

# Der Werkstoff Aluminium



## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	03	<b>10.</b>	<b>Oberflächenbehandlung, Oberflächenchutz</b>	26
<b>2.</b>	<b>Rohstoffe und Lagerstätten</b>	04	10.1	Mechanische Oberflächenbehandlung	26
<b>3.</b>	<b>Aluminiumgewinnung</b>	05	10.2	Chemische Oberflächenbehandlung	26
3.1	Gewinnung des Aluminiumoxids	05	10.3	Chemische Oxidation	26
3.2	Aluminiumgewinnung durch Schmelzflusselektrolyse	05	10.4	Anodische Oxidation	26
<b>4.</b>	<b>Aluminiumerzeugnisse und Lieferformen</b>	07	10.5	Beschichtete Oberflächen	27
4.1	Hüttenaluminium	07	10.6	Verschleißfeste Oberflächenschichten auf Aluminium	27
4.2	Sekundäraluminium	07	10.7	Metallüberzüge	27
4.3	Aluminiumhalbzeug	09	<b>11.</b>	<b>Anwendung von Aluminium</b>	27
4.3.1	Walzerzeugnisse	09	<b>12.</b>	<b>Aluminium im Zusammenhang mit Ökologie und Gesundheit</b>	32
4.3.2	Strangpresserzeugnisse	09	12.1	Aluminium und Ökologie	32
4.3.3	Gezogenes Aluminiumhalbzeug	10	12.1.1	Klimaschutz	32
4.3.4	Schmiedestücke	10	12.1.2	Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft	32
4.4	Aluminium-Verbundwerkstoffe	10	12.2	Aluminium und Gesundheit	33
4.5	Halbzeug ähnliche Aluminiumerzeugnisse	11	12.2.1	Aluminiumverbindungen und Nahrungsaufnahme	33
<b>5.</b>	<b>Werkstoffeigenschaften</b>	12	12.2.2	Äußere Anwendungen	34
5.1	Chemische Eigenschaften	12	12.2.3	Metallische Aluminiumprodukte	34
5.2	Physikalische Eigenschaften	12	12.2.4	Die Alzheimerkrankheit	34
5.3	Mechanische Eigenschaften	13		<b>Anhang</b>	35
<b>6.</b>	<b>Formteile</b>	19			
6.1	Urformverfahren	19			
6.1.1	Gießen	19			
6.1.2	Sintern	19			
6.2	Umformen	19			
6.2.1	Warmumformen	19			
6.2.2	Kaltumformen	19			
<b>7.</b>	<b>Spanende Bearbeitung</b>	20			
<b>8.</b>	<b>Trennverfahren</b>	20			
<b>9.</b>	<b>Fügeverfahren</b>	20			
9.1	Mechanische Fügeverfahren	20			
9.1.1	Nieten	20			
9.1.2	Schrauben	21			
9.1.3	Schnappverbindungen	22			
9.1.4	Verbinden durch Umformen	22			
9.2	Schweißen	23			
9.2.1	Schmelzschweißen	23			
9.2.2	Pressschweißen	24			
9.3	Löten	25			
9.4	Kleben	25			

Dieses Merkblatt dient als Einstieg in die interessante Welt des Aluminiums. Detailliertes Wissen enthalten die weiterführenden Merkblätter der vormaligen Aluminium-Zentrale, die inzwischen in den GDA eingegangen ist, oder das Aluminium-Taschenbuch. Gestützt auf eine umfassende Fachbibliothek und Dokumentation sowie durch in Sonderdrucken vorliegendes Fachschrifttum können technische Einzelfragen von der Aluminium-Zentrale im GDA beantwortet werden.

## 1. Einleitung

Nachdem es 1886 gelungen war, Aluminium mit Hilfe der Schmelzflusselektrolyse in großtechnischem Maßstab herzustellen, hat sich dieser Werkstoff rasch zu einem der wichtigsten Gebrauchsmetalle entwickelt. Es gibt gute Gründe dafür, in Aluminium das vielseitigste aller Metalle zu sehen:

- In Gestalt einer weit gespannten Palette von genormten und nicht genormten Gusslegierungen eignet sich Aluminium für alle bekannten Formgießverfahren, unter denen das Druckgießverfahren besonders hervorzuheben ist. Abwandlungen dieser Gießverfahren mit dem Ziel verbesserter mechanischer Eigenschaften oder rationellerer Herstellung sind mittlerweile mit Erfolg in die industrielle Praxis eingeführt worden.
- Bei guter Eignung für übliche, metallspezifische Warm- und Kaltumformverfahren wie Walzen, Ziehen, Fließpressen, Schmieden usw. kommt bei Aluminium und vielen seiner Legierungen die hervorragende **Strangpressbarkeit** hinzu. Dank der vielfältigen Gestaltbarkeit des Strangpressprofils werden kostengünstige und elegante, konstruktive Lösungen möglich.
- Reines Aluminium lässt sich sehr gut verformen und zu sehr **dünnen Folien** auswalzen.
- Aluminiumlegierungen sind gut umformbar, teilweise sogar **superplastisch umformbar**.
- Eine Reihe von Aluminium-Konstruktionslegierungen erreicht Festigkeitswerte, die teilweise diejenigen von Baustählen übertreffen; damit eröffnet Aluminium dem **Leichtbau** von Tragstrukturen ein weites Feld.
- Aluminium eignet sich als Matrix für hochfeste **Faserverbundwerkstoffe**.
- **Aluminiumpulver** dient (abgesehen von pyrotechnischen Zwecken) als Pigment für „Metallic“-Lacke und ist Ausgangsstoff für pulvermetallurgische Anwendungen.
- Die Möglichkeiten der **Oberflächenveredelung** durch anodische Oxidation, auch in Verbindung mit Glänzen, schaffen vielseitige, dauerhafte und dekorative, auch hochreflektierende Aluminiumoberflächen (Naturton oder gefärbt); diese Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung erweitern die üblichen organischen und anorganischen Beschichtungen und sonstigen Oberflächenbehandlungsarten.

- Reinaluminium und einige für die elektrotechnische Anwendung optimierte Aluminiumlegierungen leiten den **elektrischen Strom** mit weniger Aufwand an Masse als Kupferwerkstoffe.
- Dank seiner sehr guten **Wärmeleitfähigkeit** eignet sich Aluminium für die Konstruktion von Wärmetauschern, z.B. für leichte Wasser- und Ölkühler in Kraftfahrzeugen und Klimaanlage.

Kennzeichnend für Aluminium und seine Legierungen sind weiterhin

- die Ungiftigkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit
- das nichtmagnetische Verhalten
- das hohe Reflexionsvermögen auch der unbehandelten Oberfläche, insbesondere im Hinblick auf Wärmestrahlung.

Umgangssprachlich wird die Bezeichnung „Aluminium“ für alle Werkstoffe auf Basis von Aluminium verwendet, das heißt sowohl für unlegiertes Aluminium als auch für Aluminiumlegierungen. Die Normung grenzt beide Begriffe ab und versteht unter (unlegiertem) Aluminium ein Metall mit mindestens 99,0 Masse-% Al, wobei der Masseanteil jedes anderen Metalls im Aluminium bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten darf. Die Aluminiumlegierungen sind eingeteilt in **Knetlegierungen** (zur Herstellung von Blechen und Bändern, von Strangpressprodukten wie Profile, Rohre, Stangen, von Schmiedestücken und Fließpressteilen usw.) und **Gusslegierungen** (für die Herstellung von Gussstücken).

Unter dem Begriff „Reinaluminium“ versteht die Normung ein Metall mit einem Masseanteil von 99,95 % Al und mehr. Unter „Primäraluminium“ wird dasjenige Metall verstanden, welches durch elektrolytische Zersetzung von Aluminiumoxid gewonnen wird. Unter dem Begriff „Sekundäraluminium“ verbergen sich in der Regel Aluminiumlegierungen, die aus (vermischten) Altschrotten und Produktionsrückläufen hergestellt werden und üblicherweise als Gusslegierungen für den Formguss Anwendung finden.

## 2. Rohstoffe und Lagerstätten

Aluminium kommt im metallischen Zustand in der Natur nicht vor. Aluminium ist mit 8 % Anteil nach Sauerstoff (46,8 %) und Silicium (25,8 %) das dritthäufigste Element der Erdkruste (Eisen etwa 5 %, Magnesium ca. 2 %, Kupfer und Zink je ca. 0,01 % und Zinn ca. 0,004 %). Zur Gewinnung von Aluminium wird fast ausschließlich Bauxit verwendet. Der für die technische Gewinnung von Aluminium verwendete Bauxit, ein rötlich gefärbtes Sedimentgestein, hat etwa folgende Zusammensetzung:

Aluminiumoxid	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ca. 60 %
Eisenoxid	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	bis 30 %
Siliciumoxid	(SiO <sub>2</sub> )	bis 5 %
Titanoxid	(TiO <sub>2</sub> )	bis 3 %
Chemisch gebundenes Wasser (Glühverlust)		bis 30 %

Aluminium liegt im Bauxit in Form von Hydroxiden vor, entweder als Al(OH)<sub>3</sub> oder AlOOH.

Andere für die Technik jedoch weniger interessante Rohstoffe sind Ton sowie die silikatischen Mineralien Kaolin, Andalusit, Nephelin, Labradorit und Leuzit sowie das basische Kalium-Aluminiumsulfat Alunit. Erschlossene Bauxit-Lagerstätten finden sich über die gesamte Erde verteilt (Bild 1).

Die aus heutiger Sicht wirtschaftlich abbauwürdigen Vorkommen sichern den Bedarf für etwa 200 weitere Jahre.

### Derzeit erschlossene Bauxitvorkommen weltweit (Bild 1)

Bauxit-Förderung in Mio.t 1999  
 Vorkommen weltweit 1996: ca.25 Mrd t\*  
 Gesamtförderung 1999: 116 Mio t



\*Wirtschaftlich abbaubare Vorräte reichen nach heutigen Rahmenbedingungen noch 200 Jahre.

### 3. Aluminiumgewinnung

Aluminium hat eine große Neigung, sich mit Sauerstoff zu verbinden, so dass übliche Reduktionsverfahren nicht angewendet werden können. Die Erzeugung von Aluminium erfolgt großtechnisch in zwei Stufen:

1. Gewinnung von Aluminiumoxid (Tonerde) aus Bauxit (mineralische Erde)
2. Reduktion des Oxids durch Schmelzflusselektrolyse zu metallischem Aluminium.

Andere Gewinnungsverfahren haben keine wirtschaftliche Bedeutung erlangt, so die carbothermische Reduktion, die Elektrolyse von Aluminiumchlorid (Alcoa-Verfahren) und die Gewinnung aus Aluminiumchlorid durch Reaktion mit Mangan (Toth-Verfahren).

#### 3.1 Gewinnung des Aluminiumoxids

Das wichtigste Verfahren zur Herstellung von Aluminiumoxid ist das Bayer-Verfahren (Bild 2). Dabei wird der Bauxit gemahlen und in genau dosierter Menge Aufschlusslauge (aus der Anlage zurückfließende Löselauge) mit einer Konzentration von 200 bis 350 g  $\text{Na}_2\text{O}/\text{l}$  gemischt und in Autoklaven bei 120 bis 230 °C kontinuierlich aufgeschlossen. Aluminiumoxid geht als Natriumaluminat in Lösung und wird eingedickt. Die Natriumaluminatlauge wird in Eindicker überführt.

Die nicht gelösten Bestandteile des Bauxits (Eisenoxid, Titanoxid und der größte Teil des Siliciumoxids) werden bei etwa 90 °C von der Aufschlusslauge getrennt, im Gegenstrom gewaschen und als sogenannter Rotschlamm deponiert oder eventuell weiterverarbeitet.

Die Natriumaluminatlauge wird nach einer Klarfiltration auf 60 °C abgekühlt und in Ausrührern (Größe bis zu 1400 m<sup>3</sup>) mit „Impfstoff“ (Aluminiumhydroxid aus der Produktion) versetzt. Dadurch fällt in 60 bis 120 Stunden die Hauptmenge des gelösten Aluminiums als Aluminiumhydroxid aus und wird über Vakuumfilter abgetrennt. Die zurückbleibende Lauge, die den Rest des gelösten Aluminiums enthält, wird eingedampft und als Aufschlusslauge in den Kreislauf zurückgeführt.

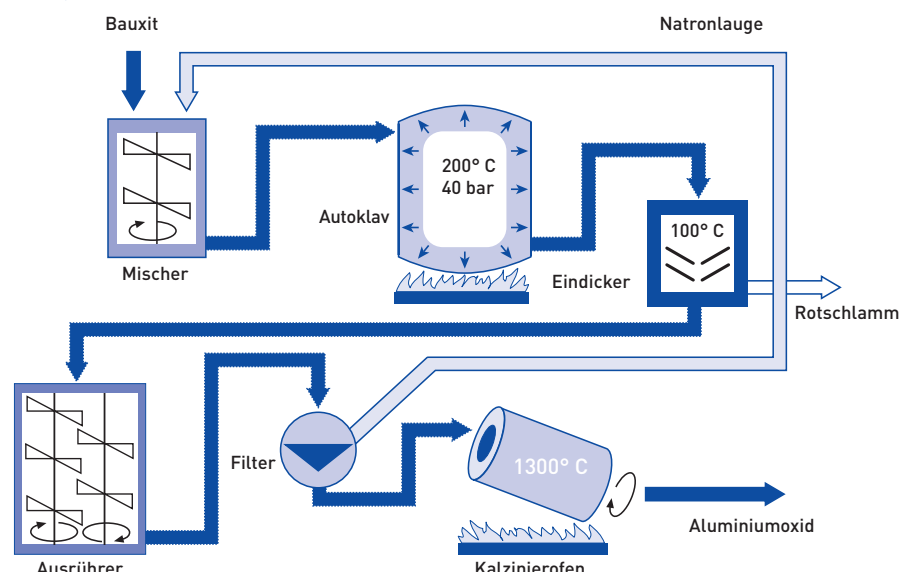
Das Aluminiumhydroxid wird sorgfältig gewaschen und anschließend in Drehrohröfen (Durchmesser bis zu 3 m, Länge bis zu 70 m) oder nach dem Wirbelschichtverfahren durch Erhitzen auf 1200 bis 1300 °C zu Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) kalziniert (das im Hydroxid enthaltene  $\text{H}_2\text{O}$  wird ausgetrieben). Das Aluminiumoxid enthält an Verunreinigungen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$  (je ca. 0,01 bis 0,02 %) sowie bis zu 0,5 %  $\text{Na}_2\text{O}$ .

#### 3.2 Aluminiumgewinnung durch Schmelzflusselektrolyse

Die großtechnische Reduktion von Aluminiumoxid zu metallischem Aluminium erfolgt ausschließlich durch Schmelzflusselektrolyse im kontinuierlichen Betrieb. Das Aluminiumoxid wird in einer Schmelze aus Kryolith (Aluminiumnatriumfluorid -  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) bei Temperaturen von 950 bis 970 °C gelöst, wobei die maximale  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Konzentration 5 bis 7 % beträgt. Durch die Abscheidung von Aluminium verarmt die Schmelze an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , das demzufolge in regelmäßigen Zeitabständen zugegeben werden muss, um eine gewünschte Konzentration aufrecht zu erhalten. Das abgeschiedene Metall wird periodisch abgesaugt.

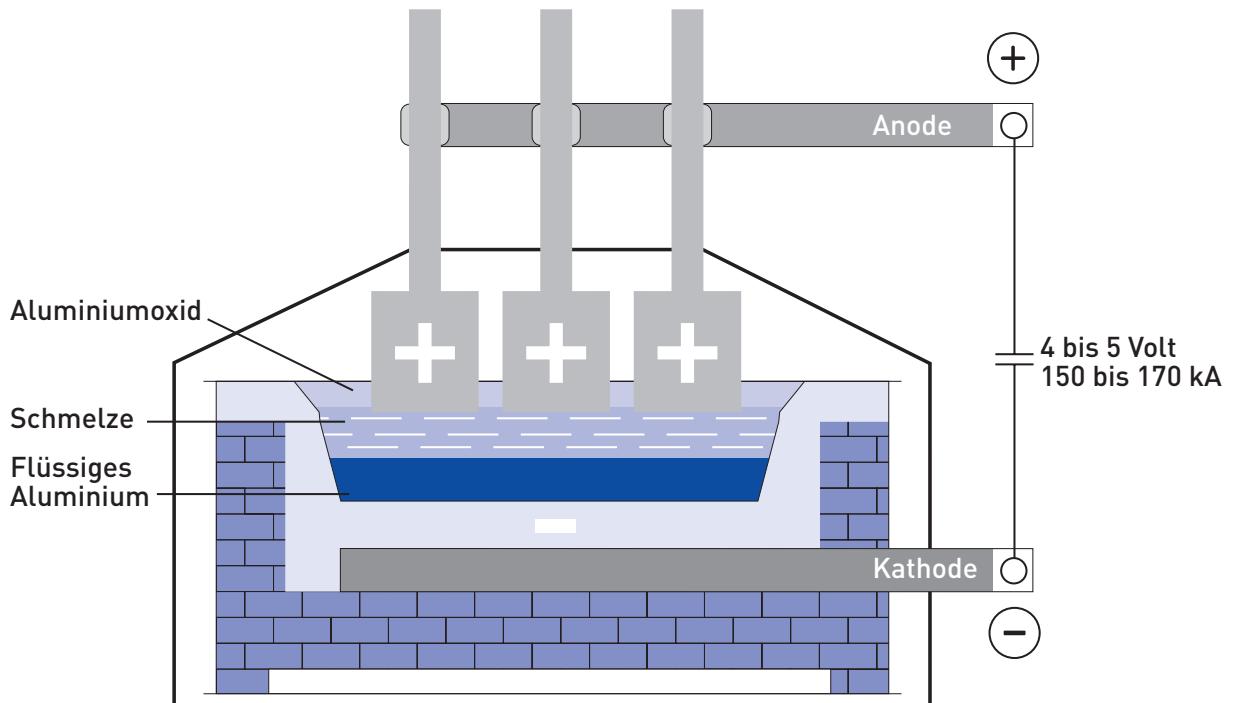
#### Aluminiumoxid-Gewinnung (Bild 2)

Das Bayer-Verfahren



Aluminium-Elektrolyse (Bild 3)

Der Elektrolyseofen



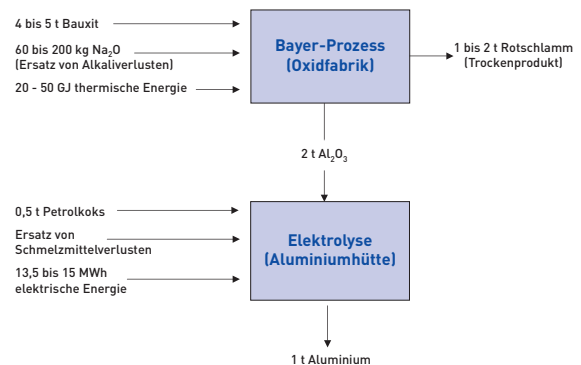
Die einzelnen Elektrolyseöfen sind in großer Anzahl hintereinander geschaltet. Die Spannung eines Ofens beträgt 4 bis 5 Volt. Aus der Zahl der Zellen ergibt sich die erforderliche Gleichstromspannung. Die Stromstärke beträgt 150 bis 170 kA. Die Elektrolyseöfen (Bild 3) sind feuerfest ausgemauerte Stahlblechwannen (Ofenzargen), die mit Kohle ausgekleidet sind; in dieser Auskleidung sind auch die Kathodenzuleitungen eingebettet (Kathode = Minuspol). Als Anode (Pluspol) wird ebenfalls Kohle verwendet, die durch den aus dem Aluminiumoxid freigesetzten Sauerstoff unter Bildung von gasförmigem CO<sub>2</sub> oder CO verbraucht wird. Die vereinfachte Reaktionsgleichung lautet:



Der Verbrauch an Rohstoffen, Hilfsstoffen und Energie zur Herstellung einer Tonne Hüttenaluminium (Reinaluminium) ist in Bild 4 dargestellt. Der Bedarf an elektrischer Energie beeinflusst wesentlich die Standortwahl der Aluminiumhütten. Norwegen wurde wegen seines großen Angebotes an Wasserkraft zur Gewinnung von preiswertem Strom zum größten Aluminiumerzeuger in Westeuropa. Neben der Energieversorgung sind auch Transportfragen für die Standortwahl bestimmend.

Energiebedarf bei der Gewinnung von Aluminium (Bild 4)

Der Gesamt-Energiebedarf (thermisch und elektrisch) ergibt sich zu 162 GJ/t<sup>-1</sup>



\*) Ökobilanz von Packstoffen. Stand 1990. Hrsg. vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern 1991

## 4. Aluminiumerzeugnisse und Lieferformen

### 4.1 Hüttenaluminium

Das in der Elektrolyse hergestellte Aluminium wird Hüttenaluminium oder Primäraluminium genannt. Es ist der Ausgangswerkstoff für die Herstellung von Halbzeug (Bleche, Bänder, Rohre, Profile usw.) aus Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen. Hüttenaluminium bildet auch die Basis für Gusslegierungen, aus denen besonders anspruchsvolle Aluminium-Gussstücke hergestellt werden, zum Beispiel PKW-Räder und Fahrwerksteile („Sicherheitsbauteile“).

In den Hütten wird das flüssige Rohmetall in der angeschlossenen Gießerei entsprechend den angeforderten Spezifikationen

- legiert, d. h. Einstellung der chemischen Zusammensetzung durch Zugabe von Legierungselementen direkt oder über Vorlegierungen (DIN EN 575). Vorlegierungen enthalten bis zu 65 Masse-% der Legierungselemente
- gereinigt (Abkrätzsalze bzw. Filter)
- entgast
- vergossen zu Masseln (auch: Formaten)
- als Flüssigmetall vermarktet.

Die im Zusammenhang mit „Hüttenaluminium“ verwendeten Begriffe sind:

**Masseln** (DIN EN 576). Sie werden in der Hüttengießerei entweder in einfachen offenen Formen vergossen oder im horizontalen Strangguss hergestellt. Die Masseln („Blockmetall“) gehen zwei verschiedene Wege:

- In den „Formgießereien“ werden sie eingeschmolzen, um daraus Gussstücke herzustellen.
- In den „Formategießereien“, die im Allgemeinen den Halbzeugwerken angeschlossen sind, werden sie zu Formaten, das heißt Walzbarren, Pressbarren (Pressbolzen) usw. vergossen.

**Formate** sind der Sammelbegriff für Walz- (DIN EN 487), Press- (DIN EN 486) und Schmiedebarren (DIN EN 604). Sie stellen das Vormaterial für die Halbzeugfertigung dar und werden im (vertikalen) Stranggießverfahren (Bild 5) hergestellt. Stromschienen mit großen Querschnitten werden meist im Horizontal-Stranggießverfahren gefertigt.

- **Walzbarren** weisen rechteckige Querschnitte auf (bis 0,6 x 1,8 m). Ihre Länge reicht bis 6 m und ihr Gewicht bis 14 t. In einigen großen Walzwerken werden Querschnitte bis 0,6 x 2,25 m, Längen bis 9 m und Gewichte bis 30 t erzeugt und/oder verarbeitet. Walzbarren stellen das Ausgangsmaterial für Bleche, Bänder und Folien dar.

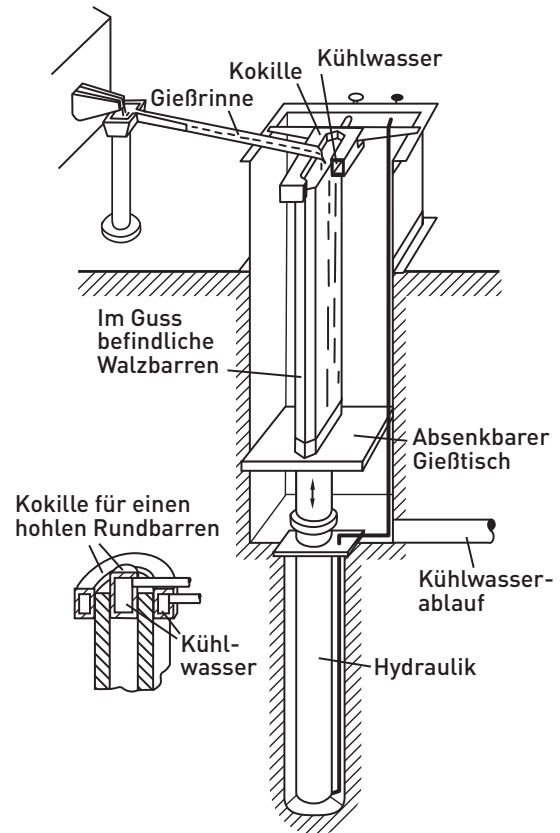
- **Pressbarren** sind das Ausgangsmaterial (Vormaterial) für die Herstellung stranggepresster Produkte (Profile, Stangen, Rohre, Drähte). Pressbarren haben meist einen kreisförmigen Querschnitt (Durchmesser selten unter 80 mm; mehrheitlich im Bereich 300 bis 500 mm; teilweise über 600 mm; im Falle von Schmiedebarren, s.u., auch bis 1000 mm). Wird für die Rohrerstellung über Dorn gepresst, kommen hohlzylindrische Rundbarren (z.B. 510 mm Außendurchmesser, 160 mm Innendurchmesser) zur Anwendung. Großprofile mit Querschnittsbreiten bis zu 800 mm und relativ geringer Querschnittshöhe (bis 100 mm) werden aus Rechteckbarren hergestellt.
- **Schmiedebarren** werden gemäß den Anforderungen der Schmiedebetriebe im Stranggießverfahren mit Durchmessern bis zu 1 m hergestellt. Der größte Teil von Gesenkschmiedestücken wird allerdings aus zuvor gepressten Stangenabschnitten gefertigt.
- **Gießbänder** sind Vormaterial für Bleche und Bänder und Fließpressteile. Gießbänder werden auf kontinuierlich arbeitenden Gießmaschinen und Gießwalzen unterschiedlicher Bauweise hergestellt.
- **Gieß-Walzdraht** (Vordraht, „Properzi-Draht“) entstammt kontinuierlich arbeitenden Spezialgießmaschinen und stellt wie Pressdraht das Ausgangsmaterial für gezogene Drähte dar.
- **Aluminiumgranalien** (Linsenform bis 15 mm Durchmesser) dienen im Wesentlichen der Stahl-Desoxidation.
- **Aluminiumgrieß** besteht aus Metallpartikeln bis 3 mm Durchmesser. Außer in der Stahl-Desoxidation verwendet man ihn als Reaktionsmittel für die chemische Industrie, Füllstoff für Kunststoff und für aluminothermische Zwecke.
- **Flüssigmetall** (DIN EN 577) wird in etwa 3000 kg Aluminium fassenden Spezialbehältern auf Fahrzeugen zu Gießereien befördert. Diese Vorgehensweise findet zunehmende Verbreitung, da hiermit im Vergleich zur wieder einzuschmelzenden Massel Energie eingespart wird.

### 4.2 Sekundäraluminium

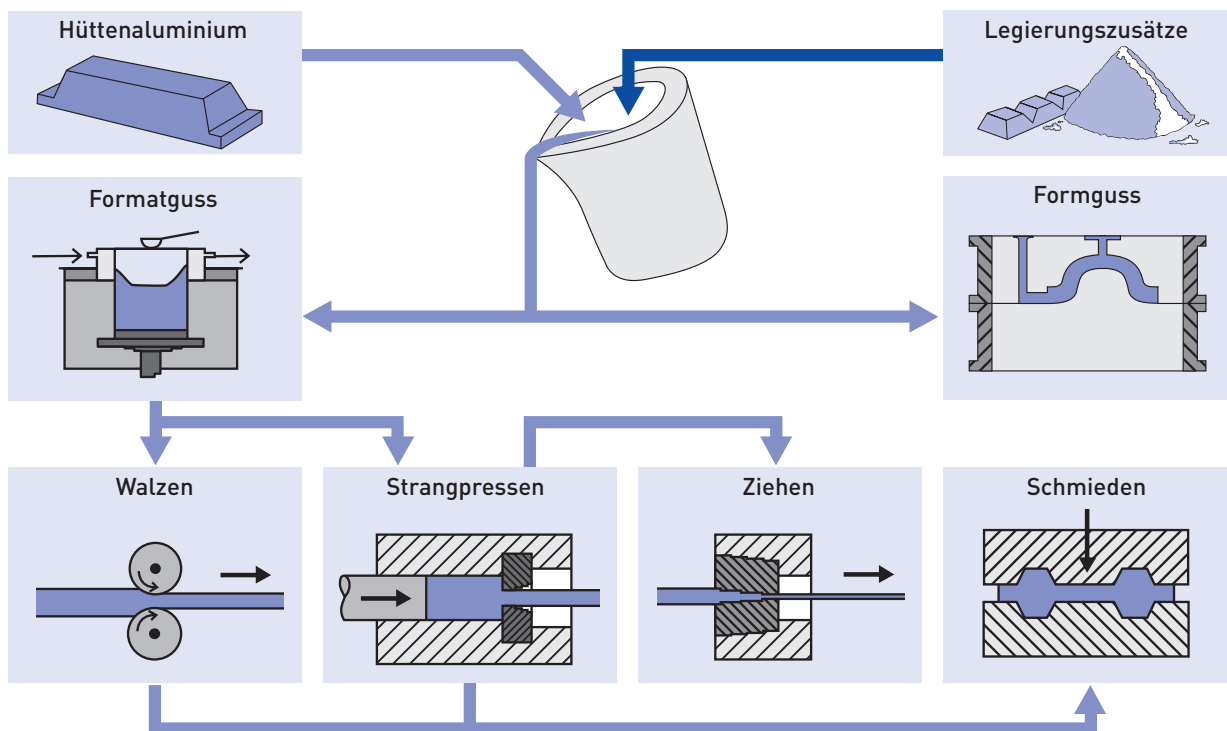
Aluminium-Alt- und -Neuschrotte stellen den „Vorstoff“ für die Herstellung von Sekundäraluminium (bzw. Sekundäraluminium-Legierungen) dar. Mit der Verarbeitung von (vermischten) Aluminium-Altschrotten und -Neuschrotten (=Rückläufe aus den aluminiumverarbeitenden Betrieben) zu Sekundäraluminium-Legierungen beschäftigen sich die Schmelzhütten (Schmelzwerke, früher „Umschmelzwerke“ genannt), siehe auch Abschnitt 12.1.2. Diese Legierungen werden als Masseln oder Flüssigmetall an Formgießereien geliefert, die hieraus Gussstücke herstellen, welche beispielsweise im Automobilbau ein großes Anwendungsgebiet gefunden haben. Granalien gehören ebenfalls zu den Erzeugnissen der Schmelzhütten.

**Schematische Darstellung des Stranggießverfahrens (Bild 5)**

Die Gießform (Kokille) besteht aus einem wassergekühlten Kragen. Der Austritt des Kühlwassers erfolgt durch Bohrungen an der unteren Innenkante der Kokille, so dass das an dieser Wand erstarrte Metall auf Raumtemperatur gekühlt wird. Die Kokille ist durch ein lose eingesetztes Bodenstück unten abgeschlossen, das auf einem absenkbaaren Tisch liegt. Die Wirtschaftlichkeit kann durch gleichzeitiges Gießen mehrerer Rund- oder Walzbarren gesteigert werden. Auch das Gießen von Hohlbarren ist möglich.



**Herstellung von Aluminiumhalbzeug und -guss (Bild 6)**





Liegen Aluminium-Knetlegierungen aus Schrotten in sortenreinen Fraktionen vor, so können diese direkt wieder für die Halbzeugherstellung verwendet werden. Ein Beispiel hierfür bietet die Getränkedose aus Aluminium, die weltweit in sehr großen Mengen recycelt wird.

Das Dosen-Recycling dient zumindest in Ländern mit hohen Recyclingquoten und getrennter Sammlung gebrauchter Getränkedosen (USA, Schweden etc.) dem originären Herstellungszweck: „Aus einer Dose wird wieder eine Dose.“

#### 4.3 Aluminiumhalbzeug

Halbzeug ist der Begriff für Erzeugnisse, die durch Warm- und/oder Kaltumformen der Formate hergestellt werden (Strangpressen, Schmieden, Warm- und Kaltwalzen, Ziehen). Bezeichnend für diese Verfahren ist das Durchkneten des Werkstoffes, daher werden die dafür geeigneten Aluminiumlegierungen **Knetwerkstoffe** (DIN EN 573) genannt.

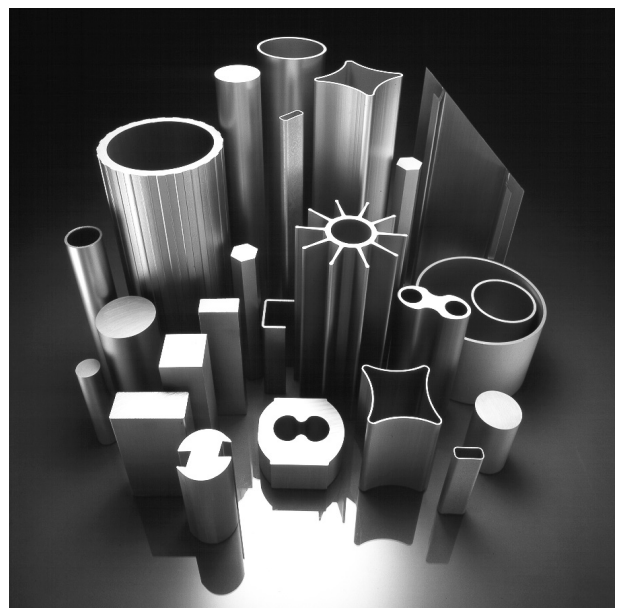
Dank der hervorragenden Umformbarkeit bietet Aluminium die größte Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten. Von der 6 µm dünnen und 2 m breiten Folie bis zur mehrere Meter breiten Platte für den Schiff-, Flugzeug- und Anlagenbau, vom 0,8 mm dicken Röhrchen für den Diamanten des Plattenspielers bis zum 800 mm breiten Strangpressprofil für moderne Hochgeschwindigkeitszüge reicht die Palette des serienmäßigen Einsatzes von Aluminium-Halbzeug. Gerade das Strangpressen ist eine Besonderheit des Aluminiums, da hier die kompliziertesten Querschnitte mit hervorragenden Oberflächen und geringen Maßabweichungen in einem Arbeitsgang wirtschaftlich gefertigt werden können.

##### 4.3.1 Walzerzeugnisse

Walzen ist das gängige Verfahren zur Herstellung von Aluminium-Bändern, -Blechen und -Folien. Zum Warmwalzen werden die Walzbarren von der Gushaut befreit und im Anwärmmofen auf Walztemperatur gebracht. Beim Walzen erfolgt unter Emulsionskühlung eine große Stichabnahme. Diese Warmwalzbänder werden, je nach Anforderung an Abmessung und Eigenschaften, weiter auf Kaltwalzgerüsten entweder zu dünnen Bändern oder Folien gewalzt, beziehungsweise zu Blechen geteilt. Eigenschaften und technische Lieferbedingungen von Bändern und Blechen aus Aluminiumwerkstoffen sind in nationalen und internationalen Normen enthalten (DIN EN 485).

##### 4.3.2 Strangpresserzeugnisse

Das Strangpressen von Aluminiumwerkstoffen ermöglicht wie keine andere Halbzeugfertigung die Herstellung vielfältigster Formen, vom einfachen Vollprofil bis zum kompliziertesten Hohlprofil. Grenzen, welche durch die fertigungstechnischen Besonderheiten beim Strangpressen gegeben sind, müssen jedoch beachtet werden. Profile mit großen Querschnitts- oder Wanddickenunterschieden und mit im Vergleich zum Gesamtquerschnitt übertrieben dünnen und langen Schenkeln erfordern einen hohen Aufwand bei der Werkzeugherstellung, beim Pressen und beim Richten. Die lieferbaren Profilabmessungen (DIN EN 754, DIN EN 755 und DIN EN 12020) sind abhängig vom Werkstoff und vom Durchmesser des umschreibenden Kreises. Mindestwanddicken und Mindestradien für die Übergänge sind einzuhalten.



Strangpresserzeugnisse (Bild 7)

### 4.3.3 Gezogenes Aluminiumhalbzeug

Die Ausgangsform für das Kaltziehen sind stranggepresste Stangen und Rohre, beziehungsweise gepresster, gewalzter oder gegossener Vordraht (für Reinaluminium und niedriglegierte Werkstoffe meist Gießwalzdraht). Kaltnachziehen stranggepresster Profile ist möglich, aber unwirtschaftlich; es wird daher praktisch nicht ausgeführt.

Gezogene Erzeugnisse mit Abmessungsangaben sind sowohl in nationalen wie in internationalen Normen erfasst.

### 4.3.4 Schmiedestücke

Der übliche Abmessungsbereich liegt für Freiformschmiedestücke bei maximalen Längen von 5 m, bei Breiten bis 2 m und bei Flächen bis 2 m<sup>2</sup>. Gesenkschmiedestücke, wie Pkw- und Lkw-Räder oder Strukturteile für Flugzeuge oder Fahrzeuge zeichnen sich durch hohe Festigkeit und Zähigkeit aus und werden deshalb bevorzugt für hochbelastete Sicherheitsteile eingesetzt.

### 4.4 Aluminium-Verbundwerkstoffe

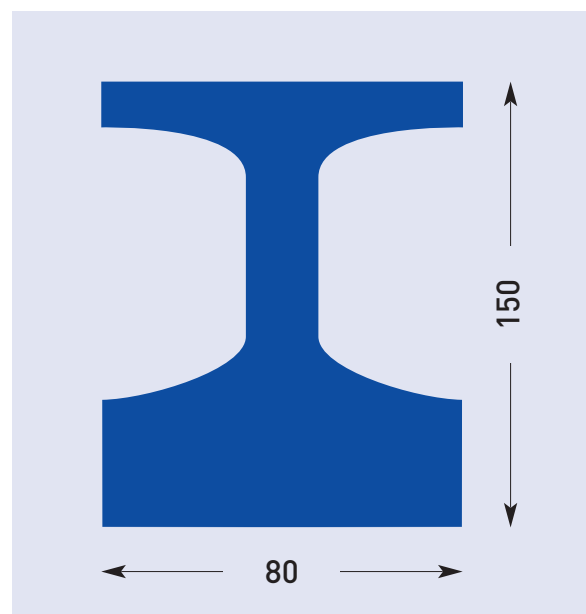
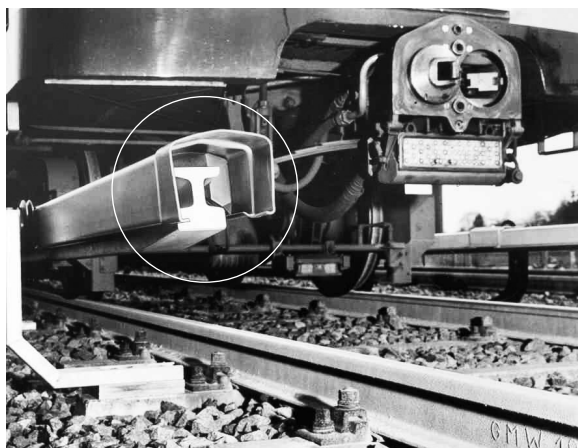
Aluminium kann auf verschiedene Weise unlösbar zum Verbund mit anderen Werkstoffen (Metallen oder Nichtmetallen) kombiniert werden. Bei Aluminium in Kombination mit Metallen wie Stahl oder Kupferwerkstoffen sind Varianten des Pressschweißens (Walzplattieren, Explosions-schweißen), das Verbundstrangpressen (Bild 8 „Stromschiene“) und das Reibschweißen möglich beziehungsweise üblich.

Flächige Kombinationen von Aluminium mit Nichtmetallen (z.B. Kunststoffe, Holzwerkstoffe) zu so genannten Sandwichelementen werden durch Kleben beziehungsweise durch Ausschäumen des Raumes zwischen zwei Aluminium-Deckschichten hergestellt (Bild 9).

Das bekannteste Beispiel für die Serienanwendung von Aluminium im Verbund mit Keramikfasern beziehungsweise -partikeln stellen thermisch hochbelastbare Dieselmotorkolben dar. Diese Kolben erhalten eine partielle Verstärkung im Bereich des Kolbenbodens, indem ein vorgeformter Keramikfasereinsatz in der Gießform unter Druck mit Aluminiumschmelze infiltriert wird.

#### Stromschiene (Bild 8)

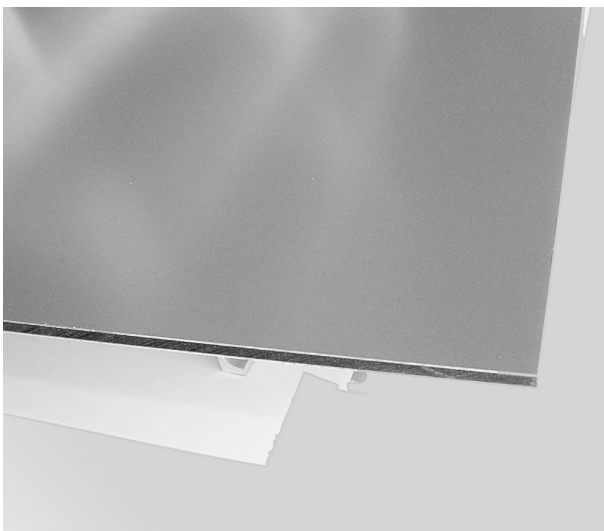
Im Verbund stranggepresste Aluminium-Stromschiene mit Edelstahlauflage (Unterseite = Schleifkontakt-Fläche) für U-Bahn Wien



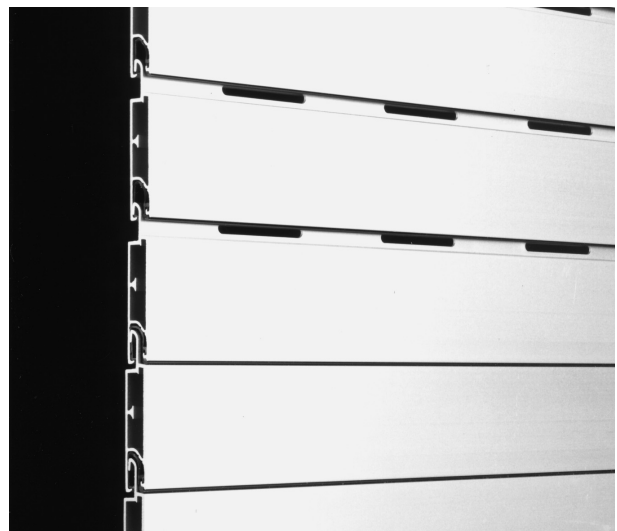
#### 4.5 Halbzeug ähnliche Aluminiumerzeugnisse

Innerhalb der Bandbreite dieser Erzeugnisse seien hier nur diejenigen Produkte vorgestellt, die durch Kaltumformen aus Aluminiumblechen oder -bändern hergestellt werden. Beispiele sind:

- durch Rollformen profilierte Bänder und Bleche (Bild 10)
- Bandprofile, rollgeformt oder durch eine Matrize gezogen; Beispiel: Rollladenprofil (Bild 11)
- durch Abkanten von Blechen hergestellte Profile (Abkant-Profile)
- Längsnahtgeschweißte dünnwandige Rohre (z.B. für Wärmeaustauscher)
- Falzrohre, mit Längs- oder Spiralfalz (Wendelfalz)
- Wellrohre (flexible Rohre).



Sandwichelemente (Bild 9) Alucobond mit Polyäthylen-Kern



Rollladenprofil (Bild 11)



Rollgeformte Produkte (Bild 10)



...und Anwendungsbeispiel

## 5. Werkstoffeigenschaften

### 5.1 Chemische Eigenschaften

Aluminium ist ein reaktionsfähiges, leicht oxidierbares Element. Die große Oxidationsneigung führt dazu, dass sich Aluminium unter der Einwirkung des Luftsauerstoffes spontan mit einer sehr dünnen, natürlichen Oxidschicht (Dicke ca. 0,01 µm) überzieht, die das darunter liegende Metall passiviert und vor weiterem Angriff schützt. Die Oxidschicht wird jedoch in sauren und alkalischen wässrigen Lösungen aufgelöst, so dass Aluminium nur im pH-Bereich 5 bis 8 chemisch beständig ist. In der Witterung mit einem Wechsel von feuchten und trockenen Perioden bilden sich dicker werdende oxidische Deckschichten (bis 0,1 µm dick), bestehend aus Oxiden und Hydroxiden, die eine zunehmende Schutzwirkung aufweisen, aber durch eingelagerte Staubpartikel unansehnlich wirken können.

Die Oxidschicht kann elektrolytisch durch Anodisieren (Eloxieren) wesentlich dicker ausgebildet werden. Diese anodisch erzeugten Oxidschichten werden durch Witterungseinflüsse praktisch nicht mehr verändert.

Die chemischen Eigenschaften des reinen Metalls gelten auch für die meisten Aluminiumlegierungen, sofern diesen kein Kupfer zulegiert wurde.

### 5.2 Physikalische Eigenschaften

Dichte, Elastizitätsmodul und Wärmeausdehnungszahl sind Eigenschaften, die sich bei Aluminium durch Legierungsbestandteile in den Mengen, wie sie zum Beispiel die genormten Knetlegierungen aufweisen, nur in geringer Bandbreite ändern. So schreiben Regelwerke zur Bemessung von Aluminium-Tragkonstruktionen den E-Modul für Aluminium-Knetlegierungen mit 70 000 N/mm<sup>2</sup> fest. Bezüglich des Einflusses auf Dichte und E-Modul macht Lithium bei Aluminium allerdings eine Ausnahme. Al-Li-Knetlegierungen, die heute für die Luft- und Raumfahrt (und zwar wegen des hohen Preises nur dort) Anwendung finden (z.B. Space Shuttle) senken die Dichte und steigern den E-Modul.

Vergleichsweise stark von den Legierungsbestandteilen abhängig sind die Wärme- und die elektrische Leitfähigkeit, so wie dies auch bei den Festigkeitseigenschaften und den Korrosionseigenschaften (hinsichtlich Cu) der Fall ist. Tafel 1 stellt die Dichte und den E-Modul von Aluminium den entsprechenden Werten anderer technisch wichtiger Gebrauchsmetalle gegenüber. Tafel 2 vergleicht Reinstaluminium und Aluminium-Knetlegierungen hinsichtlich einer Reihe von technisch relevanten physikalischen Kenngrößen und macht damit den unterschiedlich großen Einfluss von Legierungselementen in Aluminium, auch auf den Schmelzbeziehungsweise Erstarrungsbereich, deutlich.

Dieser wird nach oben durch die Liquidustemperatur und nach unten durch die Solidustemperatur begrenzt. Er ist durch das gleichzeitige Vorhandensein von flüssiger und fester Phase gekennzeichnet und liegt bekanntermaßen stets tiefer als der Schmelzpunkt des reinen Metalls.

Die Härte von Aluminiumwerkstoffen wird in Deutschland üblicherweise als Brinellhärte [HB in N/mm<sup>2</sup>] angegeben. Eine alle Legierungen und Zustände im Halbzeug einschließende Beziehung zwischen Härte und einer Festigkeitseigenschaft (Zugfestigkeit) besteht bei Aluminium nicht, ebensowenig eine Beziehung zwischen Härte und Verschleißfestigkeit. Die Härte ist kein Abnahmekriterium zum Beispiel bei der Wareneingangsprüfung. Wohl aber dienen Härtemessungen dazu, die Breite einer Wärmeeinflusszone im Schweißnahtbereich zu ermitteln.

(Tafel 1)

Dichte und Elastizitätsmodul (E-Modul) von technisch gebräuchlichen bzw. konstruktiv verwendeten Metallen (Bezugsgröße: das reine Metall)

	Metall	chemisches Symbol	Dichte [g/m <sup>3</sup> ]	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]
Leichtmetalle	Magnesium	Mg	1,7	45 000
	Beryllium	Be	1,8	295 000
	Aluminium	Al	2,7	66 600 <sup>2)</sup>
	Titan	Ti	4,5	110 000
Schwermetalle	Zink	Zn	7,1	120 000
	Zinn	Sn	7,3	44 000
	Eisen <sup>1)</sup>	Fe	7,9	210 000
	Nickel	Ni	8,9	210 000
	Kupfer	Cu	8,9	120 000
	Blei	Pb	11,3	19 000

1) ebenso Stahl

2) Für konstruktiv verwendete Knetlegierungen gilt der runde Wert 70 000 N/mm<sup>2</sup>. Über die Querkontraktionszahl (= 0,3) ergibt sich der Schubmodul zu G = 27 000 N/mm<sup>2</sup>.

**[Tafel 2]** Vergleich physikalischer Kennwerte für Aluminium-Knetlegierungen mit den entsprechenden Werten für Reinstaluminium

Kennwert	Reinstaluminium Al 99,99	Aluminiumknetlegierungen
Dichte in g/cm <sup>3</sup>	2,7	von 2,64 (EN AW-5019) bis 2,85 (EN AW-2007)
Mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (in 10 <sup>-3</sup> mm/m <sup>°</sup> K) im Bereich 20 bis 100 °C	23,6	von 22,8 (EN AW-2014) <sup>1)</sup> bis 24,2 (EN AW-5083) zum Vergleich: ~12 Baustahl
Elektrische Leitfähigkeit in m/(Ohm·mm <sup>2</sup> )	37,7	bis 16 (EN AW-5083) und 15 (EN AW-5019)
Wärmeleitfähigkeit in W/m °K	235,0	bis zu 110 (EN AW-5083 und EN AW-5019)
Erstarrungsbereich (Solidus-/Liquiduspunkt) in °C	660/660	643/654 (EN AW-3003) 585/650 (EN AW-6060) 480/640 (EN AW-7075)

\*) Für Knetlegierung in der Literatur häufig anzutreffender Richtwert: 24

### 5.3 Mechanische Eigenschaften

Die Festigkeit spielt bei der technischen Anwendung von Aluminium meist die Hauptrolle. So weisen Aluminium-Konstruktionslegierungen bei hinreichender Duktilität Mindestwerte für die Zugfestigkeit ( $R_m$ ) auf, die von etwa 200 N/mm<sup>2</sup> bis, im Falle der kupferhaltigen Luftfahrtlegierungen, über 500 N/mm<sup>2</sup> reichen. Diesem Anspruch vermag unlegiertes Aluminium nicht gerecht zu werden, auch wenn es durch Kaltverfestigung (z.B. infolge Kaltwalzen von Blechen, Ziehen von stranggepressten Rohren etc.) deutlich höhere Werte für Zugfestigkeit und 0,2%-Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ -Grenze;  $R_{p0,2}$ ) als im Zustand „weich“ erreicht (Bild 12).

Typische Konstruktionslegierungen, wie man sie in Regelwerken zur Bemessung von Tragkonstruktionen findet, sind die höher legierten Varianten der nicht aushärtbaren Gattung AlMg/AlMgMn und aushärtbare Legierungen der Gattungen AlMgSi und AlZnMg.

Bei Aluminiumwerkstoffen gibt es zwei Mechanismen zur Festigkeitssteigerung: Kaltverfestigung und Aushärten, welche sich gegenseitig überlagern können. Als Bezugspunkt für diese Festigkeitssteigerungen dient der Zustand „weich“. Bereits in diesem Zustand wächst die Festigkeit mit der Zahl der Fremdatome im Mischkristall, das heißt mit ansteigendem Gehalt an Legierungselementen. So beispielsweise bei Aluminiumlegierungen des Typs AlMg/ AlMgMn (untere Begrenzungskurve im Bild 12, die links beim reinen Aluminium (Al) beginnt und das ausdrückt, was in der Literatur unter „Legierungsverfestigung“ verstanden wird).

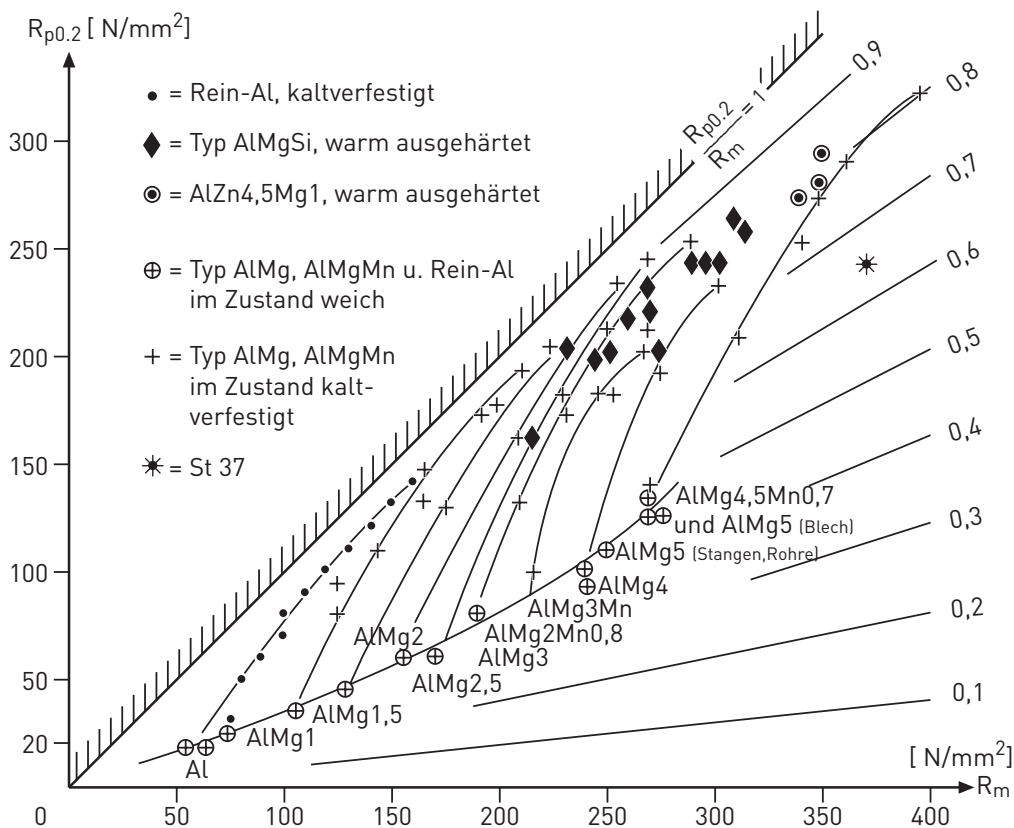
- Kaltverfestigung: Die plastische Formänderung, zum Beispiel durch Kaltwalzen, führt zu Versetzungen im Kristallgitter, die sich zunehmend gegenseitig behindern und damit den Umformwiderstand (Festigkeit usw.) erhöhen, wobei Gitterfehler, Korngrenzen und dergleichen eine Rolle spielen. Der Effekt „Kaltverfestigung“ äußert sich in einer massiven Zunahme des Streckgrenzenverhältnisses  $R_{p0,2}/R_m$ , wobei die Bruchdehnung stark abnimmt.

Eine durch Kaltverfestigung erzielte Festigkeitssteigerung geht bei Temperaturen über 250 °C durch Rekristallisation auf die Festigkeit des Zustandes „weich“ zurück. Durch Glühen unterhalb der Rekristallisationsschwelle (abhängig von Zusammensetzung und Kaltverfestigungsgrad bzw. Umformgrad) erfolgt eine weniger starke Entfestigung durch Erholung.

„Entfestigungsglühen“ (Temperatur 200 bis 250 °C) wird zum Beispiel angewendet zur Erzielung eines halbhartes Zustandes aus hartgewalzten Blechen. Vorteil: Bei gleicher Festigkeit ist die Bruchdehnung erheblich höher, als wenn vom weichen Zustand aus kaltverfestigt wird.

■ Festigkeitssteigerung durch Aushärten. Dieser Mechanismus der Festigkeitssteigerung erfolgt nur bei einigen Typen von Aluminiumlegierungen, zum Beispiel AlCuMg, AlZnMg oder AlMgSi. Voraussetzung für das Aushärten ist das Erwärmen auf eine Temperatur, bei der möglichst viele von zur Aushärtung führenden Fremdatomen im Mischkristall gelöst sind (Lösungsglühen). Dem folgt rasches Abkühlen von dieser Temperatur auf Raumtemperatur (Abschrecken), wodurch die Fremdatome bei hinreichend kleiner Beweglichkeit übersättigt, also im Ungleichgewicht in Lösung bleiben. Längeres Lagern bei Raumtemperatur (Kaltauslagern) oder bei mäßig erhöhter Temperatur (Warmauslagern) führt zur Ausscheidung der Fremdatome unter Bildung von Teilchen einer kritischen Größe. In Bild 12 sind für AlMgSi-Werkstoffe und für AlZn<sub>4,5</sub>Mg<sub>1</sub> Punkte gemäß den in DIN EN 485-2, 754-2 und 755-2 enthaltenen Mindestwerten für  $R_m$  und  $R_{p0,2}$  eingetragen (Zustand: warmausgehärtet).

(Bild 12)



Zuordnungen von Mindestwerten für  $R_{p0,2}$  und  $R_m$  nach DIN EN 485-2, 754-2 und 755-2 für Reinaluminium, AlMg- und AlMgMn-Knetlegierungen, aushärtbare Knetlegierungen der Gattung AlMgSi und AlZn<sub>4,5</sub>Mg<sub>1</sub>, letztere im Zustand „warmausgehärtet“; für Reinaluminium und die nichtaushärtbaren Legierungen ist einmal der Zustand „weich“ berücksichtigt (untere Begrenzungskurve) und zum anderen für jede dieser Legierungen verschiedene Grade der Kaltverfestigung (steil nach oben weisende Linien); zum Vergleich ist der Punkt für St37 (Baustahl) mit eingetragen, ebenso finden sich in dem Diagramm Geraden durch den Nullpunkt, die das Dehngrenzenverhältnis  $R_{p0,2} / R_m$  angeben.

Tafel 3 gibt die Mindestwerte der Festigkeitseigenschaften von Aluminium 99,5 und einer Auswahl gebräuchlicher Aluminium-Knetlegierungen wieder. Genannt sind die Mindestwerte für die Halbzeugarten Bleche/Bänder (DIN EN 485-2) und Strangpressprofile (DIN EN 755-2). Rohre und Stangen (DIN EN 755-2) sind Strangpressprodukte mit gleichen oder ähnlich hohen, genormten Festigkeitseigenschaften wie Strangpressprofile.

In den Tafeln 4.1, 4.2 und 4.3 sind die Daten zu einer Auswahl von Aluminium-Gusslegierungen nach DIN EN 1706 zusammengestellt. Die genannten Mindestwerte liegen häufig deutlich unter den tatsächlich im Gussstück mit entsprechendem gießtechnischem Aufwand erreichbaren Werten und spiegeln daher nur bedingt die Leistungsfähigkeit einer Aluminium-Gusslegierung wider.

**[Tafel 3]** Mechanische Eigenschaften (Mindestwerte) einiger genormter Aluminium-Knetlegierungen

	Werkstoffbezeichnung nach DIN EN 573	Werkstoffkurzzeichen und Zustandsbezeichnung nach		Halbzeugart	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>50mm</sub> %	Zustand	Blechkicken bzw. Wanddickenbereich in mm
		DIN EN 573	DIN EN 515						
„Rein-Al“	AW-1050A	Al 99,5	O/H111	Bänder bis	65	20	35	weich	6 bis 12,5
			H12	3 mm Dicke;	85	65	7	kaltgewalzt	3 bis 6
			H22	Bleche	85	55	11	rückgeglüht	3 bis 6
			H19 <sup>1</sup>	Profile	150	130	1	kaltgewalzt	1,5 bis 3
F,H12	60	20	23		gepresst	jede Wanddicke			
nicht aus-härtbare Legierungen	AW-3003	Al Mn1Cu	O/H111	Bänder bis	95	35	24	weich	6 bis 12,5
			H12	3 mm Dicke;	120	90	7	kaltgewalzt	6 bis 12,5
	AW-3004	Al Mn1Mg1	O/H111	Bänder bis	155	60	15	weich	1,5 bis 3
			H12	2 mm Dicke;	190	155	4	kaltgewalzt	1,5 bis 3
			H22	Bleche	190	145	6	rückgeglüht	1,5 bis 3
			H19 <sup>1</sup>		270	240	1	kaltgewalzt	0,2 bis 1,5
	AW-5049 und AW-5754	Al Mg2Mn0,8 und Al Mg3	O/H111	Bänder bis	190	80	18	weich	3 bis 6
			H12	3 mm Dicke;	220	170	9	kaltgewalzt	6 bis 12,5
			H22	Bleche	220	130	10	rückgeglüht	6 bis 12,5
			H18 <sup>1</sup>		290	250	2	kaltgewalzt	0,5 bis 3
	AW-5754	Al Mg3	F, H112	Profile	180	80	12	gepresst	bis 25
	AW-5454	Al Mg3Mn	O/H111	Bleche	215	85	18	weich	6 bis 12,5
			H22/H32		250	180	10	rückgeglüht	6 bis 12,5
			H28/H38 <sup>1</sup>		310	250	3		0,2 bis 3
	AW-5083	Al Mg4,5Mn0,7	F/	Profile	270	110	10	gepresst	jede Wanddicke
			O/H111	Bleche	275	125	16	weich	6 bis 12,5
			H12		315	250	7	rückgeglüht	6 bis 12,5
			H16 <sup>1</sup>		360	300	2		0,5 bis 4
aushärtbare Legierungen	AW6060	Al MgSi	T6	Profile	190	150	6	warmaus-gehärtet	bis 3
			T6		170	140	6		3 bis 25
			T66 <sup>1</sup>		215	160	6		bis 3
	AW-6063	Al Mg0,7Si	T6		215	170	6	warmaus-gehärtet	bis 10
					195	160	6		10 bis 25 mm
	AW-6005A	Al SiMg(A)	T6	Profile	260	215	-	warmaus-gehärtet	Vollprofil > 50 bis 100
			T6		255	215	6		Hohlprofil bis 5
			T6		270	225	6		Hohlprofil bis 5
	AW-6082	Al Si1MgMn	T6	Profile	295	250	6	warmaus-gehärtet	Vollprofil bis 20
			T6		310	260	8		Hohlprofil > 5 bis 15
			T6 <sup>1</sup>	Bleche	310	260	6		0,4 bis 1,5
			T6 <sup>1</sup>		310	260	7		1,5 bis 3
			T6 <sup>1</sup>		310	260	10		3 bis 6
			T66		300	255	9		6 bis 12,5
	AW-7020	Al Zn4,5Mg1	T6	Profile	350	290	8	warmaus-gehärtet	bis 40
			T6	Bleche	350	280	10		3 bis 12,5
	AW-7075	Al Zn5,5MgCu	T6	Profile	530	460	4	warmaus-gehärtet	bis 25
			T62	Bleche	490	390	-		80 bis 90
			T6 <sup>1</sup>		545	475	8		3 bis 6

R<sub>m</sub> = Zugfestigkeit; R<sub>p0,2</sub> = 0,2% Dehngrenze; A<sub>50mm</sub> = Bruchdehnung. Werte gemäß DIN EN 485-2 (Bleche/Bänder) und DIN EN 754-2 u. 755-2 (Profile). O / H 111 = weich, H xx = Kaltverfestigung, T x(x) = Aushärtungszustand, wobei x Platzhalter für Ziffern sind.

\*) Werkstoffzustand, für den das Maximum der Festigkeit für eine Legierung erreicht wird.

**Mechanische Eigenschaften europäisch genormter Legierungen nach DIN EN 1706**

**(Tafel 4.1)** Aluminium-Druckgusslegierungen, Werte für getrennt gegossene Probestäbe

Legierungsgruppe	CEN Bezeichnung	Kurzzeichen	Zugfestigkeit Rm N/mm <sup>2</sup> min.	0,2% Dehngrenze N/mm <sup>2</sup> min.	Dehnung A %	Brinellhärte HB	D = in Deutschland übliche Legierungen
Al Si10Mg	EN-AC 43400	Al Si10Mg(Fe)	240	140	1	70	D
Al Si	EN-AC 44300	Al Si12(Fe)	240	130	1	60	D
	EN-AC 44400	Al Si9	220	120	2	55	
Al Si9Cu	EN-AC 46000	Al Si9Cu3(Fe)	240	140	<1	80	D
	EN-AC 46100	Al Si11Cu2(Fe)	240	140	<1	80	
	EN-AC 46200	Al Si8Cu3	240	140	1	80	
	EN-AC 46500	Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	240	140	<1	80	
Al Si(Cu)	EN-AC 47100	Al Si12Cu1(Fe)	240	140	1	70	D
Al Mg	EN-AC 51200	Al Mg9	200	130	1	70	D

**(Tafel 4.2)** Aluminium-Sandguss, Werte für getrennt gegossene Probestäbe

Werkstoff- Nummer	Kurzzeichen	nicht wärmebehandelt				wärmebehandelt				
		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup> min.	0,2% Dehngrenze N/mm <sup>2</sup> min.	Deh- nung % min.	Brinell- härte HB min.	Wärme- behand- lungs- zustand	Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup> min.	0,2 % Dehngrenze N/mm <sup>2</sup> min.	Deh- nung % min.	Brinell- härte HB min.
EN AC-	EN AC-									
21000	Al Cu4MgTi					T4	300	200	5	90
21100	Al Cu4Ti					T6 T64	300 280	200 180	3 5	95 85
41000 x	Al Si2MgTi	140	70	3	50	T6	240	180	3	85
42000 x	Al Si7Mg	140	80	2	50	T6	220	180	1	75
42100	Al Si7Mg0,3					T6	230	190	2	75
42200 x	Al Si7Mg0,6					T6	250	210	1	85
43000	Al Si10Mg(a)	150	80	2	50	T6	220	180	1	75
43100 x	Al Si10Mg(b)	150	80	2	50	T6	220	180	1	75
43200	Al Si10Mg(Cu)	160	80	1	50	T6	220	180	1	75
43300	Al Si9Mg					T6	230	190	2	75
44000	Al Si11	150	70	6	45					
44100 x	Al Si12(b)	150	70	4	50					
44200	Al Si12(a)	150	70	5	50					
45000	Al Si6Cu4	150	90	1	60					
45200 x	Al Si5Cu3Mn	140	70	1	60	T6	230	200	<1	90
45300 x	Al Si5Cu1Mg					T4 T6	170 230	120 200	2 <1	80 100
46200	Al Si8Cu3	150	90	1	60					
46400 x	Al Si9Cu1Mg	135	90	1	60					
46600 x	Al Si7Cu2	150	90	1	60					
47000	Al Si12(Cu)	150	80	1	50					
51000 x	Al Mg3(b)	140	70	3	50					
51100	Al Mg3(a)	140	70	3	50					
51300	Al Mg5	160	90	3	55					
51400	Al Mg5(Si)	160	100	3	60					
71000 x	Al Zn5Mg					T1	190	120	4	60

x: In Deutschland nicht üblich, durch andere geeignete Legierungen ersetzbar.



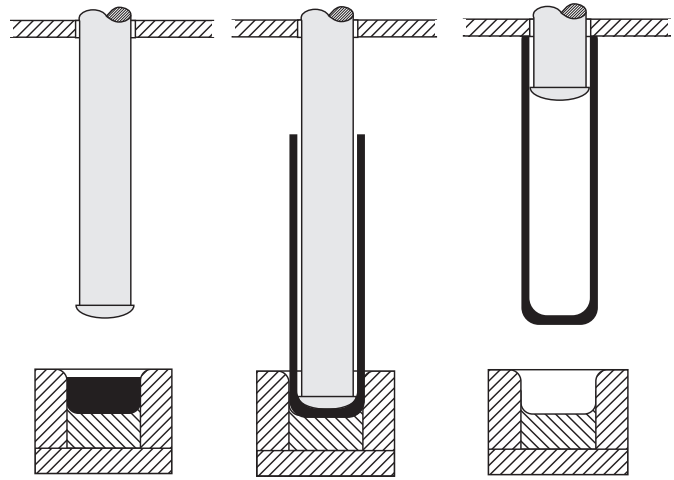
**[Tafel 4.3]** Aluminium-Kokillenguss, Werte für getrennt gegossene Probestäbe

Werkstoff- Nummer	Kurzzeichen	nicht wärmebehandelt				wärmebehandelt				
		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup> min.	0,2% Dehngrenze N/mm <sup>2</sup> min.	Deh- nung % min.	Brinell- härte HB min.	Wärme- behand- lungs- zustand	Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup> min.	0,2% Dehngrenze N/mm <sup>2</sup> min.	Deh- nung % min.	Brinell- härte HB min.
EN AC-	EN AC-									
21000	Al Cu4MgTi					T4	320	200	8	95
21100	Al Cu4Ti					T6 T64	330 280	220 180	7 8	95 90
41000 x	Al Si2MgTi	170	70	5	50	T6	260	180	5	85
42000 x	Al Si7Mg	170	90	2,5	55	T6 T64	260 240	220 200	1 2	90 80
42100 x	Al Si7Mg0,3					T6 T64	290 250	210 180	4 8	90 80
42200	Al Si7Mg0,6					T6 T64	320 290	240 210	3 6	100 90
43000	Al Si10Mg(a)	180	90	2,5	55	T6 T64	260 240	220 200	1 2	90 80
43100 x	Al Si10Mg(b)	180	90	2,5	55	T6 T64	260 240	220 200	1 2	90 80
43200	Al Si10Mg(Cu)	180	90	1	55	T6	240	200	1	80
43300	Al Si9Mg					T6 T64	290 250	210 180	4 6	90 80
44000	Al Si11	170	80	7	45					
44100 x	Al Si12(b)	170	80	5	55					
44200	Al Si12(a)	170	80	6	55					
45000	Al Si6Cu4	170	100	1	75					
45100 x	Al Si5Cu3Mg					T4 T6	270 320	180 280	2,5 <1	85 110
45200 x	Al Si5Cu3Mn	160	80	1	70	T6	280	230	<1	90
45300 x	Al Si5Cu1Mg					T4 T6	230 280	140 210	3 <1	85 110
45400 x	Al Si5Cu3					T4	230	110	6	75
46200	Al Si8Cu3	170	100	1	75					
46300 x	Al Si7Cu3Mg	180	100	1	80					
46400 x	Al Si9Cu1Mg	170	100	1	75	T6	275	235	1,5	105
46600 x	Al Si7Cu2	170	100	1	75					
47000	Al Si12(Cu)	170	90	2	55					
48000	Al Si12CuNiMg					T5 T6	200 280	185 240	<1 <1	90 100
51000 x	Al Mg3(b)	150	70	5	50					
51100	Al Mg3(a)	150	70	5	50					
51300	Al Mg5	180	100	4	60					
51400	Al Mg5(Si)	180	110	3	65					
71000 x	Al Zn5Mg					T1	210	130	4	65

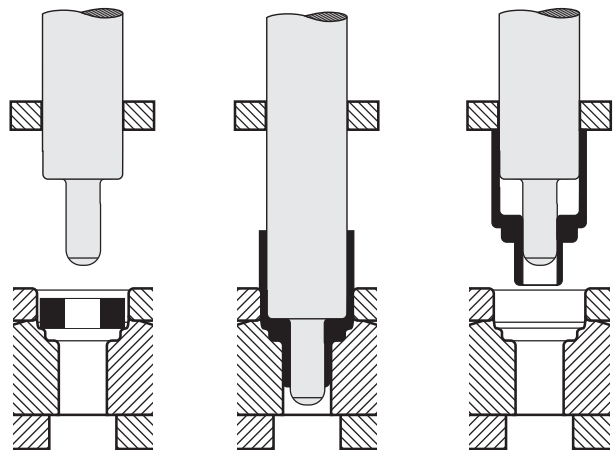
x: In Deutschland nicht üblich, durch andere geeignete Legierungen ersetzbar.

Fließpressverfahren (Bild 13)

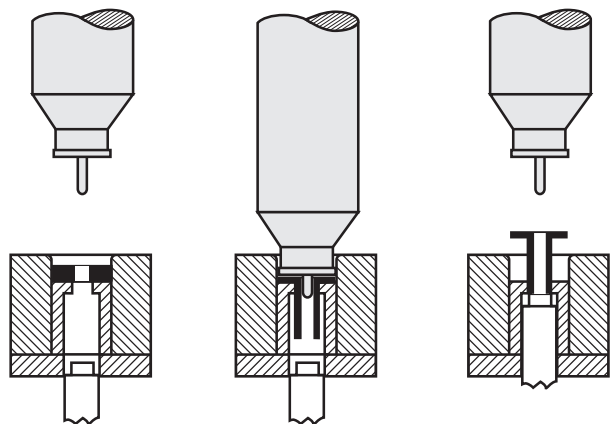
Fließpressen gegen die Stempelbewegung  
(Rückwärtsfließpressen)



Fließpressen mit der und gegen die Stempelbewegung  
(kombiniertes Fließpressen)



Fließpressen mit der Stempelbewegung  
(Vorwärtsfließpressen)



## 6. Formteile

Formteile aus Aluminium können nach allen in der Metallverarbeitung üblichen Urform- und Umformverfahren hergestellt werden:

### 6.1 Urformverfahren

Urformen ist Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff, z.B. im flüssigen, breiigen, pastenförmigen Zustand, durch Schaffen des Zusammenhaltes. Hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstoffes bestimmbar in Erscheinung.

#### 6.1.1 Gießen

Lässt man flüssiges Aluminium in einer Form mit den Konturen des gewünschten Bauteils erstarren, so heißt das Ergebnis „Gussstück“ oder „Formguss“. Gussstücke zeichnen sich durch eine hohe Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten und Größen aus, wobei das gewählte Gießverfahren eine Rolle spielt. Während das Gießen von Formaten mit deren einfachen Querschnitten nach dem Stranggießverfahren (Bild 5) bei allen Legierungen einwandfrei möglich ist, stellt der Formguss erheblich höhere Anforderungen an die Gießbarkeit. Für Gussstücke kommen daher nur solche Legierungen in Frage, die ausdrücklich als Gusslegierungen (siehe u. a. DIN EN 1706) bezeichnet sind. Gusslegierungen weisen gegenüber Knetlegierungen in der Regel einen deutlich höheren Gehalt an Legierungselementen auf. Hiermit trägt man den Gegebenheiten Rechnung, die aus den Erstarrungs- und Schrumpfungsvorgängen resultieren, denen das Metall beim Abkühlen in der Gießform unterliegt. Man unterscheidet in Anlehnung an das jeweilige Gießverfahren:

- Sandgussstücke: Gießform wird nach Holzmodell in Sand abgeformt. Höchstgewicht ist abhängig von den vorhandenen Einrichtungen, bisher ca. 4 000 kg.
- Kokillengussstücke: Gießform ist metallische Dauerform. Gewicht des Gussstückes bis ca. 100 kg.
- Druckgussstücke: Gießform ist metallische Dauerform, in die das flüssige Metall mit hoher Geschwindigkeit eingepresst wird. Gewicht des Gussstückes bis ca. 50 kg.
- Feingussstücke: Zur Formherstellung wird ein Wachmodell in spezielle keramische Formmassen eingepresst und das Wachs durch einen Brennvorgang wieder ausgeschmolzen. Feingussstücke weisen hohe Maßgenauigkeit auf. Gewicht bis ca. 25 kg.

#### 6.1.2 Sintern

Aluminium-Pulver oder -Pulvermischungen werden mit speziellen Bindemitteln kalt unter hohem Druck in eine Metallform gepresst (Vorpressteil oder Grünling), anschließend erfolgt Drucksintern bei erhöhten Temperaturen. Die Dichte beträgt etwa 98 % des vergleichbaren Knetwerkstoffes. Sinterformteile sind maßgenauer als

Gesenkschmiedestücke, ihre Eigenschaften entsprechen Knetlegierungen gleicher Zusammensetzung.

### 6.2 Umformen

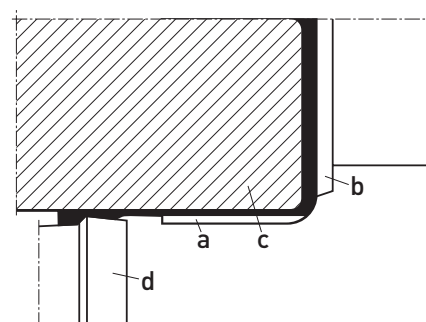
#### 6.2.1 Warmumformen

- Freiform-Schmiedestücke: Ausgangsform ist ein Stranggussblock oder Abschnitt eines Strangpressprofils.
- Gesenkschmiedestücke: Ausgangsform ist meist Abschnitt eines Strangpressprofils, bei großen Abmessungen auch Freiformschmiedestücke.

#### 6.2.2 Kaltumformen

- Kaltfließpressteile für Verpackung (Tuben, Röhrchen, Dosen, Aerosoldosen).
- Technische Fließpressteile bis ca. 120 mm Ø und 360 mm Höhe, Mindestwanddicke ca. 1 % des Durchmessers. Rechteckige Formen und solche mit Rippen und Verstärkungen sind möglich (Schema des Kaltfließpressens, Bild 13).
- Tiefgezogene oder hohlgeprägte Blechformteile, bei zylindrischen Teilen Verjüngungen des Zylindermantels durch Abstreckziehen möglich.
- Drückteile (auch ovale); bei zylindrischen und kegelförmigen Teilen Verjüngungen der Wanddicke durch Drückwalzen (Abstreckdrücken, Bild 14) möglich. Rotations-symmetrische Teile können ausgebaucht, eingezogen und mit Sicken und Bördeln versehen sein.
- Blechbiegeteile; hergestellt in Biegewerkzeugen oder auf Abkantmaschinen.
- Rohr- und Drahtbiegeteile.
- Ausgebauchte, gebördelte und gesickte Tiefziehteile oder Rohre.
- Rohrbögen.

Abstreckdrücken (Bild 14)



Streckdrückvorgang:

a) Vorform, b) Andrückstange, c) Streckfutter, d) Streckrollen

## 7. Spanende Bearbeitung

Das Spanen von Aluminium erfolgt bei erheblich höheren Schnittgeschwindigkeiten als beim Spanen von Stahl. Beim Hochgeschwindigkeitsfräsen werden bei geeigneter Spindellagerung Drehzahlen von 20 000 bis 35 000 U/min erzielt. Werkstoffe im kaltverfestigten oder ausgehärteten Zustand lassen sich besser spanen als solche im weichen Zustand. Automatenlegierungen (Bohr- und Drehqualität) mit spanbrechenden Legierungszusätzen ermöglichen störungsfreie Spanabfuhr auch bei hohen Spanleistungen. Allgemein eignen sich Gusslegierungen besser zum Spanen als Knetlegierungen. Bei Gusslegierungen mit Si-Gehalten über 7 % sind wegen der harten Siliziumkristalle Hartmetallwerkzeuge zu empfehlen.

## 8. Trennverfahren

Das Trennen von Aluminiumwerkstoffen mit Hand-, Band- und Kreissägen erfolgt mit Sägeblättern, die eine größere Zahnteilung und einen gut ausgerundeten, glatten Zahngrund aufweisen.

Beim Zerteilen, beispielsweise beim Scherschneiden, müssen die Schneidwerkzeuge (Scheren, Schnittwerkzeuge) kleine Schneidspalte aufweisen. Polieren und Schmieren (z.B. auch durch Festkörper-Schmiermittel) der Mantelflächen von Schnittstempeln hilft Metallabrieb zu vermeiden, der bei weichen Werkstoffen ein Verschweißen mit der Trennfläche und damit zu unsauberen Schnittflächen - bei dünnen Stempeln sogar zu Stempelabriss - führen kann.

Mit Ausnahme des autogenen Brennschneidens können alle bekannten thermischen Trennverfahren angewendet werden.

## 9. Fügeverfahren

### 9.1 Mechanische Fügeverfahren

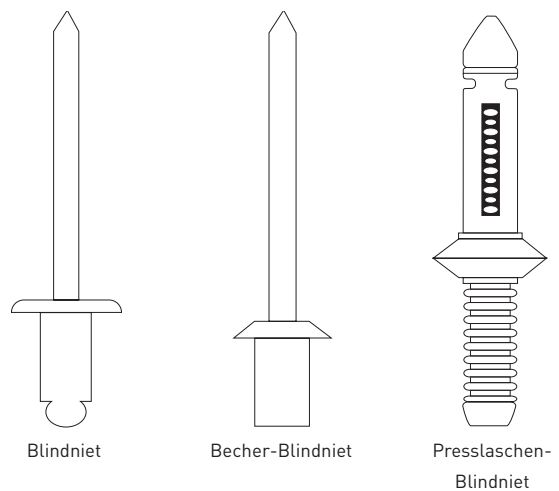
Die bekannten mechanischen Fügeverfahren wie Nieten, Schrauben und Umformen lassen sich auch bei Aluminium-Konstruktionen anwenden. Darüber hinaus ist es durch die freie Querschnittgestaltung beim Strangpressen möglich, Aluminiumteile durch Verschnappen,

Stecken, Einhängen etc. zu verbinden. Beim mechanischen Fügen verschiedener Werkstoffe ist unbedingt auf ihre Verträglichkeit zu achten. Eine Orientierung gibt die nachstehende Tafel 5, in der das Risiko für Aluminiumteile beim Zusammenbau mit anderen Metallen in verschiedenen Atmosphären dargestellt ist. Auch beim Kontakt mit nichtmetallischen Fügepartnern, wie z.B. Holz oder Beton, ist bei nicht bekannten oder für Aluminium gefährlichen Stoffanteilen oder Ingredienzien für eine Trennschicht zu sorgen.

### 9.1.1 Nieten

Das Nieten führt zu einer Verbindung, die ohne Zerstörung nicht lösbar ist. Die Hauptbelastung sollte quer zur Nietachse auf Abscheren oder Lochleibung erfolgen, deshalb sind zweischnittige Verbindungen von Vorteil. Gängige Nietwerkstoffe sind Aluminium, Stahl und Edelstahl. Die Nietverbindung sollte mindestens die gleiche Festigkeit und den gleichen Korrosionswiderstand haben wie die Fügeteile. Das Nieten mit Vollnieten, die aus einem Teil bestehen und eine Zugängigkeit der Fugestelle von beiden Seiten erfordern, wird immer mehr durch einseitig setzbare Verbindungen mittels Blindniete, die aus Dorn, Setzkopf und Niethülse bestehen, verdrängt. Drei prinzipielle Blindniettypen sind in Bild 15 dargestellt. Beim Verbinden mit Blindnieten ist genau auf die Einhaltung von Klemmlänge und Bohrl Lochdurchmesser zu achten (Herstellerangaben).

Blindniettypen (Bild 15)



Tafel 5: Gefahr der Kontaktkorrosion für Aluminiumteile beim Zusammenbau mit Zubehörteilen aus anderen Elektrolyt-Metallen

Gefahr	Atmosphäre Land	Stadt/ Industrie	Seenähe
keine	Blei, Zink, Edelstahl	Blei, Zink, Edelstahl	Zink Edelstahl, Blei
mittel bis groß	ungeschützter Stahl Kupfer	ungeschützter Stahl Kupfer	ungeschützter Stahl Kupfer

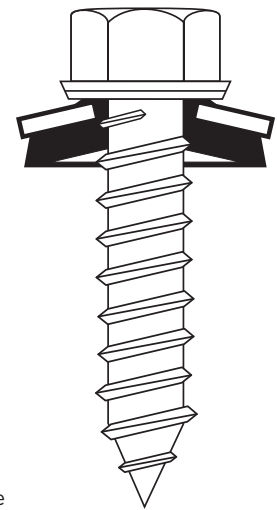
- Spezialformen bilden die Schließringbolzen, die beidseitig zugänglich sein müssen und bei denen der Schließkopf durch einen Schließring (Anpressring) ersetzt ist, sowie die Nietmuttern, die einseitig setzbar sind und an deren Durchsteckmuttern weitere Füge- teile anschraubbar sind.
- Bei Stanznieten entfällt das Vorbohren.

### 9.1.2 Schrauben

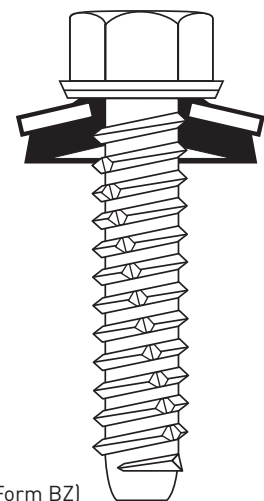
Schraubverbindungen sind prinzipiell lösbare Verbindungen, die entweder von beiden Seiten (Schrauben mit Muttern) oder einseitig setzbar sind (Gewindeform- oder Gewindefurchende Schrauben, Gewindeeinsätze). Für die Verwendung letzterer Schraubentypen eignet sich Aluminium besonders deshalb, weil Schraubkanäle (Bild 16) oder ähnliche Vorrichtungen bereits beim Strangpressen geformt werden können. Allerdings dürfen diese Schrauben in dünnen Unterkonstruktionen nicht mehrmals in das gleiche Gewinde geschraubt werden.

Je nach Anwendungsbereich, Art der mechanischen Beanspruchung und Korrosionsschutzanforderung kommen beim Fügen von Aluminiumbauteilen oberflächengeschützte (im Wesentlichen verzinkte) Stahlschrauben, Schrauben aus nichtrostendem austenitischem CrNi-Stahl und Aluminiumschrauben (im Wesentlichen Holzschrauben) zum Einsatz. Es ist zu beachten, dass bei einer auf Korrosion beanspruchten Aluminiumkonstruktion die Schraubverbindung in dieser Hinsicht keine Schwachstelle bildet. Stichworte in diesem Zusammenhang sind: Abdichten von Spalten, Isolierung von Fügepartnern aus unterschiedlichen Metallen, mindestens gleicher Korrosionswiderstand der Schrauben und der Füge- teile. Einige Schraubentypen, die sich auch für die Verbindung dünner Bleche eignen, sind in Bild 17 dargestellt. Bezüglich Bohrlochdurchmesser und Füge- teildicken sind die Angaben der Hersteller zu beachten.

### Arten von gewindeformenden Schrauben (Bild 17)

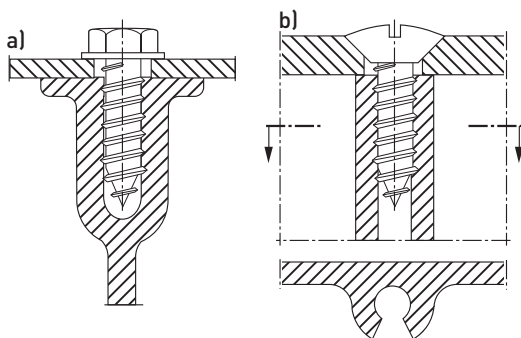


Gewindefurchende Schraube  
A-Gewinde, ähnlich Holzschraubengewinde

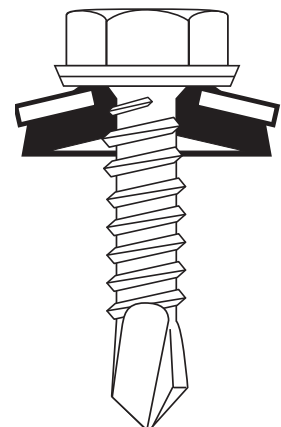


Gewindefurchende Schraube  
(B-Gewinde nach DIN 7970, Form BZ)

### Gewindeformende Schrauben in Schraubkanälen von Aluminiumprofilen (Bild 16)



a) senkrecht zur Pressrichtung des Profils  
b) in Pressrichtung



Bohrschraube

## ■ Der Werkstoff Aluminium

Gewindeinsätze in Form von gewickeltem Federdraht oder Buchsen eignen sich für Reparaturen oder zum häufigen Lösen und Anziehen der Schrauben. Sie verbessern die Wirksamkeit der Verbindung hinsichtlich übertragbarer Beanspruchungen.

### 9.1.3 Schnappverbindungen

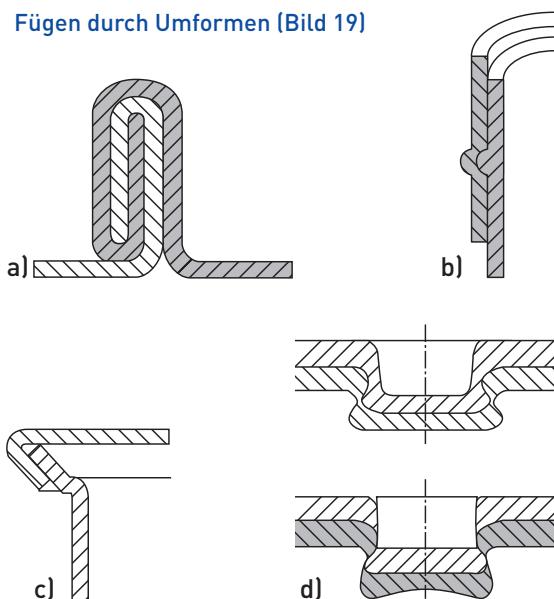
Bei dieser für Aluminium-Strangpressprofile typischen Art der Verbindung wird die Federwirkung des Werkstoffs im elastischen Bereich ausgenutzt. Meistens sind die Verbindungen wieder lösbar. Je nach Umgebung ist auf Spalt- und Kontaktkorrosion zu achten. Einige Arten von Schnappverbindungen sind in Bild 18 anderen profiltypischen Verbindungsmöglichkeiten gegenübergestellt.

### 9.1.4 Verbinden durch Umformen

Jedes Umformverfahren lässt sich auch zum Herstellen einer Verbindung einsetzen, wobei im Wesentlichen die handwerklichen Verfahren wie Falzen, Bördeln und Sicken von den industriell angewendeten Verfahren wie Spreizen, Aufweiten, Einrollen, Umschließen und Durchsetzfügen zu unterscheiden sind. Einige Techniken eignen sich besonders für Bleche (z.B. Falzen und Durchsetzfügen auch Clinchen); die restlichen besser für Rohre und Profile.

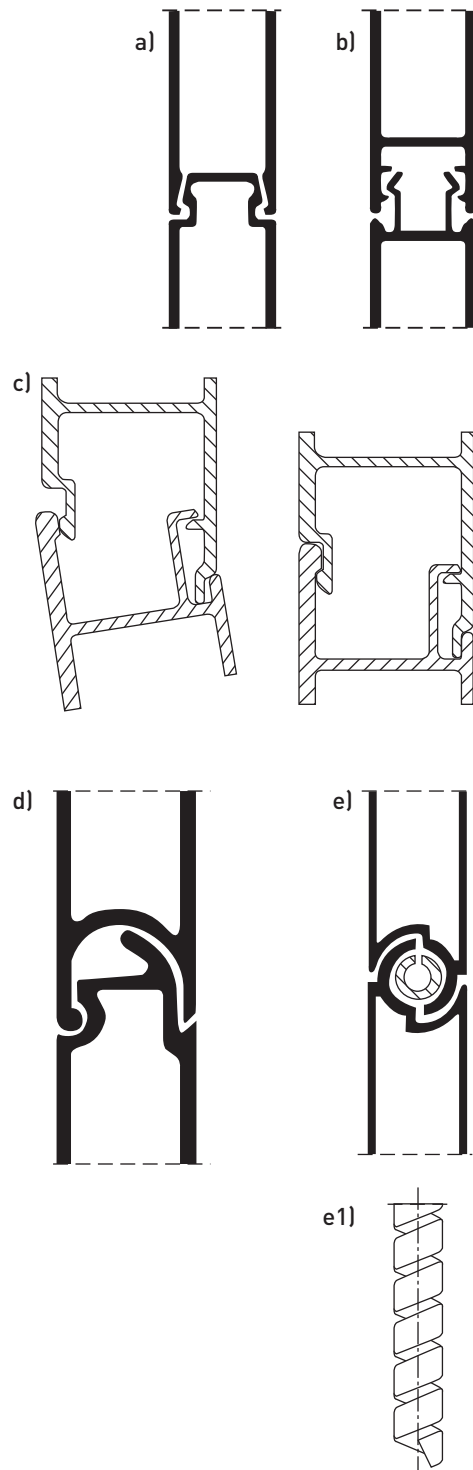
Diese Verbindungen sind ohne Zerstörung nicht lösbar. Durch die Notwendigkeit der plastischen Verformung sind besondere Werkstoffeigenschaften (keine harten oder ausgehärteten Zustände) erforderlich; beim Zusammenbau mit Fremdstoffen ist auf die Gefahr von Spalt- oder Kontaktkorrosion zu achten. Bild 19 zeigt typische Verbindungen durch Umformen an dünnwandigen Bauteilen.

### Fügen durch Umformen (Bild 19)



a) Falzen b) Sicken c) Bördeln d) Durchsetzfügen

### Schnappverbindungen und ähnliche Verbindungen zwischen Aluminiumprofilen (Bild 18)



- a) bis c): Schnappverbindungen ohne bzw. mit vorangehendem Eindrehvorgang. Die Verbindung ist beidseitig belastbar und nicht bzw. nur schwer wieder lösbar.
- d) Einhängerverbindung, belastbar nur auf der dem Drehpunkt abgewandten Seite.
- e) Steckverbindung mit zusätzlichem, äußerlich nicht sichtbarem Verriegelungselement (Wendelfeder e1). Die Verbindung ist zweiseitig gleichermaßen belastbar.

## 9.2 Schweißen

Schweißen fällt, wie z.B. auch das Löten, in die Kategorie „Fügen durch Stoffvereinigen“. Wichtige Voraussetzung für eine einwandfreie Schweißverbindung zwischen Aluminiumbauteilen ist die Beseitigung der Oxidschicht, die sich unter Einfluss des Luftsauerstoffes spontan auf Aluminiumoberflächen bildet. Dies kann unterschiedlich erfolgen: auf chemischem Wege durch Flussmittel, durch einen Lichtbogeneffekt beim Schweißen unter Schutzgas, durch Pressschweißen bei Oberflächenvergrößerung unter Luftabschluss (z.B. in Überlappungen) oder durch Herausquetschen der ursprünglichen Oberflächenzone bei Stumpfschweißungen.

### 9.2.1 Schmelzschweißen

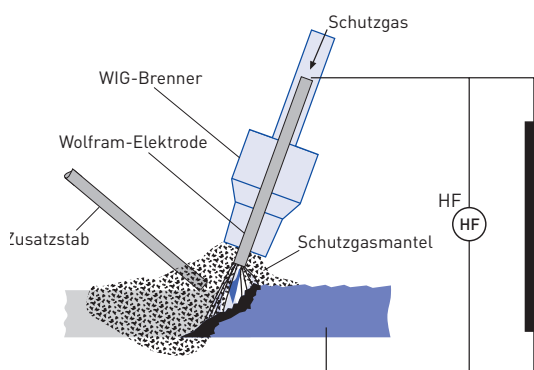
Beim Schmelzschweißen werden die Fügeile unter Zusatz eines Schmelzwerkstoffes miteinander verbunden. Vorwiegend angewendet werden die Lichtbogen-Schutzgas-Schweißverfahren. Nicht alle Aluminiumlegierungen sind zum Schmelzschweißen geeignet. Dies gilt zum Beispiel für Knetlegierungen des Typs AlCuMg und AlZnMgCu. Druckgussstücke nach dem herkömmlichen Druckgießverfahren eignen sich wegen der gießverfahrensbedingten feinporigen Gaseinschlüsse grundsätzlich nicht für das Schmelzschweißen. Bei für das Schmelzschweißen geeigneten Aluminiumlegierungen ist auf den richtigen Schweißzusatz (Schweißzusatzwerkstoff) zu achten. Schweißzusätze sind nach DIN 1732 genormt.

Die grundlegenden Arten beim Schmelzschweißen sind:

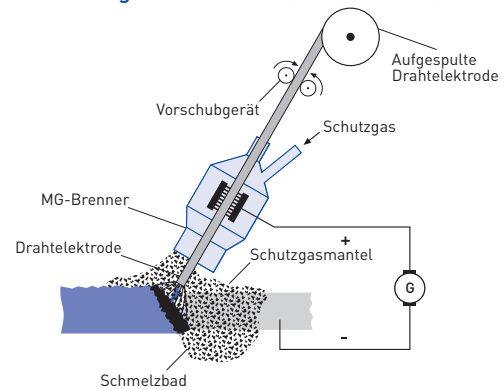
#### Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG):

Lichtbogen brennt zwischen Werkstück und nicht abschmelzender Wolframelektrode unter Schutzgasmantel aus inertem Gas (meist Argon). Schweißstrom ist Wechselstrom, der Zusatzwerkstoff wird stromlos zugeführt. Geeignet für Dickenbereich 1 bis 6 mm, beidseitig gleichzeitiges Schweißen bis 12 mm (Bild 20).

#### Wolfram-Inert-Gasschweißen (WIG) (Bild 20)



#### Metall-Inertgas-Schweißen (MIG) (Bild 21)



#### Metall-Inertgas-Schweißen (MIG):

Lichtbogen brennt zwischen Werkstück und abschmelzender Drahtelektrode unter Schutzgasmantel aus inertem Gas (Argon, Helium oder Argon-Helium-Gemisch), Schweißstrom ist Gleichstrom, Werkstück dabei am Minuspol (als Kathode). Geeignet für Dicken ab 4 mm, beim MIG-Verfahren mit Impulsüberlagerung ab 2 mm, Bild 21.

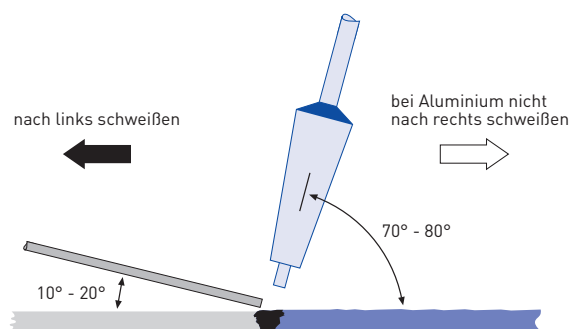
#### Sonderverfahren des Schmelzschweißens:

**Gasschmelzschweißen (Bild 22)** mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme unter Verwendung von Flussmitteln, deren Rückstände restlos entfernt werden müssen. Geeignet für Reinaluminium und nicht aushärtbare Legierungen (bis 3 % Mg) im Dickenbereich 1 bis 6 mm. Das Verfahren ist heute kaum mehr von Bedeutung und wird von keiner anerkannten Zulassungsstelle (z.B. im bauaufsichtlichen Bereich) und Klassifikationsgesellschaft (z.B. Germanischer Lloyd) zugelassen.

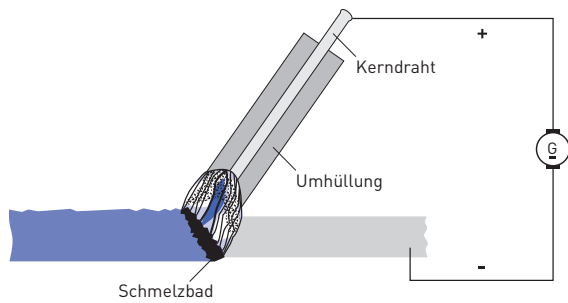
**Metall-Lichtbogenschweißen (Bild 23)** mit flussmittelumantelten Stabelektroden. Geschweißt wird mit Gleichstrom, Werkstück am Minuspol. Anwendung erfolgt praktisch nur für die Reparatur von Aluminium-Gussstücken.

**Elektronenstrahlschweißen** von Aluminium ist nur im Vakuum möglich; die Anwendung ist auf Sonderfälle beschränkt.

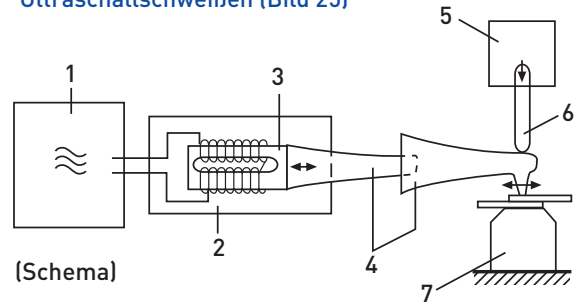
#### Gasschmelzschweißen (Bild 22)



**Metall-Lichtbogenschweißen (Bild 23)**



**Ultraschallschweißen (Bild 25)**



(Schema)

- 1) Hochfrequenzgenerator,
- 2) Schallkopf, 3) Schwinger, 4) Rüssel,
- 5) Druckluftzylinder, 6) Druckstempel, 7) Amboss

**Laserstrahlschweißen.**

Seine verfahrensspezifischen Vorteile sind unter anderem: geringe Wärmeeinbringung, geringer Bauteilverzug, hohe Schweißgeschwindigkeit.

**Reibrührschweißen.**

Beim Reibrührschweißen (Friction Stir Welding FSW) werden durch einen rotierenden Stift zwei Platten durch mechanisches „Rühren“ verbunden. Dieser Prozess läuft bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes der Platten ab.

**9.2.2 Pressschweißen**

Beim Pressschweißen werden Füge­teile ohne Schweiß­zusatz miteinander verbunden.

**Kaltpressschweißen (KPS)** erfolgt unter hohem Druck bei Vergrößerung der Berührung­fläche und wird für Stumpf- und Über­lapp­verbindungen verwendet. Ein unter „KPS“ patentiertes Verfahren ermöglicht es, Aluminium-Strang­press­profile durch Kalt­press­schweißen an ihren Längs­kanten zu verbinden. KPS basiert auf dem Nut-Feder-Prinzip und ist daher nur am Strang­press­profil wirtschaftlich durchführbar. Der Kalt­press­schweiß­effekt stellt sich an den feinen Rippen der Oberfläche der „Feder“ ein, die mit Übermaß in die Nut gedrückt wird (Bild 24).

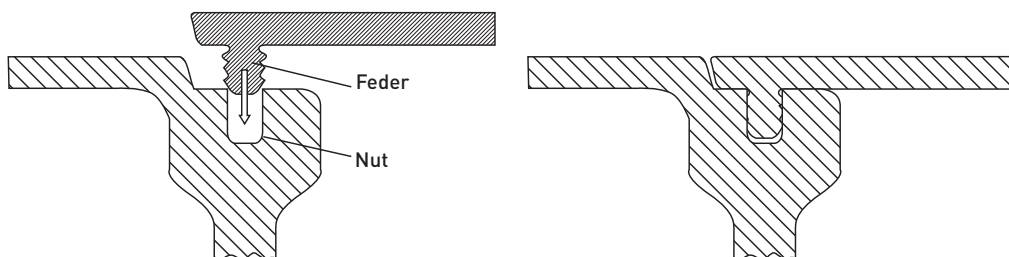
**Ultraschallschweißen** (Bild 25) ist eine Variante des Kalt­press­schweißens. Dabei erfolgt zusätz­lich zum (erheblich geringeren) An­press­druck eine oszillierende Relativ-Bewegung der Füge­teile, die durch in mechanische Bewegung umgewandelte Hoch­fre­quenz­schwin­gungen erzeugt wird. Durch Ultraschallschweißen kann Aluminium auch mit anderen Metallen und Nichtmetallen verbunden werden.

**Warm­press­schweißen** hat nur als Reibschweißen eine gewisse Bedeutung; außerdem beim Walz­plattieren in der Halb­zeug­fertigung. Wider­stands­-Pressschweißen (Bild 26) erfolgt durch örtliches An­schmelzen der Teile über Wider­standserwärmung mit direkt anschließendem Stauchen.

**Abbrenn-Stumpfschweißen** (Bild 27). Die zu verbindenden Querschnitte sollen gleiche Form und gleiche Querschnittsfläche haben. Nach dem Abbrennvorgang (Erwärmen der Stoß­stelle und Zerstörung der Oxidhaut im Lichtbogen) werden die Füge­teile aneinandergestaucht. Der Festigkeitsabfall in der Verbindungszone ist gering.

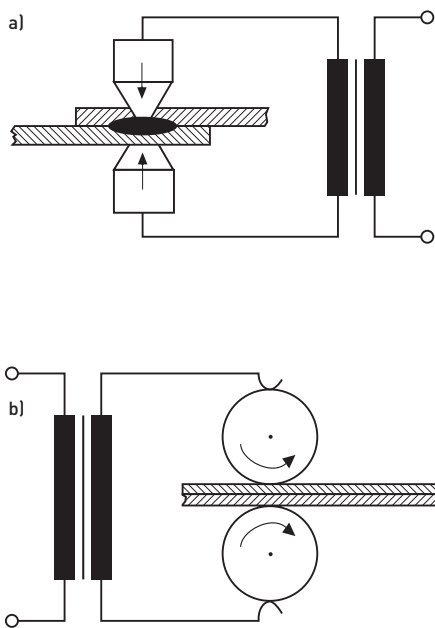
**Hoch­fre­quenz­schweißen** dient der kontinuierlichen Herstellung längsnaht­geschweißter dünnwandiger Rohre aus Aluminiumband. Das im Rollensatz zum Rohr­querschnitt geformte Band wird an den Füge­kanten durch Hoch­fre­quenz­ströme bis zum An­schmelzen er­hitzt. Durch Druck­rollen werden die erhitzten Kanten miteinander ver­presst.

**Grundform des KPS-Verfahrens (Bild 24)**

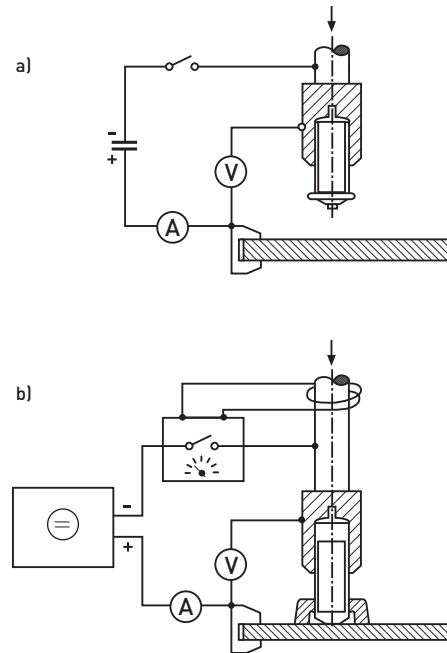




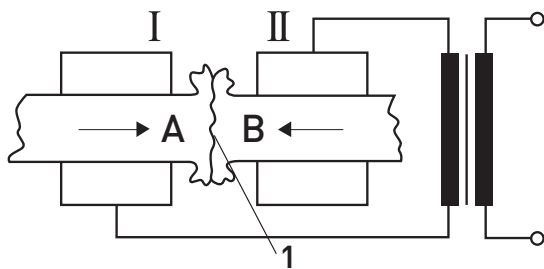
### Widerstands-Pressschweißen (Bild 26)



### Bolzenschweißen (Bild 28)



### Abbrennstumpfschweißen (Bild 27)



I und II Klemmbackenpaare,  
A und B Schweißteile, 1 Bindezone

### Lichtbogen-Bolzenschweißen

Bolzenschweißen dient der Verbindung von (Gewinde-) Bolzen mit ebenen Metallflächen. Man unterscheidet zwei Verfahren: Bolzenschweißen mit Spitzenzündung (Bild 28a), und Bolzenschweißen mit Hubzündung (Bild 28b). Bolzenschweißen mit Spitzenzündung ist ein wichtiges Verfahren für die Befestigung dünner, einseitig anodisierter (eloxierter) oder beschichteter Bleche, da nur sehr begrenzte Erwärmung auftritt. Anwendung: Fassadenbau, Fahrzeugbau, Weißwarenindustrie.

### 9.3 Löten

Bei Aluminiumwerkstoffen spricht man von Hartlöten, wenn die Schmelztemperatur des Lotes über 450 °C (bei Verwendung des Lotes L-AlSi12 ca. 600 °C) liegt, unterhalb 450 °C vom Weichlöten.

### 9.4 Kleben

Aluminiumwerkstoffe eignen sich gut für die Anwendung der Metallklebetechnik. Wichtigster konstruktiver Grundsatz ist, dass Klebverbindungen nur auf Schub beansprucht werden sollten. Zu vermeiden ist schälende oder Zugbeanspruchung. Klebverbindungen sind daher meist Überlapp- oder Steckverbindungen (Überlappungslänge ca. das Zehnfache der Materialdicke). Je nach Anspruch an die Festigkeit der Verbindung ist die Rauigkeit der Oberfläche und ihre Klebtauglichkeit mehr oder weniger zu vergrößern: Aufrauen, gründliches Entfetten, Beizen oder Anodisieren ohne Verdichten. Der Aufwand für eine ordnungsgemäß ausgeführte Klebverbindung ist nicht geringer als für andere Fügeverfahren. Die Vorteile des Klebens sind neben günstiger Spannungsverteilung, dass der Fügeartikelwerkstoff nicht oder nur geringfügig durch Wärme verändert wird und dass anodisierte Teile ohne Beeinträchtigung des Aussehens oder der Schutzwirkung verklebt werden können.

## 10. Oberflächenbehandlung, Oberflächenschutz

Aluminium verfügt durch die Oxidschichtbildung über einen im chemisch neutralen Bereich hervorragenden Selbstschutz, der für eine Vielzahl von Anwendungen ausreichend ist. Zusätzliche Maßnahmen sind jedoch notwendig, um die vielfältigen Anforderungen zu erfüllen, die in der Praxis an Aluminiumoberflächen gestellt werden. Es sind dies Forderungen wie: dekorativ (metallisch, farbig), korrosionsbeständig, verschleißfest. Oberflächen, die diesen Eigenschaften auch in verschiedenen Kombinationen gerecht werden, lassen sich durch eine Reihe von Oberflächenbehandlungsverfahren erzeugen. Allen Verfahren der Erzeugung von Oberflächenschichten, dem Beschichten von Aluminium oder dem Aufbringen von Überzügen aus einem anderen Metall ist gemeinsam, dass die natürliche Oxidschicht die Behandlung stört. Durch Entfetten und Beizen erhält man die erforderliche metallisch blanke Aluminiumoberfläche mit gleichmäßiger, dünner Oxidschicht. Diese sorgfältig durchgeführte Oberflächenvorbehandlung ist eine entscheidende Voraussetzung für die Herstellung einwandfreier organischer oder anorganischer Schichten.

### 10.1 Mechanische Oberflächenbehandlung

Die mechanische Oberflächenbehandlung durch Schleifen, Bürsten und Polieren gestattet es, Aluminiumoberflächen nicht nur unterschiedlicher Rauigkeit, sondern auch mit unterschiedlich dekorativem Aussehen herzustellen. Spezielle Oberflächeneffekte sind möglich. Gussstücke erhalten eine saubere, einheitliche Oberfläche durch Strahlen. Die Herstellung definierter Metalloberflächen durch mechanische Oberflächenbehandlung ist für viele Verfahren Basis einer weiteren Oberflächenbehandlung.

### 10.2 Chemische Oberflächenbehandlung

Ölige oder gefettete Metalloberflächen müssen vor dem Beizen entfettet werden, damit in der Folgebehandlung ein gleichmäßiger Beizangriff stattfinden kann. Die Entfettung erfolgt ohne wesentlichen Materialabtrag über organische Lösungsmittel, in alkalischen oder in sauren Lösungen oder - wenn eine bestimmte Mattierung der Oberfläche gewünscht wird - in Spezialbeizen. Chemisches Glänzen ist bei Glänzwerkstoffen (Aluminium mit 99,9 % Reinheit, Aluminiumlegierungen auf Basis Al 99,85) möglich. Der durch chemische Oberflächeneinebnung in heißen Glanzlösungen erzielbare Glanzeffekt steigt mit dem Reinheitsgrad des Werkstoffes. Meist ist vorhergehendes mechanisches Polieren erforderlich. Geglänzt werden kann auch auf elektrolytischem Wege. Die geglänzte Oberfläche ist sehr empfindlich, so dass zur Erhaltung des Glanzes ein anschließendes Anodisieren üblich ist. Durch Tiefätzen werden erhabene oder vertiefte Schriftzüge, Linien, Flächen und Symbole durch örtliches chemisches Abtragen von Aluminium gebildet.

Teile mit filigranen Formen können aus dünnen Blechen herausgeätzt werden (Konturätzen). Die Herstellung von Formteilen mit großen, flächigen Vertiefungen parallel zur Blechoberfläche erfolgt durch chemisches Fräsen (Flugzeugbau).

### 10.3 Chemische Oxidation

Durch das Chromatieren nach DIN 50939 bzw. EN 12487 wird die gebeizte Aluminiumoberfläche chemisch oxidiert. Es bilden sich anorganische Schichten, die verfahrensbedingt aus Oxidhydraten oder Phosphaten des Aluminiums und des Chroms bestehen und gelb beziehungsweise grün gefärbt sind, aber auch transparent sein können. Die etwa 1 bis 3  $\mu\text{m}$  dicken Schichten bieten einen temporären Korrosionsschutz und dienen als Haftgrund für organische Beschichtungen.

Das Phosphatieren ergibt grau gefärbte Schichten. Diese Schichten können auch angewendet werden, um beim Umformen die Einlauf- und Gleiteigenschaften zu verbessern.

### 10.4 Anodische Oxidation

Ein durch mechanische oder chemische Oberflächenbehandlung erzielttes dekoratives Aussehen kann durch anodische Oxidation dauerhaft konserviert werden. Die Verfahren der anodischen Oxidation gestatten es, in geeigneten Elektrolyten Oxidschichten mit einer im Vergleich zur natürlichen Oxidschicht 200- bis 2000-fachen Schichtdicke herzustellen. Diese anodisch erzeugten Oxidschichten sind mit dem Aluminium fest verbunden und geben die Oberflächenstruktur der ursprünglichen Metalloberfläche unverändert wieder. Verfahrens- und legierungsabhängig können durchsichtige oder auch milchig-opake Oxidschichten erzeugt werden, die hart und abriebfest sind und eine gute elektrische Isolierfähigkeit besitzen. Durch einen anschließenden Verdichtungsprozess in entmineralisiertem Wasser bei  $> 96^\circ\text{C}$  erhalten diese Schichten eine hohe Korrosionsbeständigkeit. Eine weitere bedeutende Schichteigenschaft ist ihre Färbbarkeit. Die heute überwiegend im Gleichstrom-Schwefelsäure(GS-) oder im Gleichstrom-Schwefelsäure-Oxalsäure-(GSX-)Verfahren anodisch erzeugten Oxidschichten werden mit organischen beziehungsweise anorganischen Farbstoffen (Tauchfärbung) oder elektrolytisch in Metallsalzlösung (elektrolytische Färbung) gefärbt. Oxidschichten mit einer werkstoffabhängigen Eigenfärbung erhält man durch Farbanodisation. Eine Erweiterung der Farbpalette bieten kombinierte Färbverfahren. Anforderungen, die an anodisch oxidiertes Halbzeug mit Schichtdicken  $> 10\mu\text{m}$  gestellt werden, enthält DIN 17611. Bei transparenten Oxidschichten auf polierten oder geglänzten Oberflächen nimmt der Anteil an gerichteter Reflexion mit zunehmender Schichtdicke ab. Oxidschichten mit einer Dicke von über 30  $\mu\text{m}$  werden durch Hartanodisation erzeugt (vgl. 10.6).

### 10.5 Beschichtete Oberflächen

Die Beschichtung von Aluminium erfolgt unter dekorativen und korrosionstechnischen Aspekten. Beschichtungsstoffe bieten eine breite Farbpalette für die Oberflächengestaltung. Sie übernehmen gleichzeitig eine korrosionsschützende Funktion, da sie stärkeren chemischen Korrosionsbeanspruchungen widerstehen. Die an die Beschichtung gestellten Anforderungen bestimmen die Wahl des Beschichtungssystems. Vor der Beschichtung muss eine sorgfältige Oberflächenvorbereitung durch Chromatieren gemäß DIN 50939 bzw. EN 12487 vorgenommen oder eine Grundierung mit aktiven Korrosionsschutzpigmenten aufgebracht werden. Dadurch wird der notwendige Haftgrund geschaffen, der gleichzeitig auch eine korrosionsschützende Wirkung hat. Da Beschichtungsstoffe nicht Wasserdampf-diffusionsdicht sind, kommt es ohne die haftvermittelnde und korrosionsinhibierende Zwischenschicht zu einer Reaktion Wasserdampf/Aluminium mit dem Ergebnis eines Abhebens der Beschichtung (Blasenbildung).

### 10.6 Verschleißfeste Oberflächenschichten auf Aluminium

An verschleißfeste Oberflächenschichten werden besondere Anforderungen hinsichtlich Schichtdicke, Härte und Verschleißfestigkeit gestellt. Das Hartanodisieren kann bei einer Vielzahl von Knet- und Gusslegierungen angewendet werden. Die erzeugten Oxidschichten von 30 µm bis zu 150 µm Dicke besitzen eine über den Schichtquerschnitt gleichmäßig hohe Härte und Abriebfestigkeit. Je nach Schichtdicke und Werkstoff ergibt sich eine graubraune bis schwarze Färbung. Sind Maßtoleranzen einzuhalten, können die Hartoxidschichten auf Maß geschliffen oder geläpft werden.

### 10.7 Metallüberzüge

Für technische und dekorative Zwecke werden auf Aluminium andere Metalle galvanisch abgeschieden, wie vorzugsweise Kupfer, Nickel und Chrom oder auch Edelmetalle. Voraussetzung für festhaftende Metallüberzüge ist die Aluminiumoberflächenvorbereitung in einer Zinkat- oder Stannatbeize. Die erzielbaren Eigenschaften des Metallüberzuges ergeben sich metallspezifisch. Besonders hohe Verschleißfestigkeiten lassen sich durch die Abscheidung von Dispersionsschichten erzielen. Diese enthalten Hartstoffe wie Metallcarbide, Oxide und Diamant, die im Elektrolyten im Schwebezustand gehalten und bei der Metallabscheidung mit in die Schicht eingebaut werden. Verschleißfeste Oberflächenschutzschichten für hochbeanspruchte Bauteile werden mit thermischen Spritzverfahren erzeugt.

Als Beschichtungsmaterial dienen metallische und nicht-metallische Hartstoffe wie Metalllegierungen, -carbide, -silicide und -oxide. Je nach Verfahren wird das Spritzpulver mit unterschiedlichen Temperaturen aufgeschmolzen:

Flammspritzen (1 750 bis 3 100 °C), Flammschockspritzen (ca. 3 000 °C), Plasmaspritzen (ca. 25 000 °C).

Die erzielbaren Schichteigenschaften müssen im Einzelfall geprüft werden.

## 11. Anwendung von Aluminium

Aluminium ist ein Gebrauchsmetall, das in viele Bereiche des täglichen Lebens Eingang gefunden hat. Die wichtigsten Anwendungen sind in Bild 29 dargestellt. Die nachfolgende stichwortartige Übersicht über einige gängige Produkte und Systeme erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

#### Transport und Verkehr:

Luft- und Raumfahrzeuge, Schienen- und Straßenfahrzeuge, Kraftfahrzeug-Kennzeichen, Kühler, Räder, Spaceframe (Audi A2, A8), Wasserfahrzeuge, Container, Kleinbehälter, Kühlbehälter, Transporthilfen, Verkehrsschilder, mechanische Aufstiegshilfen (Bergbahnen).

#### Bauwesen:

Tragwerke für Hallen und Zelte, Gerüste, Krane, Brücken, Maste, Fassaden, Dächer, Decken, Fenster, Türen, Baubeschläge, Vitrinen, Beleuchtungskörper, Reflektoren, Schilder, Heizkörper, Verbundrohre.

#### Maschinenbau und Feinmechanik:

Zylinderblöcke und -köpfe, Kolben, Lager, Pleuel, Riemenscheiben, Handräder, Führungsbahnen, Maschinentische, innerbetriebliche Fördersysteme, optische Geräte, Pneumatikzylinder, Messgeräte, Büromaschinen, Offset-Druckplatten.

#### Elektrotechnik:

Freileitungen und Zubehör, Leiter und Mäntel von Kabeln, Stromschienen, Kurzschlussläufer-Käfige, Wicklungen, Kühlrippen, Bonddrähte, Antennen, Kondensatoren, Gehäuse.

#### Chemischer Apparatebau und Nahrungsmittelindustrie:

Lager- und Transportbehälter, Wärmeaustauscher, Armaturen, Wärmetauscher, Klimaanlage, Pumpen, Arbeitstische.

**Küche, Haushalt und Metallwaren:** Küchengeschirr und Küchenmaschinen, Haushaltgeräte, Bestecke, Campingartikel, Leitern, Kletterhaken und Karabiner.

#### Verpackung:

Folie, Kapseln, Tuben, Dosen, Röhrchen, Flaschen, Behälter, Fässer, Verschlüsse, Verbunde (Tetra Pack).

#### Kunstgewerbe:

Schmuck, Kunstguss, Plaketten, Münzen.

#### Aluminium-Pulver:

Als Pigment für Farben und Kunststoffe; für Aluminothermie und Sinterformteile.

#### Aluminiumgrieß:

Füllstoff für Kunststoffe, Katalysator für chemische Industrie; Sondererzeugnisse als Strahlmittel.

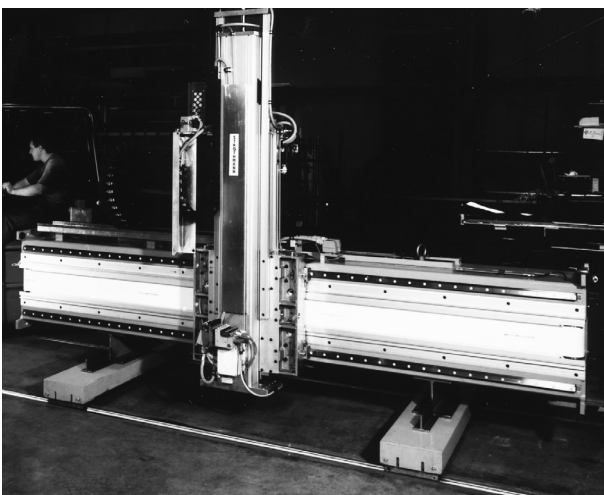
#### Aluminiumgranalien:

Für Stahl-Desoxidation.

Die wichtigsten Anwendungen von Aluminium in Deutschland (Bild 29)

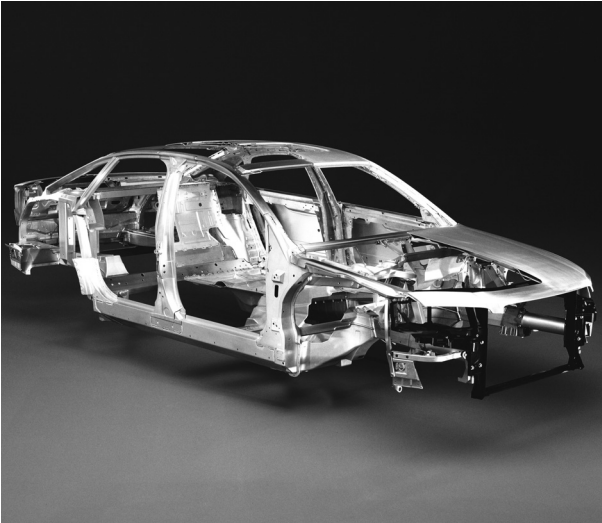


Aluminium im Maschinenbau

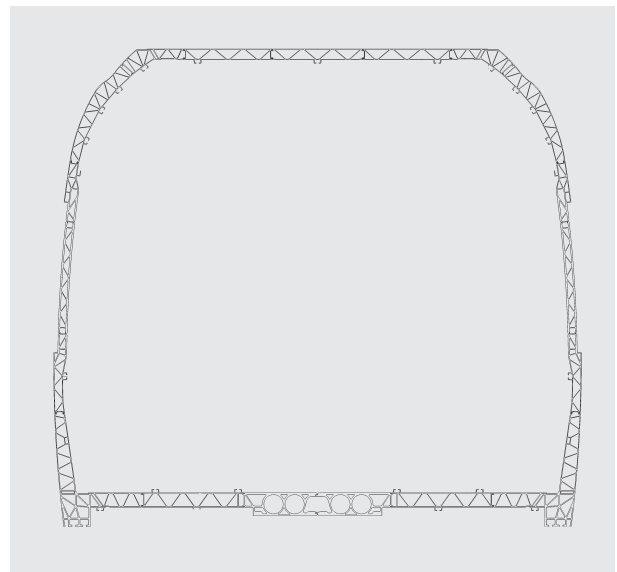


Voraussetzung für die hohen dynamischen Fähigkeiten von Linearrobotern ist die Verwendung leichter und steifer Aluminium-Strangpressprofile für die Achsmodule. Zum Transport dient hier ein Rundschiensystem, bei dem eine Rundstange in einem Aluminium-Halteprofil mit zwei Klipps-Profilen befestigt ist.

## Aluminium im Verkehr



Aluminium-Space-Frame (ASF) als Tragstruktur der Ganzaluminium-Karosserie für das Serienautomobil



Die ICE-Mittelwagen sind aus bis zu 800 mm breiten und über 23 m langen Aluminium-Strangpressprofilen geschweißt.



Fahrräder mit Aluminiumrahmen, wie das faltbare Mercedes-Benz-Rad sind heute vielfach Standardprodukte.



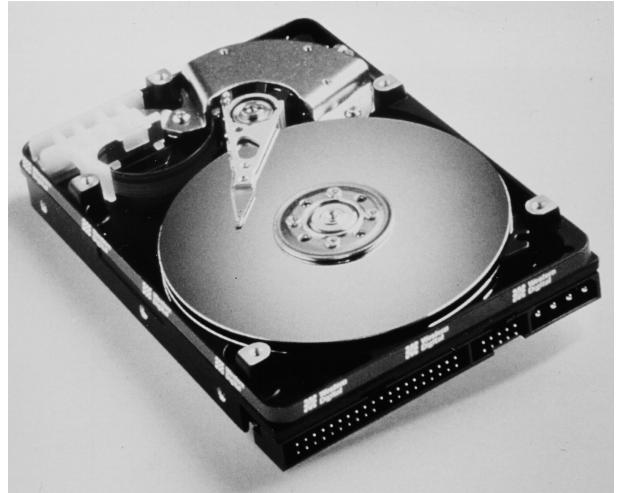
Dieselleichttriebzug RegioSprinter

### Aluminium im Bauwesen



Dekoratив und funktional:  
Kombination von silbern schimmernden Aluminium-Fassaden-  
verkleidungen und Fensterprofilen am Arbeitsamt Bremerhaven

### Aluminium in der Elektrotechnik



Laufwerk



Aluminium-Schalt-schranke



Estado do Luz (Stadion des Lichts) in Lissabon: Geschwungene Aluminium-Dachflächen und hoch aufsteigende Stahlbögen erinnern an Blütenstände und vermitteln eine spielerische, publikumswirksame Atmosphäre.

## Aluminium in der Verpackung



## 12. Aluminium im Zusammenhang mit Ökologie und Gesundheit

### 12.1 Aluminium und Ökologie

Klimavorsorge und Ressourcenschonung sind die beiden herausragenden umweltpolitischen Ziele unserer Zeit. Aus ihnen lassen sich eine Reihe konkreter Forderungen ableiten - wie der effiziente Einsatz von Energie, die Minderung von Emissionen und Abfällen, das Recycling, die Entwicklung neuer umweltverträglicher und kreislauf-fördernder Materialien, Produkte und Produktionsverfahren. Letztlich geht es um den Schutz der Ökosysteme und der menschlichen Gesundheit sowie um eine zukunfts-gerechte Entwicklung, die die Interessen zukünftiger Generationen wahrt.

#### 12.1.1 Klimaschutz

Die Minderung von Treibhausgasen gehört zu den prioritären Zielen einer auf Klimavorsorge und Schutz der Erdatmosphäre angelegten Umweltpolitik. Dabei kommt der Verbesserung der Energieeffizienz und der Reduzierung klimarelevanter Gase eine zentrale Bedeutung zu. Die deutsche Aluminiumindustrie hat auf diesen Gebieten seit vielen Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen: z.B. die Reduzierung des Energieeinsatzes im Laufe der letzten Jahrzehnte von durchschnittlich 21 Kilowattstunden Strom je Kilogramm Hüttenaluminium auf derzeit 15 kWh - das ist eine Einsparung um immerhin fast 30 Prozent. Mittlerweile sind Elektrolyseöfen in Betrieb, die auf Spitzenwerte von unter 13 kWh kommen. Soweit Klimagase bei der Erzeugung von Hüttenaluminium auftreten, handelt es sich neben Kohlendioxid vor allem um die Spurengase  $CF_4$  und  $C_2F_6$ . Auch hier hat die Branche deutliche Erfolge erzielt. Die fünf deutschen Aluminiumhütten haben im Rahmen einer freiwilligen Selbstverpflichtung die Emissionen dieser Spurengase seit 1990 um 85 Prozent reduziert. In Kohlendioxid umgerechnet bedeutet dies allein für das Jahr 2000 eine Reduzierung um rund zwei Millionen Tonnen gegenüber 1990. Auf diese Weise wurden mit marktkonformen Instrumenten ökologische Fortschritte erzielt, ohne den Unternehmen staatlich vorzugeben, wie die gesteckten Ziele zu erreichen sind. Ein solcher Weg vermeidet die Verschwendung volkswirtschaftlicher Ressourcen und fördert zugleich Innovationen und technischen Fortschritt.

Beleg dafür sind auch die Entwicklungsarbeiten der Aluminiumproduzenten an der so genannten „inerten Anode“, die auf die Verwendung kohlenstofffreier und sich nicht verbrauchender Materialien zielt. Durch die inerte Anode könnten Studien zufolge 60 bis 80 Prozent der prozessbedingten Treibhausgasemissionen verringert und die Entstehung von  $CF_4$  und  $C_2F_6$  vollständig unterbunden werden. Mit der inerten Anode ließen sich zudem Fluorid- und Staubemissionen noch weiter verringern.

Zwar ist noch nicht absehbar, wann diese Technologie großtechnisch verfügbar ist, doch was heute noch ein Forschungsprojekt ist, kann später einmal „Stand der Technik“ werden.

#### 12.1.2 Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft

Ziel eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen ist es, die Ressourceneffizienz zu erhöhen und nicht erneuerbare Ressourcen auch für künftige Generationen zu erhalten. Zentrale Begriffe lauten hier: Rohstoffschonung, Einsatz erneuerbarer Energien und Erhöhung der Energieeffizienz, Kreislaufwirtschaft, Minderung von Abfällen und Emissionen.

**Der Rohstoff Bauxit:** Die aus heutiger Sicht wirtschaftlich abbauwürdigen Bauxitvorkommen sichern den Verbrauch für rund 200 Jahre.<sup>1</sup> Die durch den Abbau freigesetzten Erdschichten werden im Sinne einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung für eine spätere Rekultivierung zwischengelagert, um nach beendeter Nutzung die Minenareale wieder abzudecken. Rund 70 Prozent der Bauxitabbauflächen werden wieder mit der ursprünglichen Vegetation aufgeforstet, weitere 20 Prozent für forst- und landwirtschaftliche Zwecke erschlossen. Die verbleibenden zehn Prozent werden für Erholungs-, Wohn- und Gewerbegebiete genutzt und dienen damit der sozialen beziehungsweise wirtschaftlichen Entwicklung.<sup>2</sup>

**Energie:** Die Aluminiumindustrie greift in besonderem Maße auf  $CO_2$ -freie Energien zurück. So erfolgt die Stromversorgung der Aluminiumhütten weltweit zu mehr als 50 Prozent durch den erneuerbaren Energieträger Wasserkraft.

Die sich im Umlauf befindenden Mengen an Recyclingmetall nehmen stetig zu. Dies schont wertvolle Ressourcen und spart zugleich Energie, denn der Energieeinsatz für das Recycling ist bis zu 95 Prozent niedriger als bei der Primärherstellung.

Ausdruck eines effizienten Energieeinsatzes ist zum Beispiel das Fernwärmeprojekt des weltgrößten Aluminiumwalzwerkes Alunorf in Nordrhein-Westfalen. Durch die Nutzung der Abwärme aus der Abgasreinigung von 13 Schmelzöfen wird ein wenige Kilometer entferntes Neubaugebiet für 6 500 Menschen mit Wärme versorgt. Die Maßnahme substituiert bis zu 3,9 Millionen Kubikmeter Erdgas und vermeidet so rund 10 000 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr.

1) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik Deutschland: Geologisches Jahrbuch (Sonderhefte)-Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe - Teilstudie Aluminium, 1998.

2) International Aluminium Institute, „Second Bauxite Mine Rehabilitation Survey“, London, Juli 2000



**Recycling:** Der wirtschaftliche Wert des Aluminiums hat es seit jeher lohnend gemacht, den Werkstoff im Kreislauf von Metallgewinnung, -verarbeitung, -nutzung und -rückgewinnung zu führen. Im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen treten beim Recycling keine Qualitätsverluste auf. Aus Profilschrotten lassen sich neue Profile oder andere hochwertige Produkte herstellen, aus Aluminiumblechen und -folien kann neues Walzmaterial gefertigt werden. Das im Umlauf befindliche Recyclingmetall wächst daher stetig. Die Aluminiumindustrie kann mithin als Kreislaufwirtschaft auf hohem Niveau gelten und Aluminium als „erneuerbarer Werkstoff“ mit „nachwachsenden Rohstoffen“ gleichgesetzt werden. Aluminium wird eben nicht „verbraucht“, sondern „genutzt“.

Die Ressourcenschonung beginnt mit geschlossenen internen Verwertungskreisläufen. Wo bei der Verarbeitung von Aluminium Fabrikationsschrotte anfallen, werden sie vollständig in den Produktionsprozess zurückgeführt. Interne Produktionskreisläufe erstrecken sich in der Aluminiumindustrie zudem auf die Betriebs- und Hilfsstoffe. So werden beispielsweise Kernsande für die im Sandgussverfahren benötigten Gießformen für Motorblöcke und Zylinderköpfe, Walzöle der Halbzeugfertigung und Lösemittelrückstände der Lackierprozesse von Folien im Kreislauf geführt. Auch die beim Recycling eingesetzten Salze, mit denen Verunreinigungen von Schrotten gebunden werden, gewinnen die Betriebe wieder zurück. Interne Verwertungskreisläufe ermöglichen so, dass Ressourcen nachhaltig genutzt werden können. Sie mindern auf diese Weise Eingriffe in den Naturhaushalt und entlasten Deponien.

Unabhängig hiervon sorgt eine seit Jahrzehnten gut funktionierende Recyclingindustrie für die Wiedergewinnung von Aluminium - zum Beispiel aus dem Verkehrs-, Bau- und Verpackungssektor. Mit einer Produktion von rund 620 000 Tonnen, das sind 49 Prozent der Gesamtproduktion, gehört die deutsche Aluminium-Recyclingindustrie zu den Spitzenreitern in Europa. Die Recyclingrate beträgt im Verkehrssektor rund 95 Prozent, im Bausektor liegt sie bei 85 Prozent. Das Recycling von Verpackungen konnte durch den Aufbau des Dualen Systems auf eine neue Stufe gestellt werden. Die flächendeckende Erfassung, Sortierung und Verwertung von gebrauchten Verpackungen hat dazu geführt, dass Aluminiumverpackungen inzwischen zu rund 80 Prozent wieder verwertet werden.<sup>3</sup> Durch den Einsatz moderner Sortiertechnik ist es mittlerweile möglich, Aluminium auch aus Verbundmaterialien bis hin zur Kaffeetüte zurückzugewinnen. Bei allen Anstrengungen und Erfolgen auf diesem Sektor gilt aber auch, dass ein hundertprozentiges Recycling dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung nicht immer entsprechen muss. Der Aufwand zur Erfassung selbst der letzten Verpackungseinheiten stünde in keinem Verhältnis zum erzielbaren Nutzen.

**Minderung von Emissionen und Abfällen:** Dort, wo Kreisläufe nicht geschlossen werden können und Reststoffe anfallen, ist das Ziel einer nachhaltigen Produktions- und Konsumweise, Abfälle auf ein Minimum zu beschränken, Deponieraum möglichst wenig zu beanspruchen und wo möglich, sekundäre Verwertungsmöglichkeiten von Reststoffen zu finden. Wie das Aufkommen mineralischer Abfälle reduziert werden kann, lässt sich am Beispiel der Elektrolyseöfen im Hüttenprozess zeigen: So konnte die Ofenhaltbarkeit bei der größten deutschen Aluminiumhütte seit 1975 um 150 Prozent erhöht werden - mit der Folge, dass nun deutlich weniger Ofenausbruch anfällt als in früheren Jahren.

Eine umweltgerechte Entwicklung verlangt auch die Minderung des Schadstoffaustrags durch Produktionsabläufe, die die Gesundheit der Menschen und die Anpassungsfähigkeit der natürlichen Umwelt gefährden können. Die Optimierung von Produktionsverfahren und die Errichtung von Umweltschutzanlagen hat in Deutschland einen Stand erreicht, der in der Welt vorbildlich ist. Dies trifft auch für den anlagenbezogenen Umweltschutz der Aluminiumindustrie zu.

## 12.2 Aluminium und Gesundheit

### 12.2.1 Aluminiumverbindungen und Nahrungsaufnahme

Mit Aluminium in seinen unterschiedlichsten chemischen Erscheinungsformen, sei es als natürliche Aluminiumverbindungen, Gebrauchsgegenstände oder als industriell hergestellte Lebensmittelzusätze, kommt jeder in Kontakt. Aluminium-Getränkedosen, Töpfe, Pfannen und Verpackungsfolien sind längst selbstverständliche Bedarfsgegenstände unseres täglichen Lebens geworden, doch ist weitestgehend unbekannt, dass Aluminiumverbindungen auch von Natur aus in fast allen pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln enthalten sind.

Aluminium ist Bestandteil nahezu aller Gesteine und Böden, jedoch nicht in metallischer Form. In der Natur findet man Aluminium nur in Verbindung mit anderen Elementen, vorwiegend mit Sauerstoff. Aufgrund der Bodenerosion gelangen Aluminiumverbindungen mit den Stäuben in die Atemluft oder werden im Oberflächenwasser bzw. im Grundwasser gelöst. Dies hat zur Folge, dass Aluminiumverbindungen von Pflanzen und Tieren aufgenommen werden und über die Nahrungskette auch den Menschen erreichen.

Trotz seiner weiten Verbreitung in der unbelebten Natur kommt Aluminium in biologischen Systemen meist nur in Spuren vor. Für das Funktionieren von Stoffwechsel- und Wachstumsprozessen wird Aluminium nach derzeitigem Wissensstand nicht benötigt. Verschiedene Aluminiumverbindungen werden als Nahrungszusatz verwendet oder zur Trinkwasseraufbereitung genutzt.

3) Quelle: GVM -Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung

## ■ Der Werkstoff Aluminium

Einige Deodorantien oder Arzneien enthalten oder bestehen vollständig aus Aluminiumverbindungen. Die Aufnahme dieser Verbindungen - auch in hohen Dosierungen - ist in aller Regel gesundheitlich unbedenklich.

Für eine Vielzahl industriell gefertigter Nahrungs- und Heilmittel wird eine Reihe von Aluminiumverbindungen eingesetzt, unter anderem in Schmerzmitteln, wie z.B. Aspirin, oder gegen Sodbrennen. Als Zusätze in Lebensmitteln findet man sie in Schmelzkäse und Sauerkonserven genauso wie als Additiv in Zahnpasten und Deodorants. Auch zur Trinkwasseraufbereitung in Klärwerken werden Aluminiumverbindungen als Flockungsmittel eingesetzt.

Wann immer von Aluminium im Körper die Rede ist, bezieht sich dies auf chemisch gebundenes Aluminium und dessen lösliche Anteile - nicht auf das Metall. Mit der Nahrung, dem Trinkwasser und Medikamenten sowie durch Inhalation von Staubpartikeln führen wir unserem Körper ständig Aluminiumverbindungen zu. Hauptsächlich handelt es sich dabei um unlösliche Aluminiumbestandteile, die vom Körper nicht absorbiert werden. Die Lunge, die Haut und der Magen-Darm-Trakt wirken als effektive Barrieren einer Aufnahme in den Blutkreislauf entgegen.

### 12.2.2 Äußere Anwendungen

Zahlreiche Aluminiumverbindungen werden in Form von Salben, Cremes oder Lösungen äußerlich auf die Haut aufgebracht. Die reinigende, antiseptische und desinfizierende Wirkung von essigsaurer Tonerde (basisches Aluminiumazetat) zeigt sich in der Behandlung von Hautabschürfungen, kleineren Wunden und Verbrennungen.

Das saure Milieu des Magens fördert die Löslichkeit einiger Aluminiumverbindungen. Der Aluminiumgehalt von Lebensmitteln variiert beträchtlich, ist in der Mehrzahl der Speisen jedoch als gering zu erachten. Bei einigen Pflanzen ist die Neigung, Aluminium zu speichern, deutlich ausgeprägt; Tiere scheiden, wie auch der Mensch, Aluminium nahezu vollständig wieder aus, so dass pflanzliche Nahrung in der Regel höhere Aluminiumgehalte aufweist als tierische.

Selbst wenn die konsumierte Nahrung außergewöhnlich hohe Aluminiumgehalte aufweist, wird vom Körper nur ein sehr geringer Teil absorbiert. Die in den Blutkreislauf aufgenommene Menge wird durch die Nieren über den Urin rasch wieder ausgeschieden. Sonderfälle sind Dialysepatienten und Frühgeburten mit aus anderen Gründen eingeschränkter Nierenfunktion, da bei ihnen die Fähigkeit, absorbiertes Aluminium aus dem Körper zu entfernen, eingeschränkt ist.

### 12.2.3 Metallische Aluminiumprodukte

Durch die Verwendung von Aluminiumverpackungen und Geschirr (Töpfe, Pfannen) erhöht sich der Aluminiumgehalt der Füllgüter und Speisen nur geringfügig. Eine Ausnahme bilden saure Lebensmittel und Getränke, die direkten Kontakt mit unbeschichtetem Aluminium haben. Diese Zusatzbeiträge, deren Höhe vom pH-Wert des Füllgutes und der Kontaktzeit abhängt, können leicht die durchschnittliche tägliche Zufuhr übersteigen. Beispiele für saure Speisen sind Rhabarber, Tomaten, Kohl, Aprikosen, Sauerkraut, Zitrusäfte. Eine gesundheitliche Gefährdung ist auch in diesen Fällen nicht zu befürchten, da die rasche Ausscheidung von Aluminium das Erreichen kritischer Konzentrationen im Blutkreislauf verhindert.

### 12.2.4 Die Alzheimerkrankheit

Die Alzheimerkrankheit tritt vorwiegend erst im höheren Lebensalter auf und äußert sich in einem stetigen Abbau der geistigen Funktionen, verbunden mit Wesensveränderungen bis zur vollständigen Unfähigkeit, die Bedürfnisse des täglichen Lebens zu organisieren.

Nach dem derzeitigen Forschungsstand liegen keine schlüssigen Beweise vor, dass Aluminiumverbindungen ursächlich am Krankheitsgeschehen beteiligt sind.

Aluminium ist nur ein Aspekt unter vielen, der bei der Ursachenforschung der Alzheimerkrankheit untersucht wird. Diskutiert werden unter anderem:

- Genetische Faktoren
- Krankheitserreger oder virusähnliche Strukturen
- Toxine
- Stoffwechselstörungen
- Neurochemische Störungen
- Einfluss von Kopfverletzungen

In letzter Zeit sprechen viele Indizien dafür, dass genetische Defekte das Ausbrechen der Krankheit wesentlich mitbestimmen.

Die Ursache der Alzheimerkrankheit ist nach wie vor unbekannt. Es gibt keine wissenschaftliche Studie, die vom Gebrauch von Aluminiumprodukten, sei es in Form von Geschirr oder Verpackung, abrät. Durch den Einsatz von Aluminium für Verpackungen und Behälter wird die menschliche Gesundheit nicht beeinträchtigt. Auch eine aluminiumarme Diät kann das Krankheitsbild weder verhindern noch positiv beeinflussen.

## Anhang

### Weiterführende Literatur

#### Aluminium-Taschenbuch,

#### Band 1: „Grundlagen und Werkstoffe“

16. Auflage, 2002

ISBN 3-87017-274-6

#### Band 2: „Umformen, Gießen,

#### Oberflächenbehandlung, Recycling und Ökologie“,

15. Auflage 1. datenaktualisierter Druck 1999,

ISBN 3-87017-242-8

#### Band 3: „Weiterverarbeitung und Anwendung“,

16. Auflage, 2003

ISBN 3-87017-275-4

#### Aluminium-Werkstoffdatenblätter,

4. Auflage 2004

ISBN 3-87017-281-9

#### Aluminium-Schlüssel / Key to Aluminium Alloys

6. Auflage/6th ed., 2003,

ISBN 3-87017-273-8

#### Technische Merkblätter und Broschüren zum Werkstoff Aluminium:

aktuelles Verzeichnis unter [www.aluinfo.de](http://www.aluinfo.de).

## Impressum

### Herausgeber

GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.

Am Bonnhof 5

40474 Düsseldorf

### Gestaltung

Sektor GmbH, Düsseldorf

### Bildnachweis

Alcan Singen GmbH, Singen (09, 10, 11, 29)

Almatec AG, Schupfheim (CH) (30)

Audi AG, Ingolstadt (29)

Bombardier Transportation, Hennigsdorf (29)

Corus Bausysteme GmbH, Koblenz (11, 30)

DaimlerChrysler, Stuttgart (29)

Eduard Hueck GmbH & Co. KG (30)

GDA, Düsseldorf (31)

Linhardt GmbH & Co. KG, Metallwarenfabrik,

Viechtach (31)

W. Strothmann GmbH + Co. KG, Schloß Holte (28)

Western Digital Deutschland GmbH, München (30)

Werksbild Siemens AG (29)

Aluminium  
für die Welt  
von morgen



GESAMTVERBAND DER  
ALUMINIUMINDUSTRIE e.V.

Am Bonneshof 5  
40474 Düsseldorf  
Postfach 10 54 63  
40045 Düsseldorf

Tel.: 0211 - 47 96 - 279/285  
Fax: 0211 - 47 96 - 410

information @ aluinfo.de  
www.aluinfo.de