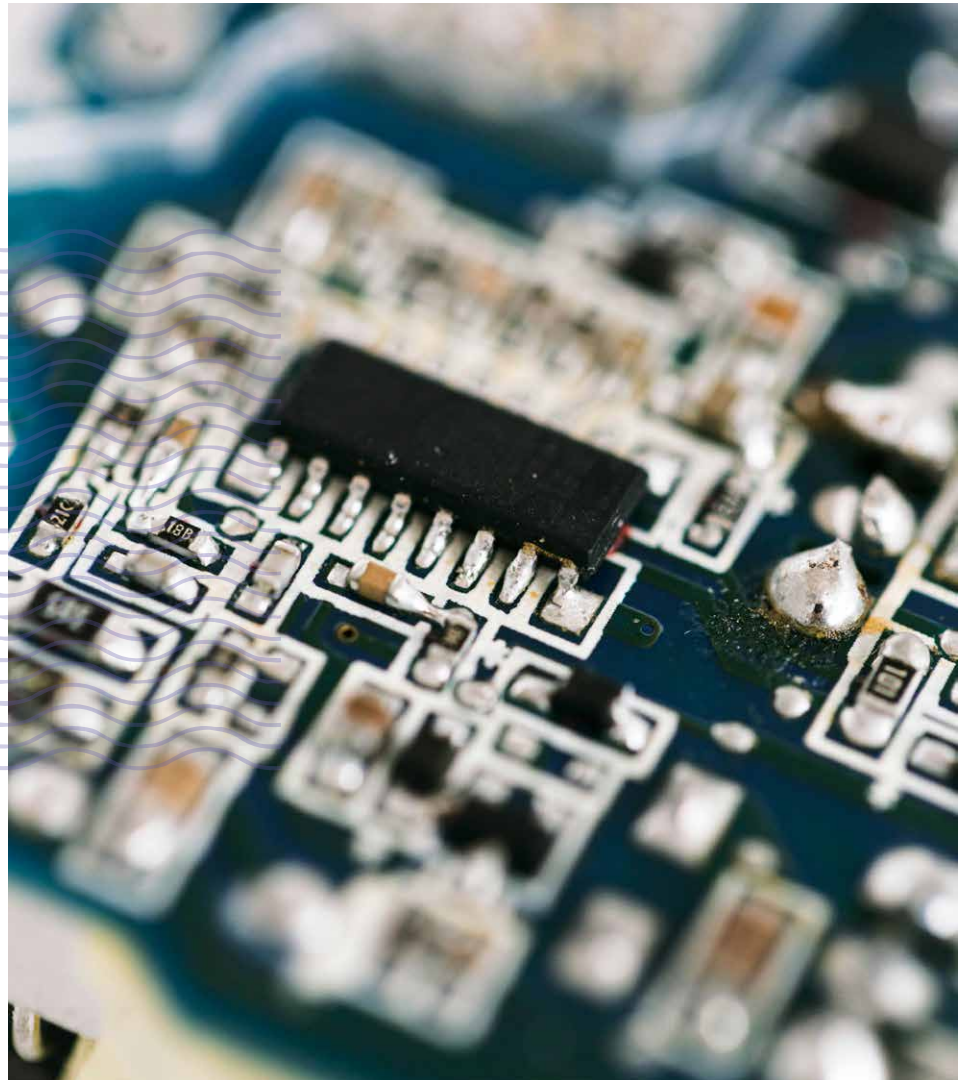
Förändra synen på avfall så att det behandlas som en värdefull resurs. Underlätta för återvinningsbolag att samla större volymer avfall och återvinna från deponier, och skapa incitament för att gammal infrastruktur tas tillvara vid nya infrastrukturprojekt.

## Kunskap och kompetens

Satsa på utbildning, forskning och innovation inom området och skapa arenor för samverkan.

- Kunskapen om hur olika metaller och mineral flödar i samhället behöver öka. Utan kunskap om hur materialen flödar är det svårt att utvärdera vad som fungerar bra/mindre bra och var det finns nya affärsmöjligheter.
- Det behövs fler yrkesverksamma med bättre kunskap om cirkulära flöden och affärsmodeller, cirkulär design, förebyggande underhåll, specifika materialåtervinningstekniker och deponiåtervinning.
- Olika metoder och globala dataunderlag för att kunna väga olika hållbarhetsaspekter mot varandra bör utvecklas/samlas in. Praktiska industriella metoder för att värdera vilka åtgärder som är bäst ur ett resurs- och klimatperspektiv behöver tas fram.
- Det behövs arenor för samarbeten kring cirkulära flöden. Aktörer längs hela värdekedjan behöver samarbeta i nya affärsmodeller, och inom materialåtervinning finns möjliga synergieffekter med primär utvinning av kritiska metaller. Innovationsprogrammet Metals & Minerals inom Impact Innovation kommer att ha stor betydelse. Det är viktigt att snabbt bygga upp finansieringen av programmet för att sedan möjliggöra finansiering av forskning och utveckling inom cirkulära material- och produktflöden med fokus på kritiska metaller och mineral.





### 3. Ordlista

Förklaringar till fackuttryck och dess betydelser i rapporten.

**Avfall**

Varje föremål eller ämne som innehavaren vill eller är skyldig att göra sig av med. (EU:s juridiska definition.)

**Cirkulär design**

Resurseffektiv design som främjar reparation, återanvändning, återtillverkning samt effektiv materialåtervinning.

**Cirkulär ekonomi**

Ekonomisk modell som, i motsats den traditionella linjära ekonomin som bygger på "slit och släng", fokuserar på att minska användningen av resurser genom bland annat resurseffektivitet, förlängd produktivslängd, återanvändning och materialåtervinning. En vedertagen definition för cirkulär ekonomi saknas ännu, men arbete pågår inom SIS: Standardutveckling (SIS, 2024).

**Closed-Loop Recycling**

Materialåtervinning i ett slutet system mellan producent, insamling och återvinning, vilket möjliggör upprepad tillverkning av samma produkt utgående från återvunnet material. Ett exempel är aluminiumburkar.

**Elektronikskrot**

Begrepp som i denna rapport används för avfall från elektrisk och elektronisk utrustning i bred bemärkelse. I EU:s förordning för avfall från elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE) undantas exempelvis elutrustning i fordon och fasta storskaliga installationer då dessa hanteras i andra rättsakter.

**EOL-RIR (End-of-Life Recycling Input Rate)**

Mått på hur stor andel material i produktionssystemet som kommer från återvinning av "gammalt skrot", det vill säga skrot från uttjänta produkter. Skrot som härrör från tillverkningsprocesser är inte inräknat.

**EOL-RR (End-of-Life Recycling Rate)**

Mått på andelen material i avfallsflöden som återvinns.

**Industriavfall**

Överblivet material, produktionsrester eller felaktiga produkter från industriella processer, vilka kasseras eller materialåtervinns.

**Kritiska råvaror (Critical Raw Materials, CRM) inom EU**

Klassning av råvaror (t.ex. olika metaller) baserad på deras ekonomiska betydelse i relation till deras tillgångsrisik. Exempel på kritiska metaller inom EU är kobolt, litium, mangan och sällsynta jordartsmetaller. EU:s lista över kritiska och strategiska råvaror uppdateras vart tredje år, senast 2023 (se Tabell 1). Råvaror som definierats som strategiska, se förklaring nedan, inkluderas automatiskt i listan över kritiska råvaror.

**Legeringar**

Material som består av en blandning av två eller flera olika metalliska ämnen. Specifika blandningar ger önskade egenskaper, exempelvis hållfasthet, värmebeständighet eller korrosionsmotstånd.

**Livscykelanalys (LCA)**

Metod för att utvärdera de miljömässiga påverkningsarna av en produkt eller tjänst genom att analysera dess livscykel från och till en vald start- och slutpunkt, till exempel från råvaruproduktion och tillverkning till användning och avfallshantering.

**Materialåtervinning**

Process där avfall upparbetas till nya material och ämnen som inte ska användas som bränsle eller fyllnadsmaterial.

**Metall**

Grundämne med specifika egenskaper såsom god ledningsförmåga för värme och elektricitet, metallglans och formbarhet.

### **Mineral**

Naturligt förekommande oorganiska kemiska föreningar, eller rena grundämnen med väldefinierad kemisk sammansättning, kristallstruktur och fysikaliska egenskaper.

### **Modulär design**

En designprincip som delar upp ett system eller en produkt i mindre delar, så kallade moduler, som kan modifieras, ersättas eller bytas ut mot andra moduler. Främjar reparation och återtillverkning.

### **Nedgradering**

Omvandling av en produkt eller material till en lägre kvalitet eller mindre värdefull form. Försämring av materialet eller produkten.

### **Konsumtionsavfall (Post-Consumer Waste)**

Avfall från uttjänta produkter. Avfall som genereras av slutanvändare (privatpersoner eller företag) från produkter som har tjänat sitt avsedda syfte eller inte längre är användbara. Detta avfall är ofta mer komplext än industriavfall.

### **Primär råvara**

Råvara som bryts från gruva.

### **Rekonditionering**

Process för att förlänga en produkts livslängd. Nytt material kan adderas men produkten blir inte som ny.

### **Reparation**

Process där delar/produkter som gått sönder lagas. Livslängden beror på tidigare användning.

### **Råvara**

Ämne i bearbetat eller obearbetat tillstånd som används som insatsvara vid tillverkning av mellanprodukter eller slutprodukter, med undantag för ämnen som huvudsakligen används som livsmedel, foder eller bränsle.

### **Samhällskritiska metaller och mineral**

Begrepp som i rapporten används som ett samlingsnamn för de metaller och mineral som EU klassar som kritiska eller strategiska, samt järn och kalk som är viktiga för Sveriges industri.

### **Sekundär råvara**

Se Återvunnen råvara.

### **Strategiska råvaror inom EU**

Råvaror av hög strategisk betydelse för den inre marknadens funktion med extra stor relevans för strategiska teknologier kopplat till den gröna omställningen, digitalisering samt försvar (se Tabell 1).

### **Sällsynta jordartsmetaller (Rare Earth Elements, REE)**

Samlingsnamn för de 15 lantaniderna (atomnummer 57 till 71). Ofta inkluderas även skandium (21) och yttrium (39). Exempel är cerium, neodym, dysprosium och europium. Betecknas ofta kort REE, efter engelskans *Rare Earth Elements*.

De används i till exempel elmotorer och elektronik och har speciella magnetiska, optiska och katalytiska egenskaper. Utifrån deras kemiska beteende delas de vanligtvis in i två grupper: lätta (La till Sm) och tunga (Eu till Lu samt Y). Många REE har väldigt specifika egenskaper och är svåra att ersätta.

### **Vertikal produktion**

Produktionsmetod där olika steg av tillverkningsprocessen utförs inom samma företag eller anläggning, vilket kan öka effektiviteten och kontrollen över produktionsprocessen.

### **Återanvändning (Återbruk)**

Förfarande som innebär att en produkt, som inte längre behövs av sin ägare, i stället för att bli till avfall tas omhand av en ny användare som har nytta av den. Inget material adderas och den tekniska livslängden förlängs ej.

### **Återtillverkning**

Industriell process där använda produkter återställs. Material adderas och produkten blir som ny, eller bättre.

### **Återvunnen (sekundär) råvara**

Råvara som kommer från tidigare använda produkter och genom återvinning kan användas igen. Återvunnen råvara kan även ha sitt ursprung från annat än produkter, till exempel reningskoncentrat som uppstår vid rening av utsläpp till luft och vatten, damm och stoft från ståltillverkning och slam från rening av avloppsvatten.

**Tabell 1:** Till vänster i tabellen finns de råvaror som EU klassificerat som kritiska 2023, i mitten finns de strategiska, vars prioritet är ännu högre, och till höger kan andelen återvunnet material i produktionssystemet inom EU utläsas (EOL-RIR).

Kritiska råvaror inom EU 2023 (Europaparlamentet, 2023, s. Annex II)	Strategiska råvaror inom EU 2023 (Europaparlamentet, 2023, s. Annex I)	EOL-RIR (End-of-life recycling input rate) (Grohol & Veeh, 2023, s. Annex 11)
Aluminium/Bauxit/Aluminiumoxid	Aluminium/Bauxit/Aluminiumoxid	32 % för elementärt Aluminium
Antimon		28 %
Arsenik		0 %
Baryt		0 %
Beryllium		0 %
Bor	Bor (metallurgisk kvalitet)	1 %
Flourit (Flusspat)		1 %
Fosfatmineral		0 %
Fosfor		0 %
Fältspat		1 %
Gallium	Gallium	0 %
Germanium	Germanium	2 %
Grafit	Grafit (batterisk kvalitet)	3 %
Hafnium		0 %
Helium		2 %
Kisel ( <i>Silicon metal</i> )	Kisel ( <i>Silicon metal</i> )	0 %
Kobolt	Kobolt	22 %
Kokskol (Koks)		0 %
Koppar	Koppar	55 %
Litium	Litium (batterisk kvalitet)	0 %
Magnesium	Magnesium	13 %
Mangan	Mangan (batterisk kvalitet)	9 %
Nickel (batterisk kvalitet)	Nickel (batterisk kvalitet)	16 %
Niob		0 %
Platinagruppens metaller (PGM)	Platinagruppens metaller (PGM)	12 %
Skandium		0 %
Strontium		0 %
Tantal		1 %
Titan ( <i>Titanium metal</i> )		1 %
Tunga och lätta sällsynta jordartsmetaller	Sällsynta jordartsmetaller för magneter (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm och Ce)	1 %
Vanadin		6 %
Vismut	Vismut	0 %
Volfram		42 %



## 4. Förutsättningar

»Efterfrågan, återvinningsgraden och produkternas livslängd påverkar hur stor del av behoven som kan täckas av återvinning.«



## Ökande behov av metaller och mineral och dess drivkrafter

Internationella resurspanelen konstaterar att den totala materialanvändningen i världen har ökat mer än tre gånger över de senaste 50 åren (från 30 miljarder ton till 106,6 miljarder ton) och att den fortsätter öka med över 2,3 procent per år. Samtidigt förutspår de att världens konsumtion av råvaror kommer öka med 60 procent till 2060 jämfört med 2020 om inga åtgärder görs. En stor del av ökningen globalt hänger ihop med en växande befolkning, ökad levnadsstandard, urbanisering och en ohållbar konsumtion. Det materiella fotavtrycket i höginkomstländer är sex gånger mer per capita än för låginkomstländer. Byggd miljö, mobilitet, energi och mat står för 90 procent av den globala efterfrågan på material, se Figur 1. För metaller kommer energiomställningen att leda till en stor ökning i efterfrågan fram till 2050 samtidigt som detta kan minska användningen av fossila bränslen (United Nations Environment Programme, 2024).

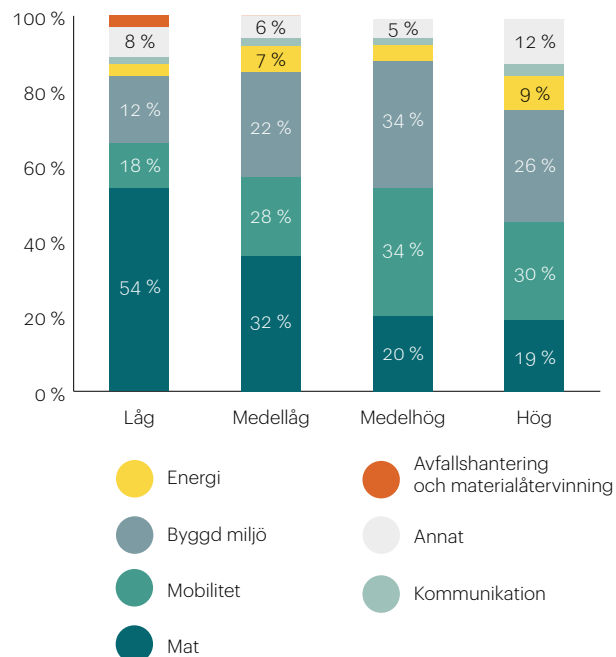
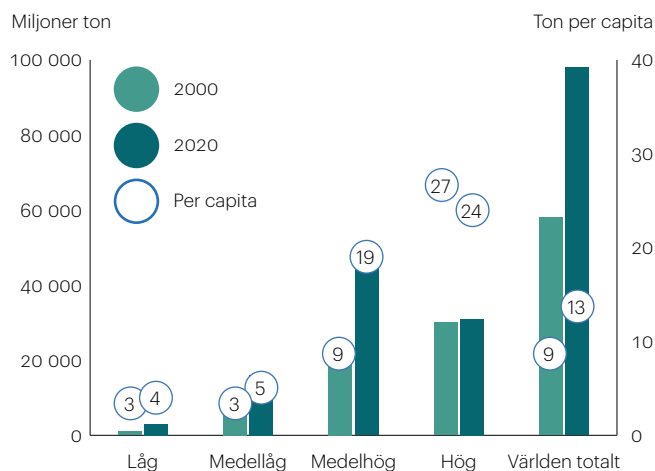
## Behovet av metaller och mineral ökar i och med omställningen

En omställning till ett fossilfritt energisystem ökar efterfrågan på metaller och mineral markant – denna slutsats återkommer i en rad olika rapporter. Enligt International Energy Agency (IEA) kommer energisektorn att få en mycket stor påverkan på mineralmarknaderna under de kommande decennierna.

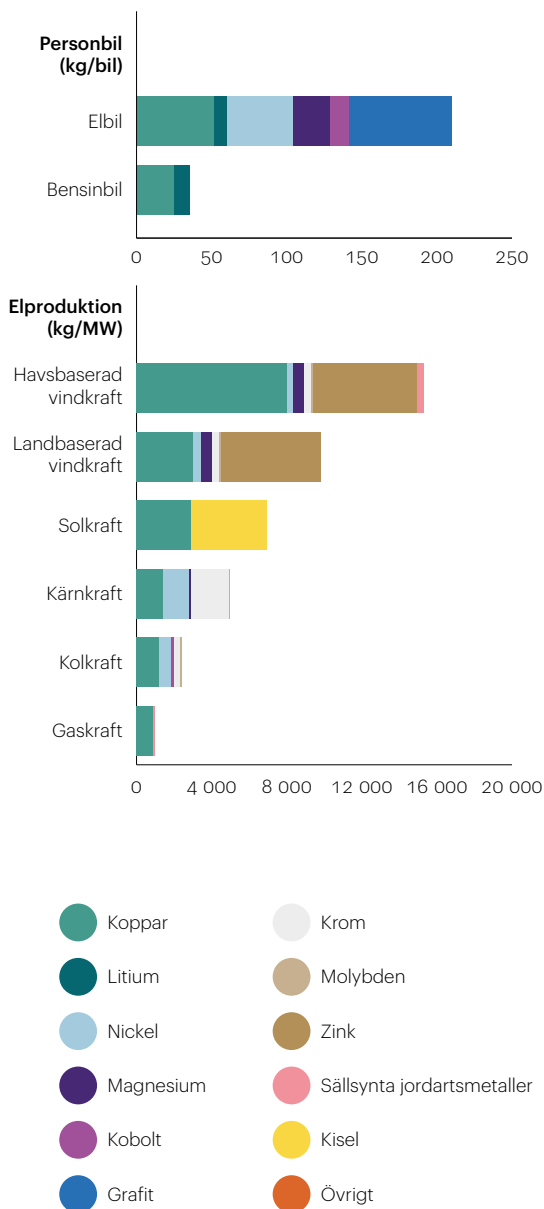
Om man tittar på ett urval av de kritiska metallerna kräver tillverkningen av en elbil cirka sex gånger så mycket av dessa jämfört med en konventionell bil, och en vindkraftsanläggning på land cirka nio gånger så mycket jämfört med en gaseldad anläggning av samma kapacitet (IEA, 2021 a), se Figur 2. Vilka metaller och mineral som kommer att behövas i framtiden beror på val av teknik.

Hur stort behovet blir beror även på ländernas klimatambitioner. IEA har uppskattat att efterfrågan på mineral för *clean energy*-sektorn kommer att fyrdubblas om målen

**Figur 1:** Materiellt fotavtryck för olika inkomstgrupper samt andelen materiellt fotavtryck i fem försörjningssystem och inkomstgrupper. Källa: Global Research Outlook: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes, United Nations Environment Programme, 2024.



**Figur 2:** Jämförelse mellan en konventionell personbil och en elbil, avseende ett urval av de kritiska metallerna, samt innehåll av olika metaller och mineral för olika kraftslag. Källa: The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transition, IEA, maj 2021.



i Parisavtalet (Sustainable Development Scenario) ska nås. I scenariot står elektriska bilar och batterilagring för den största delen av ökningen. Till år 2050 beräknas exempelvis efterfrågan på litium öka 42 gånger jämfört med efterfrågan 2020, se Figur 3.

IEA konstaterar att en brist på material kan komma att försena energiomställningen. Med nuvarande förväntad tillförsel (existerande gruvor och pågående projekt) och en ambition att nå klimatmålen i Parisavtalet kommer världen bara ha hälften av det litium och kobolt som behövs år 2030. Enligt samma analyser kommer vi bara att ha 80 procent av den koppar som behövs (IEA, 2021 a).

Det är svårt att förutspå framtida behov, men den elbasebaserade teknik som idag ersätter fossilbaserad är mer mineralintensiv. Prognoser med ett markant ökat behov av metaller och mineral återkommer i ett flertal publikationer, till exempel i en sammanställning av Joint Research Center, EU-kommissionens gemensamma forskningscentrum (Carrara, m.fl., 2023).

Där konstateras att EU:s efterfrågan på litium för batterier år 2050 kan vara upp till 21 gånger större än den var 2020 samt att efterfrågan globalt kan öka hela 90 gånger under samma period. Detta gäller för rapportens "high demand scenario" som innebär en ambitiös klimatpolitik.

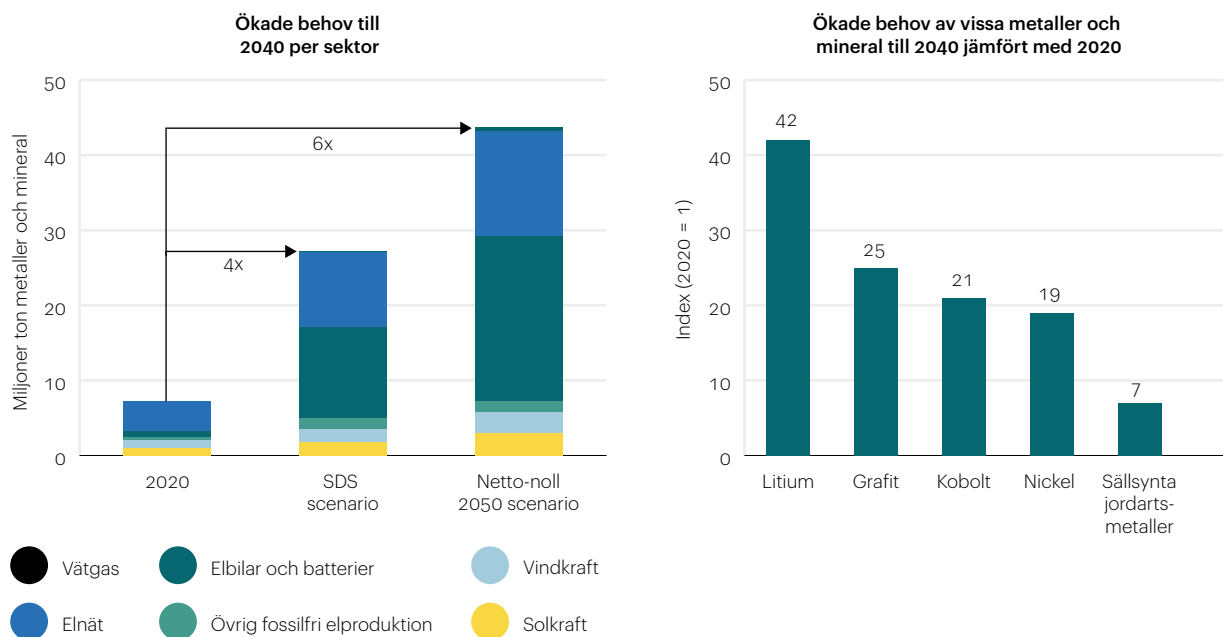
## Vi använder fler och fler metaller

Kunskapen om olika grundämnen egenskaper var för sig och i förening med andra ämnen ökar ständigt. I dagens samhälle används betydligt fler ämnen jämfört med för några decennier sedan. En mobiltelefon av modernt snitt kan innehålla runt 50–70 grundämnen.

Teknikutvecklingen möjliggör också att en mindre mängd av varje ingående ämne kan användas med bibehållen funktion. Detta gör att halten av ett visst ämne, exempelvis gallium, i en produkt kan vara ytterst liten.

Läs mer om grundämnen i avsnittet Fakta: metaller och mineral på sida 56.

**Figur 3:** 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, maj 2021.



## Ett fåtal länder kontrollerar värdekedjorna

Metall- och mineralvärdekedjor är globala, och energisystemets omställning skapar en maktförskjutning från oljenationer till länder med tillgång till metaller. Ett fåtal länder dominerar produktionen av kritiska metaller och mineral. Som exempel kan nämnas 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, 2021 a). Kina har även en stark position i efterföljande förädlingsled för många metaller. Teknikutvecklingen och dess behov av strategiska metaller och mineral hänger därför intimt samman med den geopolitiska utvecklingen.

Värdekedjor och geopolitik tas upp vidare i projektets första delrapport "Utmaningar för att möta ökade behov av metaller och mineral" (IVA, 2024).

### ÅTERVINNING – ÄVEN GEOPOLITISK FRÅGA

Det geopolitiska perspektivet är viktigt när vi pratar om lönsamheten och vikten av att skapa förutsättningar för cirkulära flöden av kritiska metaller och mineral. Metallvärdet för de flesta kritiska metaller är för lågt i förhållande till återvinningskostnader och dessutom mycket varierande över tid (Tillväxtanalys, 2023 a). Många kritiska metaller och mineral bryts och förädlas även i länder som för EU innebär en försörjningsrisk (IVA, 2024). En inom EU återvunnen kritisk metall kan idag inte konkurrera på marknaden då kostnaden för denna är för hög i relation till priset för motsvarande importerad primär råvara. För att öka återvinningen av kritiska metaller och mineral inom EU och genom det minska försörjningsriskerna, framför allt på längre sikt när mer sekundärt material är tillgängligt, behöver regelverk och styrmedel förändras. Se kapitel 6. Förslag till åtgärder.

## Olika sätt att minska behoven av primära material

### Innovation och nya material

Behoven kan förändras och minska med nya tekniker och materialsubstitution. IEA nämner reduktionen av silver och elementärt kisel i solceller som ett exempel då teknisk utveckling gjort att mängden av dessa material minskat med 40–50 procent på bara tio år (IEA, 2021 a). Samtidigt kan mer materialeffektiva produkter leda till sänkt pris och därmed högre konsumtion (Carrara m.fl., 2023). Mindre mängder material i produkter kan också innebära utmaningar vid återvinning (se även kapitel 5. Utmaningar).

I vissa fall kan specifika metaller och mineral ersättas med alternativ, så kallad substitution. Det finns exempelvis förhoppningar om att kunna ersätta litium med natrium i bilbatterier. Natrium, som ingår i koksalt, är billigare och avsevärt lättare att utvinna. Detta skulle, om det lyckas, minska efterfrågan på litium. Samtidigt skulle den jämförelsevis låga energitätheten hos natrium öka batteriets vikt, vilket är en nackdel.

### Mer effektiv energianvändning

Energieffektivisering och ett mer transporteffektivt samhälle har en avgörande roll för att minska behoven av metaller och mineral samtidigt som klimatmålen nås. I ett transporteffektivt samhälle ligger fokus på tillgänglighet i stället för mobilitet och på att onödiga transporter undviks. I en tidigare IVA-rapport betonas vikten av att undvika onödiga transporter, samordna existerande och öka transporterernas fyllnads- och nyttjandegrad (IVA, 2020 b).

Detta lyfts även i rapporten "Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes" (United Nations Environment Programme (2024). Området diskuteras inte vidare i den här rapporten men har stor betydelse för att dämpa den ökande efterfrågan.

## Förlängd produktlivslängd och cirkularitet

Den svenska handlingsplanen för en cirkulär ekonomi lyfter fram innovationskritiska metaller och mineral som en prioriterad ström i omställningen till en cirkulär ekonomi (Klimat- och näringslivsdepartementet, 2021). Förlängd livslängd på produkter, nya sätt att göra affärer och cirkulära material- och produktflöden kan alla bidra till att minska de ökande behoven av primära material. Denna rapport fokuserar på dessa områden med tyngdpunkt på materialåtervinning.

Det finns även metaller och mineral i befintliga avfallsdeponier och gamla infrastrukturprojekt. Beräkningar har visat att Sveriges många deponier innehåller över 350 miljoner ton material och att cirka 7 miljoner ton järn och 2 miljoner ton andra metaller skulle kunna utvinnas ur dessa. Deponiåtervinning har även potential att minska växthusgasutsläppen som en engångsåtgärd genom exempelvis minskade metanutsläpp från deponin och ökad materialåtervinning (Frändegård m.fl., 2013). På samma sätt finns en outnyttjad potential i alla de kopparkablar som fortfarande kopplas ur och lämnas kvar i marken när de ersätts av annan teknik som till exempel optisk fiber. Bara i Norrköping stad beräknas det finnas cirka 500 ton koppar i elkablar som inte längre används (Wallsten m.fl., 2013). Om andra städer liknar Norrköping borde det inom EU finnas urkopplade elkablar som innehåller mer än 2 miljoner ton koppar. Den globala primärproduktionen av koppar är idag drygt 20 miljoner ton per år (Reichl & Schatz, 2023).

## Frikoppla materialanvändning från tillväxt

För att nå de globala målen för hållbar utveckling är det avgörande att frikoppla miljöpåverkan och primär resursanvändning från ekonomisk tillväxt och mänskligt välbefinnande. Enligt dagens prognoser står vi inför ett enormt materialbehov och en orimlig materiell tillväxt utifrån jordens begränsade resurser. Uttag och bearbetning av primära resurser har många gånger en stor påverkan på klimat och biologisk mångfald, och material måste användas på ett sparsamt och genomtänkt sätt (United Nations Environment Programme, 2024). European Environment Agency (2023) konstaterar att EU är långt ifrån att nå målet om

minskat materiellt fotavtryck<sup>1</sup> inom EU till 2030. Det är dock inte helt enkelt att minska behovet av just metaller och mineral nu när det behövs ny teknik för hantera en klimatkris och fasa ut fossila bränslen. Cirkulär ekonomi erbjuder strategier för hur företag och myndigheter kan arbeta för att frikoppla primär materialanvändning från tillväxt genom exempelvis återanvändning, återtillverkning, delningslösningar och materialåtervinning.

## Även gruvor behövs

Som prognoserna ser ut kommer vi, utöver utvecklade cirkulära system, även att behöva fler primära källor (gruvor) för att lyckas med omställningen. Se projektets delrapport "Utmaningar för att möta ökade behov av metaller och mineral" för en fördjupning inom området (IVA, 2024).

Cirkulära system behöver utvecklas parallellt med ökad gruvsdrift. Den nya råvara som tillförs systemet bör, precis som den cirkulerade, produceras med minsta möjliga påverkan på miljö och samhälle.

## Materialåtervinningen idag

### Återvinningsgrader

Dagens återvinningsgrader skiljer sig mycket mellan olika metaller. För bulkmetaller som järn (stål), koppar och aluminium är återvinningen utvecklad redan idag även om mer kan göras för att förbättra kvaliteten på det återvunna materialet. För stål skulle hälften av den globala användningen kunna komma från sekundära källor 2050 (Material Economics, 2021). Världsbanken bedömer att 60 procent av allt aluminium kommer från sekundära källor 2050 (Hund

### HUR CIRKULÄR ÄR VÄRLDEN GENERELLT?

Varje år används cirka 100 miljarder ton råmaterial i världen. Av dessa 100 miljarder ton utgör återvunnet (sekundärt) material endast 7,2 procent (Circle Economy, 2023). Globalt har den procentuella andelen minskat succesivt sedan 2018 trots att mer återvinns. Det beror på att utvinningen av primära material ökat ännu mer i takt med ett ökat behov. Rapporten betonar vikten av att använda mindre, använda längre, använda igen/återvinna och efterlikna naturliga kretslopp genom att exempelvis fasa ut skadliga material och processer och ersätta dem med förnybara resurser som exempelvis biomassa.

Siffrorna ovan rör samtliga resurser men samhällskritiska metaller och mineral ingår. Vi pratar mycket om cirkulär ekonomi i Sverige, men vi är till stor del kvar i det linjära systemet och har samtidigt en hög konsumtion (RISE & Circle Economy, 2022).

Samtidigt står utvinning och bearbetning av naturresurser för mer än 55 procent av de totala globala utsläppen av växthusgaser samt för mer än 90 procent av den landbaserade förlusten av biologisk mångfald. Även här ingår samtliga naturresurser, inte bara metaller och mineral. (International Resource Panel, 2024)

m.fl., 2020). Att andelen stål och aluminium från sekundära källor inte blir större än så beror till stor del på lång produktivslängd och ökad efterfrågan. (Se även faktarutan om stål på sida 27).

För andra metaller, som exempelvis litium (batterimetall), sällsynta jordartsmetaller (används bland annat i elmotorers permanentmagneter och vindkraftverkens generatorer) och indium (används bland annat i plattskärmar och solceller), är det en lång väg kvar till en fungerande återvinning (se kapitel 5. Utmaningar). I nuläget återvinns mycket lite av dessa metaller (Näringsutskottet, 2022).

<sup>1</sup> Det materiella fotavtrycket visar mängden utvinning av råmaterial, både inom och utanför EU, som behövs för att producera de varor och tjänster som EU-invånare konsumerar.

#### EXEMPEL: DE SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLERNA NEODYM OCH DYSPROSIUM

Neodym och dysprosium är två sällsynta jordartsmetaller som ingår i permanentmagneter. Den neodym och dysprosium som återvinns idag kommer främst från uttjänta vindkraftverk. I vindkraftverk sitter stora permanentmagneter som är relativt enkla att sortera ut. I bilar är det i stället många små permanentmagneter i olika funktioner, oftast fastlimmade för att inte lossna under bilens livslängd. På nuvarande marknad är det svårt att motivera den höga kostnaden det innebär att plocka ut dessa magneter. Efter att magneterna plockats ut måste de avmagnetiseras inför transport till återvinningsprocessen. Återvinningsprocesser för neodym och dysprosium från permanentmagneter finns idag tillgängliga på marknaden, men utmaningar finns, främst i att sortera ut och hantera magneterna inför återvinningsprocessen (uppgift från Stena Recycling och ABB).

Neodym är en av de sällsynta jordartsmetaller som kartlades närmare i rapporten "Flöden av sekundära kritiska råmaterial i den svenska teknosfären" (Lindblom m.fl., 2023). Där konstateras att Sveriges sekundära flöde idag beräknas vara 150 ton per år. Cirka 50 procent beräknas komma från magneter och cirka 40 procent från elektronik. Idag återvinns endast en försumbar del av dessa flöden.

I rapporten "Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU" (Rizos m.fl., 2022) lyfts möjligheterna med, och utmaningar för, en ökad återvinning av sällsynta jordartsmetaller från permanentmagneter inom EU. Några utmaningar är:

- Det saknas klara regler för hur produkter ska märkas med information om magneter.
- Det är dyrt att få ut magneter från kasserade produkter så som produkterna är designade.
- Priserna på de sällsynta jordartsmetaller som behövs är låga och/eller svåra att förutse, och det är svårt att konkurrera med primärt material.
- Återvinningsprocessen innefattar tekniska svårigheter.
- Den nuvarande låga (och osäkra framtida) volymen av magneter tillgängliga för återvinning utgör utmaningar för att skala upp återvinning i EU.

För många samhällskritiska metaller och mineral är det svårt att få fram aktuell statistik kring återvinning och materialflöden (Lindblom m.fl., 2023). För att kunna förbättra systemen behövs kunskap om var materialen finns och hur de flödar både i Sverige och globalt.

Det finns olika sätt att mäta återvinningsgrader, exempelvis:

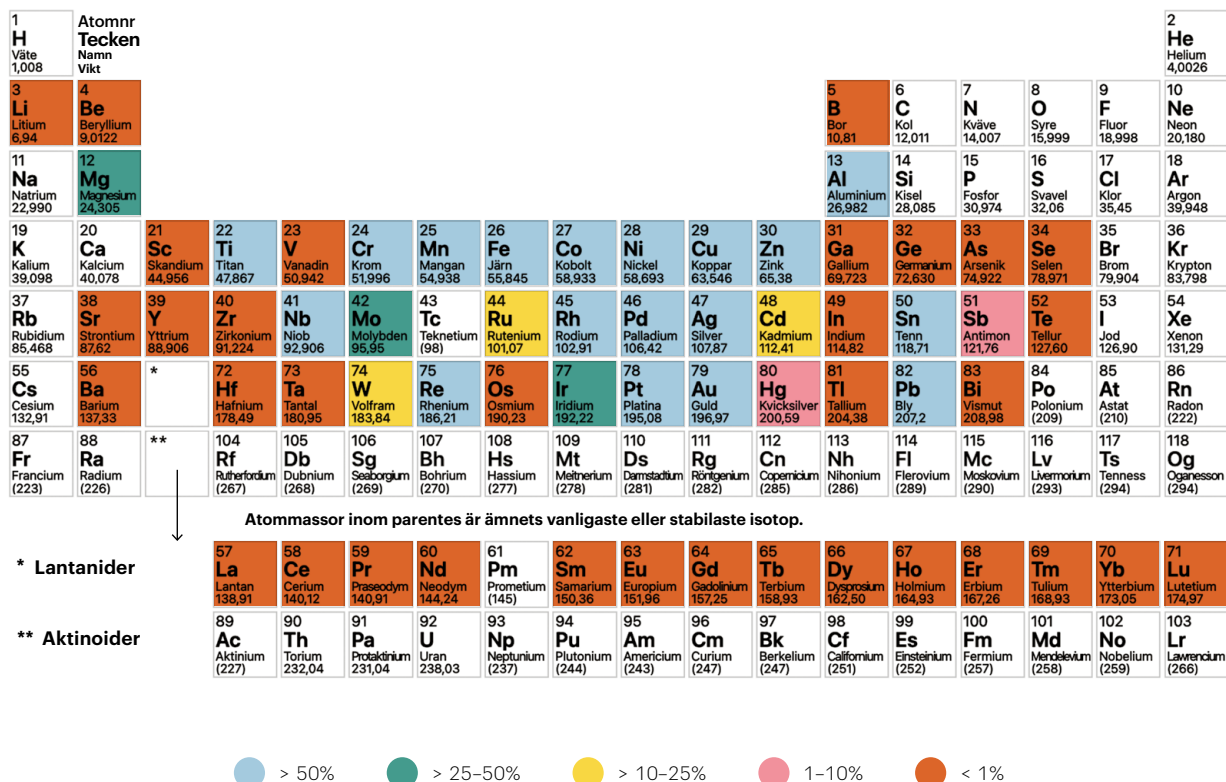
- andelen material som återvinns av den mängd som skrotas under ett år
- andelen återvunnet av den totala konsumtionen av metall det året eller ett genomsnitt per år för en begränsad tidsperiod
- andelen återvunnet material som används i nyproduktion.

Tillväxten i ekonomin och produkters livslängd gör att dessa mått kan skilja sig åt väsentligt för en given metall.

År 2011 gjordes en global uppskattning av hur mycket metall som faktiskt återvanns från avfallet med bibehållen kvalitet (United Nations Environment Programme & International Resource Panel, 2011), se Figur 4. Sedan dess har ingen lika heltäckande analys gjorts, även om IEA har sammanställt några metallers avfallsflöden, se Figur 5.

EU-kommissionen har nyligen försökt uppskatta hur mycket återvunnet material från uttjänta produkter som kommer in i tillverkning, se Figur 6. De låga siffrorna kan ha flera förklaringar. Dels finns det brister i återvinningen, men det kan även bero på att mycket material fortfarande är uppbundet i produkter med lång livslängd samt att

**Figur 4:** EOL-RR (end-of-life recycling rate) för 60 metaller. EOL-RR anger andelen material i avfallsflöden som faktiskt återvinns. Om inget annat anges handlar det om funktionell återvinning, vilket innebär återvinning med bibehållen kvalitet. Icke ifyllda boxar innebär att data saknas eller att grundämnet inte omfattades i studien. Observera att studien är från 2011. Sedan dess har ingen lika heltäckande analys gjorts, även om IEA har sammanställt några metaller återvinningsgrad, se Figur 5. Källa: Recycling Rates of Metals: A Status Report, United Nations Environment Programme & International Resource Panel, 2011.

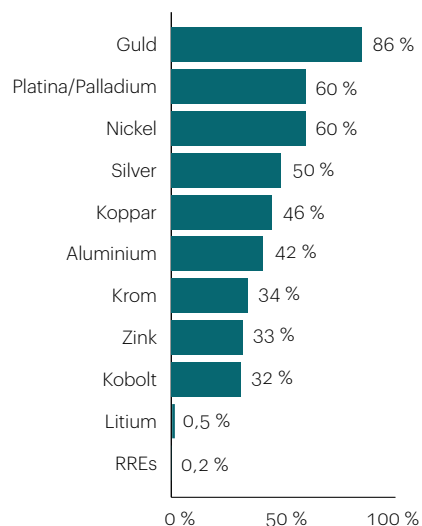


efterfrågan ökar. En nackdel med detta sätt att mäta är att eventuell nedgradering (materialförsämring) inte syns. När nedgradering sker kan materialet användas i färre och färre applikationer. Långsiktigt blir detta problematiskt. För att maximera nyttjandegraden av materialet ska det vara så rent som möjligt.

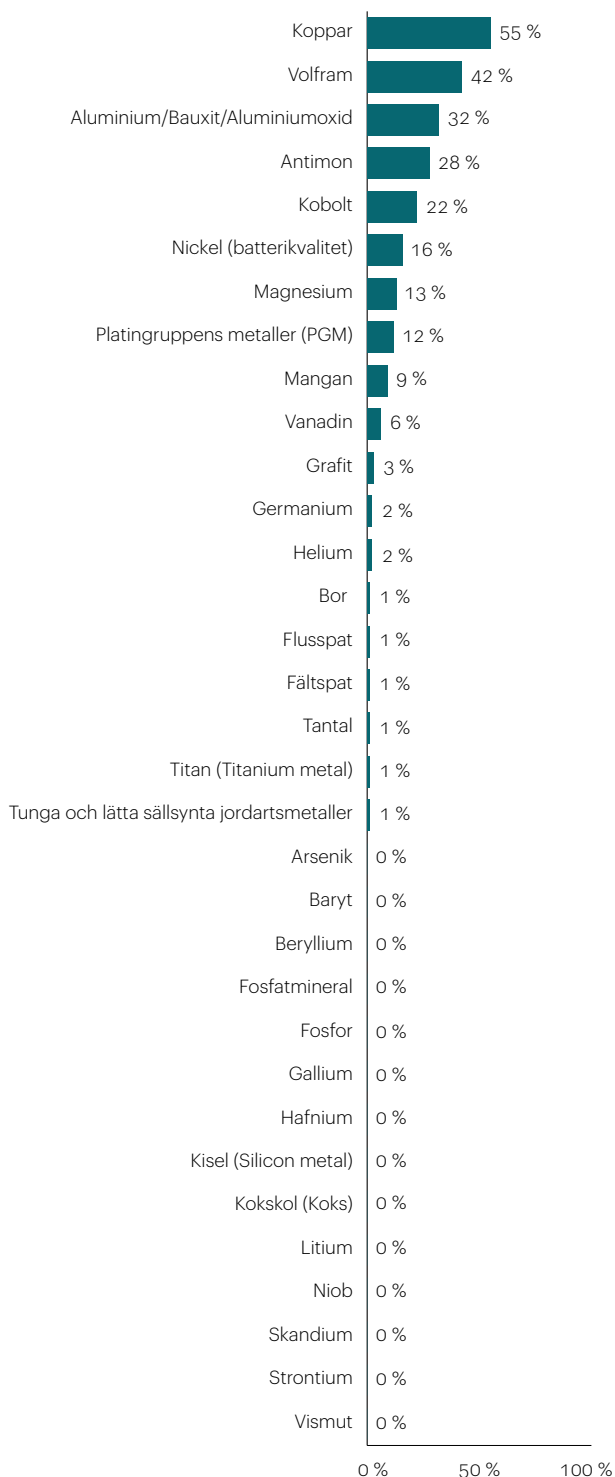
Det finns skillnader i användningen av återvunnet material i produktion, mellan länder och mellan olika industrier.

Befintliga industriella standarder som används inom olika branscher kan försvåra användningen. Ju högre krav på renhet och kvalitet, desto mindre användning av återvunnet material. Inom exempelvis bilindustrin kan siffrorna vara lägre än genomsnittet. Med tanke på bristen på data och utmaningarna som finns för att kartlägga flöden och återvinningsgrader i det svenska samhället (Lindblom m.fl., 2023) blir det tydligt att dessa siffror för globala återvinningsgrader bygger på många antaganden.

**Figur 5:** EOL-RR (end-of-life recycling rate) för utvalda metaller. EOL-RR anger andelen material i avfallsflöden som faktiskt återvinns. Siffrorna är något mer uppdaterade än UNDP:s (Figur 4) men inte lika heltäckande. Återvinningsgraderna är här något lägre. Källa: End-of-life recycling rates for selected metals, IEA, 2021.



**Figur 6:** Diagrammet visar kritiska råvaror och hur stor del av dessa som, i produktionssystemet inom EU, kommer från återvinning av uttjänta produkter. Skrot som härrör från tillverkningsprocesser är inte inräknat. Detta kallas för *end-of-life recycling input rate* (EOL-RIR) och visar alltså något annat än EOL-RR i Figur 5. Källa: Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023, Grohol & Veeh, 2023.





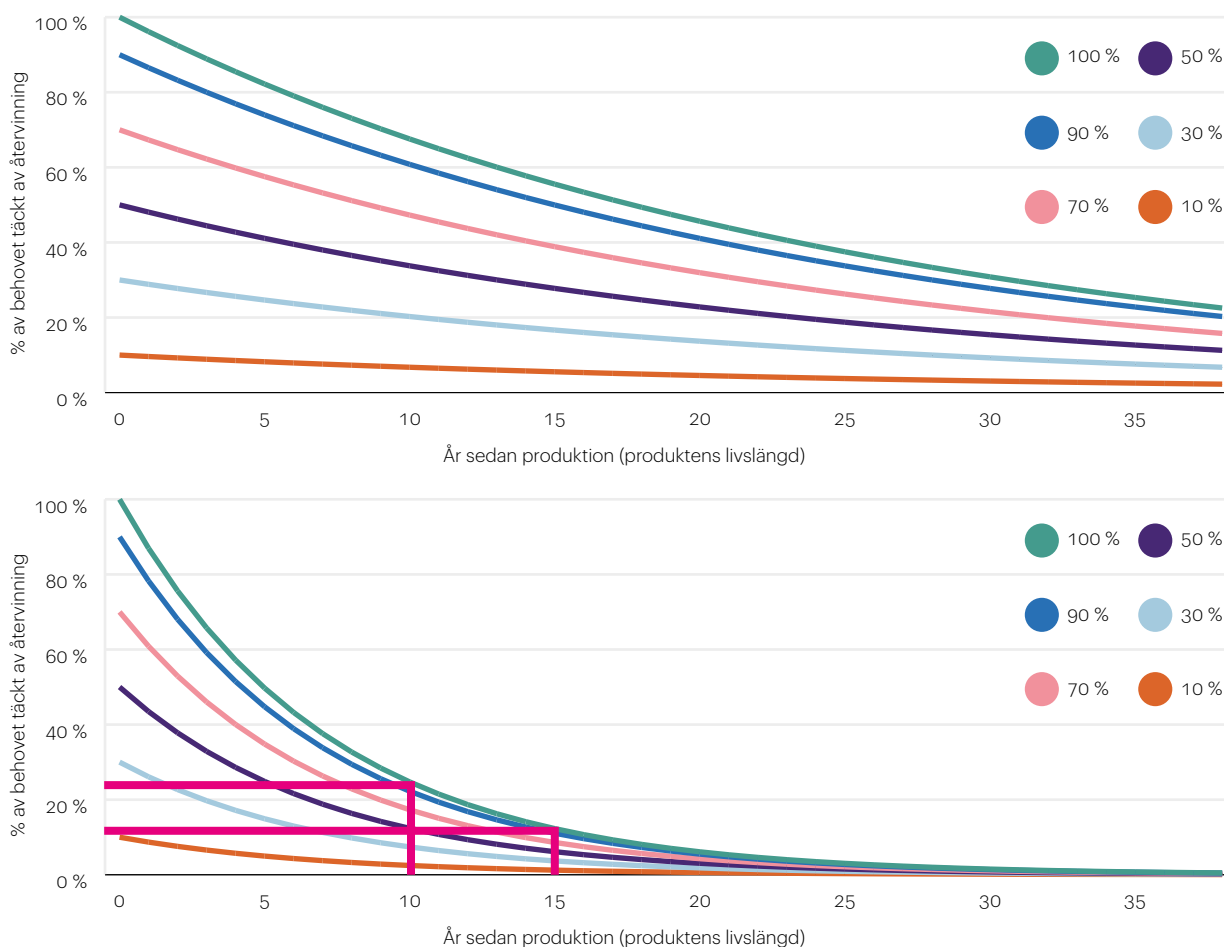
## Det finns inte tillräckligt mycket metaller och mineral i omlopp

Produkternas livslängd påverkar tillgången på återvunnet material. För teknik inom förnybar energi kommer materialen från dagens installationer att vara uppboundna i produkter med lång livslängd. Vindkraftverk har exempelvis en livslängd på uppåt 35 år med rätt underhåll, och vi kan därför inte räkna med att materialåtervinning ska kunna

täcka de ökade behoven för nya vindkraftverk. Små volymer av avfall från ny energiteknik och bristande lönsamhet är också bidragande faktorer till att återvinningsprocesserna inte är utvecklade för att återvinna alla kritiska råvaror. För att kunna återvinna materialen när volymerna ökar måste dessa utvecklas (Carrara m.fl., 2023).

Idag återvinns cirka 80 procent av allt stål globalt, men bara cirka 29 procent av nyproducerat stål kommer från sekundär

**Figur 7:** Andel av behovet som kan täckas av återvinning vid en ökning av efterfrågan med 4 procent per år (se övre bilden) och vid en ökning av efterfrågan med 15 procent per år (se nedre bilden). Resultatet är beroende av produkternas livslängd (x-axeln) och återvinningsgraden (de olika kurvorna). I den nedre bilden kan exempelvis utläsas att om efterfrågan på en metall ökar med 15 procent per år och produkternas livslängd är 10 år så kan återvinning endast stå för cirka 25 procent av behovet, även om 100 procent återvinns. Är produktlivslängden i stället 15 år kan återvinningen teoretiskt stå för cirka 12 procent av behovet. Källa: Christian Ekberg, Chalmers tekniska högskola AB.



#### UTVECKLING PÅGÅR FÖR ÖKAD MATERIAL-ÅTERVINNING OCH MINSKAD NEDGRADERING

Det sker en kontinuerlig utveckling mot ökad materialåtervinning och minskad nedgradering, till exempel kopplat till återvinning av batterier där det 2024 införs en ny förordning med exempelvis kvoter för återvunnet material. Både Northvolts och Stena Recyclings nyöppnade återvinningsanläggningar för batterier från elfordon har mycket höga målsättningar avseende återvinningsgrad. Nya batteriförordningen (Förordning 2023/1542) ställer också krav på ökad andel återvunnet material i nya batterier.

metall (skrot) (Material Economics, 2021). Det beror dels på stålprodukters livslängd, dels på att efterfrågan fortfarande ökar. För många andra metaller som behövs i omställningen till ett fossilfritt samhälle är återvinningsgraden lägre än för stål samtidigt som efterfrågan ökar ännu snabbare.

### Samspel mellan efterfrågan, återvinningsgrader och produkters livslängd

Hur stor del av behoven som kan täckas av återvinning påverkas med andra ord av:

- hur mycket efterfrågan ökar
- återvinningsgraden
- produkternas livslängd.

Rapporten "Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt" (Näringsutskottet, 2022) belyser detta. Där konstateras att återvinning, med en normal tillväxt i efterfrågan på 4 procent per år, en produktlivslängd på 10 år och en materialåtervinningsgrad på 100 procent, maximalt kan täcka 70 procent av behovet. För kritiska metaller som litium ökar efterfrågan betydligt mer än 4 procent per år. Det innebär att även om materialåtervinningen för litium skulle vara 100 procent kan det återvunna materialet endast täcka 25 procent av behovet vid en produktlivslängd på 10 år. Se även Figur 7.

Därtill är vissa materialförluster oundvikliga vid återvinning av komplexa materialblandningar på grund av tekniska och

termodynamiska begränsningar. Att materialåtervinna 100 procent av metallerna är därför inte möjligt, men mycket kan förbättras.

### Nedgradering – de material som återvinns försämras ofta

Användningen av återvunnet material styrs av graden kontaminering som materialet har. Ju mer avancerade egenskaper materialet har (mekaniska, elektriska, o.s.v.) desto större krav är det på renhet och exakt innehåll. Flera fossilfria energitekniker kräver särskilt hög renhet i materialet. Av Sveriges sekundära flöde av kobolt återvinns 44 procent varav det mesta materialet kommer från legeringar och återvinns till nya legeringar. Den lilla mängd kobolt som återvinns från batterier används även den, till stor del, i legeringar (Lindblom m.fl., 2023). Det är svårt, och framför allt dyrt, att få materialet så rent att det kan användas i batterier igen, även om det sker i liten skala. I Sverige finns bland annat projektet Revolt där Northvolt lyckats ta fram en ny battericell från återvunna batterier. I en bil finns samma utmaningar med höga krav på rena material. Utmaningarna med nedgradering utvecklas i nästa kapitel.

### Skrot från industriprocesser – renare flöden

Materialåtervinning av restprodukter från tillverkningsprocesser eller överskottsmaterial från olika industrier bidrar till att minska avfall, spara råmaterial och energi samt minska produktionens miljöpåverkan genom ett minskat behov av att bryta nya råmaterial. Återvinning av skrot från industriprocesser är av flera skäl ofta lättare än återvinning av postkonsumentavfall. Det består ofta av relativt stora, homogena mängder material. Avfall som kommer från uttjänta produkter är ofta mer heterogent och komplext, vilket kan kräva mer avancerade tekniker och metoder för effektiv återvinning.

Rapporten fokuserar inte på restprodukter från processindustrin men det är mycket viktigt att de inte glöms bort i processplaneringen.

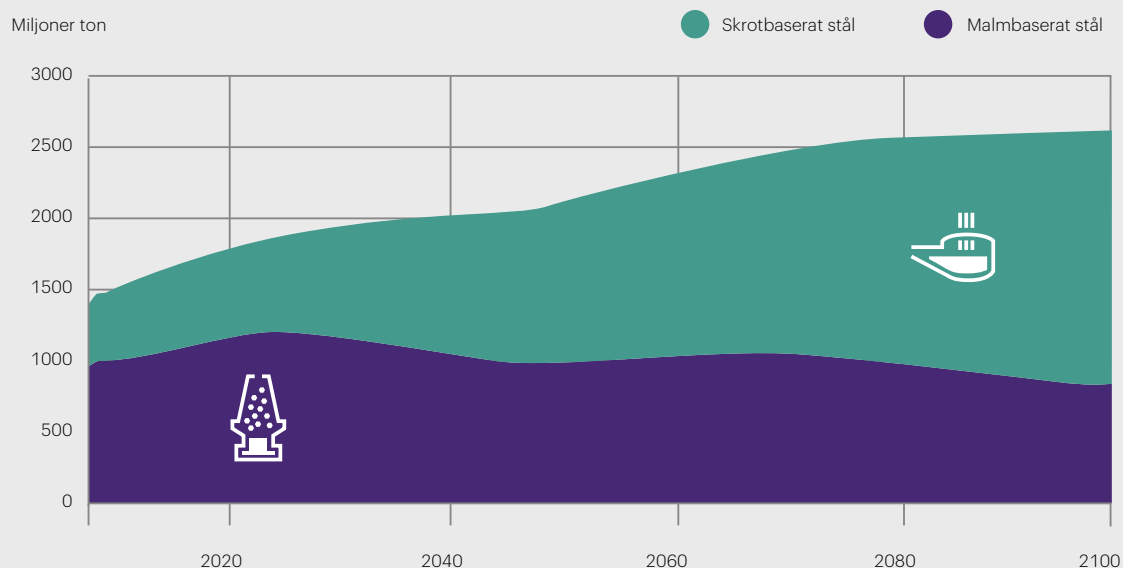
## STÅL

Stål är en järnlegering med ett visst kol-innehåll. I rapporten inkluderas järn i benämningen samhällskritiska metaller och mineral. Beroende på tillverkningsprocess och önskade egenskaper kan andra legeringselement som krom, nickel, mangan och vanadin också ingå. Stål tillverkas antingen från järnmalm eller återvunnet stålskrot, båda nödvändiga för att täcka samhällets stålbehov under resten av detta sekel (Jernkontoret, 2018 a). Järnmalm genomgår en reduktionsprocess för att separera järn från syre, medan stål från skrot smälts om utan behov av ny reduktion. Maximalt utnyttjande av skrot är en nyckelfaktor för effektivare resursanvändning och låga utsläpp.

Stålskrot samlas in, sorterar i olika kvalitetsklasser och smälts om till nytt stål. Sorteringen är viktig för att optimera användningen av skrotets legeringsinnehåll och förväntas bli ännu viktigare i framtiden med införandet av mer specialiserade stålsorter. En specifik utmaning är de ökande kopparhalterna i stålets kretslopp eftersom koppar har en negativ påverkan på stålets egenskaper. Tekniker finns idag för att särskilja skrot med hög kopparhalt, men det är inte ekonomiskt lönsamt att använda dessa. Bilindustrin kan därför inte ha ett helt cirkulärt flöde idag, det vill säga att bilskrot materialåtervinns till nytt stål som används i nya bilar. Materialet nedgraderas och används i andra sektorer. Avancerade tekniker används däremot för att särskilja olika aluminiumlegeringar. Aluminiums högre pris gör det möjligt att använda mer sofistikerade sorteringstekniker.

Cirka 75 procent av alla stålprodukter som hittills tillverkats används fortfarande, och den genomsnittliga livslängden för stålprodukter bedöms vara cirka 30–40 år. Prognoser pekar på att stålproduktionen 2050 kommer att vara runt 50 procent högre än dagens nivåer. Troligen kan ökningen i stålbehovet täckas av skrotbaserad produktion men även malmbaserad ståltillverkning kommer fortsatt att behövas under lång tid (Jernkontoret, 2018 a). När stål återvinns bildas en del restprodukter och stålindustrin har sedan lång tid tillbaka arbetat med att utveckla biprodukter för användning i andra delar av samhället för att därigenom bidra till effektivare resursanvändning (Jernkontoret, 2018 b). Här kan det finnas anledning att se över om fler kritiska metaller kan materialåtervinnas från restflöden. Det pågår redan projekt för att utveckla en metod för utvinning av vanadin från den slagg som bildas vid ståltillverkning (Jernkontoret, 2013).

**Figur 8:** Prognos för efterfrågan på stål och andelen skrotbaserad respektive malmbaserad produktion. Källa: The steel scrap age, Pauliuk m.fl., 2013.



**Tabell 2:** Exempel på regelverk som har påverkan på cirkulära material och produktflöden.

Regelverk	Innehåll	Status
EU:s handlingsplan för cirkulär ekonomi (Circular Economy Action Plan, CEAP)	Handlingsplanen stöder EU:s klimatneutralitetsmål för år 2050. I planen beskrivs bland annat olika åtgärder för att skapa en tydlig och enhetlig grund för produktpolitiken så att hållbara produkter, tjänster och affärsmodeller blir normen. Batterier, fordon och elektronik pekas ut som viktiga produktvärdekedjor.	EU:s andra handlingsplan för cirkulär ekonomi antogs 11 mars 2020.
EU:s lag om kritiska råmaterial (Critical Raw Materials Act, CRMA)	Syftet med lagen är bland annat att öka och diversifiera tillgången till kritiska råvaror i EU och stärka cirkulariteten. Den innehåller högt satta mål för hur stor andel av EU:s konsumtion av strategiska råmaterial som ska komma från återvinning. (Se även faktaruta till höger.)	Planerad att börja gälla under 2024.
EU:s utsläppshandelssystem (EU Emissions Trading System, EU ETS) och gränsjusteringsmekanismen för koldioxid, den så kallade CBAM-förordningen (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)	Planerade skärpningar (sänkningar av utsläppstaket) av EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS), i kombination med CBAM-förordningen, höjer priset på koldioxidutsläpp vilket kan gynna exempelvis återvinning framför primär utvinning. CBAM-förordningen innebär att utsläpp från vissa koldioxidintensiva varor som importerats till EU prissätts på samma sätt som varor producerade inom EU.	Beslut om förändringar av EU:s utsläppshandel (EU ETS) togs 25 april 2023. Den 17 augusti 2023 antog EU-kommissionen reglerna för genomförandet av CBAM:s övergångsperiod 1 okt 2023 – 31 dec 2025.
EU:s nya batteriförordning	Förordningen syftar till att främja en cirkulär ekonomi och förbättra hållbarheten, både miljömässigt och socialt, för hela livscykeln av batterier. Krav på öppen information om batterier och spårbarhet ställs, såväl som krav på ökad användning av återvunna råvaror (kvotplikter).	Trädde i kraft 17 augusti 2023 och blev gällande från 18 februari 2024. Många krav och mål gäller dock först senare. Delegerade akter, så kallade genomförandeakter, fastställs efterhand.
EU:s gröna taxonomiförordning	Ramverket fastställer kriterier som måste uppfyllas för att en ekonomisk verksamhet ska anses vara miljömässigt hållbar. Detta för att sedan kunna rikta investeringar mot miljövänliga projekt och verksamheter.	Antogs i juni 2020. Delegerade akter fastställs efterhand.
EU:s direktiv för hantering av elektriskt och elektroniskt avfall (Directive on Waste of Electrical and Electronic Equipment, WEEE)	Det finns ett förslag på ny avfallstransportförordning med ambitionen att stärka kontrollen av avfallstransporter och öka digitaliseringen. I förslaget nämns att begränsningen av möjligheterna att exportera avfall från EU kan bidra till ökad cirkularitet inom EU då avfallet behålls innanför tullarna.	Det finns en befintlig men uppdateringar är på gång (oklart slutdatum).
Kommande EU-förordning om cirkularitetskrav för fordonsdesign och om hantering av uttjänta fordon	Förordningen ska ersätta bland annat ELV-direktivet (Directive on end-of-life vehicles). I förslaget omfattas alla aspekter av ett fordon, från konstruktionen och utsläppandet på marknaden till slutbehandling. Det föreslås exempelvis regler för att förbättra designen och underlätta avlägsnande av material, delar och komponenter för återanvändning och återvinning samt krav vid export av begagnade fordon från EU till tredjeland. Det föreslås också krav på rapportering av återvunna material i bilar och miniminivåer för återvunnen plast. (Miniminivåer för metaller kan komma efter införandet av förordningen.)	Förslag finns, troligtvis klart 2024 eller 2025.
EU-direktivet om företags hållbarhetsredovisning (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD)	Syftar till att förbättra företagets hållbarhetsredovisning, bland annat genom ökad transparens och mer jämförbara redovisningar. Här inkluderas till exempel påverkan på biologisk mångfald och mängd återvunna material som bolaget använder sig av. De finansiella redovisningsstandarderna kommer i sin tur att driva fram standardisering av all indata.	Börjar gälla 2024.
EU:s lagförslag om krav på ekodesign för hållbara produkter (Eco-design for Sustainable Products Regulation, ESPR)	Ramlagstiftning som så småningom kommer att innehålla delegerade akter med produktspecifika krav kopplat till cirkularitet. Innehåller även förslag på digitala produktpass. Denna ersätter det nuvarande ekodesigndirektivet. (Se även faktaruta till höger.)	Nu väntar de sista förhandlingarna i trilog innan förordningen till sist kan träda i kraft, troligtvis under 2024.

### EU:s LAG OM KRITISKA RÅMATERIAL (CRITICAL RAW MATERIALS ACT, CRMA)

I den kommande förordningen lyfts cirkularitet som en viktig del för att säkra tillgången till kritiska och strategiska råmaterial (Europaparlamentet, 2023).

- Den övergripande målsättningen gällande cirkularitet är att 25 procent av konsumtionen av strategiska råvaror år 2030 ska komma från material som återvunnits inom EU.
- Inom EU ska signifikanta förbättringar ske gällande återvinning av samtliga strategiska råmaterial från avfall. Specifika målsättningar för återvinningsgrader av strategiska metaller från avfallsströmmar med tillräckligt mycket data väntas 2027.
- Kommissionen och medlemsstaterna ska även agera för teknologisk utveckling och resurseffektivitet för att minska den väntade behovsökningen av kritiska material.

Innovation lyfts som en förutsättning för att klara detta. Utöver detta identifieras permanentmagneter som en prioriterad produkt som förläggs med exempelvis informationskrav gällande innehåll av utvalda material samt kommande kvotplikter för andelen återvunnet innehåll. För de strategiska råvarorna som konsumeras inom EU är målsättningen även att 10 procent ska brytas och 40 procent processas inom unionen, samt att maximalt 65 procent av varje strategiskt råmaterial importeras från ett enskilt land. Förordningen 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.

## Mycket är på gång inom EU och globalt

Det finns flera nyligen införda eller kommande regleringar som direkt eller indirekt påverkar cirkulära material och produktflöden och därigenom tillgången på metaller och mineral. Regleringarna betonar olika aspekter som klimatpåverkan, tillgång till kritiska råmaterial, ekodesign, batterier, avfallshantering med mera. I Tabell 2 listas några exempel på regelverk.

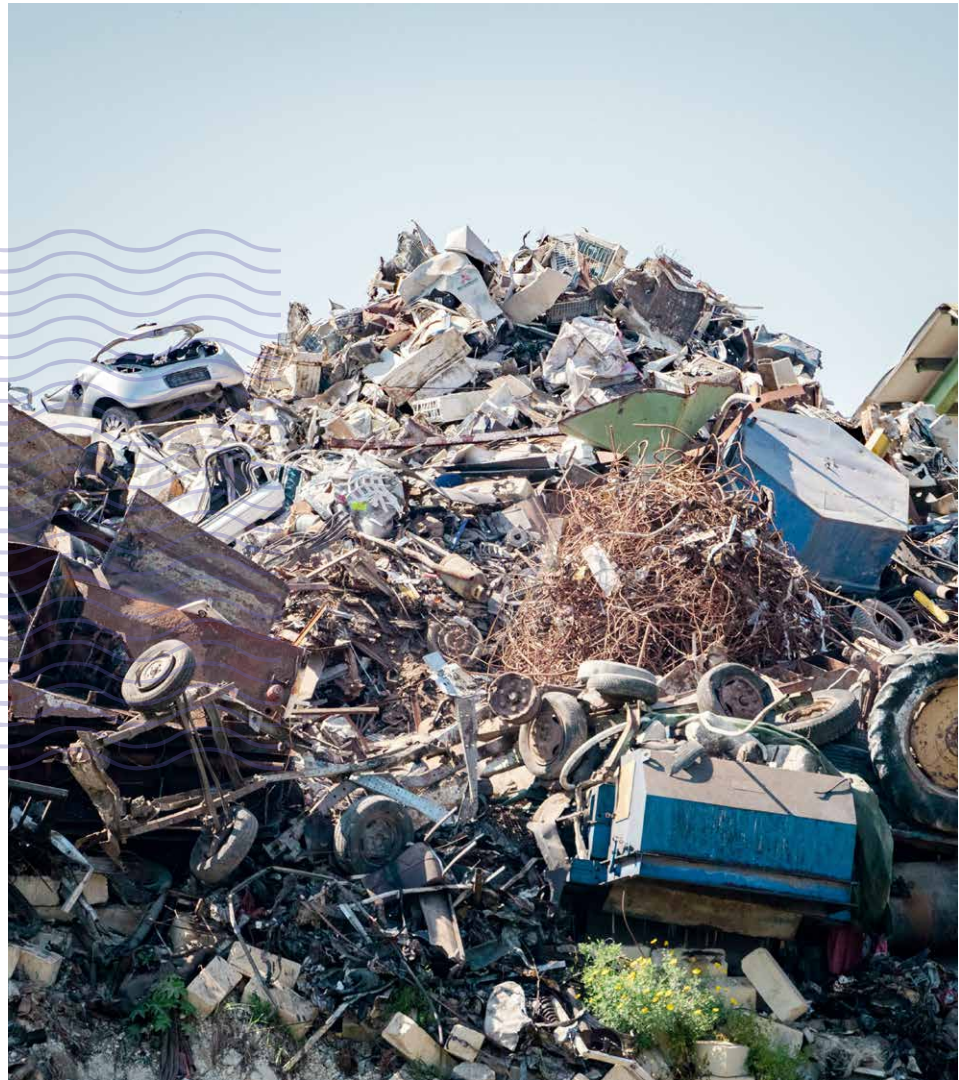
Även utanför EU ställs krav på ökad cirkularitet och minskad miljöpåverkan. Kina inför krav på livscykelanalyser (LCA:er) på bilar (China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd, 2022). I USA går Kalifornien före med krav på

### LAGFÖRSLAGET OM KRAV PÅ EKODESIGN FÖR HÅLLBARA PRODUKTER (ECO-DESIGN FOR SUSTAINABLE PRODUCTS REGULATION, ESPR)

I juli 2023 röstade Europaparlamentet igenom den nya förordningen om hållbara produkter, ESPR (Ecodesign for Sustainable Products Regulation). Nu väntar de sista förhandlingarna mellan Europaparlamentet, Ministerrådet och Europeiska kommissionen (trilog) innan förordningen kan träda i kraft, förhoppningsvis under första delen av 2024. Förordningen ska ersätta det gamla ekodesigndirektivet som för närvarande endast omfattar energirelaterade produkter. Förslaget till ESPR är en del av Sustainable Products Initiative (SPI) och är ett i raden av förslag som syftar till att få företag att anpassa sig till Green Deal-ambitionerna och EU:s hållbarhetsmål. Målet är att höja hållbarhetskraven för produkter och varor som får säljas eller släppas ut på den europeiska marknaden (med några undantag). I förordningen ställs höga krav på produkters livslängd samt krav på att de med större enkelhet ska kunna repareras, uppgraderas och materialåtervinnas. Det föreslås även ett förbud mot att göra mer osålda textilier och elektronik. Kraven, som bygger på de hållbarhets- och cirkularitetsaspekter som återfinns i handlingsplanen för den cirkulära ekonomin, ska vidareutvecklas av kommissionen via så kallade delegerade akter.

Förslaget innehåller även krav på digitala produktpass som ska innehålla tillförlitliga hållbarhetsdata om en produkts hela livscykel (ursprung, miljöpåverkan och återvinningsmetoder) för att stödja en cirkulär ekonomi. Produktpassen ska öka transparensen och bland annat hjälpa konsumenter att göra mer hållbara val. Närmare bestämmelser om vad som gäller för specifika produktgrupper ska tas fram i delegerade akter som ställer ekodesignkrav på respektive produkt. Det är ännu oklart vilka produktgrupper som kommer att hanteras först via de delegerade akterna. De första kategorierna, med produktspecifik lagstiftning, beräknas komma på plats 2025. Batterier nämns som en prioriterad kategori men hanteras även i batteriförordningen. Det kommer att behövas mer arbete för att få lagstiftningen att hänga ihop med andra förordningar och direktiv. Stater kan vara med och driva på och påverka utformningen på detaljnivå. Staten kan också stödja dialog mellan olika aktörer på marknaden.

redovisning för direkta utsläpp av växthusgaser inom egen produktion (scope 1), utsläpp från den energi som förbrukas (scope 2) och snart även för utsläpp av växthusgaser som uppstår i företagets värdekedja, men som företaget inte äger eller kontrollerar (scope 3).



## 5. Utmaningar

»Idag utformas många produkter utan hänsyn till cirkulär ekonomi och dess strategier.«

## Lönsamhet

Bristen på lönsamhet återkommer som ett tema i samtliga utmaningar för att få till cirkulära material- och produktflöden. Den dåliga lönsamheten har, enligt arbetsgruppens analys, flera grundorsaker:

- Principen om att förorenaren betalar fungerar inte. Samhälleliga och miljömässiga kostnader för ändliga resurser och utsläpp avspeglas inte i prissättningen av material och produkter.
- Lagstiftning och infrastruktur för att ta hand om använda och uttjänta produkter är inte anpassade för en cirkulär ekonomi.
- Återvinningssystemen är småskaliga i jämförelse med produktion av ny råvara. För att uppnå lönsamhet i en återvinningsprocess krävs ofta storskaliga system. Kritiska material används vanligtvis i låga koncentrationer och systemen för deras återvinning riskerar därför att bli småskaliga.
- Samhället har inte satsat tillräckligt på forskning och utveckling inom sekundära material- och produktflöden, exempelvis inom metodutveckling för att effektivt materialåtervinna kritiska metaller och mineral.
- Befintliga producentansvarssystem är kostnadsneutrala för producenten, oavsett om produkten har en design som underlättar cirkularitet eller inte.

Det finns undantag och goda exempel där cirkulära flöden är lönsamma. Materialåtervinning påverkas bland annat av priset på råvaran, volymer, kostnad för demontering och separering samt tillgängliga återvinningstekniker.

### FÖRORENAREN BETALAR INTE ALLA KOSTNADER

Samhälleliga och miljömässiga kostnader för ändliga resurser och utsläpp avspeglas inte i prissättningen av material och produkter. Detta lyfts bland annat av Tillväxtanalys i rapporten "En resurseffektiv och konkurrenskraftig metall- och mineralnäring" (2023 a). I den ekonomiska debatten har prissättning av utsläpp och påverkan på naturen diskuteras mycket länge. Hela systemet för handel med utsläppsrätter (ETS) bygger på att skapa ett pris på utsläpp av koldioxid för att bättre avspegla den faktiska kostnaden.

För reparationer och återtillverkning behöver en produkts nypris sättas i relation till vad reparationer och återtillverkning kostar i form av arbete och reservdelar. Höga material- eller produktvärden och låga kostnader för kvalitetssäkring av en produkt eller ett material är med andra ord gynnsamt för cirkulära flöden. En fin dator eller mobiltelefon kan till exempel vara lönsam för återbruksföretag att reparera och sälja vidare. När det kommer till materialåtervinning blir den lönsam för värdefulla metaller med upparbetade återvinningstekniker som för guld, koppar och järn (stål). Större volymer ger skalfördelar som också ökar lönsamheten och därigenom materialåtervinningen.

För vissa specifika material kan det till och med vara lönsamt för företag att sätta upp egna återvinningsloopar för att kontrollera kvaliteten i det återvunna materialet. Sandvik har exempelvis startat ett återköpsprogram för att kunna återvinna volfram från sina borrhäft (Sandvik, 2023). Ofta är det dock för kostsamt att bygga upp egna system för att

### KOSTSAM SEPARERING BIDRAR TILL FÖRSÄMRAD ÅTERVINNING

I en bil finns över 50 metaller (Ortego m.fl., 2020), men i vikt är det mestadels stål, aluminium och koppar som materialåtervinns. För att det ska bli lönsamt att återvinna fler kritiska material måste komponenterna vara lätta att separera och materialet vara efterfrågat. Att exempelvis få ut permanentmagneterna (som innehåller sällsynta jordartsmetaller) från motorn i en elbil är komplicerat och tidskrävande, och därmed kostsamt. Se även faktaruta på sida 22.

Stål är ett material med hög återvinningsgrad, men här finns utmaningar med nedgradering (försämrad kvalitet) på grund av föroreningar. Försämringen av material (kontamineringsgraden) påverkas av möjlighet och kostnad för separation av materialen. Trots att koppar försämrar stålets kvalitet är det inte lönsamt att demontera kretskort och allt kablage ur en skrotad bil för att få en lägre kopparhalt i fragmenterat skrot.

återta produkter, sortera och utveckla en ny process för att återvinna fler metaller till hög kvalitet. Kapitalkostnaden för en ny anläggning med bättre prestanda har ofta svårt att konkurrera med avskrivna befintliga processanläggningar. Det är också svårt att få till den skala som krävs för en lönsam materialåtervinning utan nedgradering.

Lönsamheten kan även se olika ut för olika aktörer i systemet. Den aktör som behöver göra de största förändringarna för att skapa/bidra till cirkulära flöden, exempelvis den som designar och säljer produkter, kan vara den som i dagsläget tjänar minst på det.

## Designen på många produkter främjar inte cirkularitet

Idag utformas många produkter utan hänsyn till cirkulär ekonomi och dess strategier för lång livslängd, återanvändning, hög användningsgrad och delning, återtillverkning samt återvinning. Produkterna kan vara svåra att plocka isär

### CIRKULÄR DESIGN, AFFÄRSMODELLER OCH SYSTEM

Cirkulär ekonomi erbjuder strategier för hur företag praktiskt kan arbeta för ökad resurseffektivitet genom att förlänga livslängden på produkter, komponenter och material. Detta sker genom exempelvis reparation, återanvändning, återtillverkning samt design för en effektiv materialåtervinning. För att få till cirkulära material- och produktflöden är designen av produkten avgörande. Designen bör anpassas efter den cirkulära strategi som ett företag har för sin produkt. Produktens design samverkar även med företagets affärsmodell och systemet som produkten hamnar i.

Produkters bidrag till cirkulär ekonomi kan analyseras utifrån tre dimensioner: produktens design, dess affärsmodell samt systemet av processer och lagstiftning som produkten berörs av (Stena Recycling, 2024).

Företag med en linjär affärsmodell kan ha svårt att motivera investeringar i exempelvis längre livslängd och ökad reparerbarhet. En ändrad affärsmodell, med större fokus på service och den funktion produkten levererar, kan vara en möjliggörare för att motivera en mer hållbar design.

Pant och pantflaskan är ett exempel på en bra affärsmodell som skapar incitament för kunden att komma tillbaka. Det skapar ett återflöde av produkter till tillverkningen vilket ger skalfördelar och därmed ökad lönsamhet. Det finns även andra affärsmodeller för att driva tillbaka produkten, som att "lämna in en gammal – få rabatt på en ny". Delningslösningar är ett annat exempel för att minska resursanvändningen.

Funktionsförsäljning innebär att företaget säljer funktionen produkten levererar i stället för själva produkten. Företagets fokus flyttar då från försäljning av nya produkter till försäljning av nytta och funktion över tid. Detta ökar incitamenten för förlängd produktlivslängd.

Företagens inköpsavdelningar har en nyckelfunktion för att öka användningen av återvunna material och återtillverkade komponenter och produkter. För att ställa om krävs ofta styrning för ökad användning av återvunna råvaror samt kompetensutveckling av inköpsorganisationen.



och därmed svåra att laga. Designen kan även innebära att det är tidskrävande och dyrt att sortera/separera i rena fraktioner inför materialåtervinning. Innovationsdrivkraften för nya material är oftast att öka prestanda och minska kostnader. Det är en utmaning att återvinningsgrad och möjligheten att använda återvunnen råvara inte ingår i optimering av prestandan. Designen bör anpassas till den cirkulära strategi som ska uppfyllas, men samtliga produkter bör sträva efter att vara tekniskt och ekonomiskt återvinningsbara då alla någon gång kommer att nå sin slutliga livslängd och då återvinnas för att användas i en ny applikation.

Förutom själva designen saknas ofta stöttande affärsmodeller och ett system för att ta hand om produkten när den tjänat ut även om designen gynnar cirkularitet. De flesta produkter designas, produceras och säljs fortfarande för en användningscykel och ekosystemen för storskalig återtillverkning, återbruk, reparation och delning är ofta bristfällig. Affärsmodeller baserade på service innebär flyttad kapitalbindning från en aktör till en annan och en ökad finansiell risk för företaget som växlar om till en servicebaserad affärsmodell. Läs mer om cirkulär design, affärsmodeller och system här intill.

Intresset och förståelsen för cirkulär design ökar, liksom de positiva exemplen inom industrin. Trots detta finns det fortfarande mycket kvar att göra.

Arbetsgruppens slutsats är att kompetensen och forskningen är begränsad inom flera av de områden som behövs för att ställa om till en cirkulär ekonomi, exempelvis cirkulär design, cirkulära affärsmodeller, beteendeförändringar, optimering av material, logistiklösningar, tekniker för demontering/separering, underhåll för förlängd livslängd, automatiska/snabbare livscykelanalyser samt spårbarhet genom värdekedjan och över tid.

## Hinder för ökad produktlivslängd

Att förlänga livslängden på produkter och därmed minska behoven av nya material ger mycket stora miljövinster (ADEME m.fl., 2022). Men även här finns hinder. Marknadsmislyckanden, som att samhälleliga och miljömässiga kostnader för ändliga resurser och utsläpp inte avspeglas i prissättningen,

gör det svårt för företag att få lönsamhet inom återbruk och återtillverkning. Det är, som nämnts ovan, ofta för dyrt att laga produkter trots att det är miljömässigt riktigt. Många produkter är helt enkelt inte designade för att det ska gå att göra.

IT-utrustning, tillsammans med övrig elektronik, innehåller många av de EU-kritiska metallerna och är därför en intressant produktkategori för ökad livslängd. Sveriges kemikalieskatt försvårar cirkulära lösningar för IT-utrustning. Företag som importerar begagnad IT-utrustning för att uppgradera och sedan sälja/hyra ut dessa får genom skatten ökade kostnader, något som även Naturvårdsverket belyst tillsammans med en rad andra brister kopplat till skattens måluppfyllelse (Naturvårdsverket, 2022).

Det är även en utmaning att i upphandlingar få in kravställningar som möjliggör cirkulära lösningar samt att förändra människors beteenden och preferenser till förmån för återanvändning.

Producentansvaret kan också vara en utmaning om produkter ska få längre livstid och användas i nya applikationer. Ansvar måste kunna delas eller gå vidare om produkten ändrar användningsområde. Det är till exempel inte rimligt att ett bilbolag eller en bildemonteringsfirma ska ha producentansvar för batterier som återtillverkas för att bli stationära applikationer i elnätet. Eftersom batteriet inte är designat för den applikationen kan batteriåldrandet ändras och garantier kan därför inte ges. Det är viktigt att lagstiftning är anpassad för detta. I den nya batteriförordningen har man anpassat ägaransvaret för batterier med tanke på ändrad användning. Om ett bilbatteri som blivit avfall därefter rekonditioneras ses det som ett nytt batteri och producentansvaret går över från den som först satte bilbatteriet på marknaden till det företag som reparerade batteriet och använder det i en ny applikation. Fortfarande kvarstår nationella tolkningar av förordningen. Det är exempelvis tydligt om samma regler kommer att gälla för bilbatterier oavsett sekundärt användningsområde. Hur blir det till exempel när en bilåtervinnare använder batteriet som reservdel i en annan bil? Om en bildemonteringsfirma ensam behöver ta hela producentansvaret vid återbruk av ett batteri är risken stor att färre bilbatterier återanvänds.

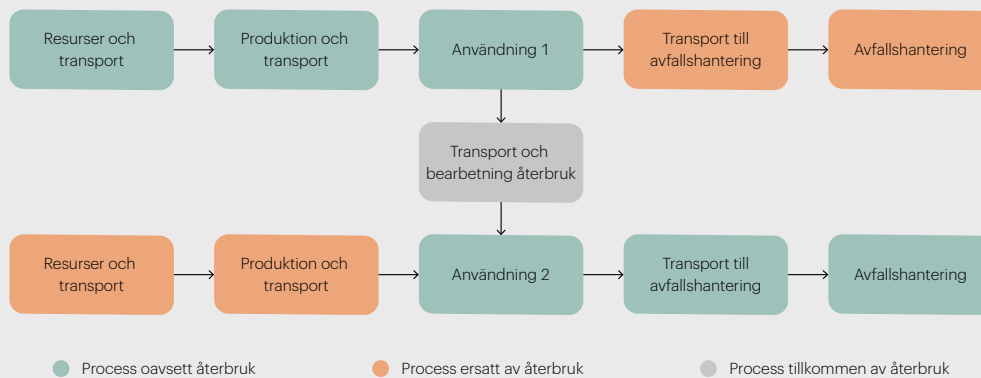
Att förlänga livslängden på produkter och på så sätt minska behoven av nya material ger ofta stora miljövinster,

## ÅTERANVÄNDNING OCH ÅTERTILLVERKNING

Återanvändning handlar om att hålla produkter vid liv längre, vilket ofta innebär stora klimatfördelar. Att materialåtervinna en dator sparar 1,44 kilo koldioxidekvivalenter per kilo elektronikåtervinning, medan att återanvända en dator sparar omkring 280 kilo koldioxidekvivalenter (Wranne, 2020). Globalt sker cirka 80 procent av en dators eller telefons klimatpåverkan vid produktion, så det finns stora vinster med att förlänga livslängden (Inrego, 2023). I Sverige står produktionen för en ännu större andel av klimatpåverkan eftersom elen som förbrukas vid användning till stor del kommer från förnybara energikällor (uppgift från Inrego).

Om någon väljer att köpa en begagnad IT-produkt i stället för en ny innebär detta att en ny produkt inte behöver tillverkas. Detta genererar generellt en miljövinst då ny produktion använder material och energi som i sin tur har en miljöbelastning. Dessutom undviks många transporter samt avfallshanteringen. Men även återanvändning och återtillverkning har en miljöpåverkan. Vissa transporter tillkommer, och processer vid rekonditioneringen, där produkten lagas eller fräschas upp, innebär också en miljöbelastning. IVL Svenska Miljöinstitutet och Inrego har i en studie tagit fram en databas som visar klimatfördelarna med att återbruka ett antal vanliga IT-produkter och illustrerar detta på ett bra sätt (Wranne, 2020), se Figur 9 nedan.

**Figur 9.** Källa: Produktdatabaser: miljöfördelar med återbruk Klimatfördelar med återbruk av IT-produkter samt metod för databasskapande, Wranne, 2020.



men det är inte en universallösning. För produkter med en snabb teknikutveckling kan det vara bättre om materialen går in i en ny produkt med lägre energiförluster eller mindre materialanvändning, men det förutsätter att materialåtervinningen är hållbar och effektiv. (Se även faktarutan ovan).

Samtidigt underlättar en design som stöttar reparationer och återtillverkning även för materialåtervinning då produkterna lättare kan plockas isär. Det är med andra ord inte alltid en motsättning mellan återanvändning och återvinning.

## Tekniska utmaningar med komplexa material och blandade avfallsströmmar

I Sverige är vi bättre på materialåtervinning av exempelvis koppar och järn, som vi brutit som mineral under lång tid, jämfört med många kritiska metaller som används i lägre koncentrationer. I samhället används dock fler och fler metaller, och produkternas komplexitet ökar. I rapporten "Förutsättningar för en ökad återvinning av CRM i Sverige" (Junestedt m.fl., 2023) undersöks mer specifikt återvinning-

## ÅTERANVÄNDNING OCH ÅTERTILLVERKNING FORTSÄTTNING

### Exempel: Cirkulär IT

Att öka återbruk och återtillverkning handlar mycket om att driva beteendeförändringar. Det går att använda elektronik längre än vad många tror. Kommande EU regler för hur länge producenter måste stötta mjukvaran med uppdateringar och erbjuda reservdelar förväntas bidra positivt till förlängd produktlivslängd (Europeiska kommissionen, 2024 a).

Beteenden och attityder har delvis redan ändrats. Nu är exempelvis skolor mer stolta över att de köper begagnade datorer. Det visar att de tänker på miljön och kan lägga mer pengar på lärare. Tidigare var det mer skambelagt med begagnat. Det var tidigare också en "sanning" att det var ekonomiskt att byta dator efter tre år. Under Corona-pandemin kunde företag se att så inte var fallet och nu har många gått från 3 till 4-5 års drift.

### Exempel: Återanvändning av batterier

Precis som för IT-produkter finns det miljövinster med att förlänga livstiden på och återanvända batterier. Att återanvända ett batteri från en elbil kan handla om att ge det andra användningsområden när det anses vara förbrukat som elfordonsbatteri (en så kallad *second-life application*). Litium-jonbatterier har i sitt slutskede kvar uppemot 80 procent av sin kapacitet vilket talar för återanvändning. Batteriernas livslängd skulle kunna förlängas om man använder dem i andra applikationer med lägre krav på energidensitet och ladd-/urladdningstider samtidigt som säkerhetsrisker med det använda batteriet kan hanteras genom tillförlitlig kontroll av batteriets status. Detta exempel skiljer sig från cirkulär IT där produkterna används för samma funktion och därför spås minska efterfrågan på nyproducerade IT-produkter. I fallet med ett andra liv för bilbatterier kommer inte efterfrågan på just nya bilbatterier att minska. Dessutom tar det längre tid för materialen att bli tillgängliga för återvinning.

En aktuell studie visar på utmaningen i avvägningen mellan att maximera tillgången på återvunnet material och att förlänga produktlivslängden. I detta fall undersöktes batterier till gruvmaskiner. Dessa batterier hyrs ut, och eftersom olika gruvmaskiner har olika krav på batterier kan ett batteri som tappat för mycket i kapacitet för en maskin återanvändas i en annan. Batterierna kan slutligen säljas vidare till andra användningsområden när kapaciteten blivit för låg för samtliga maskiner eller när mängden återanvändningsbara batterier överstiger behoven. Studien visar att återanvändning, efter en viss startsträcka, inte oväntat minskar behovet av nya batterier till gruvmaskinerna. När det kommer till att minska behovet av nya råmaterial så kan det dock vara mer effektivt för batteriproducenten att öka materialåtervinningen i stället för att satsa på återanvändning, i alla fall om materialåtervinningen är effektiv. Ju sämre materialåtervinning, desto större betydelse får återanvändningen när det kommer till att minska behovet av nytt råmaterial. Att sälja batterierna vidare till andra användningsområden kan göra nytta i samhället men minskar självklart företagets möjligheter till ökad självförsörjning av material (Helander & Ljunggren, 2023). Det är viktigt att poängtera att studien inte undersökte miljöpåverkan utan hur olika affärsmodeller påverkar behovet av primärt material vid batteritillverkning. I den nya batterilagstiftningen finns krav på kvoter av återvunnet material. För företag som baserar sin affärsidé på produkter som tjänster (*product service system*, PSS) och återanvändning kan kraven bli utmanande.

en av kisel från solpaneler, sällsynta jordartsmetaller från vindkraftverk och litium, grafit och kobolt ifrån elbilsbatterier. Rapporten pekar, liksom många andra rapporter, på att efterfrågan ökar samtidigt som endast en liten del av dessa metaller återvinns idag.

Många produkter innehåller små mängder av ett stort antal grundämnen. Låga halter av ämnen utspridda i många produkter och komplexa blandningar av material är ofta

svåra att återvinna. Det är framför allt inte lönsamt i dagsläget. Att samla tillräckligt stora volymer sorterat avfall innehållande kritiska metaller för att få skalfördelar är en del av utmaningen. (Se även "Linjär syn på avfall leder till sämre kvalitet på återvunnet material" på sida 38 samt "Designen på många produkter främjar inte cirkularitet" på sida 32.)

För återvinning av material från komplexa produkter behövs en fungerande insamling, förbehandling (demontering och

sortering) och slutbearbetning (kemisk och metallurgisk bearbetning). Elavfall är ett bra exempel på komplexiteten. I rapporten "Recycling and circular economy—towards a closed loop for metals in emerging clean technologies" (Hagelüken & Goldmann, 2022) lyfts insamlingsrollen med återvinning av guld från elektronikskrot som exempel. Om insamlingsgraden för elektronikskrot är 50 procent, effektiviteten i förbehandlingen avseende guld 70 procent och slutbearbetningens effektivitet 95 procent så återvinns totalt 33 procent guld från elektronikskrot. Enligt rapporten stämmer detta ganska bra med verkligheten i Europa.

För guld är effektiviteten i det sista steget mycket högt medan den för andra metaller är noll procent – de materialen återvinns helt enkelt inte. För en komplex metallmix finns termodynamiska begränsningar som gör att inte alla metaller kan återvinnas i lika hög grad. Ju mer utspätt ett ämne är, desto mer energi krävs för att utvinna det, och komplexiteten påverkar även återvinningsbarheten eftersom det, för de ingående metallerna, behövs olika processer för att optimera återtagandet. Fokus på maximal återvinning av en metall kan begränsa möjligheten att tillvarata en annan eftersom olika processer krävs (Reuter m.fl., 2019). I smältverk för blandat elektronikskrot hamnar till exempel sällsynta jordartsmetaller i olika slaggfaser. Dessa kan hanteras med lösningskemiska metoder men det görs i mycket liten utsträckning på grund av bristande lönsamhet, små volymer, hög energiåtgång, kunskapsbrist och utrustningsbrist. De ämnen som blir kvar i slaggen efter bearbetning hamnar ofta på deponi. Sällsynta jordartsmetaller kan också hamna i andra materialströmmar, exempelvis som förorening i järnskrot.

Vid materialåtervinning används idag inte alla tillgängliga metoder. I Sverige är användningen av hydrometallurgiska metoder liten jämfört med pyrometallurgiska metoder, även om forskning inom området pågår vid bland annat Chalmers tekniska högskola och Luleå tekniska universitet. Utmaningar med brist på kunskap och avsaknad av anläggningar finns även inom primära flöden (IVA, 2024).

För produkter som innehåller metaller, till exempel olika former av elektronik, sker även en betydande produktinnovation vilket kan leda till mer komplexa legeringar och snabba förändringar i materialval. Det är då svårt och kostsamt att hinna anpassa processerna för återvinning. Dessutom kan teknik-

**Tabell 3:** Jämförelse dedikerat respektive generellt återvinningssystem, förenklad indelning.

	Dedikerad återvinning	Generell återvinning
<b>Material</b>	Specialiserad på ett visst material/grupp av material.	Optimerad för ett blandat inflöde av material.
<b>Process</b>	Specifikt insamlings-system och sorterings-process av materialet.	Generellt insamlings-system och sorterings-process av materialet.
<b>Slutprodukt</b>	Fokus på ökad kvalitet och renhet på slutprodukt, exempelvis pantsystemet för aluminiumburkar och PET-flaskor.	Fokus på industriell effektivitet och återvinning av många olika material, exempelvis fragmentering av komplexa avfallsströmmar i stora volymer som exempelvis skrotbilar, kommunskrot och industriskrot.

förändringar göra att materialet som efterfrågas inte är det som återvinns för tillfället. Det är svårt att hantera detta utan att påverka teknikutvecklingen. Utöver detta är produkters, och därmed även avfallets, innehåll ofta okänt, något som ytterligare försvårar både förbehandling och slutbearbetning.

För att i framtiden optimera återvinningen av kritiska metaller behövs en flexibel och komplett metallurgisk infrastruktur som kan hantera olika typer av metallkombinationer och flöden, samt en produktdesign baserad på kunskap om tekniker för metallseparation (Reuter m.fl., 2019). I dagsläget handlar det dock främst inte bara om optimering utan om att komma igång med åtgärder för att över huvud taget börja återvinna vissa metaller. Det behövs både dedikerad och generell återvinning eftersom båda systemen har sina för- och nackdelar, se Tabell 3.

Förbättringspotential finns således i samtliga steg; design, insamling, förbehandling (demontering och sortering) och slutbearbetning, men utmaningarna är, som vi tidigare nämnt, ofta systemberoende. Att redan idag bygga upp mer kunskap om kritiska metaller och återvinningstekniker för att tillvarata dessa skulle, tillsammans med åtgärder inom övriga steg, ge Sverige och EU en beredskap när

de sekundära materialflödena ökar eller om Europa får ett ännu större behov av att vara självförsörjande.

Ytterligare en utmaning vid materialåtervinning av komplexa produkter är innehållet av andra ämnen som kan förstöra vissa processer, exempelvis klorider, eller ämnen som inte kan hanteras och därmed riskerar att skapa emissioner i vissa processer, till exempel PFAS.

## Omogen marknad där återvunnet inte efterfrågas

För återvinning av metaller som järn, koppar, aluminium och guld finns en mogen marknad och processer, medan infrastruktur och marknaden för exempelvis återvunnet litium och neodym fortfarande är omogen och saknar delar av värdekedjan för förädling. De cirkulära flödena för komponenter och produkter för återanvändning och återtillverkning är än mer omogna och i många fall obefintliga.

Att använda återvunnet material i produkterna är också en utmaning. Industrin optimerar idag materialval utifrån funktion, kvalitet, ekonomi och hållbarhet, och det ställs sällan krav på andel återvunnet material. Det går heller inte att sänka renhetsgraderna för mycket om kraven ska bibehållas. Om vi ska få till cirkulära flöden fullt ut måste sekundära material ha lika bra kvalitet (och känt innehåll) som de från primära källor. Det måste också finnas en marknad för återvunna material.

Mål för återvinning sätts idag ofta som andel av totalvikten. Enligt dagens ELV-direktiv ska 85 procent av bilens vikt återvinnas, men regelverket går inte in på exakt vilka material som ska återvinnas eller vilken kvalitet som materialet ska nå. Det finns alltså krav på mängden som ska återvinnas totalt men inte på återvinning av specifika material. Det som mäts är hur många kilogram av det som samlats in som skickas till en återvinningsprocess. Effektiviteten i den aktuella processen är inte reglerad. Det finns inte heller kvalitetskrav för det som återvinns eller standarder för återvunnet material. I den nya batteriförordningen (Förordning 2023/1542) kommer krav på andel återvinning av specifika material. Det är dock fortfarande ett dilemma att det inte ställs krav på vilken renhet/kvalitet ett material ska

återvinnas till. Kvaliteten avgör om materialet kan användas till samma typ av produkt igen eller om det kanske bara kan användas som fyllnadsmaterial.

Dessutom försvårar det faktum att olika livscykelanalyser och standarder används för att definiera återvunnet material samt dess klimatpåverkan (Ekvall m.fl., 2020). Beroende på metodval och tolkningar i en LCA får det återvunna materialet olika klimatpåverkan vilket påverkar hur attraktivt det är.

## Export av avfall och värdekedjor utanför EU

Att behålla materialen i Europa är en utmaning då företag i Kina många gånger kan betala bättre än europeiska företag för till exempel batteriernas svartmassa (en blandning av anod- och katodmaterial) som ska materialåtervinnas. Återvunnet material till batterier kommer att bli en bristvara när kraven på kvoter av återvunnet material ökar och det återstår att se hur materialströmmarna utvecklas.

I rapporten "Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – a Foresight Study" (Bobba m.fl., 2020) konstateras bland annat att återvinning (insamling, demontering och slutbearbetning) av till exempel sällsynta jordartsmetaller från mindre elmotorer kan förbättras inom EU och att majoriteten av dessa "skrotflöden" för närvarande exporteras till Asien.

Utöver detta finns utmaningen med illegal export av avfall, eller export av begagnade produkter som snabbt blir avfall, som sedan, sett till miljöpåverkan och arbetsmiljö, inte hanteras på bästa möjliga sätt. Det är därför viktigt att säkerställa en hållbar och säker materialåtervinning i hela värdekedjan – från insamling till slutbearbetning.

Även om avfallet/produkterna som innehåller kritiska råvaror skulle stanna inom EU saknas idag effektiv infrastruktur för att bearbeta och återvinna alla metaller, legeringar och andra material från komplexa produkter, något som är tydligt med tanke på återvinningsgrader av kritiska metaller. Se även "Tekniska utmaningar med komplexa material och blandade avfallsströmmar" på sida 34.

En fullständig analys av sekundära flöden och värdekedjor för kritiska metaller och mineral ur ett svenskt perspektiv saknas. För många samhällskritiska metaller och mineral är det svårt att få fram aktuell statistik kring återvinning och materialflöden (Lindblom m.fl., 2023). För att kunna förbättra systemen behövs kunskap om var materialen finns och hur de flödar både i Sverige och globalt.

Ytterligare en aspekt som lyfts i projektets första rapport "Utmaningar för att möta ökade behov av metaller och mineral" (IVA, 2024) är att EU behöver säkerställa hela värdekedjor. Materialåtervinning skulle, om alla hinder hanterades rätt, kunna bidra mer än idag till materialförsörjningen av kritiska metaller och mineral. Men även för produktion av halvfabrikat och slutprodukter kan det finnas sårbarheter i försörjningskedjan. Figur 10 illustrerar detta med permanentmagneter som exempel. 94 procent av produktionen sker i Kina.

## Linjär syn på avfall leder till sämre kvalitet på återvunnet material

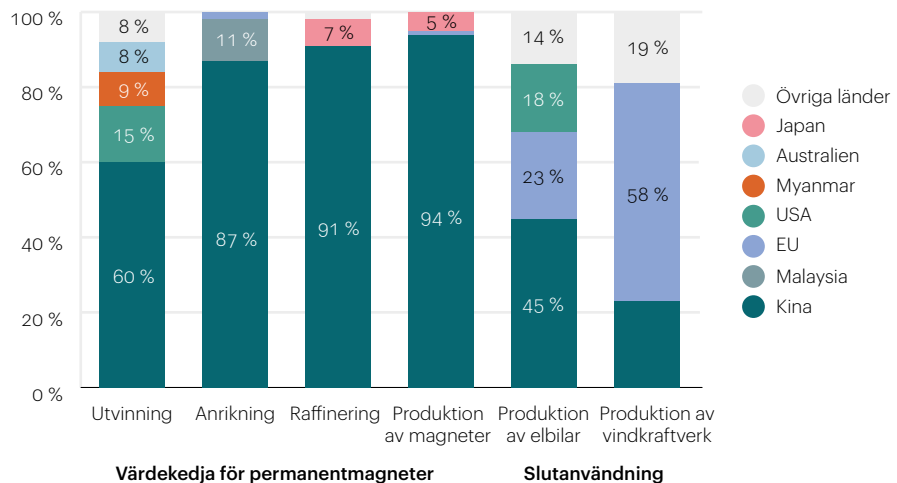
Synen på avfall är idag problematisk. Sverige och resten av världen är till stor del kvar i ett linjärt system där avfall inte ses som en värdefull resurs. Många regler i Europa fokuserar på att hantera och motverka de direkta negativa

effekterna av en bristfällig avfallshantering utan cirkularitet i åtanke. Det gör tyvärr att material ofta nedgraderas (försämras) eller hamnar utanför de cirkulära systemen. Idag är kunskapen också låg om var kritiska metaller finns i olika avfallsflöden och produkter. Många av dessa metaller hamnar därför i restflöden från annan metallåtervinning eller avfallsförbränning och byggs sedan in i exempelvis fyllnadsmaterial under hus, i vägar och bullervallar eller i deponikonstruktioner. När avfall innehållande kritiska råmaterial istället deponeras sker det på ett sätt som försvårar framtida utvinning, dels genom att avfallsströmmar blandas och dels genom otillräcklig information om var dessa material deponeras (Bergfald, m.fl., 2024). Det byggs inte lager så att materialet lätt går att komma åt när till exempel materialåtervinningstekniker förbättrats.

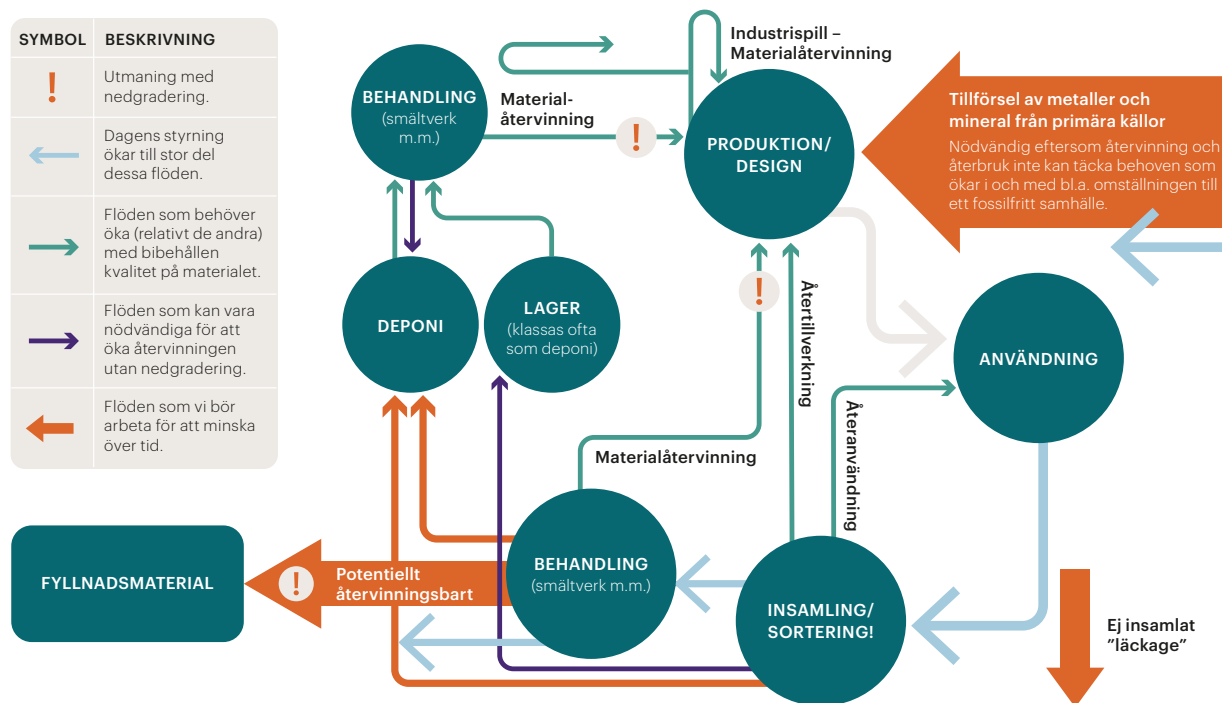
Figur 11 ger en översikt av metall- och mineralflödena och vilka utmaningar som finns för att minska flödet av potentiellt utvinningsbara material som idag går till fyllnadsmaterial och därmed skulle kunna öka de cirkulära flödena.

Alla fyllnadsmaterial behöver inte minska, men avfall som antingen är eller kan bli resurser i framtiden, exempelvis avfall innehållande betydande mängder strategiska metaller, borde inte låsas in i bullervallar, vägar, husgrunder eller andra konstruktioner. Inriktningen framöver behöver vara att det som tas upp genom gruvdrift kan cirkuleras i

**Figur 10:** 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 11:** Förtydligande av utmaningar inom systemet. Figuren är framtagen av arbetsgruppen som står bakom rapporten. Bilden är förenklad och utmaningarna med exempelvis nedgradering skiljer sig stort mellan olika metaller. Det saknas också mycket kunskap om sekundära flöden av kritiska metaller och mineral och var de hamnar när de inte återvinns.



så stor utsträckning som möjligt för att på lång sikt kunna minska uttaget av ändliga resurser samtidigt som miljön och människors hälsa skyddas vid avfallshanteringen. Vidare bör material som riskerar att bli ett framtida saneringsprojekt undvikas som fyllnadsmaterial.

Det är idag svårt att få ihop tillräckligt stora volymer, och därmed skalfördelar, vid materialåtervinning av många samhällskritiska metaller. Att lagra avfall mer än tre år kan i vissa fall vara motiverat för att få volymer som är lönsamma att återvinna med nya metoder utan nedgradering. Det kan exempelvis handla om att lagra uttjänta solpaneler tills en dedikerad anläggning kan byggas/uppgraderas för att materialåtervinna alla material som finns i dessa. Det största hindret är synen på deponier och lagring som metod, och mer konkret deponiskatten. Hur lång tid ett material behöver lagras beror på mate-

rialets värde, mängd och befintlig teknik för att utvinna materialet.

Ett annat sätt att få stora volymer är att samla avfallsflöden från flera länder. Här finns också regelverk som hindrar. Baselkonventionen om kontroll av gränsöverskridande transporter och slutligt omhändertagande av farligt avfall är en del av detta. Utmaningarna hänger samman med definitionen av avfall/farligt avfall och relaterade regleringar. Om något definierats som farligt avfall kompliceras hanteringen vid återvinning. Det finns även oklarheter gällande vad som krävs för att material eller produkter som klassats som avfall ska upphöra att vara sådant. Regelverken inom området har ett gott syfte, bland annat att hindra dumpning av farligt avfall i ett annat land, men de sätter likväl käppar i hjulet för cirkulära flöden. En utveckling av lagstiftningen för den cirkulära ekonomin behöver kombineras med hänsyn till miljöskydd.

### EXEMPEL PÅ UTMANINGAR

**Transporter av avfall:** För Ragn-Sells tog det åtta månader att få ett tillstånd att skicka ett ton avloppsslagsaska från Köpenhamn till Helsingborg för ett pilotförsök. Dessutom fick företaget ställa ut en bankgaranti. Syftet med avfallslagstiftningen är att undvika att avfall hamnar på fel plats, men dagens utformning och praxis leder till att det är mycket svårt att bygga upp en cirkulär affär. Om avfallsflödet klassas som ett farligt avfall ökar svårigheten ännu mer (uppgift från Ragn-Sells).

**Avfallsklassade material:** Ett material som är klassat som ett avfall kan inte enkelt användas som råvara i produktionsprocesser eftersom det bara får användas som råvara av någon som har tillstånd att processa avfall. I vissa fall får avfall inte användas som råvara i produkter alls, oavsett vilken kvalitet materialet har (exempelvis återvunnen fosfor). Inom EU:s avfallsdirektiv (Direktiv 2008/98) finns *end-of-waste*-kriterier som ska uppfyllas för att ett avfall inte längre ska klassas som ett avfall. En utmaning är att ett av kriterierna som ska uppfyllas är att det ska finnas en marknad för materialet. Detta skapar hinder för oetablerade sekundära råvaror som skulle kunna användas av kunder som saknar tillstånd att hantera avfall. Utvecklade kriterier finns idag endast för stål, järn, aluminium, koppar och glas; samtliga traditionella mogna material med en stark etablerad återvinningsindustri och processer.

## Återvinning av material från avfallsdeponier och infrastrukturprojekt

bära både klimatvinster och nettoutsläpp. Samtidigt baseras många studier på antaganden som behöver utforskas vidare. (Laner m.fl., 2016)

### Befintliga avfallsdeponier (ej gruvavfall)

När det gäller utvinning från gamla avfallsdeponier (deponiåtervinning) saknas både politiskt stöd och satsningar på kunskap och teknisk innovation för att realisera potentialen (Krook m.fl., 2018). Deponiskatten sätter käppar i hjulet även här. Om ett avfallsbolag vill plocka ut värdefulla metaller eller mineral ur en deponi eller bottenaska (efter avfallsförbränning) behöver de betala en deponiskatt när de senare återdeponerar överblivet material. Vid gruvbrytning däremot, plockas malmen (det värdefulla materialet) ut och överblivet material deponeras utan extra kostnad. På så sätt premieras primär produktion. Om bottenaskan istället omarbetas till konstruktionsmaterial vid deponitäckning undviks deponiskatten, likaså om man väljer att låta bli gamla deponier – men då förloras chansen att ta tillvara på flera kritiska material.

Klimatpåverkan av deponiåtervinning varierar betydligt beroende på typ av deponi och tillgänglig teknik. Det kan inne-

### Gammal infrastruktur

När infrastruktursystem under mark, som exempelvis koparkablar, tas ur bruk kopplas de vanligtvis bort och lämnas kvar eftersom det är ekonomiskt olönsamt att plocka upp dem för återvinning. Återvinning av infrastruktur under mark är inte en prioriterad fråga i samhället. Det saknas både krav och en tydlig ansvarsfördelning. Att plocka upp materialet kan även vara tekniskt svårt och det finns risk att fungerade kablar tar skada. Samtidigt fylls marken av fler och fler gamla kablar vilket också är ett hinder vid nya infrastrukturprojekt.

Det råder dessutom rättslig oklarhet kring kategorisering/definiering av urkopplade kablar, något som gör det svårt att applicera nuvarande avfalls- och miljölagar på dem. De kan tolkas som en föroreningskälla, ett avfall, en metallresurs eller en reservdel. (Krook & Wallsten, 2017)



## Snävt fokus på en hållbarhetsutmaning riskerar att skymma helheten

När samhället fokuserar ensidigt på en hållbarhetsutmaning, exempelvis återvinning eller klimatpåverkan vid tillverkning, är det lätt att tappa bort andra aspekter. Viljan att minska koldioxidutsläpp genom materialval kan öka utsläppen vid användning eller försvåra för återvinning, se faktarutan för fler exempel på komplexiteten.

Att i alla lägen bedöma vad som är hållbart ur ett helhetsperspektiv är dock svårt. Frågan är komplex och beslutstöden för industrin uppfattas av många aktörer som otillräckliga. Olika prioriteringar och antaganden om framtida effekter kan leda till skilda slutsatser. Om försörjningstrygghet och tillgång till material prioriteras framför klimatpåverkan kan det resultera i andra bedömningar

Vad som är mest hållbart beror på vilka hållbarhetsfrågor som inkluderas, vilket tidsperspektiv vi applicerar och hur

kostnader för olika framtida miljöeffekter värderas, det vill säga vilka alternativkostnader vi jämför med. Avvägningarna kommer också att ändras över tid eftersom de beror på omvärlden och vilka system som finns på plats (t.ex. insamling, förbehandling, processer för materialåtervinning och energimix).

## Tillståndsprocesser

Flera återvinningsaktörer upplever att tillståndsprocesserna är en utmaning. Det är svårt att förutsäga utgången och det finns skillnader i tillämpningen mellan olika län. Det kan även ta lång tid att förlänga ett befintligt tillstånd. Eftersom produkter hela tiden utvecklas förändras avfallsflödena. Detta kan kräva nya processer och uppdaterade tillstånd vilket kan bli mycket tidskrävande. Tillståndsprocesser hanteras vidare i projektets kommande delrapport "Ökade behov av metaller och mineral – mål- och intressekonflikter".

### EXEMPEL PÅ KOMPLEXITETEN

**Olika materials påverkan:** Man måste ofta balansera olika hållbarhetsaspekter i designstadiet. Valet mellan till exempel aluminium och koppar är komplext. Aluminium har ett större klimatavtryck än koppar, men koppar har ett större Ekotoxicitetsavtryck. (Ekotoxicitet är ett mått på hur pass giftigt ett ämne är för djur och växter i olika ekosystem.) Om man ersätter koppar med aluminium i elmotorer eller kablar krävs det en större mängd aluminium (Tillman m.fl., 2020). En blandning av stål och koppar i produkter kan också leda till en nedgradering av stål. Mängden koppar i stål har en stor påverkan på vad stålet kan användas till. Koppar kan inte renas från stål på ett kostnadseffektivt sätt.

**Design för återvinning eller lägre vikt:** Att använda monomaterial i en produkt underlättar för återvinning men kan öka vikten på den tekniska lösningen, vilket i förlängningen kräver mer bränsle och mer koldioxidutsläpp. För sällsynta jordartsmetaller är det svårt med spårbarhet och återvinning, men om de tas bort blir en elmotor större och tyngre då den skulle kräva mer järn och koppar.

**Industriella maskiner:** Det är teoretiskt sett enkelt att fördubbla de flesta maskiners/komponenters livslängd. Detta kräver dock väsentliga kompromisser som kan påverka prestanda och energieffektivitet. Om maskinerna blir större och tyngre påverkas energiåtgången för alla accelererande komponenter och om prestandan blir sämre kan det krävas fler maskiner för samma jobb. Detta kan i sin tur påverka maskintillverkarens konkurrenskraft på en global marknad.

**Återvinning eller förlängd livslängd:** Ofta finns fler miljövinster med reparationer, återanvändning och återtillverkning än med materialåtervinning och primär utvinning. Att tillverka en bärbar dator påverkar klimatet med 280 kilo koldioxidekvivalenter (Wranne, 2020). Ju längre produkten används, desto mindre blir alltså utsläppen per år (Inrego, 2023). Men som tidigare nämnts är det inte alltid lika lätt att bedöma om återvinning eller återbruk är att föredra. Det beror dels på teknikutvecklingen, dels på hur hållbar och effektiv materialåtervinningen faktiskt är.

## Regelverk inom EU

Det finns flera utmaningar med EU:s befintliga och kommande regelverk inom området.

En utmaning är helt enkelt att flera regelverk inte är färdigförhandlade. När lagförslaget om krav på ekodesign för hållbara produkter (Eco-design for Sustainable Products Regulation, ESPR) klubbas igenom återstår fortfarande mycket arbete med de så kallade delegerade akterna. Vilka produkt-specifika krav det landar i är med andra ord långt ifrån klart för många produktgrupper. Det är inte heller klart om det kommer att ställas krav på rapportering av kritiska material inom produktlagstiftningen (ESPR) – något som skulle vara betydelsefullt för ökad återvinning av dessa ämnen. En svår avvägning kan bli den mellan krav på återvunnet material i produkterna och förlängd livslängd på produkter (som innebär att materialet binds upp under en längre tid). Det är viktigt att kommande förordningar och direktiv samverkar med varandra. Det måste vara lätt att göra rätt.

Det finns också en oro för att företagsperspektivet inte ska komma med i tillräckligt hög grad. Denna oro avser flera olika aspekter:

- Det finns risk för stor administrativ börda för företag. Många krav kan bli så kostsamma att de blir svåra för framför allt små och medelstora företag att klara av (Tillväxtverket, 2023).
- Det finns oro för att affärshemligheter ska läcka. För vissa företag är exempelvis produktpassen och transparensen som föreslås inom ESPR en utmaning. Innehållet i produkten kan vara det som skapar konkurrenskraft för tillverkaren (affärshemlighet).
- Det finns osäkerheter kring vilken aktör som ska ta vilken kostnad i det cirkulära flödet.

Andra viktiga frågor att hantera är:

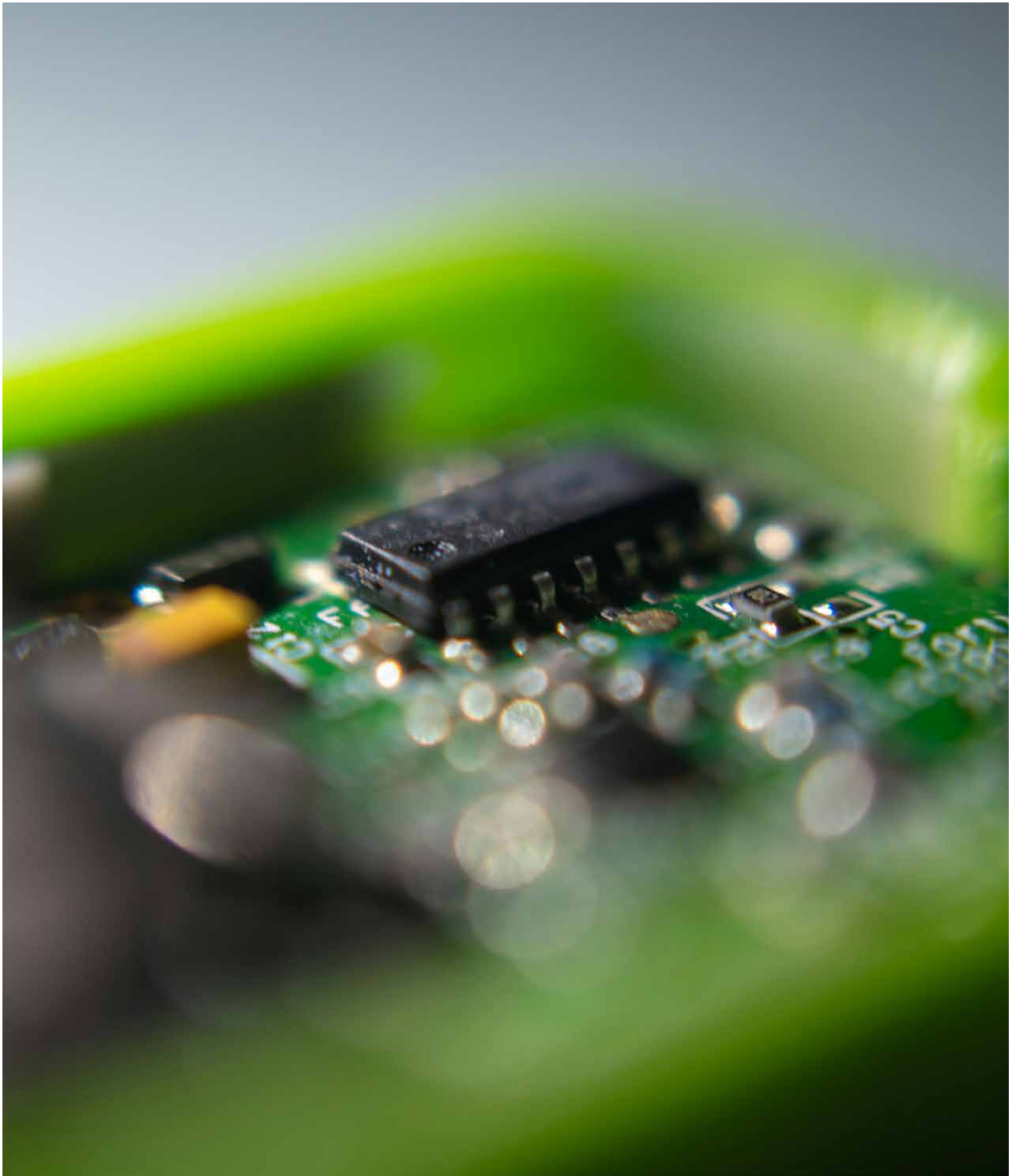
- Hur får vi likvärdiga spelregler globalt så att företag kan konkurrera på lika villkor?
- Hur kommer helhetssynen och avvägningar mellan olika hållbarhetsaspekter med i regleringarna?
- Vem har producentansvar vid återanvändning?
- Vem säkerställer att återvinning av till exempel exporterade varor faktiskt sker?

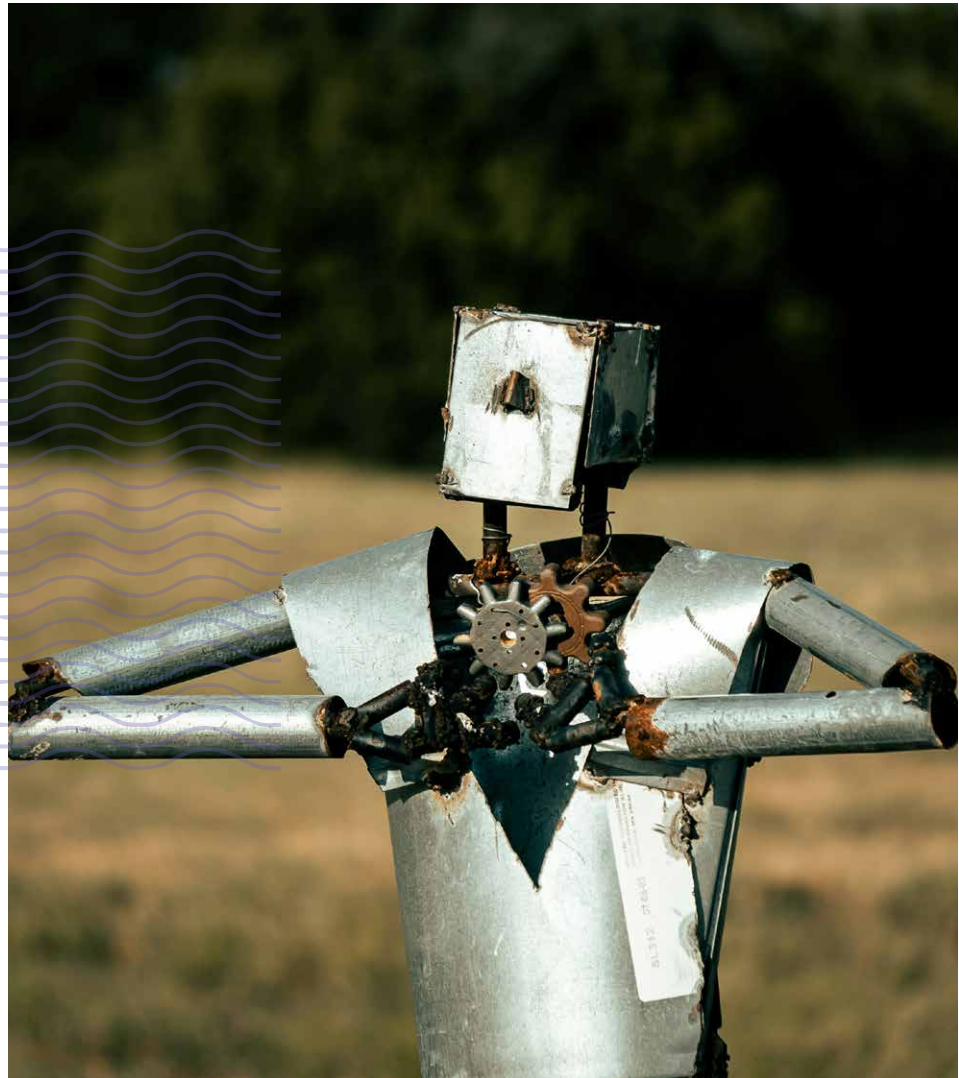
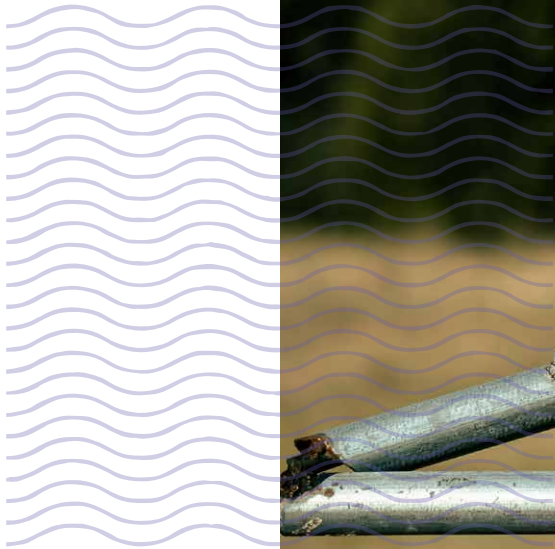
### KALKSTEN OCH BETONG

Även prognoser för behovet av kalk (kalksten) pekar generellt på en ökande efterfrågan, särskilt med tanke på den växande befolkningen och urbaniseringen i många delar av världen. Kalksten är huvudråvaran i cement, som i sin tur är en grundläggande komponent i betong, dagens vanligaste byggnadsmaterial. Betong används inte bara i byggnader och infrastruktur utan även för vind- och vattenkraftanläggningar. Kalksten har även andra användningsområden, exempelvis inom ståltillverkning, gruvverksamhet, jordbruk samt vattenrening (Kihlberg & Lagnerö, 2022). Cirkulära flöden kan spela en viktig roll för att minska behovet av primär kalksten. Genom cirkulär design som främjar demontering och återanvändning av byggnadsmaterial kan det totala behovet av nytt byggmaterial minska. Återvinning av betong kan göras genom att krossa och behandla det gamla betongmaterialet för att använda det som fyllnadsmaterial i ny betong. Här behövs dock ny cement. Ett sätt att minska behovet av cement är att använda alternativa bindemedel som flygaska och slaggb från stålframställning (samtidigt som kritiska råmaterial tas tillvara). Det är också viktigt att förbättra design och teknik för att minska överkonsumtion och avfall i byggprocessen.

Även här behövs politiskt stöd, teknologisk innovation och utbildning. Det är viktigt att fortsätta driva på innovation och hållbarhetsinitiativ inom byggsektorn för att möta den ökande globala efterfrågan på ett resurseffektivt sätt. Samtidigt är det viktigt att notera att användningen av kalksten i olika industrier är komplex och varierad. Cirkulära lösningar bör därför anpassas till specifika branscher och användningsområden för att vara mest effektiva.

Bygg- och fastighetssektorn, inklusive bygg- och rivningsavfall, är en prioriterad materialström i Sveriges handlingsplan för en cirkulär ekonomi (Klimat- och näringslivsdepartementet, 2021).





## 6. Förslag till åtgärder

»Det behövs forskning och utveckling, en ny syn på avfall och uppdaterade regelverk.«

## Cirkulär styrning

### Sammanfattning

Stimulera framväxten av marknader för återvunnen metall och cirkulära produktflöden på följande sätt:

- Prioritera generella åtgärder riktade mot grundorsakerna till låg grad av cirkularitet såsom ojämna spelregler och obefintlig eller inkorrekt prissättning av externa kostnader. Exempel på åtgärder med positiv påverkan på cirkulära flöden är EU:s system för handel med utsläppsrätter och EU:s nya redovisningsregler för företag (CSRD).
- Öka den statliga styrningen inom selekterade områden. Det behövs en mix av styrmedel inom EU så att både efterfrågan och tillgång på återvunnet material ökar. Säkerställ att företag och branschorganisationer bjuds in till dialog när regelverken utformas så att både konkurrenskraft och framsteg inom cirkularitet säkerställs.
- Ta fram långsiktiga statliga strategier och stöd som minskar osäkerheter och risktagande för olika aktörer vid omställningen till cirkulära affärsmodeller och materialåtervinning av kritiska metaller. Satsa på stöd till implementering av nya affärsmodeller/processer och pilotanläggningar för att öka återvinningen av kritiska råvaror.
- Satsa på standardiseringsarbete i etablerade industriella forum för att främja cirkulära flöden. Ett arbete med standarder är angeläget i samband med det nya ELV-direktivet (Directive on end-of-life vehicles) som innefattar rapportering av till exempel återvunnet material. Eftersom dagens standarder inte fastställer hur mängden återvunnet material ska räknas fram på ett enhetligt sätt kommer den nya lagstiftningen att behöva förtydliga detta. Det finns också ett behov av materialstandarder som både förädlings- och återvinningsbranscherna kan förhålla sig till. Ytterligare ett

område är produktstandarder som tillåter återvunnet material.

- Förenkla återanvändning och återtillverkning genom att exempelvis ta bort Sveriges kemikalieskatt på importerad begagnad elektronik samt ställa krav på reparbarhet för fler produkter inom EU och på mer cirkularitet i offentliga upphandlingar i Sverige. Utred och implementera olika sätt att minska kostnaderna för företag som, genom exempelvis reparationer och återtillverkning, förlänger livslängden på olika produkter.

### Lagstiftning och regelverk

Lagstiftningen som rör cirkularitet bör vara så generell och samstämmig som möjligt inom EU och globalt. Aktörerna har möjlighet att själva lösa många detaljfrågor, förutsatt att det är ekonomiskt lönsamt att återvinna eller återanvända.

Bra exempel på generella åtgärder är EU:s system för handel med utsläppsrätter som ger ett högre pris på utsläpp av växthusgaser, vilket i sin tur antas stimulera cirkularitet. EU:s nya redovisningsregler för företag (CSRD) är en annan generell åtgärd där aktörer som använder mer återvunnet material i sina värdekedjor gynnas genom "bättre" årsredovisningar.

Inom vissa områden behövs en ökad statlig styrning för att skapa marknader för cirkulära material- och produktflöden. Det behövs en mix av styrmedel så att efterfrågan på återvunnet material ökar i takt med tillgången. Styrmedel som verkar för förbättrad insamling, demontering och separering kan kombineras med sådana som ökar efterfrågan på sekundära material. Nuvarande producentansvar är primärt inriktat på att samla in de produkter som sätts på marknaden snarare än att säkerställa att återvunnet material används vid framställningen av nya produkter. En rapport från Naturvårdsverket (2020) visar att flera av de producentansvarssystem som finns idag inte ger tillräckligt bra incitament till design för återvinningsbarhet. Befintliga producentansvar och deras syften bör därför ses över och justeras så att det,

harmoniserat inom EU, skapas incitament för en design som främjar cirkularitet. Olika lösningar kommer att behövas för olika typer av varor och tjänster. Den politiska styrningen spelar också en viktig roll för att förbättra informationsflödena på marknaderna för sekundära material.

Lärdomar från den nya batteriförordningen kan och bör användas vid utformningen av regelverk för nya produktgrupper. Det finns även lärdomar att hämta från den historiska framväxten av metallskrotmarknader och forskning om politisk styrning på miljö- och naturresursområdet. Där framgår exempelvis att produktfokus är viktigare än materialfokus och att olika typer av problem och barriärer måste hanteras med större precision (Tillväxtanalys, 2021). Se även faktabara om styrmedel och incitament till höger.

## Områden som behöver starkare styrning

Mer specifik politisk styrning behövs inom följande fyra områden:

### 1. Cirkulär design, återvinningsbarhet och transparens

Produkter som innehåller kritiska råvaror måste vara reparerbara och återvinningsbara. Företag behöver därför optimerade material och produkter så att de kan repareras, återanvändas/återutvecklas och materialåtervinnas. Designen bör anpassas till den aktuella cirkulära strategi som ska uppfyllas, men samtliga produkter behöver vara återvinningsbara. När ett nytt material tas fram måste tillverkaren säkra att det kan materialåtervinnas. Exempel på praktiska åtgärder:

- En innehållsdeklaration (produktpass) tillämpas på produkten motsvarande energideklarationen på vitvaror. I stället för energi redovisas materialval, exempelvis innehållet av EU:s definierade kritiska metaller, andel återvunnet, reparerbarhet, med mera. Produktpass kan öka kunskapen om materialflöden, ge bättre förutsättningar för reparationer och återvinning samt öka transparensen mot kunder. Produktpasset bör innefatta en fullständig innehållsdeklaration och vara delvis konfidentiell så att företag är skyddade mot plagiat. Om ämnen i framtiden bedöms vara särskilt strategiska, kunna skapa skadliga utsläpp eller förstöra

vissa återvinningsprocesser ska konfidentialiteten upphävas för dessa ämnen.

- Återvinningsbarheten säkras med en tydlig, konkret och standardiserad kravställning som kan följas upp i de olika standarder för hållbarhetsredovisning som är under utveckling (European Sustainability Reporting Standards (ESRS), Science-based targets, med flera). Uppföljningen skulle öka tillgången på återvunnet material.

I lagförslaget om krav på ekodesign för hållbara produkter (Eco-design for Sustainable Products Regulation, ESPR) ingår digitala produktpass.

### 2. Återvinningsgrader för specifika metaller i en produkt och ökad kvalitet på återvunnet material

Det räcker inte med målsättningar/krav där återvinningsgraden definieras som andelen återvunnet av produktens totalvikt. En ändring till mer metallspecifika återvinningsmål för produkter skulle öka återvinningen av flera kritiska metaller. Detta sker nu i ökad utsträckning inom den nya EU-lagstiftningen, exempelvis i batteriförordningen.

Det behövs även styrning för ökad kvalitet på återvunnet material så att nedgradering undviks. Ett sätt att åstadkomma detta kan vara att utveckla materialstandarder som kan öka tillgången på återvunnet material av hög kvalitet.

Samtidigt måste komplexitetsutmaningen hanteras. Produkter utvecklas och komplexiteten ökar ständigt, något som försvårar materialåtervinningen. Det är viktigt med resurssnål design, men för att lyckas med cirkulära materialflöden utan nedgradering behöver företag sträva efter att minska komplexiteten samtidigt som ny teknik för materialåtervinning utvecklas och övriga hinder hanteras. Det finns ingen enkel lösning och staten kan här hjälpa till genom att stärka forskningen inom området. Förhoppningsvis kan den nya generationens produkter vara både enklare och bättre.

### 3. Andel återvunnet material vid nyttillverkning

Målsättningar för andelen återvunnet material i en produkt behövs, men nivån behöver samtidigt baseras på faktorer som tillgång, efterfrågan, produktlivslängd och klimatpåverkan vid produktion. De nya regelverken för batterier (Förordning 2023/1542) och fordon (kommande) innehåller kvoter

## STYRMEDEL OCH INCITAMENT

Med omogna och ibland icke-existerande marknader är det viktigt att skapa rätt incitament för aktörerna. Samtidigt är styrmedel komplexa och de mål som eftersträvas är inte alltid givna. Själva utformningen av målen är viktiga. Styrmedlen bör vara verkningsfulla, kostnadseffektiva, genomförbara och stimulera till teknisk utveckling. Det måste också finnas möjlighet att följa upp regelverken och hur de efterlevs. Den geografiska aspekten är central. Många styrmedel skulle helst finnas på global, eller åtminstone europeisk, nivå, även om detta ofta är svårt att genomföra i praktiken.

Tillväxtanalys framhåller i sin rapport "Metallåtervinningens ekonomiska marknader" (2021) fem generella lärdomar för politiken:

- Det behövs ett produktfokus snarare än materialfokus. Politiken behöver hitta balansen mellan de åtgärder som förbättrar produktdesignen för att möjliggöra cirkularitet och de åtgärder som förbättrar avfallshanteringen.
- Det behövs en mix av styrmedel. Det finns många olika typer av barriärer, men det finns ingen universallösning som överkommer alla dessa. De olika barriärerna måste hanteras på ett så träffsäkert sätt som möjligt.
- Även frånvaron av styrmedel skapar incitament ibland. Frivilliga avtal och affärsmodeller kan överkomma hinder såvida det inte finns regelverk och styrmedel som försvårar detta. Återvinningen av stålskrot har exempelvis vuxit fram under lång tid. Frivilliga överenskommelser och samarbete finns även för katalysatorer (kemiindustrin och fordonsindustrin) där industrin behåller ägandeskapet. Konsumenterna kan också vara villiga att betala en premie för återvunnet. Förutsättningar för frivilliga överenskommelser är lättare inom företagshandeln (B2B) än inom detaljhandeln (B2C).
- Traditionell miljöpolitik kan vara den bästa lösningen i vissa fall. En effektivare prissättning av koldioxid, inte minst på global nivå, kommer exempelvis att gynna metallåtervinningen.
- Utvecklingen av nya teknologier och system kräver en riktad politik, bland annat på grund av höga investeringsrisker. Statens roll kan här vara att stödja FoU och innovation samt stimulera aktörssamverkan. Politiken behöver bygga på såväl teknikneutrala som tekniks specifika styrmedel.

Källa: Tillväxtanalys, 2021

för återvunnet material vilket har lett till helt nya samtal inom branscher som nu behöver ta tag i frågan även i perioder när priset på primärt råmaterial är lågt. Detta ökar efterfrågan på återvunnet material av hög kvalitet och skapar incitament för cirkulär design och rena fraktioner.

#### 4. Förbud mot vissa varor

Det kan även bli aktuellt med restriktioner för vissa varor som förstör återvinningsprocesser, till exempel engångsprodukter med inbyggda batterier eller skyddsskikt av fluorerade plaster.

Diskussioner om ökad styrning inom dessa fyra områden pågår redan inom EU och det viktiga för svenska politiker är att vara med och påverka utformningen på detaljnivå samt stödja dialog mellan olika aktörer, både inför beslut och under implementering.

## Risker att beakta

EU kan leda utvecklingen inom området, men samtidigt kan unionens tillverkningsindustri få en försämrad konkurrenskraft om krav i väsentlig grad avviker från konkurrenters utanför EU. Likvärdiga krav kopplade till cirkularitet bör därför gälla för produkter som importeras till EU, och det bör finnas en plan för att kontrollera efterlevnad. För att skapa rättvisa konkurrensvillkor för företag inom unionen måste även de nationella regelverken harmoniseras.

Olika problemställningar kring affärshemligheter och cirkularitet bör också hanteras när regelverken utformas, och berörda företag och branschorganisationer behöver därför involveras i arbetet. Just nu pågår lagstiftningsinitiativ inom en rad olika områden som påverkar cirkulära flöden. Detta innebär att målkonflikter kan uppstå mellan exempelvis förlängd livslängd och krav på kvoter av återvunnet material i

nyproduktion eller mellan kemikalielagstiftningen och mål för återvinning. Det är viktigt att dessa hanteras så att inte förutsättningarna för cirkulära lösningar försvåras. Se även avsnittet "Behovet av ett helhetsperspektiv" på sida 51.

## Behov av transformativa åtgärder

Vid större omställningar behövs långsiktiga strategier och satsningar från staten för att minska osäkerheter vid risktagande. Därmed stimuleras företag att satsa och ställa om till cirkulära affärsmodeller och utveckla materialåtervinningen av samhällskritiska metaller ur olika produktflöden. Långsiktigheten behövs bland annat eftersom ledtiderna för nya processer och anläggningar sträcker sig över flera mandatperioder.

Många åtgärder innebär stora investeringar. För att bidra till dessa kan staten stödja teknikutveckling, inklusive demo- och utvecklingsprojekt. Ett exempel är Stena Recyclings anläggning för återvinning av litiumjonbatterier i Halmstad som delfinansierades av Energimyndigheten.

Tillväxtanalys konstaterar i sin rapport "De ekonomiska förutsättningarna för primär och sekundär metallproduktion" (2023 b) att den sekundära metallproduktionen under perioden 2007–2022 fått betydligt mindre stöd för forskning och innovation än den primära metallproduktionen, både relativt och i absoluta tal, och således missgynnats. En ökad satsning på sekundär produktion bör ske samtidigt som stödet för den primära produktionen av kritiska metaller och mineral förstärks. Både sekundär och primär produktion behövs för att Sverige och Europa långsiktigt och hållbart ska säkra tillgången till de metaller och mineral som krävs för en omställning till ett fossilfritt samhälle.

Små och medelstora företag kan också behöva specifikt stöd, eller förenklade regelverk, för att kunna möta nya krav i samband med de kommande produktpassen inom ESPR (Eco-design for Sustainable Products Regulation). Det gäller exempelvis kostnader för investeringar i kompetensutveckling och IT-system (Tillväxtverket, 2023). Det är viktigt att olika branscher engagerar sig i arbetet. IVL Svenska Miljöinstitutet lyfter i rapporten "Förutsättningar för en ökad återvinning av kritiska råmaterial i Sverige" (Junestedt m.fl., 2023)

att det saknas en dialog mellan producenter och återvinnare, och mellan återvinnare och beslutsfattare. Här kan staten ha en viktig roll för att skapa förutsättningar för dialog.

Om återvinningsmålet i EU:s kommande lag om kritiska råmaterial (CRMA) ska nås behövs finansiellt stöd. Målet till år 2030 är att 25 procent av konsumtionen av strategiska råvaror ska komma från material som återvunnits inom EU. Som tidigare konstaterats är återvinningsgraden för flera strategiska metaller mycket låg i dagsläget, och med tanke på att konsumtionen av dessa ökar, samtidigt som de binds upp i produkter med lång livslängd, blir målet än mer utmanande.

Förslag på nationella åtgärder:

- En cirkularitetsmiljard i Forsknings- och innovationspropositionen.
- Ett "Cirkularitetskliv" motsvarande industri- och klimatkliven.
- En statlig utredning som ser över det befintliga stödsystemet för industrisatsningar. Idag har satsningar inom återvinning svårt att få stöd då de, även om de minskar primär utvinning någon annanstans, inte minskar utsläppen av växthusgaser inom Sveriges gränser. Överväg att införa ett tidsbegränsat produktionsstöd för återvinning av särskilt strategiska material.

Parallellt med detta behövs ökade initiativ inom EU eftersom utmaningarna måste lösas gemensamt. Förslag på åtgärder:

- Möjliggör industriellt lönsam återvinning av kritiska metaller och mineral genom finansiella incitament under uppbyggnadsfasen.
- Underlätta för avfallstransporter inom EU för att möjliggöra storskaliga och kostnadseffektiva lösningar.
- Stimulera kommersialisering och uppskalning av FoU kopplat till cirkularitet.

## Reparation, återanvändning och återtillverkning

Ofta finns många miljövinster med förlängd livslängd, återanvändning och återtillverkning. Hinder för detta bör därför



hanteras skyndsamt. Regelverk som hindrar återbruk och återtillverkning bör justeras. Det kan handla om att ta bort kemikalieskatten på importerad begagnad elektronik, att inom EU ställa krav på reparerbarhet av fler produkter samt att ställa krav på mer cirkulärt i offentliga upphandlingar.

Det behövs även effektivisering och styrmedel så att reparationer och återbruk blir företagsekonomiskt lönsamt. I verktygslådan finns sänkta arbetsgivaravgifter, borttagen moms eller avdrag motsvarande ROT för viss verksamhet mellan företag. Även återbruk och återtillverkning förenklas om det går att göra i större skala.

För att stimulera återtillverkning behöver producentansvaret kunna delas eller gå vidare om produkter ändrar användningsområde. Svenska politiker kan verka för att detta sker inom EU genom att det på ett tydligt sätt beskrivs i nya produktlagstiftningar. Gällande batteriförordningen som nu implementeras bör Naturvårdsverket skyndsamt och i samråd med sina motsvarigheter i Europa, lösa de frågetecken som finns kvar gällande producentansvar för återbrukade batterier. Detta bör även ske i dialog med berörda branscher.

## Regelverk och synen på avfall

### Sammanfattning

Förändra synen på avfall så att det behandlas som en värdefull resurs. Underlätta för återvinningsbolag att samla större volymer avfall och återvinna från deponier, och skapa incitament för att gammal infrastruktur tas tillvara vid nya infrastrukturprojekt.

### Behovet av stora volymer

För att undanröja hinder för cirkulära flöden måste synen på avfall ändras så att det behandlas som en värdefull resurs. Denna nya syn måste sedan återspeglas i regelverken. Stora volymer (materialflöden) är en viktig del i en

väl fungerande materialåtervinning som både är lönsam och sker utan att material nedgraderas. För att nå dit bör regelverken göra det lättare att samla större volymer av avfall.

Dagens regelverk finns till av en anledning. Ändringar behöver därför kombineras med krav och tillsyn riktade mot oseriösa aktörer utan att för den skull försvåra för de seriösa.

Arbetsgruppen har identifierat behov av förändringar inom följande områden:

- Deponier och deponiskatt. Möjliggör lagring av avfall där större volymer krävs för att få en kostnadseffektiv materialåtervinning.
- Transport av avfall. Verka för en enklare administration för transport av avfall över gränser inom Europa samt en samordning med näraliggande geografiska regioner, till exempel Norden.
- Definitioner och klassificering av avfall. Uppgradera *end-of-waste*-lagstiftningen så att avfall enklare kan användas som råvara.
- Avfallslagstiftning och dess implementering bör även harmoniseras inom EU och Norden för att öka förutsägbarheten.

Dessa förändringar skulle innebära att:

- det blir lättare för avfallsbolag att transportera och samla hanteringen av visst avfall på en viss anläggning och därmed få skalfördelar.
- återvinningsindustrin kan ha materiallager med sorterade produkter och koncentrat som lagras för framtida uppärbetning när volym, teknik och marknadsförutsättningarna gör det möjligt. Detta skulle även kunna balansera prissvängningar på råvaror.

Undantag i deponiskatten har utretts tidigare, men som konstateras i utredningen "Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser" (SGU & Naturvårdsverket, 2023) har ingen utredning haft i uppdrag att göra en generell utvärdering av deponiskattens miljöstyrande effekter och samhällsekonomiska effektivitet.

Utöver detta bör avfallskoderna inom EU ses över (Beslut 2000/532). För att avfall som innehåller kritiska råvaror ska styras till rätt typ av återvinningsförfarande kan

kompletterande avfallskoder vara en lösning. Eftersom syftet med dagens avfallskoder är att åstadkomma ett säkert omhändertagande, inte återvinning av ämnen, blir koderna ofta för grova.

## Befintliga avfallsdeponier

Det behövs politiskt stöd, investeringar i kunskap och teknisk innovation för att utveckla deponiåtervinning. Det är därför viktigt att deponiåtervinning/deponigruvdrift erkänns som ett alternativ för deponihantering inom EU (Krook m.fl., 2018). Vissa deponier bör prioriteras ur klimatsynpunkt och riktlinjer för detta behöver tas fram (Laner m.fl., 2016).

Även ur denna aspekt behöver deponiskatten ses över så att de värdefulla materialen kan tas upp och resterande återdeponeras utan skatt. Med nuvarande lagstiftning utgörs 30–50 procent av de totala kostnaderna i ett deponiåtervinningsprojekt av skattekostnader för att återdeponera avfall efter processen (Frändegård m.fl., 2015). För att ge incitament och förutsättningar för lönsam deponiåtervinning behöver detta ändras, men dagens beskattning går i motsatt riktning – 2024 höjdes deponiskatten från 635 kronor per ton till 725 kronor per ton. Som jämförelse finns ingen deponiskatt för gruvornas bergrester och anrikningssand.

## Gammal infrastruktur

För att gammal infrastruktur under marken, till exempel gamla kopparkablar, ska tas tillvara vid nya infrastrukturprojekt behövs styrning. Frågan måste få högre prioritet hos både nät- och markägare. Det behövs också ett utvecklings- och förändringsarbete samt sektorsövergripande samverkan och förhandlingar. Dessutom krävs en ökad tydlighet gällande ansvarsfördelningen samt hur kostnader och intäkter ska fördelas. Systemägare saknar idag incitament för att återvinna (Krook & Wallsten, 2017).

Idag behöver många elnät förnyas. Detta är ett utmärkt tillfälle att förändra dagens metoder. Målet bör vara att återvinning av kopparkablar blir en integrerad del i den

strategiska planeringen och genomförandet av infrastrukturprojekt. Att återvinna kopparkablar handlar inte bara om att återfå metaller utan kan också ge fördelar som lägre kostnader, minskad klimatpåverkan och minskade kostnader för framtida underhålls- och installationsarbete eftersom utrymme frigörs (Krook & Wallsten, 2017).

## Kunskap och kompetens

### Sammanfattning

Satsa på utbildning, forskning och innovation inom området och skapa arenor för samverkan.

- Kunskapen om hur olika metaller och mineral flödar i samhället behöver öka. Utan kunskap om hur materialen flödar är det svårt att utvärdera vad som fungerar bra/mindre bra och var det finns nya affärsmöjligheter.
- Det behövs fler yrkesverksamma med bättre kunskap om cirkulära flöden och affärsmodeller, cirkulär design, förebyggande underhåll, specifika materialåtervinningstekniker och deponiåtervinning.
- Olika metoder och globala dataunderlag för att kunna väga olika hållbarhetsaspekter mot varandra bör utvecklas/samlas in. Praktiska industriella metoder för att värdera vilka åtgärder som är bäst ur ett resurs- och klimatperspektiv behöver tas fram.
- Det behövs arenor för samarbeten kring cirkulära flöden. Aktörer längs hela värdekedjan behöver samarbeta i nya affärsmodeller, och inom materialåtervinning finns möjliga synergieffekter med primär utvinning av kritiska metaller. Innovationsprogrammet Metals & Minerals inom Impact Innovation kommer att ha stor betydelse. Det är viktigt att snabbt bygga upp finansieringen av programmet för att sedan möjliggöra finansiering av forskning och utveckling inom cirkulära material- och produktflöden med fokus på kritiska metaller och mineral.

## Utbildning och forskning

Studenter måste utbildas mer i cirkularitet på universitet och högskolor, men även tidigare i utbildningssystemet. Inriktningen mot cirkularitet som idag implementeras i universitetsutbildningen behöver gå snabbare och bli en naturlig del för att motsvara framtida behov inom industrin. Det är också viktigt att studenter med olika inriktningar möts, exempelvis ekonomer och ingenjörer.

Arbetsgruppen har identifierat att utbildningsåtgärder och forskning behövs inom en rad områden, exempelvis:

- cirkulära affärsmodeller
- design som främjar cirkularitet
- underhåll för förlängd livslängd
- beteendeförändringar
- logistiklösningar
- nya tekniker för demontering/sortering
- nya materialåtervinningstekniker
- spårbarhet genom värdekedjan och över tid.

För att lyckas med detta behövs ett utökat stöd till forskning och innovation inom cirkulära flöden med fokus på kritiska metaller och mineral. Se även förslagen om transformativa åtgärder på sida 48.

Vid materialåtervinning av samhällskritiska metaller och mineral finns samarbetsvinster mellan återvinning och gruvnäring då snarlika metoder används. Många gånger blandas sekundära och primära flöden vid materialåtervinning. Arenor för samarbeten behövs fortsatt. Statliga innovationsprogram kan ge bra förutsättningar för detta.

På företag behövs även kontinuerlig utveckling och kunskapsspridning inom alla aspekter av cirkularitet samt specifik utbildning kopplat till kommande EU-regelverk inom området. Alla aktörer behöver öka sin kunskap för att kunna implementera ny lagstiftning.

## Behovet av ett helhetsperspektiv

Beslutsfattare, forskare, företag och organisationer måste alla bli bättre på att vidga sina vyer och inte fokusera en-

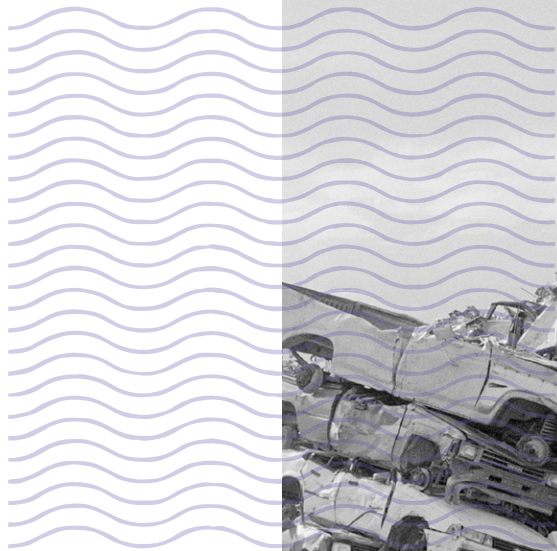
bart på en hållbarhetsutmaning i taget. Det är viktigt att kunna hantera olika hållbarhetsaspekter samtidigt. Det är också avgörande att diskutera och tydliggöra målen och få en gemensam bild av vad man vill åstadkomma. Här är det viktigt med långsiktiga och tydliga riktlinjer från politiken.

För att väga olika hållbarhetsaspekter mot varandra behövs globala dataunderlag för att jämföra olika alternativ. Livscykelanalys (LCA) kan vara en metod för att jämföra olika typer av affärsmodeller. Om livscykelanalyser används är det viktigt med tydliga standarder och ett begränsat tolkningsutrymme. Förhoppningsvis kommer införandet av CSRD, Direktivet om företags hållbarhetsredovisning (Europeiska kommissionen, 2024 b), att påverka standardiseringsarbetet mot en ökad tydlighet.

Även praktiska industriella metoder för att värdera vilka åtgärder som är bäst från ett resurs- och klimatperspektiv behöver tas fram. Dagens livscykelanalyser är tidskrävande och kräver specialkunskap samt tillgång till omfattande databaser och kan därför inte ge snabbt beslutsstöd till exempelvis underhålls- och servicetekniker i varje enskilt fall. För att öka effektiviteten och skalbarheten behövs förenklade metoder som kan integreras i befintliga system, exempelvis genom användning av mobilapplikationer och delverktyg i produktions- och servicesystem.

Beroende på produktkategori kommer olika verktyg att vara lämpliga för att stimulera cirkularitet på ett hållbart sätt. För långlivade produkter kan det, med anledning av en kontinuerlig teknikutveckling, vara mer effektivt både ur klimat- och resursperspektiv att säkerställa att vissa komponenter med kritiska ämnen enkelt kan tas bort och materialåtervinnas snarare än att förlänga livet på produkten. För andra produkter är utökad produktlivslängd istället det bästa alternativet. I denna rapport lyfts IT-utrustning som ett exempel. För engångsprodukter/förbrukningsmaterial är det centralt att de inte genererar problem senare i återvinningsled, exempelvis genom olämpliga tillsatser som PFAS eller batterier som inte kan plockas ut.

Svårigheterna att väga olika hållbarhetsaspekter mot varandra gör det viktigt att regleringar med hållbarhetskrav på olika produkter tas fram dialog med berörda parter. Kunskap om produktens hela livscykel är avgörande i detta arbete.



## 7. Fördjupning: Exempel och fakta

»Totalt sett är det ganska lite som plockas ut innan bilen tuggas sönder.«

## Exempel: Bilar och cirkularitet

Bilar består numera av nästan alla ämnen i det periodiska systemet. Mer än 50 olika metaller finns idag med i en bil (Ortego m.fl., 2020). Komponenterna som bygger upp bilen kommer från många olika leverantörer och leverantörskedjorna är komplexa. Det är därmed ofta en utmaning med så kallad *closed-loop recycling*. En bil går att likställa med andra materialintensiva produkter med lång livslängd och lärdomar i denna fördjupning kan därför överföras.

När en bil skrotas kommer en del komponenter att plockas bort innan bilen pressas ihop och så småningom tuggas sönder i en hammarkvarn. Därefter sker en viss sortering i (bland annat järn- och stållegeringar) men möjligheten att få ut rena fraktioner har minskat och plasten energiåtervinns.

De delar som plockas bort innan hammarkvarnen är de som måste tas bort på grund av krav eller säkerhet (exempelvis batterier och airbag) och de delar som är ekonomiskt lönsamma att plocka ut (exempelvis katalysatorn som innehåller dyrare råmaterial). Ju dyrare ett material är desto mer tid tillåts för hanteringen att plocka ut det.

Totalt sett är det dock ganska lite som plockas ut innan bilen tuggas sönder. De flesta bilar som skrotas är runt 20 år gamla och dessa bilar innehåller mindre mängder av kritiska råmaterial än modernare bilar men har ett stort värde i stål, aluminium och koppar. Att återvinningssystemet ser ut som det gör kan påverka viljan att designa för mer återvinning negativt; det finns inga incitament att designa annorlunda eftersom man vet att komponenter inte kommer att plockas bort innan bilen krossas.

Dagens system är byggt för att ta hand om stål, och fragmenteringsprocessen är därför sämre på att ta hand om elbilar som, jämfört med konventionella bilar, innehåller mindre stål, men mer aluminium, koppar och andra material. Stena Recycling har utvecklat processer för att få ut renare aluminium och koppar, och utvecklingen går ständigt framåt.

**Elmotorn** innehåller **permanentmagneter** som i sin tur innehåller sällsynta jordartsmetaller. Dessa sitter långt in i motorn och är fastlimmade för att fixeras och underlätta monteringen. Varje modell har olika rotordesign vilket gör det svårare att ta fram bra utrustning för att få bort magneterna. För att få ut magneterna måste hela motorn plockas isär. Det görs inte idag och elmotorn krossas istället med resten av bilen. Det finns dock andra delar i motorn som är designade för att kunna plockas ut och bytas då de ofta går sönder, exempelvis kullager.

För att lösa problemet med magneterna skulle designen kunna ändras så att limmet kan lösas upp lättare, men det är för komplext och kommer troligtvis inte att ske. Ett annat sätt skulle vara att förbättra återvinningstekniken och därmed lyckas återvinna de sällsynta jordartsmetallerna så som motorn ser ut i idag – att helt enkelt krossa motorn och plocka ut magneterna ur elmotorn, något som man lyckats med i Kanada (Cyclic Materials (Staub, 2024)) och inom EU (Comet). Det är viktigt att hitta en ekonomisk lösning för detta eftersom bilens högsta koncentration av sällsynta jordartsmetaller finns just i elmotorerna.

Det nya ELV-direktivet kommer att försöka angripa utmaningarna genom att göra det obligatorisk att plocka ut en lång lista på komponenter.

### VAD EN BILPRODUCENT KAN GÖRA

Bilproducenter kan underlätta för cirkulära flöden på följande sätt:

- **Designa för nedmontering och efterfråga standardiserade komponenter och produktmoduler.** Det måste vara lönsamt och gå fort när man plockar isär en bil. Bilarna är inte gjorda för nedmontering idag. Det skulle underlätta om monteringen skedde utan popnitar och med samma skruvhuvud på alla skruvar. Idag använder olika underleverantörer för olika komponenter också olika skruvar. Renault har ett system för att plocka isär bilarna (endast i Frankrike). I Frankrike äger de återvinningen, får tillbaka materialet och har lyckats få lönsamhet lokalt.
- **Identifiera prioriterade delar** som kan bytas ut och gör reservdelar tillgängliga och med hög kvalitet. Vissa komponenter påverkas mer än andra och det är bra att ha olika strategier för "aktiva komponenter" som slits, de komponenter där det sker snabb teknisk utveckling, respektive "inaktiva komponenter" som kanske inte berörs lika mycket.
- **Materialrationalisera och välj material som går att återvinna.** Det finns många olika material i en bil. Genom att förstå den önskade funktionens materialkrav, i kombination med hur och i vilket system materialet kan materialåtervinnas, skapas möjligheter för cirkularitet.
- **Identifiera komponenter som redan idag lätt kan tas bort** och försöka få till *closed-loop recycling*. Fokusera på komponenter som ofta går sönder under bilens livslängd.
- **Hitta samarbetspartners** och lös logistiken i de olika regionerna, exempelvis tillsammans med de som servar bilar. Logistik för returer vid service ger ökade kostnader, men samtidigt minskar kostnaden för skrothantering. Fundera även på samarbeten med andra bilproducenter för att få ett kostnadseffektivt system. Det gäller att skapa ett inflöde av produkterna.
- **Identifiera rätt återvinning** beroende på var materialet används. Kanske behövs kemisk återvinning för att få tillbaka primäregenskaper, exempelvis hos plast.
- **Undersök om det går att inkludera mer återvunnet material** som vanligtvis är kontaminerat med andra legeringar. Olika bildelar är olika toleranta för kontamination.
- Försök att uppnå funktion med så lite material som möjligt utan att det påverkar möjligheten till återvinning, men våga också **ifrågasätta funktioner**.

För att detta verkligen ska ske behövs dock rätt incitament. Se kapitel 6. Förslag till åtgärder.

## Leverantörskedjan

Stegen mellan råmaterialframställning och en färdig bil är många. De flesta bilföretag producerar få delar själva och är beroende av en stor mängd underleverantörer.

En biltillverkare ska ses som ett monteringsföretag; man sätter ihop komponenter som andra företag producerar.

På ett bilprogram finns mer än 300 underleverantörer och många underleverantörer är unika för ett speciellt bilprogram. För att skapa *closed recycling loops* måste man ha med många olika aktörer och börja på ett mycket tidigt stadium.

## IMDS, International Material Data System

Inom bilindustrin finns det gemensamma dataregistret IMDS (International Material Data System) som är ett globalt system för hela fordonsindustrin och dess underleverantörer, vilket är mycket positivt. I det kan man gå in på olika bilmodeller och se vilka material som finns i bilen.

En viss vikt får dock undanhållas i rapporteringen. Andel återvunnen eller biobaserad plast syns i systemet men inte andel återvunnen metall. Många bolag pushar för att andelen återvunna metaller också ska synas.

## LCA-utmaningar

Inom bilindustrin är det ett hårt tryck för att få ner koldioxidutsäppen och många gör livscykelanalyser (LCA:er) på bilarna. Problemet är att återvunnet material hanteras olika i olika LCA-metodiker (tolv olika varianter). Olika material kan få olika koldioxidavtryck beroende på metodik. Bilindustrin tillämpar ofta *simple cut-off* och tar 100 procent av koldioxidavtrycket vid första användningen. Många andra räknar med 50 procent vid första användningen. Val av LCA-metod påverkar hur gynnsamt det anses vara att använda återvunnet material ur ett koldioxidperspektiv.

## Standarder för vad som är återvunnet

Vad som räknas som återvunnet material är öppet för tolkningar. Bilindustrin köper från samma leverantörer men gör olika tolkningar. Vilken standard man använder påverkar mycket – ISO14021, World Steel eller EN45557. Många vill fokusera på avfall från uttjänta produkter eftersom industriavfallet kommer att återvinnas ändå, men det gäller att hela bilindustrin räknar på samma sätt. Just nu använder alla ISO14021, även om det inom bilindustrin finns en ambition att fokusera mer på avfall från uttjänta produkter (konsumentavfall). Även inom en standard finns det idag tolkningsutrymme. Gråzonen handlar om industrispill som man lätt kan ta hand om i den egna verksamheten (*home scrap* på engelska). Det här materialet får inte räknas in i mängden återvunnet material. Komplexiteten gör att inköp av material idag kräver förtydliganden om hur mycket återvunnet som finns i materialet, utifrån vilken standard, och med vilken tolkning.

## Användning av återvunnet material (metaller från sekundära resurser)

Industrin optimerar idag materialval utifrån funktion, kvalitet, ekonomi och hållbarhet. Det går inte att sänka renhetsgraderna för mycket; industrin måste fortsätta att vara konkurrenskraftig. Plockas möjligheter inom materialval bort kommer det att sänka funktionsvärden på kunderbjudanden. Dessutom blir separationsproblemet bara större i efterhand om ingångsmaterialen blir mer och mer förorenade.

En annan utmaning är att underleverantörer inte alltid vill utlova en viss procent återvunnet material eftersom tillgången varierar så mycket. De kan exempelvis utlova 10–40 procent, och då kan köparen (t.ex. en biltillverkare) endast räkna med 10 procent för att i sin tur inte lova för mycket till kunden. Ny anti-greenwashing-lagstiftning har en stor påverkan här.

En viktig fråga är hur kvalitetssäkerheten på det återvunna materialet kan öka och hur det blir mer attraktivt på marknaden.

**Figur 12:** Periodiska systemet, en indelning av grundämnen och atomslag efter atomnummer samt kemiska och fysiska egenskaper.

1		Atomic Tecken Namn Vikt																2												
1	H Väte 1,008																	2	He Helium 4,0026											
2	3 Li Litium 6,94	4 Be Beryllium 9,0122																	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		
3	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
4	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												
5	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												
6	55 Cs Cesium 132,91	56 Ba Barium 137,33	57-71 Hf Hafnium 178,49	72 Ta Tantal 180,95	73 W Volfram 183,84	74 Re Rhenium 186,21	75 Os Osmium 190,23	76 Ir Iridium 192,22	77 Pt Platina 195,08	78 Au Guld 196,97	79 Hg Kvikksilver 200,59	80 Tl Tallium 204,38	81 Pb Bly 207,2	82 Bi Vismut 208,98	83 Po Polonium (209)	84 At Astat (210)	85 Rn Radon (222)	86 Fr Francium (223)	87 Ra Radium (226)											
7	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 Rf Rutherfordium (267)	104 Db Dubnium (268)	105 Sg Seaborgium (269)	106 Bh Bohrium (270)	107 Hs Hassium (277)	108 Mt Meitnerium (278)	109 Ds Darmstadtium (281)	110 Rg Roentgenium (282)	111 Cn Copernicium (285)	112 Nh Nihonium (286)	113 Fl Flerovium (289)	114 Mc Moscovium (290)	115 Lv Livermorium (293)	116 Ts Tenness (294)	117 Og Oganesson (294)	118 Og Oganesson (294)	119 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)															

## Fakta: Metaller och mineral

Ett grundämne är ett ämne som uteslutande består av atomer med samma antal protoner i atomkärnan (se periodiska systemet ovan). Grundämnena utgör grunden för allt i universum och kan indelas i olika kategorier beroende på dess egenskaper. En viktig och omfattande grupp grundämnena är metaller. Metaller utmärker sig genom sina specifika fysikaliska och kemiska egenskaper som god elektrisk och termisk ledningsförmåga, glans och formbarhet.

Mineral innehåller vanligtvis ett eller flera grundämnena med en specifik kemisk sammansättning och kristallstruktur.

Ett exempel på mineral är kopparkis som består av grundämnena koppar, järn och svavel. Mineral bygger i sin tur upp olika bergarter.

Olika metaller har olika egenskaper och de används brett inom olika områden som konstruktion, elektronik, medicin och energiproduktion. Exempel på välkända metaller är järn, koppar, aluminium och guld. På senare tid har det även pratats mycket om andra metaller som exempelvis litium och gruppen sällsynta jordartsmetaller. Se faktarutan här intill för fördjupande fakta om just dessa.



## EXEMPEL PÅ METALLER

**SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER  
(RARE EARTH ELEMENTS, REE)**

Termen "sällsynta jordartsmetaller" (REE) syftar på de 15 lantaniderna (atomnummer 57 till 71). Ofta brukar även skandium (21) och yttrium (39) räknas med. Utifrån deras kemiska beteende delas de vanligtvis in i två grupper – lätta (La till Sm) och tunga (Eu till Lu samt Y). Många REE har väldigt specifika egenskaper och är svåra att ersätta.

**Utvinning:** Kina dominerar världsproduktionen.

**Förädling:** Kina dominerar (IVA, 2024).

**Användningsområden:** Permanentmagneter i elmotorer och generatorer.

**Återvinningsgrad:** Cirka 1 procent av de sällsynta jordartsmetallerna återvinns idag (siffran varierar dock i olika källor). Fokus ligger på permanentmagneter från vindkraftverk.

**Hinder återvinning:** Stor variation av produkter med olika kemiska egenskaper komplicerar. När en produkt återvinns med pyrometallurgiska metoder förloras ofta REE i slaggsfasen. Dessutom är det en varierande prisbild. Det är svårt med insamling av enhetliga materialströmmar för en effektiv återvinning.

**På gång:** Flera forskningsprojekt nationellt och internationellt (även om de ännu ej tagits upp av återvinningsindustrin).

Förslaget till EU-förordning om kritiska råmaterial (CRMA) tar specifikt upp de sällsynta jordartsmetallerna i permanentmagneter.

**Lösningförslag återvinning:** Stimulera effektivare kemiska processer och insamling av relevanta materialströmmar som är enhetliga nog.

**LITIUM**

**Utvinning:** Australien viktigaste producenten, men även Zimbabwe, Chile, Argentina och Kina.

**Förädling:** Kina dominerar (IVA, 2024).

**Användningsområden:** Batterier (54 procent av efterfrågan). Traditionellt används litium i keramik- och glasindustrin.

**Återvinningsgrad:** Av litiumjonbatterier återvinns endast 5 procent men det är eventuellt missvisande. En del deklarerar som export till Kina i stället för avfall. I Kina rekonditioneras de för second life-applikationer (exempelvis portabla laddare).

**Hinder återvinning:** Kunskapsluckor ur kemisk synvinkel. Mer forskning behövs för hållbar och effektiv återvinning. Risk för explosion och brand (hög energitäthet). Litiumbatterier i många storlekar, former och med olika kemiskt innehåll försvårar effektiv sortering (större batterier i elfordon är mer intressanta på grund av större mängd litium). Kina har största marknadsandelen av företag som sysslat med återvinning av litiumbatterier.

Renheten är mycket viktig i batteriapplikationer vilket komplicerar återtag av material.

**På gång:** Det finns en stor efterfrågan på litium vilket kan göra återvinning ekonomiskt hållbart. Litiumbatterier från elfordon är intressanta då de innehåller höga halter litium – här kan designforskning kopplas till återvinningen på ett produktivt sätt. Stena Recycling bygger en anläggning i Halmstad för återvinning med målet är att återvinna 95 procent av ett litiumbatteri och samla in batterier från hela Europa. Även företaget Northvolt har ambitiösa mål. Mycket forskning pågår i Sverige och världen.

Den nya batteriförordningen tar specifikt upp krav på återvinning av litium och användning av återvunnet litium i nya bilbatterier.

**Lösningförslag återvinning:** Stimulera fortsatt forskning och uppskalning.

*Rapporten "Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt" (Näringsutskottet, 2022) är huvudsaklig källa till faktarutan.*



## 8. Litteraturförteckning

ADEME, EFL consulting, Demain & Bureau Veritas. (2022). *Assessment of the environmental impact of a set of refurbished products*. ADEME. Hämtad från <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/5833-assessment-of-the-environmental-impact-of-a-set-of-refurbished-products.html>

Bergfald, B., Kristensen, K. & Lystad, H. (2024). *Recycling of Critical Raw Materials in the Nordics*. The Nordic Council of Ministers. Hämtad från <https://pub.norden.org/temanord2024-513>

Beslut 2000/532. (2000). Kommissionens beslut av den 3 maj 2000 om ersättning av beslut 94/3/EG om en förteckning över avfall i enlighet med artikel 1 a i rådets direktiv 75/442/EEG om avfall, och rådets beslut 94/904/EG om upprättande av en förteckning över farligt avfall i enlighet med artikel 1.4 i rådets direktiv 91/689/EEG om farligt avfall. Hämtad från <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2000/532/oj>

Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F. & Pavel, C. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study (ET-04-20-034-EN-N)*. Europeiska kommissionen, Joint Research Centre. Europeiska kommissionen. Hämtad från <http://dx.doi.org/10.2873/58081>

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 (JRC132889)*. Europeiska kommissionen, Joint Research Centre. Publications Office of the European Union. Hämtad från <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC132889>

China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd. (2022). *LCA Research Progress of CATARC. Working Party on Pollution and Energy (GRPE), UNECE Transport Division*. Okinawa, Japan. Hämtad från [https://wiki.unece.org/download/attachments/172852238/LCA-01-07r1\\_China\\_CATARC%20presentation%20LCA%20Research%20Progress%20of%20CATARC%2020221027%20update.pdf?api=v2](https://wiki.unece.org/download/attachments/172852238/LCA-01-07r1_China_CATARC%20presentation%20LCA%20Research%20Progress%20of%20CATARC%2020221027%20update.pdf?api=v2)

Circle Economy. (2023). *Circularity Gap Report 2023*. Hämtad från <https://www.circularity-gap.world/2023>

Direktiv 2008/98. (2008). Konsoliderad text: Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv. Hämtad från <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/2024-02-18>

Ekvall, T., Sandin Albertsson, G. & Jelse, K. (2020). *Modeling recycling in life cycle assessment (C551)*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-27>

Europaparlamentet. (2023, december 12). *Framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials European Parliament legislative resolution of 12 December 2023 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council 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 and (EU) 2019/1020*. Hämtad från [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0454\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0454_EN.pdf)

European Environment Agency, EEA. (2023). *Monitoring report on progress towards the 8th EAP objectives 2023 edition (11/2023)*. Hämtad från <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-8th-environment-action-programme>

Europeiska kommissionen. (2024 a). *Mobile phones, cordless phones and tablets*. Hämtad den 28 februari 2024 från [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/mobile-phones-cordless-phones-and-tablets\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/mobile-phones-cordless-phones-and-tablets_en)

Europeiska kommissionen. (2024 b). *Corporate sustainability reporting*. Hämtad den 28 februari 2024 från [https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting\\_en](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en)

Frändegård, P., Krook, J. & Svensson, N. (2015). Integrating remediation and resource recovery: On the economic conditions of landfill mining. *Waste Management*, 42, 137-147. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.008>

Frändegård, P., Krook, J., Svensson, N. & Eklund, M. (2013). Resource and climate implications of landfill mining: a case study of Sweden. *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), 742-755. Hämtad från <https://doi.org/10.1111/jiec.12039>

Förordning 2023/1542. (2023). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1542 av den 12 juli 2023 om batterier och förbrukade batterier, om ändring av direktiv 2008/98/EG och förordning (EU) 2019/1020 och om upphävande av direktiv 2006/66/EG. Hämtad från <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>

Grohol, M. & Veeh, C. (2023). *Study on the critical raw materials for the EU 2023 : final report (ET-07-23-116-EN-N)*. European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SME. Publications Office of the European Union. Hämtad från <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

Hagelüken, C. & Goldmann, D. (2022). Recycling and circular economy—towards a closed loop for metals in emerging clean technologies. *Mineral Economics*, 35, 539-562. Hämtad från <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00319-1>

Helander, H. & Ljunggren, M. (2023). Battery as a service: Analysing multiple reuse and recycling loops. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, Artikel 107091. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107091>

Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T., Laing, T. & Drexhage, J. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. World Bank Publications. Hämtad från <https://pubdocs.worldbank.org/en/961711588875536384/Minerals-for-Climate-Action-The-Mineral-Intensity-of-the-Clean-Energy-Transition.pdf>

IEA. (2021 a). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Hämtad från <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

IEA. (2021 b). *End-of-life recycling rates for selected metals*. Hämtad från <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/end-of-life-recycling-rates-for-selected-metals>

Inrego. (2023). *IT-produktens klimatpåverkan*. Hämtad från <https://inrego.se/var-drivkraft/hallbarhet/it-produktens-klimatpaverkan>

IVA. (2020 a). *Resurseffektivitet och cirkulär ekonomi – Syntesrapport*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). Hämtad från <https://www.iva.se/publicerat/rapport-resurseffektivitet-och-cirkular-ekonomi/>

IVA. (2020 b). *Resurseffektiv transport och mobilitet i Sverige*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). Hämtad från <https://www.iva.se/publicerat/rapport-resurseffektiv-transport-och-mobilitet-i-sverige/>

IVA. (2024). *Utmaningar för att möta ökade behov av metaller och mineral*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). Hämtad från <https://www.iva.se/publicerat/rapport-utmaningar-for-att-mota-okade-behov-av-metaller-och-mineral/>

- Jernkontoret. (2013). *Stålkretsloppet. Faktabok (D 850)*. Jernkontorets forskning. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/forskning/d-rapporter/d-850.pdf>
- Jernkontoret. (2018 a). *Klimatfärdplan. För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige*. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se/klimatfardplan>
- Jernkontoret. (2018 b). *Stålindustrin gör mer än stål. Handbok för restprodukter*. Jernkontoret. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/handbok-for-restprodukter-2018.pdf>
- Junestedt, C., Wu, A., Romson, Å. & Emilsson, E. (2023). *Förutsättningar för en ökad återvinning av kritiska råmaterial i Sverige (C757)*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-4189>
- Kihlberg, J. & Lagnerö, L. (2022). *Efterfrågan på cement och möjliga klimateffekter av ökad import (2022:11)*. Boverket. Hämtad från <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2022/efterfagan-pa-cement-och-mojliga-klimateffekter-av-okat-import-tillg.pdf>
- Klimat- och näringslivsdepartementet. (2021). *Cirkulär ekonomi – Handlingsplan för omställning av Sverige*. Regeringskansliet. Hämtad från <https://www.regeringen.se/contentassets/4875dd887fd34edabd8c1d928a04f7ba/cirkular-ekonomi-handlingsplan-for-omstallning-av-sverige.pdf>
- Krook, J. & Wallsten, B. (2017). *Syntesrapport från projektet städer som gruvor: tio huvudpunkter*. Linköpings universitet. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1071310/FULLTEXT01.pdf>
- Krook, J., Jones, P. & Van Passel, S. (2018). Policy Brief: Why Enhanced Landfill Mining (ELFM) needs to be politically acknowledged to facilitate sustainable management of European landfills. *NEW-MINE EU Training Network for Resource Recovery Through Enhanced Landfill Mining*. Hämtad från <https://new-mine.eu/wp-content/uploads/2016/10/NEW-MINE-Policy-Brief-ELFM-prep-EP-Seminar-Nov2018.pdf>
- Laner, D., Cencic, O., Svensson, N. & Krook, J. (2016). Quantitative Analysis of Critical Factors for the Climate Impact of Landfill Mining. *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6882–6891. Hämtad från <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01275>
- Lindblom, E., Lassesson, H., Emilsson, E. & Hedenborg, A. (2023). *Flöden av sekundära kritiska råmaterial i den svenska teknosfären (C748)*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad från <https://ivl.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1742229&dsid=3221>
- Material Economics. (2021). *Kritiska metaller för klimatomställningen – möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring*. Hämtad från <https://materialeconomics.com/publications/publication/kritiska-metaller-for-klimatomstallningen>
- Naturvårdsverket. (2020). *Extended Producer Responsibility in Sweden (6944)*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/4abf49/globalassets/media/publikationer-pdf/6900/978-91-620-6944-5.pdf>
- Naturvårdsverket. (2022, april 7). *Yttrande över promemorian En enklare och tydligare kemikalieskatt (Fi2022/00478) (NV-01453-22)*. Stockholm. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/496925/contentassets/e5b01e8411b5455beb62ccb83c92cbb2c/2022-04-08-utt-rande-en-enklare-och-tydligare-kemikalieskatt.pdf>
- Näringsutskottet. (2022). *Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt (2021/22:RFR10)*. Sveriges Riksdag. Hämtad från [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/rapport-fran-riksdagen/innovationskritiska-metaller-och-mineral-en\\_h90wrf10/html/](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/rapport-fran-riksdagen/innovationskritiska-metaller-och-mineral-en_h90wrf10/html/)
- Ortego, A., Calvo, G., Valero, A., Iglesias-Émbil, M., Valero, A. & Villacampa, M. (2020). Assessment of strategic raw materials in the automobile sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, Artikel 104968. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492030286X>

Pauliuk, S., Milfot, R., Müller, D. & Allwood, J. (2013). The steel scrap age. *Environmental science & technology*, 47(7), 3448–3454. Hämtad från <https://doi.org/10.1021/es303149z>

Reichl, C. & Schatz, M. (2023). *World Mining Data 2023*. Vienna: Federal Ministry of Finance. Hämtad från <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2023.pdf>

Reuter, M., van Schaik, A., Gutzmer, J., Bartie, N. & Abadías-Llamas, A. (2019). Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. *Annual Review of Materials Research*, 49:1, 253–274. Hämtad från <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010057>

RISE & Circle Economy. (2022). *Circularity Gap Report Sweden*. RE:Source. Hämtad från <https://resource-sip.se/app/uploads/2022/07/Circularity-Gap-Report-Sweden.pdf>

Rizos, V., Righetti, E. & Kassab, A. (2022). *Developing a supply chain for recycled rare earth permanent magnets in the EU – Challenges and opportunities*. Centre for European Policy Studies (CEPS). Hämtad från [https://cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2023/07/CEPS-In-depth-analysis-2022-07\\_Supply-chain-for-recycled-rare-earth-permanent-magnets-1.pdf](https://cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2023/07/CEPS-In-depth-analysis-2022-07_Supply-chain-for-recycled-rare-earth-permanent-magnets-1.pdf)

Sandvik. (2023, mars 14). *Sandvik lanserar branschens första "opt-out"-återvinningsprogram för hårdmetallen i bergborkronor*. Hämtad från <https://www.rocktechnology.sandvik.se/nyheter-och-media/nyhetsarkiv/2023/mars/sandvik-lanserar-branschens-f%C3%B6rsta-opt-out-%C3%A5tervinningsprogram-f%C3%B6rh%C3%A5rdmetallen-i-bergborkronor/>

SGU & Naturvårdsverket. (2023). *Rapportering av regeringsuppdrag Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser (RR 2023:01)*. Hämtad från <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/rr/rr202301rapport/RR2301.pdf>

SIS. (2024). *Cirkulär ekonomi*. Retrieved februari 28, 2024, from Svenska institutet för standarder (SIS): <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk600699/tk616/>

Staub, C. (2024, januari 4). *Canadian facility scales up rare earth magnet recycling*. Hämtad från E-Scrap News: <https://resource-recycling.com/e-scrap/2024/01/04/canadian-facility-scales-up-rare-earth-magnet-recycling/>

Stena Recycling. (2024). *Process- och produktdesign*. Hämtad den 28 februari 2024 från <https://www.stenarecycling.com/sv/vart-erbjudande/stena-circular-consulting/process-och-produktdesign/>

Tillman, A.-M., Nordelöf, A., Grunditz, E., Lundmark, S., Alatalo, M., Thiringer, T. & Ljunggren, M. (2020). *Elmaskiner för fordon i en cirkulär ekonomi (2020:06)*. Chalmers tekniska högskola. Hämtad från [https://research.chalmers.se/publication/520636/file/520636\\_Fulltext.pdf](https://research.chalmers.se/publication/520636/file/520636_Fulltext.pdf)

Tillväxtanalys. (2021). *Metallåtervinnings ekonomiska marknader (2021:10)*. Hämtad från [https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.4361092d17d3a4157cb5a367/1640117474851/Rapport\\_2021\\_10\\_Metall%C3%A5tervinnings\\_ekonomiska\\_marknader.pdf](https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.4361092d17d3a4157cb5a367/1640117474851/Rapport_2021_10_Metall%C3%A5tervinnings_ekonomiska_marknader.pdf)

Tillväxtanalys. (2023 a). *En resurseffektiv och konkurrenskraftig metall- och mineralnäring (2023:18)*. Hämtad från <https://www.tillvaxtanalys.se/studieomraden/projekt-klara/genomforda-ramprojekt/2023-11-22-en-resurseffektiv-och-konkurrenskraftig-metall-och-mineralnaring.html>

Tillväxtanalys. (2023 b). *De ekonomiska förutsättningarna för primär och sekundär metallproduktion (2023:07)*. Hämtad från [https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.3bfaa926188bdb9945529c79/1687203093415/Rapport\\_2023\\_07\\_De%20ekonomiska%20f%C3%B6ruts%C3%A4tningarna%20f%C3%B6r%20prim%C3%A4r%20och%20sekund%C3%A4r%20metallproduktion.pdf](https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.3bfaa926188bdb9945529c79/1687203093415/Rapport_2023_07_De%20ekonomiska%20f%C3%B6ruts%C3%A4tningarna%20f%C3%B6r%20prim%C3%A4r%20och%20sekund%C3%A4r%20metallproduktion.pdf)

Tillväxtverket. (2023). *Spårbarhet och digitala produktpass – Hur påverkas små och medelstora företag av ekodesignförordningen? (0450)*. Hämtad från <https://tillvaxtverket.se/download/18.483f483d18851872d9be77f7/1686730900615/Sp%C3%A5rbarhet%20och%20digitala%20produktpass.pdf>

United Nations Environment Programme. (2024). *Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel*. Hämtad från <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>

United Nations Environment Programme & International Resource Panel. (2011). *Recycling Rates of Metals: A Status Report*. Hämtad från <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8702>

Wallsten, B., Carlsson, A., Frändegård, P. & Krook, J. (2013). To prospect an urban mine – assessing the metal recovery potential of infrastructure "cold spots" in Norrköping, Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 55, 103–111. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.041>

Wranne, J. (2020). *Produktdatabaser: miljöfördelar med återbruk Klimatfördelar med återbruk av IT-produkter samt metod för databasskapande (B2372)*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-2802>



Kungl. Ingenjörsvetenskaps  
Akademien

i samarbete med



Med stöd från



Strategiska  
innovations-  
program