

3.9 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Aluminium ist nach Stahl der heute am meisten verwendete metallische Konstruktionswerkstoff. Diese bedeutende Stellung in der Technik hat es vor allem aufgrund seiner geringen Dichte. Aluminium ist ein Leichtmetall mit einer Dichte von $2,7 \text{ kg/dm}^3$, also nur rund ein Drittel der Dichte von Stahl ($7,85 \text{ kg/dm}^3$). In der Elektrotechnik kommt es wegen der Eigenschaftskombination von geringer Dichte mit guter elektrischer Leitfähigkeit zum Einsatz.

3.9.1 Aluminium-Herstellung

Ausgangsstoff für die Aluminium-Gewinnung ist **Bauxit**, ein rotbraunes Erz, das im Tagebau gefördert wird. Es enthält 55 % bis 65 % Aluminiumoxid Al_2O_3 , der Rest besteht aus Eisenoxid Fe_2O_3 , Siliciumoxid SiO_2 und anderen Gesteinen. Die Gewinnung des Metalls Aluminium aus dem Erz Bauxit erfolgt in zwei Schritten (**Bild**):

Im **ersten Verfahrensschritt** wird aus dem Bauxiterz hochreines Aluminiumoxid Al_2O_3 hergestellt. Dazu wird das zerkleinerte Bauxitgestein in einem Druckgefäß mit heißer Natronlauge vermischt (250°C , 30 bar). Unter diesen Bedingungen reagiert das Al_2O_3 des Bauxits zu $\text{Al}(\text{OH})_3$ und löst sich in der Natronlauge. Die anderen Bestandteile des Bauxits (Fe_2O_3 , SiO_2 usw.) bleiben ungelöst und werden in einem Trommelfilter als Rot-schlamm abgetrennt. Die mit $\text{Al}(\text{OH})_3$ gesättigte Natronlauge leitet man in ein Kristallisationsgefäß, läßt dort das $\text{Al}(\text{OH})_3$ auskristallisieren und brennt es in einem Drehrohr-Ofen bei 1200°C zu Aluminiumoxid Al_2O_3 . Es ist ein weißes Pulver, die **Tonerde**.

Der **zweite Verfahrensschritt** ist die Reduktion des Aluminiumoxids Al_2O_3 zum Metall Aluminium. Sie erfolgt in der Aluminiumhütte durch Schmelzfluß-elektrolyse in Elektrolysezellen (**Bild**).

Al_2O_3 wird in einer Kryolithschmelze (Na_3AlF_6) von rund 950°C zu einer 20%igen Mischschmelze gelöst. Unter der Wirkung des elektrischen Stroms (Elektrolyse) zerfällt Al_2O_3 zu Aluminium und Sauerstoff. Das Aluminium sammelt sich am Boden der Elektrolysezelle und wird abgesaugt.

Dieses flüssige **Primär-Aluminium** wird in der Gießerei zur Reinigung umgeschmolzen. Dann wird der Schmelze Recycling-Aluminium sowie bei Legierungen die Legierungselemente zugegeben und anschließend die Schmelze zu Formaten und Masseln vergossen. Die Masseln dienen als Schmelzgut in Formgießereien. Die Formate werden im Halbzeugwerk zu Halbzeugen aller Art weiterverarbeitet.

Die Material- und Energiebilanz der Al-Gewinnung: Zur Herstellung von 1 t Aluminium werden 4 t Bauxiterz sowie 15000 kWh elektrische Energie (dreimal soviel wie bei Stahl) benötigt.

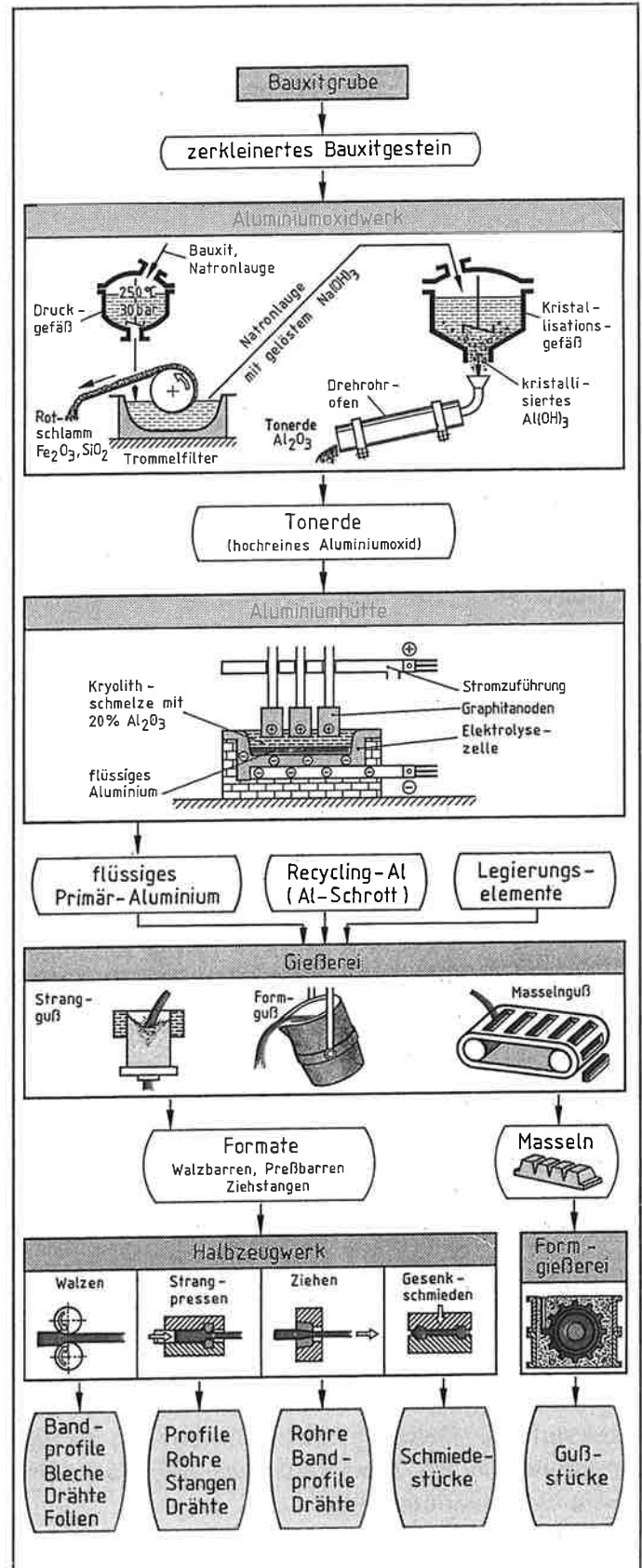


Bild: Aluminium-Herstellung

3.9.2 Allgemeine Eigenschaften und Verwendung

Aluminium ist ein silberhell glänzendes Metall, dessen Oberfläche im Laufe der Zeit matt wird. Es hat einen niedrigen Schmelzpunkt von 658 °C. Aluminium besitzt außerdem eine Reihe von interessanten Eigenschaften, die es als Werkstoff für Konstruktionen und Elektroanwendungen geeignet machen.

- **Geringe Dichte.** Sie beträgt 2,7 kg/dm³, also etwa $\frac{1}{3}$ der Dichte von Stahl. Ein Bauteil aus Aluminium hat rund die Hälfte der Masse eines festigkeitsgleichen Bauteils aus Stahl. Aluminium ist der Werkstoff für Leichtbaukonstruktionen z. B. bei Schienenfahrzeugen (**Bild 1**) oder im Rahmenbau (**Bild 2**).

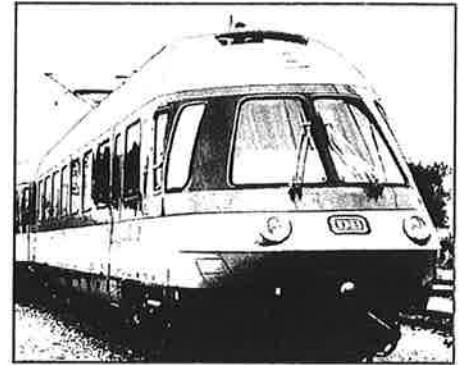


Bild 1: E-Lok-Aufbau aus Al

- **Gute Festigkeit.** Die Zugfestigkeit von unlegiertem Aluminium beträgt vergossen etwa 100 N/mm², hart gewalzt bis 190 N/mm². Aushärtbare Al-Legierungen haben Zugfestigkeiten von 400 N/mm² bis 600 N/mm² und erreichen damit die Festigkeit unlegierter Baustähle.

Aluminium ist jedoch nicht warmfest und nur bis etwa 150 °C ohne größeren Festigkeitsverlust einsetzbar.

- **Gute Korrosionsbeständigkeit.** Aluminium bildet auf seiner Oberfläche von selbst eine dünne aber dichte und fest haftende Oxidschicht. Durch Oberflächenbehandlung (anodische Oxidation) kann die Oxidschicht verstärkt und damit die Korrosionsbeständigkeit noch verbessert werden (Seite 108).
- **Leichte Umformbarkeit und Bearbeitung.** Aluminium lässt sich walzen, schmieden, strangpressen, abkanten, biegen, drücken, tiefziehen sowie sägen, bohren, drehen, schleifen, schneiden und polieren. Manche Legierungen (Gußlegierungen) lassen sich gut vergießen, andere Legierungen sind gut schweißbar und mit Sonderverfahren auch lötbar.
- **Gute Leitfähigkeit für Strom und Wärme.** Die elektrische Leitfähigkeit von Reinaluminium beträgt rund 38 m/(Ω · mm²), rund 62% der Leitfähigkeit von Kupfer. Bezieht man die elektrische Leitfähigkeit auf die Dichte, so errechnet man, daß das elektrische Leitvermögen gleichschwerer Leiter aus Aluminium etwa doppelt so groß ist wie von Kupfer. Elektrische Leitungen, bei denen es auf das Gewicht ankommt, z. B. bei Hochspannungs-Freileitungen, bestehen aus Aluminium-Werkstoffen (**Bild 3**).

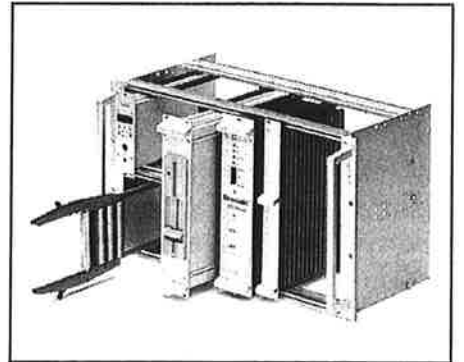


Bild 2: Rahmenträger aus Al

Die Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist fast fünfmal so groß wie die von Stahl.

- **Keine Magnetisierbarkeit.** Al ist nicht magnetisierbar.

Verwendung

Die vielseitige Verwendung von Aluminiumwerkstoffen gründet sich auf die Kombination der geringen Dichte mit anderen günstigen Eigenschaften wie Festigkeit und Leitfähigkeit.

Die niedrige Dichte, in Verbindung mit der ausreichenden Festigkeit und der Korrosionsbeständigkeit, machen es zu einem **Leichtbauwerkstoff** für Gehäuse und Rahmen, für Verkehrsmittel, für Konstruktionsteile im Metallbau und der Nachrichtentechnik (**Bild 4**) sowie für Maschinenteile.

Die gute elektrische Leitfähigkeit in Verbindung mit der geringen Dichte sind die maßgebenden Eigenschaften für den Einsatz als elektrischer Leiterwerkstoff (Bild 3).

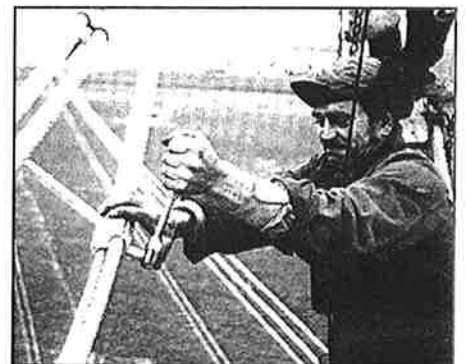


Bild 3: Freileitungsseil aus Al

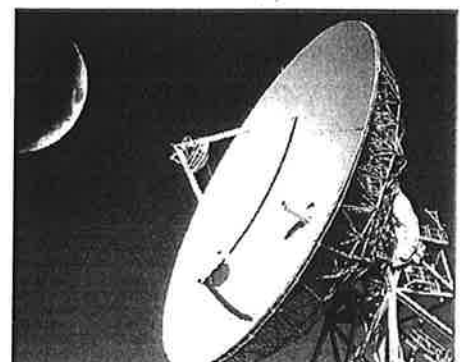


Bild 4: Parabolantenne aus Al

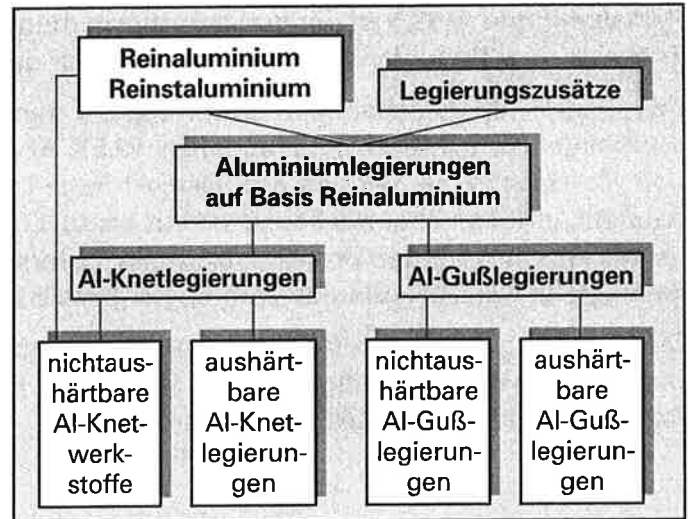
3.9.3 Aluminium-Werkstofftypen

Unlegierte Aluminiumwerkstoffe gibt es in den Qualitäten *Reinaluminium* und *Reinstaluminium*.

Das gewöhnliche Reinaluminium besteht zu 99,5 % aus Al (Kurzbezeichnung **Al 99,5**). Durch ein nachgestelltes H für Hüttenaluminium kann kenntlich gemacht werden, daß es sich um Primär-Aluminium und nicht um Recycling-Aluminium handelt.

Reinstaluminium hat mindestens 99,98 % Al, seine Kurzbezeichnung enthält ein R, z. B. **Al 99,99 R**.

Die **Aluminiumlegierungen** unterteilt man nach der Verarbeitungsart in Aluminium-Knetlegierungen und Aluminium-Gußlegierungen. Von jeder Gruppe gibt es nichtaushärtende und aushärtende Aluminiumwerkstoffe (**Übersicht 1**).



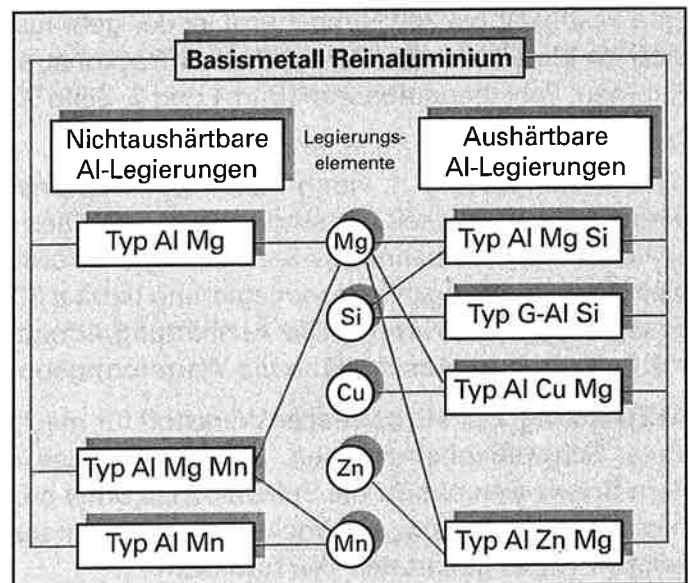
Übersicht 1: Einteilung der Aluminium-Werkstoffe

Al-Legierungstypen

Als **Legierungselemente** für Aluminiumlegierungen dienen vor allem Magnesium, Silicium, Kupfer, Zink und Mangan. Die gängigen Al-Legierungen enthalten 1, 2, oder 3 dieser Elemente. Man unterteilt die Legierungstypen nach den in ihnen enthaltenen Elementen (**Übersicht 2**).

Beispiel: Al-Legierungen, die Mg und Si enthalten, bezeichnet man als Al-Legierungen des Typs AlMgSi. Hiervon gibt es mehrere Werkstoffe, z. B. AlMgSi 0,5, AlMgSi1, AlMgSi 2.

Die **Bezeichnung** der Aluminiumlegierungen erfolgt mit einem Kurzzeichen. Es besteht aus dem chemischen Symbol des Basismetalls **Al** und den chemischen Symbolen der Legierungselemente mit Massenanteilen in Prozent. Der Werkstoffzustand wird mit einem nachgestellten Kennbuchstaben für den Lieferzustand und einer Kennziffer für die gewährleistete Mindestzugfestigkeit beschrieben. Die Kennziffer (F-Zahl) entspricht der Mindestzugfestigkeit in N/mm². Kennbuchstaben sind: W = weichgeglüht, F = warm- oder kaltgeformt (z. B. gewälzt), G = rückgeglüht aus einer vorangegangenen, höheren Kaltverfestigung.



Übersicht 2: Aluminium-Legierungstypen

Beispiel: **Al Zn 4,5 Mg1 F 350** ist ein Aluminiumwerkstoff mit 4,5 % Zn und 1 % Mg; er ist umgeformt und hat eine Mindestzugfestigkeit von 350 N/mm².

Außerdem können Aluminiumwerkstoffe mit einer Werkstoffnummer nach DIN 17007 bezeichnet werden. Der Werkstoff Al Zn 4,5 Mg1 hat z. B. die Werkstoffnummer 3.3547.

Härten von Aluminiumlegierungen

Durch **Aushärten** läßt sich die Festigkeit und Härte aushärtbarer Aluminiumlegierungen auf etwa den doppelten Betrag des ungehärteten Werkstoffs steigern. Das Aushärten erfolgt in drei Arbeitsgängen: Lösungsglühen bei rund 500 °C → Abschrecken in Wasser oder Öl → Auslagern.

Zum **Lösungsglühen** wird das Bauteil auf rund 500 °C erhitzt und anschließend in Wasser oder Öl abgeschreckt. Direkt nach dem **Abschrecken** hat der Werkstoff nur leicht erhöhte Festigkeit. Erst im Laufe der Zeit, nach einigen Stunden bis zu einer Woche, steigt die Festigkeit bis zum Endwert an. Man nennt diesen Vorgang **Auslagern**.

Ausgehärtete Aluminium-Bauteile dürfen nicht stark erwärmt werden, da sie sonst ihre Aushärte-Festigkeit verlieren. Gehärtete Aluminiumteile vermindern deshalb beim Löten und Schweißen ihre Festigkeit.

3.9.4 Nicht aushärtbare Aluminium-Werkstoffe

Reinaluminium Al 99,5 ist der preisgünstigste Aluminium-Werkstoff. Er besitzt gute Korrosionsbeständigkeit aber nur geringe Festigkeit.

Das in der Elektrotechnik als Leiterwerkstoff verwendete **Elektro-Aluminium**, kurz **E-Al 99,5**, hat ebenfalls 99,5% Al sowie geringe Si- und Mg-Gehalte. Sie vermindern die elektrische Leitfähigkeit unbedeutend, erhöhen aber die Festigkeit auf bis zu 170 N/mm² (kaltverformt). Aus ihm werden Drähte, Litzenseile, Leiterschienen und Läuferkäfige für Kurzschlußläufermotoren hergestellt (**Bild 1**).

Die Legierung **Al Mg 4,5 Mn** ist die nichtaushärtbare Al-Legierung mit der höchsten Zugfestigkeit (bis 270 N/mm²). Sie wird in Profilform zu Leichtbaukonstruktionen verarbeitet.

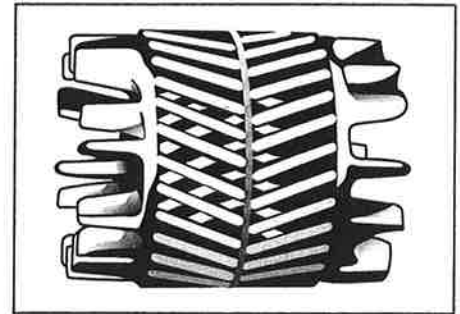


Bild 1: Rotorkäfig aus E-Al 99,5 (gegossen)

3.9.5 Aushärtbare Al-Knetlegierungen

AlMgSi 0,5 ist der Standardwerkstoff für preiswerte, stranggepreßte Al-Profile. Die Aushärtung erfolgt direkt nach der Warmformgebung. Das auf rund 500 °C erwärmte, aus der Strangpresse austretende Profil wird durch Anblasen mit Luft abgeschreckt und anschließend bei rund 170 °C warm ausgelagert. Al Mg Si 0,5 hat eine Festigkeit bis 300 N/mm² und ist der gebräuchlichste Al-Werkstoff im Metallbau. Man fertigt daraus Tragkonstruktionen, Gestelle, Rahmen, Fahrzeugaufbauten (**Bild 1 und 2, Seite 92**).

Die Elektro-Aluminiumlegierung **E-AlMgSi 0,5**, auch **Aldrey** genannt, wird eingesetzt, wenn neben guter elektrischer Leitfähigkeit eine erhöhte Festigkeit vorhanden sein muß. Dies ist z. B. für Leiterschienen in Hochspannungs-Schaltanlagen erforderlich (**Bild 2**). Die elektrische Leitfähigkeit dieser Legierung beträgt 33 m/(Ω · mm²), die Festigkeit bis 300 N/mm². Die Aushärtung erfolgt durch Anblasen mit Luft direkt im Anschluß an die Warmformgebung.

Al Zn 4,5 Mg 1 ist ein spezieller Werkstoff für mechanisch hochbelastete Schweißkonstruktionen im Metall-Konstruktionsbau. Nach dem Schweißen nimmt die Schweißzone ohne besondere Maßnahmen im Laufe von einigen Wochen wieder die ursprünglichen Festigkeitswerte des gehärteten Werkstoffs an.

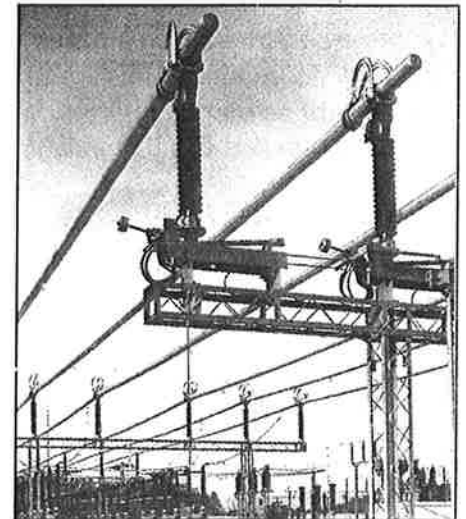


Bild 2: Leiterschienen aus E-Al Mg Si 0,5

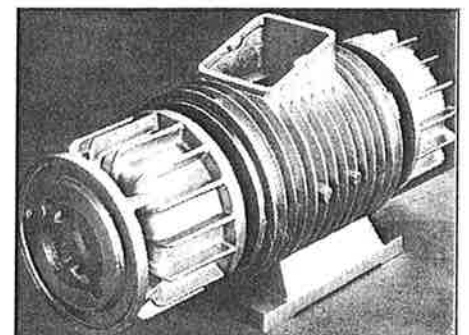


Bild 3: Motorgehäuse aus Al-Gußwerkstoff G-Al Si 12

Die gebräuchlichsten Aluminiumwerkstoffe für elektrische Leiter sind E-Al 99,5 und E-Al Mg Si 0,5 (Aldrey genannt).

3.9.6 Aluminium-Gußwerkstoffe

G-Al Si 12 ist der gebräuchlichste Al-Gußwerkstoff mit guter Vergießbarkeit und Korrosionsbeständigkeit. Er ist aushärtbar und wird zu Gehäusen, z. B. von elektrischen Geräten und Maschinen, zu Abzweigdosen und ähnlichem im Druckguß vergossen (**Bild 3**).

Wiederholungsfragen

- | | |
|--|--|
| 1 Welche besondere Eigenschaftskombination macht Aluminium-Werkstoffe für den Einsatz in der Elektrotechnik interessant? | 3 Wie werden aushärtbare Al-Legierungen ausgehärtet? |
| 2 Aus welchen Angaben besteht die Kurzbezeichnung eines Al-Werkstoffs? | 4 Welches sind die beiden als Leiterwerkstoffe eingesetzten Al-Werkstoffe? |
| | 5 Welche Besonderheit hat die Legierung Al Zn 4,5 Mg 1? |