

# Bauxit/Aluminium

Aluminium (Al) har kun været bredt anvendt de sidste 50 år. Alligevel er aluminium i dag – næst efter jern – det mest anvendte metal i verden på grund af dets attraktive egenskaber og en relativ lav pris.

Metallet og dets legeringer udmærker sig ved at være let, stærkt og korrosionsbestandigt og benyttes til en lang række produkter, bl.a. fly, emballage og computere. Nye anvendelsesmuligheder indenfor fx byggeri og transportmidler er medvirkende til stigende aluminiumsproduktion. Aluminium er det næsthøypigste metal i Jordens skorpe, hvor det forekommer som grundstof i mange forskellige mineraler. At behandle aluminiumsmalm (kaldet bauxit) til aluminium er en lang og energikrævende proces. Der findes bauxitforekomster i mange lande, og produktionen foregår mange steder i verden. EU står for en stadig mindre andel af bauxitproduktionen og da efterspørgslen forventes at stige med over 50 % over de næste 30 år, er bauxit nu på EU's liste for strategiske og kritiske råstoffer.

## Anvendelse og forbrug

Aluminium er et sølvgråt metal med mange attraktive egenskaber: Det er let, stærkt og korrosionsbestandigt. Herudover er det fleksibelt, nemt at formgive, ugiftigt, afgiver ikke smag og har gode varme- og elektricitetsledningsegenskaber. Dette har medført meget alsidig anvendelse af aluminium. Især aluminiums vægtreducerende egenskaber (massefylde 1/3 af stål) har givet det en fordel i forhold til mange andre materialer. Det gode styrke-vægtforhold for metallet bliver især benyttet i fly og biler for at sænke vægten for derved at mindske brændstofforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning. Desuden anvendes aluminium i vid udstrækning i bygge- og anlægsbranchen, emballageindustrien og elektronikbranchen. Der kommer hele tiden nye anvendelsesmuligheder for aluminiumsprodukter, og metallet bliver mere og mere brugt til at erstatte andre dyrere metaller.

Aluminiumoxid, som dannes under fremstilling af rent aluminium, har mange industrielle formål og bruges bl.a. som slibemiddel, farvepigment og rensning af forurenede vand.

Forbruget af aluminium er stigende (Årlig forventet stigning på 4,2% frem mod 2050 og denne udvikling forventes at fortsætte de kommende år. De største forbrugslande er Kina, der alene står for 57% af det globale forbrug efterfulgt af USA, Tyskland, Japan, Indien og Sydkorea.

## Geologi og ressourcer

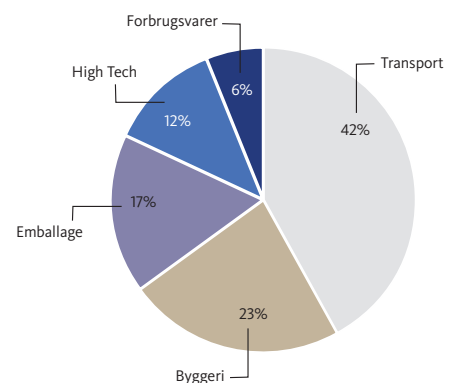
Den vigtigste kilde til aluminium er forvittringsbjergarten bauxit (45-68% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), der består af en blanding af forskellige mineraler, primært gibbsit, böhmite, diaspor (aluminiumhydroxider med 60-80% Al), jernoxiderne hematit, goethit, lermineralet kaolinit og titanoxid. Bauxit er ofte rødifarvet af jernoxiderne. Der skelnes mellem kalkbauxit, som er relateret til karbonater og karstdannelse, og silikatbauxit, som dannes i selve forvittringszonen under udvikling af laterit-jordbundshorisonter. Bauxit dannes, hvor silikatbjergarter (fx granit) gennem tusinder af år er udvasket af regnvand som, når det trænger ned i jorden er blevet surt, opløser og udvasker næsten alle grundstoffer fra bjergarterne, indtil et fliselignede lag rigt på aluminium og jern bliver tilbage. Kalkbauxit findes først

## NØGLETAL 2023

Pris	15.034 kroner/ton
Malmproduktion (bauxit)	336 mio. ton/år
Aluminiumsproduktion	70 mio. ton/år
Opmålte malmreserver	30.000 mio. ton (~80 års forbrug)
Estimerede malmressourcer	55-75 mia. ton (~200 års forbrug)
Genanvendingsgrad	ca. 50%
Forsyningsikkerhed	Høj

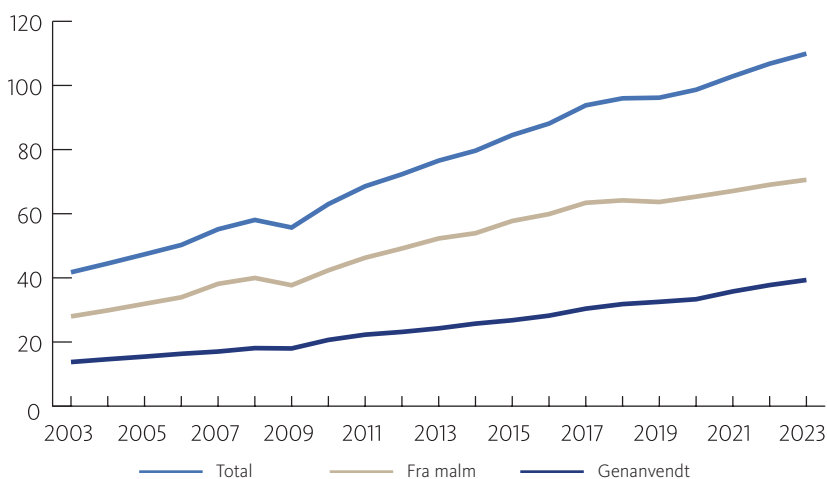


Anvendelse til transportmidler fx bilkarosserier, er det største brugsområde for aluminium pga. metallets høje styrke-vægtforhold (foto: Aluminium Association).



Aluminiumsforbrug i procent pr. sektor i 2022. Kilde: Screen2 Aluminum factsheet (2023)

## Global aluminiumsproduktion i mill. tons



Fra 2003 til 2023 er der sket en stigning i aluminiumproduktionen på 150 procent. Stigningen ses både fra malm og fra genanvendt aluminium. Kilde: International Aluminium Institute.

og fremmest i Middelhavsområdet og på Jamaica, hvorimod silikatbauxit dannes i tropiske egne.

I øjeblikket er ingen materialer økonomisk rentable som alternativ malm for bauxit, men lovende forsøg bliver udført på lerminerale og feldspatmineralet anorthit. Sidstnævnte mineral danner bjergarten anorthosit, som bl.a. findes flere steder i Grønland.

### Produktion

Bauxit udgraves fra overfladenære forekomster i store åbne miner. Malmen transporteres til et processeringsanlæg, oftest tæt på bauxitminen, hvor leret vaskes fra, og resten af materialet knuses og tørres. Den videre fremstilling af aluminium sker ( $Al_2O_3$ , også kendt som alumina) ved en såkaldt Bayer-proces, hvor det knuste materiale, der også indeholder jern, silicium og andre grundstoffer, bliver opvarmet og blandet med natriumhydroxid, som opløser aluminiumminerale. Opløsningen filtreres, og det opløste aluminium-

hydroxid udfældes og opvarmes yderligere, hvorved der dannes rent aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ).

Aluminiumoxid anvendes industrielt som slibemiddel og til andre formål, men langt den største del (90-95%) bearbejdes videre til metallisk aluminium ved den såkaldte Hall-Heroult-proces. Denne proces er meget energikrævende, hvorfor aluminiumsmeltere placeres i lande, hvor der er billig elektricitet i form af fx vand- eller kulkraft, ofte langt fra hvor malmen er udvundet. Processen er baseret på elektrolyse, som foregår mellem en negativ katode og en positiv anode, der begge er fremstillet af kul. Anoden reagerer med ilt i aluminiumoxiden, og der dannes  $CO_2$  og flydende aluminium, som tappes af. Rent aluminium er smidigt men relativt blødt og har begrænset styrke. Derfor legeres det ofte med andre metaller for at øge den mekaniske styrke.

I alt benyttes fire ton bauxit til at lave to ton aluminiumoxid, som igen behandles

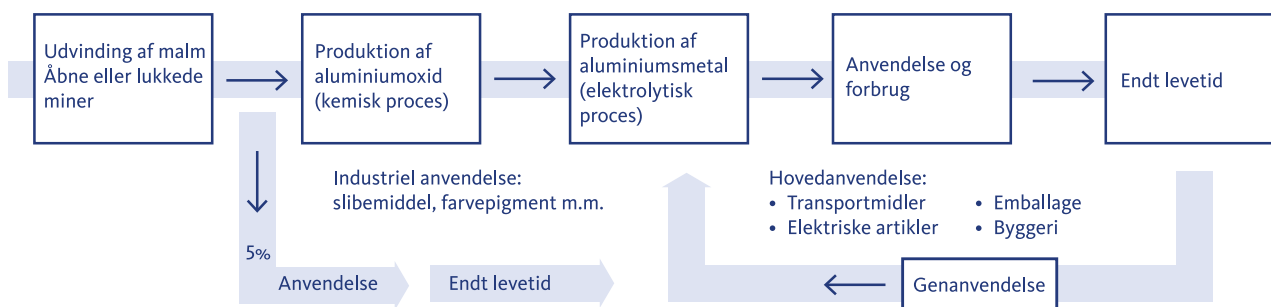
med elektrolyse, og som ender med at give ét ton aluminium. Elforbruget ved elektrolyseprocessen udgør op mod 40% af den samlede pris for udvinding af aluminium. Der arbejdes derfor på at optimere processen, så energiforbruget reduceres, dels af økonomiske grunde, dels af miljøhensyn. Gennemsnitlig anvendes 15 kWh til produktion af 1 kg aluminium. Dermed bruger aluminiumsmeltere globalt set 4% (2019) (total energiforbrug 27 000 TWh) af verdens samlede elproduktion.

Aluminiumsproduktionen har været stærkt stigende og er mere end fordoblet over de sidste 17 år fra en årlig primærproduktion på 28 mio tons i 2003 til 70 mio tons i 2023. Den globale produktionsudvikling fra 2010 til 2023 er drevet af Kina, der er gået fra ca 17 millioner tons pr. år til knap 42 millioner tons aluminium pr. år. Det øvrige Asien og Golfstaterne har ligeledes oplevet vækst, mens resten af verden har haft stabil eller faldende produktion.

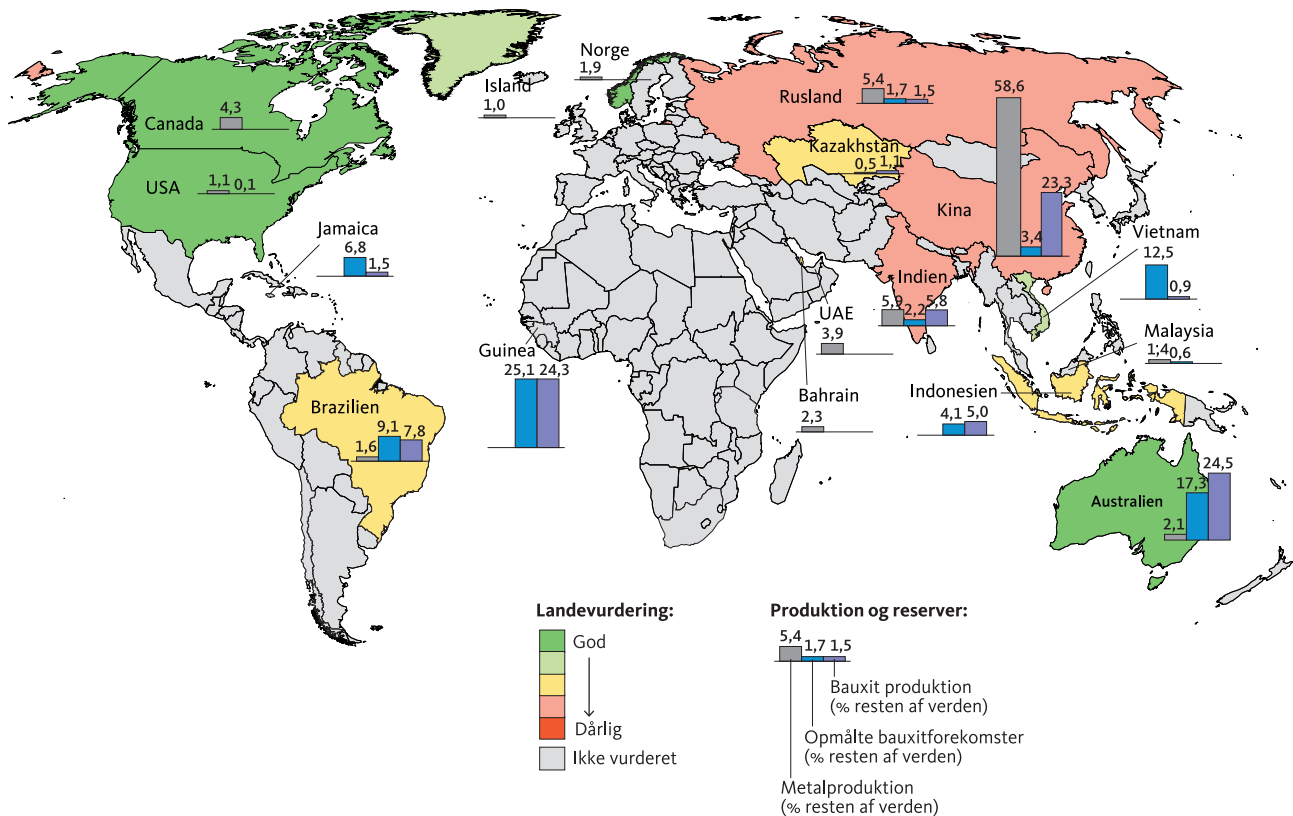
Kina dominerer dermed både produktionen af primært produceret (rent) aluminium og sekundært aluminium fra genbrug. Kina står globalt for hhv 59% primær og 57% sekundær aluminiumproduktion. Kinas voksende andel har været gældende i en årrække. Samtidig er Europas produktion faldende med kun Norge og Island som betydelige aluminiumsproducenter idet der her har været adgang til billig energi i form af geotermi og vandkraft.

### Genanvendelse og substitution

Da en stor del af aluminium anvendes i store produkter som fly og biler, er der høj genanvendelsesprocent. Derfor er genbrug af aluminium både udbredt og effektivt: 75% af al aluminium, som er blevet produceret, er stadig i brug. Efter omsmelting kan næsten al aluminium bruges igen med uændrede materiale-



Produktionskæde for aluminium der illustrerer de vigtigste trin, som metallet gennemgår fra udvinding til slutbrug.



Lande med de største reserver af aluminiumsmalm (bauxit), bauxitudvinding og aluminiums-metalproduktion i 2023. Lande og produktionsmængder med mindre end 1% af det globale marked er udeladt. Landevurderingen viser de lande, som efterforsknings- og mineselskaber vurderer som gode henholdsvis dårlige for minedrift; vurderingen er baseret på udvalgte faktorer (retssystemet, handelsbarrierer og politisk stabilitet) fra Fraser Institute (2023). Produktionsdata og reserver: USGS (2024).

egenskaber. En udfordring er dog legeringsmetaller, som kan vanskeliggøre genanvendelse, og genbrugsaluminium må ofte iblandes store mængder rent aluminium eller renses.

Der er betydelige økonomiske og miljømæssige gevinster ved genbrug af aluminium, idet der spares 95% af energiforbruget, når metallet genbruges. Derfor er der stort fokus på indsamling og genanvendelse af metallet, hvilket har været medvirkende til at give aluminium en bæredygtig profil. I Europa dækkes 36% af efterspørgslen på aluminium med omsmeltet metal, mens det på verdensplan er cirka 30%. Mest effektivt finder genanvendelse sted inden for transportmidler og byggeri (op mod 90% i EU), mens 60% af Europas aluminiumsemballage indsamles og genbruges. Flere materialer har egenskaber, som gør dem velegnede som mulige erstatninger for aluminium. Glas, papir, plastik og stål kan eksempelvis benyttes i yderligere omfang til emballage end i øjeblikket.

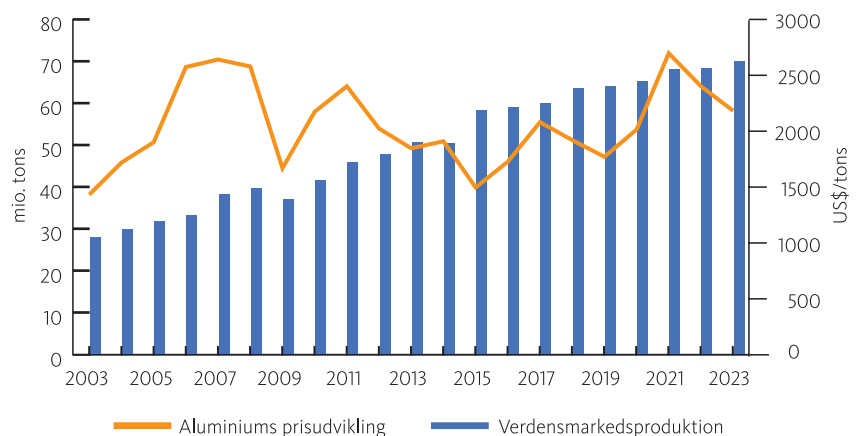
Kompositmaterialer har et potentiale som erstatning for aluminium i luftfartindustrien, mens magnesium, stål eller

titanium kan bruges til andre transportmidler. Aluminium i bygninger og andre konstruktioner kan substitueres med kompositter, stål, vinyl og træ, mens kobber kan benyttes som substitut i elektriske eller varmevekslingsanvendelser.

### Marked og priser

Aluminium og dets legeringer bliver handlet på London Metal Exchange (LME), der er en af verdens største metalbørser. En stor del af aluminiumshandlen foregår

desuden ved bilaterale aftaler, som ofte baseres på toneangivende priser fra LME. Disse handler sker gennem børshandlede kontrakter, hvor kontraktens køber indvilliger i at tage en levering af en bestemt mængde aluminium. Et andet kendetegn ved markedet er, at produktionsfirmaer tit ejer deres egne bauxitminer. Markedet er velkonsolideret og stærkt konkurrencepræget for de enkelte producenter, hvor alle firmaer har under 8% af det samlede marked.



Pris- og produktionsudvikling for aluminiumsmetal fra 2003 til 2023. Kilde: USGS (2024)



Udgravning af aluminiumsmalm (bauxit) foregår i åbne minebrud. Malmens røde farve skyldes oxiderede jernforbindelser og er ofte karakteristisk for bauxit (foto: Norsk Hydro).

Prisen på aluminiumsmetal er ca. 2182 USD pr ton i 2023 og har varieret mellem 1400 USD pr. ton og 2700 USD pr. ton over de seneste 20 år. Den relativt lave nuværende pris skyldes en overproduktion efter den økonomiske krise. Der er et betydeligt marked for aluminiumsskrot, der typisk handles for 3.000-7.500 kr./ton afhængig af kvalitet (renhed) og tonnage (større mængder sikrer bedre priser). Prisen for aluminiumsskrot, som ligger på 30-72% af prisen for nyproduceret aluminium, er høj sammenlignet med mange andre metaller.

### Forsyningsikkerhed

De globale bauxitressourcer er store og tilstrækkelige til at dække markedet i mange generationer frem. Reserverne er fordelt over flere kontinenter og lande. Til trods for en relativ kraftig stigning i bauxitudvinding og stigende behov for aluminium forventes der derfor ikke umiddelbart vanskeligheder mht. fremskaffelse af metallet i fremtiden.

Udfordringen for EU er dog, at den interne produktion, primær såvel som sekundær i lavere grad dækker EU's egenforbrug (10% i 2020). Importafhængigheden har derved været tiltalende over en årrække og aluminium er derfor placeret på EUs liste over strategiske og kritiske råstoffer.

### Kilder og videre læsning

All about aluminium:  
[www.aluminiumleader.com/en/](https://www.aluminiumleader.com/en/)

European Aluminium Association.  
[www.alueurope.eu/](https://www.alueurope.eu/)

Fraser Institute Annual: Survey of Mining Companies 2023:  
<https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2023?language=en>

International Aluminium Institute:  
<https://international-aluminium.org/>

Kalvig, Per og Keiding, Jakob Kløve 2023: Dansk Industris brug af mineralske råstoffer - beskrivelse af udvalgte forsyningskæder. MiMa rapport 2023/4.

London Metal Exchange:  
[www.lme.com](https://www.lme.com)

Screen2 Aluminum factsheet 2023:  
[https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2\\_factsheets\\_ALUMINIUM-update2.pdf](https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_ALUMINIUM-update2.pdf)

The aluminium association:  
[www.aluminum.org/](https://www.aluminum.org/)

USGS 2024: Commodity Statistics and Information:  
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/commodity-statistics-and-information#A>