



SWEDISH
ENVIRONMENTAL
PROTECTION
AGENCY

SKRIVELSE
2023-02-16

Ärendenummer:
NV- 09921-21

Miljöeffekter av elektrifiering av transporter

Redovisning av ett regeringsuppdrag NV-09921-21

Innehåll

SAMMANFATTNING	5
1. INLEDNING	7
1.1 Uppdraget	7
1.2 Syfte och avgränsning	7
1.3 Genomförande	8
2. BAKGRUND	9
2.1 Elektrifiering av transporter kan ske på olika sätt	9
2.2 Transporter	9
2.2.1 Elektrifiering av vägtrafiken i Sverige	10
2.2.2 Elektrifiering av spårtrafik i Sverige,	11
2.2.3 Elektrifiering av flygtrafik och sjötrafik i Sverige	13
2.2.4 Prognoser för antalet elfordon i Sverige	13
2.2.5 Elektrifieringen i EU och globalt	14
2.3 Energianvändning i Sverige	15
2.4 Miljömål och miljöeffekter	16
2.4.1 Miljömål	16
2.4.2 Rekyleffekter av elektrifiering av transporter	19
2.4.3 Transporteffektivt samhälle	20
3. ANALYS AV MILJÖEFFEKTER AV ELEKTRIFIERING AV TRANSPORTERNA	21
3.1 Elframställning och elmix	21
3.1.1 Elproduktionens betydelse för elfordonens miljöpåverkan	21
3.1.2 Elanvändningens betydelse för elmixens miljöeffekter	22
3.1.3 Elmix för verksamhet i Sverige	23
3.1.4 Elanvändning och växthusgasutsläpp vid elektrifiering	24
3.1.5 Elmix för verksamhet utomlands	25
3.1.6 Övriga miljöeffekter av elproduktion	29
3.2 Råvaror till elektrifieringen	29
3.2.1 Miljöeffekter av gruvbrytning av mineral och metaller	30
3.2.2 Miljöeffekter av havsbottenbrytning	32
3.2.3 Miljöeffekter av utvinning från gruvavfall	33
3.2.4 Tre miljöeffektsutmaningar gällande mineralframställning	35
3.2.5 Raffinering av mineral och metaller	39
3.3 Tillverkning av fordon och infrastruktur	40
3.3.1 Produktion av fordon	40
3.3.2 Miljöpåverkan vid tillverkning av fordonsbatterier	41
3.3.3 Miljöeffekter av infrastruktur för fordonsdrift	43
3.3.4 Miljöeffekter av infrastruktur för laddning	45

3.4	Användningen av elektrifierade fordon	46
3.4.1	Miljöeffekter av elanvändning i fordon	47
3.4.2	Elektrifieringen minskar utsläppen av luftföroreningar och buller från trafik 48	
3.5	Återanvändning, återvinning och skrotning av batterier och fordon	51
3.5.1	Batterier och cirkulär hantering – de tre R:en	51
3.5.2	Återvinning av batterier	52
3.5.3	Tillgång till återvunnet material	55
3.5.4	Deponering	56
4.	ANALYS OCH DISKUSSION	58
4.1	Minskning av växthusgasutsläpp vid elektrifiering	58
4.2	Miljöeffekter vid elektrifieringen	58
4.3	Elektrifieringens geopolitiska dimension	59
4.4	Skiljer sig olika transportslag och fordonsslag åt?	60
4.5	Målkonflikter	60
5.	KÄLLFÖRTECKNING	62

Sammanfattning

Naturvårdsverket fick i regleringsbrevet för 2022 i uppdrag att: redovisa en analys av miljöeffekterna av elektrifieringen av transporter. Uppdraget redovisas i en skrivelse till Regeringskansliet (miljödepartementet) senast den 1 mars 2023.

Elektrifieringen av transporter på väg och spår samt sjöfart och flyg har undersökts för både persontransporter och godstransporter. Fokus har legat på vägtrafik.

Positiva miljöeffekter av elektrifierade transporter jämfört med fossilbränslebaserade

Ett viktig slutsats i kunskapsammansättningen är att elektrifieringen medför en positiv miljöeffekt i form av minskade klimatutsläpp från fossildrivna fordon när de ersätts med elektrifierade fordon. När elproduktionen till drift av fordonen och när tillverkningen av batterier sker med mindre andel fossil energi kommer utsläppen av klimatgaser minska än mer när fordonsparken växlar till elfordon. När förbränningsmotorer ersätts med elmotorer sker även en minskning av luftutsläpp i form av kväveoxider och förbränningspartiklar.

Negativa miljöeffekter av elektrifierade transporter via gruvbrytning och elproduktion

De negativa miljöeffekterna av elektrifiering kommer främst från tillverkning av elektrifierade fordon och deras batterier som kräver kritiska metaller och andra råvaror som måste brytas ur jordskorpan. Även tillverkning av permanentmagneter till elmotorerna kräver brytning av kritiska mineral och metaller. Miljöpåverkan från gruvverksamhet sker på många olika sätt, till exempel genom utsläpp till vatten, förändrad markanvändning, utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar samt genom att stora mängder avfall genereras.

Ytterligare en negativ miljöeffekt kommer via elproduktion. El behövs i fordonens hela livscykel men mest vid tillverkning och drift av fordonen. Miljöeffekterna av elproduktion varierar mycket mellan olika länder där nordisk elmix har jämförelsevis lägre klimatpåverkan än elmixen i till exempel de stora tillverkningsländerna av batterier och permanentmagneter i östra Asien.

Ojämn geografisk fördelning av miljöeffekterna

De positiva miljöeffekterna av elektrifiering i Sverige, utöver minskade växthusgasutsläpp, uppstår främst lokalt i städer och i Sverige, genom minskat buller och förbränningsrelaterade luftföroreningar. Men även genom ett minskat ytbehov om elektrifieringen sker genom att fossildrivna individuella transporter som exempelvis personbilar ersätts med elektrifierad kollektivtrafik. En stor del av de negativa effekterna av batteriproduktion kommer däremot uppstå i de länder där metallerna bryts och batterier och permanentmagneter tillverkas. Detta sker idag i hög utsträckning är utanför Sverige och EU.

Elektrifiering har kommit längst inom spårtrafik och lättare vägtrafik

Spårtrafiken är det trafikslag där elektrifieringen kommit längst medan förändringen är störst inom vägtrafiken med en stor ökning av elektrifierad mikromobilitet och lätta vägfordon. För tunga fordon, arbetsmaskiner, fartyg och flyg är förhållandena likartade vad gäller minskade utsläpp när de elektrifieras men förutsättningarna för elektrifiering är i flera fall inte lika goda.

Målkonflikter finns främst kopplat till metallutvinningen till elfordon och batterier

Generellt kommer en ökad elektrifiering att ha positiva effekter på flera svenska miljömål utöver klimatmålet. En målkonflikt kan dock uppstå genom att en ökad elektrifiering leder till en ökad efterfrågan på att etablera ny gruvverksamhet som i sin tur påverkar flera miljömål negativt både i Sverige och utomlands. Denna målkonflikt kan dock minskas med ett transporteffektivt samhälle och om fordonen används effektivare än idag, till exempel genom att de ingår i kollektivtrafik eller i annan delning. Målkonflikten kan även minskas betydligt om de elektrifierade fordonen blir lättare och utrustas med batterier bättre anpassade till genomsnittliga körmönster, vilket kan innebära mindre batterier.

Andra sätt som målkonflikten kan minska är genom ny teknik för energilagring, till exempel nya batterityper eller renare tekniker och praktiker för att utvinna och förädla mineral och metall som används för elektrifieringen, till exempel genom renare energiproduktion i utvinnings- och tillverkningsländerna.

1. Inledning

1.1 Uppdraget

Naturvårdsverket fick i regleringsbrevet för 2022 i uppdrag att: redovisa en analys av miljöeffekterna av elektrifieringen av transporter. Uppdraget redovisas i en skrivelse till Regeringskansliet (miljödepartementet) senast den 1 mars 2023.

1.2 Syfte och avgränsning

Syftet med uppdraget är att ta fram en rapport som kan användas som underlag i framtida utredningar och uppdrag som berör miljöeffekterna av elektrifieringen av transporterna. Analysen i skrivelsen ska vara bred och omfatta alla fyra trafikslag.

Avgränsningar har formulerats för tre viktiga begrepp i utredningen: transporter, elektrifiering och miljöeffekter.

Analysen av **transporter** omfattar de fyra trafikslagen vägtrafik, sjöfart, järnvägstrafik och flygtrafik och inkluderar både persontrafik och godstrafik. I vägtrafik ingår även så kallad mikromobilitet som till exempel elsparkcyklar. Arbetsmaskiner tas inte med i analysen eftersom de inte definieras som transporter (ett trafikslag). I analysen har fokus varit på vägtransporter eftersom elektrifieringen just nu sker snabbast och bredast inom det området. Många miljöeffekter är också lika för de olika transportslagen eftersom elmotor, batteri och eltillförsel har likartade miljöeffekter oavsett typ av fordon och skiljer framförallt baserat på fordonets storlek.

Analysen av **elektrifiering** omfattar miljöeffekterna över hela livscykeln för ett elektrifierat fordon. Jämförelsevärdet är således inget fordon alls. En jämförelse med fossilbränslefordon kommer göras i den avslutande diskussionen men kommer inte göras för varje del av livscykeln. Den vanligaste elektrifieringen är en elmotor som försörjs av ett batteri eller en strömavtagare av någon sort.

Elektricitet används också för att tillverka bränslen så kallade elektrobränslen där till exempel metanol, diesel eller ammoniak framställs syntetiskt med hjälp av elektrisk energi. Miljöeffekter som kommer av produktion av elektrobränslen tas inte med eftersom elektrifieringen i det fallet bedöms som en insatsvara i bränsleproduktionen och att själva transporten inte drivs av elektricitet. Däremot ingår bränsleceller i analysen där bränslen omvandlas till elektricitet som driver fordonets elmotor. Bränsleceller har dock inte etablerats så brett att miljöeffekter finns beskrivna i forskning så beskrivningen av bränsleceller blir begränsad.

Analysen av **miljöeffekter** avgränsas till de effekter som påverkar de svenska miljömålen i Sverige och motsvarande effekter utomlands. Både direkta effekter och så kallade rekyleffekter som uppstår indirekt tas med men en avgränsning av arbetet är att det finns forskningsunderlag som beskriver effekten. I många fall kan effekten identifieras men inte kvantifieras på ett tillförlitligt sätt.

Vad som är en miljöeffekt kopplad till elektrifieringen avgränsas också i ett par delar. Miljöeffekterna av stamnät för elöverföring tas inte med eftersom denna effekt till en mindre del kan hänföras till efterfrågeökningar av el utifrån en ökad elektrifiering av transporterna och till en större del kommer av energisystemets allmänna omställning och ökad efterfrågan på el i stora industriprocesser. Ny och befintlig elproduktion analyseras framförallt utifrån effekter på klimat- och luftmålen.

Effekter på den sociala hållbarheten kopplat till elektrifiering av transporter till exempel vid gruvbrytning av mineral och metaller ingår inte i uppdraget och analyseras därför inte.

1.3 Genomförande

Arbetet har organiserats med en styrgrupp och en projektgrupp med deltagare från olika avdelningar på Naturvårdsverket. Arbetet har genomförts med hjälp av litteratursökningar samt analys och syntes av forskning inom området miljöeffekter av elektrifiering av transporter. Sökningarna har gjorts med hjälp av sökmotorerna Google Scholar och Webb of science med sökord som kombinerar miljöeffekter, elektrifiering och transporter. Det analyserade materialet har bestått av forskningsartiklar och forskningsrapporter samt faktasammanställningar från svenska myndigheter och internationella organisationer. Projektgruppen har därefter gemensamt diskuterat textutkast och analyser. Vid ett par tillfällen har forskare från Chalmers respektive IVL Svenska miljöinstitutet bjudits in till seminarier om deras forskning inom elektrifiering av transporter.

2. Bakgrund

2.1 Elektrifiering av transporter kan ske på olika sätt

Elektrifiering har ingen vedertagen definition men en definition som ibland använts är den från StandUp for Energy¹, ett forskningssamarbete mellan Uppsala universitet, Kungliga Tekniska Högskolan, Sveriges lantbruksuniversitet och Luleå tekniska universitet. De skriver att termen ”elektrifiering” vanligtvis avser något av följande:

- Att förse med elektrisk energi, till exempel en region eller ett samhälle.
- Att ersätta en tidigare kraftkälla, till exempel bensin, med elkraft.
- Att utrusta för användning med elektrisk kraft, till exempel ett fordon eller annan maskin.

I denna undersökning har vi fokuserat på miljöeffekterna av att utrusta transportsystemet med elektrisk kraft det vill säga punkt tre ovan. I den sammanfattande diskussionen analyserar vi även miljöeffekterna av att ersätta fossildrivna transporter med elektrifierade transporter det vill säga elektrifiering enligt punkt två ovan.

Att utrusta transportsystemet med elektrisk kraft kan ske på olika sätt:

- Genom överflyttning av transporten från ett icke-elektrifierat fordon till ett helt eller delvis elektrifierat fordon i samma transportslag, till exempel från diesellastbil till ellastbil eller från cykel till elcykel.
- Genom överflyttning av transporten från förbränningsmotorfordon till ett annat transportslag som är elektrifierat till exempel från personbil till eltåg.
- Genom att elektrifierade resor nyskapas det vill säga de ersätter inte någon tidigare transport. Ett exempel är elsparkcyklar som är nyskapade transporter som nu sker med elfordon. Ett annat exempel är elbiltransporter som blir av eftersom körkostnaden per kilometer blivit lägre med eldrift, vilket kan ses som en rekyleffekt till följd av en prisförändring.

2.2 Transporter

Transporterna kan delas in i två huvudkategorier, transporter av gods och transporter av personer. Det finns också transporter som omfattar både gods och personer, till exempel färjetrafiken, men oftast används olika fordon och farkoster för antingen godstransporter eller persontransporter. Persontransporter och

¹ <https://www.standupforenergy.se/elektrifiering-ar-karnan-i-ett-hallbart-energisystem/> (hämtat 2023-01-26).

godstransporter är i sin tur indelad i fyra trafikslag med olika typer av fordon, olika grad av elektrifiering och med olika miljöeffekter kopplade till sig:

- vägtrafik,
- järnvägstrafik,
- sjöfart
- flyg

Varje trafikslag kan också delas in i fordonsslag som kan ha egna förutsättningar för elektrifiering och miljöeffekter kopplade till sig till exempel personbilar och lastbilar.

2.2.1 Elektrifiering av vägtrafiken i Sverige

Den sista december 2021 var 5 miljoner personbilar i trafik i Sverige, varav 2,2 procent var elbilar, laddhybriderna 3,8 procent och elhybriderna 3,1 procent (ej laddbara med el).² Antalet nyregistreringar av personbilar för år 2022 var 288 000, vilket är något under genomsnittet de senaste 10 åren. Andelen laddbara personbilar var 56 procent, varav elbilarnas andel var 33 procent och laddhybridernas andel var 23 procent.³ Antalet nyregistreringar av lätta lastbilar för 2022 var 35 000, varav 14,5 procent var eldrivna lätta lastbilar⁴.

Antalet lätta ellastbilar (< 3,5 ton) i trafik var 8 400 stycken och de utgjorde 1,4 procent av det totala antalet lätta lastbilar. Antalet tunga ellastbilar var 72 och de utgjorde 0,1 procent av alla tunga lastbilar. Av antalet samtliga lastbilar utgjorde de laddbara lastbilarna sammantaget 1 procent. Antalet elbussar var 662 (4,9 procent) och antalet bussar som utgjordes av elhybrider och laddhybrider var 160 (1,2 procent).⁵ Andelen sålda nya eldrivna mopeder var 41 procent år 2021.⁶

² Trafikanalys. Kortidsprognoser 2022. <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordonsprogonser-13126/>

och Trafikanalys. Eldrivna vägfordon – ägande, regional analys och möjlig utveckling till 2030. Rapport 2022:12. https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2022/rapport-2022_12-eldrivna-vagfordon---agande-regional-analys-och-en-mojlig-utveckling-till-2030.pdf

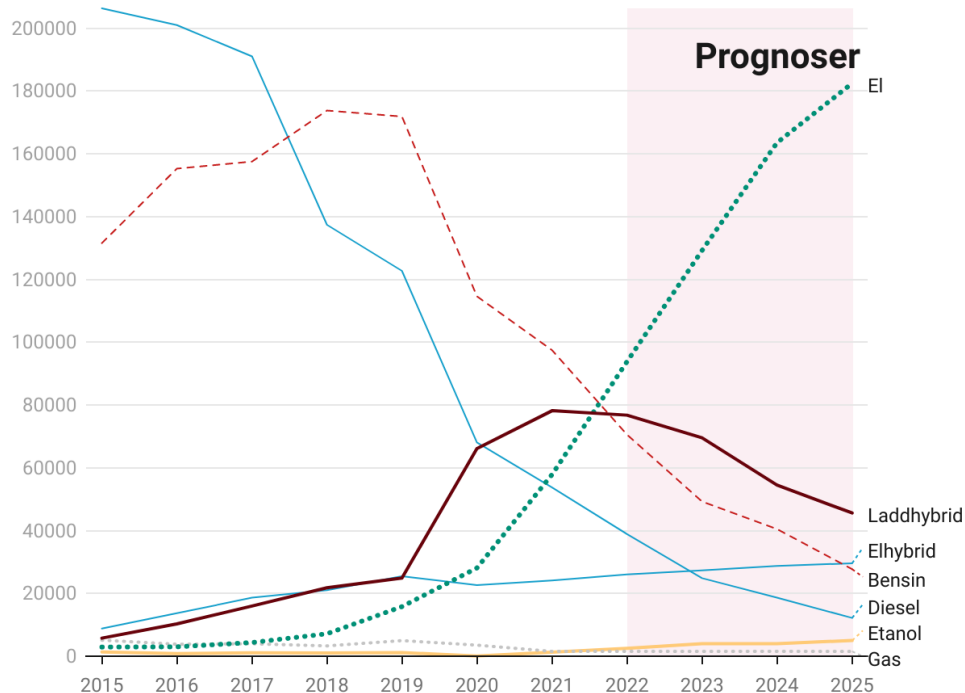
³ Pressmeddelande Mobility Sweden. 2023-01-09. Definitiva nyregistreringar under 2022 https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2022/definitiva-nyregistreringar-under-2022

⁴ Pressmeddelande Mobility Sweden. 2023-01-02. 2022 – ett starkt år för elbilen

⁵ Trafikanalys/SCB och [Statistik BilSweden \(mobilitysweden.se\)](https://www.statistik.scb.se/Statistik/BilSweden)

⁶ Moped- och motorcykelbranschens riksförbund. Registreringsstatistik december 2021. <https://mcbbranschen.se/wp/wp-content/uploads/2022/01/12-Nyregistrering-till-och-med-december-2021.pdf>

Nyregistrerade personbilar per drivmedel



Grafik: Trafikanalys • Källa: Trafikanalys • Skapad med Datawrapper

Figur 1 Faktisk och prognostiserad utveckling av antalet laddbara fordon bland nyregistrerade fordon i Sverige, uppdelad på fordonstyperna personbilar, lätta lastbilar, tunga lastbilar, bussar. Källa: Trafikanalys 2022⁷

Figur 1 ovan visar att för år 2025 bedöms runt 1 miljon laddbara personbilar finnas i trafik, varav cirka 600 000 är rena elbilar. Det innebär att cirka 20 procent av personbilarna i trafik är laddbara till 2025.

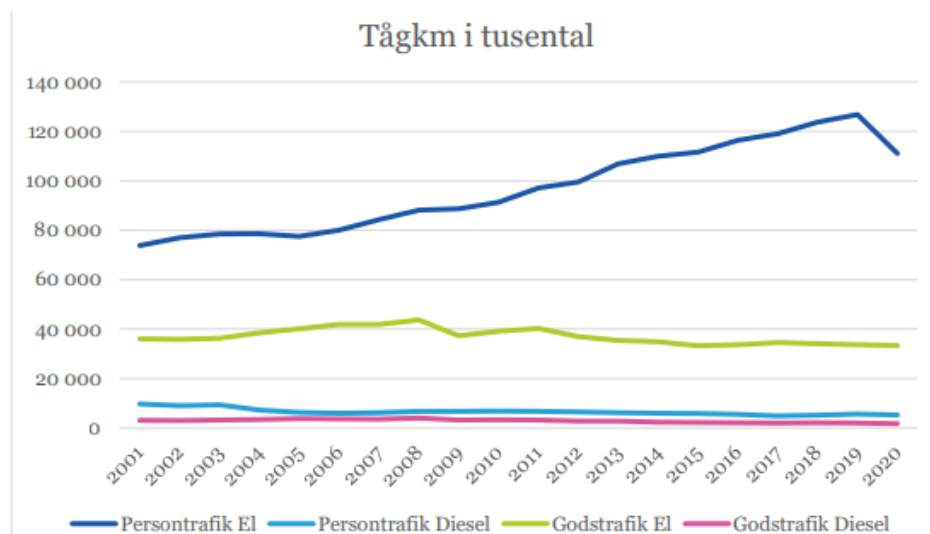
2.2.2 Elektrifiering av spårtrafik i Sverige,

Spårtrafiken är det mest elektrifierade trafikslaget. Av Trafikverkets spår är 84 procent elektrifierade. Totalt är 78 procent av Sveriges järnvägsnät elektrifierat, vilket gör det till ett av Europas mest elektrifierade – genomsnittet för EU-länderna är cirka 50 procent.⁸

Idag är en stor andel av trafikarbetet på svenska järnvägar elektrifierat, se Figur 2. En högre andel för persontransporter än för godstransporter på spår. Den lätta spårtrafiken som till exempel spårvagn och tunnelbana är helt elektrifierad.

⁷ Trafikanalys. *En miljon laddbara personbilar 2025*. Trafikanalys 2022. <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordonsprognoser-13126/> (hämtad 2023-02-02).

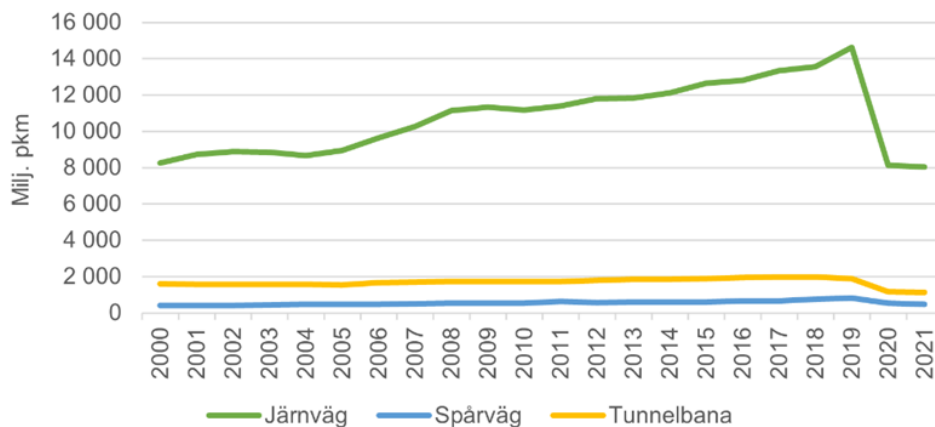
⁸ Energieffektiv järnväg: Styrmedel mot klimatmålen SLUTRAPPORT Oskar Fröidh & Emil Jansson KTH, avd. för transportplanering Stockholm TRITA-ABE-RPT-2133 <https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/klimatuppdrag/energieffektiv-jarnvag-styrmedel-mot-klimatmalen.pdf>



Figur 2 Tågkm i tusental för persontrafik och godstrafik med el och diesel i Sverige. Källa: Trafikanalys 2020.

Resande med bantrafiken, järnväg, spårväg och tunnelbana har ökat kontinuerligt under början av 2000-talet men minskade påtagligt under pandemin 2020 och 2021 från ca 16 miljoner personkilometer till knappt 10 miljoner personkilometer, en minskning med drygt 40 procent. Godstransporterna (tonkm) på järnväg har ökat något under 2000-talet och uppgick år 2021 till drygt 23 miljarder tonkilometer.

Inom persontrafiken drevs den största delen av *dragfordonen* med el, 97 procent och inom godstrafiken drevs 59 procent med el.⁹ Sammantaget har andelen eldrivna dragfordon ökat och användningen av fossila drivmedel i järnvägstrafiken har mer än halverats sedan 1990.¹⁰



Figur 3 Trafikarbetet på spår i Sverige åren 2000–2021. Miljoner personkilometer per år. Minskningen mellan 2019 och 2020 kan till stor del förklaras av minskat kollektivresande under Covid-pandemin. Källa Trafikanalys.

⁹ Trafikanalys. Bantrafik 2021.

<https://www.trafa.se/globalassets/statistik/bantrafik/bantrafik/2021/bantrafik-2021.pdf>

¹⁰ SCB. Statistikdatabasen. Miljö.

2.2.3 Elektrifiering av flygtrafik och sjötrafik i Sverige

Vad gäller flygtrafiken använder såväl utrikesflyget, inrikesflyget samt cargoflyget uteslutande förbränningsmotorer. Det finns ett svenskt företag som håller på att utveckla flygplan med eldrift och som planerar marknadsintroduktion 2028. Dessa kommer att dock att vara relativt små och ha begränsad räckvidd och kommer inom överskådlig framtid sannolikt inte att göra något avtryck i statistiken. Det stora hindret är att batterier har mycket låg energitäthet jämfört med flygbränsle, större flygplan blir alltför tunga. Det finns också en begränsad försöksverksamhet med leveranser av exempelvis hjärtstartare och medicin, med hjälp av elektrifierade drönare.

Fartygstrafiken har en låg elektrifieringsgrad men det har de senaste åren blivit vanligare med batterier och elmotorer på mindre fritidsbåtar och på färjor i linjetrafik. För konventionella fartyg finns förhållandevis goda förutsättningar för elanslutning i land för energiförsörjning vid liggstid i hamn.

I Sverige finns ett tjugotal elektrifierade fartyg. Antalet elfartyg växer dock snabbt, om än från en låg nivå, och det finns goda möjligheter att elektrifiera delar av sjöfarten med batteridrift eller hybriddrift.¹¹ Ett antal linjefärjor har direkt eldrift. Elektriciteten kommer från land genom en elkabel som matas in och ut genom ett hjul som är monterat på sidan av fartyget.¹²

För fartyg och flyg är förutsättningarna för eldrift i flera fall inte lika goda. Detta särskilt vid trafikering på längre sträckor där bränsleceller och elektrobränslen kan bli den väg som väljs. Nackdelar med elektrobränslen är förhållandevis stora effektförluster vid framställning jämfört med om elen i stället kan användas direkt i fordonen/farkosterna. Elbehovet ökar således ytterligare om elektrobränslen används för framdrift i stället för el.

2.2.4 Prognoser för antalet elfordon i Sverige

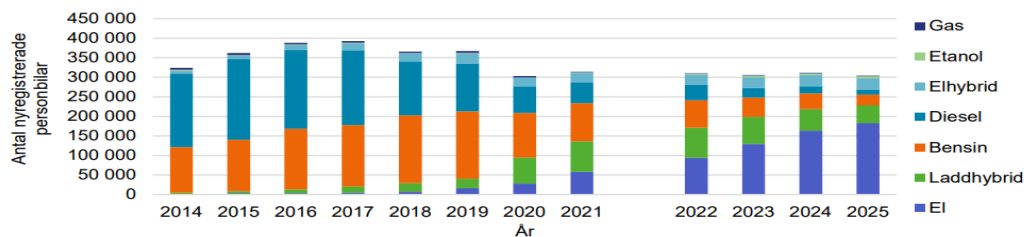
Till år 2025 bedömer Trafikanalys i sin korttidsprognos¹³ att det kommer att finnas runt 1 miljon laddbara personbilar i trafik, varav cirka 600 000 är rena elbilar. Det innebär att cirka 20 procent av personbilarna i trafik är laddbara till år 2025.

¹¹ Förutsättningar och styrmedel för ökad elsjöfart. Trafikanalys. Rapport 2022:17.

<https://www.trafa.se/sjofart/forutsattningar-och-styrmedel-for-okad-elsjofart-13555/>

¹² Färjerederiet. Trafikverket. Vision 45. <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet-vision-och-uppdrag/farjerederiet-vision-verksamhetside-och-affarsplan/>

¹³ Korttidsprognoser för vägfordonsflottan - metoder och antaganden. PM 2022:5 <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordonsprognoser-13126/>



Figur 4 Nyregistrerade personbilar per drivmedel, historiskt och prognostiserat för åren 2014–2025. Källa: Trafikanalys 2022.

Till 2025 bedöms 6 procent av alla lätta lastbilar i trafik vara laddbara. Enligt korttidsprognosen kommer 18 procent av bussarna i trafik vara eldrivna år 2025. Av de *nyregistrerade* tunga lastbilarna beräknas 10 procent vara eldrivna år 2025.

Enligt prognos som ligger till underlag för Trafikanalys underlag till klimatpolitisk handlingsplan kommer andelen laddbara personbilar i trafik år 2030 vara 40 procent, varav hälften elbilar och hälften laddhybrider. Av de lätta lastbilarna i trafik kommer 14 procent vara laddbara, varav 5 procent elbilar och 9 procent laddhybrider. Av bussarna beräknas 50 procent vara eldrivna och av de tunga lastbilarna beräknas 5 procent vara eldrivna.

2.2.5 Elektrifieringen i EU och globalt

Inom EU såldes 2,3 miljoner laddbara elbilar år 2021, vilket motsvarar 17 procent av de sålda personbilarna inom EU. Högst andel hade Norge med 86 procent.

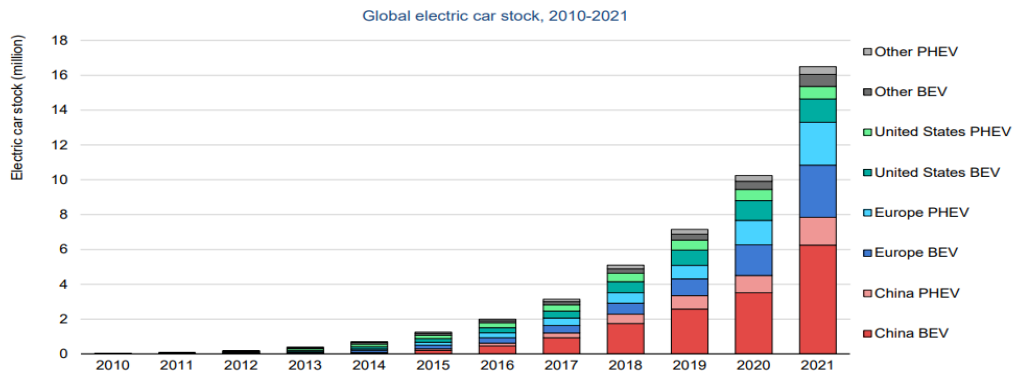
Transporternas utsläpp av växthusgaser är i ett globalt perspektiv stora. Transporterna stod för omkring 9 Gigaton CO₂e år 2019. Detta motsvarade 15 procent av mänskligt orsakade utsläpp av växthusgaser, varav ca 70 procent kommer från vägtransporter. Transporter är den sektor som ökat mest de två senaste decennierna. Sedan år 2010 har ökningen varit 1,8 procent per år.

Andelen laddbara bilar i nybilsförsäljningen globalt år 2021 var 9 procent. Totalt globalt var över 16,5 miljoner laddbara personbilar i trafik år 2021¹⁴. Försäljningen av elfordon accelererar och Kina och Europa dominerar. Andelen av försäljningen av eldrivna två och trehjulingar till exempel mopeder och motorcyklar var år 2021 i Europa 5 procent och i Kina 50 procent.

Andelen sålda eldrivna bussar och tunga lastbilar har ökat kraftigt i Europa och utgjorde år 2021 drygt 6 procent av bussarna och 0,2 procent av de tunga lastbilarna. I den globala försäljningen av eldrivna bussar och lastbilar dominerar Kina med ca 90 procent. I Kina utgjorde år 2021 de eldrivna bussarna 26 procent av nyförsäljningen.

¹⁴ IEA. Global EV Outlook 2022. Securing supplies for an electric future. [Global Electric Vehicle Outlook 2022 \(windows.net\)](https://www.iea.org/en/global-electric-vehicle-outlook-2022)

Over 16.5 million electric cars were on the road in 2021, a tripling in just three years



Figur 5 Ökning av olika sorters laddbara bilar i världen, USA, Europa och Kina. BEV = Battery electric vehicle, PHEV = plug-in hybrid electric vehicle. Källa: Global EV Outlook 2022. Securing supplies for an electric future. IEA.

2.3 Energianvändning i Sverige

Energitillförseln var i Sverige 508 TWh år 2020 och användningen av energi var 355 TWh. Differensen utgjordes av energiförluster mm. Inrikes transporter använde ca 80 TWh, varav elanvändningen utgjorde 3 TWh. Den slutliga elanvändningen i Sverige var år 2020 ca 120 TWh. Den totala energianvändningen i inrikes transporter har varit ganska konstant de senaste 30 åren.¹⁵ Vägtransporterna har svarat för 90–95 procent av inrikes transporters energianvändning.

Regeringskansliet anger i elektrifieringsstrategin¹⁶ att omställningsplaner för industrins klimatomställning och en snabb utveckling av eldrivna transporter, framför allt vägtransporter, kan enligt myndigheternas bedömningar och långsiktiga scenarier med hög elektrifiering leda till ett fördubblat elenergibehov i samhället till 2045.

Motsvarande bedömning gjorde Energimyndigheten i en myndighetsgemensam rapport om samhällets elektrifiering.¹⁷ De kom fram till att elbehovet kommer öka från dagens nivå på ca 120 TWh till 210 – 370 TWh år 2045 med ett spann på 150–220 TWh redan år 2030. I Energimyndighetens senaste långtidsprognos¹⁸ gjordes

¹⁵ Energimyndigheten. Energiläget i siffror 2022. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.energimyndigheten.se%2F495a34%2Fglobalassets%2Fstatistik%2Fenergilaget%2Fenergilaget-i-siffror-2022_220329.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK

¹⁶ Nationell strategi för elektrifiering – en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning. Bilaga till regeringssammanträde 2022-02-03.

(Ny version) Nationell strategi för elektrifiering – en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning - Regeringen.se

¹⁷ Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering. Energimyndigheten. Rapportering 2022 <https://www.energimyndigheten.se/4af550/globalassets/nyheter/2022/myndighetsgemensam-uppfoljning-av-samhallets-elektrifiering---huvudrapport.pdf>

¹⁸ Scenarier över Sveriges energisystem 2020. ER 2021:6.

bedömningen att elanvändningen inom inrikes transporter väntas öka från knappt 3 TWh 2018 till mellan 18 och 28 TWh år 2050 beroende på scenario. El förväntas användas främst inom vägtrafiken och bantrafiken och en liten andel inom inrikes sjöfart. Den samlade energianvändningen inom inrikes transporter beräknas minska från basåret 2018 (83 TWh) till 2050 i alla scenarier som presenteras för transportsektorn. Minskningen är främst en konsekvens av en ökad elektrifiering och effektivisering av vägfordon vilket dock motverkas något av en förväntad ökad transportefterfrågan. Minskningen av energianvändningen blir störst i scenariot ”Elektrifiering”, till ca 55 TWh och lägst i scenariot ”Högre trafikutveckling”, till knappt 70 TWh. Elanvändningen inom vägtrafik väntas öka från nära noll till drygt 3 – knappt 6 TWh till år 2030 i scenarierna ”Referens EU” respektive ”Elektrifiering”. Motsvarande spann år 2050 är ca 13 – 17 TWh.

Elanvändningen inrikes inom *bantrafiken, sjöfarten och flyget* förväntas i scenariot ”Referens EU” öka från knappt 3 TWh år 2018 till drygt 4 TWh år 2050. Bantrafiken förväntas, i detta scenario för dessa trafikslag, fortsätta dominera elanvändningen fram till 2050.

Energianvändningen inom utrikes luftfart och sjöfart förväntas öka från 31 TWh till 38 TWh i scenariot ”Referens EU”. Elanvändningen förväntas bli försumbar.

Spårtrafiken har låg energianvändning och växthusgasutsläpp per fraktad enhet.¹⁹ Utöver spårtrafikens begränsade växthusgasutsläpp medför markanvändningen barriärer för människor och djur samt buller till omgivningen. Vid tunneltrafik uppstår höga halter av partiklar som påverkar personal och resenärer, exempelvis i tunnelbanor.²⁰

2.4 Miljömål och miljöeffekter

2.4.1 Miljömål

Generellt kommer en ökad elektrifiering att ha positiva effekter på flera svenska miljömål utöver klimatmålet. Miljömålen Frisk luft och En god bebyggd miljö gynnas. Utöver detta kan målet Ingen övergödning gynnas då vägfordons förbränningsmotorer ännu står för 33 procent av NO_x-emissionerna i Sverige. På samma sätt påverkas även Bara naturlig försurning positivt när NO_x-emissionerna minskar. Målet Ett rikt odlingslandskap kan påverkas genom att elektrifiering leder till minskat behov av biobränslen för omställningen i den mån som dessa biobränslen skulle ha utgjorts av grödobaserade bränslen.

Ett par undantag finns dock där istället målkonflikter kan uppstå:

¹⁹ Trafikanalys. Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader – bilagor. PM 2022:3. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_3-transportsektorns-samhallsekonomiska-kostnader---bilagor.pdf

²⁰ Particulate matter in the underground of Stockholm. C. Johansson. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231002008336>

Bland annat kan miljömålet Levande sjöar och vattendrag, Grundvatten av god kvalitet, Giftfri miljö, Myllrande våtmarker och Ett rikt växt och djurliv påverkas negativt. Dessa miljömål påverkas i den mån som efterfrågan på mineral och metaller till batterier tillfredsställs med expansion av svensk gruvbrytning vilket i många fall påverkar grundvattnet. Parallellt kan målet Storslagen fjällmiljö påverkas negativt i den mån ny gruvbrytning tillåts i fjällvärlden.

Nedan följer en kort beskrivning av ett urval av de svenska miljökvalitetsmålen samt generationsmålet. Mål som i liten utsträckning påverkas av elektrifieringen beskrivs ej.

Generationsmålet

Det övergripande målet för miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser. Generationsmålet kan påverkas genom att elektrifieringen kan öka miljöproblemen utanför Sveriges gränser.

Begränsad klimatpåverkan

Miljömålet innebär att halterna av växthusgaser ska vara på en nivå där klimatförändringar inte blir farliga. Inom klimatmålet finns mål om att inrikes transporter, utom inrikes flyg, ska reducera sina växthusgasutsläpp med minst 70 procent år 2030 jämfört med 2010.²¹

Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Utsläppen från verksamheter inom svenskt territorium ska vara minst 85 procent lägre än utsläppen år 1990. För att nå nettonollutsläpp får kompletterande åtgärder tillgodoräknas.

Utsläppen har hittills minskat med 27 procent jämfört med 2010 och behöver framgent minska med ungefär en miljon ton per år i snitt för att 2030-målet ska kunna nås. En elektrifiering av transportsektorn innebär att utsläpp av fossila bränslen minskar kraftigt.

Ingen övergödning

Halterna av gödande ämnen i mark och vatten ska inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten.

Övergödning orsakas av allt för höga halter av kväve och fosfor i mark eller vatten. I havsmiljön, framför allt i Egentliga Östersjön, är övergödning ett av de allvarligaste hoten. Utsläppen sker främst via utsläpp till luft av exempelvis kväveoxider från biltrafik, sjöfart och kraftverk. Andra orsaker till övergödning är läckage från jordbruket samt utsläpp från avloppsreningsverk och industrier.

Grundvatten av god kvalitet

Grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag.

²¹ [Det klimatpolitiska ramverket - Regeringen.se](https://www.regeringen.se/491313/1/2016-06-22)

Grundvattnet är en mycket viktig del av vattnets kretslopp. I stora delar av landet, särskilt utanför storstäderna, är det i regel grundvatten som används till dricksvatten. Vid gruvdrift som dagbrottsbrytning och underjordsbrytning där stora områden påverkas för att torrlägga malmkroppen riskerar att sänka grundvattennivåerna vilket kan påverka tillgången.

Levande sjöar och vattendrag

Målet beskrivs som att sjöar och vattendrag ska vara ekologiskt hållbara och deras variationsrika livsmiljöer ska bevaras. Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljövärden samt landskapets ekologiska och vattenhushållande funktion ska bevaras, samtidigt som förutsättningar för friluftsliv värnas. Sjöar och vattendrag kan påverkas vid utökad gruvbrytning.

Gifrfri miljö

Människor, djur och växter utsätts för farliga ämnen som sprids när varor, kemiska produkter och material tillverkas, används och blir till avfall. Förutsättningarna för att nå miljö kvalitetsmålet Gifrfri miljö har förbättrats de senaste åren. Men det finns en risk för att lagstiftningen inte hinner förebygga kemikalierisker i samma takt som konsumtions- och produktionsökningen skapar nya risker.²² En ökad elektrifiering innebär en ökad användning av metaller och kan behöva utökad gruvbrytning för tillgodose behovet.

Ett rikt växt- och djurliv

Den biologiska mångfalden ska bevaras och nyttjas på ett hållbart sätt vilket kan hotas av gruvverksamhet i känsliga områden. Genom att elektrifiering kan kräva utökad gruvbrytning finns risk för att arter i potentiella gruvområden hotas.

God bebyggd miljö

Städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Byggnader och anläggningar ska lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt och så att en långsiktigt god hushållning med mark, vatten och andra resurser främjas. I miljömålet ingår att människor inte ska utsättas för skadliga nivåer av buller. Enligt den senaste fördjupade utvärderingen av miljö kvalitetsmålet God bebyggd miljö är utvecklingen av miljötillståndet till 2030 negativ för bland annat trafikbuller.²³ Omkring 2 miljoner av Sveriges befolkning beräknas vara utsatta för trafikbuller överskridande 55 dBA utomhus vid bostadens fasad, varav de flesta exponeras för vägtrafikbuller.

Frisk luft

Frisk luft innebär att luften är så pass ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas. Vägtrafik är en stor källa till luftföroreningar, framför allt i tätorter. Bilavgaser innehåller partiklar, kvävedioxid och organiska ämnen, och avgaserna bidrar till att marknära ozon bildas. Dessutom orsakar trafiken utsläpp av slitagepartiklar – dessa slits upp från vägbanan vid användning av dubbdäck.

²² Miljö kvalitetsmålet Gifrfri miljö Fördjupad utvärdering av miljömålen 2023. KEMI Rapport 3/2022

²³ [God bebyggd miljö – fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålet - Boverket](#)

I Naturvårdsverkets fördjupade utredning om miljömålet Frisk luft²⁴ kommer man fram till att den teknologiska utvecklingen av bilparken, utvecklingen och användningen av biodrivmedel, den fortsatta förtätningen av städer samt utvecklingen av samhällets transportsystem är de viktigaste faktorer som kommer att avgöra om miljö kvalitetsmålet kan uppnås till 2030.

2.4.2 Rekyleffekter av elektrifiering av transporter

Den primära effekten av en åtgärd eller ett styrmedel är den avsedda, initiala effekten, till exempel lägre utsläpp till följd av en koldioxidskatt. Dock uppstår ofta även oönskade sekundära effekter – det vill säga så kallade rekyleffekter. Dessa effekter verkar i motsatt riktning och leder vanligen till ökad miljöbelastning. Vi har valt att även ta med dessa effekter i analysen av miljöeffekter. Rekyleffekterna förklaras utförligt nedan.

IVL har i sin rapport ”Rekyleffekter och utformning av styrmedel”²⁵ valt att dela in rekyleffekter i tre kategorier; *direkta*, *indirekta* och *interaktiva rekyleffekter*. Denna kategorisering belyser rekyleffekternas bredd och sektorsöverskridande samt vikten av helhetssyn för att upptäcka och hantera dem. ”Om man mäter effekter och utreder åtgärder med alltför snäva systemgränser osynliggörs risker för rekyleffekter i andra sektorer (indirekta och interaktiva) och man missar möjligheter att förebygga dem.”

Direkta rekyleffekter: ”När det som skulle minskas av åtgärden (aktiviteten, utsläppen, förbrukningen) inte minskar så mycket som åtgärden tekniskt sett borde medföra, eller ändå ökar. Som när teknisk innovation gör bilar mer bränslesnåla, men bränsleförbrukningen totalt sett ökar eftersom människor kör mer, köper fler bilar, större bilar, eller bilar med fler funktioner än tidigare.”

Indirekta rekyleffekter: ”När det som skulle minskas av åtgärden (aktiviteten, utsläppen, förbrukningen) minskar, men samma aktör ökar sin konsumtion av annan vara eller tjänst så att annan påverkan (aktivitet, utsläpp, förbrukning) ökar. Ofta sker detta genom att konsumtionen och miljöeffekterna flyttar från det åtgärden adresserade (och lyckades minska) till något annat. Som när stimulans av bilpoolsanvändning gör att människor förvisso åker mindre bil, men använder de pengar de sparar till att resa mer med flyg, eller till ökad konsumtion av varor.”

Interaktiva rekyleffekter: ”När åtgärden påverkar andra aktörer, samhället eller ekonomin på ett sätt som stimulerar ökad resursförbrukning och negativ miljöpåverkan. Denna typ av rekyleffekt är mindre omedelbar, kan ske i flera steg, och omfattar ökad miljöpåverkan från andra aktörer än de som direkt påverkades av åtgärden. Som när trängselskatter minskar inflödet av biltrafik till innerstaden, och därmed gör vägarna mer framkomliga för de som redan befinner sig där – och som därför oftare väljer bilen för resor innanför tullarna. Eller när minskad energiförbrukning inom en sektor, via minskad efterfrågan, leder till lägre energipriser som i sin tur stimulerar ökad energianvändning i någon annan sektor.”

Rekyleffekter kan motverka den primära effekten delvis, helt eller till och med ha större effekt än den primära effekten, vilket då kallas ”backfire”. Den kanske vanligaste

²⁴ Frisk luft – Fördjupad utvärdering av miljömålen. Rapport 7067. Naturvårdsverket

²⁵ Rekyleffekter och utformning av styrmedel”, IVL, 2021 (i samarbete med KTH)

anledningen till rekyleffekter är ekonomiska effekter, det vill säga ett ökat konsumtionsutrymme. Andra anledningar är tidsbesparande effekter, som gör fler miljöbelastande aktiviteter möjliga under samma tidsrymd och psykologiska effekter som ”moral licensing”, som innebär ett slags falskt rättfärdigande att göra en miljöbelastande handling i samband med en miljövänlig handling.²⁶

Elektrifieringen kan medföra direkta rekyleffekter på så vis att en elbil är billigare att köra, vilket kan leda till ett ökat bilkörande och större miljöpåverkan. Mer om detta finns i avsnitt 2.4.3. Transporteffektivt samhälle samt i avsnitt 3.4 Användningen av elektrifierade fordon samt drift och underhåll och fordon och infrastruktur.

Även indirekta rekyleffekter kan uppstå av elektrifieringen genom att det utökade konsumtionsutrymmet från den billigare driften av ett elfordon används för klimat- och miljöbelastande konsumtion inom andra områden än vägtrafik. Detta har inte analyserats i rapporten, liksom inte heller interaktiva rekyleffekter.

2.4.3 Transporteffektivt samhälle

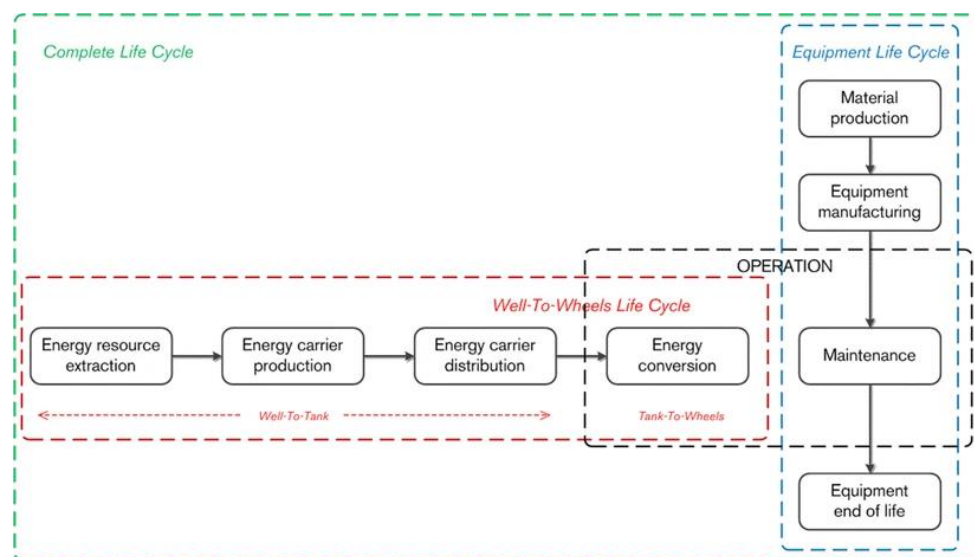
Storleken på klimat- och miljöeffekterna av elektrifieringen av transporter beror till stor del på vilken elmix och vilken teknik som används under hela fordonets livscykel. Men även antalet fordon och hur ofta och hur effektivt de används har avgörande betydelse. Det centrala verktyget för det senare är ett transporteffektivt samhälle, som är ett av de tre benen²⁷ för transportsektorns omställning till fossilfrihet, där fokus ligger på tillgänglighet snarare än mobilitet. Genom ett mer transporteffektivt samhälle kan behovet av el och material till fordon och batterier med tillhörande klimat- och miljöpåverkan minskas på ett betydande sätt under hela livscykeln. Som bonus kan även de direkta rekyleffekterna som kan uppstå av elektrifieringen lindras. Det faktum att elektrifieringen i ett livscykelperspektiv i närtid endast kan minska utsläppen av växthusgaser med ungefär två tredjedelar, se Figur 14 i avsnitt 3.4.1, visar på det komplimenterande behovet av ett mer transporteffektivt samhälle.

²⁶ Rekyleffekter och utformning av styrmedel”, IVL, 2021 (i samarbete med KTH)

²⁷ De tre benen för transportsektorns omställning är: energieffektiva fordon, förnybara drivmedel samt ett transporteffektivt samhälle. Energimyndigheten. 2017. Strategisk plan för omställning av transportsektorn till fossilfrihet. ER 2017:07.

3. Analys av miljöeffekter av elektrifiering av transporterna

I detta avsnitt analyseras miljöeffekterna av elektrifiering uppdelat på olika faser av ett fordon eller en farkosts livscykel, se Figur 6. Kapitlets struktur följer denna livscykel.



Figur 6 Fordon och farkosters livscykel uppdelat i olika faser hämtat från Nordelöf et al 2014.²⁸

3.1 Elframställning och elmix

3.1.1 Elproduktionens betydelse för elfordonens miljöpåverkan

Hur stora utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar som batteridrivna elfordon ger upphov till bestäms till största delen av elproduktionen. För fordon med förbränningsmotor (ICEV) uppstår de flesta utsläpp av både växthusgaser och luftföroreningar under den sk ”tank-to-wheel”-fasen (TTW), medan för elfordon så sker dessa utsläpp istället främst under ”well-to-tank”-fasen (WTT).²⁹ Utsläppen har därmed förflyttats till elproduktionssektorn, där mixen av elproduktions sätt blir avgörande för elfordonets och batteriets klimat- och miljöpåverkan.

²⁸ Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, AM. et al. Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *Int J Life Cycle Assess* 19, 1866–1890 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0>

²⁹ Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA 2018.

Enligt EEA pekar majoriteten av LCA-studier på att växthusgasutsläppen per km ”Well-to-wheel” (WTW) för elbilar i Europa är lägre än för bilar med förbränningsmotor och hybridbilar. Utifrån utsläppsintensiteten för Europas elmix för 2015 hade en medelstor elbil utsläpp på mellan 60–76 g CO₂e/km, vilket innebär 47–58 procent lägre än för motsvarande genomsnittlig bil med förbränningsmotor, 143 g CO₂e/km, WTW.³⁰

Enligt Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, som är FN:s klimatpanel pekar litteraturen på att elbilar av storleken ”compact-sized”³¹ som tillverkas med och under användning laddas med ”low-carbon electricity”, till exempel vindkraft, kan komma ner till ett klimatavtryck på 22 gCO₂e/km, vilket då skulle motsvara 85 procents minskning jämfört med en lika stor bil med förbränningsmotor.³²

Om en elbil laddas med el från ett kolkraftverk blir växthusgasutsläppen oförändrade eller till och med något högre jämfört med fossilbilen³³. Laddas elbilen istället med vindkraftsproducerad el kan utsläppen däremot vara 90 procent lägre än för motsvarande bil med förbränningsmotor.³⁴

Ju lägre växthusgasutsläppen är under användningsfasen, genom lägre utsläpp från elproduktionen till elen som används vid laddning, desto större andel av elbilens utsläpp under hela livscykeln sker i utvinning av material till och produktion av elbilens batterier. Den mesta batteriproduktionen, som är den mest energiintensiva delen, sker i Kina, Sydkorea och Japan – länder där elproduktionen idag genererar stora utsläpp.³⁵

Elproduktionen spelar alltså en avgörande roll under största delen av elfordonets och batteriets livscykel. Det blir därmed tydligt att en hållbar elektrifiering inte enbart kan fokusera på elektrifiering av fordonsflottan, utan också måste innebära åtgärder för att bland annat minska utsläppen från elproduktion, både nationellt och globalt samt under utvinnings-, tillverknings- och användningsfaserna.

3.1.2 Elanvändningens betydelse för elmixens miljöeffekter

I IEA:s scenario ”Stated Policies Scenario”³⁶, som avspeglar rådande politik och styrmedel, förväntas elförbrukningen från den global elfordonsflottan nå 780 TWh år 2030. Motsvarande siffra för 2021 var 55 TWh. Det är tydligt att transportsektorns elförbrukning kommer att öka framöver och spela en allt större roll i elsystemen världen över. För att hålla utsläppen nere i elektrifieringen av

³⁰ ”Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives”, EEA 2018

³¹ Något mindre än medelstor (”mid-size”) elbil

³² IPCC AR 6 WG III Kapitel 10.

³³ IPCC AR 6 WG III Kapitel 10. Figur 10.4.

³⁴ ”Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives”, EEA 2018

³⁵ ”Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives”, EEA 2018

³⁶ ”Global EV outlook 2022”, IEA 2022

transporterna är det centralt att elmixen domineras av fossilfri elproduktion som till exempel sol- och vindkraft.

En viktig aspekt att beakta är att elmixen inte är oberoende av efterfrågan på el. Tillkommande efterfrågan som genereras av till exempel laddning av elfordon, eller av elvägar, kan förändra elmixen till det sämre om den sker vid en tidpunkt då övrig efterfrågan på el redan är hög och mer förnybar elproduktion inte finns tillgänglig. Risken är då att utsläppsintensiv elproduktion behöver sättas igång för att täcka det tillkommande behovet som laddningen ger upphov till, med stora utsläpp som följd.

De två viktigaste förutsättningarna för att minimera WTW-utsläppen från elfordon är 1) att gynna integrationen av elproduktion med låga utsläpp, till exempel sol- och vindkraft, i elnätet och 2) undvika att orsaka eller förvärpa efterfrågetoppar (topplaster) som innebär att utsläppsintensiv elproduktion tas i bruk. Exempel på åtgärder som behövs för att uppfylla dessa förutsättningar är bland annat att laddning av elfordonsbatterier styrs till rätt tidpunkter samt att elfordonen inte utrustas med onödigt stora batterier.³⁷ En annan viktig aspekt är transporteffektivitet, som tas upp i avsnitt 2.4.3.

3.1.3 Elmix för verksamhet i Sverige

Elmixen bestäms av samtliga elproduktionskällor som matar in el till elnätet under årets lopp. Elmixen avgör vilka de genomsnittliga utsläppen av växthusgaser och luftföroreningar från elproduktionen blir. Den s k momentana elmixen, det vill säga vid en specifik tidpunkt, kan variera över årets månader, dagar och timmar beroende på bland annat tillgång och efterfrågan på el. Men så kallad varierbar elproduktion varierar också utifrån dess produktionsspecifika förutsättningar – vindkraftens produktion varierar med vindförhållande och solkraften med solförhållanden. Den momentana mixen avgör till exempel när på dygnet det är lämpligast att ladda elfordon för att åstadkomma så låga utsläpp som möjligt.

När det gäller elmixens utsläpp, det vill säga emissionsfaktor, görs det skillnad på emissionsfaktor för produktion och för användning. Emissionsfaktorer för produktion tar hänsyn till elproduktionen inom ett specifikt område, till exempel inom Sveriges eller Nordens gränser. Men eftersom dagens elnät ofta är sammanlänkade mellan länder, så inkluderar emissionsfaktor för användning även påverkan från el som importeras och exporteras.

Elmixens emissionsfaktor kan beräknas på en rad olika sätt, där variationer i parametrar såsom systemgräns, beräkningsmetod, produktions- eller användningsperspektiv, plats- eller marknadsbaserad elmix etcetera avgör vad resultatet blir. År 2021 gjorde IVL på beställning av Naturvårdsverket en beräkning av det nordiska elsystemets klimatpåverkan. ”Efter litteraturstudier och intervjuer med nyckelpersoner fastslogs att den systemgräns som bäst representerar

³⁷ “Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives”, EEA 2018

verkligheten just nu är nordisk elmix, där hänsyn tas till import och export från och till angränsande länder enligt det som brukar kallas bruttometoden.”³⁸ Både total emissionsfaktor för produktion och för användning räknades ut i rapporten. För 2018 blev de 70,8 respektive 93,2 g CO₂e/kWh. Skillnaden utgörs alltså av att import och export har inkluderats i emissionsfaktorn för användning. Den genomsnittliga emissionsfaktorn för användning över åren 2016–2018 beräknades till ca 90 g CO₂e/kWh. En annan beräkningsgrund som använts av Energimyndigheten för att illustrera växthusgasutsläpp vid eldrift resulterar i knappt 50 gCO₂e/kWh.³⁹

3.1.4 Elanvändning och växthusgasutsläpp vid elektrifiering

Om man utgår från att transportsystemets elanvändning år 2018 var 3 TWh och att elanvändningen gav upphov till 90 g CO₂e/kWh från nordisk. Uppgiften på 90 gCO₂e per kWh utgår från utsläpp från produktionen av el under åren 2016–2018 i ett livscykelperspektiv (LCA) med beaktande av import och export av el.⁴⁰ Utsläppen från transportsektorns elanvändning kan då beräknas till 270 000 ton CO₂e per år.⁴¹

Utsläppen från den svenska elproduktionen och från våra grannländer förväntas minska, bland annat som en effekt av handelssystemet EU- ETS. Till år 2050 ska utsläppen enligt EU:s mål vara netto noll från samtliga sektorer. För enkelhets skull görs här ett grovt antagande att utsläppen från elanvändningen år 2030 i ett LCA perspektiv är hälften så hög som den var år 2018 och nära noll år 2045. För elanvändning i Sverige antas att utsläppen är 10 procent år 2045 av vad de var år 2018, det vill säga ca 10 g CO₂e/kWh.

Det ökade behovet av el till transportsektorn år 2030 på i storleksordningen 5 TWh (3 – knappt 6 TWh) kan komma att medföra *utsläpp* av växthusgaser från den ökade elektrifieringen med storleksordningen ca 360 000 ton CO₂e (wtw), år 2030.⁴²

Till år 2045 antas den ökade elektrifieringen av transportsektorn leda till en elanvändning på 17–25 TWh⁴³, det vill säga en ökning med 14–22 TWh utöver användningen 2018. Utsläppen av växthusgaser vid elproduktionen till

³⁸ "Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export", IVL 2021

³⁹ Webbsida om genomsnittliga växthusgasutsläpp för de olika typer av drivmedel som finns på marknaden. El = 13,1 gCO₂e/MJ = 47,2 gCO₂e/kWh

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>

⁴⁰ Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export. Nr C 619. IVL 2021.

Emissionsfaktorer för nordisk elmix med hänsyn till import och export (ivl.se)

⁴¹ 3 000 000 000 kWh x 0,09 kg CO₂e/kwh = 270 000 ton CO₂e.

⁴² (3 TWh + 5 TWh) x 0,045 kg CO₂e/kWh = 360 000 ton CO₂e.

⁴³ Scenarier över Sveriges energisystem 2020. Energimyndigheten. ER 2021:6.

transportsektorn blir med antagandet att utsläppen är 10 g CO₂e/kWh 170 000 ton – 250 000 ton CO₂e (wtw) år 2045.

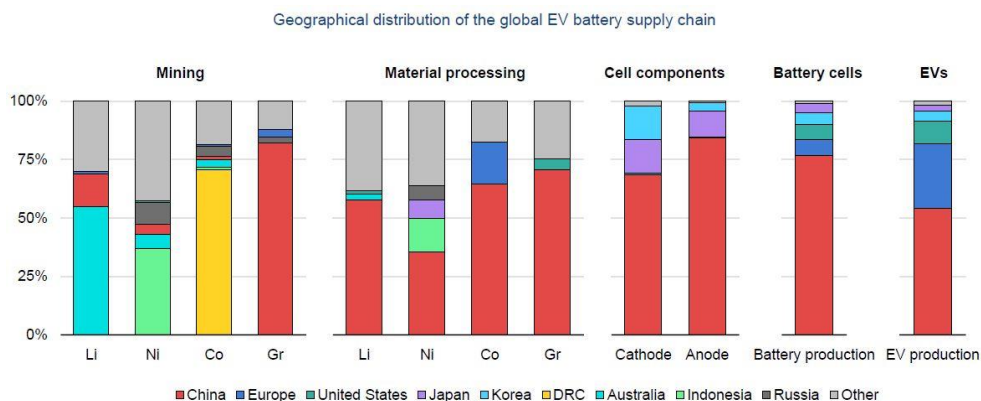
3.1.5 Elmix för verksamhet utomlands

Elmix och emissionsfaktor för Sverige är idag relevant främst när det gäller användningsfasen, det vill säga när vi kör och laddar våra fordon i Sverige. Utvinning av mineral och metall samt batteriproduktion är också energiintensiva steg, men dessa sker främst i länder utanför både Sverige och EU. För dessa steg blir det därmed ännu så länge relevant att titta på elmix och dess relaterade växthusgasutsläpp för de länder där utvinning och batteriproduktion sker idag. Siffror för utsläppen kommer i detta avsnitt anges som utsläppsintensitet och gäller produktionen av el, det vill säga inkluderar ej elanvändning.

Både brytning och tillverkning är förstås på gång även i EU och Sverige. Exempelvis Europas största produktions- och återvinningsanläggning för batterier som byggs i Sverige av Northvolt. Kan dessa energiintensiva steg ske i Sverige, med svensk elmix, blir det växthusgasavtrycket från utvinningen och batteriproduktionen givetvis betydligt lägre.

Elmix i länder med batteriproduktion

När det gäller batteriproduktion det vill säga materialtillverkning, tillverkning av cellkomponenter samt tillverkning av battericeller, finns det ett fåtal länder som dominerar denna marknad – Kina, Japan och Sydkorea – vilket framgår av Figur 7 nedan.



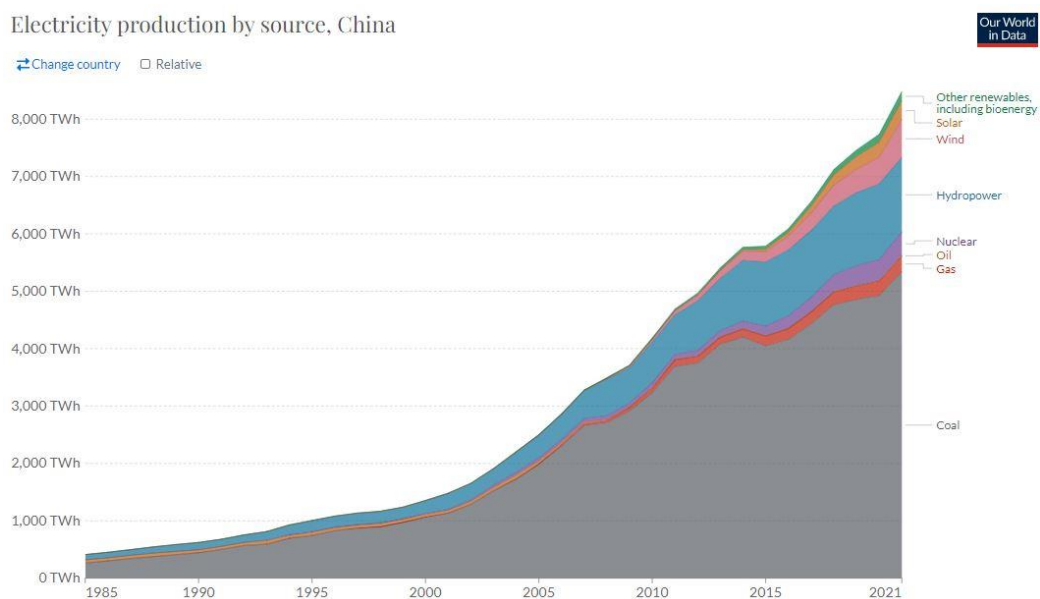
Figur 7 Geografisk fördelning mellan olika länder av olika delar av värdekedjan för elfordonsbatterier. Källa: "Global Supply Chains of EV Batteries" IEA, 2022. Förkortningar: Li=litium, Ni= Nickel, Co= kobolt, Gr= grafit, DRC= demokratiska republiken Kongo.

Kina är den klart dominerande aktören när det gäller batteriproduktion och utsläppen från landets elproduktionen blir därmed en viktig faktor i hur hållbar denna produktion är. År 2021 var Kinas utsläppsintensitet från elproduktionen 541 g CO₂/kWh.⁴⁴ Kolkraft utgjorde knappt 63 procent av elmixen. Näst störst är vattenkraft, som tillsammans med vind-, solkraft och övrig kraftproduktion från

⁴⁴ <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>, hämtad augusti 2022

förnybara källor utgjorde knappt 29 procent. Kärnkraft stod för 4,8 procent och gas och olja för 3,21 respektive 0,14 procent. Som framgår av Figur 8 nedan har Kinas elproduktion ökat mycket kraftigt under de senaste 20 åren. Även om förnybara källor tar en allt större andel av mixen, så ökar även kolkraften i absoluta termer.⁴⁵

För att minska utsläppen av växthusgaser från energianvändningen till batteriproduktion behöver andelen förnybar elproduktion öka eller så kan batteriproduktionen flyttas till områden med mer hållbar elproduktion.

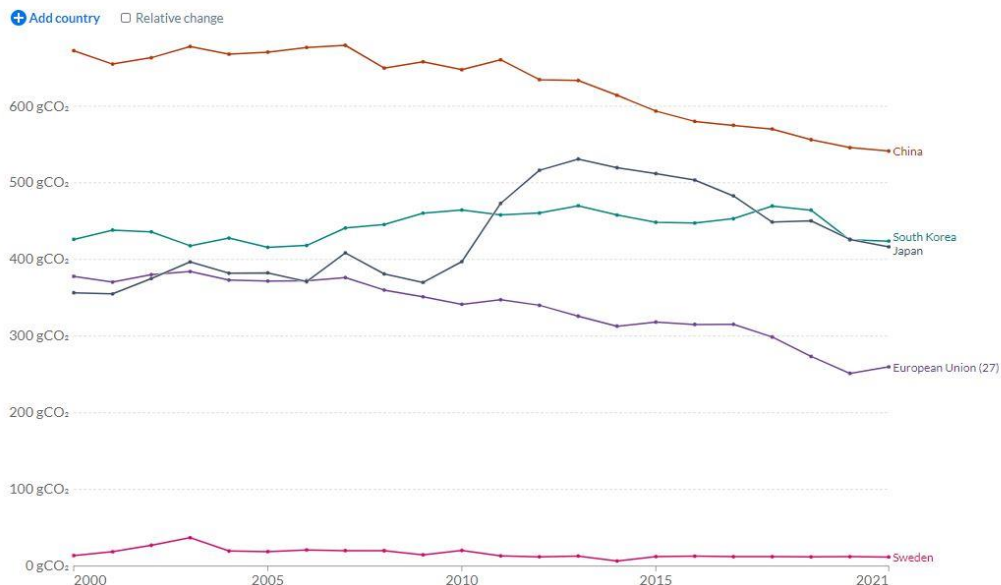


Figur 8 Fördelning av olika typer av energikällor i Kinas elmix över tid. Källa: <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~CHN>, hämtad augusti 2022.

⁴⁵ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?stackMode=relative&country=~CHN> , hämtad augusti 2022

Carbon intensity of electricity, 2000 to 2021

Carbon intensity measures the amount of greenhouse gases emitted per unit of electricity produced. Here it is measured in grams of CO₂ per kilowatt-hour of electricity.



Figur 9 Förändring av koldioxidinnehåll i elmixen i olika länder och regioner över tid för Kina, Sydkorea, Japan, EU och Sverige. Källa: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&country=JPN~CHN~KOR~European+Union+%2827%29~SWE>, hämtad augusti 2022.

I Figur 9 ovan framgår utsläppsintensiteten hos elproduktionen för de tre största länderna vad det gäller batteriproduktion Kina, Japan samt Sydkorea, samt EU och Sverige för jämförelse. Kinas utsläppsintensitet är klart störst, även om det skett en minskning från runt 2007, vilket sannolikt beror på ökad andel förnybar elproduktion. Japan och Sydkorea ligger på ungefär samma nivåer.

Japans elmix domineras av el genererad från gas och kol, som stod för 35 respektive 33 procent av mixen. Elproduktionen i Japan ökade fram till 2008, men har efter det sjunkit relativt stadigt. Under 2011–2012 sjönk specifikt kärnkraften kraftigt från 15 till 2 procent, som en följd av Fukushima-olyckan. En viss återhämtning för kärnkraften har skett efter 2015.⁴⁶

För Sydkorea är det kol 36 procent, gas 30 procent och kärnkraft 27 procent som dominerar elmixen. Bland de förnybara kraftslagen är det solkraften som har största andel med knappt 4 procent. Även Sydkorea har ökat sin elproduktion relativt kraftigt sedan slutet av 1980-talet. En viss avmattning av ökningstakten har dock skett sedan ungefär 2012.⁴⁷

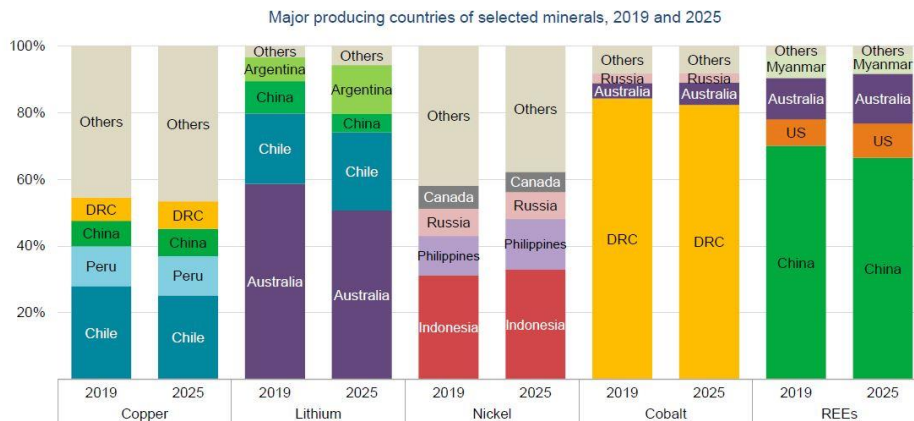
Elmix i länder där batterimaterial utvinns

När det gäller utvinning av metaller och mineral till batterier är det något fler aktörer (länder) som är berörda än för batteriproduktion. Gällande brytning av koppar, litium, nickel, kobolt och sällsynta jordartsmetaller är de största länderna

⁴⁶ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~JPN>, hämtad augusti 2022

⁴⁷ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~KOR>, hämtad augusti 2022

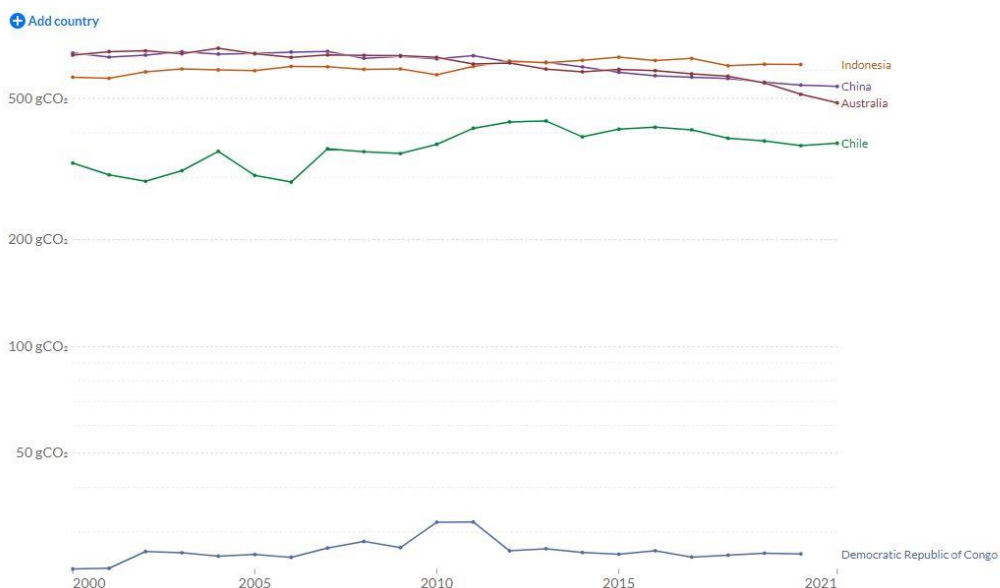
Australien (litium), Chile (koppar), Demokratiska republiken Kongo (kobolt), Indonesien (nickel) och Kina (sällsynta jordartsmetaller). I Figur 10 nedan framgår vilka övriga länder som också bryter dessa metaller och mineral.



Figur 10 Andel av olika metaller som är viktiga för elbilstillverkning som utvanns och förädlades i olika länder år 2019 samt en prognos för hur det ser ut 2025. Källa: "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021. Förkortningar: REE= betyder här neodym, praseodym, terbium och dysprosium. DRC=Demokratiska republiken Kongo, US= USA,

Carbon intensity of electricity, 2000 to 2021

Carbon intensity measures the amount of greenhouse gases emitted per unit of electricity produced. Here it is measured in grams of CO₂ per kilowatt-hour of electricity.



Figur 11 Utsläppsintensitet för elproduktion i Indonesien, Kina, Australien, Chile och DR Kongo. Källa: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&yScale=log&country=CHN~KOR~AUS~CHL~COD~IDN>, hämtad september 2022.

Med undantag för Demokratiska republiken Kongo har dessa länder en hög utsläppsintensitet för sin elproduktion, se Figur 11 ovan. Indonesien har högst utsläppsintensitet (625 g CO₂/kWh för 2020) och i landets elmix står kol, gas och olja för mer än 80 procent. I termer av total mängd el som produceras per år står

Kina i en klass för sig med ca 8 500 TWh under 2021. Näst därefter kommer Indonesien med en produktion på ca 300 TWh under 2021.⁴⁸

Gemensamt för Australien, Indonesien och Kina är att kolkraften utgör mer 50 procent av elmixen. I Indonesien och Kina ökar kolkraften fortfarande i absoluta termer, medan den i Australien har minskat något de senaste 10–15 åren.

Chile har en elmix som är mer jämnt fördelad. Kol, gas och olja är ungefär jämnstora och utgör lite drygt 50 procent av mixen. Vattenkraften har historiskt varit den absolut största av de förnybara elproduktionsteknikerna. Den andelen har minskat relativt kraftigt de senaste 10 åren till fördel för sol- och vindkraft.⁴⁹

Demokratiska republiken Kongos elmix utgörs nästan helt (>99 procent) av vattenkraft och de har en utsläppsintensitet för elproduktion som är i paritet med Sveriges. Landet har dock en liten elproduktion – 2020 producerades lite drygt 9 TWh i landet.⁵⁰

Brytning av metaller och mineral har utöver utsläpp via den el som används stor påverkan på den lokala miljön. Denna påverkan redovisas i avsnitt 3.1.6.

3.1.6 Övriga miljöeffekter av elproduktion

Den ökade elektrifieringen av samhället och i transportsektorn kommer leda till ett ökat behov av elproduktion. Även den ökade elproduktionen kommer kräva olika material och metaller. Detta kommer öka efterfrågan och i förlängningen öka behovet av nya gruvor utomlands och i Sverige.

Mer mark, vattenområden och ytor kommer behöva tas i anspråk för produktion av exempelvis vindkraft, solenergi och kärnkraft. Elproduktionen påverkar även land- och vattenlevande djur och växter samt olika naturtyper i olika utsträckning beroende på lokala förhållanden och typ av elproduktion.

3.2 Råvaror till elektrifieringen

Till elektrifieringen av transporterna åtgår förutom metaller till själva bilen även mineral och metaller för batterier samt metaller till permanentmagneter i fordonen och farkosternas elmotorer. Miljöeffekterna av brytning av dessa mineral och metaller och beskrivs i detta avsnitt.

⁴⁸ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-generation>, hämtad september 2022

⁴⁹ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~CHL>, hämtad september 2022

⁵⁰ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~COD>, hämtad september 2022

3.2.1 Miljöeffekter av gruvbrytning av mineral och metaller

Internationella energirådet (IEA) ser ett behov av en globalt kraftigt ökad elektrifiering av transportsektorn för att vi ska kunna klara ländernas åtaganden enligt Parisavtalet.⁵¹ För att elektrifieringen ska kunna genomföras krävs metaller till batteritillverkning där vissa inte bryts i nuläget eller bryts i liten omfattning medan andra är vanliga basmetaller. Exempelvis används till produktion av litium-jonbatterier råmaterial som stål och aluminium (hylsa), aluminium och koppar (strömledare), grafit (anodmaterial) samt kobolt, litium, mangan, nickel, aluminium och järn (katodmaterial).⁵² Av dessa är kobolt, litium och grafit kritiska för EU.^{53 54} Globalt bedömer IEA att det finns tillräckligt med brytvärda kritiska metaller och mineral för elektrifieringen av transportsektorn.⁵⁵ Nya gruvor och anläggningar kommer behöva öppnas för att tillgängliggöra metallerna och mineral som kommer behövas för elektrifiering av transporter. Flaskhalsen för att kunna möta den exponentiellt ökade efterfrågan på metaller och mineral bedöms vara att i praktiken hinna öppna tillräckligt många nya gruvor och andra anläggningar för utvinning och förädling av metaller och mineral. Att exempelvis återvinna och återanvända använda batterier bedöms bara kunna ge ett litet bidrag i relation till behovet av nya batterier som väntas öka mycket snabbt till år 2050.

Miljö- och hälsoeffekter av gruvor

Utvinning och anrikning av de metaller som krävs för elektrifieringen ger upphov till en stor miljöbelastning vid anläggning och drift av gruvor. Negativ påverkan sker både avseende naturmiljöer och människors levnadsförhållanden. Det finns risk för utsläpp av miljöstörande ämnen till mark och vatten. Problemen kan vara särskilt stora i länder som har svagare miljölagstiftning eller där regelefterlevnaden är låg. Lösningar på dessa problem handlar bland annat om att minska behovet av primära råvaror och att främja cirkulära resursflöden.⁵⁶

Det som avgör vilken miljöpåverkan en gruvverksamhet får är berget som bryts, dess egenskaper, mängd och hantering. Men miljöpåverkan avgörs även av vilka kemikalier som behövs för att spränga berget, komma åt de intressanta ämnena och mineralen vid bearbetningen samt den vattenhantering som kopplar till länshållning

⁵¹ IEA. Global EV Outlook 2022.

⁵² Melin, Hans Eric, Forskningsöversikt om återvinning och återbruk av litium-jonbatterier. Circular Energy Storage, på uppdrag av Energimyndigheten, 2018. Eskilstuna: Energimyndigheten

⁵³ Europeiska kommissionen, Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, rådet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén - Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet. COM (2020) 474 final, 2020a.

⁵⁴ Europeiska kommissionen. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

⁵⁵ IEA. Global EV Outlook 2022.

⁵⁶ Generationsmålet -Fördjupad utvärdering 2023 december 2022 <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7090-8/>

av dagbrott/underjordsbrytning men även till bearbetningsprocesserna och avfallshanteringen. Även omgivningens förutsättningar är viktiga för potentiell spridning av tillsatta kemikalier i de olika stegen men även eventuella utlakade metaller och sura lakvatten kopplat till de brutna och bearbetade bergmassorna har betydelse.

Utsläppen från en gruvverksamhet sker till såväl vatten, mark som till luft. Det är sällan endast en fråga om utsläpp till en recipient direkt från gruvverksamheten. I många fall sker utsläppen från så kallade klarningsmagasin.⁵⁷ Det är ofta stora mängder vatten som kommer från länshållning och från närliggande vattendrag som tas in i bearbetningsprocesserna som behöver hanteras, dessutom tillkommer den nederbörd som faller över verksamhetsområdet. Vatten som tas in i systemet måste släppas ut, för det fall att det inte cirkuleras i processen. Delmängder av detta vatten är i kontakt med utvinningsavfallet som kan laka giftiga metaller och ämnen som transporteras ut till närliggande sjöar och vattendrag om det inte omhändertas på ett korrekt sätt. Gruvor har ofta avancerade system för vattenhantering med intag och ledningar från vattendrag, diken, bassänger och så vidare. Utöver detta är det stora mängder berg i form av malm och utvinningsavfall som transporteras, mellanlagras, bearbetas samt deponeras. Det finns därför många punkter i en gruvverksamhet där det, beroende av bergets egenskaper och omgivningens förutsättningar, kan ske potentiella läckage av metaller, sura lakvatten och andra miljöfarliga kemikalier och ämnen. Utsläppen till luft kan komma såväl från fordon som från damning och sprängning.

Oavsett var i världen nya gruvor eller anläggningar för utvinning och förädling öppnas krävs energi för utvinningen och förädlingen.

Enligt en bedömning från 2019 stod gruvdrift och mineralförädling för ungefär hälften av den klimatpåverkan som sker vid tillverkningen av ett genomsnittligt litium-jonbatteri till en personbil.⁵⁸ Resterande klimatpåverkan uppstår vid tillverkning av själva batteriet.

Det förekommer också hälsopåverkan kopplad till gruvdrift och anläggningar för utvinning samt av anknytande anläggningar för förädling av metaller och mineral. Två exempel på hälsopåverkan är risker för människors liv och skador genom olyckor och hälsovådliga luftföroreningar i gruvor och i anläggningar.⁵⁹

Miljöskador som kan uppstå vid småskalig mineralutvinning (ASM, eng. Artisanal and Small-scale Mining) är avskogning, störda biotoper, erosions-skador, sedimentation av vattendrag, damning och metall i damm, i vatten och i organismer. Direkta hälsorisker från ASM är lungskador, metallförgiftning,

⁵⁷ Jämför utsläppsintervallen s.463 BREF MWEI

⁵⁸ (Emilsson och Dahllöf 2019). Uppgift i Energimyndighetens rapport "Framtidens elektrifierade Samhälle. Analys för en hållbar elektrifiering". ER 2021:28. S 28.

⁵⁹ Vid tillverkningen av batterier används ett antal miljöfarliga ämnen som exempelvis svavelsyra, natriumhydroxid och ammoniak vilket kan orsaka betydande luftemissioner till omgivningen. ER 2021:28

rasolyckor, diarréer (patogener från latrin) och malaria (vid vattensamlingar). Mer indirekta risker för människa och miljö handlar till exempel om informella och oreglerade arbetsplatser, instabila och temporära samhällen utan infrastruktur och service, skador på ekosystemtjänster, förlorad skolgång, prostitution och hot och våld.⁶⁰

Det finns hundratusentals övergivna gruvor världen över. Dessa utgör faror på olika sätt för människor, djur och natur – allt från kollapsande tunnlar till jord- och vattenkontaminering. Ansvariga aktörer avstår ofta från sanering eller begränsar sina insatser till de mest förorenade områdena.⁶¹

3.2.2 Miljöeffekter av havsbottenbrytning

Termen havsbottenbrytning ”seabed mining” syftar på utvinning av högvärdiga råvaror, till exempel mineral och metaller, från havsbotten. Havsbottenbrytning förekommer inte i så stor omfattning idag men planer finns för en ökning. Havsbottenbrytning inkluderar både djuphavsbrytning och kustnära brytning⁶². Med kustnära brytning menas vanligen sådan aktivitet som sker på kontinentalsockeln, med enklare tillgång till kusten, i motsats till djuphavsbrytning som är inriktad på mindre tillgängliga resurser och kräver specialiserad teknik.

Ur ekonomisk synvinkel kan kustnära brytning vara att föredra jämfört med djuphavsbrytning eller landbaserad brytning, då driftkostnaderna ofta är lägre. Denna form av brytning medför dock också ekologiska risker. Brytningen avlägsnar sedimentet, havsbottenorganismer samt hela livsmiljöer, vilket potentiellt kan resultera i lokal utrotning och förändringar i artsammansättningen. Förutom att förändra havsbottenmorfologin resulterar brytningen i försämring av vattenkvaliteten genom sedimentplymer som ökar vattnets grumlighet och kväver organismer. Därutöver kan det potentiellt ske utsläpp av skadliga ämnen från sedimentet och marina organismer kan störas via buller, ljus och vibrationer från verksamheten. Kunskapen om miljöeffekterna av kustnära brytning är fortfarande låg, särskilt kring de långsiktiga effekterna.⁶³

För djuphavsbrytning är kunskapen ännu lägre, vilket kommer sig naturligt av att denna miljö är så svårtillgänglig. De huvudsakliga direkta miljöeffekterna från denna typ av brytning är förlust av substrat, packning av havsbotten, grumlighetsplymer, återsedimentering och utsläppsplymer som, beroende på utsläppets djup, kan påverka både pelagisk (i öppna havet) och bentisk (på havsbotten) fauna. Störningar i havsbotten är en av de viktigaste miljöeffekterna från djuphavsbrytning eftersom dessa orsakar direkt förlust av livsmiljöer och möjlig förlust av en mängd olika organismer. Det är inte heller klart i vilken

⁶⁰ ”Mineralmarknaden 2020”, SGU, 2021

⁶¹ ”The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions”, IEA 2021

⁶² Förekommande engelska termer är shallow-water mining och coastal mining.

⁶³ ”Shallow-water mining undermines global sustainability goals”, Laura Kaikkonen, Elina A. Virtanen, Trends in Ecology & Evolution, November 2022, Vol. 37, No. 11

utsträckning och under vilka förhållanden de drabbade områdena kommer att kunna återkoloniserats. Potentiellt kan det vara en irreversibel förändring.⁶⁴

Det finns idag lite forskning om miljöeffekterna av havsbottenbrytning och kunskapsluckor är flera. Detta gäller särskilt djuphavsbrytning, vilket skapar stora utmaningar eftersom forskning kring djuphavsbotten till sin natur är utmanande samt tids- och resurskrävande.⁶⁵

3.2.3 Miljöeffekter av utvinning från gruvavfall

Det råder en allmän skyldighet att återvinna avfall enligt lagstiftningen.⁶⁶ Utöver detta lagkrav finns det även ekonomiska incitament till återvinning eftersom hanteringen av gruvavfallet utgör en kostnad som kan minskas med mindre volymer avfall.

Om det är tekniskt och miljömässigt lämpligt kan gruvavfall användas till vissa ändamål inom verksamhetsområdet, till exempel anläggande av dammkonstruktioner vid sandmagasin⁶⁷, som bärlager i till exempel vägar, eller vid efterbehandlingsåtgärder.

Det finns även mineral och metaller i gruvavfallet som kan vara intressant att återvinna. Det är många faktorer som spelar roll för återvinning av resurserna i gruvavfallet, såsom mängden metall eller mineral i avfallet, rådande metall- och mineralpriser, tillgänglig teknik för återvinning, hur avfallet deponerats över tid, avfallets sammansättning etcetera. Om gruvavfallet innehåller tillräcklig mängd metall/mineral så att det blir lönsamt att anrika kan det omdefinieras som malm. 2014 gjorde SGU⁶⁸ en uppskattning av potentiella mängder metaller i utvinningsavfallet i svenska sandmagasin. I vissa fall kan mängden av ett enskilt ämne i avfallet motivera investeringar för återvinning.⁶⁹

2021 fick SGU i uppdrag att tillsammans med Naturvårdsverket arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära

⁶⁴ Deep seabed mining - A rising environmental challenge, IUCN, 2018

⁶⁵ Diva J. Amon et al, Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining, Marine Policy, Volume 138, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105006>, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105006>.

⁶⁶ Enligt miljöbalkens (SFS 1998:808) allmänna hänsynsregler gäller, enligt hushållnings- och kretsloppsprincipen, en allmän skyldighet att hushålla med råvaror och utnyttja möjligheterna att minska mängden avfall, minska mängden skadliga ämnen i material och produkter, minska de negativa effekterna av avfall och att återvinna avfall. Utvinningsavfallsförordningen preciserar detta genom krav på avfallsförebyggande åtgärder som ska vidtas och beskrivas i avfallshanteringsplanen, Planen ska beskriva allt från förebyggande insatser innan avfallet uppstår och särskilt om avfall med olika miljöegenskaper, till hur återvinning av utvinningsavfall främjas och bortskaffandet av utvinningsavfall sker på ett sätt som är säkert på lång och kort sikt.

⁶⁷ En anläggning där anrikningssanden deponeras. Sandmagasin avgränsas ofta av dammkonstruktioner för att hålla anrikningssanden inne.

⁶⁸ "Redovisning av regeringsuppdrag: Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar." Dnr: 3114-1639/2013, SGU 2014

⁶⁹ Förslag till strategi för hantering av gruvavfall", 2017 (NV-03195-16)

resurser. Bland annat ska SGU ”undersöka, provta och karakterisera befintliga gruvavfall som med utgångspunkt i redan känd information bedöms ha potential att kunna utnyttjas som sekundära resurser för mineral och metaller.” SGU och Naturvårdsverket ska också ”utifrån de uppnådda resultaten i uppdraget, föreslå fortsatta insatser för att öka kunskapsbasen om sekundär resurspotential och bidra till cirkulär ekonomi samt att nå miljö- och klimatmålen.” Uppdraget slutredovisades i början på 2023.⁷⁰

Det finns i Sverige ansatser för sekundär utvinning ur mindre delmängder av fallande utvinningsavfall⁷¹ men även utvinning ur deponerat utvinningsavfall.⁷²

Faktaruta - Reglering av gruvor i Sverige

För gruvdrift i Sverige krävs både en bearbetningskoncession enligt minerallagen (1991:45) och tillstånd enligt 9 och 11 kap miljöbalken. Minerallagen innehåller bestämmelser om undersökning och bearbetning av fyndigheter på egen eller annans mark av ett antal uppräknade mineraliska ämnen (så kallade koncessionsmineral). Gruvdrift är tillståndspliktigt enligt miljöbalken. Det finns även ett flertal EU regelverk som är implementerade i svensk lagstiftning.

Förordning (2013:319) om utvinningsavfall⁷³ innehåller bestämmelser om yrkesmässig hantering av utvinningsavfall⁷⁴ som tillägg till bestämmelserna i miljöbalken och andra förordningar. Mer information om utvinningsavfall finns på Naturvårdsverkets webb.⁷⁵ Även nedlagda gruvor kan medföra föroreningar till omgivningen och omfattas då av ett efterbehandlingsansvar utifrån 10 kap miljöbalken.⁷⁶

⁷⁰ <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2021/11/uppdrag-att-oka-mojligheterna-till-hallbar-utvinning-och-atervinning-av-mineral-och-metall-fran-sekundara-resurser/>

⁷¹ Exempelvis LKAB:s projekt ReeMAP för utvinning av REE och fosfor <https://ree-map.com/sv/>

⁷² <http://media1.copperstone.se/2021/04/Viscaria-Samra%CC%8AAdsunderlag-210421.pdf>

⁷³ Förordning 2013:319 om utvinningsavfall trädde i kraft den 1 juli 2013 då förordning 2008:722 om utvinningsavfall upphörde att gälla.

⁷⁴ Den korrekta juridiska benämningen utifrån förordning 2013:319 är utvinningsavfall. Trivialnamnet gruvavfall används ofta. I denna rapport används de två begreppen synonymt.

⁷⁵ <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/utvinningsavfall>

⁷⁶ <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/efterbehandling-nedlagda-gruvor>

3.2.4 Tre miljöeffektsutmaningar gällande mineralframställning

Tre stora utmaningsområden vad det gäller miljöeffekter av mineralframställning är *förändrad markanvändning, vattenhantering (inklusive utsläpp av föroreningar till vatten) och avfallsgenerering*. Utöver detta så medför även mineralframställningen andra miljöeffekter såsom utsläpp av luftföroreningar samt partiklar genom damm från gruvor och gasutsläpp av svavel och kväveoxider samt buller från sprängningar och transporter.⁷⁷

Förändrad markanvändning

Förändrad markanvändning har en direkt och omedelbar påverkan på människor, biologisk mångfald och ekosystemen. Speciellt dagbrottsgruvor kan påverka stora opåverkade naturområden och innebära förändring av omgivande miljöer. Underjordsbrytning tar mindre ytor i anspråk, men kräver fortsatt betydande ytor för bearbetning, avfallshantering och transportsystem. Liksom nämns ovan innebär både dagbrottsbrytning och underjordsbrytning att stora områden behöver läns hållas för att torrlägga malmkroppen så den kan brytas ut. Det kan påverka grundvattennivåer över stora områden som i sin tur kan påverka såväl våtmarker som vattendrag med sänkta grundvattennivåer. Gruvbrytningens aktiviteter kan också, i termer av markanvändning, påverka närliggande områden genom ökad urbanisering eller konvertering av mark till plantageskogar vars virke nyttjas i relaterade industrier.⁷⁸

År 2020 uppskattades att gruvbrytning globalt upptar en yta på 57 277 km². Under 2022 publicerades en uppdatering av denna siffra som innebär nästan en fördubbling, nämligen 101 583 km². Datasetet som använts inkluderar såväl LSM (large-scale mining) som ASM (small-scale mining).⁷⁹

Effekter av förändrad markanvändning är kumulativa och kan ha långtgående följder. Gruvbrytning i känsliga miljöer, till exempel där det finns utrotningshotade arter eller ursprungsbefolkningars områden, kan ha en större samhällsekonomisk kostnad än att bibehålla fungerande ekosystem.

Såväl brytning, bearbetning som distribution och användning av mineral har påverkan och risker för människor och biologisk mångfald, se Figur 12 nedan. Främst uppkommer dessa från brytning. Påverkan från brytning handlar till exempel om buller, minskning och fragmentering av habitat samt att städer och samhällen kan behöva flyttas för att ge plats åt gruvaktiviteterna. Tillhörande risker handlar om förlust av biologisk mångfald, förlust av kulturarvsområden, jorderosion och marksättningar.⁸⁰

⁷⁷ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

⁷⁸ Ibid

⁷⁹ Maus, V., Giljum, S., da Silva, D.M. et al. An update on global mining land use. Sci Data 9, 433 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01547-4>

⁸⁰ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

Land use: The effects of mining projects on people and biodiversity

Activities, impacts and risks of mineral development related to land use change

Segment	Activities	Impacts	Risks
Production	<ul style="list-style-type: none"> The installation of a mine involves the clearing of an area for exploration, initial processing and logistics Open-pit mines expand as production progresses, while underground mines remain mostly with the same superficial area throughout their development Tailings (waste materials left over after target minerals are extracted from the ore) are often stored in large dams 	<ul style="list-style-type: none"> Noise pollution from operating machines and the transport of materials Habitat reduction and fragmentation, resulting in the loss of fauna, flora and ecosystem services Potential displacement of communities in the area of the project Landscape change and labour migration with impacts on local social settings and lifestyles 	<ul style="list-style-type: none"> Biodiversity loss, sometimes increasing endemic species' vulnerability to extinction Loss of cultural heritage sites Soil erosion can lead to changes in topography, soil quality and water pollution Failure of underground mine excavations can lead to surface subsidence
Processing	<ul style="list-style-type: none"> Refining involves large facilities and substantial material flows 	<ul style="list-style-type: none"> Landscape change Noise pollution from trucks and machines 	<ul style="list-style-type: none"> Spills of hazardous materials or the deposition of toxic dust can lead to soil contamination
Distribution and use	<ul style="list-style-type: none"> Railways and waterways are the main means of transporting minerals 	<ul style="list-style-type: none"> Habitat fragmentation Noise pollution (both in land and aquatic environments) 	<ul style="list-style-type: none"> Accidents during transport can harm people and fauna

Figur 12 Effekter på människor och biologisk mångfald av förändrad markanvändning till följd av gruvbrytning. Källa: "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021.

Den ökande brytningen av mineral och metaller för elektrifiering kommer att läggas ovanpå en redan dramatiskt expanderad gruvbrytningsverksamhet. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES, som är FN:s forskarpanel för biologisk mångfald och ekosystemtjänster skriver i sin globala utvärderingsrapport från 2019⁸¹ att "[a]ll mining on land has increased dramatically and, while still using less than 1 per cent of the Earth's land, has had significant negative impacts on biodiversity, emissions of highly toxic pollutants, water quality and water distribution, and human health." På grund av ett antal faktorer, till exempel fortsatt efterfrågan på mineral, brist på lättillgängliga mineral och ny teknik, föreslås brytning alltmer i områden som är avlägsna och rika på biologisk mångfald och som tidigare varit utforskade för mineral. Detta har också möjliggjorts av implementering av skatte- och regleringsreformer för gruvsektorn i syfte att uppmuntra utländska direktinvesteringar i utvecklingsländer. När sådana områden exploateras för gruvbrytning blir potentialen för betydande negativa effekter också större.⁸²

Vattenhantering

Gruvbrytning är en vattenintensiv verksamhet. Enbart kopparbrytning i världen använde mer än 1,3 miljarder kubikmeter vatten under 2006.⁸³ Vatten används under flera steg i värdekedjan, från prospektering till bearbetning och transport. Ofta har mineral som behövs i elektrifieringen större vattenanvändning än andra mineral. Gruvbrytning kan också vara en källa till vattenkontaminering, till exempel genom läckage av försurande lakvatten som varit i kontakt med

⁸¹ "The global assessment report on BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES", IPBES 2019

⁸² "Good Practice Guidance for Mining and Biodiversity" ICMM, 2006

⁸³ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

utvinningsavfall som beskrivs i inledningen av avsnitt 3.2.1 om hälso- och miljöeffekter.^{84,85}

Förorening av vatten är ett stort problem särskilt i Kina. Fram tills nyligen bröts och förädlades sällsynta jordartsmetaller (REE) på olaglig väg eller genom oreglerad småskalig utvinning och det finns ett stort antal övergivna anrikningsdammar i anslutning till gruvorna. Kina har nu börjat arbeta för att få till en förändring på detta område genom åtgärder som sanering och införande strängare regler för att förhindra framtida källor till föroreningar.⁸⁶

Utvecklingen av mineralframställning kan också påverka marina miljöer, genom havsbottenbrytning. Detta kan leda till signifikant förorening av vatten genom utsläpp av avvattnad anrikningssand eller undanträngt sediment ”side cast sediment” som innehåller fina partiklar och tungmetaller. Miljöeffekterna av havsbottenbrytning beskrivs i avsnitt 3.2.2 ovan. Så kallade ”deep-sea tailings placement” (DSTP), vilket innebär att gruvavfall från landbaserad brytning dumpas djupt i havet med avsikt att deponera avfallet väl under den eufotiska zonen⁸⁷, medför också höga kontamineringsrisker. Denna deponeringsmetod blev olaglig 2001, men till exempel Indonesien är ett av få länder som fortfarande nyttjar metoden.⁸⁸

Avfallsgenerering

Både utvinning och nyttjande av mineral genererar stora mängder avfall som utifrån både bergets ursprungliga innehåll men även tillsatta kemikalier, kan vara farliga för miljön och människors hälsa. Generellt ökar mängden avfall från gruvor, vilket delvis kopplar till lägre metallhalter hos malmer.

Efter anrikningen av metaller pumpas avfallet som kallas anrikningssand med vatten i ledningar till sandmagasin som helt eller delvis omges av dammkonstruktioner för deponering. Sandmagasinen utgör en kontamineringsrisk för närliggande mark och vatten om läckage sker. Det finns även säkerhetsrisker kopplat till att dammhaverier kan uppstå, vilket kan få förödande konsekvenser. I januari 2019 skedde ett dammhaveri av ett sandmagasin vid en järngruva nära Brumadinho i Brasilien. Detta genererade en enorm flodvåg som forsade fram nästan 10 km och dödade över 270 människor. Bara fyra år tidigare skedde ett dammhaveri av ett sandmagasin i samma delstat i Brasilien där 19 människor

⁸⁴ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

⁸⁵ "Att minimera sulfidoxidation vid gruvdrift – från anrikning till efterbehandling", Roger Malmberg, SGU-rapport 2021:32

⁸⁶ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

⁸⁷ Den eufotiska zonen är den övre solbelysta delen av en vattenmassa i vilken fotosyntes kan ske.

⁸⁸ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

omkom och 2014 skedde ett dammhaveri av ett sandmagasin i Kanada, vilket ledde till utsläpp av 17 miljoner kubikmeter vatten och 8 miljoner ton anrikningssand.^{89,90}

Den gruvverksamhet som bedrivs idag i Sverige genererar, som nämnts tidigare, stora mängder avfall i Sverige⁹¹, men även på EU-nivå och internationellt sett.⁹²

Faktaruta EU:s regler för gruvor

Industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU)⁹³ har till syfte att minska industrins påverkan på människors hälsa och miljön. Detta ska bland annat ske genom en integrerad tillståndsprövning där utgångspunkten är att bästa tillgängliga tekniska tillämpas.

I industriutsläppsförordningen⁹⁴ framgår att gruvanläggning för brytning av malm, mineral eller kol, inte är industriutsläppsverksamhet. Däremot är anläggningar för rostning och sintring av metallhaltig malm industriutsläppsverksamhet. Även deponering av avfall och farligt avfall kan vara industriutsläppsverksamhet. Trots att den huvudsakliga verksamheten är brytning av malm eller mineral kan andra delar av verksamheten alltså innebära att industriutsläppsbestämmelserna är tillämpliga.

Genom ramdirektivet för vatten (direktiv 2000/60/EU)⁹⁵ regleras att medlemsländerna ska uppnå god vattenstatus (miljökvalitetsnormer).

Avfall från utvinningsindustrin omfattas av bestämmelserna i EU:s ramdirektiv för avfall⁹⁶ så länge det inte omfattas av annan EU-lagstiftning.

⁸⁹ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

⁹⁰ <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/spills-environmental-emergencies/spill-incidents/past-spill-incidents/mt-polley>

⁹¹ Utifrån den senaste avfallsstatistiken i Sverige stod de 12 gruvor som var i drift under 2020 för 76 procent av allt avfall som generades i Sverige, eller 116 miljoner ton. Totalt sett finns det omkring 2 miljarder ton gråberg och 2,2 miljarder ton anrikningssand deponerat på olika ställen i Sverige både kopplat till nu pågående brytning men även historisk brytning där verksamhetsutövare saknas. Bergverksstatistik 2018: <http://resource.sgu.se/produkter/pp/pp2019-2-rapport.pdf>

<https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7048-9/>

Bergverksstatistik 2020: <http://resource.sgu.se/bergsstaten/bergverksstatistik-2020.pdf>

⁹² Se exempelvis: "Mineral governance in the 21st Century – Gearing extractive industries towards sustainable development", UNEP 2020

⁹³ Industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU)

⁹⁴ Industriutsläppsförordning (2013:250)

⁹⁵ NV:s hemsida om IED.

⁹⁶ Artikel 2(2) Ramdirektivet för avfall (2008/98/EG) och tidigare direktiv 91/156/EEC om ändring av direktiv 75/442/EEC om avfall.

3.2.5 Raffinering av mineral och metaller

Även efterföljande raffinering av mineral och metaller samt tillverkning av batterier ger generellt upphov till både lokala och nationella utsläpp till luft, mark och vatten inklusive växthusgaser.⁹⁷ I dagsläget är växthusgasutsläppen från utvinningen av mineral till elektrifieringen relativt liten eftersom produktionsvolymerna än så länge är små. Dock är utsläppen per produktenhet betydligt högre. Till exempel är utsläppen från ett genomsnittligt ton litiumkarbonat och klass 1 nickel tre respektive tio gånger högre än från produktion av ett ton stål. Detta har att göra med att de flesta metaller som behövs i elektrifieringen utgör en lägre andel i den malm som bryts, vilket innebär att det krävs mer energi för att extrahera mineralen samt att större mängder gruvavfall behöver hanteras.⁹⁸

Ytterligare en aspekt som ökar utsläppen är att kvaliteten på malmen har försämrats. Det genomsnittliga kopparinnehållet i malm i Chile har försämrats från 1,25 procent 2001 till 0,65 procent 2017. Detta har fått till följd att bränsle- och elkonsumtionen per enhet bruten koppar har ökat med 130 respektive 32 procent under samma period.⁹⁹

Vid förädling av sällsynta jordartsmetaller som framförallt sker i Kina används flera giftiga kemikalier för att separera olika jordartsmetaller från varandra. Separationen av de olika metallerna från varandra kräver mycket kemikalier och producerar även en hel del giftiga slaggprodukter.¹⁰⁰

⁹⁷ Generationsmålet -Fördjupad utvärdering 2023 december 2022 <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7090-8/>

⁹⁸ "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", IEA 2021

⁹⁹ Ibid

¹⁰⁰ Tillväxtanalys. Det globala läget för sällsynta jordartsmetaller. Tillväxtanalys 2011. https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1d5d8/1586366177657/WP_PM_2011_09.pdf (hämtad 2023-01-27)

Faktaruta Reglering av miljöpåverkan från gruvor globalt

Reglerna för gruvbrytning och anslutande verksamheter och dess tillämpning varierar från land till land. Nedan anges några internationella gränsöverskridande regelverk.

FN:s Baselkonvention reglerar gränsöverskridande transporter och slutligt omhändertagande av farligt avfall och har av EU implementerats i avfallstransportförordning (EG 1013/2006).¹⁰¹ Konvention förhandlades fram 1989 efter att farligt avfall börjat skickas från västvärlden till utvecklingsländer och länder i Östeuropa. Bland de metaller som klassas som farligt avfall finns koppar, kobolt, nickel, sällsynta jordartsmetaller, mangan, volfram och många andra metaller som är vanliga i legeringar.¹⁰²

Vid utfärdande av statliga exportgarantier och investeringsförsäkringar vid främjande av svensk export ska Exportkreditnämnden (EKN) säkerställa att den exportfrämjande verksamheten bedrivs i enlighet med FN:s principer för företag och mänskliga rättigheter, OECD:s riktlinjer för multinationella företag samt principerna om hållbart företagande i FN:s Global Compact. Detta enligt förordning (2007:1217) med instruktion för Exportkreditnämnden.

Konventionen om miljökonsekvensbeskrivningar i ett gränsöverskridande sammanhang, den så kallade Esbokonventionen, är en miljöskyddskonvention för Europa, Kanada och USA om samarbete för att förebygga gränsöverskridande miljöeffekter.¹⁰³

3.3 Tillverkning av fordon och infrastruktur

3.3.1 Produktion av fordon

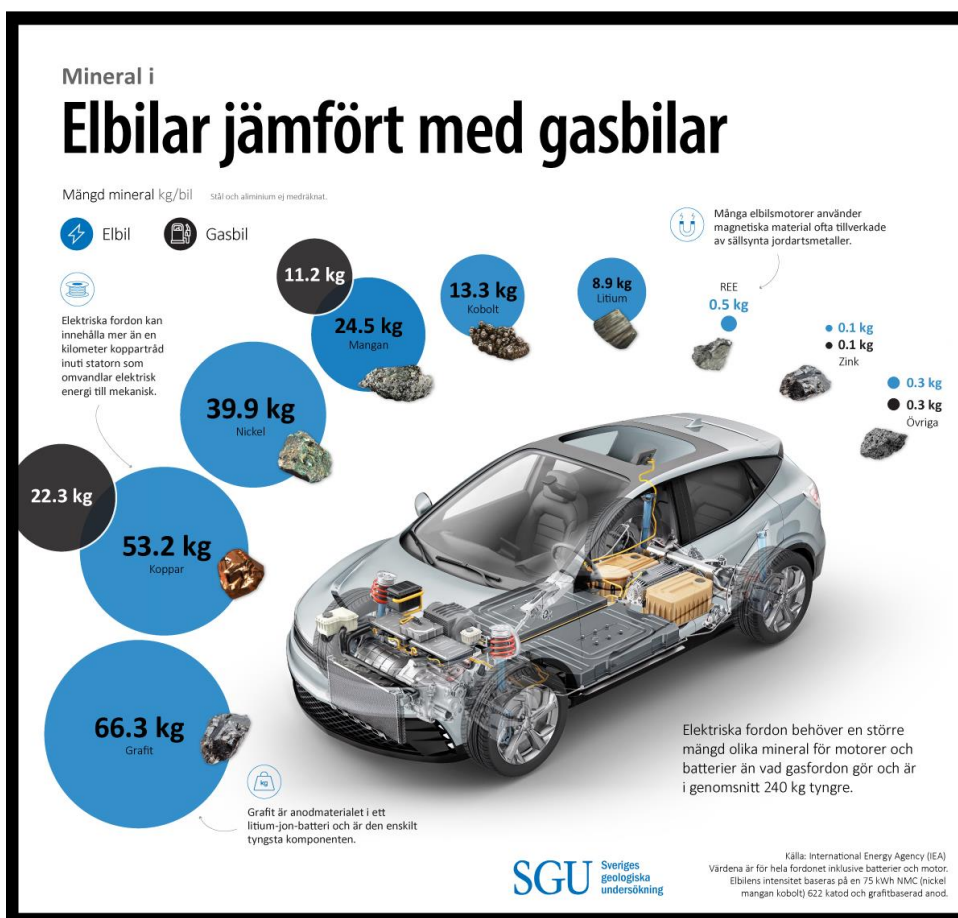
De väsentliga skillnaderna mellan elfordon och fordon med förbränningsmotor när det kommer till fordonsproduktionen är att elfordonet har en annan typ av motor (med mindre rörliga delar) och saknar växellåda. Sett till utsläpp av växthusgaser från fordonsproduktionen så genererar elfordon större utsläpp än fordon med förbränningsmotor. Energiåtgången för att producera en förbränningsmotor med tillhörande växellåda är ungefär lika stor som energiåtgången för att producera en elmotor och tillhörande system. Skillnaden i energiåtgång för produktionen av

¹⁰¹ Avfallstransportförordning (EG 1013/2006)

¹⁰² En tryggnad försörjning av metaller och mineral SOU 2022:56

¹⁰³ Esbokonventionen arbetades fram inom FN:s ekonomiska kommission för Europa (UNECE), undertecknades 1991 och trädde i kraft 1997. År 2001 gjordes bland annat en ändring om allmänhetens rätt att delta i processen. År 2004 gjordes en ändring om vilka verksamheter som ska omfattas av konventionen. Ändringarna trädde i kraft 2017. Konventionens Protokoll om strategiska miljöbedömningar (SEA) undertecknades 2003 och trädde i kraft 11 juli 2010.

fordonen kommer av batteriproduktionen, som är en energiintensiv process. Till elmotorerna i elbilar används vanligtvis omkring ett halvkilo sällsynta jordartsmetaller i permanentmagneter, se Figur 13. De sällsynta jordartsmetallerna har miljöeffekter vid utvinning och raffinering, se avsnitt 3.2. Gällande utsläpp av luftföroreningar i produktionen av elfordon så kommer dessa huvudsakligen från produktionen av den energi som krävs. Även utsläppen av luftföroreningar som NO_x, SO₂ och PM är högre för produktionen av elfordon. Överlag är det batteriproduktionen som leder till större klimat- och miljöpåverkan från elfordonsproduktionen.¹⁰⁴



Figur 13 Antal kilogram av olika mineral och metaller som förekommer i elbilar jämfört med förbränningsmotorbilar. Källa: <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/kobolt/>

3.3.2 Miljöpåverkan vid tillverkning av fordonsbatterier

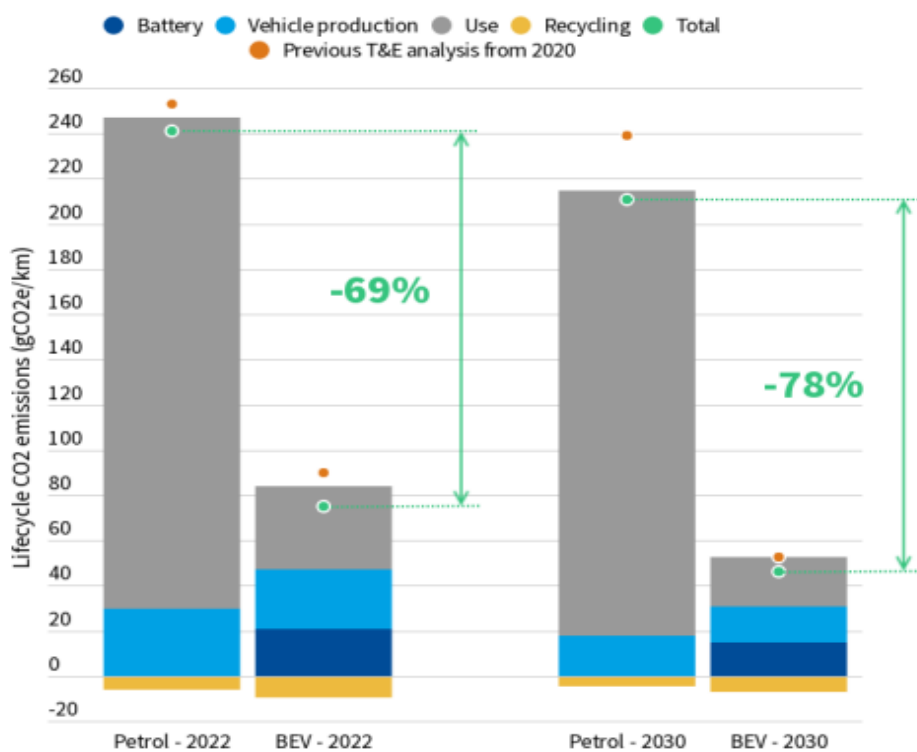
En miljömässig utmaning är behovet av batterier. Idag dominerar litium-jon-batterier. Med den förväntade ökningen av elektrifierade transporter kommer behovet av litium och kobolt till år 2030 öka med omkring 30 respektive 25 gånger. Öppnandet av nya gruvor och anläggningar för bearbetning och tillverkning av batterier kommer därmed öka kraftigt.¹⁰⁵ Brytning och förädling av

¹⁰⁴ Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA 2018.

¹⁰⁵ Underlaget är från IPCC (AR6 WGIII, Kap. 10) och bygger på publicerade studier.

metallerna ger upphov till hälso- och miljöeffekter, särskilt i länder med undermålig miljölagstiftning.

Utsläppen av växthusgaser från både batteri- och fordonsproduktionen och från elanvändningen under driftsfasen är således starkt beroende på var och hur fordonet är producerat och hur elen är producerad. I Figur 14 nedan visas hur utsläppen i ett livscykelperspektiv förväntas minska för en bensinbil och en elbil mellan år 2022 och år 2030. Elen som används är ”europeisk mix” och figuren visar hur energiåtgång till fordonstillverkning och fordonens energibehov och elmix förväntas ändras till år 2030.¹⁰⁶ Nordisk mix och svensk mix skulle medföra lägre utsläpp för en elbil jämfört med europeisk mix.



Source: T&E LCA analysis of a medium-sized car, battery assumed to be produced with the EU27 average grid and BEV charged with the average EU27 electricity grid.

Figur 14 Jämförelse av mängden koldioxidutsläpp över en livscykel från en batterielektrisk bil respektive en bensinbil för 2022 samt för en prognos för 2030. Källa: "UPDATE - T&E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions", Transport & Environment, 2022 (maj)

Tillverkning av battericeller är energikrävande då det måste ske i miljöer med mycket låg luftfuktighet. Hur stora växthusgasutsläppen blir beror på vilken energimix som används vid tillverkningen och vilken nyttjandegrad eller kapacitet som batterifabriken jobbar med. Miljöbelastningen från batterivärdekedjan bedöms

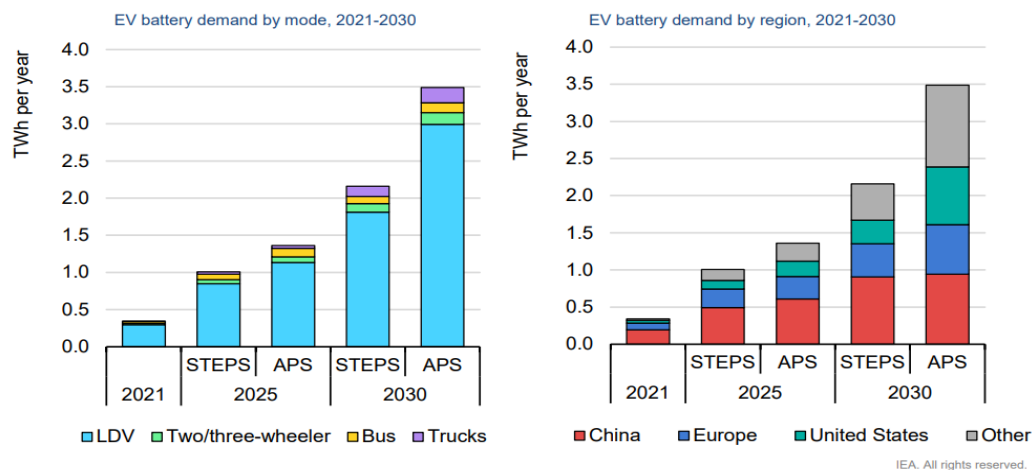
¹⁰⁶ UPDATE - T&E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions. May 2022. (s14) https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/05/Final-TE_LCA_Update.pdf

vara relativt större i många andra verksamma länder jämfört med om den etableras i Sverige.

I en studie från IVL Svenska Miljöinstitutet om batteritillverkning för personbilar¹⁰⁷ görs ett räkneexempel för att beskriva klimatpåverkan från batteritillverkning i dagens storskaliga fabriker. Avfallsledet ingår inte. Gruvdrift och mineralförädling är energikrävande och står för ungefär hälften av den klimatpåverkan som sker vid tillverkningen av ett genomsnittligt litium-jonbatteri till en personbil idag.¹⁰⁸ Utsläppen av växthusgaser som sker vid själva utvinningen av råvaror och förädling av materialen till produktion av batterier uppskattas till ungefär 60 kg koldioxidekvivalenter per kWh energilagringskapacitet i ett färdigt batteri.¹⁰⁹

Behovet av batterier till fordon väntas globalt öka från drygt 0,15 TWh/år 2021 till ca 0,35 TWh/år 2022. Till år 2030 väntas behovet öka till mellan 2–3,5 TWh/år, beroende på antaganden om scenario.

Battery demand surges in all regions driven by battery electric cars



Notes: STEPS = Stated Policies Scenario; APS = Announced Pledges Scenario; LDV = light-duty vehicle.

IEA. All rights reserved.

Figur 15 Efterfrågan på batterier 2021 i Kina, Europa, USA och övriga världen samt med en prognos om utvecklingen till 2025 och 2030 även uppdelad på typ av fordon. Källa: Global EV Outlook 2022. Securing supplies for an electric future. IEA.

3.3.3 Miljöeffekter av infrastruktur för fordonsdrift

En ökad elektrifiering av transportsektorn medför behov av infrastruktur och anläggningar för ökad elproduktion, effektöverföring och laddning.

Fokus i beskrivningen nedan ligger på miljöeffekter av ett ökat behov av effektöverföring och laddning av fordon och farkoster.

Elvägar

¹⁰⁷ Emilsson och Dahllöf, Lithium-Ion Vehicle Battery Production, IVL 2019

¹⁰⁸ Resterande klimatpåverkan uppstår vid tillverkning av själva batteriet (Emilsson och Dahllöf, IVL 2019)

¹⁰⁹ Framtidens elektrifierade samhälle. Analys för en hållbar elektrifiering. ER 2021:28

Trafikverket¹¹⁰ har analyserat ett konceptuellt elektrifierat vägnät som består av de mest trafikerade vägarna i Sverige år 2030 och viktiga kopplingar till hamnar och terminaler.

Resultaten från analyserna visar att godstransporterna på väg som bedöms ha störst nytta av ett elvägskoncept är den så kallade fjärtrafiken med stora energibehov i kombination med att inte behöva stanna för att ladda. Den snabba batteriutvecklingen har bidragit till att den fordonsflotta som tidigare prognosticerats nyttja en elväg bedöms vara betydligt mindre jämfört med för bara något år sedan.

Om elvägar byggs för tunga fordon skulle de även kunna användas av personbilar, exempelvis om laddningen sker via induktion. Detta förutsätter dock att bilarna är utrustade med teknik för induktiv laddning. Detta skulle kunna öka motivet till investeringar genom att de blir mer lönsamma. Genom elvägar kan behovet av stora batterier hållas nere och utgöra ett yteffektivt komplement till snabbaddning längs de stora transportstråken.¹¹¹

Bedömningen är att andelen av den tunga trafiken som förväntas använda elvägen har gått från mellan 60–80 procent till ned mot 25 procent vid år 2040 vid ett utbyggt elvägssystem. Resultaten från den samhällsekonomiska analysen visar att det troligen är samhällsekonomiskt lönsamt med en utbyggnad av elvägar under ett antal förutsättningar. Den översiktliga beräkningen ger att elvägskonceptet på ca 300 mil potentiellt kan reducera behovet av batterikapacitet med ca 1,5 – 2,5 procent av det totala kapacitetsbehovet med viss förskjutning mot det högre intervallet om hela bruttopotentialen realiserar.

I Trafikverkets utredning konstateras att uppförandet av ny infrastruktur för elvägar innebär ett intrång i landskapet och påverkan på natur och kulturmiljöer både fysiskt och visuellt. Hur stort detta intrång blir beror på förutom den valda tekniken också på vilken hänsyn som tas vid planering och utformning. Detta inkluderar även den infrastruktur som behövs för att koppla samman elvägen med det allmänna eldistributionsnätet. För samtliga elvägstekniker kommer det att krävas att ytterligare mark behöver tas i anspråk för anslutning till och upprättande av transformatorstationer, elanläggningen i gränssnittet mellan högspännings- och lågspänningsnätet. Transformatorstationerna placeras längs med vägen med drygt två kilometers mellanrum och det kommer att krävas anslutningar till överliggande nät för att säkerställa kraftförsörjningen i olika omfattning. För 3 000 kilometer elväg över stora delar av landet är bedömningen att det kommer att krävas mellan 1000 – 1500 matningsstationer inklusive anslutningsledningar. Fåglar kan påverkas av luftledningen. Vid utformning av luftledningar bör hänsyn tas för att minimera påverkan på fåglar.

¹¹⁰ Trafikverket. 2021-02-01. Regeringsuppdrag - Analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524344/FULLTEXT01.pdf>

¹¹¹ Se vidare: J Morfeldt mfl. If Electric Cars Are Good for Reducing Emissions, They Could Be Even Better with Electric Roads. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.2c00018><https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.2c00018>

De elektromagnetiska fält som uppstår när fordonet elförsörjs kan påverka naturmiljön. Främst är det fladdermöss och vattenlevande djur, tex vandrande fiskar, som bedöms kunna påverkas.

Elvägar är främst aktuella i landsbygdsmiljö där däcksbullret helt dominerar i förhållande till motorbuller. Bullereffekten är därmed marginell vid byte till elmotor från förbränningsmotor. En annan typ av buller uppstår om strömavtagare används som glider längs kontaktledningen. Turbulens kring strömavtagaren i höga farter gör att ljud kan uppstå. Dock är det inte utrett hur ljudet från strömavtagaren förhåller sig till vägljudet. Sannolikt är detta ljud inte av avgörande betydelse.¹¹²

3.3.4 Miljöeffekter av infrastruktur för laddning

Laddstationer

För att ladda tunga och lätta vägfordon krävs ett stort antal laddstationer för långsam eller snabb laddning. I slutet av år 2021 fanns 16 000 laddpunkter fördelade på ca 3000 laddstationer.¹¹³ Laddstationer för elfordon i städerna har en liten effekt på miljömålet om hushållning med mark som är en del av miljömålet God bebyggd miljö men konkurrensen om marken kan vara stor i städerna. För att bygga laddstationerna krävs metaller som ger effekter på miljön i samband med brytning och förädling, se avsnitt 3.2.

Miljöeffekter vid laddning

På en övergripande nivå kommer det behövas effektförstärkningar för att klara en generellt ökad elanvändning och vid regionalt större effektbehov. På en lokal nivå kan ledningsnätet behöva förstärkas eller byggas ut oavsett om laddning sker kontinuerligt, exempelvis längs en väg eller om laddplatser eller stationer för batteribyte byggs ut. Mark kommer behöva tas i anspråk för nya elledningar och för laddplatser. Laddning behövs i anslutning till bostäder, längs med vägar och vid målpunkter, tex vid arbetsplatser och vid terminaler för tung trafik.

Nya uppställningsplatser komma behövas längs med vägar och vid vissa målpunkter exempelvis vid godsterminaler som har laddningsmöjlighet. Detta även om det är ”snabbladdning” eftersom det tar betydligt längre tid per fordon än vid bränslepåfyllning.

Komplement till laddning av batterier är batteribyte och kontinuerlig elförsörjning längs med vägar (trådbussar, spårvagnar) eller direkt elförsörjning av mer stationära arbetsmaskiner och fartyg, exempelvis vägfärjor.

Batteribyte

Tekniken för batteribyte är utvecklad i Kina både vad gäller personbilar och tyngre fordon. Detta är en teknik för vägtrafik som även kan komma till Sverige.¹¹⁴ Tunga maskiner med stort effektbehov kan även komma att använda batteribyte, tex inom

¹¹² Svenska Elvägar AB (2011): Utveckling av aktiv strömavtagare för tunga vägfordon

¹¹³ Webb 2023-01-12 <http://www.energimyndigheten.se/laddinfrastruktur>

¹¹⁴ [Nio öppnar en andra station för batteribytten i Norge - Elbilen.](#)

jord- och skogsbruk.¹¹⁵ För mindre handhållna maskiner finns redan tekniken kommersiellt tillgänglig även för yrkesbruk.¹¹⁶

Stationer för batteribyte behöver ytor, men då batteribyte kan ske snabbt kan flera byten utföras på en kort tid. Fördelar vad gäller personbilar kan uppstå om ytbehovet blir mindre vid batteribyte jämfört med snabbbladdning. En annan fördel kan bli att bilar kan klara sig med mindre batterier, men å andra sidan behövs totalt sett fler batterier för att utbytesbatterier ska finnas på plats för byte.¹¹⁷

3.4 Användningen av elektrifierade fordon

Elektrifieringen innebär minskning av utsläppen av växthusgaser och luftföroreningar som uppkommer vid förbränning av fossila bränslen. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där de fossila bränslena utvinns idag. Men elektrifieringen kommer även innebära ett ökat behov av olika metaller och mineral för exempelvis produktion av batterier. Utvinning och anrikning av metaller och mineral ger upphov till en stor miljöbelastning och kan påverka både naturmiljöer och människors levnadsförhållanden negativt samt utgöra en risk för utsläpp av miljöstörande ämnen till mark och vatten.

Skiftet från förbränning av fossila bränslen kommer att leda till att de direkta växthusgasutsläppen från transportsektorn minskar och elektrifieringen bidrar därmed positivt och i hög utsträckning till miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan, eftersom elproduktion i Sverige är, och förväntas fortsätta vara, i det närmaste fossilfri.

Ökad energieffektivitet

En högre andel elfordon kommer att leda till en högre grad av energieffektivitet i transportsektorn tack vare att elmotorer har en avsevärt högre verkningsgrad än förbränningsmotorer. En elmotor har en verkningsgrad på ca 85–95 procent medan förbränningsmotorer har en verkningsgrad på endast mellan 25 till 40 procent, det mesta av energin blir till värme som behöver kylas bort.¹¹⁸

Energieffektiviteten med elfordon i ett helhetsperspektiv beror i hög grad på hur elen är genererad. Svensk elproduktion har som bekant en mycket låg direkt klimatbelastning, medan el i vissa andra länder kan ha mycket höga utsläpp om den är genererad av kolkraft där all den värme som produceras i förbränningen inte tas till vara som till exempel fjärrvärmesystem utan istället bara kyls bort.

¹¹⁵ <https://powerswap.se/news/battery-swapping-is-the-solution-when-agriculture-machines-goes-electric-nyteknik/>

¹¹⁶ [Ny innovation ska ge byggindustrin batteriplattform - Aktuell Hållbarhet \(aktuellhallbarhet.se\)](#)

¹¹⁷ <https://merics.org/en/short-analysis/beijings-battery-swapping-bet-could-isolate-chinas-electric-car-industry>

¹¹⁸ [Elmotor och förbränningsmotor - en jämförelse - EFUEL](#)

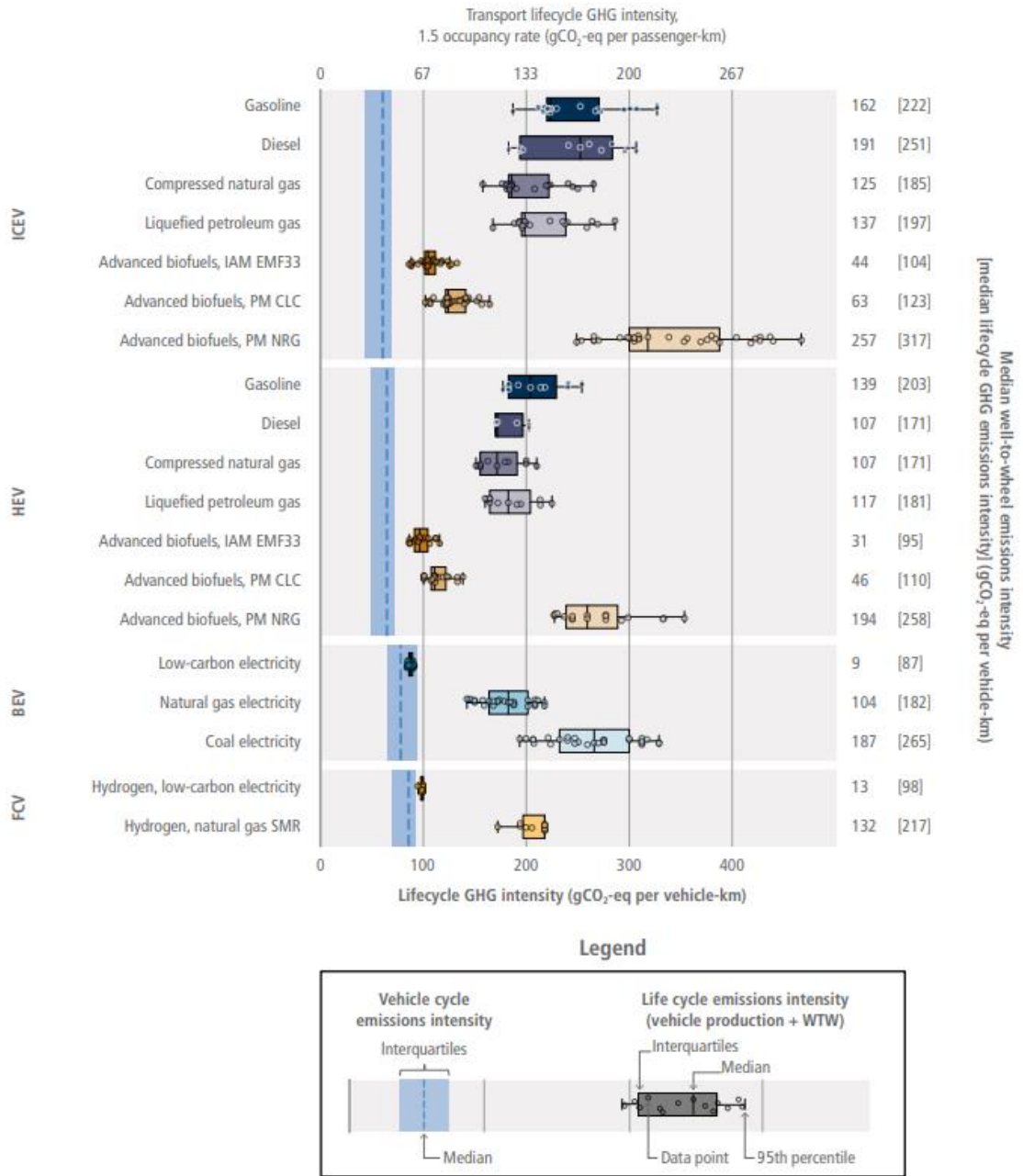
Energieffektivare fordon innebär samtidigt en risk för att rekyleffekter i form av ett ökat trafikarbete uppstår, på grund av att de rörliga kostnaderna för eldrift är generellt lägre än för bränsledrift. Rekyleffekterna vid en elektrifiering av transportsektorn kan därför vara betydande, och så småningom få stor betydelse genom att det ökar trafikarbetet. Denna direkta rekyleffekt, av elfordonens lägre driftkostnader, kan ta sig olika uttryck. Fordonsanvändaren kan köra mer, köpa fler fordon, köpa större och tyngre fordon eller köpa fordon med fler elkrävande funktioner. Även att köpa ett elfordon med bättre prestanda, det vill säga kraftfullare batteri, kan ses som en direkt rekyleffekt.

3.4.1 Miljöeffekter av elanvändning i fordon och farkoster

Avgörande för utsläppen av växthusgaser i ett livscykelperspektiv är hur elen producerats som används vid fordonets driftsfas. Även vilken energi som används vid gruvbrytning och batteri- och fordonstillverkning har stor betydelse. I Figur 16 nedan visas en sammanställning som är hämtad från IPCC och som illustrerar växthusgasutsläpp vid tillverkning och drift av elbilar i jämförelse med några andra fordon och energibärare. ”Cylindern” i figuren visar växthusgasutsläppen för olika fordon och energibärare i ett livscykelperspektiv. För elbilar anges tre produktionsmetoder för el; produktion med låg kolintensitet, med fossilgas och med kolkraftverk. Med kolkraftverk kan utsläppen bli något större än om bilen drivs med diesel eller bensin, men med elproduktion med låg kolintensitet kan utsläppen istället bli omkring en tredjedel jämfört med en bensin eller dieselbil, se även Figur 14.

En fördel vid övergång till eldrift för transporter är att behovet av fossila oljeprodukter kan minska. Vid utvinning av olja samt vid transporter och förädling uppstår bland annat mark- och vattenföroreningar. På samma sätt kan elektrifieringen begränsa behovet av biobränslen. Trycket på användning av avfallsprodukter till drivmedel och markbehov för odling av växter som senare förädlas till drivmedel kan minska. Ett minskat tryck på markanvändning kan förbättra förutsättningar för alternativ markanvändning, biologisk mångfald och kolinbindning i mark.

Allt fossilt bränsle importeras till Sverige liksom nästan allt flytande biobränsle till transportsektorn. Detta medför att dessa miljöfördelar som elektrifieringen kan ge genom ett minskat behov av fossil olja och biobränslen framförallt uppstår utomlands.



Figur 16. Illustration av växthusgasutsläpp vid tillverkning och drift av elbilar i jämförelse med några andra fordon och energibärare. "Cylindern" i figuren visar växthusgasutsläppen för olika fordon och energibärare i ett livscykelperspektiv. Källa: IPCC AR 6 WGIII, kapitel 10. IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf Sid 1075.

3.4.2 Elektrifiering minskar utsläppen av luftföroreningar och buller från trafik

Elektrifieringen av transportsektorn kommer även ha en positiv inverkan på de svenska utsläppen av luftföroreningar då användningen av fossila drivmedel minskar kraftigt. Det rör sig om utsläpp av partiklar, kväveoxider, kolväten och

andra organiska ämnen samt kolmonoxid. Utsläpp av luftföroreningar orsakar miljö- och hälsoproblem och problemen är som störst i stadsmiljöer.

Om trafikarbetet är oförändrat kvarstår de utsläpp av partiklar som härrör från slitage av däck, väg och bromsar. Elfordon är generellt tyngre vilket ökar vägslitaget och därmed kan en ökad andel elfordon leda till ökade halter av slitagepartiklar.

Slitagepartiklar och grova partiklar (PM10)

Elektrifiering av fordonsflottan kan innebära högre emissioner under förutsättning att fordonsflottan blir tyngre.

Den dominerande källan till grova partiklar, PM10, i stadsmiljö är slitagepartiklar från vägbanan orsakad främst av dubbdäck. Tyngre fordon bidrar till mer emissioner än lättare fordon men det är framförallt valet av vinterdäck som är avgörande.

Kvänoxider, NO_x

Utsläpp av kväveoxider kommer från förbränning i höga temperaturer. Genom elektrifiering av fordonsflottan innebär att utsläpp av kväveoxider från förbränningsmotorer försvinner helt. Av de svenska utsläppen av kväveoxider kommer ca 33 procent från vägtransporter.

Buller

För vägfordon alstras bullret från två huvudkällor. Dels vid kontakten mellan däck och vägbanan, dels från drivsystemet (motor och transmission, avgassystem och luftintag).

För personbilar med förbränningsmotor dominerar bullret från drivsystemet vid gaspådrag för jämn hastighet upp till 20–40 km/tim beroende på individuellt fordon. Vid accelerationer, som är vanliga i stadsmiljö, kan motorbullret dominera ända upp till omkring 50 km/tim. För tunga fordon är motorljudet dominerande vid hastigheter upp till cirka 50–60 km/h.

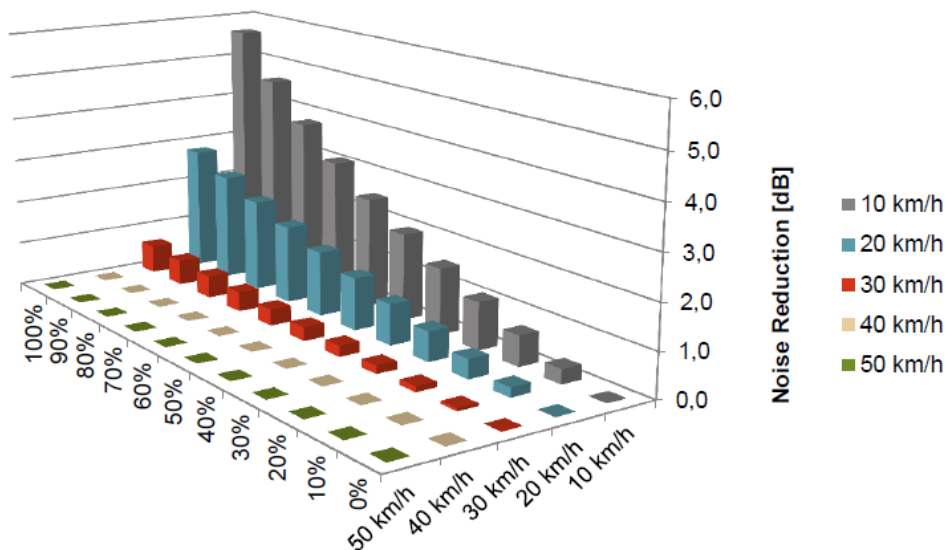
Ovanstående betyder att skillnaden i bulleremissioner mellan el- och konventionella personbilar är mycket små vid hastigheter över 30 km/h, eftersom däcksljuden då dominerar.

Elektrifiering av fordonsflottan får alltså betydligt större inverkan på bullersituationen centralt i större städer och på andra platser där hastigheterna är låga. Trafikverket har beräknat att ökat trafikarbete och elektrifieringen av fordonsflottan tar ut varandra på landsbygd där bullernivån därmed antas bli oförändrad, det vill säga kvarstå på dagens nivå 2040. I tätort överväger dock elektrifieringens effekter och den generella bullernivån minskar betydligt till 2040. Elektrifiering är alltså inte en lösning på trafikbullerproblematiken, men kan lokalt förbättra situationen väsentligt.

För medeltunga och tunga fordon dominerar drivsystemets buller under 60 km/tim i stadstrafik. För hastigheter över 60 km/tim dominerar bullret från däck–vägbana. Vid 30 km/tim är bullret från drivsystemet upp till 10 dB högre än bullret från

däck-vägbana. Det betyder att elektrifieringen av tunga fordon och då särskilt busstrafiken, får stor positiv betydelse för bulleremissionerna.

Stadsbussar med elmotordrift är mycket tysta och det är en stor fördel eftersom bussarna vanligen trafikerar befolkningstäta områden. Tystare stadsbussar ökar möjligheten att förtäta staden och samtidigt bygga ut kollektivtrafiken och minska bullret. Hållplatser kan placeras mer optimalt nära bostäder, utan restriktioner på grund av buller.



Figur 17 Bullereffekter av elektrifierad personbilsflotta, utifrån hastighet och %-andel elbilar. Källa: noise_from_electric_vehicles_0.pdf (vejdirektoratet.dk)

Sammanfattningsvis

- Buller från trafik är ett stort miljöhälsoproblem, i omfattning jämförbart med luftföroreningar.
- Elektrifiering löser inte bullerproblemen, men kan ge stora förbättringar lokalt och i tätorter.
- Stor skillnad i ljudreducerande effekt från elfordon vid låga hastigheter, i tätorter med mera, och vid hastigheter högre än 40 km/h, det vill säga statligt vägnät och utanför tätort.
- Elektrifiering av tunga fordon och bussar ger större effekt på bullret än personbilar. Särskilt elektrifiering av busstrafiken kan möjliggöra att förlägga busstrafik där det idag inte är möjligt av bland annat bullerskäl.
- För påtagliga effekter på minskat vägtrafikbuller från personbilar vid låga hastigheter krävs att andelen eldrivna fordon är fler än 50 procent.

3.5 Återanvändning, återvinning och skrotning av batterier och fordon

För återvinning av bilar finns reglering i form av producentansvar som gäller lika för elektrifierade och icke-elektrifierade fordon. Ny reglering för återvinning och skrotning av bilar håller också på att tas fram av EU.¹¹⁹

3.5.1 Batterier och cirkulär hantering – de tre R:en

Idealt bör allt material i elfordon hanteras på ett cirkulärt sätt. Den mest centrala delen är dock batteriet. Det så kallade 3R-systemet betyder reduce, reuse och recycle. De kan översättas till att man bör göra batterierna mindre samt att återanvända och återvinna dem. Det är viktiga principer när det kommer till cirkulär hantering av batterier. För litium-jonbatterier specifikt är denna princip avgörande för att förhindra utarmning av värdefulla och sällsynta resurser och uppnå en cirkulär ekonomi.¹²⁰

Med en smart hantering av batterierna och dess material kan förbrukningen av sällsynta metaller och mineral reduceras. Det kan handla om göra batterierna mindre och därmed mer anpassade till faktiska körmonster, där de flesta bilresor är korta resor. Att minska transportbehovet genom transporteffektivitet är ett annat sätt att minska behovet av elfordon och därmed batterier. Även förlängning av ett batteriets livslängd i ursprungsapplikationen (elfordonet), till exempel genom design och/eller underhåll, bör hamna i denna kategori.

Återanvändning handlar om att ge batteriet andra användningsområden när det anses vara förbrukat som elfordonsbatteri.

Återvinning av batteriets olika material kan minska batteriproduktionens klimat- och miljöpåverkan genom att de kan hjälpa till att undvika utvinning av jungfruliga material. Effekten på klimat och miljö är beroende av vilken återvinningsmetod och vilken elmix som används under återvinningsfasen, samt vilka metaller och mineral som återvinns. Ett nytt EU-direktiv för hantering av batterier i hela deras livscykel väntas komma att beslutas i början av 2023.¹²¹

Förslag till reglering inom EU

Under 2020 lade kommissionen fram ett förslag till förordning om batterier, vilket ska ersätta det tidigare batteridirektivet (2006/66/EG). Parlamentet och rådet nådde

¹¹⁹ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12633-Uttjanta-fordon-oversyn-av-EU-reglerna_sv (hämtad 2023-02-10)

¹²⁰ Fujita, T., Chen, H., Wang, Kt. et al. Reduction, reuse and recycle of spent Li-ion batteries for automobiles: A review. *Int J Miner Metall Mater* 28, 179–192 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2127-8>

¹²¹ <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/economy/20220228STO24218/nya-eu-regler-former-hallbara-och-etiska-batterier>

en preliminär överenskommelse under december 2022. När de nya reglerna formellt har godkänts av båda institutionerna kommer de att träda i kraft direkt.¹²²

De nya reglerna ska göra batterier mer miljövänliga, effektiva och hållbara. Enligt överenskommelsen ska reglerna täcka hela batteriets livscykel. Elbilsbatterier och större industribatterier ska vara märkta och ha koldioxidavtrycksdeklaration. För dessa batterier ska insamling ske när de är uttjänta, kostnadsfritt för slutanvändare. Därutöver sätts mål upp för återvinning av ett flertal metaller bland annat litium och kobolt.

Enligt överenskommelsen kommer alla ekonomiska aktörer som släpper ut batterier på EU-marknaden, utom små och medelstora företag, att behöva utveckla och implementera en så kallad "due diligence policy", förenlig med internationella standarder, för att ta itu med de sociala och miljömässiga riskerna kopplade till inköp, bearbetning och handel med råvaror och sekundära råvaror.

3.5.2 Återvinning av batterier

Det finns några väsentliga skillnader när det kommer till återvinning av diesel- och bensinfordon och elfordon med batterier, som har att göra med kompositionen:

- Elfondon innehåller en större kvantitet av motorer som är kraftfulla men har liten vikt "high-power/low-weight motors".
- Elfondon innehåller vanligtvis fyra gånger mer sällsynta jordartsmetaller "REE" än motsvarande diesel- och bensinfordon
- Avskiljning av de sällsynta jordartsmetallerna från elfordonets magneter appliceras inte i någon större skala i industrin (även om det är möjligt att göra).
- En framtida ökning av användningen av kompositmaterial som kolfiberarmerad plast för lättvikt kan göra återvinningen mer utmanande.¹²³

Själva batterierna i elfordon är dock den viktigaste delen att ta tillvara vid så kallad end-of-life. När behovet av batterier ökar framöver kommer det bli en utmaning att tillgodose behovet av råmaterial till nya batterier. För att minska påverkan på miljö och markanvändning behöver detta göras på ett effektivt och hållbart sätt. Prioritet behöver ligga på användning av återvunnet eller sekundärt material för att minska mängden jungfruligt material, och den gruvdrift det innebär, samt på att stärka leveranssäkerheten av material och skydda mot prisvolatilitet. Högt satta mål för återvinning av olika batterimaterial är nödvändigt.¹²⁴

¹²² [Batteries: deal on new EU rules for design, production and waste treatment | Nyheter | Europaparlamentet](#), [Batteries: deal on new EU rules for design, production and waste treatment | Nyheter | Europaparlamentet](#).

¹²³ "Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives", EEA 2018

¹²⁴ "From dirty oil to clean batteries – Battery vs oil: a systemic comparison of material requirements", Transport & Environment, 2021

Konsekvensanalysen av EU-kommissionens förslag till ny batteriförordning pekar på att målen för återvinning till 2025 kan nås med dagens nivå av återvinningseffektivitet för litium-jonbatterier, men för att nå målen till 2030 behöver återvinningseffektiviteten öka jämfört med idag.¹²⁵

I dagsläget kan processen med att ta tillvara på batterimaterial delas in i fyra huvudtyper: förbehandling, pyrometallurgi, hydrometallurgi och biometallurgiska processer. Ofta används en kombination av metoder.

Så kallad direkt återvinning tillhör kategorin förbehandling. Direkt återvinning finns än så länge bara i labbstadiet, men den går ut på att återvinna främst katodmaterial utan att bryta ner materialet genom att krossa batterierna och separera katodmaterialen från varandra med hjälp av kemikalier eller upphettning på det sätt som sker inom hydro- och pyrometallurgi.

De idag två vanligaste återvinningsteknikerna är pyrometallurgi och hydrometallurgi, där den kommersiellt mest etablerade metoden är pyrometallurgi. Denna metod är dock klimat- och miljöskadlig genom att den är energiintensiv och avger giftiga rökgaser samt ger metallegeringar av dålig kvalitet.¹²⁶

Jämfört med pyrometallurgi och biometallurgi kan hydrometallurgi uppnå högre renhet, lägre energiförbrukning och lägre gasutsläpp, samt att det är en metod som kan appliceras på en rad olika kemiska sammansättningar för litium-jonbatterier. Dock kan användningen av saltsyra resultera i utveckling av klorgas och ytterligare nedströms bearbetning behövs för att säkerställa att denna gas hanteras på lämpligt sätt.¹²⁷

Biometallurgiska metoder handlar om att låta bakterier eller svampar utsöndra organiska syror som används i urlakningen i återvinningsprocessen. Dessa biobaserade processer kräver dock långa inkubationsperioder, till exempel 2 veckor, med höga vätskefasta förhållanden och har ännu inte bevisats fungera i stor skala.¹²⁸

Både hydrometallurgisk bearbetning och direkt återvinning är lågtemperaturprocesser, har låg energiintensitet och kräver inte storskalighet. De kan därför användas lokalt, vilket undviker behovet av att transportera materialet.

¹²⁵ From dirty oil to clean batteries – Battery vs oil: a systemic comparison of material requirements”, Transport & Environment, 2021

¹²⁶ Kader, Z.A., Marshall, A. & Kennedy, J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries. *emergent mater.* 4, 725–735 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>
<https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>

¹²⁷ Kader, Z.A., Marshall, A. & Kennedy, J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries. *emergent mater.* 4, 725–735 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>
<https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>

¹²⁸ Kader, Z.A., Marshall, A. & Kennedy, J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries. *emergent mater.* 4, 725–735 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>
<https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>

I en jämförelse av miljöpåverkan av återvinning av olika batterikemier (NMC, NCA, LFP och solid state) med användning av konventionell pyrometallurgisk, konventionell hydrometallurgisk och avancerad hydrometallurgisk process (som återvinner grafit och elektrolyt), visade resultatet på att de avancerade hydrometallurgiska processerna skulle kunna prestera bäst, i termer av global uppvärmningseffekt, medan pyrometallurgiska processer skulle prestera sämst på grund av hög energiförbrukning och brist på återvinning av litiumet i batterierna.¹²⁹

Den så kallade svarta massan ”black mass”, som utgörs av batterikross innehållandes en blandning av ex grafit, litium, mangan, kobolt och nickel, kan även innehålla andra farliga ämnen som till exempel alkylfluorofosfater som utgör ett allvarligt hälsoproblem.¹³⁰

Samtliga, ovan listade, metoder har sina egna begränsningar gällande återvinning av material i litium-jonbatterier. Därför bör den slutliga processen involvera en kombination av olika tekniker med ett väldefinierat materialflödesschema för att säkerställa högsta möjliga återvinningseffektivitet. Även om stora forsknings- och utvecklingssatsningar kan ta itu med problemen, så kvarstår bekymret med att den gradvisa men ständiga förändringen i batterikemin kommer att kräva anpassningar av anläggningarna efter bara några få år.¹³¹

En dålig matchning mellan batterikemi och återvinningsteknik kan också leda till ökad miljöbelastning. Olika återvinningsprocessers miljöpåverkan varierar beroende på batteriernas cellkemi, den utsläppsminskningsteknik som används, återvinningseffektivitet och kvaliteten på de återvunna materialen.¹³²

Det bör påpekas att data för klimat- och miljöpåverkan än så länge är rätt sparsmakad i litteraturen. Vissa återvinningsmetoder befinner sig också än så länge i utvecklingsstadiet. En bättre bild av klimat- och miljöpåverkan från återvinning av elbilsbatterier kommer sannolikt kunna ses i mitten eller slutet av 2030-talet när volymerna av batterier förutspås vara betydligt större än idag. Det förekommer också att studier utelämnar den negativa påverkan från återvinningsprocessen för att istället enbart lyfta fram besparingarna.¹³³

När det talas om miljöeffekter av en specifik återvinningsprocess så handlar det oftast om en nettoeffekt som beräknats genom att subtrahera utsläppen i batterikedjan från de, genom återvinning, undvikna utsläppen. Med andra ord kan

¹²⁹ “Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries” Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

¹³⁰ “Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries” Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

¹³¹ “Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries”, Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

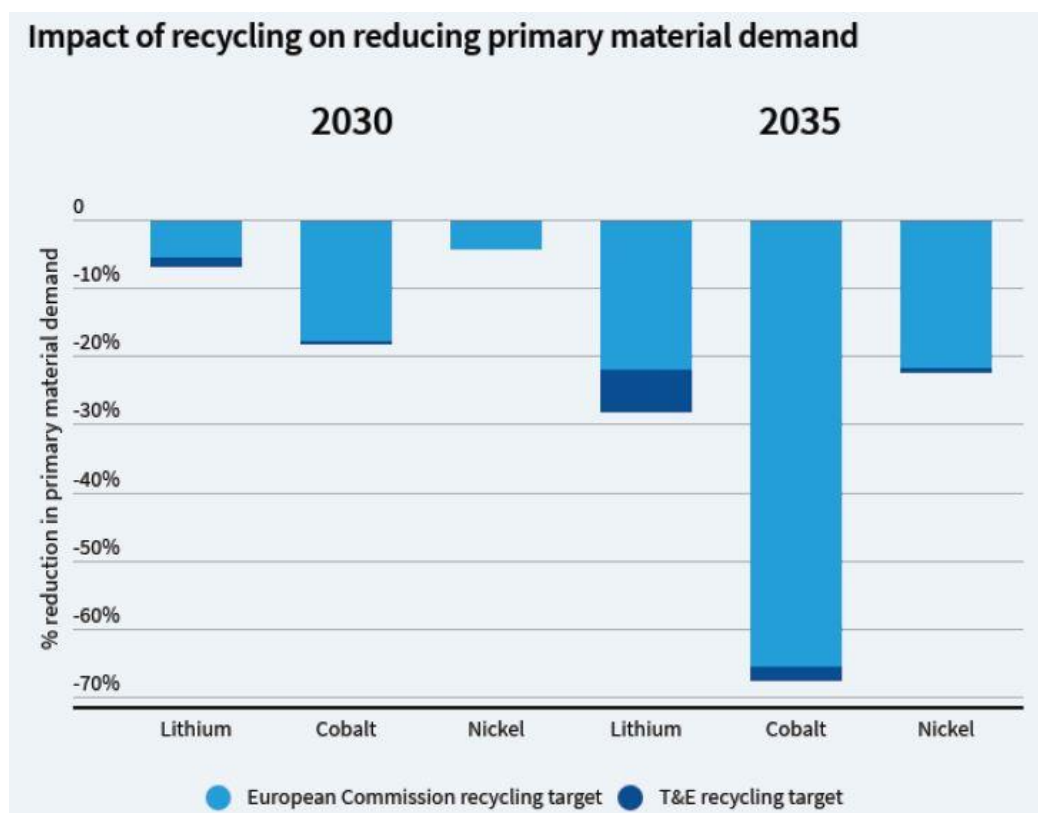
¹³² “Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries”, Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

¹³³ Aichberger, C.; Jungmeier, G. Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review. *Energies* 2020, 13, 6345. <https://doi.org/10.3390/en13236345>
<https://doi.org/10.3390/en13236345>

en återvinningsprocess i sig ha en negativ inverkan på miljön för en specifik miljöeffektkategori, medan fördelarna med de återvunna materialen (miljöpåverkan i tillverkningen som undviks genom att nyttja återvunnet material) kan kompensera för den negativa inverkan och göra att nettomiljöpåverkan blir positiv.¹³⁴

3.5.3 Tillgång till återvunnet material

Återvunnet material är en värdefull tillgång som kan ersätta jungfruligt material och därigenom minska den negativa miljöpåverkan från brytning och tillverkning. De återvunna materialen kommer dock inte eliminera behovet av jungfruliga material, som är betydligt större. I Figur 18 nedan framgår hur mycket återvinning kan bidra med att reducera behovet av jungfrulig litium, kobolt och nickel.



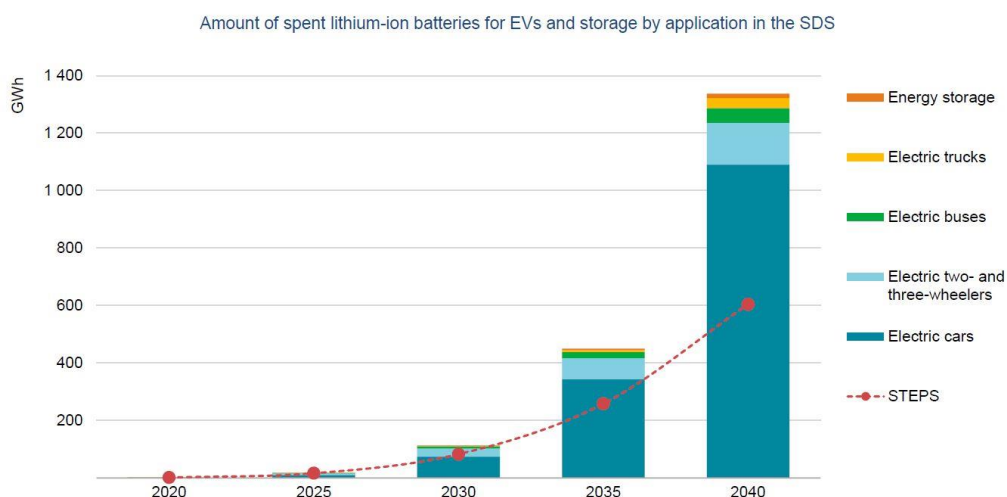
Figur 18 Hur mycket återvinning kan bidra med att reducera behovet av jungfrulig litium, kobolt och nickel, utifrån dels de av EU-kommissionen satta återvinningsmålen och dels utifrån strängare mål som Transport & Environment tagit fram. Källa: "From dirty oil to clean batteries – Battery vs oil: a systemic comparison of material requirements", Transport & Environment, 2021.

Något som påverkar när elbilsbatterierna blir tillgängliga för återvinning är så kallad "second-life application", det vill säga att batterierna används i andra applikationer när de anses vara förbrukade i sin ursprungliga applikation som elbilsbatteri. Litium-jonbatterier har i sitt slutskede kvar uppemot 80 procent

¹³⁴ "Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries" Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

kapacitet vilket gör att andrahandsanvändning är lämplig.¹³⁵ De kan sänka kostnaderna och effektbehovet för laddningsstationer och möjliggöra för lagring av el från till exempel solceller på bostäder eller större byggnader och därmed möjliggöra att större mängd förnybar el integreras i elnätet. Att återanvända elbilsbatterier kan generera betydande värde. Men samtidigt innebär återanvändning också att det tar längre tid innan elbilsbatterierna når återvinningsfasen och de återvunna materialen kan ersätta jungfruliga.

Battery recycling: The amount of spent EV and storage batteries reaching the end of their first life is expected to surge after 2030, reaching 1.3 TWh by 2040 in the SDS



Figur 19 Förväntad ökning av mängden förbrukade litiumbatterier, mätt i energi, för olika användningsområden: lagring, ellastbilar, elbussar, elektriska tvåhjulningar och elbilar, Källa: "The role of critical minerals in clean energy transitions", IEA 2021 ("STEPS = Stated Policies Scenario, an indication of where the energy system is heading based on a sector-by-sector analysis of today's policies and policy announcements; SDS = Sustainable Development Scenario, indicating what would be required in a trajectory consistent with meeting the Paris Agreement goals.")

Ett sätt att öka tillgången på "återvunnet" material är att i större grad ta tillvara på de metaller och mineral som fortfarande finns kvar i avfallet från gruvbrytning. En bättre hantering av detta avfall kan förstås också minska risken för att farligt material från gruvbrytningen hamnar i miljön.

3.5.4 Deponering

Globalt sett är återvinningsgraden låg, vilket innebär att det mesta elektroniska avfallet som innehåller små litium-jonbatterier eller permanentmagneter deponeras. Detta gäller inte bara utvecklingsländer utan även industriländer på grund av dålig reglering samt bristen på infrastruktur för återvinning. De flesta stora litium-jonbatterier, såsom i elfordon, återvinns dock eftersom det fortfarande handlar om batterier från en mindre mängd elfordon. Men utifrån snabbt växande volymer och

¹³⁵ Kader, Z.A., Marshall, A. & Kennedy, J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries, emergent mater. 4, 725–735 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>

fortfarande dåligt utbyggd infrastruktur för återvinning, är det inte självklart att så sker även framöver, med ökad klimat- och miljöbelastning som följd.¹³⁶

Konsekvenserna av att deponera förbrukade litium-jonbatterier är allvarliga och bör i möjligaste mån undvikas. Om litium-jonbatterier deponeras kan syraproducerande mikroorganismer korrodera aluminiumhöljet, med följden att vatten lakar ut giftiga metaller som kobolt, nickel och mangan, vilket kontaminerar grundvattnet, förorenar jordar och orsakar stora säkerhetsrisker. När höljet är korroderat kan dessutom elektrolyterna reagera med vatten och släppa ut skadliga gaser såsom vätefluorid. Exponering av batteriers litiumplätering för vatten leder också till en våldsam kemisk reaktion med explosioner och bränder som följd.¹³⁷

¹³⁶ "Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries" Wojciech Mrozik, Mohammad Ali Rajaeifar, Oliver Heidrich and Paul Christensen, 2021

¹³⁷ Kader, Z.A., Marshall, A. & Kennedy, J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries. *emergent mater.* 4, 725–735 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>

4. Analys och diskussion

4.1 Minskning av växthusgasutsläpp vid elektrifiering

Transporternas utsläpp av växthusgaser är i ett globalt samt svenskt perspektiv stora. För att kunna begränsa den globala uppvärmningen och nå globalt uppställda klimatmål behöver transporternas växthusgasutsläpp minska kraftigt och till år 2050 i princip helt upphöra. Den potentiellt största miljöeffekten av elektrifieringen av transporter är minskningen av växthusgaser, då elfordon som drivs av el med låga utsläpp har den största potentialen för att minska växthusgasutsläppen från landbaserade transporter på livscykelbasis. Det är främst elmix vid laddning och batteriproduktion, inklusive utvinning av batterimaterial, som är avgörande för hur stor, eller liten, minskningen av växthusgaser blir. Andra faktorer är till exempel fordonstygnd, batteristorlek, mängden batterier, mängden återvunnet material i batterier etcetera. Utöver minskningen sker också en omlokalisering av utsläppen vid elektrifiering – från avgasröret till främst där elproduktionen sker, samt där utvinning och tillverkning av material till elproduktion sker. Det är viktigt att notera att enbart elektrifieringen inte är en slutlig lösning på transportsektorns utsläpp. Detta beror på att utsläppen inte kommer bli nära noll i närtid av att enbart övergå till elektrifierade fordon. Effektiviseringsåtgärder såsom till exempel mindre och lättare fordon och mindre batterier är därmed viktiga andra åtgärder. En minskning av trafikarbetet genom ett transporteffektivt samhälle är också en viktig åtgärd för att ytterligare få ner utsläppen samt minska de negativa effekterna av brytning av kritiska mineral och metaller till batterierna.

Om bilar som idag drivs med fossila bränslen byts ut till elbilar minskar utsläppen per personkilometer med omkring eller drygt två tredjedelar. Detta sett ur ett livscykelperspektiv för fordon och drivmedel men det förutsätter att den el som bilen drivs med har en låg grad av fossilt ursprung. På längre sikt när elproduktionen har lägre växthusgasutsläpp och när produktionen av fordon och batterier i högre grad sker med fossilfri energi kommer klimatpåverkan bli lägre. För tunga fordon, arbetsmaskiner, fartyg och flyg är förhållandena likartade vad gäller minskade utsläpp när de elektrifieras men förutsättningarna för elektrifiering är i flera fall inte lika goda. Detta särskilt för vissa maskiner, fartyg och flyg där biobränslen och elektrobränslen kan bli viktigare vid utfasningen av fossila bränslen.

4.2 Miljöeffekter vid elektrifieringen

De största miljöeffekterna, utöver minskningen av växthusgasutsläpp, kommer från brytning av kritiska mineral och metaller till batterier. Gruvverksamhet orsakar allvarliga miljöproblem och utifrån ett exponentiellt ökande behov av dessa kritiska mineral och metaller samt att ny gruvbrytning alltmer föreslås ske i avlägsna och

ekologiskt känsliga områden, kan riskerna för betydande miljökonsekvenser komma att öka. Miljöpåverkan från gruvverksamhet sker på många olika sätt, till exempel genom förändrad landanvändning, utsläpp till mark och vatten, erosion, utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar. Påverkan sker också under hela processen från prospektering till avveckling och efterbehandling. Effekterna av förändrad markanvändning är ofta kumulativa och består under lång tid. Gruvverksamhet påverkar de lokala ekosystemen negativt – vare sig det gäller förändrad markanvändning (habitatminskning/-förlust), mark- och vattenpåverkan genom olika typer av utsläpp, vägar och infrastruktur för gruvverksamheten (fragmentering av habitat), läckage av metaller, buller etcetera. Den biologiska mångfalden som upprätthåller ekosystemen riskerar därmed också att påverkas negativt. Utifrån det svåra läget för biologisk mångfald är det av stor vikt att den gruvverksamhet som kommer av elektrifieringen sker med så liten påverkan på ekosystemen som möjligt. Hur stora miljöeffekterna blir beror på efterfrågan av jungfruliga kritiska mineral och metallerna utvecklas, var brytningen sker samt hur väl regleringen av gruvverksamhet lyckas minimera effekterna.

De positiva hälsoeffekterna av elektrifiering sker främst lokalt i städer, genom minskat buller och förbränningsrelaterade luftföroreningar, men även genom ett minskat ytbehov om elektrifieringen sker genom att fossildrivna individuella transporter som exempelvis personbilar ersätts med elektrifierad kollektivtrafik.

Buller från trafik är ett utbrett miljöhälsoproblem. Omkring två miljoner av Sveriges befolkning beräknas vara utsatta för trafikbuller överskridande 55 dBA utomhus vid bostadens fasad, varav de flesta exponeras för vägtrafikbuller. Enligt den senaste fördjupade utvärderingen av miljö kvalitetsmålet *God bebyggd miljö* är utvecklingen av miljö tillståndet till 2030 negativ för bland annat trafikbuller.

Elektrifiering av fordonsflottan får en märkbart positiv inverkan på bullersituationen centralt i större städer och på andra platser där hastigheterna är låga, ca 20–40 km/h, medan buller vid högre hastigheter kommer från däckvägbana.

Luftföroreningar från transporter är ett problem i framförallt tätorter. Vid övergång till elfordon försvinner luftföroreningar i form av förbränningspartiklar, kvävedioxid och organiska ämnen helt. En del utsläpp av luftföroreningar finns dock fortsatt kvar men omlokaliseras till platser där elproduktionen sker samt där utvinning och tillverkning av material till elproduktion sker. Slitagepartiklar genereras fortsatt även från elfordon.

4.3 Elektrifieringens geopolitiska dimension

Utifrån nuvarande geografiska fördelning gällande elfordonens livscykel uppstår de positiva miljöeffekterna av övergången till elfordon främst i Sverige, via svensk elproduktion, medan en stor del av de negativa effekterna av batteriproduktion uppstår utanför Sverige och Europa. En ökad elektrifiering med denna geografiska fördelning kommer att innebära att Sverige och Europa gör sig beroende av

framförallt Kina. Men även länder som Japan och Sydkorea, gällande batteriproduktion, samt Australien, Chile, Demokratiska republiken Kongo och Indonesien, gällande utvinning av kritiska mineral och metaller. Det finns således flera skäl att i högre grad utvinna metaller och mineral samt tillverka batterier i länder där elmixen är renare och miljöeffekterna vid produktion lägre.

4.4 Skiljer sig olika transportslag och fordonslag åt?

Elektrifieringen har sedan något årtionde tillbaka kommit att ses som huvudspåret för att göra lätta fordon som personbilar fossilfria. Med fortsatt utveckling av batteriteknik och en mer spridd insikt om att vi måste lämna fossila bränslen i förbränningsmotorer har bilden av lämpliga el-applikationer utökats till tyngre fordon och andra transportslag.

Tunga fordon i stadstrafik till exempel bussar, distributionsbilar, avfallsbilar m.m. är relativt lätta att elektrifiera då de i många fall kan laddas ofta och därför kräver mindre batterikapacitet. Att man i många städer, särskilt i andra länder, redan tidigare har valt att använda elektriska fordon har ofta motiverats av behovet av en förbättrad luftkvalitet. Utsläppen av luftföroreningar har större betydelse för hälsan i tätorter och vad gäller buller så har elfordon i de låga hastigheter som används i tätorter betydande fördelar då elmotorerna är tystare.

Idag har batteridrift blivit ett huvudspår även för tunga fjärrgående lastbilar. Fördelarna jämfört med förbränningsmotorer är dock inte lika uppenbara som för lätta fordon och för de lastbilar och bussar som huvudsakligen rör sig i tätorter. För långtradarna kommer det att krävas större batterikapacitet i fordonen, vilket ger ökad fordonsvikt och sämre lastkapacitet. För långväga tunga lastbilar kan elvägar med kontinuerlig effektförsörjning längs med vägen fungera för framdrift och för laddning av batterier.

Elektrifiering av flygplan är dessvärre svårt på grund av batteriers låga energiinnehåll i relation till tyngden. Miljönyttan med eldrift relativt vanliga jetmotorer vad avser målet frisk luft är begränsad.

Järnvägstrafiken är till allra största delen sedan länge elektrifierad därför att det har varit relativt enkelt att elförsörja loken med luftledning som då också möjliggör lokens stora dragkraft.

För sjöfarten är det i första hand reguljär trafik på korta sträckor som har börjat att elektrifieras.

4.5 Målkonflikter

Generellt kommer en ökad elektrifiering att ha positiva effekter på flera svenska miljömål utöver klimatmålet. Flera undantag finns dock där istället målkonflikter kan uppstå vilket framför allt är kopplat till en etablering av ny gruvverksamhet.

Miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet och Levande sjöar och vattendrag* är två mål som kan påverkas negativt av elektrifieringens ökade metallefterfrågan. Om det blir så beror på i vilken mån efterfrågan på metaller till batterier tillfredsställs med expansion av svensk gruvbrytning vilket lokalt i många fall påverkar vattnet. På samma sätt finns risker för betydande påverkan på målen *Giftfri miljö* och *Ett rikt växt- och djurliv* till följd av gruvbrytning. Parallellt kan målet *Storslagen Fjällmiljö* påverkas negativt om ny gruvbrytning tillåts i fjällvärlden.

Genom att utnyttja gruvor och förädling av metaller och mineral utomlands undviks i hög grad påverkan på de svenska miljö kvalitetsmålen men det kan sammantaget globalt sett resultera större miljö- och hälsopåverkan då regleringen av verksamheterna kan vara mer underutvecklad utomlands. Vårt generationsmål i miljö målssystemet lyfter dock att styrmedel och åtgärder för att lösa miljöproblemen i Sverige ska utformas så att Sverige inte exporterar miljöproblem, vilket riskeras om gruvbrytning, metallförädling och batteritillverkning sker så som idag och huvudsakligen utomlands.

5. Källförteckning

Aichberger, C. Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review. *Energies*. 13, 6345, 2020. [doi:10.3390/en13236345](https://doi.org/10.3390/en13236345).

Aktuell Hållbarhet. Ny innovation ska ge byggindustrin batteriplattform - *Aktuell Hållbarhet*. 2022. <https://www.aktuellhallbarhet.se/miljo/klimat/ny-batteriplattform-lanseras-for-minskad-klimatpaverkan-och-battare-arbetsmiljo-i-byggbranschen/> (Hämtad 2023-01-23).

Amon, DJ. et al. Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining. *Marine Policy*. Volume 138, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105006>.

Boverket. *God bebyggd miljö – fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålet*. Boverket. 2022.

Copperstone AB. Underlag för samråd enligt Miljöbalken gällande återstart av Viscariagruvan, Kiruna kommun. *Copperstone*. 2021. <http://media1.copperstone.se/2021/04/Viscaria-Samra%CC%8Adunderlag-210421.pdf> (Hämtad 2023-01-24).

EFUEL. Elmotor och förbränningsmotor - en jämförelse. *EFUEL*. 2023. <https://www.efuel.se/artiklar/elmotor-och-forbranningsmotor-en-jamforelse> (Hämtad 2023-01-24).

Elbilen. Nio öppnar en andra station för batteribyten i Norge. *Elbilen* 2022. <https://elbilen.se/nyheter/nio-oppnar-en-andra-station-for-batteribyten-i-norge/> (Hämtad 2023-01-24).

Energimyndigheten. *Strategisk plan för omställning av transportsektorn till fossilfrihet*. ER 2017:07. Energimyndigheten. 2017.

Energimyndigheten. *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*. ER 2021:6. Energimyndigheten. 2021.

Energimyndigheten. *Framtidens elektrifierade samhälle. Analys för en hållbar elektrifiering*. ER 2021:28. Energimyndigheten. 2021.

Energimyndigheten. *Växthusgasutsläpp*. Energimyndigheten. 2022. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/> (Hämtad 2023-01-24).

Energimyndigheten. *Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering. Rapportering 2022*. Energimyndigheten. 2022. <https://www.energimyndigheten.se/4af550/globalassets/nyheter/2022/myndighetsgemensam-uppfoljning-av-samhallets-elektrifiering---huvudrapport.pdf>. (Hämtad 2023-01-24).

Energimyndigheten. *Energiläget i siffror 2022*. Energimyndigheten. 2023. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.energimyndigheten.se%2F495a34%2Fglobalassets%2Fstatistik%2Fenergilaget%2Fenerg>

[ilaget-i-siffror-2022_220329.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](#) (Hämtad 2023-01-24).

Energimyndigheten. *Laddinfrastruktur*. Energimyndigheten. 2023.
<http://www.energimyndigheten.se/laddinfrastruktur> (Hämtad 2023-01-24).

Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1013/2006 av den 14 juni 2006 *om transport av avfall* (Avfallstransportförordningen).

Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG av den 19 november 2008 *om avfall och om upphävande av vissa direktiv* (Ramdirektivet för avfall). Artikel 2(2).

Europaparlamentets och rådets direktiv 1991/156/EEC *om ändring av direktiv 75/442/EEC om avfall*.

Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/75/EU av den 24 november 2010 *om industriutsläpp (samordnade åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar)* (Industriutsläppsdirektivet).

Europaparlamentet. *Nya EU-regler för mer hållbara och etiska batterier*. Europaparlamentet. 2022.

<https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/economy/20220228STO24218/nya-eu-regler-for-mer-hallbara-och-etiska-batterier> (Hämtad 2023-01-24).

Europaparlamentet. *Batteries: deal on new EU rules for design, production and waste treatment*. Europaparlamentet. 2022

<https://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20221205IPR60614/batteries-deal-on-new-eu-rules-for-design-production-and-waste-treatment>. (Hämtad 2023-02-02).

European Environment Agency (EEA). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* EEA Report No 13/2018. EEA 2018.

Europeiska kommissionen. *Critical raw materials*. Europeiska kommissionen. 2023. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en (Hämtad 2023-01-27).

Europeiska kommissionen. *Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, rådet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén - Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet*. COM (2020) 474 final, 2020a.

Europeiska kommissionen. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries (BREF MWEI), in accordance with Directive 2006/21/EC; EUR 28963 EN*; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018; doi:10.2760/35297, JRC109657. Europeiska kommissionen. 2018.

Europeiska kommissionen. *Uttjanta fordon – översyn av EU-reglerna*. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12633-Uttjanta-fordon-oversyn-av-EU-reglerna_sv. Europeiska kommissionen. 2022. (hämtad 2023-02-10)

Europeiska kommissionen. Directorate-General for Climate Action, Hill N, Amaral S, Morgan-Price S, Nokes T, Bates J, Helms H, et al. *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA: final report*. Publications Office of the European Union; 2020. doi/10.2834/91418.

FN:s ekonomiska kommission för Europa (UNECE). Konvention om miljökonsekvensbeskrivningar i ett gränsöverskridande sammanhang. (Esbokonventionen). UNECE. 1991. <https://www.regeringen.se/49b764/contentassets/076a3336a8d4410a9bd3468a884694ce/konvention-om-miljokonsekvensbeskrivningar-i-ett-gransoverskridande-sammanhang-so-19921> (Hämtad 2023-01-24).

Fröidh Oskar & Emil Jansson. *Energieffektiv järnväg: Styrmedel mot klimatmålen-slutrapport*. Stockholm. 2021. <https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/klimatuppdrag/energieffektiv-jarnvag-styrmedel-mot-klimatmalen.pdf> (Hämtad 2023-01-24).

Fujita, T. et al. Reduction, reuse and recycle of spent Li-ion batteries for automobiles: A review. *Int J Miner Metall Mater* 28, 179–192. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2127-8>.

Giljum, Maus, V., S., da Silva, D.M. et al. An update on global mining land use. *Sci Data* 9, 433. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01547-4>.

Government of British Columbia. Mount Polley Mine Tailing Dam Breach. *Government of British Columbia*. 2015. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/spills-environmental-emergencies/spill-incidents/past-spill-incidents/mt-polley>. (Hämtad 2023-01-24).

ICMM. Good Practice Guidance for Mining and Biodiversity *ICMM*. 2006. <https://www.icmm.com/en-gb/guidance/environmental-stewardship/2006/mining-and-biodiversity>. (Hämtad 2023-01-24).

IEA-International Energy Agency. *The role of critical minerals in clean energy transitions*. IEA. 2021. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

IEA-International Energy Agency. *Global EV Outlook 2022. Securing supplies for an electric future*. IEA. 2022. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/c83f815c-en.pdf?expires=1674633978&id=id&accname=ocid195089&checksum=D2E35F37232B3FF88065903FF4B0FDF4>. (Hämtad 2023-01-25).

IEA-International Energy Agency. *Global Supply Chains of EV Batteries*. IEA., 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/961cfc6c-6a8c-42bb-a3ef-57f3657b7aca/GlobalSupplyChainsOfEVBatteries.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

IPBES- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *Summary for policymakers of the global assessment report on*

biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. et al. IPBES sekretariat, Bonn, Germany. 2019.

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC Sixth Assessment Report. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Kapitel 10 Transport. IPCC Work group III. 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (Hämtad 2023-01-25).

IUCN-International Union for Conservation of Nature. *Deep seabed mining - A rising environmental challenge*. IUCN. 2018.

IVL-Svenska miljöinstitutet. *Lithium-Ion Vehicle Battery Production-Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling*. Rapport C444. IVL. 2019.

IVL-Svenska miljöinstitutet. *Hållbar elektromobilitet - Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara*. Rapport C552. IVL 2020.

<https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f4731f3/1628415650774/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2023-01-25).

IVL-Svenska miljöinstitutet. *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. Rapport C 619. IVL. 2021.

<https://www.ivl.se/download/18.556fc7e17c75c84933f392/1635759400558/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2023-01-25).

IVL-Svenska miljöinstitutet. *Rekyleffekter och utformning av styrmedel*. Rapport B 2410. IVL. 2021.

<https://www.ivl.se/download/18.5bcd43b91781d2f501c9a9/1615982262078/B2410.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Johansson. C. et al. Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment*. Volume 37, Issue 1, January 2003, Pages 3-9. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00833-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00833-6).

Kemikalieinspektionen. *Miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö Fördjupad utvärdering av miljömålen 2023*. KEMI Rapport 3/2022. Kemikalieinspektionen.2022.

Kader, Z.A. et al. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries, *Emergent materials*. 4, 725–735 2021. <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00201-w>.

Kaikkonen, L. et al. Shallow-water mining undermines global sustainability goals, *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 37, No. 11. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.08.001>.

LKAB. Projekt ReeMAP för utvinning av REE och fosfor. LKAB. 2022 <https://ree-map.com/sv/> (Hämtad 2023-01-25).

Melin, Hans Eric, *Forskningsöversikt om återvinning och återbruk av litiumjonbatterier*. *Circular Energy Storage*, på uppdrag av Energimyndigheten, 2018. Eskilstuna: Energimyndigheten.

- Merics. <https://merics.org/en/short-analysis/beijings-battery-swapping-bet-could-isolate-chinas-electric-car-industry> (Hämtad 2023-01-23).
- Mobility Sweden. *Definitiva nyregistreringar under 2022*. Mobility Sweden. 2023. https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2022/definitiva-nyregistreringar-under-2022 (Hämtad 2023-01-25).
- Mobility Sweden. *2022 – ett starkt år för elbilen*. Mobility Sweden. 2023. https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2022/2022-ett-starkt-ar-for-elbilen. (Hämtad 2023-01-25).
- Moped- och motorcykelbranschens riksförbund. *Registreringsstatistik december 2021*. Moped- och motorcykelbranschens riksförbund. 2022. <https://mcbranschen.se/wp/wp-content/uploads/2022/01/12-Nyregistrering-till-och-med-december-2021.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).
- Morfeldt, J. et al. If Electric Cars Are Good for Reducing Emissions, They Could Be Even Better with Electric Roads. *Environ. Sci. Technol.* 56, 13, 9593–9603 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00018>.
- Mrozik, W. et al. Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. *Energy Environ. Sci.*, 14, 6099-6121, 2021. <https://doi.org/10.1039/D1EE00691F>.
- Naturvårdsverket. *Frisk luft – Fördjupad utvärdering av miljömålen*. Rapport 7067. Naturvårdsverket. 2022. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7067-0/>. (Hämtad 2023-01-25).
- Naturvårdsverket. *Statistik över utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter 1990–2021*. Naturvårdsverket. 2022. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/>. (Hämtad 2023-01-25).
- Naturvårdsverket. *Efterbehandlingsansvar. En vägledning om miljöbalkens regler och rättslig praxis*. Naturvårdsverkets rapport 6501. Naturvårdsverket 2012. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/6500/efterbehandlingsansvar/>. (Hämtad 2023-01-25).
- Naturvårdsverket. *Industriutsläpp IED*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/industriutslapp-ied/>. (Hämtad 2023-01-25).
- Naturvårdsverket. *Avfall i Sverige 2020. Uppkomst och behandling*. Naturvårdsverket. 2022. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7048-9/>. (Hämtad 2023-01-25).
- Naturvårdsverket och SGU. *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall, Redovisning av regeringsuppdrag*. (NV-03195-16). Naturvårdsverket och SGU. 2017. <https://www.regeringen.se/49f090/contentassets/c94f6fcc46654c37bf32a414ce042dc6/forslag-till-strategi-for-hantering-av-gruvavfall.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Naturvårdsverket och SGU. Regeringsuppdrag. *Om att öka möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser*. Naturvårdsverket 2023. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/regeringsuppdrag/pagaende-regeringsuppdrag/oka-mojligheterna-till-hallbar-utvinning-och-atervinning-av-mineral-och-metall-fran-sekundara-resurser/>. (Hämtad 2023-01-25).

Naturvårdsverket. *Generationsmålet -Fördjupad utvärdering 2023* Naturvårdsverket december 2022. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7090-8/>(Hämtad 2023-01-27).

Naturvårdsverket. *Vägledning*

Utvinningsavfall – avfall från gruvor och täkter. Naturvårdsverket. 2023. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/utvinningsavfall>. (Hämtad 2023-01-27).

Naturvårdsverket. *Vägledning Gruvor*. Naturvårdsverket. 2023. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/efterbehandling-nedlagda-gruvor> (Hämtad 2023-01-27).

Nordelöf, A. et al. Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?. *Int J Life Cycle Assess* 19, 1866–1890. 2014. DOI 10.1007/s11367-014-0788-0.

Ourworldindata. *Carbon intensity of electricity, 2021*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity> . (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity production by source, China*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?stackMode=relative&country=~CHN>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Carbon intensity of electricity, 2000 to 2021*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&yScale=log&country=CHN~KOR~AUS~CHL~COD~IDN>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity production by source, Japan*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~JPN>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity production by source, South Korea*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~KOR>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity generation, 2021*. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-generation>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity production by source, CHL*.2022. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?country=~CHL.2022>. (Hämtad augusti 2022).

Ourworldindata. *Electricity production by source, Democratic Republic of*

Congo. Ourworldindata.2022. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-stacked?country=~COD>. (Hämtad augusti 2022).

Powerswap. *Battery swapping is the solution when agriculture machines goes electric*. Powerswap. 2021. <https://powerswap.se/news/battery-swapping-is-the-solution-when-agriculture-machines-goes-electric-nyteknik/>. (Hämtad 2023-01-25).

Regeringen. *Nationell strategi för elektrifiering – en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning*. Bilaga till regeringsammastråde 2022-02-03. Regeringen. 2022. <https://www.regeringen.se/48fdc7/contentassets/a6df7e7a31bb4e7085a90d0d123a581b/infrastrukturdepartementet-2-av-2.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Regeringen. *Det klimatpolitiska ramverket*. Regeringen. 2017. <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>. (Hämtad 2023-01-25).

SCB. Statistikdatabasen. *Miljö*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/>. (Hämtad 2023-01-25).

SFS 1991:45 *Minerallagen*.

SFS 1998:808 *Miljöbalken*.

SFS 2013:319 *Förordning om utvinningsavfall*.

SFS 2013:250 *Industriutsläppsförordningen*.

SFS 2007:1217 *Förordning med instruktion för Exportkreditnåmnden*.

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Redovisning av regeringsuppdrag: Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar*. Dnr: 3114-1639/2013. SGU. 2014.

<https://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/utvinnings-och-atervinningspotential-metaller-mineral-2014.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Bergverksstatistik 2018*. SGU 2019. <http://resource.sgu.se/produkter/pp/pp2019-2-rapport.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Bergverksstatistik 2020*. SGU 2021. <http://resource.sgu.se/bergsstaten/bergverksstatistik-2020.pdf>. (Hämtad 2023-02-02).

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Mineralmarknaden 2020. Tema: Kobolt*. SGU. 2021.

<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/pp/pp202101rapport/pp2021-1-rapport.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Att minimera sulfidoxidation vid gruvdrift – från anrikning till efterbehandling*. SGU-rapport 2021:32. SGU. 2021.

SGU-Sveriges geologiska undersökning. *Kobolt*. SGU. 2023. <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/kobolt/> (Hämtad 2023-01-27).

SMHI. *Klimat i förändring 2022. Att begränsa klimatförändringen. Översättning av IPCC. AR 6. WG III. C.8.* SMHI. 2022.

https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.190876!/Klimatologi_68%20Klimat%20i%20f%C3%B6r%C3%A4ndring%202022%20Att%20begr%C3%A4nsa%20klimatf%C3%B6r%C3%A4ndringen.pdf. (Hämtad 2023-01-25).

SOU 2022:56. *En tryggad försörjning av metaller och mineral.*

Stand up for energy. *Elektrifiering är kärnan i ett hållbart energisystem.*

Stand up for energy. 2023. <https://www.standupforenergy.se/elektrifiering-ar-karnan-i-ett-hallbart-energisystem/> (hämtad 2023-01-26).

Svenska Elvägar AB. *Utveckling av aktiv strömavtagare för tunga vägfordon.*

Svenska Elvägar AB. 2011. <https://elvag.se/en/archive/2011-12-02/Elvag-rapport-version-2011-12-02a.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Tillväxtanalys. *Det globala läget för sällsynta jordartsmetaller.* Tillväxtanalys 2011.

https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1d5d8/1586366177657/WP_PM_2011_09.pdf. (hämtad 2023-01-27).

Trafikanalys. *Bantrafik 2020.* Trafikanalys 2021.

<https://www.trafa.se/globalassets/statistik/bantrafik/bantrafik/2020/bantrafik-2020.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikanalys. *Bantrafik 2021.* Trafikanalys 2022.

<https://www.trafa.se/globalassets/statistik/bantrafik/bantrafik/2021/bantrafik-2021.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikanalys. *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader – bilagor.* PM

2022:3. Trafikanalys. 2022. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_3-transportsektorns-samhallsekonomiska-kostnader---bilagor.pdf. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikanalys. *Korttidsprognoser för vägfordonsflottan - metoder och antaganden.*

PM 2022:5. Trafikanalys.2022. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_5-korttidsprognoser-for-vagfordonsflottan---metoder-och-antaganden.pdf. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikanalys. *En miljon laddbara personbilar 2025.* Trafikanalys 2022.

<https://www.trafa.se/vagtrafik/fordonsprognoser-13126/> (hämtad 2023-02-02).

Trafikanalys. *Eldrivna vägfordon – ägande, regional analys och möjlig utveckling till 2030.* Rapport 2022:12. Trafikanalys.2022.

https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2022/rapport-2022_12-eldrivna-vagfordon---agande-regional-analys-och-en-mojlig-utveckling-till-2030.pdf. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikanalys. *Förutsättningar och styrmedel för ökad elsjöfart.* Rapport 2022:17.

Trafikanalys.2022.

<https://www.trafa.se/sjofart/forutsattningar-och-styrmedel-for-okad-elsjofart-13555/>. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikverket Färjerederiet. *Vision 45 – Den gula färjan ska bli grön*. Trafikverket Färjerederiet. 2018.

https://www.trafikverket.se/globalassets/trv_farjerederiet_vision45.pdf. (Hämtad 2023-01-25).

Trafikverket. *Regeringsuppdrag - Analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*. Trafikverket. 2021. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524344/FULLTEXT01.pdf>. (Hämtad 2023-01-23).

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524344/FULLTEXT01.pdf>. (Hämtad 2023-01-23).

Transport & Environment. *From dirty oil to clean batteries – Battery vs oil: a systemic comparison of material requirements*. Transport & Environment. 2021.

https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf.

(Hämtad 2023-01-25).

Transport and environment. *UPDATE - T&E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions*. Transport & Environment. 2022.

https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/05/Final-TE_LCA_Update.pdf. (Hämtad 2023-01-23).

UNEP. *Mineral governance in the 21st Century – Gearing extractive industries towards sustainable development*. UNEP. 2020.

Vejdirektoratet. *Noise from electric vehicles*. Vejdirektoratet. 2015.

https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/noise_from_electric_vehicles_0.pdf. (Hämtad 2023-01-23).

VTI. *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: samspelet mellan energisystemet och transportsystemet*. VTI 2022. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1661918/FULLTEXT01.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).

<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1661918/FULLTEXT01.pdf>. (Hämtad 2023-01-25).