

Christian Terhorst

Aluminium Gewinnung und Verwendung

1 Allgemeines

Die erste Synthese von Aluminium gelang 1825 dem dänischen Chemiker Hans Christian Ørsted. Ørsted erhielt, wenn auch stark verunreinigtes, Aluminium durch die Umsetzung von Aluminiumtrichlorid mit metallischem Kalium. Die Herstellung von reinem Aluminium in Pulverform gelang 1827 dem Chemiker Friedrich Wöhler nach der gleichen Syntheseroute, die sein dänischer Kollege versucht hatte. Wöhler war der Erste, der die relative Dichte von Aluminium bestimmte. 1854 gewann Henri Sainte-Claire Deville in Frankreich das Metall, indem er eine Mischung aus Kochsalz und Aluminiumchlorid mit Natrium reduzierte. Dank der finanziellen Unterstützung Napoleons III. konnte Deville eine groß angelegte Experimentalfabrik bauen und auf der Pariser Weltausstellung von 1855 reines Aluminium vorstellen. Aluminium wurde in den Jahren von 1855 bis 1890 nach Devilles Verfahren technisch hergestellt. Danach folgte das noch heute praktizierte Elektrolyseverfahren (siehe unten Hall-Héroult - Verfahren).

2 Eigenschaften

Aluminium, Symbol Al, chemisches Element aus der III. Hauptgruppe des Periodensystems, der Gruppe der Erdmetalle, das wichtigste Leichtmetall, ein Reinelement; Ordnungszahl 13; Massenzahl 26,981539; Wertigkeit III selten I; Dichte $2,70\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ Schmelzpunkt $660,2^\circ\text{C}$, Siedepunkt 2467°C , gut elektrisch leitend.

Al ist ein in reiner Form äußerst reaktives Element, welches in Pulverform sogar pyrophor ist. Es wird bei Kontakt mit Luftsauerstoff schnell mit einer Oxidschicht überzogen, welche passivierend wirkt. Das Metall ist also weitestgehend korrosionsbeständig und eignet sich daher für eine Reihe von Anwendungen.

Das aluminothermische Verfahren wird zur kohlenstofffreien Darstellung hochschmelzender, schwer reduzierbarer Metalle (Chrom, Silicium, Bor Cobalt, Vanadium, Mangan) aus ihren Oxiden durch Reduktion mit Aluminium angewendet. Die Grundlage des Verfahrens ist die hohe Sauerstoffaffinität des Aluminiums. Nach diesem Verfahren werden die Oxide mit Aluminiumpulver gemischt. Das Gemisch wird durch eine Zündkirsche, die aus Magnesiumpulver und einem sauerstoffgebenden Stoff (z.B. Bariumperoxid oder Kaliumchlorat) besteht, zur Entzündung gebracht. Die Zündkirsche erzeugt die zur Erreichung des Zündpunktes des Thermit Gemisches erforderlichen Temperaturen. Die Reaktion pflanzt sich durch die entstehende große Reaktionswärme durch das ganze Gemisch fort und hält das entstehende Metall und das Aluminiumoxid in geschmolzenem Zustand. Es herrschen in dem Reaktionsgemisch über 2000°C . Das Aluminiumhydroxid schwimmt auf dem flüssigen Metall und schützt es vor Oxidation. Dieses Verfahren wird zum verschweißen von z.B. Eisenbahngleisen verwendet.



3 Vorkommen

Aluminium kommt in der Natur nur in Form von Verbindungen vor und ist am Aufbau der Erdkruste zu etwa 7% beteiligt ; damit steht es unter den Elementen an dritter und unter den Metallen an erster Stelle. Seine wichtigsten Vorkommen sind die Feldspate und Glimmer, Tone und der Bauxit:

Kalifeldspat, $K(AlSi_3O_8)$ (Orthoklas)
Natronfeldspat, $Na(AlSi_3O_8)$ (Albit)
Kalkfeldspat, $Ca(AlSi_2O_8)$ (Anorthit)
Kaliglimmer, $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$
Magnesiaglimmer, $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$

Die Tone als Verwitterungsprodukte feldspathaltiger Gesteine sind Al_2O_3 haltige Massen, die oft SiO_2 und Wasser enthalten. Unter bestimmten Verwitterungsbedingungen entsteht ein wasserhaltiges Aluminiumsilicat der Zusammensetzung $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (Kaolin, Kaolinit), das zur Porzellanerzeugung verwendet wird (Porzellanerde). Durch Eisenoxid und SiO_2 verunreinigte Tone bilden den Lehm, Tone mit $MgCO_3$ oder $CaCO_3$ bezeichnet man als Tonmergel. Als reines Al_2O_3 findet man Aluminium relativ selten (Tonerde, Korund oder Schmirgel). Für die Aluminiumgewinnung wichtig sind die Vorkommen als Bauxit, $AlO(OH)$, als Hydrargillit, $Al(OH)_3$, und als Kryolith, Na_3AlF_6 .



Bauxit ist einer der wichtigsten Rohstoffe zur Aluminiumgewinnung

Die größten Bauxitvorkommen befinden sich in Brasilien, China, Australien, Neuguinea, Ungarn im Balkonygebirge, in Frankreich in den Departements Hérault, Griechenland, Westafrika, Guyana, Surinam, auf Jamaika, sowie an zahlreichen anderen Stellen. Im Meerwasser liegt die typische Konzentration bei 5 ppb, wobei sie stark variiert. In Flußwasser findet man typischerweise 400 ppb.

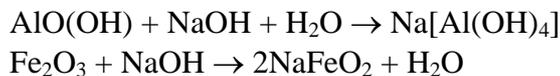
4 Herstellung von Aluminium

4.1 Aufbereitung des Bauxits

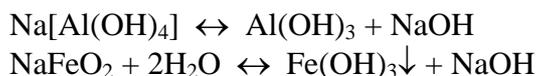
Aus dem Bauxit kann Aluminium nicht direkt durch die Reduktion mittels Kohle gewonnen werden, da das Metall eine starke Affinität zu Sauerstoff besitzt. Eine Temperatur von über 1800°C wäre erforderlich, um Aluminiumkarbid zu gewinnen. Somit läuft die Aufbereitung zweistufig ab. Dabei wird zunächst reines Aluminiumoxid hergestellt, das durch die Schmelzflußelektrolyse in Aluminium und Sauerstoff zerlegt wird.

Es gibt jedoch einige Verfahren, die es ermöglichen, Aluminium direkt aus dem Erz zu gewinnen. Man setzt dem Bauxit ein Metall mit geringerer Affinität zum Sauerstoff und Kohlenstoff zu. Es könnte sich zum Beispiel um Silizium handeln. Man erhält nun bei dem reduzierenden Verschmelzen im Elektroofen eine Al-Vorlegierung mit dem Zusatzmetall. Durch verschiedene Verfahren kann nun reines Aluminium oder eine Legierung gewünschter Zusammensetzung hergestellt werden.

Das wichtigste Verfahren zur Aufbereitung des Aluminiumoxids ist das Bayer Verfahren. Dieses Verfahren ermöglicht es, alle Bauxitvorkommen ökonomisch zu verarbeiten. Eisenoxid ist die größte Verunreinigung des Bauxits, die etwa 20 bis 25% ausmacht. Darauf folgt das Siliciumdioxid mit etwa 1 bis 5%. Dabei wird Bauxit mit 35 bis 50% iger Natronlauge unter 5 bis 7 bar Druck auf 160 bis 180°C erhitzt, wobei das Aluminium als Natriumaluminat, $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$, in Lösung geht, während das Eisen Natriumferrat bildet:



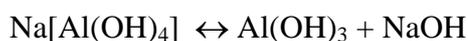
Verdünnt man die Aufschlusslösung, so verschiebt man die Lage der Gleichgewichte, beim Aluminium liegt sie aber noch ganz auf der Seite des Aluminats, während es beim Eisen ganz auf die Seite des unlöslichen Hydroxids verschoben wird:



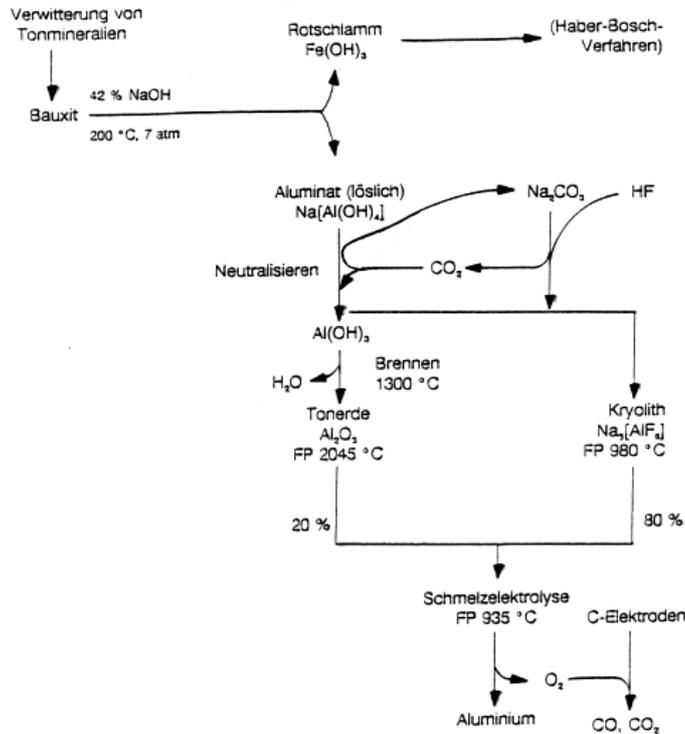
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Rotschlamm) wird von der Lösung getrennt und kann als Gasreinigungsmasse verwendet werden. Mit dem Rotschlamm fällt zum Teil auch die Kieselsäure als unlösliches Natriumaluminiumsilicat, $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{SiO}_6) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, aus. Die Bildung dieses Silicats führt deshalb zu beträchtlichen Ätznatron- und Tonerdenverlusten. Deshalb bevorzugt auch das Bayerverfahren möglichst kieselsäurearme Bauxite:



Eine Ausfällung des Hydroxids erfolgt durch starke Verdünnung der Aluminatlauge, wobei das Gleichgewicht

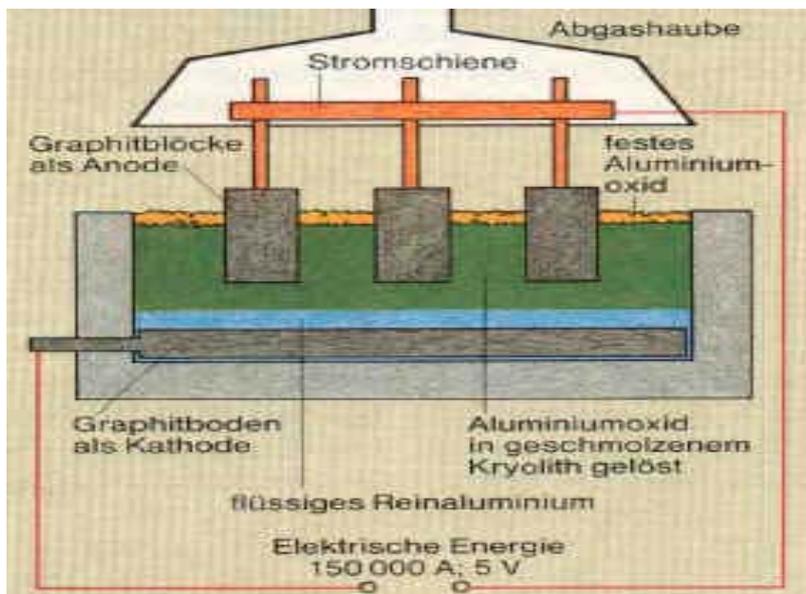


in Richtung $\text{Al}(\text{OH})_3$ – Bildung verschoben wird.
 Die Abscheidung des kristallisierten Hydroxids (Hydrargillit) wird durch Zugabe von Hydrargillit bzw. Bayerit zu Beginn des Ausrührens sehr beschleunigt. Das erhaltene Aluminiumhydroxid wird bei 1200°C zu Al_2O_3 entwässert.

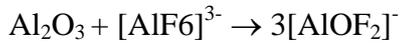


4.2 Schmelzflusselektrolyse (Hall – Hèroult Verfahren)

Reines Aluminiumoxid hat einen sehr hohen Schmelzpunkt von 2046°C . Deshalb elektrolysiert man nicht direkt geschmolzenes reines Aluminiumoxid, sondern eine Lösung in geschmolzenem Kryolith, Na_3AlF_6 (Fp.: 1100°C). Das einzige abbauwürdige Vorkommen von Kryolith liegt in Grönland, weshalb es künstlich hergestellt wird. Man verwendet in der Technik Badtemperaturen von 950°C und Badzusammensetzungen von 15 – 20% Aluminiumoxid. Die Dichte der Schmelze beträgt bei dieser Temperatur etwa $2,15\text{g}/\text{cm}^3$, so dass sich das Metall unter der Schmelze sammelt und so vor Luftoxidation geschützt ist.



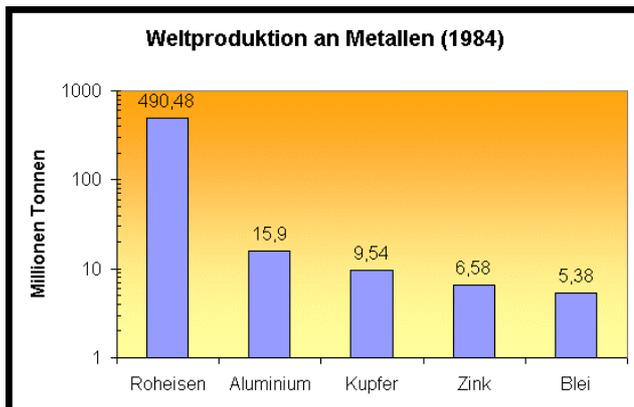
Bei der Elektrolyse werden die Fluoride theoretisch nicht verbraucht, es wird nur Al_2O_3 elektrolysiert. Im realen System sind die Fluoride wesentlich an der komplexen Auflösung von Al_2O_3 entsprechend



sowie am Stromtransport (Na^+ , $[\text{AlF}_6]^{3-}$) und am Anoden- und Kathodenprozess beteiligt. Die Schmelzflusselektrolyse wird in Eisenblechwannen durchgeführt, deren Seitenwände und Boden mit Kohlefutter ausgekleidet sind und als Kathode dienen. Als Anoden dienen Kohleblöcke. Das in der Schmelze dissoziiert vorliegende Aluminiumoxid wird bei einer Betriebsspannung von 5 bis 7 Volt in Aluminium und Sauerstoff zerlegt. Der anodisch entwickelte Sauerstoff reagiert mit der Kohleanode unter Bildung von Kohlenmonoxid unter Wärmeentwicklung, wo wenigstens ein Teil der zur Schmelzflusselektrolyse benötigten Energie zurückgewonnen wird. Dieses Verfahren ist sehr energieaufwändig, weshalb es sehr teuer ist (1t Al ca. 2500€).

Es existieren noch einige andere Verfahren zur Herstellung von Aluminium, die aber keine großtechnische Bedeutung besitzen.

1900 lag die Weltproduktion bei 7.000 Tonnen, 1940 bei 800.000 Tonnen, 1960 bei 3,6 Millionen Tonnen und ab 1996 bei über 20 Millionen Tonnen Aluminium pro Jahr.



5 Verwendung

Aluminium ist heute nach Eisen das wichtigste Gebrauchsmetall. Zuerst einmal hat Aluminium in der Verkehrstechnik neue Möglichkeiten eröffnet. Es hilft indirekt beim Energiesparen, da Aluminium im Gegensatz zu Stahl 50% weniger Gewicht besitzt. Somit muß weniger Energie aufgewendet werden um das Gefährt fortzubewegen. Zum Beispiel verbraucht ein Auto auf 100 km 1l weniger Benzin, wenn es 100 kg leichter ist. Dies läßt sich erreichen, da heute z.B. Motorblöcke, Zylinderköpfe, Kühler und Felgen aus Aluminium bestehen. Ein weiterer erheblicher Vorteil ist die Verringerung der Erhaltungskosten. Aluminium rostet nicht.

Auch in der Luftfahrt bringt es erhebliche Vorteile. Aluminium ermöglicht es, die Flugzeuge wesentlich leichter zu bauen. Somit können mehr Passagiere bei weniger Treibstoffverbrauch transportiert werden.

Eine weitere Verwendung von Aluminium stellt die Bauindustrie dar. Fast 20% des

hergestellten Aluminiums wird für die Bauindustrie verwendet. Zum einen besitzt Aluminium eine geringere Dichte als Stahl und zum anderen ist es leicht formbar und noch immer sehr stabil. Aluminium ermöglicht so zum Beispiel die Erstellung von riesigen Verglasungen an großen Dachkonstruktionen, moderner Einkaufspassagen und Freizeitanlagen. Im privaten Bereich ist es häufig bei Wintergarten-Anbauten zu sehen. Türrahmen und Fensterrahmen bleiben dank Aluminium formstabil und damit luftdicht und wärmedämmend. Des Weiteren besitzt Aluminium eine fast unbegrenzte Lebensdauer, da es chemisch sehr beständig ist.

Dies stellt wieder einen weiteren Vorteil in den Städten dar. Trotz Smogs, starker Luftverschmutzung und sauren Regens bleibt die Oberfläche der Aluminiumbauten unverändert.

Vor dem Haushalt hat das Aluminium auch keinen Halt gemacht. Töpfe und Pfannen sind aus dem Leichtmetall gebaut, da es Wärme gut leitet. Jedem wird wohl auch die Alu-Folie bekannt sein. Aluminium-Folie ist aus mehreren Gründen zur Aufbewahrung von Lebensmitteln geeignet. Zum einen reflektiert Alu-Folie Wärmestrahlung. Somit bleiben warme Speisen länger warm und kalte länger kalt. Des Weiteren ist die Folie wasserundurchlässig. Lebensmittel bleiben also in Alu-Folie länger frisch. Außerdem stellt Aluminium kein Nährboden für Bakterien dar.

6 Literatur

1. Kolditz, Anorganische Chemie, 3. bearbeitete Auflage, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1990
2. Autorenkolleg, Brockhaus ABC Naturwissenschaft und Technik, 9. Auflage, VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1968
3. www.delwo.de/lexikon/alu.html (Graphiken)
4. www.chemieunterricht.de