

AluStrangpressSpannDehn

Inhalt

Artikel

Spannungs-Dehnungs-Diagramm	1
Aluminium	3
Strangpressen	23

Quellennachweise

Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)	25
Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes	26

Artikellizenzen

Lizenz	27
--------	----

Spannungs-Dehnungs-Diagramm

In der Technik ist es häufig von großer Bedeutung, die Eigenschaften eines verwendeten Materials hinsichtlich seiner Festigkeit, seiner Plastizität bzw. seiner Sprödigkeit, seiner Elastizität und einiger anderer Eigenschaften genau zu kennen.

Zu diesem Zweck werden Materialproben im Zugversuch getestet, indem die Probe mit bekanntem Ausgangsquerschnitt in eine Zugprüfmaschine eingespannt und mit einer Zugkraft F belastet wird.

Unter Erhöhung der Kraft wird diese dann über der verursachten Längenänderung ΔL grafisch dargestellt. Diese Kurve bezeichnet man als **Kraft-Verlängerungs-Diagramm**.

Um eine Messkurve zu erhalten, die nur von der Art und Struktur des geprüften Materials, also nicht von den geometrischen Abmessungen der Probe abhängt, verwendet man reduzierte Einheiten, das heißt die Längenänderung ΔL wird auf die Anfangslänge L_0 und die Kraft F auf den senkrechten Querschnitt S_0 des Körpers im undeformierten Zustand bezogen.

Diese jetzt von der Probenform unabhängige Kurve nennt man **Spannungs-Dehnungs-Diagramm**.

Dehnung:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

(Nenn-)Spannung:

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

Die Dehnung ist eine dimensionslose Größe. Häufig wird sie in Prozent oder in Promille angegeben (z. B. „0,3 %-Dehngrenze“).

Die Einheit der Spannung ist N/m^2 ($= 1 \text{ Pa}$). Im Maschinenbau und der Werkstoffkunde wird oft mit der Einheit 1 N/mm^2 ($= 1 \text{ MPa}$) gearbeitet.

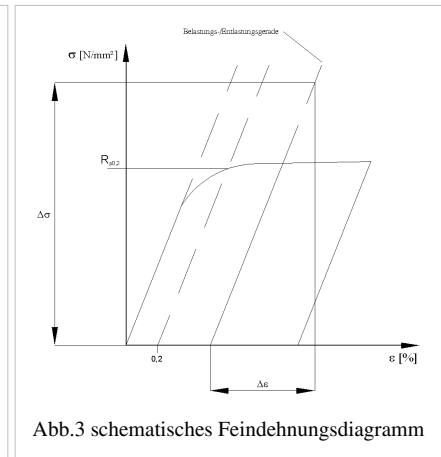
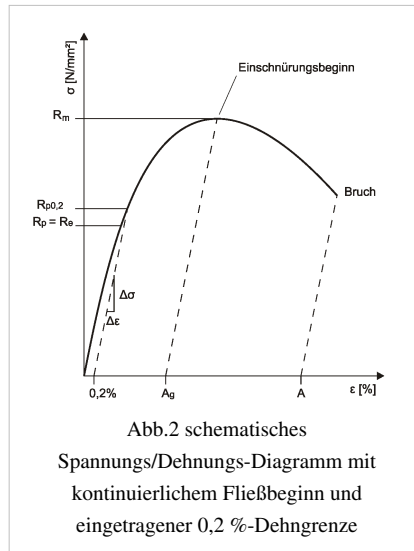
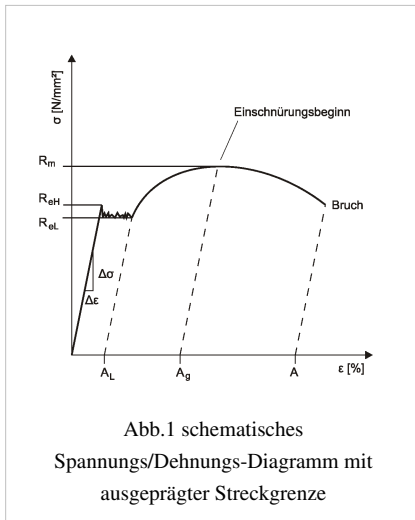
Je nachdem, ob man den Versuch spannungsgeregelt oder dehnungsgeregelt fährt, ist die Spannung bzw. die Dehnung die unabhängige Variable. Es hat sich jedoch eingebürgert, immer die Spannung über der Dehnung aufzutragen.

Die (technische) Spannung bezieht sich immer auf den Ausgangsquerschnitt S_0 . Die wahre Spannung steigt jedoch im Zugversuch ab R_m weiter an, da sich die Querschnittsfläche aufgrund von Einschnürung verringert. Die wahre Spannung kann allerdings nicht direkt mit dem Zugversuch ermittelt werden, daher verwendet man fast immer die technische Spannung σ . Eine Möglichkeit, die wahre Spannung zu ermitteln, ist die gleichzeitige optische Auswertung.

Man unterscheidet verschiedene Bereiche im Spannungs-Dehnungs-Diagramm:

- den **linear-elastischen Bereich** (Proportionalbereich, „Hookesche Gerade“), in welchem die Dehnung der Spannung proportional ist und somit das Hookesche Gesetz gilt
- den **nichtlinear-elastischen Bereich**, in welchem die Verformung noch reversibel ist (elastisch) aber nicht mehr der Spannung proportional ist.
- der **plastische Bereich**, in welchem die Verformung teilweise plastisch – das heißt irreversibel – ist. Wenn die **Elastizitätsgrenze** überschritten wird, entstehen im Bauteil bleibende Deformationen aufgrund von Versetzungsbewegungen, die temperatur- und dehnratenabhängig sind (Thermisch aktiviertes Fließen).

Baustähle zeigen einen ausgeprägten Streckgrenzeneffekt, der durch interstitiell eingelagerte Fremdatome, beispielsweise C und N hervorgerufen wird.



In den Diagrammen sind folgende Abkürzungen verwendet worden:

- R_m = Zugfestigkeit
- R_{eH} = obere Streckgrenze
- R_{eL} = untere Streckgrenze
- $R_{p0,2}$ = Dehngrenze mit 0,2 % plastischer Verformung
- E = Elastizitätsmodul
- A = Bruchdehnung
- A_g = Gleichmaßdehnung
- A_L = Lüdersdehnung



Literatur

- Eckard Macherauch: *Praktikum in Werkstoffkunde*. 10., verb. Aufl., Vieweg, Braunschweig 1992, ISBN 3-528-93306-2

Aluminium

Eigenschaften	
Periodensystem	
Allgemein	
Name, Symbol, Ordnungszahl	Aluminium, Al, 13
Serie	Metalle
Gruppe, Periode, Block	13, 3, p
Aussehen	silbrig
CAS-Nummer	7429-90-5
Massenanteil an der Erdhülle	7,57 % ^[1]
Atomar ^[2]	
Atommasse	26,9815385(7) u
Atomradius (berechnet)	125 (118) pm
Kovalenter Radius	121 pm
Van-der-Waals-Radius	184 ^[3] pm
Elektronenkonfiguration	[Ne] 3s ² 3p ¹
Austrittsarbeit	4,06–4,26 eV ^[4]
1. Ionisierungsenergie	577,5 kJ/mol
2. Ionisierungsenergie	1816,7 kJ/mol
3. Ionisierungsenergie	2744,8 kJ/mol
Physikalisch ^[5]	
Aggregatzustand	fest
Kristallstruktur	kubisch flächenzentriert
Dichte	2,7 g/cm ³
Mohshärte	2,75
Magnetismus	paramagnetisch ($\chi_m = 2,1 \cdot 10^{-5}$) ^[6]
Schmelzpunkt	933,47 K (660,32 °C)
Siedepunkt	2743 K ^[7] (2470 °C)
Molares Volumen	10,00 · 10 ⁻⁶ m ³ /mol
Verdampfungswärme	284 kJ/mol
Schmelzwärme	10,7 kJ/mol
Schallgeschwindigkeit	6250-6500 (Longitudinalwelle)/3100 (Scherwelle) m/s bei 293,15 K
Spezifische Wärmekapazität	897 J/(kg · K)
Elektrische Leitfähigkeit	37,7 · 10 ⁶ A/(V · m)
Wärmeleitfähigkeit	235 W/(m · K)

Mechanisch ^[8]					
E-Modul	70000 N/mm ² ^[9]				
Poissonzahl	0,34 ^[10]				
Chemisch ^[11]					
Oxidationszustände	1, 2, 3				
Oxide (Basizität)	Al ₂ O ₃ (amphoter)				
Normalpotential	-1,676 V (Al ³⁺ + 3 e ⁻ → Al)				
Elektronegativität	1,61 (Pauling-Skala)				
Isotope					
Isotop	NH	t _{1/2}	ZA	ZE (MeV)	ZP
²⁵ Al	{ syn. }	7,183 s	ε	4,277	²⁵ Mg
²⁶ Al	in Spuren	7,17 · 10 ⁵ a	ε	4,004	²⁶ Mg
²⁷ Al	100 %	Stabil			
²⁸ Al	{ syn. }	2,2414 min	β ⁻	4,642	²⁸ Si
²⁹ Al	{ syn. }	6,56 min	β ⁻	3,680	²⁹ Si
Weitere Isotope siehe Liste der Isotope					
NMR-Eigenschaften					
	Spin	γ in rad·T ⁻¹ ·s ⁻¹	E _r (¹ H)	f _L bei B = 4,7 T in MHz	
²⁷ Al	5/2	6,976 · 10 ⁷			
Sicherheitshinweise					

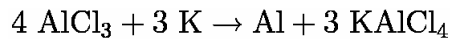
GHS-Gefahrstoffkennzeichnung aus EU-Verordnung (EG) 1272/2008 (CLP) ^[12]	
Pulver	
	
Gefahr	
H- und P-Sätze	H: 250 - 261 P: 210 - 222 - 231+232 - 280 - 422 - 501
EU-Gefahrstoffkennzeichnung ^[13] aus EU-Verordnung (EG) 1272/2008 (CLP) ^[12] Pulver	
	
Leicht- entzündlich (F)	
R- und S-Sätze	R: 15 - 17 (nicht stabilisiert) R: 10 - 15 (phlegmatisiert) S: (2) - 7/8 - 43
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Aluminium ist ein chemisches Element mit dem Elementsymbol *Al* und der Ordnungszahl 13. Im Periodensystem gehört Aluminium zur dritten Hauptgruppe und zur 13. IUPAC-Gruppe, der Borgruppe, die früher auch als *Gruppe der Erdmetalle* bezeichnet wurde. Aluminium ist ein silbrig-weißes Leichtmetall. Es ist das dritthäufigste Element und häufigste Metall in der Erdkruste. Obwohl das Metall sehr unedel ist, reagiert es wegen Passivierung bei Raumtemperatur nur oberflächlich mit Luft und Wasser.

Geschichte



Aluminium ist im Vergleich zu anderen Metallen noch nicht lange bekannt. Erst im Jahre 1808 beschrieb es Sir Humphry Davy als „Aluminum“ und versuchte seine Herstellung. Dies gelang Hans Christian Ørsted erstmalig im Jahr 1825, durch Reaktion von Aluminiumchlorid (AlCl_3) mit Kaliumamalgam, wobei Kalium als Reduktionsmittel dient:^[14]



Friedrich Wöhler verwendete 1827 die gleiche Methode, verwendete zur Reduktion jedoch metallisches Kalium und erhielt damit ein reineres Aluminium. Zu jener Zeit kostete Aluminium mehr als Gold.

Henri Étienne Sainte-Claire Deville verfeinerte den Wöhler-Prozess im Jahr 1846 und publizierte ihn 1859 in einem Buch. Durch den verbesserten Prozess stieg die Ausbeute bei der Aluminiumgewinnung, was dazu führte, dass der Aluminiumpreis innerhalb von zehn Jahren

um 90 % fiel.

1886 wurde unabhängig voneinander durch Charles Martin Hall und Paul Héroult das jetzt nach ihnen benannte Elektrolyseverfahren zur Herstellung von Aluminium entwickelt: der Hall-Héroult-Prozess. 1889 entwickelte Carl Josef Bayer das nach ihm benannte Bayer-Verfahren zur Aluminiumherstellung. Aluminium wird noch heute nach diesem Prinzip großtechnisch hergestellt.

Zu dieser Zeit stand das Metall in solchem Ansehen, dass man daraus gefertigte Metallschiffe durchaus auf den Namen *Alumina* taufte.

Namensgebung

Der Elementname leitet sich vom lateinischen Wort *alumen* für Alaun ab. Zwei Namen für das Element sind in Gebrauch: *Aluminium* und *Aluminum*. Weltweit dominiert das erstere, während in den Vereinigten Staaten der zweite Name geläufiger ist.^[15] Die International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) beschloss im Jahr 1990 dass der Elementname *Aluminium* laute, akzeptierte 3 Jahre später aber auch *Aluminum* als mögliche Variante.

Vorkommen

Aluminium ist mit einem Anteil von 7,57 Gewichtsprozent nach Sauerstoff und Silicium das dritthäufigste Element der Erdkruste und damit das häufigste Metall. Allerdings kommt es aufgrund seines unedlen Charakters praktisch ausschließlich in gebundener Form vor. Die größte Menge befindet sich chemisch gebunden in Form von Alumosilicaten, wo es in der Kristallstruktur die Position von Silicium in Sauerstoff-Tetraedern einnimmt. Diese Silikate sind zum Beispiel Bestandteil von Ton, Gneis und Granit.

Seltener wird Aluminiumoxid in Form des Minerals Korund und seiner Varietäten Rubin (rot) und Saphir (farblos, verschiedenfarbig) gefunden. Die Farben dieser Kristalle beruhen auf Beimengungen anderer Metalloxeide. Korund hat mit fast 53 % den höchsten Aluminiumanteil in der Verbindung. Einen ähnlich hohen Aluminiumanteil haben die noch selteneren Minerale Akdalait (~51 %) und Diaoyudaoit (~50 %). Insgesamt sind bisher (Stand: 2010) 1156 aluminiumhaltige Minerale bekannt.^[16]

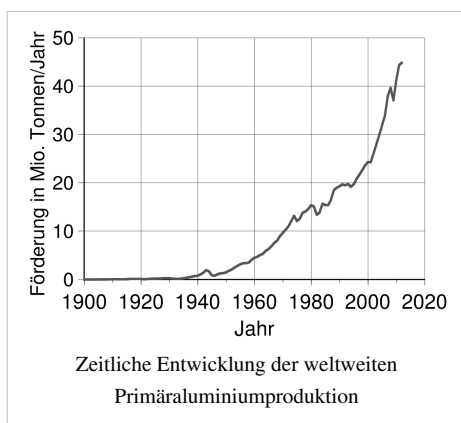
Das einzige wirtschaftlich wichtige Ausgangsmaterial für die Aluminiumproduktion ist Bauxit. Vorkommen befinden sich in Südfrankreich (Les Baux), Guinea, Bosnien und Herzegowina, Ungarn, Russland, Indien, Jamaika, Australien, Brasilien und den Vereinigten Staaten. Bauxit enthält ungefähr 60 % Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$ und $\text{AlO}(\text{OH})$), etwa 30 % Eisenoxid (Fe_2O_3) und Siliciumdioxid (SiO_2).

Bei der Herstellung unterscheidet man *Primäraluminium*, auch *Hüttenaluminium* genannt, das aus Bauxit gewonnen wird, und *Sekundäraluminium* aus Aluminiumschrott. Die Wiederverwertung benötigt dabei nur etwa 5 % Energie der Primärgewinnung.

Trotz seines unedlen Charakters kann Aluminium in der Natur auch elementar vorkommen. Hier tritt es sehr selten gediegen, das heißt elementar meist in Form von körnigen bis massigen Aggregaten auf, kann in seltenen Fällen aber auch tafelige Kristalle bis etwa einen Zentimeter Größe entwickeln.^[17] Von der International Mineralogical Association (IMA) ist es daher in der Mineralsystematik nach Strunz unter der System-Nummer 1.AA.05 beziehungsweise veraltet unter I/A.03-05 als Mineral anerkannt. Gediegenes Aluminium konnte bisher (Stand: 2010) an rund 20 Fundorten nachgewiesen werden: In Aserbaidschan, Bulgarien, der Volksrepublik China (Guangdong, Guizhou und Tibet), Italien, Russland (Ostsibirien, Ural) und in Usbekistan. Auch auf dem Mond ist gediegenes Aluminium gefunden worden.^[18] Aufgrund der extremen Seltenheit hat gediegenes Aluminium keine Bedeutung als Rohstoffquelle.

Gewinnung

Primäraluminium (Herstellung aus Mineralien)



Da Aluminium aus den Alumosilikaten aufgrund der Bindungsverhältnisse praktisch nicht isoliert werden kann, ist eine wirtschaftliche großtechnische Gewinnung von metallischem Aluminium nur aus Bauxit möglich. Das in diesem Erz enthaltene Aluminiumoxid/-hydroxid-Gemisch wird zunächst mit Natronlauge aufgeschlossen (Bayer-Verfahren), um es von Fremdbestandteilen wie Eisen- und Siliciumoxid zu befreien und wird dann überwiegend in Wirbelschichtanlagen (aber auch in Drehrohröfen) zu Aluminiumoxid (Al_2O_3) gebrannt.

Der sogenannte trockene Aufschluss (Deville-Verfahren) hat dagegen keine Bedeutung mehr. Dabei wird feinstgemahlenes, ungereinigtes Bauxit zusammen mit Soda und Koks in Drehrohröfen bei rund 1200 °C kalziniert und das entstehende Natrium-Aluminat anschließend mit Natronlauge gelöst.

Die Herstellung von Aluminium erfolgt ausschließlich durch Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid nach dem Kryolith-Tonerde-Verfahren (Hall-Héroult-Prozess). Zur Herabsetzung des Schmelzpunktes wird das Aluminiumoxid zusammen mit Kryolith geschmolzen (Eutektikum bei 963 °C;^[19]

Der Prozess ist aufgrund der hohen Bindungsenergie des Aluminiums und seiner Dreiwertigkeit recht energieaufwändig. Der Energieeinsatz liegt bei 12,9–17,7 kWh pro produziertem Kilogramm Roh-Aluminium.^{[20][21]} Energieeinsparungen sind möglich^[22]:






- durch Reduzierung des Strombedarfs (nur in geringem Ausmaß, weil die Potentiale für energetische Optimierungen weitgehend erschlossen sind),
- Einsparungen bei der Stromherstellung aufgrund höherer Wirkungsgrade
- erhöhte Recyclingraten wegen verbesserter Aussortierung, beispielsweise beim schreddern in der Autoverwertung.

Bei der Elektrolyse entsteht an der den Boden des Gefäßes bildenden Kathode Aluminium und an der Anode Sauerstoff, der mit dem Graphit (Kohlenstoff) der Anode zu Kohlendioxid und Kohlenstoffmonoxid reagiert.

Die Graphitblöcke, welche die Anode bilden, brennen wegen des im Prozess entstehenden Sauerstoffs langsam ab und werden von Zeit zu Zeit ersetzt. Die Graphit-Kathode (Gefäßboden) ist gegenüber dem Aluminium inert. Das sich am Boden sammelnde flüssige Aluminium wird mit einem Saugrohr abgesaugt.

Die Aluminiumherstellung ist nur in der Nähe preiswert zur Verfügung stehender Elektroenergie wirtschaftlich.

Bauxit-Produktion in Tausend Tonnen (2008)^[23]

Land	Förderung	Reserven	Vorratsbasis
 Australien	63.000	5.800.000	7.900.000
 China	32.000	700.000	2.300.000
 Indien	20.000	770.000	1.400.000
 Guinea	18.000	7.400.000	8.600.000
 Jamaika	15.000	2.000.000	2.500.000

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Aluminiumproduktion und die maximal mögliche Produktionsleistung der Hüttenwerke nach Ländern.

Angaben in Tausend Tonnen (2009)^[24]

Rang	Land	Produktion	Kapazität
1.	China	13.000	19.000
2.	Russland	3.300	5.150
3.	Kanada	3.000	3.090
4.	Australien	1.970	1.970
5.	USA	1.710	3.500
6.	Indien	1.600	2.000
7.	Brasilien	1.550	1.700
8.	Norwegen	1.200	1.230
9.	VAE	950	950
10.	Bahrain	870	880
11.	Südafrika	800	900
12.	Island	790	790
13.	Venezuela	550	625
14.	Deutschland	520	620
15.	Mosambik	500	570
16.	Andere Länder	4.600	6.920
	Welt	36.900	49.900

Sekundäraluminium (Herstellung durch Aluminium-Recycling)

Um Aluminium zu recyceln werden Aluminiumschrotte und „Krätzen“ in Trommelöfen eingeschmolzen. „Krätze“ ist ein Abfallprodukt bei der Verarbeitung von Aluminium und bei der Herstellung von Sekundäraluminium. Krätze ist ein Gemisch aus Aluminiummetall und feinkörnigen Oxidpartikeln und wird beim Schmelzen von Aluminium bei 800°C aus dem Aluminiumoxid der normalen Aluminiumkorrosion und als Oxidationsprodukt (Oxidhaut) beim Kontakt von flüssigem Aluminium mit Luftsauerstoff gebildet. Damit beim Aluminiumgießen keine Aluminiumoxidpartikel in das Gußteil gelangen wird die Krätze durch *Kratz*vorrichtungen von der Oberfläche des Metallbads abgeschöpft.

Um die Bildung von Krätze zu verhindern wird die Oberfläche der Schmelze mit Halogenidsalzen (rund zwei Drittel NaCl, ein Drittel KCl und geringe Mengen Calciumfluorid CaF_2) abgedeckt (siehe dazu Aluminiumrecycling). Dabei entsteht als Nebenprodukt Salzschlacke, die noch ca. 10% Aluminium enthält, die entsprechend aufbereitet, als Rohstoff für mineralische Glasfasern dient^[25]

Allerdings steht das Sekundäraluminium im Ruf, dass beim Recycling pro Tonne jeweils 300–500 Kilogramm Salzschlacke, verunreinigt mit Dioxinen und Metallen entsteht, deren mögliche Wiederverwertung aber Stand der Technik ist^{[26][27]}.

Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften

Aluminium ist ein relativ weiches und zähes Metall, die Zugfestigkeit von purem Aluminium liegt bei 49 MPa, die von seinen Legierungen bei 300 bis 700 MPa. Sein Elastizitätsmodul liegt je nach Legierung bei etwa 70.000 MPa. Es ist dehnbar und kann durch Auswalzen zu dünnen Folien verarbeitet werden. Sogenannte Aluminium-Knetlegierungen lassen sich auch bei niedrigen Temperaturen gut umformen, biegen, pressen und schmieden. Durch Kaltumformen entstandene Spannungen können durch Weichglühen (bis 250 °C) beseitigt werden. Auch Duraluminium ist bei dieser Temperatur verformbar.

Legierungen mit einem Anteil bis zu 3 % Magnesium oder Silicium lassen sich gut gießen (Aluminium-Druckguss) und spanabhebend bearbeiten.

Bei einer Sprungtemperatur von 1,2 K wird reines Aluminium supraleitend.

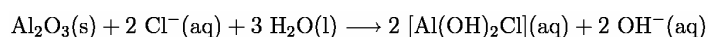
Der Schmelzpunkt liegt bei 660,4 °C und der Siedepunkt bei 2470 °C. Die Dichte von 2,7 g/cm³ bei Aluminium zeigt den Typus als Leichtmetall deutlich.

Chemische Eigenschaften

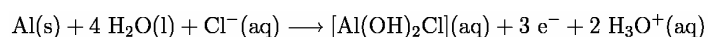
Das reine Leichtmetall Aluminium hat aufgrund einer sich sehr schnell an der Luft bildenden dünnen Oxidschicht ein stumpfes, silbergraues Aussehen. Diese passivierende Oxidschicht macht reines Aluminium bei pH-Werten von 4 bis 9 sehr korrosionsbeständig, sie erreicht eine Dicke von etwa 0,05 µm.^[28]

Diese Oxidschicht schützt auch vor weiterer Oxidation, ist aber bei der elektrischen Kontaktierung und beim Schweißen hinderlich. Sie kann durch elektrische Oxidation (Eloxieren) oder auf chemischem Weg verstärkt werden.

Die Oxidschicht kann mittels Komplexbildungsreaktionen aufgelöst werden. Einen außerordentlich stabilen und wasserlöslichen Neutralkomplex geht Aluminium in neutraler chloridischer Lösung ein. Folgende Reaktionsgleichung veranschaulicht den Vorgang:



Dies geschieht vorzugsweise an Stellen, wo die Oxidschicht des Aluminiums bereits geschädigt ist. Es kommt dort durch Bildung von Löchern zur Lochfraßkorrosion. Kann die chloridische Lösung dann an die freie Metalloberfläche treten, so laufen andere Reaktionen ab. Aluminium-Atome können unter Komplexierung oxidiert werden:



Geätzte Oberfläche eines hochreinen (99,9998 %) Aluminium-Barrens, Größe 55 × 37 mm



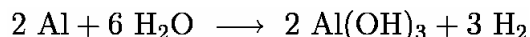
Hochreines Aluminium (99,99 %), makrogeätzt

Liegen in der Lösung Ionen edlerer Metalle vor, so werden sie reduziert und am Aluminium abgeschieden. Auf diesem Prinzip beruht die Reduktion von Silberionen, die auf der Oberfläche von angelaufenem Silber als Silbersulfid vorliegen, hin zu Silber.

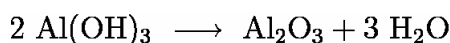
Aluminium reagiert heftig mit wässriger Natriumhydroxidlösung unter Bildung von Wasserstoff. Diese Reaktion wird in chemischen Rohrreinigungsmitteln ausgenutzt.

Die Reaktion von Al mit NaOH läuft folgendermaßen ab:

1. Schritt: Reaktion mit Wasser

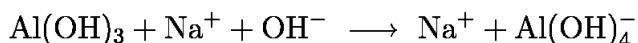


Hier schließt sich im Normalfall die Trocknung der Oberfläche an, die eine Umwandlung des Hydroxids zum Oxid zur Folge hat:



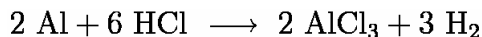
Dies passiert jedoch nicht bei der Reaktion von Aluminium in wässriger Natronlauge.

2. Schritt: Komplexierung des Hydroxids zu Natriumaluminat

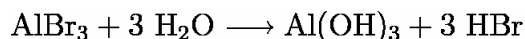


durch den zweiten Schritt wird das gallertartige Hydroxid wasserlöslich und kann von der Metalloberfläche abtransportiert werden. Dadurch ist die Aluminiumoberfläche nicht mehr vor dem weiteren Angriff des Wassers geschützt und Schritt 1 läuft wieder ab.

Mit dieser Methode lassen sich – ebenso wie bei der Reaktion von Aluminium mit Säuren – pro zwei Mol Aluminium drei Mol Wasserstoffgas herstellen.



Mit Brom reagiert Aluminium bei Zimmertemperatur unter Flammenerscheinung. Hierbei ist zu beachten, dass das entstehende Aluminiumbromid mit Wasser unter Bildung von Aluminiumhydroxid und Bromwasserstoffsäure reagiert.



Mit Quecksilber bildet Aluminium ein Amalgam. Wenn Quecksilber direkt mit Aluminium zusammenkommt (d. h. wenn die Aluminiumoxidschicht an dieser Stelle mechanisch zerstört wird), frisst das Quecksilber Löcher in das Aluminium; unter Wasser wächst dann darüber Aluminiumoxid in Gestalt eines kleinen Blumenkohls. Daraus ist abgeleitet, dass Quecksilber in der Luftfahrt als Gefahrgut und „ätzende Flüssigkeit“ gegenüber Aluminiumwerkstoffen behandelt wird.^[29] Mit Salzsäure reagiert Aluminium auch sehr heftig unter Wasserstoffentwicklung, von Schwefelsäure wird es langsam aufgelöst. In Salpetersäure wird es passiviert.

In Pulverform (Partikelgröße < 500 µm) ist Aluminium vor allem dann, wenn es nicht phlegmatisiert ist, aufgrund seiner großen Oberfläche sehr reaktiv. Aluminium reagiert dann mit Wasser unter Abgabe von Wasserstoff zu Aluminiumhydroxid. Feinstes, nicht phlegmatisiertes Aluminiumpulver wird auch als Pyroschliff bezeichnet. Nicht phlegmatisierter Aluminiumstaub ist sehr gefährlich und entzündet sich bei Luftkontakt explosionsartig von selbst.



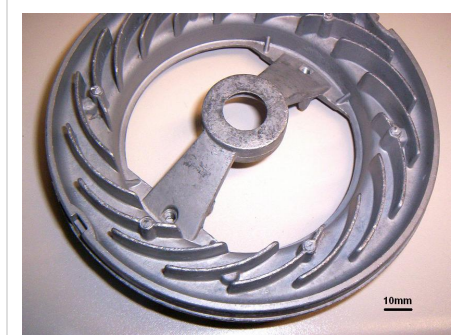
Alubarren aus dem Werk in Gampel im Kanton Wallis

Verwendung

In den letzten Jahren kam es zu einem deutlichen Preisanstieg von Aluminium am Weltmarkt (Stand Juli 2010: ca. 2000 Euro pro Tonne bei einer Reinheit von 99,7 %).^[30]

Konstruktionswerkstoff

Wegen seiner geringen Dichte wird Aluminium gern dort verwendet, wo es auf geringe Masse ankommt, die zum Beispiel bei Transportmitteln zum geringeren Treibstoffverbrauch beiträgt, vor allem in der Luft- und Raumfahrt. Auch im Fahrzeugbau gewann es aus diesem Grund an Bedeutung; hier standen früher der hohe Materialpreis, die schlechtere Schweißbarkeit sowie die problematische Dauerbruchfestigkeit und die Verformungseigenschaften bei Unfällen (geringes Energieaufnahmevermögen in der sogenannten Knautschzone) im Wege. Schon in den 1930er Jahren verwendete ein amerikanisches Unternehmen Aluminium, um ein militärisches Amphibienfahrzeug leichter zu machen. Beim Bau von kleinen und mittleren Yachten wird die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium gegenüber Salzwasser geschätzt, die sich nach Bildung einer dünnen, schützenden Oxidschicht an der Oberfläche ergibt.



Typisches Druckguss-Teil aus einer Aluminiumlegierung (Teil eines Staubsaugergebläses)

In Legierungen mit Magnesium, Silicium und anderen Metallen werden Festigkeiten erreicht, die denen von Stahl nur wenig nachstehen. Daher ist die Verwendung von Aluminium zur Gewichtsreduzierung überall dort angebracht, wo Materialkosten eine untergeordnete Rolle spielen. Insbesondere im Flugzeugbau und in der Weltraumtechnik sind Aluminium und Duraluminium weit verbreitet. Der größte Teil der Struktur heutiger Verkehrsflugzeuge wird aus Aluminiumblechen verschiedener Stärken und Legierungen genietet. Bei den neusten Modellen (Boeing 787, Airbus A350) wird Aluminium größtenteils durch den noch leichteren kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK) verdrängt.

Aluminium lässt sich durch Strangpressen in komplizierte Profile formen, hierin liegt ein großer Vorteil bei der Fertigung von Hohlprofilen (Automatisierungstechnik, Messebau), Kühlkörperprofilen oder in der Antennentechnik. Aluminium-Gussteile können durch Druckguss in komplizierten Formen gefertigt werden; die spanende Nachbearbeitung ist gut möglich.

Mit Aluminium werden Heizelemente von Bügeleisen und Kaffeemaschinen umpresst.

Bevor es gelang, Zinkblech durch Titanzusatz als so genanntes Titanzink verarbeitbar zu machen, wurde Aluminiumblech für Fassaden- und Dachelemente (siehe Leichtdach) sowie Dachrinnen eingesetzt.

Aluminiumlegierungen

→ Hauptartikel: *Aluminiumlegierung*

Aluminium kann im schmelzflüssigen Zustand mit Kupfer, Magnesium, Mangan, Silicium, Eisen, Titan, Beryllium, Lithium, Chrom, Zink, Zirkonium und Molybdän legiert werden, um bestimmte Eigenschaften zu fördern oder andere, ungewünschte Eigenschaften zu unterdrücken.

Bei den meisten Legierungen ist jedoch die Bildung der schützenden Oxidschicht (Passivierung) stark gestört, wodurch die daraus gefertigten Bauteile teils hochgradig korrosionsgefährdet sind. Nahezu alle hochfesten Aluminiumlegierungen sind von dem Problem betroffen.

Es gibt Aluminiumknetlegierungen (AW, englisch *wrought*), zum Beispiel AlMgMn, und Aluminiumgusslegierungen (AC, englisch *cast*). Aluminiumgusslegierungen werden zum Beispiel für Leichtmetallfelgen verwendet.

Im Allgemeinen werden Aluminiumlegierungen nach dem System der AA (Aluminum Association) bezeichnet:

- Aluminiumgusslegierungen – Herstellung von Motoren- und Getriebegehäusen. Typische Aluminiumgusslegierungen sind: AlSi, AlSiCu, AlSiMg, AlCuTi, AlMg
- Aluminiumknetlegierungen – Platten und Bandproduktion durch Warm- und Kaltumformen (Walzen, Strangpressen, Schmieden).
 - Typische „naturharte“ Aluminiumknetlegierungen sind: AlMg, AlMn, AlMgMn, AlSi
 - „Aushärtbare“ Knetlegierungen – Festigkeitssteigerung durch Ausscheidung von Legierungselementen bei einer zusätzlichen Alterungsglühung bei 150 bis 190 °C. Typische „aushärtbare“ Aluminiumknetlegierungen sind: AlMgSi, AlCuMg, AlZnMg, AlZnMgCu. Die erste hochfeste, aushärtbare Aluminiumlegierung AlCuMg bekam 1907 den Markennamen Duraluminium.

Elektrotechnik

Aluminium ist ein guter elektrischer Leiter: Aluminium leitet Strom je Gramm Masse besser als Kupfer, ist aber voluminöser als dieses, so dass Kupfer je Quadratzentimeter Leitungsquerschnitt Strom besser leitet als Aluminium. Weil Kupfer reaktionsträger und die Verarbeitung weniger problematisch als bei Aluminium ist, wird meistens Kupfer verwendet und Aluminium nur, wenn es auf das Gewicht ankommt.

Aluminium wird insbesondere dann als Leitermaterial für elektrischen Strom im Stromnetz verwendet, wenn es sich um starre und dicke Leitungen handelt (Stromschienen, Erdkabel). Hier bietet es Kostenvorteile gegenüber Kupfer.

Beim Kontaktieren ist problematisch, dass Aluminium unter dem Druck der Kontaktierung zum Kriechen neigt. Außerdem überzieht es sich an Luft spontan mit einer Oxidschicht. Nach längerer Lagerung oder intensivem Kontakt mit Wasser ist diese isolierende Schicht so dick, dass sie vor der Kontaktierung beseitigt werden muss.

Aluminium fand vorübergehend ab ca. 1960 Anwendung als Leitermaterial in Gebäudeinstallationen – aufgrund ungeeigneter Klemmen kam es zu Ausfällen und sogar Bränden aufgrund sich lösender Kontakte. Crimpverbindungen mit passenden Hülsen und Werkzeugen sind jedoch sicher. Als Zwischenlage zwischen Kupfer und Aluminium können Verbindungsstücke aus Cupal die Kontaktprobleme vermeiden.

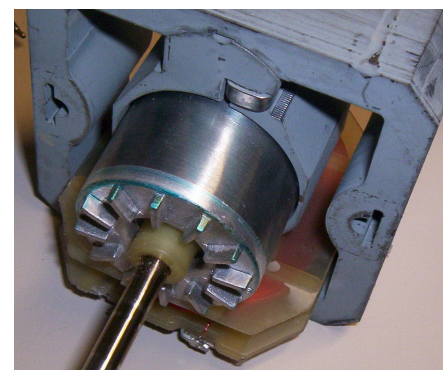
Vorübergehend gab es für Hausinstallationen so genannte Alcu-Kabel, bei diesen sollte eine Verkupferung der Aluminiumadern zu besserer Kontaktgabe führen – das Kriechen beim hohen Kontaktdruck einer Schraubklemme konnte jedoch auch dadurch nicht beseitigt werden.

Hervorzuheben ist das geringe Absinken der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von Aluminium bei Zusatz von Legierungsbestandteilen, wohingegen Kupfer bei Verunreinigungen eine stark absinkende Leitfähigkeit zeigt.

Aluminium wird daher nicht nur zu Stromschienen in Umspannwerken, sondern auch zu stromführenden Gussteilen verarbeitet.

Aluminium wird auch in Überlandleitungen (Freileitungen) als eines von mehreren Leitungsmaterialien verwendet – die geringe Dichte ist hier ausschlaggebend. Kupferleitungen mit der gleichen Leitfähigkeit hätten zwar einen geringeren Querschnitt, jedoch etwa die doppelte Masse. Aus dem gleichen Grund werden im Airbus A380 ebenfalls Aluminiumkabel verwendet.

Für Oberleitungen ist es dagegen aufgrund seiner schlechten Kontakt- und Gleiteigenschaften ungeeignet.



Aluminium-Umguss am Käfigläufer-Blechkpaket (zylindrisches Teil in der Mitte) eines Spaltpolmotors. Die Aluminium-Käfigstäbe verlaufen im Inneren. An den Stirnseiten sind zusätzlich Lüfterflügel mitgegossen. Obere Wicklung und Lagerschalen des Motors sind entfernt.

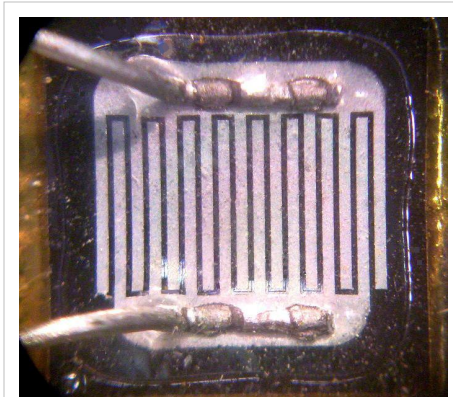
Aluminium wird zur Fertigung von Kurzschlussläufern von Asynchronmotoren verwendet, indem deren Blechpakete umgossen werden.

Elektronik

Die Elektronikindustrie setzt Aluminium aufgrund der guten Verarbeitbarkeit und der guten elektrischen Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit ein. Bonddrähte (Verbindungsdrähte zwischen Chip und Gehäuseanschluss) bestehen insbesondere bei Leistungshalbleitern aus Aluminium.

Die Leiterbahnen integrierter Schaltkreise und von Leistungshalbleitern bestehen oft ebenfalls aus Aluminium.

Wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit wird Aluminium als Werkstoff für Wärmeübertrager (Kühler), stranggepresste Kühlprofile und wärmeableitende Grundplatten verwendet (bei höherwertigen Kühlern wird allerdings wegen der höheren Wärmeleitfähigkeit Kupfer eingesetzt).



Aluminium als Leitermaterial für Bonddrähte und Metallisierung in einem Bipolartransistor

Aluminium-Elektrolytkondensatoren verbauen Aluminium als Elektrodenmaterial und Gehäusewerkstoff.

Aluminium wird zur Herstellung von Antennen und Hohlleitern verwendet.

Verpackung und Behälter

In der Verpackungsindustrie wird Aluminium zu Getränke- und Konservendosen sowie zu Aluminiumfolie verarbeitet. Dabei macht man sich die Eigenschaft der absoluten Barrierewirkung gegenüber Sauerstoff, Licht und anderen Umwelteinflüssen bei gleichzeitig relativ geringem Gewicht zunutze, um Lebensmittel zu schützen. Dünne Folien werden in Stärken von 6 Mikrometer hergestellt und dann zumeist in Verbundsystemen eingesetzt, beispielsweise in Tetra Paks. Kunststofffolien können durch Bedampfen mit Aluminium mit einer dünnen Schicht versehen werden, welche dann eine hohe (aber nicht vollständige) Barrierefunktion aufweist.

Aus Aluminium werden auch Kochtöpfe und andere Küchengeräte, wie die klassische italienische Espressokanne, sowie Reise- und Militär-Geschirr hergestellt.

Die Aufbewahrung und Zubereitung von säurehaltigen Lebensmitteln in Aluminiumbehältern beziehungsweise -folie ist problematisch, da es dabei lösliche Aluminiumsalze bildet, die mit der Nahrung aufgenommen werden. Aluminiumschichten in Verpackungsmitteln werden daher häufig durch eine Kunststoffschicht geschützt.

Aluminium wird für eine Vielzahl von Behältern und Gehäusen verarbeitet, da es sich gut durch Umformen bearbeiten lässt. Gegenstände aus Aluminium werden häufig durch eine Eloxalschicht vor Oxidation und Abrieb geschützt.



Eine klassische italienische Espressokanne aus Aluminium.



Ein Elektrogrill aus gekanteten Alu-Blechen

Optik und Lichttechnik

Aluminium wird aufgrund seines hohen Reflexionsgrades als Spiegelbeschichtung von Oberflächenspiegeln, unter anderem in Scannern, Kraftfahrzeug-Scheinwerfern und Spiegelreflexkameras eingesetzt. Es reflektiert im Gegensatz zu Silber auch Ultraviolettstrahlung. Aluminium-Spiegelschichten werden meist durch eine Schutzschicht vor Korrosion und Kratzern geschützt.

Weitere Anwendungen

In der Raketentechnik besteht der Treibstoff von Feststoffraketen zu maximal 30 % aus Aluminiumpulver, das bei seiner Verbrennung viel Energie freisetzt ^[31]. Aluminium wird in Feuerwerken (s. a. Pyrotechnik) verwendet, wo es je nach Körnung und Mischung für farbige Effekte sorgt ^[32]. Ebenso ist es neben Eisen(III)-oxid Bestandteil der stark exothermen (bis zu 2500 °C) Thermit-Reaktion beim aluminothermischen Schweißen.

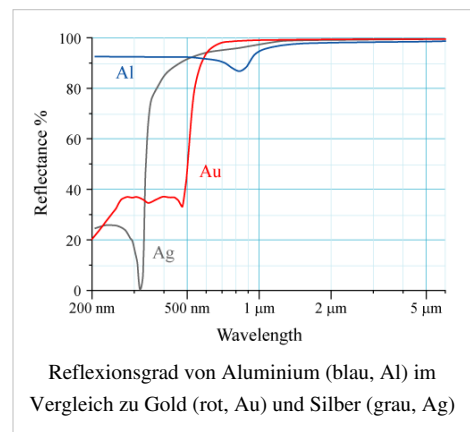
Aluminiumpulver und Aluminiumpasten werden zur Herstellung von Porenbeton eingesetzt und es dient als Pigment für Farben (Silber- oder Goldbronze). Farblos eloxiert ist es Bestandteil vieler Dekorationsmaterialien wie Flitter, Geschenkbänder und Lametta. Zur Beschichtung von Oberflächen wird es beim Aluminieren verwendet.

Verarbeitungsverfahren

Aluminium wird meist legiert verwendet. Es gibt eine Vielzahl von Legierungen, die entweder gute Verformbarkeit oder gute Gießbarkeit und spanende Bearbeitbarkeit zeigen.

Aluminium wird durch Gießen beziehungsweise Umformen in Aluminiumgießereien nach folgenden Gießverfahren verarbeitet:

- Sandguss
- Strangguss
- Druckguss bzw. Aluminiumdruckguss
- Feinguss
- Kokillenguss (gegebenenfalls mit Sandkern)
- Bandguss



Reflexionsgrad von Aluminium (blau, Al) im Vergleich zu Gold (rot, Au) und Silber (grau, Ag)

- Sprühkompaktieren

Hierbei werden Verfahren unterschieden, die der Herstellung (fast) fertiger Bauteile dienen (z. B. Sandguss, Druckguss, Feinguss) und solchen, die Rohmaterial für die Weiterverarbeitung zu Halbzeug wie Blechen und Strangpressprofilen liefern (z. B. Strangguss). Sprühkompaktieren und Bandguss nehmen eine Sonderstellung ein.

Die Herstellung von Halbzeug oder Bauteilen geschieht aus Vormaterial wie etwa Walzbarren, Blech oder Zylindern durch Umformen:

- Strangpressen
- Walzen
- Schmieden
- Floatforming (Fließpressen)
- Tiefziehen
- Rollen
- Cobapress

Die spanende Bearbeitung birgt die Gefahr einer Aufbauschneide und erfordert spezielle Kühlschmiermittel. Aluminium kann daher auch nur mit speziellen Schleifscheiben geschliffen werden.

Insbesondere die Bearbeitung von eloxierten Werkstücken erfordert harte Werkzeuge, um Verschleiß durch die harte Eloxalschicht zu vermeiden.

Aluminium in Natur und Organismen

Aluminium im menschlichen Körper

Aluminium ist kein essenzielles Spurenelement und gilt für die menschliche Ernährung, wie auch Silber und Gold, als entbehrlich.^[33] Im menschlichen Körper befinden sich durchschnittlich etwa 50 bis 150 Milligramm Aluminium. Diese verteilen sich zu ungefähr 50 % auf das Lungengewebe, zu 25 % auf die Weichteile und zu weiteren 25 % auf die Knochen. Aluminium ist damit als Spurenelement ein natürlicher Bestandteil unseres Körpers.

99–99,9 % der üblicherweise in Lebensmitteln pro Tag aufgenommenen Menge von Aluminium (10–40 mg) werden unresorbiert über den Kot wieder ausgeschieden. Chelatbildner (*Komplexbildner*) wie Citronensäure können die Resorption auf zwischen zwei und drei Prozent steigern. Auch die Aufnahme von Aluminiumsalzen über den Magen-Darm-Trakt ist gering; sie variiert aber in Abhängigkeit von der chemischen Verbindung und ihrer Löslichkeit, dem pH-Wert und der Anwesenheit von Komplexbildnern. Die Eliminierung von in den Organismus gelangten wasserlöslichen Aluminiumsalzen erfolgt vorwiegend über den Urin, weniger über den Kot. Bei Dialysepatienten mit einer eingeschränkten Nierenfunktion besteht daher ein erhöhtes Risiko einer Akkumulation im Körper mit toxischen Effekten, etwa Knochenerweichungen und Schäden des Zentralnervensystems; zusätzlich sind Dialysepatienten aufgrund für sie notwendiger pharmazeutischer Produkte (Phosphatbinder) einer höheren Aluminiumzufuhr ausgesetzt.

Pflanzen

Aluminium in Form verschiedener Salze (Phosphate, Silikate) ist Bestandteil vieler Pflanzen und Früchte, denn gelöste Al-Verbindungen werden durch Regen aus den Böden von den Pflanzen aufgenommen, bei Säurebelastung der Böden infolge sauren Regens^[34] ist dies vermehrt der Fall (siehe dazu auch Waldsterben).

Ein großer Teil des Bodens auf der Welt ist chemisch sauer. Liegt der pH-Wert unter 5,0, werden Al^{3+} -Ionen von den Wurzeln der Pflanzen aufgenommen. Dies ist bei der Hälfte des bebaubaren Lands auf der Welt der Fall. Die Ionen schädigen insbesondere das Wurzelwachstum an den Spitzen der Wurzeln. Die Pflanze, wenn sie nicht Aluminium-tolerant ist, steht dann unter Stress. Zahlreiche Enzyme und signalübertragenden Proteine sind betroffen; die Folgen der Vergiftung sind noch nicht vollständig bekannt. In sauren metallhaltigen Böden ist Al^{3+} das Ion mit

dem größten Potenzial zur Schädigung. Von der Modellpflanze *Arabidopsis* sind Transgene bekannt, die deren Aluminium-Toleranz heraufsetzen und auch bei Kulturpflanzen sind tolerante Sorten bekannt.

In Lebensmitteln

Lebensmittel ^[35]	Aluminium-Gehalt in mg/kg
Tee (Trockenerzeugnisse)	385
Kakao und Schokolade	100
Salatarten	28,5
Hülsenfrüchte	22,5
Getreide	13,7
Pilzkonserven	9,3
Kohlarten	9,0
Wurstwaren	7,8
Gemüsekonserven	7,6
Obstkonserven	3,6
Fische und Fischerzeugnisse	3,3
Obst	3,1
Kindernahrung	3,0
Käse	2,9
Frischpilze	2,7
Paprika, Gurken, Tomaten, Melonen	2,2
Kartoffeln	2,1
Fleisch	1,2

Die meisten Lebensmittel enthalten als Spurenelement auch Aluminium. Unverarbeitete pflanzliche Lebensmittel enthalten durchschnittlich weniger als 5 mg/kg in der Frischmasse. Dabei streuen die Werte aufgrund unterschiedlicher Sorten, Anbaubedingungen und Herkunft in erheblichen Maße. So weisen beispielsweise Salat und Kakao deutlich höhere Durchschnittswerte auf. Schwarzer Tee kann Gehalte von bis zu 1042 mg/kg in der Trockenmasse aufweisen.^[36]

Beim Kochen oder Aufbewahren in Aluminiumgeschirr oder in Alufolie kann es (außer bei sauren Lebensmitteln) nach einer Schätzung zu einer maximalen zusätzlichen Aufnahme von 3,5 mg/Tag/Person kommen. Bei sauren Lebensmitteln wie Sauerkraut oder auch Tomaten können aufgrund der Säurelöslichkeit wesentlich höhere Werte erreicht werden .

Trink- und Mineralwässer weisen mit durchschnittlich 0,2 bis 0,4 mg/l im Gegensatz zur Nahrung geringe Gehalte auf und stellen somit nur einen kleinen Beitrag zur täglichen Aluminium-Aufnahme. Die Trinkwasserverordnung legt einen Grenzwert von 0,2 mg/l fest. Trinkwasser darf in Deutschland, Österreich und der Schweiz keine höheren Werte aufweisen.

Nach einer Schätzung nimmt der erwachsene Europäer im Durchschnitt zwischen 1,6 und 13 mg Aluminium pro Tag über die Nahrung auf. Dies entspricht einer wöchentlichen Aufnahme von 0,2 bis 1,5 mg Aluminium pro kg Körpergewicht bei einem 60 kg schweren Erwachsenen. Die großen Unsicherheiten beruhen auf den unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten und der variablen Gehalte an Aluminium in den Lebensmitteln.[□]

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (Efsa) legt eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme (TWI) von 1 Milligramm Aluminium pro Kilogramm Körpergewicht fest.^[37]

Aluminium ist als Lebensmittelzusatzstoff unter der Bezeichnung E 173 ausschließlich als Farbstoff für Überzüge von Zuckerwaren und als Dekoration von Kuchen und Keksen erlaubt. Weiterhin ist Aluminium zum Färben von Arzneimitteln und Kosmetika zugelassen.^[38]

Bei der Untersuchung von Laugengebäck (Brezeln, Stangen, Brötchen) aus Bäckereien wurde Aluminium nachgewiesen, das in das Lebensmittel gelangt, wenn bei der Herstellung von Laugengebäck Aluminiumbleche verwendet werden.^[39]

Während Bier in Aluminiumfässern transportiert wird, hat sich für den Weintransport der Werkstoff Aluminium nicht durchgesetzt. Ein kurzfristiger Kontakt schadet nicht, doch können nach längerem Kontakt Weinfehler in Geruch und Geschmack oder als Trübung auftreten, vor allem beim offenen Stehen an der Luft.^[40]

Toxizität

Bei eingeschränkter Nierenfunktion und bei Dialyse-Patienten führt die Aufnahme von Aluminium zu progressiver Enzephalopathie (Gedächtnis- und Sprachstörungen, Antriebslosigkeit und Aggressivität) durch Untergang von Hirnzellen und zu fortschreitender Demenz, zu Osteopathie (Arthritis) mit Knochenbrüchen und zu Anämie^[41] (weil Aluminium dieselben Speichereiweiße wie Eisen besetzt).

Trotz seiner Anwendung in Deodorants und Lebensmittel-Zusatzstoffen werden die gesundheitlichen Auswirkungen von Aluminium kontrovers diskutiert.^[42] So wurde Aluminium mehrfach kontrovers als Faktor im Zusammenhang mit der Alzheimer-Krankheit in Verbindung gebracht.

Laut einer Studie des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) vom Juli 2007 wurde im allgemeinen Fall zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie aufgrund der vergleichsweise geringen Menge kein Alzheimer-Risiko durch Aluminium aus Bedarfsgegenständen erkannt; jedoch sollten vorsorglich keine sauren Speisen in Kontakt mit Aluminiumtöpfen oder -folie aufbewahrt werden.^[1]

Die britische Alzheimer Gesellschaft mit Sitz in London, vertritt den Standpunkt, dass die bis 2008 erstellten Studien einen kausalen Zusammenhang zwischen Aluminium und der Alzheimer-Krankheit nicht überzeugend nachgewiesen haben.^[43] Dennoch gibt es einige Studien, wie z.B. die PAQUID-Kohortenstudie in Frankreich, mit einer Gesundheitsdatenauswertung von 3777 Personen im Alter ab 65 Jahren seit 1988 bis zur Gegenwart, in welchen eine Aluminium-Exposition als Risikofaktor für die Alzheimer-Krankheit angegeben wird. Demnach wurden viele senile Plaques mit erhöhten Aluminium-Werten in Gehirnen von Alzheimer-Patienten gefunden. Es ist jedoch unklar, ob die Aluminium-Akkumulation eine Folge der Alzheimer-Krankheit ist, oder ob Aluminium in ursächlichem Zusammenhang mit der Alzheimer-Krankheit zu sehen ist.

Aspekte des Umweltschutzes

Die Herstellung von Aluminium ist sehr energieaufwendig. Allein für die Schmelzflusselektrolyse zur Gewinnung eines Kilogrammes Aluminium werden je nach Errichtungsdatum und Modernität der Anlage zwischen 12,9 und 17,7 kWh elektrische Energie benötigt. Anschaulich formuliert benötigt die Schmelzflusselektrolyse eines Kilogramms Roh-Aluminium für eine Autofelge so viel Energie wie der Betrieb eines 24-Zoll-LCD-Flachbildschirms (ca. 50 Watt) in einem Monat, wenn er täglich acht Stunden leuchtet. Bei der Stromerzeugung für die Produktion von einem Kilogramm Aluminium werden im deutschen Kraftwerkspark 8,4 kg CO₂ freigesetzt, im weltweiten Durchschnitt etwa 10 kg. Es ist aber auch zu bedenken, dass aufgrund des Kostenfaktors Energie die Elektrolyse verstärkt an Orten erfolgt, an denen auf billige, CO₂-Emissionsarme Wasserkraft zurückgegriffen werden kann, wie etwa in Brasilien, Kanada, Venezuela oder Island.^[44] Allerdings ist auch bei Verwendung von Elektrizität aus 100 % regenerativen Energien die Produktion von Aluminium nicht CO₂-frei, da der bei der Schmelzflusselektrolyse entstehende Sauerstoff mit dem Kohlenstoff der Elektroden zu CO₂ reagiert. Die Verbrauchswerte für Roh-Aluminium erhöhen sich noch durch Transport- und Verarbeitungsanteile für das Wiederaufschmelzen, Gießen, Schleifen, Bohren, Polieren etc., bis ein Konsumgut aus Aluminium entsteht.

In Österreich gelangen (laut einer Studie aus dem Jahr 2000)^[45] 16.000 Tonnen Aluminium pro Jahr *über Verpackungen* in den Konsum, ebenso gelangen 16.000 Tonnen Aluminium ohne Wiederverwertung in den Hausmüll (dabei sind unter anderem auch die Aluminiumhaushaltsfolien eingerechnet, die nicht als „Verpackung“ gelten). 66 % der Verpackungen im Restmüll sind Aluminium[getränke]dosen. Diese liegen nach der Müllverbrennung in der Asche noch metallisch vor und machen in Europa durchschnittlich 2,3 % der Asche aus, werden aber derzeit nicht genutzt.^[46]

Durch den Abbau des Erzes Bauxit werden große Flächen in Anspruch genommen, die erst nach einer Rekultivierung wieder nutzbar werden. Bei der Herstellung des Aluminiumoxids nach dem Bayer-Verfahren entstehen pro Kilogramm Aluminium ungefähr 1,5 Kilogramm eisenreicher alkalischer Rotschlamm, der kaum wiederverwertet wird und dessen Deponierung oder sonstige „Entsorgung“ große Umweltprobleme aufwirft (siehe dort und Bauxitbergbau in Australien#Umwelt).

Positiv ist hingegen die gute Wiederverwendbarkeit von Aluminium hervorzuheben, wobei die Reststoffe streng getrennt erfasst und gereinigt werden müssen (Aluminiumrecycling, Recycling-Code-41 (ALU)). Aluminium ist dabei besser rezyklierbar als Kunststoffe, wegen Downcycling jedoch etwas schlechter wiederverwertbar als Stahl. Beim Aluminiumrecycling wird nur 5% der Energiemenge der Primärproduktion benötigt.^[47] Durch Leichtbau mit Aluminiumwerkstoffen (beispielsweise Aluminiumschaum, Strangpressprofile) wird Masse von beweglichen Teilen und Fahrzeugen gespart, was zur Einsparung von Treibstoff führen kann.

Aluminium ist durch seine Selbstpassivierung korrosionsbeständiger als Eisen und erfordert daher weniger Korrosionsschutzmaßnahmen.



Aluminiumschaum



Recycling-Code für Aluminium

Nachweis

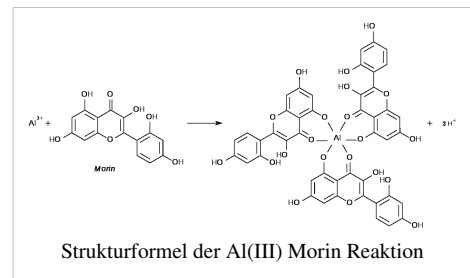
Aluminiumsalze weist man durch Glühen mit verdünnter Kobaltnitratlösung auf der Magnesia-Rinne nach. Dabei entsteht das Pigment Thénards Blau (auch Kobaltblau oder Cobaltblau, Dumonts Blau, Coelestinblau, Leithners Blau, Cobaltaluminat). Es ist ein Cobaltaluminiumspinell mit der Formel CoAl_2O_4 . Diese Nachweisreaktion wurde 1795 von Leithner durch Glühen von Aluminiumsulfat und Cobalt(II)-nitrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2$) entdeckt.

Nachweis mittels Kryolithprobe

Die Probelösung wird alkalisch gemacht, um Aluminium als Aluminiumhydroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$ zu fällen. Der Niederschlag wird abfiltriert und mit einigen Tropfen Phenolphthalein versetzt, dann gewaschen, bis keine Rotfärbung durch Phenolphthalein mehr vorhanden ist. Anschließend festes Natriumfluorid (NaF) auf den Niederschlag streuen: Es bildet sich eine Rotfärbung durch Phenolphthalein, verursacht von freigesetzten Hydroxidionen bei der Bildung von Kryolith $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$.

Nachweis als fluoreszierender Morinfarblack

Die Probe wird mit Salzsäure (HCl) versetzt und eventuell vorhandenes Aluminium somit gelöst. Anschließend wird die Probelösung mit Kaliumhydroxid (KOH) stark alkalisch gemacht. Gibt man nun einige Tropfen der Probelösung zusammen mit der gleichen Menge Morin-Lösung auf eine Tüpfelplatte und säuert anschließend mit konzentrierter Essigsäure (*Eisessig*, CH_3COOH) an, so ist unter UV-Strahlung ($\lambda = 366 \text{ nm}$) eine grüne Fluoreszenz beobachtbar. Der Nachweis ist dann sicher, wenn diese Fluoreszenz bei Zugabe von Salzsäure wieder verschwindet.



Grund hierfür ist, dass $\text{Al}(\text{III})$ in neutralen sowie essigsäuren Lösungen in Verbindung mit Morin eine fluoreszierende kolloidale Suspension bildet.

Verbindungen

- Aluminiumoxid Al_2O_3 (englisch *alumina*), auch als Tonerde oder Korund bekannt, liegt als weißes Pulver oder in Form sehr harter Kristalle vor. Es ist das Endprodukt des Bayer-Verfahrens und dient in erster Linie als Ausgangsmaterial für die Aluminiumgewinnung (Schmelzflusselektrolyse). Es wird darüber hinaus als Schleif- oder Poliermittel und für Uhrensteine, Ziehsteine und Düsen verwendet. In keramischer Form dient es als Isolierstoff, Konstruktionskeramik, als Substratmaterial für Dickschichtschaltkreise, als Grundplatte von Leistungshalbleitern und in transparenter Form als Entladungsgefäß von Natriumdampf-Hochdrucklampen.
- Aluminiumhydroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$ wird ebenfalls nach dem Bayer-Verfahren gewonnen und ist das wichtigste Ausgangsmaterial zur Erzeugung anderer Al-Verbindungen, vor allem für Aluminate. Als reines Produkt wird es als Füllstoff und zum Brandschutz in Kunststoffen und Beschichtungen eingesetzt.
- Aluminiumchlorid, Polyaluminiumchlorid und Aluminiumsulfat werden vor allem als Flockungsmittel in der Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und der Papierindustrie eingesetzt.
- Natriumaluminat $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ wird ebenfalls als Flockungsmittel verwendet und ist weiterhin Rohstoff für die Zeolith-Produktion, Titandioxid-Beschichtung und Calciumaluminatsulfat-Herstellung.
- Zeolithe (Alumosilikate) als Ionenaustauscher, in Lebensmitteln und in Waschmitteln zur Wasserenthärtung.
- Alaune (Kaliumaluminiumsulfat, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Wegen seiner adstringierenden Wirkung als Rasierstift eingesetzt zum Stillen von kleinen Blutungen.
- Aluminiumdiacetat, bekannt als essigsäure Tonerde für entzündungshemmende Umschläge.

- Aluminiumorganische Verbindungen wie etwa Triethylaluminium werden im großtechnischen Maßstab als Katalysatoren in der Polyethylen-Herstellung eingesetzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Halbleitertechnik. Hier werden flüchtige Aluminiumalkyle (Trimethylaluminium, Triethylaluminium etc.) als Vorstufen zur CVD (chemical vapor deposition) von Aluminiumoxid verwendet, das man als Isolator und Ersatz für das nicht ausreichend isolierende Siliciumdioxid einsetzt.
- Bei der Aluminothermie wird Aluminium zur Gewinnung anderer Metalle und Halbmetalle verwendet (siehe auch Thermitverfahren).
- Aluminiumoxynitrid ist ein transparenter keramischer Werkstoff.
- Aluminiumnitrid ist ein Konstruktions- und Isolationswerkstoff und zeichnet sich durch sehr hohe Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur aus. Außerdem könnte die hohe Bandlücke die Anwendung als Wide-bandgap-Halbleiter ermöglichen.
- Lithiumaluminiumhydrid (LiAlH_4) ist ein starkes Reduktionsmittel, welches weitverbreitet bei der Synthese organischer Verbindungen ist.
- Phosphate: Aluminiumphosphate sind Aluminiumsalze der Phosphorsäure. Aufgrund der Eigenschaft der Phosphorsäure beziehungsweise des Phosphat-Anions (PO_4^{3-}), unter bestimmten Bedingungen Wasser abzuspalten und infolgedessen zu polymerisieren, sind verschiedene Aluminiumphosphate bekannt:
 - Aluminiumorthophosphat (AlPO_4)
 - Aluminiummetaphosphat ($\text{Al}(\text{PO}_3)_3$)
 - Monoaluminiumphosphat ($\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$)
 - Aluminiumpolyphosphat

In der Natur treten Aluminiumphosphate meist in Form von Doppelsalzen auf. Beispiele hierfür sind etwa der Wavellit ($\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{F}, \text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) oder der Türkis, ein Mischphosphat aus Kupfer und Aluminium/Eisen: $\text{Cu}(\text{Al,Fe})_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

- Aluminiumsulfid

Unter besonderen Bedingungen tritt Aluminium auch einwertig auf. Diese Verbindungen werden zur Gewinnung von hochreinem Aluminium genutzt (Subhalogeniddestillation).

- Sucralfat, ein medizinisch genutztes Aluminium-Salz von Saccharosesulfat.

Literatur

- Luitgard Marschall: *Aluminium. Metall der Moderne*. Oekom, München 2008, ISBN 978-3-86581-090-8.
- PF Zatta, AC Alfrey: *Aluminium Toxicity in Infant's Health and Disease* (englisch), World Scientific Publishing, Singapur 1977, ISBN 981-02-2914-3,

Weblinks

- MATERIAL ARCHIV: Aluminium^[48] – Umfangreiche Materialinformationen und Bilder
- Newsseite des Gesamtverbands der Aluminiumindustrie^[49]
- aluMATTER^[50] – ein interaktives E-Learning-Tool über Aluminium Werkstoffkunde, Fertigung und Anwendungen, in vier Sprachen umschaltbar – daher auch gut geeignet als Fachwortlexikon
- Preis-Entwicklung des Rohstoffs Aluminium seit 1992^[51]
- Elektrochemische Experimente mit Aluminium^[52]
- Aluminium im menschlichen Körper^[53]
- Christopher Exley: Aluminium and Medicine, in *Molecular and Supramolecular Bioinorganic Chemistry* ISBN 978-1-60456-679-6, englisch, (pdf-Datei; 174 kB)^[54], zuletzt abgerufen Juni 2013

Einzelnachweise

- [1] Harry H. Binder: *Lexikon der chemischen Elemente*, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1999, ISBN 3-7776-0736-3.
- [2] Die Werte für die Eigenschaften (Infobox) sind, wenn nicht anders angegeben, aus www.webelements.com (Aluminium) (<http://www.webelements.com/aluminium/>) entnommen.
- [3] Manjeera Mantina, Adam C. Chamberlin, Rosendo Valero, Christopher J. Cramer, Donald G. Truhlar: *Consistent van der Waals Radii for the Whole Main Group*. In: *The Journal of Physical Chemistry A*. 113, 2009, S. 5806–5812 ().
- [4] David R. Lide: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press LLC, 1998, ISBN 0-8493-0479-2.
- [5] Die Werte für die Eigenschaften (Infobox) sind, wenn nicht anders angegeben, aus www.webelements.com (Aluminium) (<http://www.webelements.com/aluminium/>) entnommen.
- [6] Weast, Robert C. (ed. in chief): *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC (Chemical Rubber Publishing Company), Boca Raton 1990. Seiten E-129 bis E-145. ISBN 0-8493-0470-9. Werte dort sind auf g/mol bezogen und in cgs-Einheiten angegeben. Der hier angegebene Wert ist der daraus berechnete maßeinheitslose SI-Wert.
- [7] Yiming Zhang, Julian R. G. Evans, Shoufeng Yang: *Corrected Values for Boiling Points and Enthalpies of Vaporization of Elements in Handbooks*. In: *Journal of Chemical & Engineering Data*. 56, 2011, S. 328–337 ().
- [8] Die Werte für die Eigenschaften (Infobox) sind, wenn nicht anders angegeben, aus www.webelements.com (Aluminium) (<http://www.webelements.com/aluminium/>) entnommen.
- [9] *Aluminium*. (<http://web.archive.org/web/20080714174141/http://wdb.ebb1.arch.tu-muenchen.de/metalle.php?doctype=2&id=1&gruppe=1>) In: *Baustoffsammlung der Fakultät für Architektur der TU München*.
- [10] *Nicht-Eisen-Metalle*. (http://www.imtek.de/avt/content/upload/vorlesung/2007/wt_5_2007.pdf) (PDF)
- [11] Die Werte für die Eigenschaften (Infobox) sind, wenn nicht anders angegeben, aus www.webelements.com (Aluminium) (<http://www.webelements.com/aluminium/>) entnommen.
- [12] Eintrag aus der CLP-Verordnung zu CAS-Nr. 7429-90-5 ([http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/500053.xml?f=templates\\$fn=print.htm#1100](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/500053.xml?f=templates$fn=print.htm#1100)) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA (JavaScript erforderlich)
- [13] Seit 1. Dezember 2012 ist für Stoffe ausschließlich die GHS-Gefahrstoffkennzeichnung zulässig. Bis zum 1. Juni 2015 dürfen noch die R-Sätze dieses Stoffes für die Einstufung von Zubereitungen herangezogen werden, anschließend ist die EU-Gefahrstoffkennzeichnung von rein historischem Interesse.
- [14] Norman N. Greenwood, Alan Earnshaw: *Chemie der Elemente*. Wiley-VCH, Weinheim 1988, ISBN 3-527-26169-9.
- [15] Norman N. Greenwood, Alan Earnshaw: *Chemistry of the Elements* (2nd ed.). Butterworth–Heinemann (1997), ISBN 0-08037941-9, S. 217.
- [16] Mineral Species containing Aluminum (Al) (<http://webmineral.com/chem/Chem-Al.shtml>) auf Webmineral (englisch).
- [17] *Aluminium*. (<http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/aluminium.pdf>) In: John W. Anthony u. a.: *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America, 2010 (englisch, PDF, 56,9 kB).
- [18] *Aluminium* (<http://www.mindat.org/min-107.html>) bei mindat.org (englisch)
- [19] Eutektikum Aluminiumoxid/Kryolith (<http://www.mschaumann.de/cryolite/Kryolith.htm>)
- [20] *Aluminium und Silizium: von der Lagerstätte bis zur Verwendung*. (<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/AlSi.pdf>) S. 10 (PDF, Seminararbeit; 527 kB).
- [21] Matthias Dienhart: *Ganzheitliche Bilanzierung der Energiebereitstellung für die Aluminiumherstellung*. (PDF; 1,3 MB) (http://sylvester.bth.rwth-aachen.de/dissertationen/2004/017/04_017.pdf) Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Juni 2003, S. 7.
- [22] Rainer Quinkertz: *Optimierung der Energienutzung bei der Aluminiumherstellung*, Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2002, Seiten 75-77
- [23] World Mine Production, Reserves, and Reserve Base (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite/mcs-2009-bauxi.pdf>) In: *U.S. Geological Survey*. (englisch, PDF; 87 kB).
- [24] United States Geological Survey: World Smelter Production and Capacity (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/mcs-2010-alumi.pdf>) (PDF-Datei; 87 kB)
- [25] R.Feige, G.Merker: *SEROX - ein synthetischer Al-Glasrohstoff* (http://www.alumina.de/SEROX_Al-Glasrohstoff_DGG_FA_III.pdf)
- [26] Recycling ist nur der zweitbeste Weg (<http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13683152.html>), DER SPIEGEL 25/1993
- [27] Udo Boin, Thomas Linsmeyer, Franz Neubacher, Brigitte Winter: *Stand der Technik in der Sekundäraluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie*, (Österreichisches) Umweltbundesamt, Wien, 2000, ISBN 3-85457-534-3, pdf-Datei (<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M120.pdf>)
- [28] *Der Technologie-Leitfaden von ELB*. (<http://www.elb.biz/index.php?cont=13>) In: Eloxalwerk Ludwigsburg.
- [29] Was ist Gefahrgut im Passagiergepäck? (http://www.lba.de/DE/Betrieb/Gefahrguttransport/A_Z_Passagierinfo_Gefahrgut_Gepaeck.html?nn=20286), Website des Luftfahrt-Bundesamtes.
- [30] *Primary Aluminium*. (<http://www.lme.co.uk/aluminium.asp>) In: *London Metal Exchange*.
- [31] Bernd Leitenberger: *Chemische Raketentreibstoffe Teil 1*. (<http://www.bernd-leitenberger.de/raktreib1.shtml>) In: *Bernd Leitenbergers Web Site*.
- [32] *Aluminium auf Feuerwerk-Wiki*: www.feuerwerk.net/wiki/Aluminium
- [33] Udo M. Spornitz: *Anatomie und Physiologie. Lehrbuch und Atlas für Pflege- und Gesundheitsfachberufe*. Springer, Berlin. 2010 ISBN 3-642-12643-X

- [34] Wilfried Puwein: *Das "Waldsterben" in Österreich und seine ökonomischen Folgen*, (pdf-Datei; 792 kB) (http://www.wifo.ac.at/bibliothek/archiv/MOBE/1987Heft11_679_689.pdf)
- [35] Bundesverband der Lebensmittelchemiker/-innen im öffentlichen Dienst e.V. (BLC): *Aluminium in Lebensmitteln* (<http://www.lebensmittel.org/lmmit297/alu.htm>)
- [36] Aluminium in Lebensmitteln: lebensmittel.org (<http://www.lebensmittel.org/lmmit297/alu.htm>)
- [37] Efsa-Beratung zur Sicherheit von Aluminium in Lebensmitteln: <http://www.efsa.europa.eu> (<http://www.efsa.europa.eu/de/press/news/afc080715.htm>)
- [38] Aluminium (http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/46.e173_aluminium.html) in der Datenbank für Lebensmittelzusatzstoffe.
- [39] Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe: *Laugengebäck: Wie gelangt Aluminium in das Gebäck?* (http://www.untersuchungsaeamter-bw.de/karlsruhe/eua/lm/pfl/2004_lauge.htm) 2004.
- [40] H.Eschnauer: *Die Verwendung von Aluminium in der Weinwirtschaft*, Vitis, 1 (1958), Seiten 313-320, zitiert von Seite 319, (pdf-Datei; 729 kB) (<http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e051377.pdf>)
- [41] in Müller, Dünndler, Mühlenberg, Ruckdeschel: *Legionellen – ein aktives Problem der Sanitärhygiene*, expert-Verlag, 3. Auflage, ISBN 978-3-8169-2725-9 ().
- [42] Gitelman, H. J. "Physiology of Aluminum in Man", in *Aluminum and Health*, CRC Press, 1988, ISBN 0-8247-8026-4, S. 90 ().
- [43] Aluminium and Alzheimer's disease (http://alzheimers.org.uk/site/scripts/documents_info.php?documentID=99), The Alzheimer's Society. Retrieved 30 January 2009
- [44] Aluminium-Industrie (<http://www.staufenbiel.de/branchen/ingenieure/berufsfelder/berufsfeld-aluminium-industrie.html>) auf staufenbiel.de
- [45] Hans Daxbeck, Adolf Merl, Eva Ritter, Paul H. Brunner: *Analyse der Flüsse des lizenzierten Aluminiums in Österreich*, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, 2000, pdf-Datei (http://www.rma.at/sites/new.rma.at/files/ALU-OE_Zusammenfassung.pdf)
- [46] *International Aluminium Journal*, 6/2013, S. 81ff.
- [47] The Economist: Case history: The truth about recycling (<http://www.economist.com/node/9249262>)
- [48] <http://www.materialarchiv.ch/#/detail/1451/aluminium/>
- [49] <http://www.aluinfo.de/>
- [50] <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/ger/default.asp>
- [51] <http://www.taprofessional.de/charts/Aluminium-Bar-Chart.htm>
- [52] http://www.kkgwhv-schule.kwe.de/kkg_chem/che_allg/alustab/alust.htm
- [53] http://lex.referata.com/wiki/Aluminium_im_menschlichen_K%C3%B6rper
- [54] <http://www.herbalix.com/assets/Exley-Chapter-Al-and-Med.pdf>

Normdaten (Sachbegriff): GND: 4001573-7 (<http://d-nb.info/gnd/4001573-7>)

Strangpressen

Das **Strangpressen** ist ein Umformverfahren zum Herstellen von Stäben, Drähten, Rohren und unregelmäßig geformten prismatischen Profilen (siehe dazu auch Extrusion (Verfahrenstechnik)). Es wird nach DIN 8582 zum Druckumformen gezählt und in DIN 8583 näher beschrieben. In diesem Verfahren wird ein auf Umformtemperatur erwärmter Pressling (Block) mit einem Stempel durch eine Matrize gedrückt. Dabei wird der Block durch einen Rezipienten – ein sehr dickwandiges Rohr – umschlossen. Die äußere Form des Pressstrangs wird durch die Matrize bestimmt. Durch verschieden geformte Dorne können Hohlräume erzeugt werden. Strangpressprofile erreichen bis zu 60 m Länge; größere Längen sind zwar möglich, aber im Allgemeinen nicht wirtschaftlich.

Zum Strangpressen eignen sich alle Metalle. Dieses Verfahren wird aber vor allem für Aluminium und Aluminiumlegierungen (z. B. Kühlkörperprofile und Konstruktionsprofile), Kupfer und Kupferlegierungen angewendet. Aus Edelstahl werden vor allem (nahtlose) Rohre hergestellt. Weiterhin werden geringere Mengen Magnesium- und Titanlegierungen oder auch Lote stranggepresst. Das entsprechende Verfahren für Kunststoffe wird Extrusion genannt.

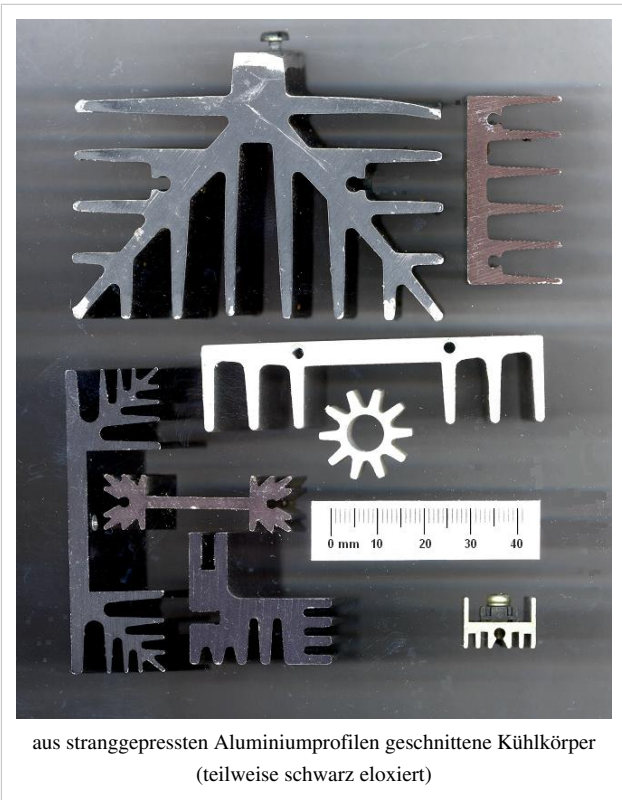
Vorteile des Strangpressens sind insbesondere die Möglichkeit, Profile auch in komplizierten Formen und aus schwer umformbaren Werkstoffen herzustellen, der hohe, in einem Verfahrensschritt erreichbare Umformgrad und die geringen Werkzeugkosten, die das Strangpressen vor allem für die Fertigung relativ geringer Lose interessant machen.

Verfahrensvarianten

Als Verfahrensvarianten sind das direkte, das indirekte und das hydrostatische Strangpressen zu unterscheiden.

Beim *direkten Strangpressen* schiebt der Stempel den Block entlang der Innenoberfläche des Rezipienten in Richtung der Matrize. Um diese Relativbewegung zwischen Block und Rezipient zu erzeugen, müssen hohe Reibungskräfte überwunden werden; die Reibung lässt sich allerdings auch nutzen, um Verunreinigungen aus der Blockrandschicht zurückzuhalten, so dass diese nicht ins Produkt gelangen. Die Bewegungsrichtungen von Stempel und austretendem Strang sind gleich, daher auch die Bezeichnung Vorwärts-Strangpressen.

Beim *indirekten Strangpressen* ist der Rezipient an einer Seite verschlossen, von der anderen Seite wird auf den Block die Matrize gepresst, die sich am Kopf eines Hohlstempels befindet. Der Strang tritt durch die Stempelbohrung hindurch. Deren Durchmesser begrenzt somit den Profilumriss. Dieses Verfahren wird in der Praxis realisiert, indem der einseitig verschlossene Rezipient mitsamt dem Block über den feststehenden Hohlstempel mit Matrize gepresst wird, die auch verwendete Bezeichnung „Rückwärts-Strangpressen“ kann daher irreführend sein. Der Vorteil des indirekten Pressverfahrens ist jedoch dass die Reibung zwischen Aufnehmerwand und Block entfällt und somit geringere Presskräfte notwendig sind. Weiterhin lassen sich qualitativ bessere Produkte herstellen, da das Entfallen der Reibkräfte zu einem homogenen Gefüge führt.



Beim *hydrostatischen Strangpressen* wird die Presskraft vom Stempel nicht unmittelbar, sondern über ein Wirkmedium (Wasser oder Öl) auf den Block aufgebracht. In diesem Verfahren ist der sogenannte *hydrostatische Spannunganteil* – die allseitig auf das Werkstück wirkende Druckspannung – noch höher und es kann sogar Draht von einer Spule gepresst werden.

Eine Sonderform jüngerer Datums nutzt Reibungshitze zur Formbarmachung des Ausgangsmaterials, auch unter CONFORM-Verfahren bekannt. Dabei wird ein stetig zugeführter Draht mit üblicherweise 8 bis 20 mm Durchmesser durch ein Reibrad auf bis zu über 500 °C erhitzt und das dann teigige Material durch eine unmittelbar nach dem Reibrad angeordnete Matrize gepresst. Dieses kontinuierlich arbeitende Verfahren wird vornehmlich für Profile kleiner und mittelgroßer Abmessung aus Aluminium und Kupfer verwendet. Der über einen langen Zeitraum kontinuierlich mögliche Erzeugungsprozess und der Umstand, dass dafür nur eine einzige relativ kleine und einfach gebaute Maschine notwendig ist, ermöglicht eine Kostenreduzierung von 30 bis 50 % gegenüber den herkömmlichen Strangpressverfahren.

Literatur

- Hinkfoth, Rolf: *Massivumformung. Ausgewählte technologische Grundlagen der Umformprozesse in der Metallurgie (Walzen, Ziehen, Strangpressen, Stauchen und Recken) behandelt mit Hilfe der elementaren Plastizitätstheorie in globaler Betrachtung für Projektierung, Konstruktion und Technologie. = Bulk forming process*. Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen 2003, ISBN 3-86130-184-9.
- Martin Bauser, Günther Sauer, Klaus Siegert: *Strangpressen*. 2. Auflage. Aluminium-Verlag, Düsseldorf 2001, ISBN 3-87017-249-5.

Weblinks

- Institut für Umformtechnik und Leichtbau – TU Dortmund ^[1] (Runden beim Strangpressen)
- TU Berlin-Forschungszentrum Strangpressen: Allgemeine Informationen zum Strangpressen inkl. Animationen ^[2]
- Animation: Strangpressverfahren ^[3]
- Aluminium-Knetlegierungen für die Extrusion (chemische Zusammensetzung nach DIN EN 573-3) ^[4] (PDF-Datei; 83 kB)
- Gegenüberstellung bisheriger DIN-Normen und neuer EN-Normen für Knetstoffe aus Aluminium ^[5] (PDF-Datei; 144 kB)

Quellennachweise

[1] <http://www.iul.uni-dortmund.de>

[2] <http://www.fzs.tu-berlin.de/>

[3] <http://www.alu-laufen.ch/index.php?lang=de&id=48>

[4] http://www.gwp-ag.de/media/www.gwp-ag.de/org/med_208/175_aluminiumlegierungen_fuer_strangpressen.pdf

[5] http://www.gwp-ag.de/media/www.gwp-ag.de/org/med_209/172_alu_normen_vergleich.pdf

Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

Spannungs-Dehnungs-Diagramm *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=120884979> *Bearbeiter:* A.Abdel-Rahim, Aka, Alnilam, Anderl, Avron, B-behler, Devz, Don Magnifico, Freisein, Grungeley, HaSee, Juesch, Juranet, KaiKemmman, Linksverdreher, Markus Schweiß, Nils, Passer italicus, Pittmann, Proxima, Schusch, Schwalbe, Schwobator, Shinji311, Smily1306, Staro1, Studi111, TTShooter, TyborBe1, 38 anonyme Bearbeitungen

Aluminium *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=122851207> *Bearbeiter:* 1-1111, 100 Pro, A.Savin, Aaaah, AchimP, Admean, Aendy, Aglarech, Aka, Alauda, Albi jon, Alchemist-hp, AlenaTorpedo, Alexander 1993, Allesmüller, Alu-Scout, Amrum, Amtiss, Anderlucia, Andrea8, Andreas 06, Andrsvoss, Andy king50, Anhi, Anneke Wolf, Antiquar56, Antonsusi, Arkam, ArminKow, ArtMechanic, Armond C. Skann, Augiasstallputzer, Avoided, Avron, Ayacop, BK-Master, BLueFiSH.as, BackSledge, Backwahn, BellHouse, Ben-Zin, Berg2, Bernhard Wallisch, BertholdD, Bertonymus, BesondereUmstaende, Birnkammer fabian, Bjb, Blackbird13, Bleichi, Brina-81, Bukk, BurghardRichter, Burgkirsch, Bzzz, Bürger-falk, CHK, Capaci34, Carol.Christiansen, Casianders, Cat, CeGe, CennoxX, Cepheiden, Chemiewikibm, ChrisHamburg, ChrisPK, Christian Günther, ChristianBier, ChristophDemmer, Cjesch, Code, CommonsDelinker, Complex, Controlling, Conversion script, Corrigio, Crux, Cspan64, Cvf-ps, Cú Paoil, D, DaB., DaDADDy, Dantor, DasBee, Dbenzhuser, Der.metzger2009, DerHexer, DerNicoAC, Dh2t, Diba, Dietzel65, Dnaber, Dominic Wipplinger, Dope.souljah, Dr.cueppers, Drbecks, Drdoht, Dudsen, Dundak, E.Hager, El, EL, Emdee, Empro2, Endymion, Engie, Enste, Entlinkt, Epo, Erdal Ronahi, Erethor, Ergänzer, ErnstA, Erwin Mustermann, Fedi, Felber111, Felixdamrau, Firsthuman, Fkoch, Flea, Flokru, Flominator, Florian Adler, Fmc, Forbfruit, Fredwal, FritzG, Fujnky, Furfur, GDK, GRD, Gandalf III, Gardini, Gastredner, Gauner 1, Geofriese, Geograph, Gerhard wien, Gestumblindi, Gh, Ghilt, Gleiberg, Gnu1742, Grösshirn, Guety, Gugerell, Gum'Mib'Aer, Gustav Broennimann, Hadhuey, Hajotka, Hardy42, He3nry, Head, Heinte, Helfmann, Herr Klugbeisser, Hkoeln, Hofres, Hokanomono, House1630, Howwi, Hubertl, Hystrix, Ich901, Inkowik, Ironix, Itsnotuisme, Itti, Iwoelbern, Ixitixel, JWBE, Janz, Jawbone, Jergen, Jivee Blau, Jka, Jmv, Jnandrea, Jobu0101, Jodocus, Johanna R., Johannes Rohr, John47, Johnny Yen, Jonathan Groß, JosefLehmkuhl, Jpgoelz, Jpp, Jsgermany, Juesch, Jungpionier, Jü, K24C13, KaiMartin, Kam Solusar, Karl-Henner, Kaugummimann, Ken76, Kmvar, Knoerz, Komischn, Korinth, Krankman, Krawi, Kriegerdaemon, Krokofant, Krtek76, Kurt Jansson, LC, LKD, Laserjones, Lehmkuhl-josef, Leipnizkeks, Leon, LeonHendrian, Leyo, Linum, LoKiLeCh, Lode, Logograph, Louis Bafrance, Lunochod, Ly, Léa357, MAK, MFM, MSh, Mabschaaf, Maczunk, Marc Gabriel Schmid, Marcenzeichen, MarianSz, Markus Schweiß, Martin Barth, Martin-vogel, Materialwissen, Matthias M., Matthiasb, Matze6587, Mfb, Michaely, Michail, Mideal, Mifritscher, Mika2001, Millbart, Minihaa, Minobu, Mitternacht, Mnh, Mo4jolo, Mogelzahn, Mondamo, Mons Maenalus, Monsieurbecker, Monsum.ch, Montecasa, MrBurns, Muck31, My name, MycroftXX, Müscha, NEUROtiker, Naddy, NamenloseIP, Nanouk, Napa, Ne discere cessa!, Neun-x, Neurus, Nikkis, Nils, Nobelium, Nocturne, Numbo3, Ohrnwuzler, Olei, Orci, Oreg, Orgullomooore, PAPPL, Paddy, Panacea, Parpan05, Patchworker, PaterMcFly, PaulT, Pendulin, Peter200, Ph9694, Phe, Phileuk, Physikinger, Piflaser, Pit, Pittmann, Prayingman, Prüm, Quant3-kurzstrumpf, Querverplänkler, Qwqchris, R Grimmig, RJensch, RProell, Ra'ike, Rainer Lippert, Ralf Roletschek, Re probst, Regi51, Reinhard Kraasch, Revolut, Revvar, Rhododendronbusch, RokerHRO, Roland.chem, Roland1952, RolandS, Romanm, Roo1812, Roterraecher, Rotkaeppchen68, Rowland, Ruecking, Rufus46, S. F. B. Morse, S.K., SDI, SKopp, STBR, Saehrimmir, Saibo, Sallynase, Salmosalar, Samulat, Samweis2111, Sansculotte, Saperaud, Schlurcher, Schuppi, Schusch, Schwalbe, SchwarzerKrauser, Schwobator, Schwänzer, Sebbelbabba, Sechmet, Seewolf, Semper, Shoshone, Siddharta.563, Siehe-auch-Löschler, SigmaB, Sinn, Skriptor, Smial, Smith28, Soev, Solid State, Sorbas 48, Stahlkocher, Std2, Steevie, Stefan, Stefan2, StefanAndres, Stehfun, Stufi, Stündle, Suisui, Supermartl, Svebert, Swing, TGS, Tango8, The Invisible, Theoprakt, Thiesi, ThiloSchulz, Thiophen, Thomas, ThomasHaden, Thorbojern, Tobigamer, Tobig610, TobiwKenobi, Tobias.hofmann, Toffel, Tokikake, Tomdo08, Tomihahndorf, Toytoy, Trigonometrie, Trixiuim, Tsor, Tuxman, Twiss, Tzwente, Tönjes, Ulfbastel, Ulm, Uwe Gille, Uwe W., Vorrauslöschler, Vulture, W5, WAH, Wdwd, Wela49, Wernerhesse, Werwiewas, Westiandi, Wiegels, Wiki Gh!, Wikwik, Wkrautter, Wnme, Wolfgang Wehl, WolfgangS, Wurgl, Wächter, XenonX3, Xilefaintda, Xqt, YourEyesOnly, Zacke, Zahnstein, Zeitlupe, Zemenespuu, Zerohund, Zinnmann, Zoelomat, Zollistdoll, 686 anonyme Bearbeitungen

Strangpressen *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=116419715> *Bearbeiter:* 1-1111, Aka, Alexander Sommer, Alu-Scout, Bluesstons, Brina-81, Burgs, Codeispoetry, Don Magnifico, El., Firefox13, FloBl, Hamstaman, I-mu, Ikiwaner, JaynFM, Kaktus, Kobraton, Marco Thomann, Nils, Ohrnwuzler, PhilSchuster, Pirscher Mönch, RJensch, Relie86, Schwalbe, Semper, Simon-Martin, Sinn, Techcollector, Toffel, Tom md, Ulfbastel, Ulyrx, Wasabi, Wiegels, WikipediaMaster, Woche, Wolfgang Feld, Wolfi332, Xmanx, 31 anonyme Bearbeitungen

Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

Datei:Spgs-Dehnungs-Kurve Streckgrenze.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spgs-Dehnungs-Kurve_Streckgrenze.svg *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* freisein. Original uploader was Freisein at de.wikipedia

Datei:Spgs-Dehnungs-Kurve Dehngrenze.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spgs-Dehnungs-Kurve_Dehngrenze.svg *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* freisein. Original uploader was Freisein at de.wikipedia

Datei:Feindehnung.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Feindehnung.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Smily1306 at de.wikipedia

Datei:GHS-pictogram-flamme.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GHS-pictogram-flamme.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Torsten Henning

Datei:Hazard F.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard_F.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Phrood

Datei:Bolton-davy.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bolton-davy.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Alno, Kelson, Paddy

Datei:Aluminium - Trend Förderung.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aluminium_-_Trend_Förderung.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Leyo

Datei:Flag of Australia.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Australia.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Ian Fieggen

Datei:Flag of the People's Republic of China.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_People's_Republic_of_China.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Drawn by User:SKopp, redrawn by User:Denelson83 and User:Zscout370 Recode by cs:User:-xfi- (code), User:Shizhao (colors)

Datei:Flag of India.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_India.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

Datei:Flag of Guinea.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Guinea.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

Datei:Flag of Jamaica.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Jamaica.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Anime Addict AA, Boricuaeddie, Bruce Lee, Davepape, Duduziq, Fred J. Fry 1989, Herbythyme, KBarnett, Kilom691, Klemen Kocjancic, Kounoupidi, Körnerbrötchen, Ludger1961, Mattes, Nishkid64, Odder, Reisio, SKopp, SamBlob, Sarang, SiBr4, The Evil IP address, Wknigh94, Zscout370, 31 anonyme Bearbeitungen

Datei:Aluminium bar surface etched.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aluminium_bar_surface_etched.jpg *Lizenz:* Free Art License *Bearbeiter:* Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendelejew.de)

Datei:Macroetched Aluminium.JPG *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Macroetched_Aluminium.JPG *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* MPF, Metalle-w, 5 anonyme Bearbeitungen

Datei:Aluwagen.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aluwagen.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 *Bearbeiter:* Adrian Michael

Datei:Aldruckguss.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aldruckguss.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Ulfbastel at de.wikipedia

Datei:Kurzschlussl.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kurzschlussl.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Ulfbastel. Original uploader was Ulfbastel at de.wikipedia

Datei:Transistoroffen.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Transistoroffen.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Ulfbastel at de.wikipedia

Datei:Moka2.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Moka2.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* Imm808

Datei:Acosta-grill.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acosta-grill.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Acosta.eu, 4 anonyme Bearbeitungen

Datei:Image-Metal-reflectance.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Image-Metal-reflectance.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bob Mellish.

Datei:Aluminium foam.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aluminium_foam.jpg *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* Stehfun

Datei:Recycling-Code-41.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Recycling-Code-41.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported *Bearbeiter:* User:MoebiusI

Datei:Aluminium-Morin-Reaktion.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aluminium-Morin-Reaktion.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 *Bearbeiter:* DaDADDy

Bild:Strangkpp.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Strangkpp.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Ulfbastel

Lizenz

Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen bezieht sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenlste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages (http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported) in allgemeinverständlicher Sprache.

Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
 - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
 - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
 - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section entitled "XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C.** State on the Title Page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H.** Include an unaltered copy of this License.
- I.** Preserve the section entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K.** For any section entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M.** Delete any section entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N.** Do not retitle any existing section to be entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work may be called a "Collection" and its license notice must refer to this License and the licenses of the individual Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.