
Råstoffer til batterielektrificering af transportsektoren

Sammenfatning

Denne baggrundsanalyse beskriver problematikker og perspektiver ved batterielektrificering af transportsektoren og det følgende behov for råstoffer. Problematikken introduceres indledningsvist. I analysens første del stilles der skarpt på batterier og deres teknologi. Først oplystes de ønskede kvaliteter ved batterier til transportmidler og batteriers sammensætning. Dernæst eksemplificeres fordele og ulemper ved forskellige batterityper. Afslutningsvist beregnes et teoretisk eksempel på, hvor mange råstoffer en typisk elbil vil kræve.

I analysens anden del er fokus på batteriernes råstoffer. Forekomster, udvinding og raffinering beskrives. Dernæst følger et afsnit om genanvendelsesmetoder – og potentialer.

I analysens tredje del estimeres behovet for litium til en fuld omstilling af Danmarks og EU's transportmidler fremskrevet til 2035.

Det vurderes, hvorvidt der er tilstrækkeligt med litium til EU og hele verdens batterielektrificering af transportmidler. Konklusionen er, at der fysisk set er råstoffer nok, men at den tid det tager at skalere produktionen op, gør at hele verden ikke kan omstille på én gang. Det kan derfor i denne overgangsperiode give mening at fremme efficient anvendelse af de producerede batterier, ved fx at fremme biler med mindre batterier samt udviklingen af nye, mindre ressourcekrævende batterier.

Indledning og problemstilling

Omstilling af transportsektoren er nødvendig for at leve op til vores nationale- og internationale klimapforpligtigelser. Den gode nyhed er, at teknologierne i vid udstrækning allerede findes. Herunder en batterielektrificering af transportmidlerne. Dette notat stiller skarpt på batterielektrificering fra et resourceperspektiv. Fokus for notatet er at undersøge, hvor mange råstoffer, det vil kræve for at batterielektrificere vejtransporten i form af personbiler, varebiler, lastbiler og busser. Estimerer foretages på globalt, EU- og nationalt niveau.

Batterielektrificering kommer til at spille en hovedrolle i dekarboniseringen af transportsektoren, hvad enten der er tale om person- eller godstransport. Nogle af de eneste transportmidler, som ikke forventes at blive primært batterielektrificeret indenfor en nær fremtid, er de mest energikrævende såsom de tungeste lastbiler og maskiner, samt de langdistancefly, (container)skibe og store færges. Som teknologien bliver bedre og billigere kan det blive muligt at elektrificere i endnu højere grad og i et højere tempo.

En elektrificering af transport kræver investeringer i at udvinde og raffinere de rette råstoffer for endeligt at fremstille den påkrævede batterikapacitet. Udfordringen er, at visse nødvendige mineraler kun findes på udvalgte lokationer. En fremtid med geopolitisk forsyningssikkerhed til elektrificering kræver

stabil adgang til disse mineraler samt den videre raffinering- og produktionsproces mod det endelige batteri. Lige så vigtigt bliver genanvendelsen af batteriets bestanddele.

At sikre den tilstrækkelige mængde af råstoffer er i mindre grad et spørgsmål om den absolutte mængde. Det handler mere om tilgængelighed, økonomiske incitamenter og modenheden af teknologier til at udvinde råstofferne som jomfruelige materialer og - af tiltagende vigtighed - genanvende fra den allerede eksisterende pulje.

Litium spiller en helt særlig rolle i forhold til batterielektificering af transportsektoren, da det har nogle særlige egenskaber, som ikke umiddelbart kan erstattes af andre materialer. Derfor er det særligt vigtigt at kigge på dette metal.

Nærværende notat ser ikke på behovet for råstoffer for omstillingen af energisystemet (produktion og lagring). Denne problemstilling har været diskuteret en del¹ og påstande (ikke peer-reviewed) om stort behov for batterilagring har medført tvivl om hvorvidt der er så også er råstoffer nok til elektrificering af transportsektoren. Peer-reviewet forskning viser dog at omstillingen slet ikke behøver batterilagring i så stort omfang som kritikere påstår². Desuden vil der være helt andre, forventeligt mindre litiumkrævende, krav til eventuel batterilagring i energisystemet sammenlignet med transportsektoren, da batterierne kan være stationære og tungere.

Batteriets funktioner og opbygning

Hvad er et godt batteri til transportsektoren?

Et batteris kapacitet til at lagre strøm opgøres i kilowatt-timer (kWh). Antallet af kWh afgør rækkevidden for transportmidlet. Udover en tilstrækkelig rækkevidde er der en række funktionelle og økonomiske krav, der afgør om et batteri er velegnet til anvendelse i transportsektoren:

- Batteriet skal kunne fremstilles og produktionen opskaleres kosteffektivt. Dette er fleksibelt over tid, eftersom det afhænger af efterspørgsel og teknologiudvikling.
- Batteriets materialer skal være tilgængelige i rigelige mængder (teknologisk tilgængelighed og pris) og være stabile (fysisk/kemisk funktion).
- Batteriet skal have en høj energitæthed, som giver en tilstrækkelig rækkevidde (kWh) uden at batteriet fylder eller vejer for meget (kWh/m³ og kWh/kg).
- Batteriet skal have en lang levetid. I praksis betyder det, at batteriet skal kunne holde til mange op- og afladninger uden at tabe for meget kapacitet for hurtigt (pga. de over tid opståede strukturelle skader i batterikomponenternes interne struktur). Batteriets materialer skal både være fleksible nok til at "give sig", som ioner optages og afgives i anoden (-) og katoden (+), men samtidig være stabile nok til ikke at nedbrydes for hurtigt. Det kan sammenlignes med, når vand skiftevis fryser og tør; materialer med en for rigid struktur vil nemmere krakelere over tid.

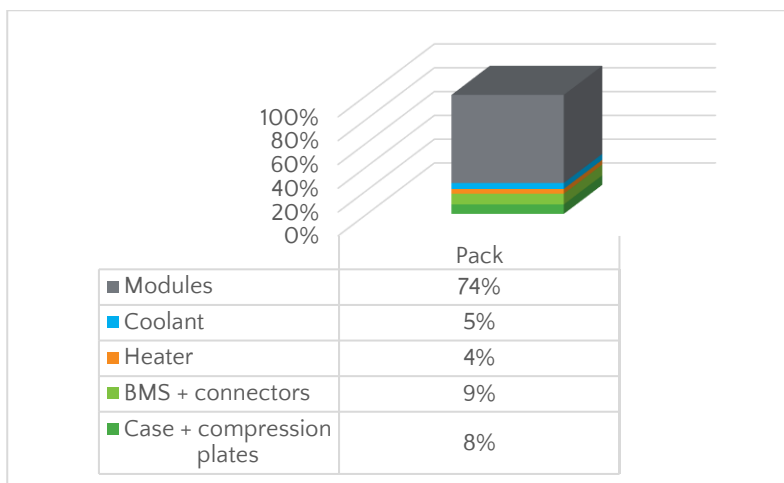
1 Se fx: <https://twitter.com/visaskn/status/1593944033218502657>

2 Se fx <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007167> samt denne intro: <https://twitter.com/AukeHoekstra/status/1594084394666315777>

- Batteriet skal have en hurtig opladningsevne. En hurtig opladningsevne hænger bl.a. sammen med en høj ion-ledningsevne. Andre faktorer kan være materialernes porøsitet; en højere porøsitet giver et højere overfladeareal hvorpå de kemiske reaktioner finder sted.
- Batteriet skal være termisk stabilt, dvs. have en høj brandsikkerhed såvel som en vis tolerance overfor kuldepåvirkninger, så det hverken spontant bryder i brand eller aflades for hurtigt ved koldt vejr.
- Batteriet skal nemt kunne genanvendes enten direkte eller ved at genanvende de enkelte råstoffer til ny produktion. Her er designet af batteriet afgørende. Det vigtigste er, at de enkelte komponenter nemt kan adskilles for at opnå en høj grad af genanvendelse uden væsentligt tab af kvalitet eller en unødigt omstændig proces.

Hvad består et batteri af?

Hele det samlede batteri består af det, der kaldes en "pack". Der er en beholder (8%), elektronik (9%), samt forskellige materialer, der køler (5%) og varmer (4%). Inden i pack'en findes modulerne (74%). I modulerne findes battericellerne (89%), der er forbundet af elektronik (6%) og holdt sammen af en beholder (2%). I selve battericellerne bliver strømmen genereret og opbevaret. Et batteris celler består af katoden (14% + 28%), anoden (21% + 17%), elektrolytter og separator (11%), samt en beholder til hver celle (9%).³⁴ I figurerne nedenfor er det eksemplificeret med udgangspunkt i NMC442G-batteritypen⁵.

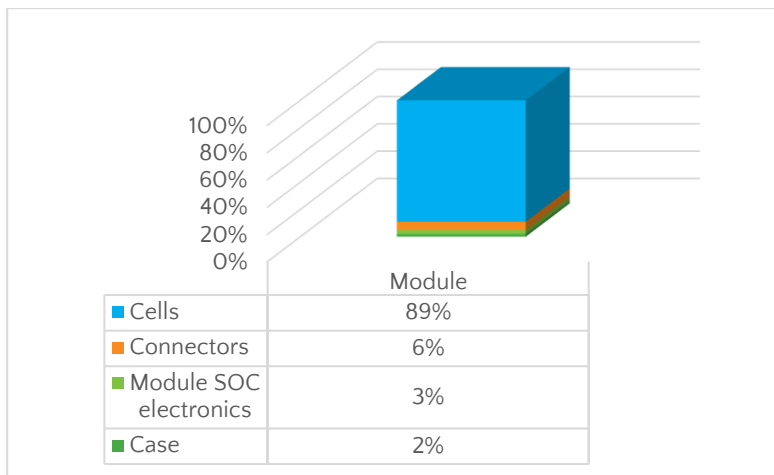


Figur 1 – Batteripack sammensætning (Kushnir et al. 2015, s. 10)

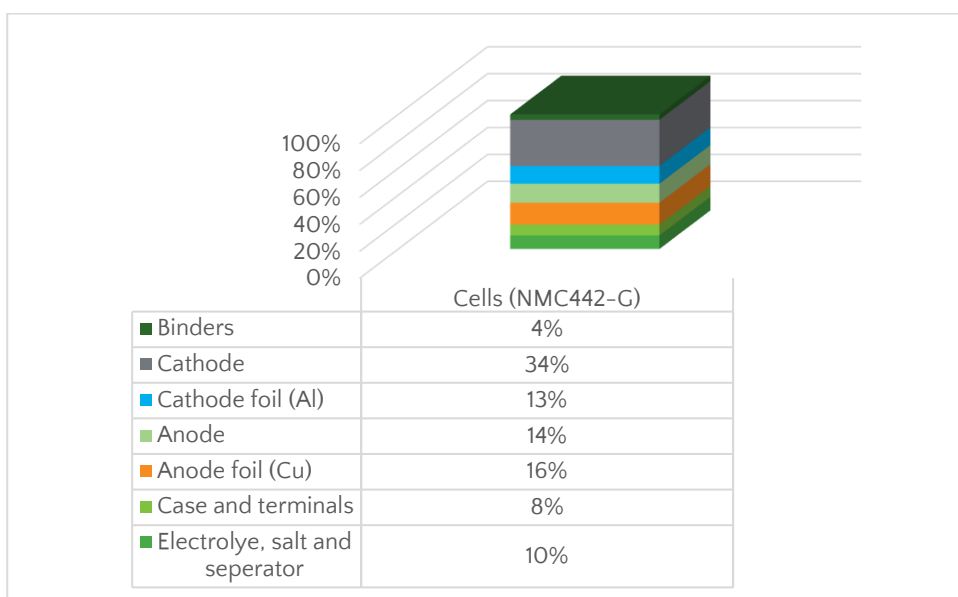
³ <https://www.anl.gov/science-101/batteries>

⁴ <https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html>

⁵ 'Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015 - Current State and Future Prospects', Kushnir et al., 2015, s. 10 & Appendix B – yderligere tal i dette afsnit baserer sig også på denne reference



Figur 2 – Batterimodul sammensætning (Kushnir et al. 2015, s. 10)



Figur 3 – Battericelle NMC442-G (Kushnir et al. 2015, Appendix B)

Forholdet mellem de enkelte dele er eksemplificeret ved et litium-ionbatteri af typen Litium Nikkel Mangan Kobolt Oxid (NMC), da dette er en af de pt. mest anvendte typer til transportmidler.

Katoden er batteriets positivt ladede del. Denne del af batteriet bestemmer batteriets kapacitet (kWh) og spænding (V). I den mest almindelige type elbilsbatteri, litium-ion-batterier, er katoden kilden til litium-ionerne (Li^+) i form af litium-oxid (Li_2O), som kan afgives (reduceres) til batteriets negativt ladede side, anoden. Katoden kan fx bestå af en blanding af litiumoxid, nikkel, mangan og kobolt. Jo mere litium, desto større kapacitet (kWh) og jo større potentialeforskel mellem katoden og anoden, desto højere spænding (V). Når batteriet aflades (bruger strøm) flyder litium-ionerne fra anoden til katoden gennem elektrolytterne. Det aktive materiale i katoden (litium-oxiden) udgør typisk 25–33% af battericellens masse, mens den ledende folie, typisk aluminium, udgør 13–16%.

Anoden er batteriets negativt ladede side. Her opbevares de litium-ioner, som katoden har frigivet. Når batteriet lades op, flyder litium-ionerne fra katoden til anoden gennem elektrolytterne. De frigives igen fra anoden (oxideres) og ledes tilbage til katoden. Bevægelsen af elektroner skaber strøm. Potentialeforskellen mellem katoden og anoden afgør batteriets spænding (målt i volt), altså den kraft hvorved elektronerne skubbes rundt i systemet.

Anoden består typisk af grafit, som er valgt grundet dets termiske stabilitet, robusthed og elektriske ledningsevne. Udover grafit kan der være tilsat silikone. Den ledende folie i anoden er typisk kobber. Det aktive materiale i anoden udgør typisk 10-16% og folien 18-27%. Der er således mere kobber end aktivt materiale.

Elektrolytter faciliterer, at den elektriske strøm kan løbe fra det katoden til anoden og visa versa og findes på begge sider af separationslaget. For den mest almindelige batteritype er dette en flydende væske, men for de såkaldte solid-state batterier flyder ionerne gennem en fast masse. Flydende væske leder bedre end fast masse, hvor modstanden er større. Elektrolytterne er typisk litiumsalte (fx LiPF₆, litiumhexafluorfosfat) i en organisk opløsning (ethylenkarbonat, dimethylenkarbonat, ethylmethylkarbot, vinylenkarbonat og andre tilsætninger afhængigt af producenten). Elektrolytter udgør typisk 10% af battericellens masse.

Separationslaget holder katoden og anoden adskilt fra hinanden. Denne membran består typisk af en form for syntetisk materiale såsom polyethylene (PE) og polypropylene (PP), men kan dog også være membraner i keramik eller fleksibel keramik.

Kassetten/holderen holder sammen på battericellen. De forskellige lag af katode + separator + anode svejses til terminaler og samles i beholderen. Udseendet og materialet afhænger af producentens designvalg, men kan både være en kasse eller en cylinder. Beholderen udgør typisk 10% af battericellens samlede masse.

Hvilke typer af batterier findes der?

Langt den mest udbredte batteritype til elektriske køretøjer er af typen litium-ion-batterier, der oprindeligt er udviklet til brug i forbrugerelektronik. Litium-ion-batterier lever op til mange af kriterierne for et batteri, der er velegnet til eldrevne transportmidler. Litium er ideelt, da det har en høj energitæthed; en lille mængde litium giver en stor effekt (kWh/kg). Desuden har litium den fordel, at det kan aflades meget (>85%) uden at det påvirker batteriets levetid negativt. Dette kan være et problem for andre batterityper. Litium-ion-batterier har altså en højere effektiv kapacitet. En anden fordel ved litiumbatterier er, at de kan oplades relativt hurtigt.

Hvorfor er litium så godt til batterier?

Det er grundet litiums fysiske egenskaber, at det er så velegnet til brug i batterier. Litium er det letteste metal, og det er samtidig et af de mest elektropositive grundstoffer. Elektropositivitet er defineret som et atoms tilbøjelighed til at afgive elektroner i form af positive kationer (i dette tilfælde Li^+). Elektropositivitet findes især hos gruppen af alkaline metaller, som litium også tilhører.

Litium har en molarmasse på 6,94 g/mol. Ét litiumatom kan indeholde én elektron, og der er 96.485 coulomber per mol elektroner. Én ampere svarer til én coulomb/sekund. Det svarer til 3,87 Ah (ampere hour) per gram litium, hvilket er det teoretiske maksimum. For et 3,7 V Li-NMC eller Li-NCA-batteri svarer det til 70 g litium per kWh eller 80 g/kWh for et 3,2 V LiFePO_4 batteri.¹ Et batteri vil aldrig nå op på 100% af den teoretiske effektivitet, så den reelle mængde litium i et batteri vil være højere.

Hvor meget litium, der er behov for, afhænger af effektiviteten. Selvom 100% er urealistisk, kan der hentes meget på at øge effektiviteten. Kushnir & Sandén⁶ estimerer ca. 160 g Li/kWh (ca. 850 g litiumkarbonat), hvilket svarer til det dobbelte af den teoretiske minimumsværdi. Dette vurderes til at være det bedste estimat, selvom et bredt spænd af værdier florerer i forskellige kilder.

Hvor meget litium, der skal bruges, afhænger af den ønskede batterikapacitet (kWh). Derfor kan det på kort sigt være problematisk, at markedet tenderer mod større batterier på 100 kWh eller mere, på trods af at langt mindre såsom 60-70 kWh rigeligt dækker de flestes kørselsbehov langt størstedelen af tiden.

Øvrige komponenter i batteriet kompenserer for nogle af ulemperne ved litium. Det handler især om at øge batteriets termiske og strukturelle kapacitet, så det kan op- og aflades mange gange uden at tage strukturel skade (forlænge levetiden) samt minimere brandrisiko.

Litumbatterier findes i flere afskygninger. De forskellige materialesammensætninger søger at udnytte forskellige potentialer og trade-offs. Hvad der udgør den bedste batteritype, afhænger således af hvilke parametre, man vægter højest. Anoden er så godt som altid grafit (måske suppleret med silikone) pakket ind i kobber. Det er i katodematerialet, at forskellene findes.

Den hidtil mest udbredte batteritype har været litium-nikkel-mangan-kobolt-batterier (NMC). Denne type lever op til mange af kriterierne for at være et godt batteri til transportsektoren, men indeholder også de dyre og problematiske råstoffer nikkel og kobolt. Nikkel er problematisk, da udvinding af forekomsterne foregår fra åbne miner med store konsekvenser for landskabet. Nikkel er desuden en stærk miljøgift. Kobolt er problematisk, da størstedelen af verdens kendte reserver (60%) findes i DDR Congo og pt. ofte udvindes under kritisable forhold. Både nikkel og kobolt forekommer som et biprodukt af hhv. jern og kobber/nikkel, hvorfor det prismæssigt er i konkurrence med disse materialer.

Af disse grunde er mange producenter de seneste år overgået til andre batterityper. Her er litium-jern-fosfat-typen (LFP) blevet populær. Især kinesiske producenter bruger LFP ligesom Teslas mindste modeller. Udfordringen er, at LFP endnu ikke kan erstatte de største batteristørrelser på tilfredsstillende vis. Her anvendes NMC og NCA fortsat.

På nuværende tidspunkt findes der ikke et kommercielt skaleret alternativ til litium, men natrium-ion være en mulig vej frem. Natrium-ion-batterier har en lavere energitæthed, pt. ca. 25% lavere end LFP-batterier, hvilket medfører en højere vægt og større batteripakker. Til gengæld er natrium langt billigere, mere tilgængeligt og mindre brandfarligt. Den eneste bil, som i dag har et natrium-ion-

⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420711000754>

batteri er den kinesiske bilproducent CATL's Sehol E10X med et natirum-jern-mangan-kobber-katode. Energitætheden er 120 Wh/kg.⁷

⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-21/electric-vehicle-batteries-of-the-future-may-be-lithium-less>

Tabel 1 – De mest almindelige litium-ionbatterityper og karakteristika

Batteritype	Katodemateriale	Karakteristika	Eksempler
Litium Nikkel Mangan Kobolt Oxid (NMC)	$\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$	<ul style="list-style-type: none"> - Indeholder nikkel og kobolt - Høje materialeomkostninger + Høj termisk og strukturel stabilitet + En af de mest anvendte batterityper + Enten høj specifik energi (kWh*h/kg) eller høj specifik effekt (kWh/kg) 	Nissan Leaf Mercedes-Benz EQS Tesla Model S m.fl.
Litium Jern Fosfat (LFP)	LiFePO_4	<ul style="list-style-type: none"> - Lavere spænding, lavere kapacitet og lavere energitæthed end NMC - Tåler ikke kulde så godt + Høj termisk stabilitet + Indeholder ikke kobolt og nikkel + Billige og tilgængelige materialer + Lang levetid + Kosteffektiv 	MG ZS EV BYD Atto 3 Tesla Model 3 & Y
Litium Nikkel Kobolt Aluminium Oxid (NCA)	$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$	<ul style="list-style-type: none"> - Indeholder nikkel og kobolt - Høje materialeomkostninger - Lavere sikkerhed + Høj energitæthed og spænding + Lang levetid 	Tesla Long Range & Performance Models
Natrium Jern Mangan		<ul style="list-style-type: none"> - Lav energitæthed + Billige og tilgængelige materialer + Performer bedre i kulde + Brandsikker 	Sehol E10X

Andre væsentlige teknologiske udviklinger er bl.a. indenfor elektrolytmaterialet, som i de nuværende batterier er flydende. Denne væske kan lække, hvis batteriet lider skade, men udgør også en brandfare. For at tage højde for denne brandfare, skal der tilføjes ekstra sikkerhedsudstyr. Både elektrolytvæsken og brandsikringen fylder. Derfor forskes der i udviklingen af såkaldte "solid state"-batterier, hvor elektrolytmassen er fast. Ved at bruge faste elektrolytter reduceres brandfaren og densiteten øges. Der skabes derfor mere plads til det aktive materiale.

Hvor mange råstoffer kræver et batteri?

Batteriet udgør typisk 20-25% af bilens vægt. For at eksemplificere, hvor mange råstoffer, der skal bruges på et batteri, tages der udgangspunkt i Kushnir et al. (2015, s. 10 & appendix B) tal for et

NMC442-G-batteri og Volkswagen ID.4⁸ (selvom denne bruger en senere batteritype, NMC712-G, antages de at være tilstrækkeligt sammenlignelige. Batteriet i en VW ID.4 vejer 493 kg og udgør 23% af bilens samlede vægt på 2.024 kg. Batteriets kapacitet er 82 kWh (dvs. 6 kg batteri giver 1 kWh).

Tabel 2 - Batteripakke VW ID.4 82 kWh for et NMC442-batteri

Bestanddel	Vægt %	Vægt kg
Beholder + kompressionsplader	8%	39,4
BMS + forbindelser	9%	44,3
Opvarmning	4%	19,7
Køling	5%	24,6
Moduler	74%	364,5

Tabel 3 - Batterimoduler VW ID.4 82 kWh for et NMC442-batteri

Bestanddel	Vægt %	Vægt kg
Beholder	2%	7,3
Modul SOC-elektronik	3%	10,9
Forbindelser	6%	21,9
Celler	89%	324,4

Tabel 4 - Battericeller VW ID.4 82 kWh for et NMC442-batteri

Bestanddel	Vægt %	Vægt kg
Elektrolytter, salte og separator	10%	32,4
Beholder og terminaler	8%	26
Anodefolie (copper)	16%	51,9
Anode (grafit)	14%	45,4
Katodefolie (aluminium)	13%	42,2
Katode (litiumoxid, nikkel, mangan og kobolt)	34%	110,3 (56,5 - 21,5 - 21,5 - 10,8)
Bindemiddel/lim	4%	13

De vigtige tal fra råstofperspektiv er mængden af kobber til anodefolien (51,9 kg), grafit til anoden (45,4 kg) og aluminium til katodefolien (42,2 kg). Når det kommer til katoden, er det mere vanskeligt, da den består af en blanding af litiumoxid, mangan, nikkel og kobolt. Forholdet mellem grundstofferne ligger i batteritypens navn. For at udføre beregningen er der taget udgangspunkt i et NMC442-batteri. Dvs. at *udover* litiumoxiden, forekommer de i et forhold 4:4:2.⁹

⁸ <https://motorandwheels.com/electric-car-batteries-weight/>

⁹ Husk at VW ID.4 reelt har et NMC712-batteri, altså et batteri med langt mindre mangan og kobolt. Batterifabrikkerne arbejder løbende på at nedbringe eller helt undvære de dyreste og mest problematiske mineraler.

For hver kWh kræves der 160 g rent litium. Til en VW ID.4 med 82 kWh vil det svare til 13 kg. Litium har en molarvægt på 6,94 g/mol, mens litiumoxid har en molarvægt på 29,88 g/mol. Litiumoxid er altså fire gange så tungt. I alt vil det svare til 56,5 kg litiumoxid. Ud af en katode på 110,3 kg er der 52,8 kg tilbage fordelt på 40% nikkel, 40% mangan og 20% kobolt; 21,5 kg nikkel, 21,5 kg mangan og 10,8 kg kobolt.

De tilsvarende tal beregnes for kg/kWh for at kunne sammenligne med andre batteristørrelser.

Tabel 5 - Battericelle VW ID.4 1 kWh for et NMC442-batteri

Bestanddel	Vægt kg/kWh
Elektrolytter, salte og separator	0,4
Beholder og terminaler	0,3
Anodefolie (kobber)	0,6
Anode (grafit)	0,6
Katodefolie (aluminium)	0,5
Katode (litiumoxid, nikkel, mangan og kobolt)	1,4 (0,7 - 0,3 - 0,3 - 0,1)
Bindemiddel/lim	0,2
TOTAL	4

En vigtig pointe er, at de påkrævede råstoffer ikke forekommer i koncentrerede mængder. Når 1 kg kobber skal mines, er der reelt set mange flere kg sten og jord, som skal graves op. Ét batteri kan derfor kræve mange tons opgravet materiale. I et eksempel udregnes den totale mængde til 10 tons.¹⁰

Tabel 6 - Den opgravede mængde versus råstofudbyttet

Råstof	Typisk indhold i mineforekomster, %	Kg/kWh	Mængde der skal mines op for at fremstille 1 kWh, kg
Kobber ¹¹	0,7%	0,6	85,7
Grafit ¹²	8%	0,6	7,5
Aluminium ¹³	15% er bauxit 40% af bauxit er aluminium	0,5	8,33
Litiumcarbonat	1% litiumcarbonat 19% litiumcarbonat til litium	0,7	368,4
Nikkel ¹⁴	1,5%	0,3	20

¹⁰ <https://twitter.com/DavidLund6/status/1596926081818206208>

¹¹ https://serc.carleton.edu/quantskills/activities/botec_copper.html#:~:text=Rocks%20mined%20for%20copper%20typically,copper%20deposits%20of%20the%20world

¹² <https://www.usgs.gov/data/graphite-deposits-united-states>

¹³ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/aluminum-facts/20510> & <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/bauxite>

¹⁴ https://en.m.wikipedia.org/wiki/Lateritic_nickel_ore_deposits

Mangan ¹⁵	25%	0,3	1,2
Kobolt ¹⁶	<i>Biprodukt ved kobberproduktion. Kræver ikke yderligere opgravning</i>		

For indeværende er mineindustrien en industri, der er drevet af fossile brændsler. Det er sandsynligvis meget vanskeligt at omstille denne sektor, da aktiviteterne foregår i øde områder og i dele af verden, hvor der ofte ikke er infrastruktur til at trække strøm, og maskinerne er særdeles energikrævende, hvorfor de ikke er velegnede til direkte elektrificering.

Udvinding og raffinering af råstoffer

Litium

Litium er grundstof nr. 3 i det periodiske system. Litium er det letteste grundstof, som stadig er fast ved stuetemperatur og vejer 0.534 g/cm³. Det er et alkalisk metal med en høj reaktivitet og meget gode strøm- og varmeledende egenskaber, hvilket dog også gør det letantændeligt. Letheden og den høje ledeevne gør litium ideelt til batterier, men ikke uden udfordringer som fx brandfare.

Grundet den høje reaktivitet forekommer litium ikke frit i naturen, men indgår i forbindelser med andre grundstoffer. Et eksempel er havvand (i form af litiumhydroxid, LiOH), hvor litiumindholdet er 0,14 – 0,25 ppm. Dette kan være så højt som 7 ppm ved hydrotermiske ventiler, altså geotermiske kildevæld på havbunden. I jordens kappe udgør litium 0,002%.

Litium forekommer i over 145 mineraler, men udvindes kun kommercielt fra fem af disse.

Når litium skal udvindes, findes der to primære metoder:

- 1) Saltvandsudvinding.¹⁷ Der findes forskellige kilder til at udvinde litium på denne måde. Den primære metode er fra underjordiske kilder af salt og saltvand i aride områder højt oppe i Andesbjergene ('salars' i Bolivia, Argentina og Chile) samt i Kina. Det saltholdige vand pumpes op i nogle kar og vandet fordampes i det tørre klima. Således opkoncentreres litium i det tilbageblivende salt. En anden metode er udvinding direkte fra almindeligt saltvand, men denne metode er endnu ikke fuldt udviklet til at skalere kommercielt, da litiumindholdet er lavere og processen er mere energikrævende og kompliceret. Bl.a. forudsætter en bæredygtig udvinding, at havvandet udledes igen på forsvarlig vis. Der er her potentialer for en (stort set) CO₂-neutral udvinding afhængigt af energikilden (fx geotermi eller atomkraft). Der eksperimenteres også med denne metode ved geotermiske forekomster¹⁸, da litiumindholdet er højere og energikilden er "indbygget". Efter opkoncentrering følger forskellige former for mekanisk og kemisk behandling, hvilket resulterer i slutprodukterne litiumcarbonat (Li₂CO₃), litiumhydroxid (LiOH) og litiumklorid (LiCl).

¹⁵ <https://www.manganesenergycorp.com/manganese-mining-and-processing-for-investors-explained/#:~:text=Manganese%20ores%20generally%20contain%2025,or%20hydroxide>

¹⁶ <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/cobalt-ore>

¹⁷ <http://arithmetek.com/publications/Extraction%20of%20Lithium%20from%20Brine%20-%20Old%20and%20New%20Chemistry.pdf#:~:text=Established%20technology%20for%20extracting%20lithium%20from%20salar%20brines,sulphate%3B%20Bischoffite%20and%20lithium%20carnalite%20%28LiCl.MgCl2.7H2O%29>

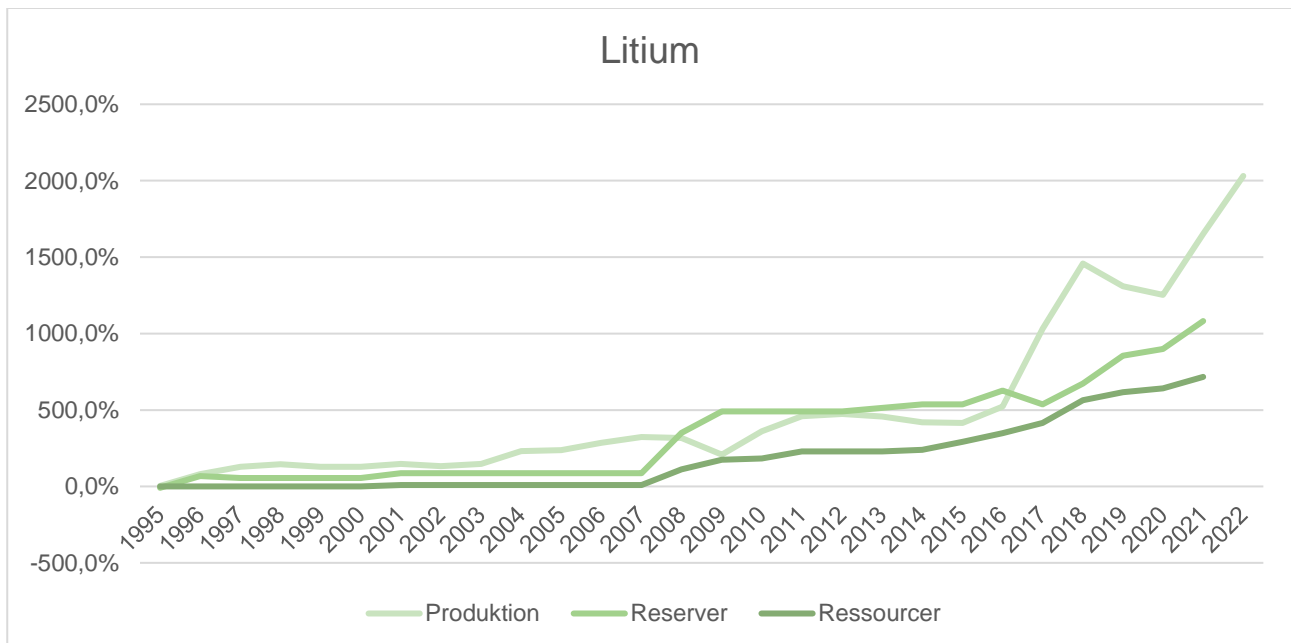
¹⁸ <https://www.greenbiz.com/article/can-closed-loop-battery-recycling-and-geothermal-lithium-help-solve-supply-crunch>

- 2) Malmudvinding. Denne proces er kompleks og energikrævende. Visse magmabjergarter indeholder fx spodumen, det hyppigst forekommende mineral hvorfra litium kan udvindes. Ved årer af høj kvalitet indeholder spodumen 6% litium. Litiumindholdet trækkes ud gennem knusning og opvarmning (250 grader C), nedsænkning i svovlsyre og andre former for mekanisk og kemisk påvirkning til det ønskede resultat opnås. Det færdige produkt er litiumsulfat (Li₂SO₄). Denne type udvinding forekommer primært i Australien med mindre forekomster i Brasilien, Portugal, Sydafrika og Kina. Udvinning forventes at være på vej i Nordamerika og Finland¹⁹.

United States Geological Survey (USGS, 2020) opgør hvert år verdens produktion, reserver og ressourcer af kendte forekomster af en lang række stoffer. Forskellen på reserver og ressourcer er, at reserver er økonomisk rentable at udvinde med kendte metoder og teknologier, mens ressourcer ikke er det.

Som det bliver mere økonomisk rentabelt at udforske nye ressourcer og metoder til udvinding og desuden genanvendelse, vil den samlede ressource stige. Især ressourcerne på saltsletter er svære at vurdere. Værdierne er således derfor udtryk for et øjebliksbillede, og USGS m.fl. forventer ingen mangel på litium på verdensplan. Herunder ses tallene fra USGS for litium fra 1996-2022, hvor man kan se, at som efterspørgslen stiger fra sidst i 00'erne sker der en udvikling i ressourcer, reserver og produktion. Kurverne følges dog ikke perfekt ad, hvilket er et udtryk for, at det kræver en indsats at udforske, udvinde og raffinere.

Her følger opgørelsen for litium. Verdens ressourcer vurderes til at være 98.000.000 t, hvoraf 26.000.000 t er i tilgængelige reserver og 130.000 t blev udvundet i 2022. Det ses, at udviklingen i ressourcer og reserver stiger sammen med produktionen, men de seneste år er produktionen steget væsentligt mere, hvilket viser behovet for at opdage og gøre mere litium tilgængeligt.



Figur 4 - Udvikling i litium ressourcer, reserver og produktion fra 1996-2022 (USGS)

Tabel 7 - USGS (2023) vurdering af litium for 2022

Land	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]	% ressourcer
Argentina	6.200	4,8%	2.700.000	10,4%	20.000.000	20,4%

¹⁹ <https://www.sttsystems.com/solutions/lithium-extraction/>

Australien	61.000	46,9%	6.200.000	23,8%	7.900.000	8,1%
Bolivia	-	-	-	-	21.000.000	21,4%
Brasilien	2.200	1,7%	250.000	1,0%	730.000	0,7%
Canada	500	0,4%	930.000	3,6%	2.900.000	3,0%
Chile	39.000	30%	9.300.000	35,8%	11.000.000	11,2%
Kina	19.000	14,6%	2.000.000	7,7%	3.000.000	3,1%
Tjekkiet	-	-	-	-	1.300.000	1,3%
DR Congo	-	-	-	-	3.000.000	3,1%
Finland	-	-	-	-	68.000	0,1%
Tyskland	-	-	-	-	3.200.000	3,3%
Ghana	-	-	-	-	180.000	0,2%
Kasakh- stan	-	-	-	-	50.000	0,1%
Mali	-	-	-	-	840.000	0,9%
Mexico	-	-	-	-	1.700.000	1,7%
Namibia	-	-	-	-	230.000	0,2%
Peru	-	-	-	-	880.000	0,9%
Portugal	600	0,5%	60.000	0,2%	270.000	0,3%
Serbien	-	-	-	-	1.200.000	1,2%
Spanien	-	-	-	-	320.000	0,3%
USA	N/A	-	1.000.000	3,8%	12.000.000	12,2%
Zimbabwe	800	0,6%	310.000	1,2%	690.000	0,7%
Østrig	-	-	-	-	60.000	0,1%
Andre lande	-	-	3.300.000	12,7%	-	-
Total	130.000	100%	26.000.000	100%	98.000.000	100%

Verdens største forekomster (ressourcer) findes på saltsletterne i Bolivia (21,4%), Argentina (20,4%) og Chile (11,2%) i den såkaldte Litiumtrekant. Øvrige større forekomster findes i USA (12,2%), Australien (8,1%), Kina (6,9%), Canada (3,0%) og Tyskland (3,3%). Kun ni lande havde en produktion i 2022. Verdens største uudnyttede litiumressource er i Bolivia, som endnu ikke har en produktion, men regeringen har investeret tungt og en produktion forventes at være på vej.²⁰ Blandt de producerende lande er Australien (46,9%), Chile (30%), Kina (14,6%) og Argentina (4,8%) førende. Når det gælder vurderingen af nuværende reserver, står Chile (35,8%), Australien (23,8%), Argentina (10,4%) og Kina (6,9%) ud.

Iflg. USGS's opgørelse blev 80% af litiumproduktionen i 2022 anvendt til batteriproduktion. Andelen forventes at stige med efterspørgslen.

²⁰ <https://www.wsj.com/articles/electric-cars-batteries-lithium-triangle-latin-america-11660141017> & <https://www.nytimes.com/2009/02/03/world/americas/03lithium.html?ref=world>

Litiumproduktion er ikke uproblematisk, da det påvirker miljøet på flere måder. Ved udvinding fra saltsletter fordampes meget vand fra allerede aride regioner, ved malmudvinding ændres landskabet markant og ved udvinding direkte fra havvand kan der ske saltindtrængning i grundvand m.m., hvis havvandet ikke tilbageføres forsvarligt. Desuden bruges der store dele af magnesium, kalk og forskellige typer af syre, der kan lækkes til vandmiljøet. Miljøforurening af vand er en væsentlig udfordring.

Hvis vi antager, at der også går noget litium tabt i raffineringsprocessen, kan en rimelig antagelse være, at der skal udvindes 200 g litium fra jorden for at få 160 g/kWh²¹. Dette vil i mindre grad gælde for genanvendt litium.

Nikkel

Nikkel er grundstof nr. 28 i det periodiske system. Nikkel vejer 8,908 g/cm³ og er et stabilt og modstandsdygtigt materiale, som ikke oxiderer nemt. Derfor anvendes det især i produktionen af rustfrit stål. Det har desuden høj elektrisk og termisk ledningsevne, samt en vis modstandskraft overfor krakelering og deformation, hvilket gør det attraktivt at bruge til batterier. I litium-ion batterier anvendes nikkel i katoden.

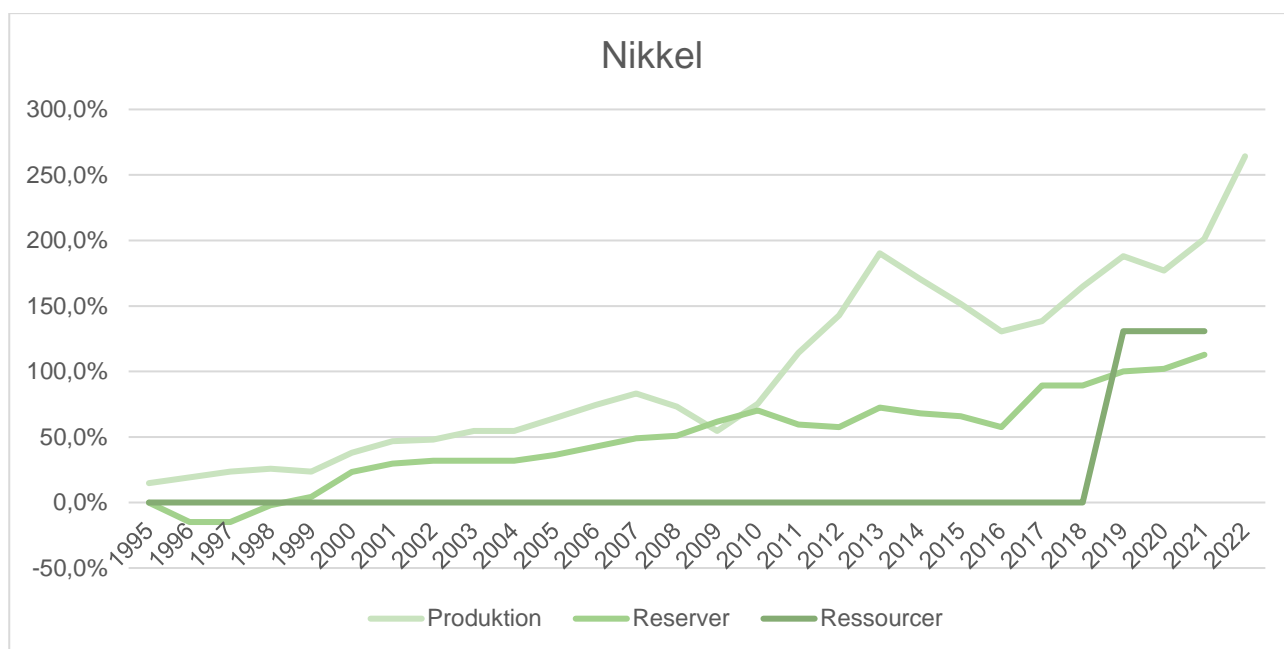
Rene forekomster af nikkel findes kun i små mængder i jordens kappe, ofte i kombination med fx jern og svovl især i våde og varme tropiske områder med meget mekanisk og kemisk nedbrydning (23,5. breddegrader nord og syd for Ækvator). Her forekommer det oftest over områder af flere hundreder meters bredde, men kun snesevis af meters dybde (lateritter). Når nikkelholdige depoter mines kan det derfor påvirke landskabet væsentligt. Den mest gængse udvindingsmetode er gennem open-pit miner og udvaskning in-situ. I nikkelholdige depoter findes der typisk 1,3%-1,8% eller mere nikkel²². Når nikkel er udvundet, skal det tørre ned til et væskeindhold fra ca. 40% til under 35% før raffineringsprocessen. Når nikkel skal udvindes, findes der to primære metoder:

- 1) Malmudvinding fra åbne miner.
- 2) Raffinering fra "nickel-pig-iron" (ferro-nikkel), hvor nikkel er et biprodukt fra fremstillingen af jern. Denne metode er meget energikrævende. Hvorvidt denne metode anvendes, afhænger af prisen på verdensmarkedet for nikkel generelt. Hvis prisen er høj nok, vil der blive produceret ferro-nikkel. En ulempe ved denne metode er, at de mængder kobolt, der er i udgangsmaterialet, går tabt.

Nikkel er en stærk miljøgift, hvorfor det vil være en fordel over tid at substituere med andre materialer. Når man ser på ressourcer, reserver og produktion af nikkel fra 1996-2022 kan man se, at produktion og reserver stiger hurtigere end ressourcer. Det er nok mest af alt et udtryk for, at der findes rigeligt med nikkel ift. den nuværende efterspørgsel.

²¹ <https://www.linkedin.com/pulse/part-3-lithium-cobalt-risky-materials-paul-martin/>

²² <https://www.geologyforinvestors.com/nickel-laterites/>



Figur 5 - Udvikling i nikkel ressourcer, reserver og produktion fra 1996-2022 (USGS)

Nedenfor ses USGS' opgørelse over produktion og reserver af nikkel for 2022. Verdens ressourcer vurderes til at være 300.000.000 t, hvoraf 103.000.000 er i tilgængelige reserver og 3.300.000 blev udvundet i 2022.

Tabel 8 – USGS (2023) vurdering af nikkel for 2022

Land	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]
USA	18.000	0,5%	370.000	0,4%	-
Australia	160.000	4,9%	21.000.000	20,6%	-
Brasilien	83.000	2,5%	16.000.000	15,7%	-
Canada	130.000	4,0%	2.200.000	2,2%	-
Kina	110.000	3,4%	2.100.000	2,1%	-
Indonesien	1.600.000	48,8%	21.000.000	22,3%	-
Ny Caledonien (Fransk Polynesien)	190.000	5,8%	7.100.000	20,6%	-
Filippinerne	330.000	10,1%	4.800.000	7,0%	-
Rusland	220.000	6,7%	7.500.000	4,7%	-
Øvrige lande	440.000	13,4%	20.000.000	19,6%	-
Total	3.300.000	100%	103.000.000	100%	300.000.000

Indonesien er en af vigtigste globale kilder til nikkel med over en femtedel af verdens reserver (22,3%) og halvdelen af produktionen i 2022 (48,4%). Landet har tidligere haft et eksportforbud²³, hvilket demonstrerer den geopolitiske risiko ved råstoffet. Andre væsentlige reserver findes i Australien (20,6%), Ny Caledonien (20,6%), Brasilien (15,7%), Filippinerne (7,0%) og Rusland (4,7%). Samtidig

²³ <https://www.reuters.com/article/us-indonesia-mining-exports/indonesia-eases-export-ban-on-nickel-ore-bauxite-idUSKBN14W1TZ>

findes de største produktioner næst efter Indonesien i Filippinerne (10,1%), Rusland (6,7%), Ny Caledonien (5,8%), Australien (4,9%), Canada (4%) og Kina (3,4%).

Ingen af de væsentligste kilder er i Europa, bortset fra Rusland (Uralbjergene), der ikke kan betragtes som en stabil forsyningskilde til en europæisk batteriproduktion af geopolitiske årsager. Et godt samarbejde med Australien, Canada og øvrige lande kan være vigtigt for at sikre nikkel til europæisk forbrug for fremtiden. Kilderne med de største globale potentialer findes i Australien og Brasilien.

Kobolt

Kobolt er det 27. grundstof i det periodiske system lige ved siden af nikkel, som det også ofte forekommer sammen med. Kobolt mines ud af jordens kappe, hvoraf det i alt udgør 0,0029%, i form af kobalit (CoAsS) og er almindeligvis et biprodukt fra kobber- og nikkelminer, hvor det typisk udgør 0,04% per ton. Kobolt forekommer ikke frit i naturen, da det vil reagere med atmosfærens ilt eller havets klorid. Kobolt er et vigtigt råstof til nuværende litium-ionbatterier, men bruges kun i små mængder. Det er for nyligt påvist, at katoder med et højere indhold af kobolt hurtigere oplever strukturel nedbrydning. Et skift væk fra kobolt kan således være en god ting for batteriers levetid.²⁴

Kobolt er et kontroversielt mineral idet 60% af verdens kendte lagre findes i Congo, hvor der er problemer med arbejdernes forhold, børnearbejde, fældning af regnskov og andre habitater for fredede dyr²⁵. Desuden er kobolt miljøgiftigt i høje koncentrationer.

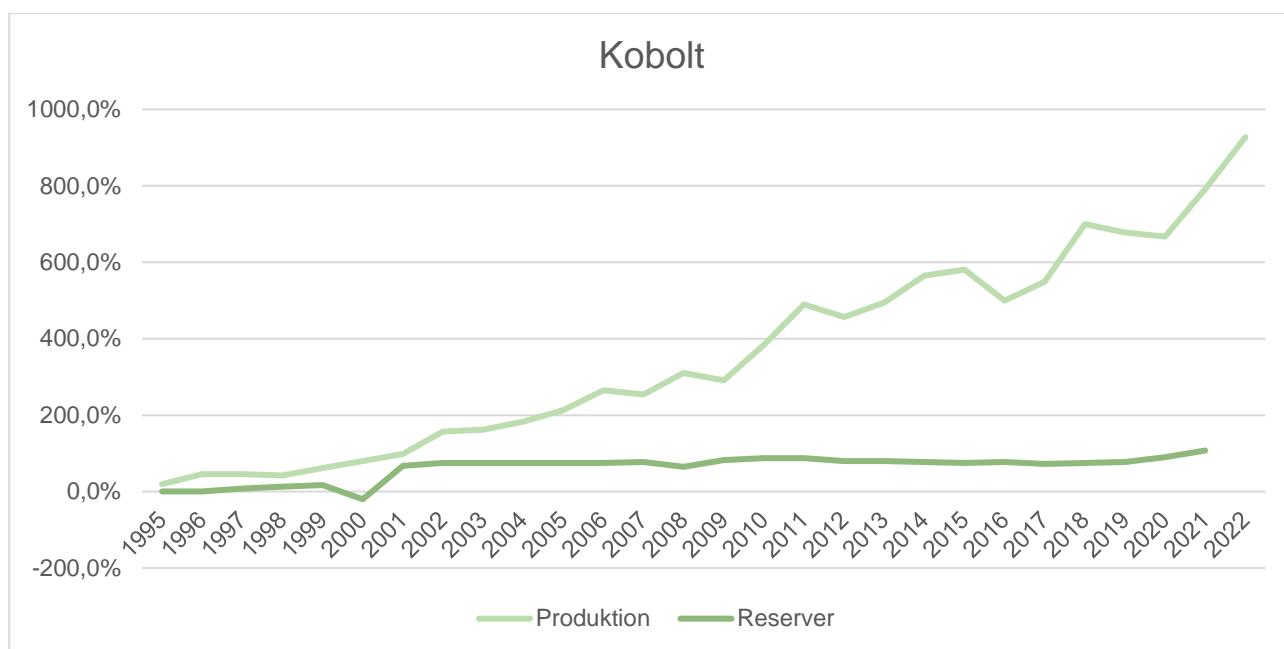
Når kobolt skal udfældes, findes der flere metoder for at skille det fra kobber og nikkel. Det indebærer bl.a. opvarmning, som omdanner til koboltsulfat, mens kobber og jern efterlades til at oxidere (ruste). Dertil behandles materialet med vand og syre.

Fremtidige alternative kilder til kobolt forventes at kunne findes i fx havbunden i skorpen eller ved hydrotermiske ventiler, men minedrift under havets overflade er kompleks, omkostningstungt og kan have negative konsekvenser for havmiljøet.

Udfordringen mht. reserveerne af kobolt er, at det ofte forekommer som et biprodukt af kobber- eller nikkelproduktion, hvilket gør det sårbart ift. efterspørgsel og pris på disse råstoffer. Derudover anvendes kobolt til mange andre industrielle formål såsom til rustfri belægning, temperaturmodstand, hårdhed, permanent magnetisme, farver glas og keramik.

²⁴ <https://techxplore.com/news/2021-03-role-cobalt-rechargeable-batteries-effective.html>

²⁵ <https://www.somo.nl/community-rights-widely-abused-by-cobalt-mining-in-democratic-republic-of-congo/>



Figur 6 - Udvikling i koboltreserver og -produktion fra 1996-2022 (USGS)

Nedenfor ses USGS' opgørelse over produktion og reserver af kobolt for 2022. Verdens ressourcer vurderes til at være 25.000.000 t i terrestriske lagre samt mere end 120.000.000 t i havbunden. Af verdens ressourcer er 8.300.000 t tilgængelige reserver og 190.000 t blev udvundet i 2022.

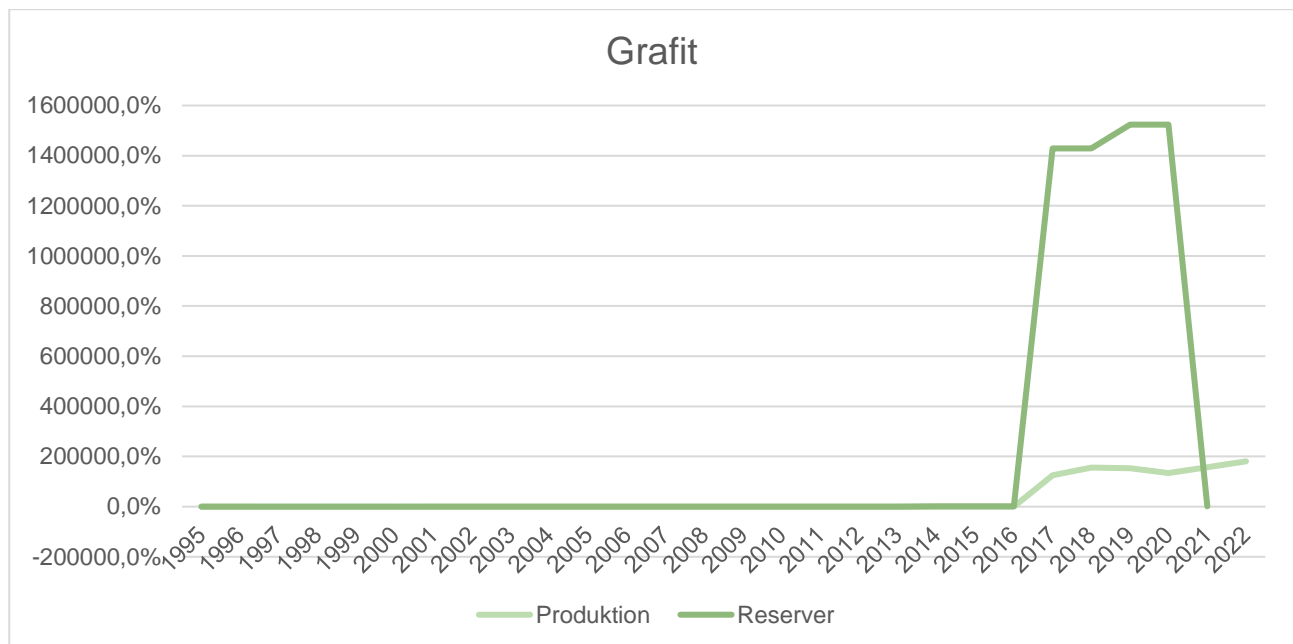
Tabel 9 - USGS (2023) vurdering af kobolt for 2022

Land	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]
USA	800	0,4%	69.000	0,8%	-
Australien	5.900	3,1%	1.500.000	18,1%	-
Canada	3.900	2,1%	220.000	2,7%	-
Kina	2.200	1,2%	140.000	1,7%	-
Congo (Kinshasa)	130.000	68,4%	4.000.000	48,2%	-
Cuba	3.800	2,0%	500.000	6,0%	-
Indonesien	10.000	5,3%	600.000	7,2%	-
Madagascar	3.000	1,6%	100.000	1,2%	-
Morokko	2.300	1,2%	13.000	0,2%	-
Papua Ny Guinea	3.000	1,6%	47.000	0,6%	-
Fillippinerne	3.800	2,0%	260.000	3,1%	-
Rusland	8.900	4,7%	250.000	3,0%	-
Tyrkiet	2.700	1,4%	36.000	0,4%	-
Andre lande	5.200	2,7%	610.000	7,3%	-
Total	190.000	100%	8.300.000	100%	25.000.000 (terrestrisk)

>120.000.000
(havbund)

Grafit

Grafit er karbonbaseret og essentielt set det samme som spidsen af en blyant. Materialet er billigt og vidt tilgængeligt. Det findes både i naturen og kan fremstilles kunstigt. Karbon kan være organisk eller uorganisk. Det består ofte af en kombination af petroleum, naturgas og/eller biomasse. Grafit bruges til at lave anoden i batteriet.



Figur 7 - Udvikling i grafitreserver og -produktion fra 1996-2022 (USGS)

Nedenfor ses USGS' opgørelse over produktion og reserver af grafit for 2022. Verdens ressourcer vurderes til at være mere end 800.000.000 t, hvoraf 330.000.000 er i tilgængelige reserver og 1.300.000 blev udvundet i 2022.

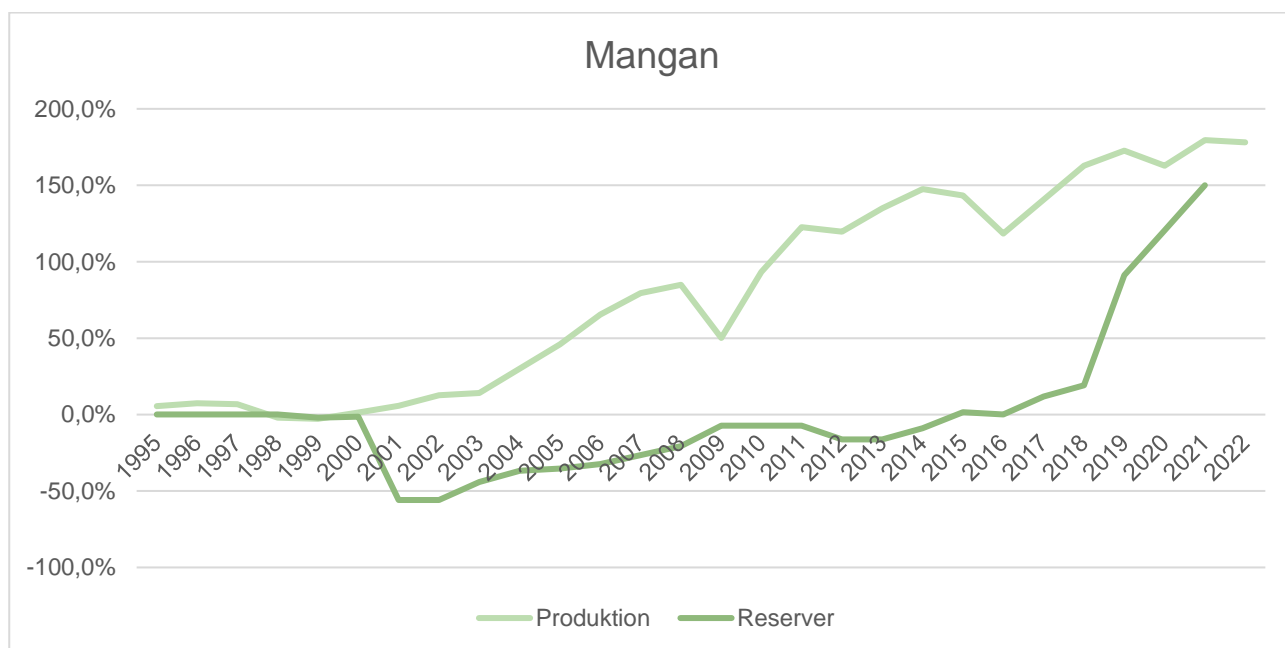
Tabel 10 - USGS (2023) vurdering af grafit for 2022

Land	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]
USA	-	-	-	-	-
Østrig	500	0,0%	-	-	-
Brasilien	87.000	6,7%	74.000.000	22,4%	-
Canada	15.000	1,2%	-	-	-
Kina	850.000	65,4%	52.000.000	15,8%	-
Tyskland	250	0,0%	-	-	-
Indien	8.300	0,6%	8.000.000	2,4%	-
Nordkorea	8.100	0,6%	2.000.000	0,6%	-
Syd Korea	17.000	1,3%	1.800.000	0,5%	-
Madagascar	110.000	8,5%%	26.000.000	7,9%	-
Mexico	1.900	0,1%	3.100.000	0,9%	-

Mozambique	170.000	13,1%	25.000.000	7,6%	-
Norge	10.000	0,8%	600.000	0,2%	-
Rusland	15.000	1,2%	-	-	-
Sri Lanka	3.000	0,2%	1.500.000	0,5%	-
Tanzania	8.000	0,6%	18.000.000	5,5%	-
Tyrkiet	2.900	0,2%	90.000.000	27,3%	-
Ukraine	3.000	0,2%	-	-	-
Uzbekistan	-	-	7.600.000	2,3%	-
Vietnam	5.000	0,4%	-	-	-
Total	1.300.000	100%	330.000.000	100%	>800.000.000.

Mangan

Mangan er det 25. grundstof i det periodiske system. Det er et gråt metal af en vis hårdhed, som minder om jern, men er mere skrøbeligt. Mangan anvendes primært til jern- og stålproduktion, hvor det er med til at gøre stål rustfrit, hårdt og slidstærkt. Mangan er vidt tilgængeligt og billigt. Det udvindes ved minedrift primært i Sydafrika og Ukraine, men også Kina, Australien, Brasilien, Gabon, Indien og Mexico. Der findes ligeledes mange forekomster på havbunden. I naturen er mangan et mikronæringsstof, men i større mængder er det f.eks. neurotoksisk for mennesker, hvilket kan vise sig problematisk ved minedrift.



Figur 8 - Udvikling i manganreserver og -produktion fra 1996-2022 (USGS)

Nedenfor ses USGS' opgørelse over produktion og reserver af grafit for 2022. Det er vanskeligt at vurdere verdens samlede ressourcer af mangan, da den er tyndt spredt ud. I 2022 var der 1.700.000 t i reserverne og 20.100 t blev produceret. Ressourcerne er ikke vurderet.

Tabel 11 - USGS (2023) vurdering af mangan for 2022

Land	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]
------	----------------	--------------	--------------	------------	----------------

USA	-	-	-	-	-
Australien	3.260	16,2%	270.000	15,9%	-
Brasilien	542	2,7%	270.000	15,9%	-
Burma	206	1,0%	N/A	-	-
Kina	991	4,9%	280.000	16,5%	-
Elfenbensky- sten	362	1,8%	N/A	-	-
Gabon	4.340	21,6%	61.000	3,6%	-
Georgia	224	1,1%	N/A	-	-
Ghana	940	4,7%	13.000	0,8%	-
India	453	2,3%	34.000	2,0%	-
Kazaksthan	90	0,4%	5.000	0,3%	-
Malaysia	356	1,8%	N/A	-	-
Mexico	226	1,1%	5.000	0,3%	-
Sydafrika	7.200	35,8%	640.000	37,6%	-
Ukraine	600	3,0%	140.000	8,2%	-
Vietnam	146	0,7%	N/A	-	-
Andre lande	150	0,7%	N/A	-	-
Total	20.100	100%	1.700.000	100%	N/A

Kobber

Kobber er det 29. grundstof i det periodiske system.

Det er et blødt metal med meget høj elektrisk og termisk ledningsevne, faktisk den højeste for rene metaller ved stuetemperatur, hvilket gør det så populært at anvende til ledninger, elektriske apparater mv. Dette forklarer den høje efterspørgsel på materialet.

Kobber forekommer i jordens kappe i en koncentration af cirka 50 ppm og er dermed det 25. hyppigst forekommende element deri. Dog er det langt fra alt, som er økonomisk rentabelt at udvinde.

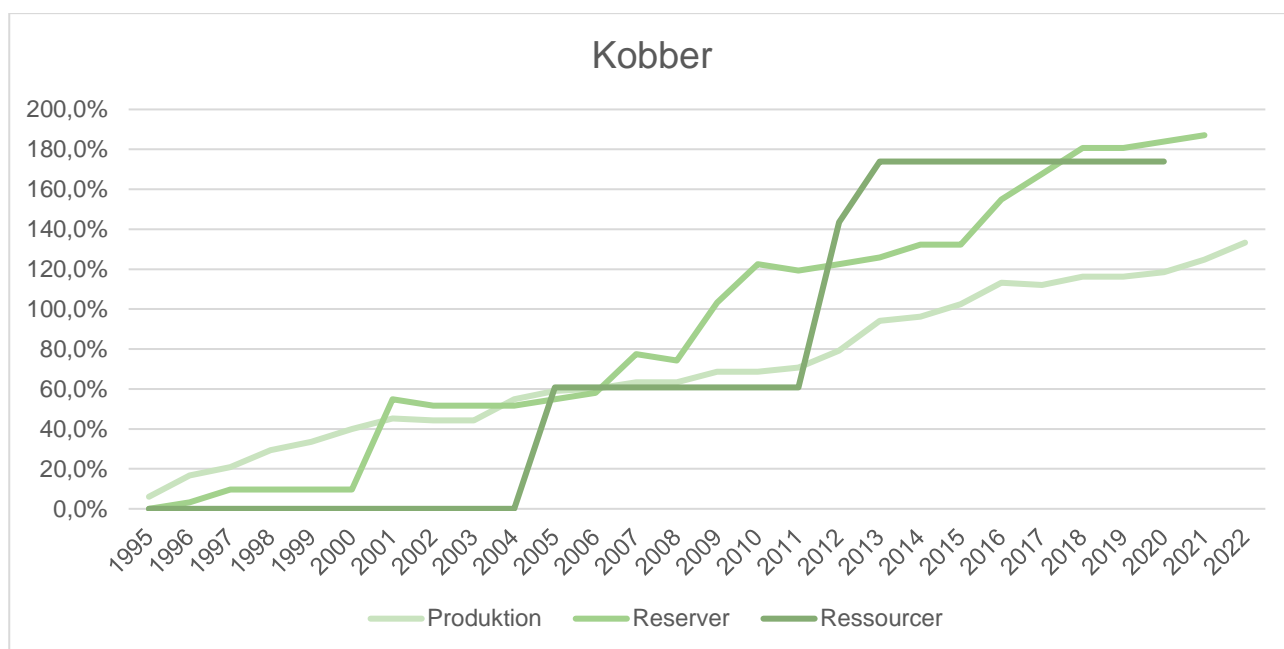
Det forekommer i små mængder som fritliggende kobberåre, men udvindes oftest industrielt som kobbersulfat (CuSO₄) fra åbne miner, som indeholder 0,4-1% kobber.

Store forekomster findes i Nord- og Sydamerika, herunder Chile, USA og Peru, men der findes også større forekomster i f.eks. Indonesien. Andre kilder kan være såkaldte polymetalliske nuder på bunden af Stillehavet ved 3.000-6.500 meters dybde, hvor der desuden kan findes andre metaller såsom kobolt og nikkel.

En særdeles positiv egenskab ved kobber er, at det kan genanvendes 100% uden tab af kvalitet.

Kobber er energiintensivt at producere, men kommer fra bauxit, som er jord – ikke knaphed på materialer. Kobber anvendes i katoden.

Udviklingskurven på for kobberressourcer, -reserver og -produktion er nok et af de tydeligste eksempler på, at ressourcer og reserver følger efterspørgslen. De senere år er vurderingen af ressourcer ikke opjusteret, men det skyldes, at der ikke er et incitament til at opdage nye ressourcer på nuværende tidspunkt.



Figur 9 - Udvikling i kobberressourcer, -reserver og -produktion 1996-2022 (USGS)

Nedenfor ses USGS' opgørelse over produktion og reserver af kobber for 2022. Verdens identificerede ressourcer vurderes til at være mere end 2.100.000.000 t samt yderligere 3.500.000.000 t uidentificeret kobber. I 2022 var 890.000 t i tilgængelige reserver, 22.000 t blev udvundet fra miner og 26.000 t kom fra raffinaderiproduktion.

Tablet 12 - USGS (2023) vurdering af kobber for 2022

Land	Mineproduktion [t]	% produktion	Raffinaderiproduktion [t]	% raffinering	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]
USA	1.300	5,9%	1.000	3,8%	44.000	4,9%	-
Australien	830	3,8%	380	1,5%	97.000	10,9%	-
Canada	530	2,4%	310	1,2%	7.600	0,9%	-
Chile	5.200	23,6%	2.100	8,1%	190.000	21,3%	-
Kina	1.900	8,6%	11.000	42,3%	27.000	3,0%	-
Congo (Kinshasa)	2.200	10%	1.700	6,5%	31.000	3,5%	-
Tyskland	-	-	620	2,4%	-	-	-
Indonesien	920	4,2%	2,4%	1,2%	24.000	2,7%	-
Japan	-	-	1.600	6,2%	-	-	-
Kasakhstan	580	2,6%	510	2,0%	20.000	2,2%	-
Korea	-	-	660	2,5%	-	-	-

Mexico	740	3,4%	470	1,8%	53.000	6,0%	-
Peru	2.200	10,0%	290	1,1%	81.000	9,1%	-
Polen	390	1,8%	590	2,3%	30.000	3,4%	-
Rusland	1.000	4,5%	1.100	4,2%	62.000	7,0%	-
Zambia	770	4,2%	350	1,3%	19.000	2,1%	-
Andre lande	3.400	15,5%	3.000	11,5%	200.000	22,5%	-
Total	22.000	100%	26.000	100%	890.000	100%	2.100.000.000 (identificerede) 3.500.000.000 (uidentificerede)

Genanvendelse

At gå bort fra kobolt og nikkel som indhold i batterier er generelt godt, men gør også genanvendelse mindre attraktivt, da de øvrige materialer ikke er lige så værdifulde. Krav om producentansvar for end-of-life for batterier er nødvendigt for at tilskynde til genanvendelse.

Dette understøttes bl.a. af Batteridirektivet²⁶, som er en del af EU's Green Deal og Strategic Action Plan on Batteries.²⁷ Formålet er at styrke det indre marked gennem fælles regler, promovere en cirkulær økonomi og reducere negative miljømæssige og sociale konsekvenser gennem hele batteriets levetid. Reguleringen stiller krav til bæredygtighed, afmærkning af batterier og krav til end-of-life-håndtering.

Når det gælder genbrug og genanvendelse af batterier er der pt. flere muligheder.^{28 29 30} Kushnir et al. (2015) har sammenfattet en god introduktion til de forskellige former for genbrugsteknologier, om end der er sket yderligere udviklingen indenfor feltet de senere år.³¹

Reparation og sekundær anvendelse

Når et batteri ikke længere er effektivt nok til at blive brugt til transportmidler, har det ofte stadig op til 80% af kapaciteten tilbage.³² Måske denne nedgang i kapacitet kan accepteres, hvis fx gensalgsprisen er tilsvarende lavere, da ikke alle har et kørselsbehov, hvor det er nødvendigt at lade op til 100%. Dette scenarie forventes at indtræffe efter ca. 10 års levetid (hvor der typisk er 8 års garanti på bilens

²⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0066>

²⁷ <https://www.iea.org/policies/16763-eu-sustainable-batteries-regulation>

²⁸ <https://www.chemistryworld.com/features/the-drive-to-recycle-lithium-ion-batteries/4012222.article>

²⁹ <https://www.anl.gov/article/battery-collaboration-meeting-discusses-new-pathways-to-recycle-lithiumion-batteries>

³⁰ https://news.yahoo.com/designing-batteries-easier-recycling-could-122350998.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuYW5sLmdvdi8&guce_referrer_sig=AQAAAM2DX7WkvkbbUEwdf_KdenX-y7ZLvtIKgznS1LO41X-XwjliEtRyNvtlpyMWQprpPxXoz4TEo-iYYEj16OKqVZfyk59JvTqKjHdyMZTUkAqkSTXjiOvUtM_JBLXdedLxs-GIXbNLmuc7OE4Ss1WT1vg2A7ybnt77kdFGkgFokhnYsL

³¹ https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/230991/local_230991.pdf

³² <https://www.wired.com/story/the-race-to-crack-battery-recycling-before-its-too-late/>

batteri). Flere batteripakker designes i dag, så de enkelte celler kan skiftes ud individuelt, hvilket kan forlænge levetiden med en optimal kapacitet.

Selvom batteriet ikke kan anvendes til transportmidler, kan det finde sekundær anvendelse til formål, hvor det ikke er lige så vigtigt, at batteriet kan lade hurtigt og til fuld kapacitet. Det kan for eksempel være i energisektoren, hvor batterierne kan anvendes til at opbevare overskudsenergi fra vind- og solenergi, som kan føres tilbage til nettet på et senere tidspunkt. Dette kan skabe mere stabilitet på nettet. I sådan en anvendelse bør et batteri kunne holde i ca. 10 år yderligere. For indeværende kan det også være en god løsning indtil genanvendelseskapaciteten og teknologierne og det økonomiske incitament udvikler sig mod at gøre genanvendte materialer rentable.

Pyrometallurgisk genanvendelse

Både ved pyro- og hydrometallurgiske processer starter man med at shredde batteriet, altså granulere det, til et sort pulver kendt som "black mass power". Ved pyrometallurgisk genanvendelse brænder man herefter massen ved høj temperatur. Denne metode er den mindst effektive og fører kun til op mod 50% genanvendelse³³. Det er desuden svært, da alle producenter har forskellige mix af komponenter i deres batteripakker. Både aluminium og litium oxiderer, så de kan ikke genanvendes på denne måde. Det er muligt at genanvende både kobolt, nikkel og kobber, men disse anvendes mindre og mindre i nye batterityper. Efter afbrænding er der alligevel brug for kemisk behandling med bl.a. syre, hvorfor hydrometallurgisk genanvendelse altid vil være mere effektiv.

Hydrometallurgisk genanvendelse

Ved hydrometallurgisk genanvendelse tilsættes svovlsyre og hydrogen peroxid (brintoverilte), saltpetersyre eller citronsyre for et miljøvenligt alternativ³⁴, hvilket kan trække kobolt og litium ud. Det kan udfældes som salt ved at ændre pH-værdien. Herfra kan man få kvalitetsmaterialer, som man kan producere nye batterier fra. Dette bevarer op til 80% af katodens værdi³⁵. Der er altså potentiale for optimering, men ikke meget.

Denne metode er pt. mest rentabel, hvis der er kobolt i batteriet. Hvis der ikke er kobolt i batteriet, vil katode-oxiderne ofte have en større værdi end selve råmaterialet. I det tilfælde vil direkte genbrug være at foretrække, da det både beholder katodens krystalstruktur samt aluminium- og kobberfolier, salt fra elektrolytsuppen og grafit fra anoden.

Før genanvendelsesprocessen bliver batteriet granuleret (shredded) og katode-pulveret kan genskabes. En udfordring er, at de enkelte komponenter (anode, katode, separator) ofte er dækket af lim (en form for polymer), som skal opløses via varme eller kemisk, før materialerne kan shreds.

Et måske overraskende fund er, at batterier skabt ud fra "black mass"-pulver performer bedre end batterier af nye materialer.³⁶ For eksempel lader de to-tre gange hurtigere og livscyklussen stiger 30% til 13-15 år. Dette opnås ved en proces, der sparer 93% af CO₂-udledningen og næsten halvdelen af omkostningerne sammenlignet med nye materialer.³⁷

En nylig udvikling indenfor genanvendelse af black mass-pulver involverer at supplere med en mindre mængde nye råstoffer og at fokusere på at optimere den krystalline struktur af selve partiklerne i

³³ Kushnir et al., 2015

³⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877531201943X?via%3Dihub>

³⁵ Kushnir et al., 2015

³⁶ [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(21\)00433-5?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2542435121004335%3Fshowall%3Dtrue%20-%20https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.09.005#relatedArticles](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(21)00433-5?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2542435121004335%3Fshowall%3Dtrue%20-%20https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.09.005#relatedArticles)

³⁷ <https://www.wbur.org/news/2022/01/25/lithium-ion-battery-recycling-electric-vehicles>

batteriet.³⁸ Ved at anvende genbrugt pulver bliver partiklerne mere porøse, hvilket skaber plads til at optage flere litium-ioner uden at skabe deformation/strukturelle skade/revner i strukturen, som ellers er en væsentlig årsag til nedgang i batteriets ydeevne over tid. Derudover giver større porer også et større overfladeareal og dermed et større areal, hvor de kemiske reaktioner kan foregå, hvilket medfører hurtigere opladning.

Design for disassembly

Den sidste og mest effektive måde at genbruge/genanvende batterier på er designafhængigt. Et godt eksempel på succes med genanvendelse af batterier er det velkendte bly-syrebatteri (almindelige batterier), som har relativt høje materialeomkostninger samt et standardiseret design, hvilket gør genanvendelse nemt og billigt. Litium-ion-batterier er mere komplekse i deres opbygning (bl.a. pga. opbygningen i cellemoduler) og kemi (typen, mængden og kvaliteten af forskellige materialer), men det gør kun standardisering mere væsentligt.³⁹ Som tidligere nævnt er komponenterne desuden ofte limet sammen. Alle disse ting gør direkte genanvendelse vanskeligt og dyrt, da det ofte må gøres manuelt. Design-for-disassembly kombineret med automatisering vil kunne gøre en stor forskel, hvor det vil tage få sekunder at skille et batteri ad i stedet for flere timer.

En af problematikkerne er, at producenterne i dag ikke er ansvarlige for end-of-life, hvorfor de ikke har været nødt til at tænke det ind i deres design. EU har påbegyndt arbejdet med at indføre producentansvar.⁴⁰ Kina har gjort det i noget tid, hvilket også afspejles i deres høje grad af genanvendelse i sektoren sammenlignet med øvrige lande. Et eksempel på et firma, som tænker det ind fra start er den schweiziske elbilproducent Kyburz. De anvender en særlig form for lim, der kan opløses ved at udsætte den for særlige lydbølger.⁴¹

Behovet for litium til omstilling i Danmark og EU

For at estimere behovet til omstilling i Danmark og dernæst EU tages der udgangspunkt i tal fra Energistyrelsen og ACEA (den europæiske bilindustri's brancheorganisation). Der tages udgangspunkt i bestanden af køretøjer i 2022 samt en fremskrivning mod 2035 for ikke at underestimere behovet⁴². For hver køretøjstype antages en gennemsnitlig batterikapacitet, hvorved mængden af litium bestemmes. Mængden af litium per køretøj multipliceret med det forventede antal køretøjer giver det forventede litiumbehov.

Personbiler

Der kan være stor forskel på størrelsen på et batteri til en personbil med kapaciteter på alt fra 30 – 100 kWh. Tendensen går dog mod større batterier. Her beregnes den nødvendige mængde litium ud fra en forudsætning om en gennemsnitlig batteristørrelse på 70 kWh. For hver kWh skal der bruges ca. 160 g litium ved nuværende teknologi. En vis forbedring er forventelig mod 2035, så dette er et konservativt estimat. Hver elbil kræver således 11,2 kg litium.

³⁸ <https://www.scientificamerican.com/article/recycled-lithium-ion-batteries-can-perform-better-than-new-ones/>

³⁹ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/gc/d0gc02745f#!divAbstract>

⁴⁰ <https://mst.dk/affald-jord/affald/producentansvar-for-affald/batterier-og-producentansvar/>

⁴¹ <https://www.wired.com/story/make-eco-friendly-ev-battery-think-inside-out/>

⁴² I andre sammenhænge taler Concito for at bilparken skal udnyttes bedre, og derfor stabilisere sig på et lavere niveau

I 2022 var der 2,81 mio. personbiler i Danmark.⁴³ Energistyrelsen forventer, at der vil være 3,8 mio. biler i 2035 (+35%).

I 2021 var der 246,3 mio. personbiler i Europa⁴⁴. Ved en simpel fremskrivning på 1% om året, som svarer til den nuværende udvikling, vil der være 283,1 mio. personbiler i 2035.

Varebiler

Der er ikke meget forskel på batteristørrelsen for personbiler og varebiler. For indeværende kan varebiler fås med mellem 50–85 kWh. Varebilssegmentet er ikke så veludviklet som personbiler. De fleste varebiler i dag er lavet til bykørsel, hvorfor det kan være en sandsynlig udvikling, at batteristørrelsen øges, hvis kørselsbehovet øges. For at være på den sikre side antages det derfor, at et gennemsnitligt varebilsbatteri mod 2035 vil være 85 kWh. Det svarer til 13,6 kg litium/køretøj.

I 2022 var der 383.610 varebiler i Danmark. Energistyrelsen forventer, at der vil være 447.620 varebiler i 2035 (+17%).

I 2020 var der 28,7 mio. varebiler i EU. Ved en simpel fremskrivning på 2% om året, som svarer til den nuværende udvikling, vil der være 38,6 mio. varebiler i 2035.

Lastbiler

Batterikapaciteten på lastbiler vil variere mere end for de øvrige køretøjstyper, da der er større forskel på typerne af lastbil, deres lastvægt og behov for rækkevidde afhængigt af formålet med kørslen. Et eksempel er Volvos FMX-bylastbil, som har en batterikapacitet på 254 kWh.⁴⁵ Et andet eksempel er Scantias bud på en lastbil til regional kørsel, der har en batterikapacitet på 624 kWh⁴⁶, hvilket giver en rækkevidde op mod 350 km ved 80 km/t ved en 4x2-sættevognstrækker eller 6x2*4 forvogne. De helt store lastbiler ses ikke på markedet endnu. Derfor tages der udgangspunkt i mellemstørrelsen, og det antages at den gennemsnitlige batterikapacitet vil være 600 kWh. Det svarer til 96 kg litium per køretøj. I alt mellem 930 – 3.143 t litium. Lastbils kategorien er mest usikker, da teknologien kun i begrænset omfang er udbredt og fortsat under udvikling ift. de største lastbilstyper. Til gengæld er der meget færre lastbiler end personbiler, så ressourcebehovet er samlet set meget mindre.

I 2022 var der 42.460 lastbiler i Danmark. Energistyrelsen forventer, at der vil være 50.680 lastbiler i 2035 (+19%). I 2020 var der 6,2 mio. lastbiler i EU. Ved en simpel fremskrivning på 2% om året, som svarer til den nuværende udvikling, vil der være 8,3 mio. lastbiler i 2035.

Busser

Batteristørrelsen for busser svarer til batteristørrelsen for lastbiler. Der antages derfor en gennemsnitlig batterikapacitet på 600 kWh, dvs. 96 kg litium per bus.

Elektrificeringen for busser er mere fremskreden end for vare- og lastbiler da 10,6% af de nyregistrerede busser i 2021 var elektriske. Dog er udviklingen først begyndt fra 2018 og frem.

⁴³ 2.806.185 per 1. januar 2022 (Danmarks Statistik)

⁴⁴ ACEA-rapport

⁴⁵ <https://group.vattenfall.com/dk/nyheder-og-presse/nyheder/2021/udfordringen-300-kilometer-pa-el-i-polarkulde-og-med-14-tons-jernmalm-pa-ladet>

⁴⁶ <https://lastbilmagasinet.dk/artikler/scania-c63/scania-introducerer-el-lastbiler-til-regional-kørsel-p55543#:~:text=Scania%20introducerer%20nu%20el%2Dl%C3%B8sninger,el%2Dlastbiler%20til%20regional%20k%C3%B8rsel.>

I 2022 var der 10.090 busser i Danmark. Energistyrelsen forventer, at der vil være 9.350 busser i 2035 (-7%).

I 2020 var der 680.000 busser i EU. Ved en simpel fremskrivning på 1% om året, som svarer til den nuværende udvikling, vil der være 790.000 busser i 2035.

Samlet behov

Hvis hele bestanden af køretøjer skal udskiftes, men forbliver den samme i antal, skal Danmark i alt bruge 41.734 t litium. Hvis bestanden vokser med samme rate som for indeværende, skal der bruges 54.411 t litium på elektrificering af vejtransporten i Danmark.

Tabel 13 - Danmarks behov for litium

Køretøj	Kg Li/køretøj	Antal 2022	Ton litium	Antal 2035	Ton litium
Personbil	11,12	2.810.000	31.472	3.800.000	42.560
Varebil	13,6	383.610	5.217	447.620	6.088
Lastbiler	96	42.460	4.076	50.680	4.865
Busser	96	10.090	969	9.350	898
			41.734		54.411

Hvis hele bestanden af køretøjer skal udskiftes, men forbliver den samme i antal, skal EU i alt bruge 3.809.360 t litium. Hvis bestanden vokser med samme rate som for indeværende, skal der bruges 4.568.320 t litium på elektrificering af vejtransporten i EU.

Tabel 2 - EU's behov for litium

Køretøj	Kg Li/køretøj	Antal 2022	Ton litium	Antal 2035	Ton litium
Personbil	11,12	246.300.000	2.758.560	283.100.000	3.170.720
Varebil	13,6	28.700.000	390.320	38.600.000	524.960
Lastbiler	96	6.200.00	595.200	8.300.000	796.800
Busser	96	680.000	65.280	790.000	75.840
			3.809.360		4.568.320

Har vi litium nok?

Globalt perspektiv

Til sammenligning med ovenstående beregninger er der cirka 1,5 mia. biler i verden i dag. Det er nok ikke urealistisk at forestille sig 2-3 mia. biler i verden i 2035. Med 11,2 kg litium per bil ville det kræve 22-34 mio. tons litium. Dertil kommer lastbiler, varebiler, busser mv., om end disse udgør en langt mindre andel af det samlede behov. Verdens samlede kendte ressourcer iflg. USGS var i 2021⁴⁷ 98 mio. tons, heraf 26 mio. tons i tilgængelige reserver.

Altså er det ikke umiddelbart et ressourcemæssigt problem at få litium nok på globalt plan. Hertil kommer nye teknologier til udvinding fra geotermale/hydrotermale sites eller endda havvand,

⁴⁷<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>

hvorved nye ressourcer tilføjes og bliver til tilgængelige reserver. Det er dog uvist, hvad det kommercielle potentiale er i den type udvinding, og hvornår det i givet fald vil være realiseret.

Ud fra de ressourcer, vi kender til i dag, kan der dog opstå et reelt tilgængelighedsproblem, hvis den globale bilpark fortsætter med at vokse og opnår et niveau som i de lande der har flest biler per 1000 indbyggere. Hvis vi antager, at den globale befolkning topper flader ud ved 10 mia. indbyggere og skulle have samme antal biler som en gennemsnitlig europæer (ca. 600 biler per 1000 indbyggere), ville det kræve 67 mio. tons litium. Hvis hele verden havde samme bilejerskab som USA (890 per 1000 indbyggere), ville det kræve 100 mio. tons litium.

Har vi litium nok i et europæisk perspektiv?

Ud fra vores estimat skal EU bruge ca. 4,5 mio. tons litium for at elektrificere den forventede mængde vejtransportmidler i 2035.

USGS anslår, at der i 2021 blev produceret 107.000 t litium på verdensplan. Hvis alle EU's vejtransportmidler skal omstilles til batterielektrisk, vil det således beslaglægge hvad der svarer til 43 års samlet produktion på niveau med 2021. Hvis vi antager, at mængden af transportmidler i EU stagnerer efter 2035, og at hele bestanden skal være fuldt omstillet i 2050,⁴⁸ vil det derfor som minimum⁴⁹ kræve en fordobling af den globale litiumproduktion, bare for at imødekomme EU's behov for batterielektrificering.

Tabel 14 - USGS (2023) Litium 2022 opsummeret

Kontinent	Produktion [t]	% produktion	Reserver [t]	% reserver	Ressourcer [t]	% ressourcer
Europa	600	0,5%	60.000	0,2%	7.418.000	7,6%
Nordamerika	500	0,4%	1.930.000	7,4%	16.600.000	16,9%
Sydamerika	41.200	31,7%	9.550.000	36,7%	33.610.000	34,3%
Afrika	800	0,6%	310.000	1,2%	4.940.000	5%
Oceanien (Australien)	61.000	46,9%	6.200.000	23,8%	7.900.000	8,1%
Asien (Kina)	19.000	14,6%	2.000.000	7,7%	6.850.000	7%

Med 5.870.000 tons litium har Europa (jf. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**) knap nok ressourcer til at dække behovet for litium (non-EU-lande er ikke talt med i udregning af behov). Og da kun 60.000 tons pt. er tilgængelige som reserver, vil det kræve store, teknologiske landvindinger på en uset skala. Et selvforsynende Europa er muligt i et fremtidsscenario, hvor der primært udvindes litium fra geotermi/hydrotermi og/eller havvand. Dertil skal der helst være rigeligt grøn energi til formålet. På produktionssiden ser det endnu mere dystert ud med kun 1% af den globale produktion, 900 tons, i Europa i 2020.

Disse perspektiver taget i betragtning står europæiske beslutningstagere overfor nogle vigtige beslutninger om, hvordan nødvendige mineraler og forsyningskæderne til fremtidens transport sikres bedst

⁴⁸ Dette vurderes som værende en rimelig antagelse, da EU har forbudt salget af emissionskøretøjer for personbiler efter 2035. En personbil har en gennemsnitlig levetid (i Danmark) på 15 år, hvorfor det kan forventes, at alle personbiler i 2050 er emissionsfri, i dette tilfælde batterielektriske. For varebiler, lastbiler og busser tager omstillingen sandsynligvis længere tid, men disse køretøjer har ikke en lige så lang levetid, da de bliver brugt meget mere. Der tages udgangspunkt i personbiler, fordi de udgør langt størstedelen af alle køretøjer.

⁴⁹ Litium bruges også til andre formål og andre batterier, end til transportsektoren (som dog allerede nu udgør den største enkelttager)

muligt. EU og USA satser begge på dette område, jf. EU's Critical Raw Materials Strategy og USA's Inflation Reduction Act.

Øvrige perspektiver

Elektrificering er mere end litium og batterier

I dette notat fokuseres der primært på litium og sekundært på kobber, grafit, nikkel, mangan og kobolt til fremstilling af batterier til personbiler. En udfordring som dette notat ikke adresserer, er råstoffer til fremstilling af de øvrige komponenter til batterielektriske transportmidler.

Elmotor

Udover batteriet adskiller en elmotor sig fundamentalt fra en forbrændingsmotor ved at være drevet af elektromagnetisme. De magneter, der anvendes i elmotorer, er oftest neodymium eller samarium-kobalt.⁵⁰ Begge typer indeholder såkaldt sjældne jordarter, der ikke som sådan nødvendigvis er sjældne, men kun forekommer i små mængder, hvilket gør dem dyre og besværlige at udvinde. Den væsentligste udfordring ved elmotorer er, at de samme typer magneter anvendes i vindmølleindustrien til at drive vindmøllernes rotor. Derfor er der en stor og voksende efterspørgsel på disse magneter og de råstoffer, de er fremstillet af. Flaskehalsproblematikken ift. udbud og efterspørgsel er sandsynlige.

Karosseriet

Ydermere stiller batterielektrificering nogle andre krav til transportmidlets samlede vægt, der gerne skal være så lav som muligt for at udnytte batteriets drivkraft bedst. Dette øger efterspørgslen på fx aluminium til selve karosseriet som erstatning for jern.

Det tager tid at opskalere den globale litiumproduktion

Det vil kræve massive investeringer og tid at åbne flere litiumminer. Erfaringsmæssigt tager det 4-7 år at åbne en litiummine.⁵¹ Dette er uden at tage højde for den forudgående tid til de relevante myndighedsbehandlinger og politiske processer.

Mineindustri indebærer en risiko for langvarig eller permanent ødelæggelse af habitater og økosystemer, da det ofte kræver at større områder ryddes for vegetation, samt kan forurene ferskvandsressourcer, hvis det udvindes på uansvarlig vis. Derudover er mineindustrien mange steder i verden kendt ved tvivlsomme, usikre og til tider decideret udnyttende arbejdsforhold. For eksempel kobolt udvundet i uformelle miner i DR Congo⁵² eller mica på Madagascars.⁵³ Med disse perspektiver for øje er det ikke overraskende, at minedrift eller planer derom ofte leder til folkelig og politisk modstand, samt bekymring for vidtrækkende miljømæssige og sociale konsekvenser.⁵⁴ Derfor er der brug for, at der stilles krav, som slår igennem hele vejen fra batteriproducent til minevirksomhed.

⁵⁰ <https://www.arnoldmagnetics.com/blog/neodymium-vs-smco-magnets-for-hybrid-electric-vehicles/#:-:text=Two%20common%20choices%20for%20electric.and%20each%20has%20its%20advantages.>

⁵¹ <https://www.linkedin.com/pulse/timeline-requirement-lithium-projects-gerrit-fuelling/> & <https://www.wsj.com/video/series/wsj-explains/how-lithium-became-a-hot-commodity/78BE4563-8D74-4B28-9FC7-450D5330107C>

⁵² <https://bhr.stern.nyu.edu/cobalt-2023>

⁵³ <https://www.theguardian.com/global-development/2019/nov/21/children-as-young-as-five-make-up-most-of-madagascars-mica-mining-workforce>

⁵⁴ <https://fennia.journal.fi/article/download/87223/57714/176057>

I en europæisk kontekst kan det sandsynligvis tage 10 år eller mere at opstarte en litiummine til fuld produktion. Udover selve udvindingen, er det også nødvendigt med tilsvarende raffinaderi- og genanvendelseskapacitet. En hurtig og rettidig opskalering af litiumproduktion vil derfor i givet fald kræve politisk handlekraft, effektiv sagsbehandling og folkelig opbakning.

Områder med potentiale for minedrift er som regel perifere, relativt socioøkonomisk og politisk marginaliserede, kan indeholde store naturværdier, samt eventuelt hjemsted for etniske/kulturelle minoriteter. Et eksempel på dette er Kiruna, en region i det nordligste Sverige. Regionen er allerede kendt for udvinding og forarbejdning af bl.a. jernmalm. Desuden indeholder området store naturværdier og er hjemsted for samerne, en etnisk minoritet i Sverige. Her blev der i januar 2023 fundet forekomster af bl.a. litium, som dog først forventes at kunne udvindes og sælges på verdensmarkedet om 10-15 år iflg. LKAB, et statsejet svenske mineselskab.⁵⁵

Vækstpotentialet er stort, men det er svært at tiltrække de rette arbejdsmæssige kompetencer, og der er debat om, hvem der egentlig får størst gevinst ud af "det grønne eventyr" mod nord. Dette eksempel understreger den svære afvejning mellem at gå på kompromis med lokale hensyn til natur og kultur for at opnå en omstilling, som er nødvendig i en global skala. De modsatrettede hensyn understreger vigtigheden af at sikre opbakning og tillid til fremtidige mineprojekters miljømæssige og sociale ansvarlighed. Det vil kræve robuste institutionelle rammer og regulering, der stiller krav og holder industrielle aktører ansvarlige.

Dette er et eksempel på den generelle udfordring, at den grønne omstilling ofte er i stærk konkurrence om arbejdskraft både internt og med andre brancher såsom olie/kul/gas, mineindustrien til andre formål, byggeri/anlæg mv. Det gælder både kapacitet hos de offentlige myndigheder til at sagsbehandle projekter samt at skaffe personale med de rette kompetencer, især indenfor STEM.⁵⁶

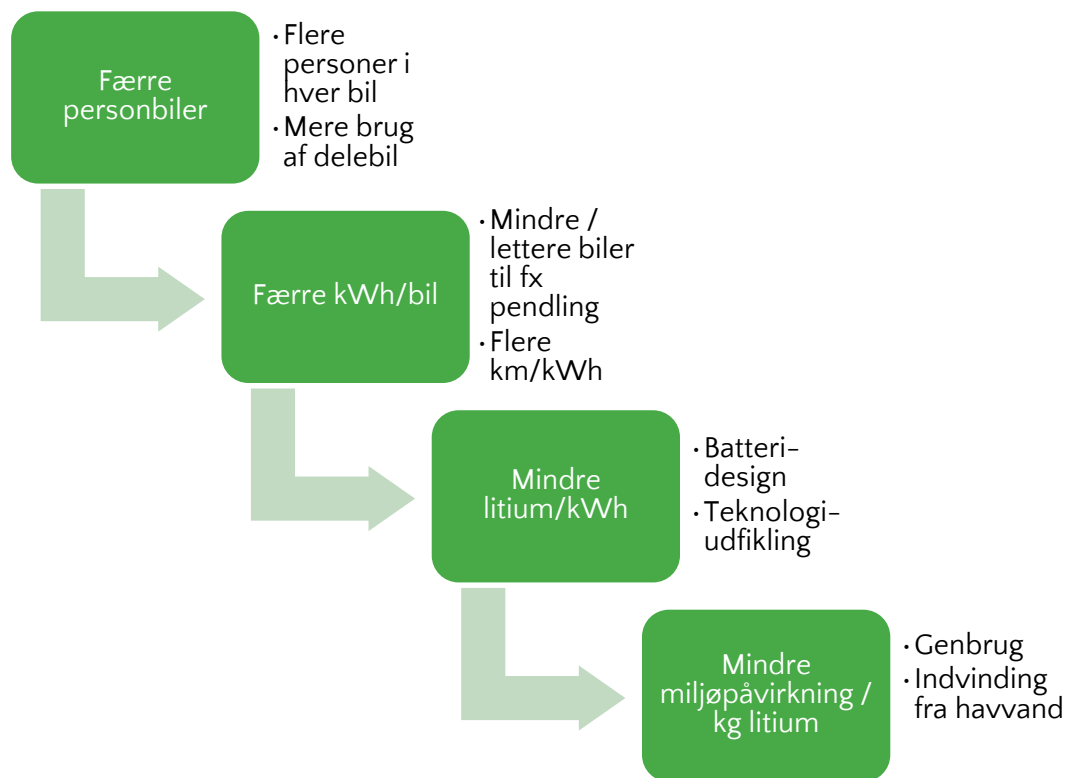
Der er også brug for teknologiudvikling, mindre biler og standardiseret batteridesign

Mineindustrien er en olieafhængig industri, som ikke aktuelt har en nem omstillingssti, selvom nogle aktører er i gang med at udvikle grønne alternativer til produktionen. For fremtiden kan andre kilder til litium end traditionel malmudvinding såsom geotermiske forekomster bane vejen for grønt litium. I geotermiske forekomster kan litium udvindes ved at anvende den geotermale energi. I denne teknologi udfældes litium fra det geotermiske vand, og vandet kan efterfølgende ledes tilbage til kilden.

Genanvendelse af bilbatterier på stor skala ligger sandsynligvis 15-20 år ude i fremtiden, da de udover at blive genanvendt stadig kan bruges til energilagring til andre formål som sekundær anvendelse. På sigt vil det være fordelagtigt at arbejde for standardiserede batteridesigns, som i de velkendte bly-syre-batterier, da det gør direkte genanvendelse mere effektiv og skånsom for klima og miljø. Dog kan det være problematisk for innovationen på området, hvis de strikse produktkrav indføres på et for umodent stadie af teknologiudviklingen.

⁵⁵ <https://lkab.com/en/press/europes-largest-deposit-of-rare-earth-metals-is-located-in-the-kiruna-area/>

⁵⁶ <https://concito.dk/nyheder/rapport-job-til-groen-omstilling>



Figur 10: Tiltag til at mindske behovet for yderligere minedrift – der skal arbejdes på alle niveauer

Udover at øge produktionen, vil det også være hensigtsmæssigt at se på efterspørgslen. Der er pt. en tendens til øget efterspørgsel på større biler, især SUV'ere, og elbiler med længere rækkevidde. Det kræver større batterier på 100 kWh eller mere, hvilket er problematisk ift. at sikre en hurtig og effektiv omstilling. For mange bilister vil en bil med et mindre batteri være tilstrækkeligt til at dække det almindelige kørselsbehov. Som tommelfingerregel kan en elbil køre ca. 5 km/kWh, afhængigt af bilens vægt i øvrigt.⁵⁷ Teknologiuudvikling af batteriers kapacitet, ydeevne, materialesammensætning og vægt er forventelig, men der er en række fysiske begrænsninger på, hvor optimalt energien kan lagres.

Konklusion

Batterier til transportsektoren undergår fortsat teknologisk udvikling for at forbedre rækkevidde, levetid, opladningsevne og andre egenskaber. Der kan forbedres på de enkelte bestanddele af batteriet, herunder en reduktion af vægt og ressourceforbrug. Der er mange måder at fremstille batterier på, men litium er fælles for de hyppigst anvendte. De mest almindelige batterier er litium-mangan-kobolt og litium-jern-fosfat. Batterier er tunge og udgør typisk 20–25% af køretøjets vægt. Det kræver mange råstoffer at fremstille dem, hvoraf stort set alle disse skal mines. Det er vigtigt at skelne mellem ressourcer, den totale mængde, og reserver, den økonomisk og teknologisk tilgængelige mængde. Litium udvindes primært gennem opkoncentrering af salt.

Minedrift er både energikrævende og potentielt set miljøforurenende, hvis det ikke håndteres korrekt. Derudover kan der være problemer med menneskerettigheder og arbejdsforhold mange steder i verden. En bæredygtig elektrificering kræver også på sigt en genanvendelse af batteriets bestanddele.

⁵⁷ <https://fdm.dk/alt-om-biler/elbil-hybridbil/opladning/saa-langt-koerer-elbilen-paa-en-opladning>

Standardiseret design og design-for-disassembly er vigtige redskaber, der kan være med til at sikre en mere ressourceeffektiv og økonomisk rentabel genanvendelsesproces.

Der er substantielle udfordringer i opskaleringen af produktionen af litium og andre kritiske metaller for den grønne omstilling, men de er ikke relateret til mangel på mineraler. Det mest kritiske aspekt er tidshorizonten, da der både skal opdages, godkendes, udvindes og produceres store mængder på kort tid. Dette kan i perioder skabe flaskehalse mht. pris, hvis efterspørgslen på fx litium stiger meget hurtigere end udbuddet. De største usikkerheder ligger i den teknologiske udvikling, hvor både nye udvindingsmetoder såsom litium fra saltvand eller helt andre batteriteknologier kan ændre forudsætningerne radikalt. Dertil kommer usikkerheder omkring politisk og folkelig modstand mod minedrift.

Der er altså gode grunde til også at reducere behovet for litium, via et ressourceeffektivt transportsystem.