

## Zur Einführung.

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstatttechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

### Bisher sind erschienen:

- Heft 1: Gewindeschneiden. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Von Oberingenieur O. M. Müller.
- Heft 2: Meßtechnik. Dritte, verbesserte Auflage. (15.—21. Tausend.) Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.
- Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. Zweite, völlig neu bearbeitete Auflage. (13.—18. Tausend.) Von Ing. Fr. Klautke.
- Heft 4: Wechselrädereberechnung für Drehbänke. (7.—12. Tausend.) Von Betriebsdirektor G. Knappe.
- Heft 5: Das Schleifen der Metalle. Zweite, verbesserte Auflage. Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.
- Heft 6: Teilkopfarbeiten. (7.—12. Tausend.) Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.
- Heft 7: Härten und Vergüten. 1. Teil: Stahl und sein Verhalten. Dritte, verbess. u. vermehrte Aufl. (18.—24. Tsd.) Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
- Heft 8: Härten und Vergüten. 2. Teil: Praxis der Warmbehandlung. Dritte, verbess. u. vermehrte Aufl. (18.—24. Tsd.) Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
- Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. 2. verbess. Aufl. (11.—16. Tsd.) Von Dr. Fritz Spitzer.
- Heft 10: Kupolofenbetrieb. 2. verbess. Aufl. Von Gießereidirektor C. Irresberger.
- Heft 11: Freiformschmiede. 1. Teil: Grundlagen, Werkstoff der Schmiede. — Technologie des Schmiedens. 2. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt.
- Heft 12: Freiformschmiede. 2. Teil: Schmiedebeispiele. 2. Aufl. Von B. Preuß und A. Stodt.
- Heft 13: Die neueren Schweißverfahren. Dritte, verbesserte u. vermehrte Auflage. Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.
- Heft 14: Modelltischlerei. 1. Teil: Allgemeines, Einfache Modelle. Von R. Löwer.
- Heft 15: Bohren. Von Ing. J. Dinnebieer und Dr.-Ing. H. J. Stoewer. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
- Heft 16: Reiben und Senken. Von Ing. J. Dinnebieer.
- Heft 17: Modelltischlerei. 2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen. Von R. Löwer.
- Heft 18: Technische Winkelmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt. Zweite, verbesserte Aufl. (5.—9. Tausend.)
- Heft 19: Das Nabelsen. Von Ing. Joh. Mehrstens.
- Heft 20: Festigkeit und Formänderung. I. Die einfachen Fälle der Festigkeit. Von Dr.-Ing. Kurt Lachmann.
- Heft 21: Einrichten von Automaten. 1. Teil: Die Systeme Spencer und Brown & Charpe. Von Ing. Karl Sachse.
- Heft 22: Die Fräser. Von Ing. Paul Zieting.
- Heft 23: Einrichten von Automaten. 2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) u. Cleveland u. die Offenbacher Automaten. Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.
- Heft 24: Stahl- und Temperguß. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 25: Die Ziehtchnik in der Blechbearbeitung. Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
- Heft 26: Räumen. Von Ing. Leonhard Knoll.
- Heft 27: Einrichten von Automaten. 3. Teil: Die Mehrspindel-Automaten. Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil.
- Heft 28: Das Löten. Von Dr. W. Burstyn.
- Heft 29: Kugel- und Rollenlager (Wälzlager). Von Hans Behr.
- Heft 30: Gesunder Guß. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 31: Gesenkenschmiede. 1. Teil: Arbeitsweise und Konstruktion der Gesenke. Von Ph. Schweißguth.
- Heft 32: Die Brennstoffe. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 33: Der Vorrichtungsbau. I: Einteilung, Einzelheiten u. konstruktive Grundsätze. Von Fritz Grünhagen.
- Heft 34: Werkstoffprüfung (Metalle). Von Prof. Dr.-Ing. P. Riebensahm und Dr.-Ing. L. Traeger.

Fortsetzung des Verzeichnisses der bisher erschienenen sowie Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte siehe 3. Umschlagseite.

Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen.

# WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACH-  
ARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. EUGEN SIMON VDI

---

---

HEFT 53

---

---

# Nichteisenmetalle

Von

Dr.-Ing. Reinhold Hinzmann

Zweiter Teil

**Leichtmetalle**

Mit 34 Abbildungen im Text  
und 12 Tabellen



**Berlin**  
Verlag von Julius Springer  
1934

ISBN 978-3-642-98567-6      ISBN 978-3-642-99382-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-99382-4

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort . . . . .	3
I. Herstellung und physikalische Eigenschaften . . . . .	3
A. Aluminium . . . . .	3
1. Gewinnung und Herstellung . . . . .	3
2. Physikalische Eigenschaften . . . . .	5
a) Thermische Eigenschaften S. 5. — b) Mechanische Eigenschaften S. 5. — c) Elektrische Eigenschaften S. 7.	
B. Aluminiumlegierungen . . . . .	8
1. Zweistofflegierungen . . . . .	8
a) Kupfer-Aluminium S. 8. — b) Zink-Aluminium S. 9. — c) Silizium-Aluminium S. 9. — d) Eisen-Aluminium S. 11. — e) Magnesium-Aluminium S. 11. — f) Aluminium und übrige Legierungszusätze S. 12.	
2. Mehrstofflegierungen . . . . .	12
a) Unausgehärtete (unvergütete) Legierungen S. 12. — b) Ausgehärtete (vergütete) Legierungen). S. 16	
C. Magnesium . . . . .	22
D. Magnesiumlegierungen . . . . .	22
1. Elektron . . . . .	22
2. Dow-Metall . . . . .	25
E. Übrige Leichtmetalle . . . . .	25
1. Natrium, Kalium . . . . .	25
2. Lithium . . . . .	25
3. Beryllium . . . . .	26
II. Formgebung.	
1. Gießen . . . . .	26
2. Warm- und Kaltkneten . . . . .	28
3. Spangebende Bearbeitung . . . . .	28
a) Drehen S. 28. — b) Bohren S. 29. — c) Fräsen S. 29. — d) Gewindeschneiden S. 29. — e) Sägen S. 29. — f) Feilen S. 30. — g) Schleifen S. 30.	
III. Mechanische Verbindung.	
1. Löten . . . . .	30
a) Weichlöten S. 31. — b) Hartlöten S. 31.	
2. Schweißen . . . . .	33
a) Hammerschweißen S. 33. — b) Gasschmelzschweißen S. 33. — c) Elektrisches Schweißen S. 34.	
3. Nieten und Schrauben . . . . .	34
IV. Chemische Eigenschaften.	
1. Verhalten gegen Sauerstoff . . . . .	35
2. Korrosion . . . . .	36
3. Prüfung auf Korrosionsbeständigkeit . . . . .	37
V. Oberflächenbehandlung.	
1. Mechanisch . . . . .	41
2. Chemisch . . . . .	41
3. Metallische Überzüge . . . . .	44
Alphabetisches Legierungsverzeichnis . . . . .	45
Zusammensetzung und Gütewerte von Leichtmetallegerungen (Tabelle 12) . . . . .	46

---

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

## Vorwort.

Die Leichtmetalle haben in den letzten Jahren, besonders durch die Entwicklung und Entfaltung der Luftfahrtindustrie, überragende Bedeutung erlangt. Dementsprechend ist auch die Zahl der — vielfach auch von unberufener Seite — auf den Markt gebrachten mehr oder weniger brauchbaren Leichtmetalllegierungen ins schier Unübersehbare angewachsen. Glücklicherweise kristallisiert sich aus dieser Menge eine kleine Anzahl der bewährtesten Legierungen, wie beispielsweise die vom Silumintyp, die aushärtbaren vom Duralumintyp, die vom Magnaliumtyp und das Elektron, heraus, die von anderen Legierungen kaum übertroffen werden. Die Beschränkung nur auf diese Legierungen in diesem Büchlein hätte wiederum die Frage nach dem Wesen und den Eigenschaften vieler, selbst überholter Legierungen, die einem noch häufig begegnen, offen gelassen. So wurden denn hundert der bekanntesten Leichtmetalllegierungen zusammengestellt (siehe Tabelle 12) und in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften kurz gekennzeichnet.

Es konnte natürlich im Rahmen dieses Büchleins nicht Aufgabe des Verfassers sein, sämtliche Leichtmetalllegierungen erschöpfend darzustellen. Doch ist zu hoffen, daß die Möglichkeit, durch die vorliegende Zusammenstellung sich für den praktischen Gebrauch leicht und schnell über die bekanntesten Leichtmetalle zu unterrichten, vielen willkommen sein wird.

## I. Herstellung und physikalische Eigenschaften.

### A. Aluminium.

**1. Gewinnung und Herstellung.** Das Aluminium kommt als metallisches Element wegen seiner großen Verwandtschaft zum Sauerstoff in der Natur nicht gediegen vor; es ist in der Tonerde (Aluminiumoxyd  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) enthalten; die in fast unerschöpflicher Menge in der ganzen Erdkruste vorhanden ist. Von den Mineralien, die die Tonerde in abbauwürdigen Mengen enthalten, sind zu nennen: Feldspat, Kaolin, Leucit, (Kalium-Aluminium-Silikat), Labradorit, Bauxit und Laterit, wovon die beiden letzten die wichtigsten sind. Sie bestehen aus Tonerdehydraten mit etwa 55÷65% Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), bis 24% Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 12÷30% Wasser und bis 4% Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ). Die Hauptfundorte für diese Mineralien sind in Frankreich — nach dem ersten Fundorte Les Baux in Südfrankreich Bauxit genannt —, Dalmatien, Istrien, Ungarn, Rußland, Britisch-Indien, Arkansas und in anderen Gegenden gelegen. Die industrielle Großerzeugung von Aluminium wird heute fast ausschließlich aus dem Bauxit bestritten.

Die Gewinnung von Reinaluminium unmittelbar aus dem Bauxit auf hüttenmännisch-schmelztechnischem Wege ist wegen der großen chemischen Aktivität des Aluminiums nicht möglich. Es müssen vielmehr die Rohstoffe erst weitgehendst gereinigt werden, d. h. es muß zuerst eine reine Aluminiumverbindung, die Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), aufgeschlossen werden, aus der dann das Aluminium abgeschieden wird. Zur Tonerdegewinnung aus dem Bauxit dienen hauptsächlich folgende Verfahren: Das erste besteht darin, den getrockneten, gebrochenen und gemahlten Bauxit mit kalzinierter Soda zu mischen und in großen Drehrohren bei  $1200^\circ$  zu sintern, wobei Natrium-Aluminat unter Freiwerden von Kohlensäure

entsteht. Aus dem Sinterungserzeugnis wird das Natrium-Aluminat in Rührbotichen durch Wasser von  $80^\circ$  herausgelöst, und die ausfallenden Nebenbestandteile des Bauxites werden auf Filtern oder Nutschen abgeschieden. Aus der Natrium-Aluminatlösung wird nunmehr das reine Tonerdehydrat durch Ausrühren ausgefällt oder durch Einleiten von aus dem Sinterungsprozeß herrührender Kohlensäure gewonnen. Dieses wird in Drehrohröfen kalziniert, aus denen dann die reine Tonerde als weißes Pulver entfällt.

Beim zweiten Verfahren, dem Bayer-Verfahren, wird der gemahlene Bauxit mit Natronlauge in Autoklaven bei einem Druck von etwa 7 at erhitzt und so eine Natrium-Aluminatlösung gewonnen. Diese wird nun unter Zusatz von Tonerdehydrat in Natronlauge und Tonerdehydrat geschieden. Aus dem Tonerdehydrat wird wieder wie beim ersten Verfahren durch Kalzinieren reine Tonerde erhalten, und die Natronlauge wird nach dem Eindampfen wieder zum Aufschließen des Bauxites verwendet.

Nach dem dritten Verfahren von Haglund wird, kurz gesagt, der Bauxit mit Sulfiden der Schwermetalle und Kohle gemischt und in großen Elektroöfen geschmolzen, wobei sich die Schwermetalle am Boden absetzen und eine Mischung aus Aluminiumsulfid und Tonerde übrigbleibt. Die Tonerde, die in Form reiner Kristalle in der

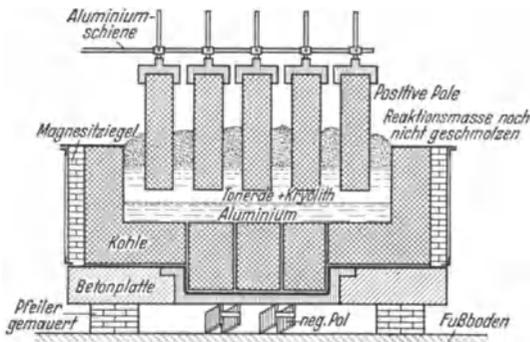


Abb. 1. Schema eines Aluminiumofens.

Schmelze enthalten ist, läßt sich nunmehr durch Auflösen des Aluminiumsulfids im Wasser gewinnen.

Die Gewinnung von Tonerde statt aus Bauxit etwa aus Ton oder Kryolith ist an sich möglich, doch bei letzterem zu teuer, so daß sich dieses Verfahren für die technische Großerzeugung von Aluminium noch nicht hat durchsetzen können.

Aus der nach den vorgenannten Verfahren gewonnenen Tonerde wird nunmehr das Reinaluminium hergestellt, und zwar heute ausschließlich auf elektrolytischem Wege. Die Tonerde wird zur Herabsetzung des hohen Schmelzpunktes mit Kryolith, einem Doppelsalz von Aluminium- und Natriumfluorid, gemischt und als Elektrolyt mit einem Schmelzpunkt von  $700$  bis  $800^\circ$  in einen Schmelzofen eingesetzt, dessen Bauart aus der schematischen Abb. 1 hervorgeht. Als Anode dienen Kohleelektroden und als Kathode die mit Kohle ausgekleideten Schmelzgefäße. Bei  $5\text{--}6$  V und  $5\text{--}20000$  A wird aus der hellglühenden Tonerde-Kryolithschmelze das reine Aluminium aus der Tonerde ausgeschieden, das sich am Boden der Troge absetzt und von hier bei ununterbrochenem Ofenbetriebe von Zeit zu Zeit abgezogen wird. Zur Herstellung von 1 kg Aluminium werden etwa benötigt: 2 kg Tonerde, 0,07 kg Kryolith, 1,7 kg Elektrodenkohlen und 27 kWh Strom.

Das aus der Schmelzelektrolyse abgestochene Aluminium ist wegen seiner verschiedenen Reinheit noch nicht ohne weiteres verwendbar, sondern wird durch Umschmelzen im Tiegelofen durch entsprechende Gattierung in seinem Reinheitsgehalt reguliert und in die handelsübliche Lieferform gegossen. Diese besteht aus Rohmasseln von  $\sim 15$  kg Gewicht oder Masseln bis zu 4 kg, die durch tiefe Kerben zur besseren Zerkleinerung mehrfach unterteilt sind. Zur Herstellung von Blechen

und Bändern werden Walzplatten bis zu 1000 kg und zur Herstellung von Stangen und Drähten Rund- und Vierkantbarren bis zu 150 kg gegossen.

Das handelsübliche Reinaluminium (Nr. 1) wird nach Din 1712 (vgl. Tabelle 12) in folgenden drei Gütegraden hergestellt:

Reinaluminium 99,5:	Kurzzeichen Al 99,5
Reinaluminium 99:	Kurzzeichen Al 99
Reinaluminium 98/99:	Kurzzeichen Al 98/99.

Die zulässigen Verunreinigungen, die vorwiegend aus Eisen, Silizium, Kupfer und Zink bestehen, und deren Anwesenheit teils durch den Reinheitsgrad der Ausgangsstoffe, teils durch den Herstellungsprozeß bedingt ist, sind in dem Normblatt genau abgegrenzt. Es hat nicht an Versuchen gefehlt — es bestehen hierüber eine Reihe von Patenten — den Reinheitsgrad über 99,5% Al weiter zu steigern. So wird bereits heute in normaler Elektrolyse Al mit  $99,7 \div 99,85\%$  hergestellt. In Amerika ist es gelungen, nach einem besonderen Schmelzelektrolyseverfahren die Verunreinigungen auf 0,1% und darunter zu verringern, und in Deutschland konnte nach einem Verfahren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Reinaluminium mit nur 0,05% Verunreinigungen hergestellt werden, blieb jedoch ohne praktische Bedeutung.

## 2. Physikalische Eigenschaften. a) Thermische Eigenschaften.

Schmelzpunkt . . . . .	658°	Spez. Wärme bei 18°	0,214 $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{Grad}}$
Siedepunkt . . . . .	1800°	Spez. Wärme bei 100°	0,213 „
Schmelzwärme . . . . .	100 cal/g	Wärmeleitfähig-	$\left\{ \begin{array}{l} 20^\circ \quad 0,50 \\ 200^\circ \quad 0,475 \\ 400^\circ \quad 0,425 \end{array} \right. \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sek} \cdot \text{Grad}}$
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient		keit bei	
(zwischen 15 und 500°)	$27 \cdot 10^{-6}/\text{Grad}$		

Das spezifische Gewicht  $\gamma$  bei gegossenem Reinaluminium schwankt je nach seiner mehr oder weniger guten Dichtigkeit zwischen 2,65 und 2,69 g/cm<sup>3</sup>. Für durch Kneten verdichtetes Reinaluminium Al 99,5 ist  $\gamma = 2,70 \text{ g/cm}^3$ , und für stärker verunreinigtes Aluminium, etwa Al 98, ist  $\gamma = 2,72 \text{ g/cm}^3$  zu nehmen.

Das Reflexionsvermögen des Aluminiums ist sehr groß, so daß Wärmestrahlen je nach dem Zustand der Oberfläche bis zu 90% reflektiert werden.

Hieraus erklärt es sich, daß trotz hoher Wärmeleitfähigkeit das Aluminium weniger Wärme von einer Wärmequelle aufnimmt und weitergibt (beispielsweise bei einem Kochtopf an den Inhalt) als andere Metalle. Durch Überziehen der unmittelbar von den Wärmestrahlen getroffenen Fläche (z. B. der Boden des Kochtopfes) mit einem möglichst strahlungsfreien — schwarzen — Lack oder dgl. kann die Wärmefangaufnahme wesentlich gebessert werden.

b) Mechanische Eigenschaften. Der Elastizitätsmodul bei Reinaluminium beträgt 6900 kg/mm<sup>2</sup>. Eine Elastizitätsgrenze ist bei weichem Reinaluminium nach Feinmeßversuchen nicht vorhanden, d. h. es verbleibt nach Entlastung immer noch ein gewisser Dehnungsrest. Erst bei verfestigtem Werkstoff tritt die Elastizitätsgrenze deutlich in Erscheinung, die etwa die halbe Höhe der jeweiligen Zugfestigkeit erreicht. Die Streckgrenze, die, da nicht deutlich ausgeprägt, bei 0,2% bleibender Dehnung angenommen wird, ist bei weichem Aluminium sehr niedrig, liegt aber bei hartem Aluminium wenig unter der erreichten Zugfestigkeit.

Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Kugeldruckhärte des weichen Aluminiums können ebenfalls durch Kaltbearbeitung wesentlich beeinflusst werden. So ist bei dünnem Al-Blech und -Draht von etwa 1 mm eine Festigkeitssteigerung bis zu 28 kg/mm<sup>2</sup> und eine Härtesteigerung bis zu 60 kg/mm<sup>2</sup> bei entsprechender Dehnungsverminderung auf  $3 \div 5\%$  zu erreichen, jedoch nicht zu empfehlen, da der Werkstoff zu spröde wird (Tabelle 1).

Tabelle 1.  
Festigkeitsänderung von Aluminiumblech Al 99 durch Kaltwalzen.

Zustand	weich	halbhart	hart	federhart
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	7 ÷ 9	10 ÷ 14	14 ÷ 18	18 ÷ 25
Bruchdehnung % (l = 10 d) . . . . .	30 ÷ 45	8 ÷ 25	3 ÷ 8	2 ÷ 5
Brinellhärte (2,5/15,6/30) kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	15 ÷ 25	25 ÷ 40	40 ÷ 60	60 ÷ 70

Bei starken Abmessungen, etwa einer Aluminiumstange von 30 mm  $\varnothing$  und darüber, kann naturgemäß nicht mehr der doppelfederharte, sondern wertmäßig nur der harte Zustand erreicht werden.

Die vorstehenden auf der Zerreißmaschine ermittelten Zugfestigkeiten werden bei einer Reckgeschwindigkeit von etwa 0,2 mm/s erhalten. Bei Belastungen

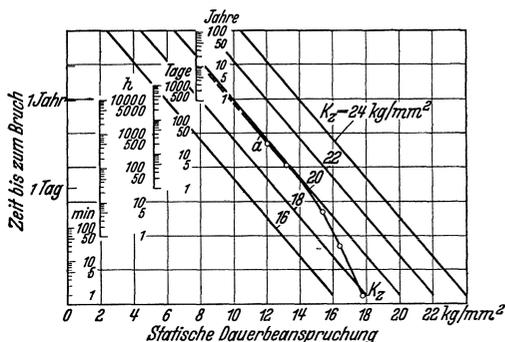


Abb. 2. Abhängigkeit der Festigkeit von der Belastungsdauer (AEG-SSW).

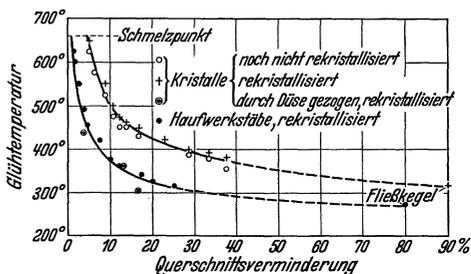


Abb. 3. Temperaturen beginnender Rekristallisation von Aluminium nach 1/2 h Glühdauer (Sachs).

über einen längeren Zeitraum fallen diese Höchstwerte, die man als Dauerstandfestigkeiten bezeichnet, niedriger aus, was beispielsweise bei Aluminiumdrähten für Freileitungen besonders beachtet werden muß. Versuche (Abb. 2) haben ergeben, daß z. B. ein Aluminiumdraht von 20 kg/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit bei normaler Belastungsgeschwindigkeit nur eine Festigkeit von 17 kg/mm<sup>2</sup> bei 1stündiger und von 10 kg/mm<sup>2</sup> bei etwa 1jähriger Belastungsdauer besitzt.

Die durch Kaltbearbeitung hervorgerufene Festigkeitssteigerung und Dehnungsverminderung kann durch eine nachfolgende Glühbehandlung wieder rückgängig gemacht werden. Die hierzu notwendige Glühtemperatur, die sog. Rekristallisationstemperatur, ist abhängig von dem vorausgegangenem Reckgrade. Diese Beziehungen sind in Abb. 3 dargestellt, aus der hervorgeht, daß die Rekristallisationstemperatur um so niedriger ist, je stärker der Reckgrad war und umgekehrt. Bei 70 ÷ 80% gerecktem Aluminium beginnt die Rekristallisation, mit der die Entfestigung verbunden ist, bereits bei etwa 250°. Die sich einstellende Korngröße folgt auch hier dem allgemein gültigen Rekristallisationsgesetz, nach dem die Korngröße um so größer wird, je kleiner der Reckgrad war und umgekehrt. Aus diesem Grunde muß vermieden werden, 1/4 oder 1/2 harten Werkstoff zu glühen, da er sonst grobkörnig wird. Ein grobes Korn mit seinen schädlichen Wirkungen auf die Festigkeitseigenschaften stellt sich auch ein, wenn das kritische Temperaturgebiet der beginnenden Rekristallisation zu langsam durchlaufen wird, oder wenn durch zu hohe Glühtemperatur und zu lange Glühdauer das Kornwachstum einsetzt. In der Praxis wird diesen Erkenntnissen dadurch Rechnung

getragen, daß der glühende Ofen von 400÷500° mit dem Glühgut beschickt wird, um eine schnelle Anwärmung und kurze Glühdauer zu erreichen. Die Einwirkung der Glühtemperaturen auf Zugfestigkeit und Dehnung von stark gerecktem Draht zeigt Abb. 4: die Zugfestigkeit fällt nach Glühung bei 100° schon merklich ab und erreicht nach 250° den niedrigsten Wert. Ein geringer Wiederanstieg der Zugfestigkeit nach höheren Glühtemperaturen bei stärker verunreinigtem Al 98/99 und Al 99 hängt damit zusammen, daß bei genügend schneller Abkühlung der Zerfall des Aluminium-Silizium-Mischkristalles unterbunden wird.

Die Warmfestigkeit, d. i. die bei erhöhter Temperatur selbst gemessene Zugfestigkeit, ist bei Reinaluminium nicht besonders hoch (Tabelle 2): bei 100° ist sie bereits bedeutend erniedrigt, bei 400° schon bis auf 1÷2 kg/mm<sup>2</sup> gesunken; die Dehnung hingegen ist außerordentlich gestiegen, worauf die gute Warmverarbeitung des Aluminiums zurückzuführen ist.

Tabelle 2. Warmfestigkeit von Reinaluminium.

Prüf­temperatur	weichgeglüht		halbhartgezogen		hartgezogen	
	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung (l = 4 d) %	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung (l = 10 d) %	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung (l = 10 d) %
20°	8,2	51	14	15	22	4
100°	6,4	62	11	25	20	10
200°	4,4	84	7	30	14,5	22
300°	2,5	90	3	50	7	33
400°	1,1	128	1	65	1,5	45

Als Dauerfestigkeit, auch Schwingungs- oder Wechselfestigkeit genannt, wird diejenige Spannung angenommen, bei der der Werkstoff beliebig viele Lastwechsel ohne Bruch aus­hält. Während bei Stahl diese Grenze bei etwa 10 Mil­lionen Lastwechsel gelegen ist, werden bei den Leicht­metallen noch Brüche nach 10, 50 und 100 Millionen Lastwechseln beobachtet. Für die praktischen Er­fordernisse dürften aber auch hier Lastwechsel von 30÷50 Millionen zur Bestimmung der Dauerfestig­keit genügen, wobei dann der erhaltene Wert zur Sicherheit noch um etwa 5 % zu verringern ist. Eine eindeutige Beziehung zwischen den statischen Festigkeitseigenschaften und der Dauerfestigkeit ist bisher nicht gefunden worden; bei Reinaluminium ist die Dauerfestigkeit in roher Annäherung mit 0,4÷0,45 der Zugfestigkeit anzunehmen.

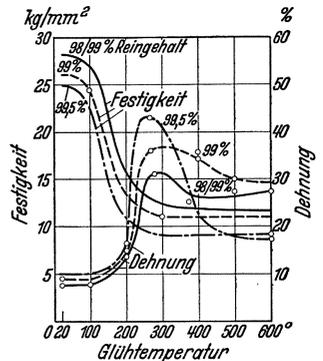


Abb. 4. Festigkeit und Dehnung von hartgezogenem Aluminium nach verschiedenen Glüh­temperaturen.

c) Elektrische Eigenschaften. Die elektrische Leitfähigkeit des Reinaluminiums ist abhängig von seinem Reinheitsgehalt, d. h. Art und Menge der Verunreinigungen besonders an Silizium und Eisen, von der thermischen und mechanischen Vorbehandlung und von der Temperatur. Bei reinstem Aluminium mit 99,968% Al wurde eine höchste Leitfähigkeit von 37,4  $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  bei 20° fest­gestellt. Bei Al 99,5, das heute ausschließlich für Leitungszwecke verwendet wird, ist in hartgezogenem Zustand mit einem Wert von 34,5÷35,7  $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  bei 20° zu rechnen. Sind die Verunreinigungen, z. B. das Silizium, im Aluminium gelöst, bilden sie also Mischkristalle, so ist die Leitfähigkeit wie bei allen festen Lösungen am geringsten. Sie erreicht ihren Höchstwert, wenn durch Glühen bei 250÷300°

das Silizium aus der Lösung als freie Kristalle ausgeschieden ist. Diese Kenntnis macht man sich zunutze, indem man bei der Herstellung von Walzdrähten für Leitaluminiumdrähte die Walztemperatur bei  $300^\circ$  hält.

Die elektrische Leitfähigkeit wird mit steigender Temperatur kleiner und mit fallender Temperatur größer und dementsprechend umgekehrt der spezifische Widerstand mit steigender Temperatur größer und fallender kleiner. Die Widerstandsänderung für  $1^\circ$  ist zwischen 0 und  $100^\circ$  praktisch gleich, so daß der Temperaturkoeffizient ebenfalls als konstant anzusehen ist. Er beträgt für Reinaluminium mit einer Leitfähigkeit von  $35 \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} = 0,00425$  für  $1^\circ$ . Für den praktischen Bereich der Temperaturen unter  $0^\circ$  bis etwa  $-200^\circ$  bleibt der Temperaturkoeffizient wie vorgenannt ebenfalls gleich. Erst bei noch tieferen Temperaturen wird er kleiner.

Reinaluminium ist unmagnetisch.

## B. Aluminiumlegierungen.

**1. Zweistofflegierungen.** a) Kupfer-Aluminium. Durch Zusatz von Kupfer wird die Härte vom Reinaluminium bedeutend gesteigert. Das Zustandsschaubild Cu-Al (Abb. 5) zeigt auf der Aluminiumseite die einfachen Gleichgewichtsverhältnisse zwischen Al und der auftretenden Verbindung  $\text{CuAl}_2$ . Demnach bestehen die praktisch in Frage kommenden Kupfer-Aluminiumlegierungen bis zu 20% Cu aus  $\gamma$ -Mischkristallen und dem Eutektikum. Abb. 6 zeigt das Schlibbild einer Aluminiumlegierung mit 6,5% Cu und 0,7% Fe, in dem die hellen Al-Mischkristalle und das als Netzwerk vorliegende Eutektikum deutlich zu erkennen sind. Durch Ätzung mit 4% iger alkoholischer Pikrinsäure sind die  $\text{CuAl}_2$ -Kristalle dunkel und die  $\text{FeAl}_3$ -Kristalle (in Form chinesischer Schriftzeichen) heller gefärbt. Infolge der geringeren Löslichkeit des Kupfers im Aluminium bei Zimmertemperatur mit 0,4% gegenüber 5,6% bei der eutektischen Temperatur von  $548^\circ$  sind die Kupfer-Aluminiumlegierungen aushärtbar (vergütbar).

Kupfer-Aluminiumlegierungen gibt es fast in jedem Mischungsverhältnis bis zu 20% Cu. Gebräuchliche Legierungen sind in der Tabelle 12 am Schluß des Heftes (Nr. 2 ÷ 8) angegeben.

Spreealuminium (Nr. 2) mit 2% Cu ist eine gieß- und reckbare Legierung und weist schon eine wesentliche Härtesteigerung gegenüber Reinaluminium auf. Die Legierung 4 (Nr. 3) ist eine bei der amerikanischen Marine verwendete Gußlegierung. Das Bahnaluminium (Nr. 4) mit 6% Cu ist noch kalt reckbar. Es besitzt eine gute Verschleißfestigkeit und hat sich daher in Form gezogener Profilstangen als Schleifbügel für elektrische Bahnen bewährt.

Die amerikanische Legierung (Nr. 5) wird fast ausschließlich als Gußlegierung verwendet, da bei diesem Cu-Gehalt etwa die Grenze der ziehfähigen Legierungen gelegen ist. Sie wird zweckmäßig mit Hilfe einer Vorlegierung aus 50% Cu und 50% Al hergestellt, wobei als Höchstgrenze für die Verunreinigungen an Fe: 1%, Pb: 0,3% und Mg: 0,2% anzusehen sind. Die Wärmebeständigkeit dieser Legierung ist gut, ebenso wie die des Gußaluminiums (Nr. 6) mit 11%

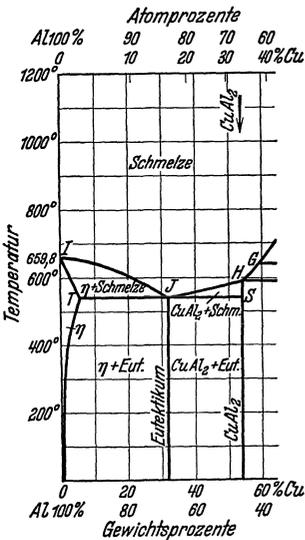


Abb. 5. Zustandsschaubild Kupfer-Aluminium.

Cu, die sich für Automobillkolben gut bewährt. Es lassen sich in diese Legierungen Teile aus Eisen, Messing u. dgl. eingießen.

Bei weiterer Steigerung des Cu-Gehaltes kommt man zu der in England gebräuchlichen Legierung 98 (Nr. 7) mit 12% Cu und zu der Aluminium-Kolbengußlegierung 2 (Nr. 8) mit 16% Cu, die eine beachtliche Brinellhärte und gute Wärmebeständigkeit aufweist, so daß sie besonders für Kolben in Verbrennungskraftmaschinen geeignet ist. Bei noch höheren Cu-Gehalten wird die Brauchbarkeit solcher Legierungen wegen zu großer Sprödigkeit in Frage gestellt.

× 200

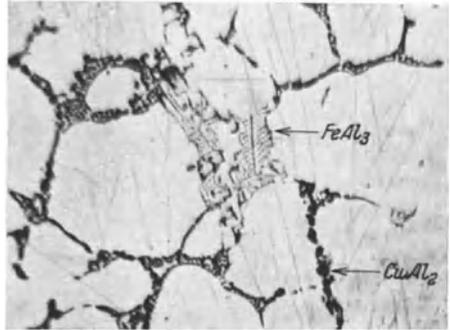


Abb. 6. Schliffbild einer Aluminium-Legierung mit 6,5% Cu und 1% Fe.

b) Zink-Aluminium. Wegen seiner Billigkeit wäre Zink ein geeigneter Legierungszusatz zum Aluminium, doch bieten die reinen Zink-Aluminiumlegierungen keine solchen Vorteile, als daß sie eine weitere Verbreitung gefunden hätten. Erst bei Zn-Gehalten über 10% steigt die Härte stärker an, um ihren Höchstwert bei 30 ÷ 35% zu erreichen. Hierbei ist jedoch das spez. Gewicht mit 3,5 g/cm<sup>3</sup> für Leichtmetalle schon verhältnismäßig sehr hoch. Es kommt hinzu, daß diese Legierungen sehr wenig korrosionsbeständig sind. Als Beispiele sind in der Tabelle 12 einige Legierungen (Nr. 9 ÷ 12) genannt, die jedoch keine praktische Bedeutung haben.

c) Silizium-Aluminium. Silizium hat sich als eines der wirksamsten Legierungszusätze zum Aluminium herausgestellt. Nach dem Zustandsschaubild (Abb. 7) liegt die eutektische Zusammensetzung bei etwa 11,6% Si. Im untereutektischen Gebiet besteht das Gefüge dieser Legierungen aus  $\alpha$ -Mischkristallen, die bei der eutektischen Temperatur von 570° etwa 1,7% Si und bei Raumtemperatur nur 0,05% Si gelöst haben (Abb. 8), und im übereutektischen Gebiet aus freien Si-Kristallen und dem Eutektikum. Jedoch konnte lediglich der Zusatz einer mehr oder weniger großen Menge von Silizium zum Aluminium noch keine Legierung hervorbringen, die anderen Al-Legierungen gegenüber überlegen gewesen wäre. Erst die Erfindung des Silumins

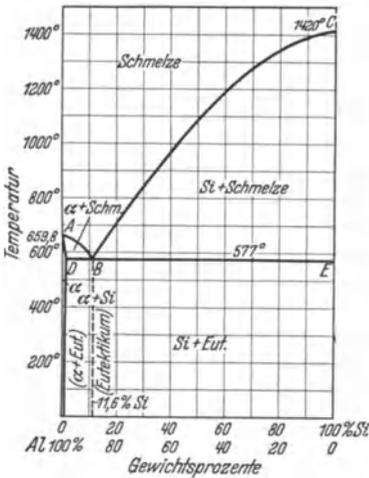


Abb. 7. Zustandsschaubild Silizium-Aluminium.

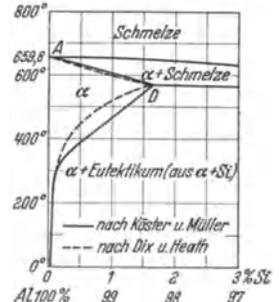


Abb. 8. Teilschaubild Silizium-Aluminium (Al-Seite).

(Nr. 13) durch Aladar Pacz 1920 brachte der Technik eine Si-Al-Legierung mit hervorragenden Eigenschaften. Hierbei handelt es sich um eine Al-Legierung mit etwa 12,5 ÷ 13,5% Si und höchstens 0,8% Fe als Verunreinigung, deren Schmelze kurz vor dem Guß mittels eines Alkalimetalles, auch Alkalisalzes bzw.

Fluorides, veredelt wird. Durch diese Veredelung wird ein sehr feinkörniges Gefüge (Abb. 9) erzielt, dem das Silumin seine guten Festigkeitseigenschaften verdankt. Die sich bei der Veredelung abspielenden metallurgischen Vorgänge sind noch nicht eindeutig geklärt. Das Rohsilumin wird elektrolytisch gewonnen.

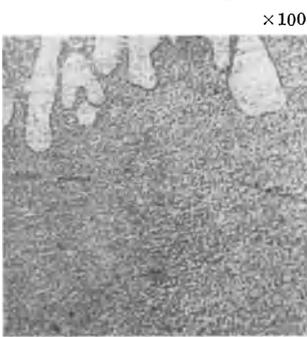


Abb. 9. Schlibbild von Silumin (Die hellen Stellen sind Reinaluminium, die Grundmasse ist Al-Si-Eutektikum).

meist aus weichem Grauguß und die Kerne aus SM-Stahl. Silumin wird zweckmäßig in Graphittiegeln erschmolzen. Eisentiegel sind wegen der Gefahr einer schädlichen Eisenaufnahme nicht zu verwenden.

Silumin wird nicht nur als Formguß, sondern auch als Blech-, Stangen-, Profil- und Nietmaterial weich (31 W) und kalt nachverdichtet (31H<sup>1</sup>/<sub>2</sub> und 31H) geliefert.

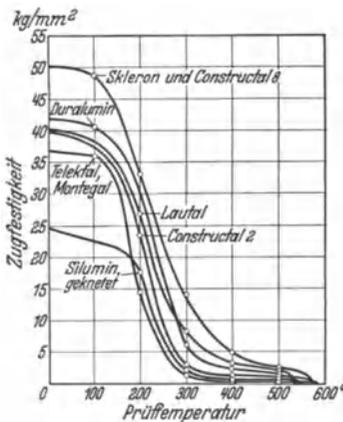


Abb. 10. Warmfestigkeit verschiedener Aluminium-Legierungen.

Für Teile mit hoher Schwingungsbeanspruchung, wie Motorgehäuse u. dgl., hat sich eine Sondergüte, das Kupfersilumin (Nr. 45) mit 0,8% Cu und 0,3% Mn, gut bewährt. Diese geringen Zusätze bewirken bei etwas höherer Härte und geringerer Zähigkeit eine höhere Dauerfestigkeit, ohne daß die gute Gießbarkeit und Korrosionsbeständigkeit in bezug auf die normale Legierung merklich beeinträchtigt wird. In diesem Zusammenhange sei besonders auf die neuesten Forschungen hingewiesen, die zur Erfindung des aushärtbaren Silumins geführt haben.

Durch Zulegieren von 0,3% Mg und 0,5% Mn zum Silumin wird bereits bei der als Silumin-Beta (Nr. 53) bezeichneten Legierung die Dauerfestigkeit etwas

Als Sandguß hergestellt muß das Silumin in jedem Falle bei etwa 720÷780° veredelt werden, die Gußtemperatur soll 700° nicht unterschreiten. Wegen seines geringen Schwindmaßes von 1÷1,14%, seiner guten Düninflüssigkeit und seines guten Formfüllungsvermögens eignet sich Silumin in besonderem Maße für Kokillen- und Spritzguß. Infolge der Abschreckwirkung der Kokille wird hier bereits das erwünschte feinkörnige Gefüge mit den höchsten Festigkeitswerten erreicht, so daß hier in den meisten Fällen eine Veredelung der Schmelze überflüssig ist. Um zu große Abschreckwirkung der Kokille, die zu niedrige Dehnungswerte zur Folge hat, zu mildern, kann der Si-Gehalt durch Aluminiumzusatz bis auf 11% heruntergedrückt werden. Die Kokillen werden auf etwa 350° angewärmt; sie bestehen

Die Festigkeitswerte sind aus Tabelle 12 Nr. 13 zu ersehen. Hierbei ist zu beachten, daß die für Guß angegebenen Werte im allgemeinen nur für die Probestäbe gelten, daß man bei vielgestaltigen Gußstücken dagegen nicht an allen Stellen mit gleich guten Werten rechnen kann.

Die Festigkeitswerte des Silumins bei höheren Temperaturen, die Warmfestigkeit, zeigt Abb. 10. Nach anfänglich langsamer Festigkeitsabnahme zeigt sich bei über 150° ein starker Abfall. Bei 150° sollte man mindestens mit 10facher, bei 200° mit 14facher und bei 250° mit 18facher Sicherheit (bezogen auf die Festigkeit bei Raumtemperatur) rechnen. Die höchste zulässige Betriebstemperatur für Konstruktionsteile soll 250° nicht überschreiten.

erhöht. Durch Aushärten dieser Legierung (510° 3 h Glühen, abschrecken und 20 h bei 150° anlassen) tritt bei der nunmehr als Silumin-Gamma (Nr. 93) bezeichneten Legierung eine rund 100% ige Erhöhung der Härte und Streckgrenze und 40÷50% ige Steigerung der Festigkeit und Dauerfestigkeit ein. Hochbeanspruchte Flugzeugmotorengehäuse werden bereits aus diesem Werkstoff in größerem Umfang hergestellt.

Im Auslande ist Silumin unter dem Namen „Aladar“ (Nr. 14) und „Alpax“ (Nr. 15) bekannt.

Die Verwendungsmöglichkeit für Silumin ist wegen seiner guten Gießfähigkeit, die Wandstärken bis zu 3 mm herunter zuläßt, und wegen seines dichten Gefüges in Verbindung mit seinen guten Festigkeitseigenschaften kaum begrenzt. Weite Absatzgebiete sind dem Silumin wegen seiner Korrosionsbeständigkeit (siehe S. 37) in der chemischen Industrie, im Schiffsbau und Bauwesen erschlossen.

M. V. C. Alloy (Nr. 16) ist eine der Metropolitan-Vickers Electrical Co. in England patentierte Silizium-Aluminiumlegierung, deren Schmelze ähnlich dem Silumin durch Zusatz eines Karbonates oder Bikarbonates der Alkalimetalle, hauptsächlich eines Natrium- oder Kaliumkarbonates, veredelt wird. In seinen Eigenschaften entspricht dieses Leichtmetall ebenfalls dem Silumin, läßt sich bei guten Gießeigenschaften auch schmieden, walzen, pressen und ziehen und soll der Korrosion durch atmosphärische Einflüsse und Seewasser gut widerstehen.

d) Eisen-Aluminium. Eisen ist ein ständiger Begleiter des Aluminiums und in geringen Mengen als Verunreinigung anzusehen. Als Legierungszusatz ist es ungeeignet, da es das Aluminium hart und spröde macht, so daß es technisch brauchbare Legierungen dieser Art nicht gibt. Dies beruht darauf, daß Eisen praktisch im Aluminium unlöslich ist und mit ihm eine harte und spröde Kristallart, das Eisenaluminid  $\text{FeAl}_3$ , bildet. Mikrographisch ist das Eisenaluminid als Nadeln — in der Anordnung chinesischen Schriftzeichen ähnelnd — zu erkennen (Abb. 11).

e) Magnesium-Aluminium. Magnesium ist ein außerordentlich wirkungsvoller Legierungszusatz zum Aluminium. Bei hohen Gehalten an Magnesium, wie beim Magnalium (Nr. 20), werden zwar die mechanischen Eigenschaften und die Schnittbearbeitbarkeit gegenüber Reinaluminium wesentlich verbessert, doch haben sich diese Legierungen seinerzeit wegen ihres geringen Korrosionswiderstandes nicht einführen können. Dies lag offenbar daran, daß diese Legierungen nicht genügend rein hergestellt waren. Neuerdings ist im Hydronalium (Nr. 17) eine solche Legierung neu erstanden, die bei geringem spez. Gewicht und hohen Festigkeitseigenschaften sehr korrosionsbeständig ist, namentlich gegen Seewasser. Hydronalium läßt sich schon bei Zimmertemperatur weitgehendst und bei 350÷450° sehr stark verformen. Hydronalium ist in jeglicher Stangen- und Profilform bis zu Wandstärken von 2 mm herunter, gepreßt und gezogen, und in Blechen bis zu 0,3 mm Dicke herunter lieferbar. Verbindungen sind am zweckmäßigsten durch Nietten mit dem gleichartigen Werkstoff Hy 5 oder bei stärkeren Beanspruchungen mit Hy 7 und Hy 9 herzustellen. Einfache Schweißungen mit dem Schweißmittel Autogal (siehe S. 33) sind möglich. Neuerdings wird eine neue Hydronalium-Legierung (HyV) entwickelt, die aushärtbar ist und über 50 kg/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit bei guter Korrosionsbeständigkeit besitzen soll.

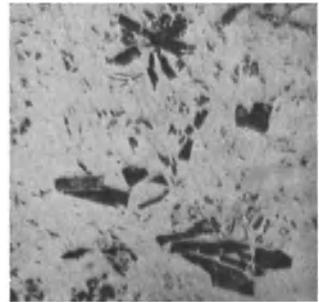


Abb. 11. Schliffbild einer Aluminium-Legierung mit 5,5% Fe.

Duranalium (Nr. 19) ist eine Legierung, die in ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften dem Hydronalium entspricht. Sie ist überall da am Platze, wo Spitzenwerte an Korrosionswiderstand ausschlaggebend sind, wie beim Boots- und Schiffbau, Fahrzeugbau, Bergbau und in der chemischen Industrie. Schließlich gehört noch die BSS-Legierung (Nr. 18) zu der gleichen Legierungsgruppe mit den gleichen Eigenschaften, wie die beiden vorstehend genannten Legierungen.

f) Aluminium und die übrigen Legierungszusätze. Silber-Aluminiumlegierungen werden von der Atmosphäre nicht angegriffen, so daß 4% Silber enthaltendes Aluminium in der Feinmechanik zur Anfertigung von Waagebalken, Spiegelsextanten u. dgl. und in der Zahntechnik verwendet wird. Eine 3% ige Silber-Aluminiumlegierung hat sich für feine Uhrfedern bewährt, und für Haushalt- und Tafelgeräte besteht als Ersatz für Reinsilber eine Legierung mit  $33\frac{1}{3}\%$  Silber unter dem Namen Tiers Argent (Nr. 22).

Zusätze von Nickel, Kobalt, Molybdän und Wolfram machen das Aluminium spröde, so daß hieraus noch keine technisch brauchbaren Zweistofflegierungen entstanden sind. Zinn wirkt zwar auf die mechanischen Eigenschaften günstig ein, doch besitzen derartige Legierungen keine Korrosionsbeständigkeit. Blei, Wismut und Kadmium legieren sich mit Aluminium gar nicht. Man kann sagen, daß wohl auch die Legierungsmöglichkeiten mit allen übrigen Elementen zur Herstellung von Aluminium-Zweistofflegierungen mehr oder weniger ausprobiert sind; jedoch haben alle diese Versuche zu keiner Legierung mit Eigenschaften geführt, die nicht auch von den bewährten Aluminiumlegierungen mit Kupfer, Silizium und Magnesium einfacher und billiger zu erreichen sind. Deshalb haben solche Leichtmetallegerungen bisher keine weitere Verbreitung in der Technik gefunden.

**2. Mehrstofflegierungen.** a) Unausgehärtete (unvergütete) Legierungen. Die Mehrstofflegierungen, die zwei und mehr Zusätze zum Reinaluminium erhalten, sind naturgemäß noch viel zahlreicher als die Zweistofflegierungen. Die Legierungskunde dieser Leichtmetallegerungen hat sich anfänglich durchaus auf der Linie von Tastversuchen mit Zufallsergebnissen bewegt, und erst in letzter Zeit sind durch umfangreiche Untersuchungen die wissenschaftlichen Grundlagen für eine planmäßige Erforschung geschaffen worden. Die Folge hiervon war, daß sich die Zahl der marktgängigen Legierungen wesentlich verringert hat, sei es, daß die vielen Legierungen zugesagten Eigenschaften einer genauen Nachprüfung nicht standgehalten haben, sei es, daß die bei manchen Vielstofflegierungen erreichten Verbesserungen bestimmter Eigenschaften ebenso gut auch bei einfachen, ohne Schwierigkeit herstellbaren Legierungen erreicht werden konnten.

In diesem Abschnitt werden die Mehrstofflegierungen behandelt, die im allgemeinen im unausgehärteten Zustand verwendet werden. Dies schließt jedoch nicht aus, daß diese Legierungen z. T. auch unter bestimmten Voraussetzungen aushärtbar (vergütbar) sind (siehe S. 16). Nur ist bei diesen Legierungen oftmals die Wirkung der Aushärtung (Vergütung) nicht so erheblich, als daß sich der größere Aufwand an Mehrarbeit durch das Abschrecken und Anlassen lohnte.

Gebräuchliche Gußlegierungen sind die Kupfer-Zink-Aluminiumlegierungen, von denen die Deutsche Legierung (Nr. 38) am häufigsten verwendet wird. Eine gute Gießbarkeit ist gewährleistet, wenn der Kupfergehalt an der unteren und der Zinkgehalt an der oberen Grenze gehalten wird und umgekehrt. Schädliche Verunreinigungen sind Eisen über 1%, das Risse verursacht, Blei über 0,3%, das blasigen Guß erzeugt, und Magnesium über 0,2%, das den Guß spröde macht. Das Kupfer wird am besten mit einer 50% igen Vorlegierung eingebracht und

das Zink erst kurz vor dem Guß zugegeben, um Zinkverdampfung zu vermeiden.

Die Deutsche Legierung eignet sich wegen ihrer geringen Warmfestigkeit besser zum Gießen in die nachgiebigen Sandformen und weniger gut als Kokillen- oder gar Spritzguß. Die Warmfestigkeit beträgt etwa:

Temperatur . . . . .	20°	250°	350°
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	15	7	2,5

Infolge ihrer verhältnismäßig hohen Streckgrenze hat sie sich für viele größere Konstruktionsteile, selbst solche mit wechselnder und stoßweiser Belastung, wie z. B. für Motorgehäuse u. dgl., als brauchbar erwiesen.

Legierungen mit anderen Kupfer- und Zinkgehalten, wie Al-Guß 1 (Nr. 24) und Al-Guß 2 (Nr. 25) entsprechen im großen und ganzen in ihren Eigenschaften der Deutschen Legierung. Es geht aber heute das Bestreben dahin, eine einheitliche „Deutsche Legierung“ mit gleichem Kupfer- und Zinkgehalt von je 6% zu schaffen.

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete für Leichtmetalle sind die Kolben bei Verbrennungskraftmaschinen, besonders bei Automobil- und Flugmotoren. An diesen lebenswichtigen Konstruktionsteil werden sehr hohe Anforderungen gestellt, die allesamt restlos zu erfüllen sich kein Werkstoff rühmen kann; doch haben sich immerhin eine Anzahl sorgfältig erprobter Leichtmetallegerierungen hierfür gut bewährt. Neben dem Werkstoff spielt die konstruktive Gestaltung des Kolbens eine ausschlaggebende Rolle, auf die im Rahmen dieses Büch-

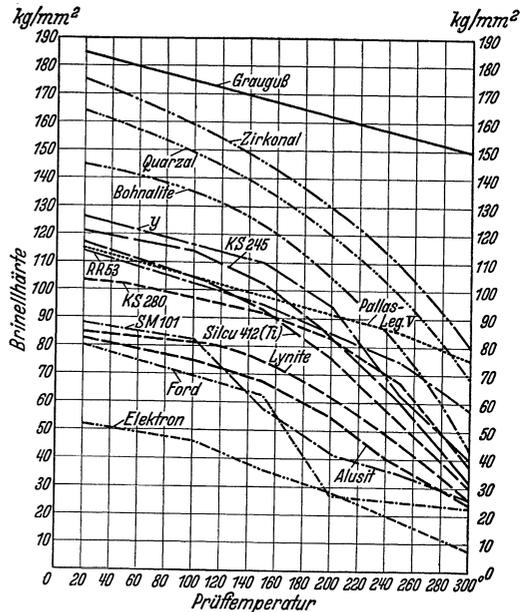


Abb. 12. Warmhärte von Kolbenwerkstoffen (Pallas).

leins aber nicht eingegangen werden kann. Von der Werkstoffseite her kommt es auf folgende Punkte an: das spez. Gewicht muß möglichst niedrig sein, um geringe Massenbeschleunigung zur Erreichung hoher Drehzahlen zu bekommen. Die Wärmeausdehnung muß gering sein, damit das Kolbenspiel sehr klein gehalten werden kann, um das Klappern der kalten bzw. das Fressen der warmen Kolben zu verhindern. Die Wärmeleitfähigkeit dagegen soll möglichst hoch sein, da der Kolbenboden sonst überhitzt wird oder gar durchbrennt. Die Verschleißfestigkeit muß genügend groß sein, damit Kolben und Zylinder sich nicht rasch abnutzen. Und schließlich muß die Warmhärte, d. i. die Härte bei der Betriebstemperatur des Kolbens, möglichst hoch sein, damit der Boden nicht beschädigt wird und die Ringnuten nicht ausgeschlagen werden. Die Betriebstemperaturen liegen je nach der Konstruktion der Kolben am Kolbenboden etwa zwischen 200 und 300° und am Kolbenmantel etwa zwischen 150 und 200°. Der Härtezustand der einzelnen Kolbenwerkstoffe bei diesen Temperaturen ist aus der Abb. 12 zu ersehen. Die Prüfbedingungen, unter denen die Warmhärte durch Kugeldruckversuche festgestellt wird, können die Ergebnisse wesentlich be-

einflussen, so daß Warmhärtewerte aus Prospekten ohne nähere Angaben über die Art der Erwärmung des Prüfstückes und die Dauer der Belastung nicht ohne weiteres vergleichbar sind und zu Trugschlüssen führen können. Zu gleichmäßigen und vergleichbaren Ergebnissen gelangt man, wenn der Prüfling im Öl- oder Metallbad auch während der Prüfdauer von mindestens 1 min erwärmt wird.

Die Kolbenlegierungen lassen zwei Hauptgruppen erkennen: diejenigen auf Kupfer-Aluminiumbasis und diejenigen auf Silizium-Aluminiumbasis. Zu jenen gehören Al-Kolbenguß 1 (Nr. 26), Al-Kolbenguß 3 (Nr. 27) und die Amerikanische Kolbenlegierung (Nr. 30), die bis zu 20% Cu enthält; weiterhin Bohnalite (Nr. 34), die auch im ausgehärteten (vergüteten) Zustand (Nr. 75) verwendet wird, die KS-Kolbenlegierung (Nr. 42), Titanal (Nr. 59) und Zirkonal (Nr. 62), die alle neben anderen Bestandteilen hauptsächlich Kupfer enthalten. Zu den Legierungen auf Si-Al-Basis gehören diejenigen, die als Hauptbestandteil Silizium enthalten. Dieses hat sich als ein sehr wirksamer Zusatz herausgestellt,

× 150

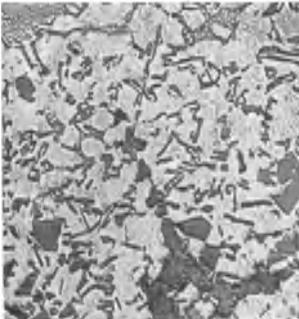


Abb. 13. Schlibbild der Aluminium-Kolbengußlegierung 4 (Nr. 28).

da derartige Kolbenlegierungen einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und eine hohe Verschleißfestigkeit aufweisen. Der Gefügebau der hochsiliziumhaltigen Legierungen gewährleistet auch gute Laufeigenschaften, da bei diesen wie bei guten Lagermetallen in einer weichen Grundmasse harte Kristalle eingebettet sind. Abb. 13 zeigt das Gefüge von Al-Kolbenguß 4 (Nr. 28), dessen Grundmasse aus weichem Aluminium mit eingebetteten, harten Kristalliten komplexer Verbindungen besteht. Diese Legierung wird auch in ausgehärtetem (vergütetem) Zustand (Nr. 66) für Kolben verwendet, wodurch eine Härtesteigerung bis auf 140 kg/mm<sup>2</sup> erreicht wird. Die Vergütung besteht im Abschrecken von 500° und 15stündigem Anlassen bei 150°. Zu der Gruppe der hochsiliziumhaltigen Kolbenlegierungen

gehört noch das Alusil (Nr. 29) und die KS-Kolbenlegierung 245 (Nr. 43).

Eine korrosionsfeste Legierung, die sich daher besonders für die chemische Industrie, für Bedachungszwecke usw. eignet, ist Aluman (Nr. 31). Aluman-Spezial (Nr. 32) führt sich in der Bauindustrie und chemischen Industrie ein. Cindal (Nr. 36) ist eine durch Chlorbehandlung veredelte Legierung, die sehr korrosionsbeständig sein soll. Cromal (Nr. 37) enthält als wesentlichen Bestandteil Chrom, das mit Hilfe einer im Hochfrequenzofen erschmolzenen hochchromhaltigen Vorlegierung dem Aluminium zulegiert wird. Diese Legierung eignet sich besonders für Kokillenguß, ist auch kalt- und warmknetbar und soll beständig gegen Soda, Alkalien und Seewasser sein. Eine Dreistofflegierung mit Kupfer- und Siliziumzusatz ist Gußaluminium (Nr. 39), das gute Gießbarkeit besitzt und zum Eingießen von Teilen aus Eisen, Messing usw. geeignet ist. Helumin (Nr. 40) soll hohe Korrosionsbeständigkeit besitzen und sich zur Herstellung von Armaturen für Kalt- und Warmwasser gut eignen. Es läßt sich auf Hochglanz polieren, den es unverändert beibehält, so daß es für Beschlagteile, kunstgewerbliche Zwecke u. dgl. in Frage kommt. Helumin wird in Blechen, Bändern, Stangen, Drähten, Rohren und allen Gußarten hergestellt.

KS-Seewasser (Nr. 44) ist, wie schon ihr Name sagt, eine gegen chemische Angriffe und besonders gegen Seewasser sehr beständige Legierung. Diese Wirkung scheint darauf zu beruhen, daß die Gefügebestandteile keine Lokalelemente

bilden, und daß der Antimonzusatz die Bildung einer Schutzschicht bewirkt, die das Weitergreifen einer Korrosion verhindert.

Der Schmelzprozeß dieser Legierung erfordert besondere Aufmerksamkeit. Es sind Graphittiegel in gut regulierbaren elektrischen koks- oder ölgefeuerten Öfen zu verwenden. Schmelztemperatur nicht über  $760^{\circ}$ . Das Metallbad wird zweckmäßig mit Salmiak oder Chlorzink gereinigt. Die Gießtemperatur soll zwischen  $720$  und  $760^{\circ}$  liegen.

Schmiede- und Preßarbeiten sind bei  $450^{\circ}$  vorzunehmen. Die Legierung läßt sich mit einem Kadmium-Zinklot (25% Kadmium und 75% Zink) zwar auch löten, doch ist die Lötstelle in der Festigkeit geringer und auch weniger korrosionsbeständig als der Werkstoff selbst. Auch autogenes Schweißen mit Azetylen oder Wasserstoffschweißbrenner ist einwandfrei ausführbar, wobei die Temperatur des Werkstückes  $500^{\circ}$  möglichst nicht überschreiten soll. Am zweckmäßigsten werden jedoch Verbindungen durch Nieten aus demselben Werkstoff hergestellt und dabei die Nieten kalt geschlagen.

Die KS-Seewasserlegierung besitzt eine bemerkenswerte Warmfestigkeit, wie aus Tabelle 3 hervorgeht:

Tabelle 3. Warmfestigkeit der KS-Seewasserlegierung.

Prüftemperatur . . .	$20^{\circ}$	$100^{\circ}$	$200^{\circ}$	$300^{\circ}$	$350^{\circ}$	$400^{\circ}$	$500^{\circ}$
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	18	18	18	17	14	11	6
Dehnung % . . . . .	2	2	2	3	5	9	27
Brinellhärte kg/mm <sup>2</sup>	66	66	61	30	23	13	—

KS-Seewasser wird in Form von Gußstücken, Blechen, Bändern, Rund- und Profilstangen, Rohren, Drähten und Nieten hergestellt. Hauptanwendungsgebiete sind der Seeschiffbau und Luftfahrzeugbau, die Salzindustrie, die chemische und Nahrungsmittelindustrie.

Pantal ist eine Legierung, die sowohl unausgehärtet (unvergütet) (Nr. 50) als auch ausgehärtet (vergütet) (Nr. 91) verwendet wird. Ausgehärtet (vergütet) wird sie durch Abschrecken von  $500^{\circ}$  mit nachfolgendem Anlassen bei  $120 \div 130^{\circ}$ . Diese Legierung wird hauptsächlich für Verkleidungsbleche, Geräte und Beschläge verwendet, weniger als Konstruktionsmaterial. Ihre Korrosionsbeständigkeit ist vorzüglich.

Die Sonderlegierung 41 (Nr. 54) wird in den Fällen zur Herstellung von Gegenständen des täglichen Bedarfs herangezogen, wenn Reinaluminium nicht genügt, um hohe Griffestigkeit zu erreichen. Sie ist sehr beständig und gut polierfähig.

Die Spritzguß-Aluminiumlegierungen (Nr. 55  $\div$  58) sind in ihrer Zusammensetzung so gewählt, daß sie den besonderen Anforderungen des Spritzgußverfahrens gewachsen sind. Infolge der Unnachgiebigkeit der Metallformen müssen die Legierungen ein niedriges Schwindmaß und eine hohe Warmfestigkeit besitzen, um die während der Erstarrung in der Form auftretenden Spannungen aufnehmen zu können und Warmrisse zu verhindern. Die gebräuchlichen Leichtmetall-Spritzlegierungen enthalten Kupfer und Silizium und als Zusatz zur Erhöhung der Zähigkeit in der Wärme Nickel. Besonders ist darauf zu achten, daß die flüssigen Legierungen in den eisernen Behältern der Gießmaschinen nicht zuviel Eisen aufnehmen, da hierdurch ihre Zähigkeit stark vermindert würde.

Ultralumin (Nr. 60) ist eine Legierung, die unausgehärtet (unvergütet) und ausgehärtet (vergütet) verwendet wird. Die Aushärtung (Vergütung) wird durch Abschrecken von  $480 \div 560^{\circ}$  und nachfolgendes Anlassen bei  $140 \div 170^{\circ}$  während  $12 \div 80$  h erreicht. Diese Legierung wird in folgenden Arten hergestellt:

U I und U II: gewalzt, gezogen, gepreßt Wärmeausdehnungskoeffizient und großer  
 und geschmiedet. U II ist seewasserbeständig. Härte.  
 U III als Sandguß, seewasserbeständig. U V als Kokillen- und Spritzguß.  
 U IV als Kolbenwerkstoff mit geringem

b) Ausgehärtete (vergütete) Legierungen. Dem Aluminium und seinen Legierungen waren zunächst große Anwendungsgebiete verschlossen, da die Festigkeitseigenschaften nicht diejenigen von Eisen und Stahl erreichen konnten. Hierin trat eine grundsätzliche Änderung ein, als die aushärtbaren (vergütbaren) Aluminiumlegierungen bekannt wurden, bei denen durch eine geeignete Warmbehandlung die Festigkeitseigenschaften ganz wesentlich verbessert werden können. Diese ganz bedeutende und einzigartige Entdeckung gelang zuerst dem Deutschen Alfred Wilm 1909 nach langjährigen Forschungsarbeiten. Er erkannte, daß bei seiner als „Duralumin“ patentierten, magnesiumhaltigen Legierung durch Glühen, Abschrecken und nachfolgendes, mehrere Tage langes Lagern bei Raumtemperatur, die sog. Aushärtung oder Vergütung mit natürlicher oder selbsttätiger Alterung, eine sehr große Härtesteigerung zu erreichen ist. An die Stelle der natürlichen Alterung tritt bei fast allen andern vergütbaren Legierungen die künstliche Alterung, die nach dem Abschrecken in einer nur Stunden währenden Erwärmung auf etwa  $50 \div 160^\circ$  besteht. Nach dieser großartigen Entdeckung kamen naturgemäß eine große Anzahl aushärtbarer (vergütbarer) Legierungen unter den verschiedensten Namen auf den Markt, von denen bisher jedoch noch keine, das muß zur Ehre der Wilmschen Erfindung gesagt werden, das Duralumin übertroffen hat.

Die Erklärung der Aushärtungsvorgänge bis in alle Einzelheiten ist bis heute noch nicht restlos gelungen, doch ist man im allgemeinen zu folgender Auffassung gelangt: Die Aushärtungsfähigkeit von Aluminiumlegierungen ist von dem Vorhandensein bestimmter Legierungszusätze, wie Mg, Si, Cu, Zn und anderen abhängig, die allein oder gemeinsam bei höheren Temperaturen in stärkerem Maße als bei Raumtemperatur im Aluminium gelöst sind. Wird nun durch schnelle Abkühlung bzw. durch Abschrecken die Ausscheidung der Legierungsbestandteile zum vollständigen Konzentrationsausgleich verhindert, dann befindet sich die Legierung im unterkühlten, instabilen Zustand. Der stabile Gleichgewichtszustand wird erst durch Lagern bei natürlicher Alterung und durch Anlassen bei künstlicher Alterung dadurch erreicht, daß sich aus der übersättigten Lösung die Teilchen dispers (in feiner Verteilung) aus der Grundmasse ausscheiden. Hierdurch werden die Gleitflächen blockiert und die Festigkeits- und Härtesteigerungen hervorgerufen. Im nachfolgenden werden die wesentlichen aushärtbaren (vergütbaren) Aluminiumlegierungen besprochen.

Aeron (Nr. 63) ist eine aushärtbare Aluminiumlegierung, die in Form von Blechen, Stangen und Profilen verwendet wird. Es wird nach der Kaltverformung durch Abschrecken von etwa  $500^\circ$  mit darauffolgendem künstlichen Altern bei  $100 \div 120^\circ$  ausgehärtet und durch Erwärmung auf  $300 \div 350^\circ$  weichgeglüht. Die Dehnung mit  $18 \div 25\%$  ist so gut, daß es als Konstruktionswerkstoff für solche Zwecke in Frage kommt, bei denen es auf niedrigen Formänderungswiderstand bzw. gute Kaltformbarkeit ankommt.

Für elektrische Leitungszwecke sind in den letzten Jahren einige aushärtbare Aluminiumlegierungen entwickelt worden, die den hohen Anforderungen, die an einen solchen Werkstoff in bezug auf hohe Zugfestigkeit bei genügender Zähigkeit, hohe elektrische Leitfähigkeit und bei Freileitungen auch auf gute Korrosionsbeständigkeit zu stellen sind, gerecht werden sollen. Zu diesen Legierungen gehören: Aldrey (Nr. 64), das nach gründlicher Durchknetung des Gußblockes

durch Abschrecken von  $350 \div 550^\circ$  und Anlassen bei  $120 \div 200^\circ$  ausgehärtet wird. Die höchsten mechanischen Gütewerte werden durch starkes Kaltrecken zwischen dem Abschrecken und Anlassen bei der Herstellung von Drähten erreicht. Aber auch ausgehärtete Preßteile mit beachtlichen Härtewerten sind aus dieser Legierung herzustellen. In Frankreich sind für elektrische Leitungen die Drahtlegierungen Almelec (Nr. 68) und Alucable (Nr. 70) bekannt. Almelec wird bei  $400^\circ$  zu Walzdraht verarbeitet. Sodann wird der Draht von  $560^\circ$  in kaltem Wasser abgeschreckt und 4 h lang in einem Ölbad von  $175^\circ$  angelassen. Hierauf wird der Draht auf den gewünschten Drahtdurchmesser weitergezogen und nochmals während 6 h bei  $165^\circ$  angelassen, worauf er seinen endgültigen und beständigen Zustand erreicht hat. Auch aus der Legierung Aludur 533 (Nr. 71) werden Drähte für Hochspannungsfreileitungen mit einer Zugfestigkeit von  $30 \div 35 \text{ kg/mm}^2$  und einer elektrischen Leitfähigkeit von  $28 \div 33 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$  her-

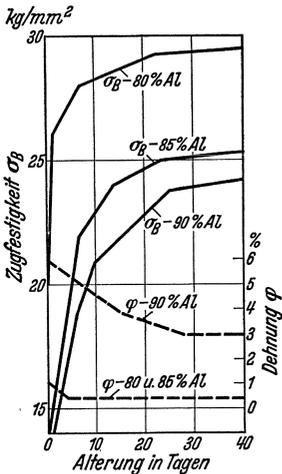


Abb. 14. Einfluß der Alterungsdauer auf die Festigkeitseigenschaften von Alneon.

gestellt. Schließlich sind noch die Legierungen Montegal (Nr. 89) und Telectal (Nr. 96) zu erwähnen.

Selbstaushärtende Gußlegierungen sind Alneon (Nr. 69) und Neonium (Nr. 90), die ihre höchsten Festigkeitswerte durch selbsttätige Alterung, bei Alneon während 2 bis 4 und bei Neonium während 2 bis 3 Wochen, erhalten. Den Einfluß der Alterungsdauer auf die Festigkeitswerte zeigen die Abb. 14 und 15.

Aludur (Nr. 71) ist eine nach dem Kneten aushärtbare Aluminiumlegierung mit natürlicher Alterung wie das Duralumin. Die Aushärtung

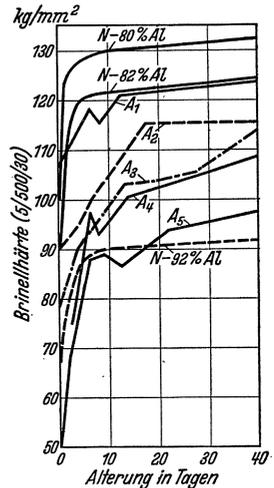


Abb. 15. Einfluß der Alterungsdauer auf die Brinellhärte von Alneon (A<sub>1</sub>—A<sub>5</sub>) und Neonium (N).

wird hier wie dort in gleicher Weise durch Abschrecken von  $500 \div 520^\circ$  in Wasser mit darauffolgender natürlicher Alterung vorgenommen. Die Ausglühtemperatur beträgt  $330 \div 350^\circ$ . Durch Warmverformung bei  $400 \div 450^\circ$  lassen sich Preßteile, Rund- und einfache Profilstangen und Bleche herstellen. Die Verwendung von Aludur 533 für elektrotechnische Zwecke wurde oben bereits erwähnt.

Alufont (Nr. 72) ist eine aushärtbare Gußlegierung mit hoher Festigkeit und Härte. Die Legierungen Anticorodal (Nr. 73) und Avional (Nr. 74) erhalten ihre gesteigerten Festigkeitseigenschaften durch mechanische und thermische Behandlung. Avional wird verwendet, wenn hohe Festigkeit und Dehnung, und Anticorodal, wenn hohe Biegefähigkeit und Korrosionsbeständigkeit verlangt wird. Avional ist zwar weniger widerstandsfähig gegen chemische Angriffe als Anticorodal, doch diesem überlegen, wenn unmittelbare Berührung mit Eisen oder anderen Metallen in Frage kommt. Beide Legierungen werden zu Blechen, Bändern, Profilen, Stangen, Rohren, Schmiedestücken, Draht, Nieten, Nägeln und Schrauben verarbeitet. Anticorodal wird nach der Verformung folgendermaßen warm ausgehärtet:

- Güte *W*: 6 ÷ 14 h Ausglühen bei 330 ÷ 380° und an der Luft langsam abkühlen lassen.  
 „ *B*: Glühen bei 545 ÷ 565°, Abschrecken in Wasser und 10 ÷ 14 h Anlassen bei 155 ÷ 160°.  
 „ *C*: Thermische Behandlung wie für *B* und dann mindestens 50% kalt nachrecken (nur als Blech in kleinen Abmessungen herstellbar).

Die Temperatur muß für das Gelingen der Aushärtung genau kontrolliert werden. Biegen, Treiben, Drücken und Tiefziehen sollte möglichst nur im weichen Zustand ausgeführt werden. Zwischenglühen bei etwa 330 ÷ 380°. Zum Schmieden, Pressen und Walzen ist eine Temperatur von 430 ÷ 480° erforderlich; das Werkstück muß gut und gleichmäßig durchwärmt sein. Eine nachfolgende Aushärtung ist nach den vorstehenden Angaben wie für Güte *B* auszuführen.

Bondur (Nr. 76) ist dieselbe selbsttätig alternde Legierung wie das Duralumin und wird in gleicher Weise von 500 ÷ 520° in Wasser abgeschreckt und durch ein darauffolgendes 5tägiges Lagern bei Raumtemperatur auf seine hohen Festigkeitswerte gealtert. Diese können dann durch kaltes Nachrecken noch wesentlich gesteigert werden. Dieser Werkstoff besitzt hohe Ermüdungs- und Streckgrenze und wird in der Luftfahrtindustrie vielfach verwendet. Werkstattbehandlung und -verarbeitung sind die gleiche wie bei Duralumin. Albondur (Nr. 77) ist das mit Aluminium plattierte Grundmetall Bondur, wodurch ein Werkstoff mit höchster Festigkeit und höchster Korrosionsbeständigkeit geschaffen ist. Der Aluminiumüberzug wird in schweißwarmem Zustand auf das Kernmetall aufgebracht, so daß ein Lösen oder Abblättern dieser Schicht bei Verformung ausgeschlossen ist. Die Festigkeit des plattierten Werkstoffes ist je nach der Plattierstärke 5 ÷ 10% geringer als beim unplattierten Werkstoff.

Constructal 2 (Nr. 79) ist eine aushärtbare Legierung, die nur etwa 3% veredelnder Zusätze enthält und aus diesem Grunde in hohem Maße kaltbildsam ist.

Constructal 8 (Nr. 80) erreicht wegen der größeren Menge an Zusatzstoffen durch thermisch-mechanische Behandlung höhere Festigkeitswerte als Constructal 2, ist aber dadurch weniger gut kaltbildsam, so daß die Form zweckmäßig vor der Vergütung zu geben ist. Beide Legierungen altern in beträchtlichem Maße selbsttätig bei Raumtemperatur. Dadurch können Nietverbindungen mit dem gleichen Werkstoff ausgeführt werden, ohne daß die Niete nachträglich künstlich gealtert zu werden brauchen, was an fertigen Stücken meist nur schwer auszuführen ist.

Die älteste aushärtbare Leichtmetallegering ist das Duralumin (Nr. 81), eine selbsttätig alternde Legierung, deren Aushärtungsfähigkeit jedoch eine gute Durchknetung durch Walzen, Schmieden oder Pressen voraussetzt; in gegossenem Zustand ist eine nennenswerte Aushärtung nicht möglich. Die Aushärtung wird nach der Formgebung am fertigen Stück vorgenommen, woran sich gegebenenfalls bei Drähten, Stangen, Blechen u. dgl. noch ein Kaltrecken zur Steigerung der Festigkeit anschließen kann. Erhitzt wird auf die Abschrecktemperatur von 505 ÷ 520°, die nur bei der Sonderlegierung DM 31 etwas niedriger ist (500 ÷ 505°), zweckmäßig in einem Salzbadofen, und zwar bei kleineren Stücken etwa 15 ÷ 20 min und bei größeren Schmiede- und Preßstücken bis zu 1 h. Hierauf werden die Gegenstände in Wasser abgeschreckt und sorgfältig von etwa anhaftenden Salzresten gereinigt, um spätere Korrosionen zu vermeiden. Die Wirkung dieses ersten Teiles der thermischen Behandlung, Erhitzung mit nachfolgender Abkühlung, auf weichgeglühtes und hartgewalztes Duralumin zeigt die Abb. 16. Der zweite Teil der Vergütungsbehandlung besteht in einer mehrtätigen, ruhigen Lagerung, bei der Härte und Festigkeit stark ansteigen ohne Rückgang der Dehnung. Abb. 17 läßt erkennen, daß die Verfestigung nach 1 bis 2tägiger Lagerung sehr stark zunimmt, bis sie nach etwa 5 Tagen ihren Höchstwert erreicht

hat. Duralumin kann wiederholt ausgeglüht und ausgehärtet werden, ohne daß die Aushärtungsfähigkeit Einbuße erleidet.

Die mechanischen Güterwerte sind in Tabelle 12 Nr. 81 genannt. Physikalische Werte sind:

Schmelzpunkt etwa . . . . .	650°
Wärmeleitfähigkeit . . . . .	120 ÷ 125 $\frac{\text{Cal}}{\text{m} \cdot \text{st} \cdot \text{Grad}}$
Mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	
zwischen 20 und 100°:	23,7 · 10 <sup>-6</sup>
„ 20 „ 250°:	24,9 · 10 <sup>-6</sup>
„ 20 „ 500°:	26,2 · 10 <sup>-6</sup>

Duralumin ist praktisch unmagnetisch. Es besitzt gemäß folgender Aufstellung (siehe auch Abb. 18) eine gute Warmfestigkeit:

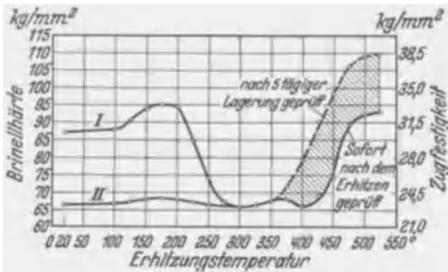


Abb. 16. Einfluß der Erhitzung auf Härte und Zugfestigkeit von Duralumin. I = hartgewalzt, II = weich geglüht.

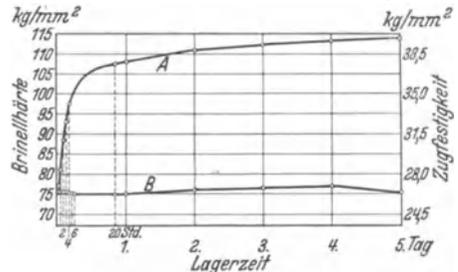


Abb. 17. Zunahme der Härte und Zugfestigkeit von Duralumin während des Alterns (erhitzt auf 500° und in Wasser abgeschreckt). A = magnesiumhaltige Leg., B = magnesiumfreie Leg.

Tabelle 4. Warmfestigkeit von Duralumin.

Temperatur . . . . .	20°	100°	150°	200°	250°	300°
Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	42	38	35	28	18	8
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	48	42	38	31	20	9
Dehnung % . . . . .	12	12	14	8	15	31

Festigkeit und Dehnung bei Temperaturen unter 0° erfahren sogar eine Steigerung, was bei Verwendung bei Luftfahrzeugen in großen Höhen oder in Polarregionen eine Erhöhung der Sicherheit bedeutet.

Tabelle 5. Kaltfestigkeit von Duralumin.

Temperatur . . . . .	+ 20°	0°	− 20°	− 40°	− 80°	− 190°
Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	24	23,6	24	24,6	25,5	32,3
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	42,5	43	43,7	44	44,4	53,7
Dehnung % . . . . .	21,9	21,8	23,1	22,1	22,7	28,7

Für die richtige Werkstattbehandlung des Duralumins ist die Kenntnis seiner besonderen Eigenschaften notwendig. Die Glüh­temperatur zur Erzielung seines weichsten Zustandes liegt bei 340 ÷ 360°. Für Tiefzieh- und Drückarbeiten sind die Sonderlegierungen H und K geeignet. Die Schmiedetemperatur beträgt 430 ÷ 470°, wobei mit einer größeren Schlagarbeit als bei Eisen und Stahl gerechnet werden muß. Ursache dieser Erscheinung ist nicht so sehr die geringere Schmiedetemperatur als vielmehr der größere Verformungswiderstand, der auch häufigere Zwischenglühungen notwendig macht.

Ausgehärtet und selbst kalt nachgereckt läßt Duralumin sich kalt biegen bis auf Krümmungsradien der 2½ bis 3fachen Blechdicke. Bei Erwärmung über 150° wird die durch die Aushärtung hervorgerufene Festigkeits- und Härte­steigerung wieder rückgängig gemacht (siehe Abb. 19). Duralumin läßt sich zwar

löten und schweißen, doch besitzen die Verbindungsnahte, die nur im unaushärtbaren Gußzustand vorliegen, weit geringere Festigkeit als der ausgehärtete Werkstoff. Verbindungen durch Schweißen und Löten sind daher nicht zu empfehlen, sondern möglichst durch Schrauben und Nieten zu ersetzen. Die Nieten vom gleichen Werkstoff sollen kalt unmittelbar nach dem Abschrecken geschlagen werden, da sie dann am weichsten sind. In den geschlagenen Nieten setzt hierauf durch natürliche Alterung die Festigkeitssteigerung ein.

Mit schneidenden Werkzeugen ist Duralumin bei höchsten Schnittgeschwindigkeiten leicht zu bearbeiten.

Duralumin kann unbedenklich zur Aufbewahrung von Speisen und Getränken verwendet werden, da es nach umfangreichen amtlichen Untersuchungen keinen schädlichen Einfluß ausübt. Von Süßwasser wird Duralumin nicht angegriffen,

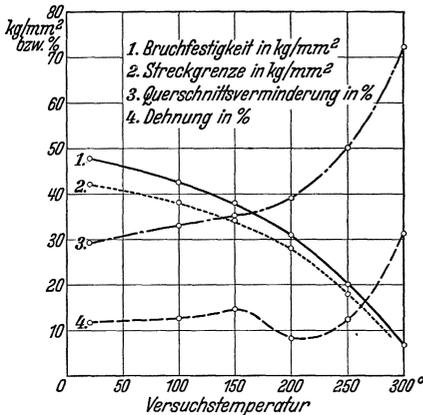


Abb. 18. Warmfestigkeit von Duralumin.

doch ist es gegen Seewasser nur bedingt beständig. In solchen Fällen empfiehlt es sich, Duralumin auf allen Flächen mit einem geeigneten Schutzanstrich zu versehen und sorgfältig zu warten oder die Sonderlegierung Duralplat (Nr. 82) zu verwenden. Es ist dies ein mit einer kupferfreien bzw. kupferarmen, aushärtbaren Aluminiumlegierung beiderseitig plattiertes Duralumin, das hohe Festigkeitswerte mit bester Korrosionsbeständigkeit vereint. Deckschicht und Kern sind so fest miteinander verbunden, daß sie sich selbst bei stärksten Verformungen nicht voneinander lösen. Gegen Witterungseinflüsse besitzt Duralumin eine verhältnismäßig hohe Widerstandsfähigkeit, da es sich, reiner Luft ausgesetzt, bald mit einer dünnen

Oxydschicht überzieht und dadurch gegen weitere Angriffe geschützt wird; allerdings muß die Luft frei sein von schädlichen Beimengungen wie Nebel in der Nähe salzhaltiger Gewässer, Chlordämpfen, Ammoniak, schwefliger Säure und ähnlichen Stoffen. Als Schutzmittel gegen Korrosion kommen neben Farb- und Lackanstrichen metallische Überzüge nach dem Jirotko-Verfahren und neuerdings auch anodische Oxydation in Frage, wie sie auf Seite 43 erörtert werden.

Duralumin wird in Blechen, Bändern, nahtlosen Rohren, Rund- und Profilstangen, Drähten, Nieten und Schrauben hergestellt. Schmiede- und Gesenk-schmiedestücke und Preßteile werden meist im ausgehärteten Zustand geliefert.

Das in Frankreich bekannte Alferium (Nr. 65) und das in Rußland gebräuchliche Koltshug-Aluminium (Nr. 85) sind Legierungen, die dem Duralumin sehr ähnlich, wenn nicht gar gleich sind.

Die Fuller-Legierung (Nr. 83) ist eine aushärtbare Gußlegierung, die bei 520° 24 h geglüht, in kochendem Wasser abgeschreckt und dann 3 h bei 150° gealtert wird. Ebenso ist die Hyman-Legierung (Nr. 84) eine aushärtbare Gußlegierung, die 6 h bei 600° geglüht, abgeschreckt und dann gealtert wird.

Das Lautal (Nr. 86) ist eine Legierung, deren Festigkeit zwar auch bei Sand- und Kokillengußstücken durch Aushärten gesteigert werden kann, die aber doch gründlich durchgeknetet werden muß, wenn die Aushärtung voll wirksam werden soll. Die Aushärtung besteht im Abschrecken von 490÷510° mit darauffolgendem Anlassen. Gußstücke und weniger gut durchgeknetete Werkstücke, wie große

Platten und Schmiedestücke, werden 48 h bei 135÷145°, und Bleche, dünne Stangen und Drähte werden 16÷24 h bei 120÷130° angelassen.

Der weiche Zustand (14 W) wird durch Erwärmung auf 350÷400° erhalten und eignet sich besonders bei Blechen für Tiefzieharbeiten. Der ungetemperte Zustand (14 U), der allein schon durch Abschrecken in kaltem Wasser erhalten wird, eignet sich hauptsächlich für Biegearbeiten, zum Walzen und zum Ziehen von Profilen. Die günstigste Schmiedetemperatur liegt zwischen 440 und 480°. Im ausgehärteten oder im ausgehärteten und nachverdichteten Zustand (14 V oder 14 VN) sind stärkere und scharfkantige Biegearbeiten möglichst zu vermeiden. Bei Erwärmung über 150° geht die durch die Aushärtung hervorgerufene Festigkeits- und Härtesteigerung wieder verloren (siehe Abb. 19).

Die Warmfestigkeit des Lautals steht der anderer aushärtbarer Leichtmetalllegierungen nicht nach (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6. Warmfestigkeit von Lautal.

Temperatur . . . . .	20°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	40	38	31	22	16	9	6	3	2,5	2

Lautal läßt sich hartlöten und unter Verwendung geeigneter Flußmittel (z. B. Autogal, siehe S. 33) auch schweißen, doch sind diese Verbindungsstellen einschließlich ihrer näheren Umgebung infolge ihrer Erwärmung über 150° entfestigt. Durch Hämmern und Neuaushärten lassen sich zwar ihre Festigkeitswerte wieder steigern, aber die hohen Werte des Grundmetalles werden doch nicht ganz erreicht. Vorzugsweise ist daher durch Nieten zu verbinden, und zwar möglichst durch Kaltnieten (siehe S. 35).

Lautal ist sehr beständig gegen Benzin, Benzol, Dapolin, Alkohol, Brennspritus, Stelin, Holzin und Äthyläther, etwas weniger gegen Monopolin. Sehr hohe Korrosionsbeständigkeit besitzt das Allautal (Nr. 87), das mit Reinaluminium plattierte Lautal. Deckschicht und Kern sind miteinander verschweißt und daher selbst bei Biegebeanspruchung fest und untrennbar verbunden. Der Korrosionsschutz erstreckt sich nicht nur auf die Reinaluminium-Oberflächen sondern auch auf die Bimetall-Schnittkanten, da das Reinaluminium elektrochemisch einen sog. Fernschutz ausübt.

Lautal wird in Form von Gußstücken, Blechen, Bändern, gepreßten und gezogenen Stangen und Profilen, nahtlosen Rohren, Draht, Nieten, Gesenkpreßteilen und Schmiedestücken geliefert.

Skleron (Nr. 94) ist eine natürlich alternde Legierung, die durch Abschrecken von 470÷480° mit nachfolgender 4tägiger Lagerung bei Raumtemperatur ausgehärtet wird. Der weiche Zustand dieses Werkstoffes für leichte Preß-, Zieh-, und Biegearbeiten wird durch Glühen bei 280÷300° 1/2÷1 h erhalten. Gepreßte Rundstangen und Profile, Schmiedestücke, Preßteile aller Art, Platten und Rohre werden aus dieser Legierung hergestellt.

Eine in England viel gebrauchte aushärtbare Gußlegierung ist die Y-Legie-

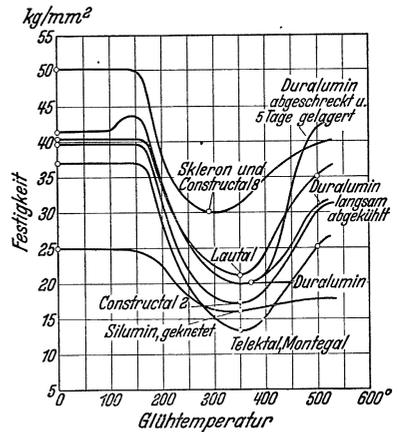


Abb. 19. Festigkeit ausgehärteter und gekneteter Al-Legierungen nach Erwärmung und Abkühlung auf 20°.

rung (Nr. 97), die sich jedoch wegen ihrer verhältnismäßig geringen Dehnung außerhalb Englands nicht in größerem Umfange hat durchsetzen können. Sie wird von 525° abgeschreckt und natürlich gealtert.

### C. Magnesium.

Magnesium ist das leichteste Nutzmanmetall, das in Deutschland ausschließlich aus heimischen, in großen Mengen vorkommenden Mineralien hergestellt werden kann. Aus den Mineralien Bischoffit ( $MgCl_2 \cdot H_2O$ ), Karnallit ( $MgCl_2 \cdot KCl \cdot H_2O$ ), Magnesit ( $MgCO_3$ ) und Magnesiumoxyd ( $MgO$ ) wird das Magnesium durch Elektrolyse im Schmelzfluß gewonnen. Das Rohmetall ist noch durch Salzreste, Spuren von Aluminium, Eisen und Silizium, Alkalimetallen, Oxyden und Nitriden verunreinigt, welche letztere jedoch größtenteils beim Niederschmelzen in eisernen Tiegeln durch ein besonderes Raffinationsverfahren — Durchwaschen des flüssigen Metalles mit einem Salzgemisch — entfernt werden. Magnesium (Nr. 98) hat einen Reinheitsgehalt von 99,7%, kann aber auch chemisch rein hergestellt werden. Seine physikalischen Werte sind u. a.:

Spez. Gewicht . . . . .	1,74 g/cm <sup>3</sup>	Spez. Wärme . . . . .	0,250 $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{Grad}}$
Schmelzpunkt . . . . .	650°	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	0,376 $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sek} \cdot \text{Grad}}$
Siedepunkt . . . . .	rd. 1200°		

Reinmagnesium wird als Legierungszusatz zu Leicht- und Schwermetallen und als Desoxydationsmittel in Stahl- und Metallgießereien verwendet. Ferner benutzt man Magnesiumpulver, das bei der Verbrennung ein außerordentlich intensives, weißes Licht ausstrahlt, zur Herstellung von Fackeln, Blitzlichtpulver, in der Feuerwerkerei und zu anderen ähnlichen Zwecken. Als technischer Baustoff kommt Magnesium nur in legiertem Zustand, als das bekannte Elektron, in Betracht.

### D. Magnesiumlegierungen.

1. **Elektron.** Als Elektronmetall oder Elektron (Nr. 99) werden Magnesiumlegierungen bezeichnet, die sich als leichtester Werkstoff mit ausgezeichneten Festigkeitswerten Eingang in die Technik verschafft haben. Wenn anfänglich diesem neuen Leichtmetall wegen seiner angeblichen Feuergefährlichkeit und ungünstigen chemischen Eigenschaften mit großem Mißtrauen begegnet wurde, so sind heute nach jahrelanger, sorgfältigster Entwicklungsarbeit diese Bedenken nicht mehr ausschlaggebend.

Die physikalischen Güteverhältnisse des Elektrons sind:

Oberer Schmelzpunkt	625 ÷ 650°	Elektr. Leitfähigkeit	12 ÷ 18 $\frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$
Unterer Schmelzpunkt	400 ÷ 645°	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	0,32 $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sek} \cdot \text{Grad}}$
Schwindmaß . . . . .	ca. 1,3%		
Spez. Wärme . . . . .	0,24 $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{Grad}}$		

Wärmeausdehnungskoeffizient:

Gußlegierungen (AZF, AZG) . . .	für 20 ÷ 100°:	25,5 × 10 <sup>-6</sup>
	20 ÷ 200°:	27,1 × 10 <sup>-6</sup>
Preßlegierungen (AZM, V 1) . . .	für 20 ÷ 100°:	24,0 × 10 <sup>-6</sup>
	20 ÷ 200°:	25,7 × 10 <sup>-6</sup>
Kolbenlegierungen . . . . .	für 20 ÷ 100°:	24,0 × 10 <sup>-6</sup>
	20 ÷ 200°:	24,8 × 10 <sup>-6</sup>

a) Die verschiedenen Legierungen. Für die richtige und zweckmäßige Verwendung des Elektrons ist die Kenntnis seiner besonderen Eigenschaften von großer Wichtigkeit und oftmals für den Erfolg ausschlaggebend. Für die Verarbeitung sind folgende drei Arten zu unterscheiden:

Gußlegierungen (Sand-, Kokillen- und Spritzguß),  
Preßlegierungen (Stangen, Profile, Rohre, Preßteile und Schmiedestücke),  
Walzlegierungen (Bleche und Blechprofile).

*Gußlegierungen.* Die Elektrogußlegierungen sind besonders geeignet zur Herstellung von Sandguß. Zum Schmelzen und Gießen müssen jedoch besondere Vorschriften sorgfältig beachtet werden, um einwandfreie Gußstücke zu erzielen. Die nichtmetallischen Verunreinigungen an Oxyden, Nitriden und Chloriden müssen möglichst aus der Schmelze entfernt werden, da sie die Ausgangspunkte für spätere Korrosionen bilden. Das Metall wird, da sich Magnesium und Eisen nicht nachweisbar legieren, in Eisentiegeln erschmolzen und mit einem Salz, Elrasal genannt, raffiniert. Mit diesem Salz, das aus einem Gemisch von Magnesiumchlorid, Flußspat und Magnesiumoxyd besteht, wird die Schmelze durch wiederholtes Umrühren bei  $730\text{--}760^\circ$  gut durchgewaschen und abgedeckt. Nun wird das Metall bis auf  $850^\circ$  überhitzt, wobei die letzten Reste von Verunreinigungen abgegeben werden und sich die Salzdecke zu einem zähen Brei verdickt, von dem sich das Metall salzfrei abscheidet. Das durch das Zulegieren von Aluminium mit diesem etwa in größerer Menge eingebrachte Eisen kann durch längeres Stehenlassen der Schmelze wenigstens bis zu einem gewissen Grade wieder abgeschieden werden. Wirksamer ist jedoch die Behandlung mit Mangan, das bei höherer Temperatur eine größere Löslichkeit in Magnesium besitzt als bei niedriger. Mangan wird daher bei höherer Temperatur eingebracht und hierauf die Schmelze bis nahe an den Erstarrungspunkt abgekühlt. Hierbei setzt sich das Mangan am Tiegelboden ab und nimmt dabei das Eisen in irgendeiner noch nicht genau bekannten Bindung mit sich.

Gegossen wird nunmehr bei einer Temperatur zwischen  $720$  und  $770^\circ$ , mindestens aber  $650^\circ$  und höchstens  $800^\circ$ . Die Salzdecke wird zurückgehalten und der Gießstrahl mit Schwefelpulver bestreut, um erneute Oxyd- bzw. Nitridbildung zu vermeiden. Elektron kann wie Aluminium in grünem Sand vergossen werden, wenn den gebräuchlichen Sandsorten  $3\text{--}10\%$  Schwefel und  $0,35\text{--}0,75\%$  Borsäure zugesetzt werden. Beim Gießen entstehen hierbei indifferente Gase, die jede Reaktion des flüssigen Metalles mit den feuchten Formen verhindern. Bei genügender Gasabführung können auch grüne Kerne verwendet werden. Allseitig vom Metall umflossene Kerne werden aus mit Leinöl oder Reisstärke vermischem Quarzsand hergestellt.

Elektron kann, wenn größere Stückzahlen die Wirtschaftlichkeit gewährleisten, als Kokillen- und Spritzguß ohne Schwierigkeit verarbeitet werden. Die Formen werden zum Schutz gegen Oxydation mit Borsäure ausgestrichen, die zur Erhöhung der Haftfähigkeit an der Kokillenwand mit Magnesia oder Graphit vermischt ist.

Die Legierung AZG ist für Gußstücke mit Dauerbeanspruchung, die Legierung AZF für Gußstücke mit Stoßbeanspruchung und die Legierung AZ 31 für Gußstücke mit hoher Wärmebeanspruchung geeignet. Die Sondergußlegierung AM 503 soll für eingeschweißte Armaturen und für unbeanspruchte Teile mit erhöhter Korrosionsfestigkeit und die Sondergußlegierung CMSi für Gußstücke mit besonders hohem Innendruck verwendet werden. Für Kokillen- und Spritzguß kommt die Legierung V 1 in Betracht.

*Preßlegierungen.* Elektron wird auf hydraulischen Strangpressen zwischen  $300$  und  $400^\circ$  verpreßt und erhält dadurch erhöhte mechanische Eigenschaften. Auch Gesenkpreßteile lassen sich einwandfrei herstellen. Die Legierung V 1, die als einzige von den Elektronlegierungen vergütet wird, wird für Teile mit besonderer Härte verwendet. V 1 ist nur gepreßt, V 1 w wird 2 h bei  $420^\circ$  geglüht

und in kaltem Wasser abgeschreckt und V 1 h ist wie V 1 w vorbehandelt, aber noch  $8 \div 10$  h bei  $160 \div 180^\circ$  angelassen. Die Legierungen AZM, AZMQ und AZ 31 dienen als normaler Konstruktionswerkstoff. Für kleine Massenartikel benutzt man die Legierung Z 1 b, die noch in verschiedenen Farbtönen gebeizt werden kann. Die Sonderlegierung AM 503 ist gut schweißbar.

*Walzlegierungen.* Bleche und Bänder werden, da die Kaltformbarkeit des Elektrons nur sehr gering ist, je nach der Legierung zwischen  $270$  und  $350^\circ$  warmgewalzt. Kaltwalzen kommt nur für dünne Bleche in Betracht. Diese Bleche und Bänder dürfen nur in warmem Zustand, und zwar für die

Legierung Z 3 . . . . .	bei $270 \div 300^\circ$	Legierung AZM . . . . .	bei $270 \div 300^\circ$
Legierung AM 503 . . . . .	bei $270 \div 350^\circ$		

stärker verformt werden. Bei Biegearbeiten im Schraubstock können zur Erwärmung offene Gas- und Azetylenflammen mit Preßluft oder Lötlampen benutzt werden. Die richtige Bearbeitungstemperatur kann schnell und einfach durch einige auf das Blech aufgebrachte Tropfen Maschinenöl festgestellt werden, dessen Flammpunkt bei  $\sim 300^\circ$  liegt. Werkzeuge und Einspannvorrichtungen sind ebenfalls auf  $300^\circ$  zu erwärmen oder gegebenenfalls mit einem Asbest- oder Hartholzfutter zu versehen, um eine zu schnelle Wärmeabfuhr und damit ein Erkalten der Bleche zu verhindern. Bei Drückarbeiten können die Formen und Gesenke, wenn bei kleineren Stückzahlen keine zu starke Abnutzung zu befürchten ist, auch in Hartholz oder Elektronguß ausgeführt werden.

Profile aus Blechstreifen werden durch Ziehen, bei offenen Profilen auch durch Profilrollen oder durch Vereinigung beider Verfahren hergestellt. Unmittelbar vor den Ziehwerkzeugen, die auch auf  $300^\circ$  erwärmt werden müssen, ist zweckmäßig der Glühofen mit genauer Temperaturkontrolle zu versehen. Die Ziehgeschwindigkeit beträgt bei Blechen bis zu  $2$  mm  $4 \div 5$  m/min und bei stärkeren Blechen  $2 \div 3$  m/min. Als Schmiermittel verwendet man Öl mit genügend hohem Flammpunkt — etwa  $\frac{2}{3}$  Maschinenöl und  $\frac{1}{3}$  Heißdampfzylinderöl — oder auch eine Mischung von Bienenwachs und Hammeltalg zu je gleichen Teilen.

Elektronblech läßt sich ohne Schwierigkeit tiefziehen, wenn für Erwärmung der Werkzeuge auf  $450 \div 500^\circ$  gesorgt und die Ziehgeschwindigkeit von  $2$  mm/s nicht überschritten wird.

In beschränktem Umfange sind auch Biegearbeiten in kaltem Zustande (bei Raumtemperatur) ausführbar, wofür folgende Richtwerte gelten können:

Blechstärke . . . . .	0,6 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm
Krümmungsradien . . . . .	$2,5 \div 3$ mm	7,0 mm	11,0 mm	20,0 mm

Die Blechlegierung Z 3 eignet sich für solche Teile, die durch Beizverfahren gefärbt werden sollen. Die Legierung AZM ist für stärker beanspruchte Bauteile zu verwenden. Beide sind aber nicht schweißbar. Die Legierung AM 503 läßt sich dagegen gut schweißen und ist in der Wärme leicht formbar. Sie ist bei verhältnismäßig guter Korrosionsbeständigkeit der gegebene Werkstoff für Karosserie-, Motor- und Rumpferkleidungen und für Öl- und Benzinbehälter.

b) Verarbeitung. Ein dauerhaftes Lötverfahren ist bisher für Elektron noch nicht gefunden worden. Vorübergehend kann man zwar mit einem Kadmiumlot (Firma Dr. Leopold Rostosky, Berlin) schadhafte Stellen ausbessern, doch sind diese spätestens innerhalb zweier Monate durch Schweißungen zu ersetzen. Zum Schweißen eignen sich nur Elektronguß und die Legierungen AZM und AM 503. Einwandfreie Schweißungen erfordern einige Übung und die Beachtung besonderer Vorschriften, die auf S. 34 angegeben sind.

Als Nietten, die kalt geschlagen werden, verwendet man bei geringer Beanspruchung Aluminium oder die Nietlegierung MG 5 (Nr. 99). Diese Nietten haben

eine Scherfestigkeit von etwa  $20 \text{ kg/mm}^2$  mit einem zulässigen Lochleibungsdruck von  $40 \div 50 \text{ kg/mm}^2$ .

Die Schnittbearbeitbarkeit des Elektrons ist sehr gut und erfordert bei hohen Schnittgeschwindigkeiten nur einen geringen Kraftbedarf. Nähere Angaben sind auf S. 28ff. zu finden. Was die so gefürchtete „Brennbarkeit“ des Elektrons anbetrifft, so besteht diese Gefahr bei dem massiven Werkstoff überhaupt nicht. Beweis hierfür sind die Kolben in Verbrennungskraftmaschinen, die dauernd den hohen Verbrennungstemperaturen ausgesetzt sind. Feine Elektronspäne und Elektronstaub können allerdings in Brand geraten und sind deshalb stets von den Arbeitsstätten fernzuhalten und in eisernen Behältern aufzubewahren. Brennende Späne dürfen unter keinen Umständen mit Wasser gelöscht werden; der Brand ist vielmehr durch Sand, Eisenspäne oder Decken zu ersticken.

c) Chemisches Verhalten. Elektron wird wie auch Reinaluminium vom Luftsauerstoff angegriffen, d. h. es überzieht sich mit einer dünnen grauweißen Oxidschicht, die aber das darunterliegende Metall vor weiterem Angriff schützt. Gegen gewöhnliches Leitungswasser ist die Legierung AM 503 beständig, die sich offenbar infolge ihres höheren Mangengehaltes mit einer schützenden Deckschicht überzieht. Gegen fast alle Säuren, außer Flußsäure, salzhaltige Wasser einschließlich Seewasser ist Elektron dagegen empfindlich und es empfiehlt sich daher, das Metall durch einen geeigneten Überzug (siehe S. 41) zu schützen. Durch Behandlung in einem Beizbad, das durch Auflösen von  $18 \text{ kg}$  Kalium- oder Natriumbichromat in  $100 \text{ l}$   $20 \div 21\%$  iger Salpetersäure hergestellt wird, wird eine dünne, messingfarbene Schutzhaut gebildet, die nicht nur eine gute Unterlage für spätere Anstriche, sondern auch einen guten Korrosionsschutz darstellt. Die Gegenstände werden in diesem Bade etwa  $\frac{1}{2} \div 3$  min lang gebeizt, gut abgespült und an der Luft getrocknet.

Gegen Natron- und Kalilauge, Seifenlösung und Ammoniak, also überhaupt gegen starke alkalische Lösungen ist Elektron beständig. Ferner zeigt es ein günstiges Verhalten gegen viele alkalisch oder neutral wirkende organische Stoffe, wie Tetrachlorkohlenstoff, Azeton, Amyl- und Äthylalkohol, gegen neutrale Fette und Öle und weiterhin gegen Kohlenwasserstoffe, wie Benzin und Benzol.

Gegen fluoridhaltige, wässrige Lösungen ist Elektron durchaus beständig, aber nicht gegen Chloride. Unbeständig ist Elektron auch gegen Methylalkohol.

**2. Dow-Metal.** Dow-Metall (Nr. 100) ist der Name der Magnesiumlegierungen, die in Amerika an Stelle von Elektron üblich sind. Für diese Legierungen gilt sinngemäß dasselbe, was vorstehend über Elektron gesagt ist.

## E. Übrige Leichtmetalle.

**1. Natrium, Kalium.** In der Natur findet sich Natrium hauptsächlich als Chlornatrium oder Kochsalz ( $\text{NaCl}$ ) und in vielen Silikaten, Kalium als Chlorkalium ( $\text{KCl}$ ) und Kaliumsulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) im Meerwasser, in den Abraumsalzen zu Staßfurt und ferner in vielen Silikaten, vor allem im Feldspat und Glimmer. Technisch werden Natrium und Kalium durch Elektrolyse von Ätznatron bzw. Ätzkalium gewonnen. Als technische Baustoffe kommen jedoch beide nicht in Betracht, da sie bereits bei gewöhnlicher Temperatur wachweich sind und ihre Schmelzpunkte schon bei  $97^\circ$  bzw.  $62^\circ$  liegen. Außerdem besitzen sie eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff, so daß sie an der Luft unbeständig sind.

**2. Lithium.** Es ist das leichteste Metall mit einem spez. Gewicht von  $0,53 \text{ g/cm}^3$ . Es hat silberweißes Aussehen, ist härter als Natrium und Kalium, etwa so plastisch wie Blei. In der Technik kommt es jedoch lediglich als Legierungszusatz in Frage.

**3. Beryllium.** Dieses Element findet sich in einer Reihe von Mineralien, doch kommt für seine praktische Gewinnung nur der Beryll, der auch an einigen Orten in Deutschland gefunden wird, in Betracht. Größere Mengen dieses Metalles für die Technik werden nach dem Stock-Goldschmidt-Siemens & Halske-Verfahren durch Schmelzflußelektrolyse gewonnen, doch ist sein Preis infolge der schwierigen Gewinnung noch immer sehr hoch, so daß seiner weiteren technischen Verwendung zur Zeit hierdurch Schranken gesetzt sind. Beryllium wird daher nur in geringen Mengen (bis etwa 5%) als Legierungszusatz und als Desoxydationsmittel verwendet. Es hat ein spezifisches Gewicht von  $1,85 \text{ g/cm}^3$  und besitzt eine sehr große Härte, so daß selbst Glas mit geeigneten Kristallkanten geritzt werden kann. Der Schmelzpunkt liegt bei etwa  $1280^\circ$  und die elektrische Leitfähigkeit bei  $5 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ . Beryllium besitzt eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff und überzieht sich daher an der Luft mit einer matten Oxydhaut.

## II. Formgebung.

**1. Gießen.** Das aus der Elektrolyse gewonnene Rohaluminium ist jeweils von verschiedener Reinheit und muß erst noch zu einem gleichmäßigen Handelserzeugnis umgeschmolzen werden. Hierzu werden koksgefeuerte Tiegelschmelzöfen verwendet; neuerdings sind hierfür aber auch Öfen mit Generatorgasheizung und elektrische Schmelzöfen bis zu einer Tonne Fassungsvermögen gebaut worden. Da flüssiges Aluminium begierig Eisen und Silizium aufnimmt, nimmt man zweckmäßig eisen- und siliziumfreie Graphittiegel, doch haben sich auch gußeiserne Tiegel, die mit einer geeigneten Masse ausgeschmiert werden, bewährt. Beim Schmelzen ist jegliche Überhitzung zu vermeiden, da die Oxyde, die fast das gleiche spez. Gewicht wie Aluminium besitzen, von der Schmelze aufgenommen werden und sie schlecht gießbar machen. Das flüssige Metall wird in eiserne Formen (Kokillen) gegossen, die die üblichen Walz- und Drahtbarren, Masseln und gekerbten Blöckchen ergeben. Dem hohen Schwindmaß von 1,8% muß durch entsprechend große „verlorene Köpfe“ Rechnung getragen werden. Infolge seiner hohen spez. Wärme erstarrt das Aluminium verhältnismäßig langsam, so daß oftmals statt des erwünschten feinen ein grobkristallines, eingestrahltes Gefüge entsteht, das sich bei den Walz- und Drahtbarren bei der unmittelbaren Weiterverarbeitung ungünstig bemerkbar macht. Außerdem ist fast jeder Gußblock vom anderen verschieden, da die Kokillentemperatur mit steigender Blockzahl sich ändert und jeder Guß in seiner Gleichmäßigkeit sehr von der Geschicklichkeit des Gießers abhängt.

Durch ein neues Gießverfahren, das RWR (Roth-Wende-Rüttel)-Verfahren, ist es nun gelungen, dieser Schwierigkeiten Herr zu werden. Bei diesem Verfahren wird die Gießperiode scharf von der Erstarrungsperiode getrennt und außerdem während der Erstarrung die Kokille mit einer bestimmten Amplitude und Frequenz gerüttelt. Eine flache, rechteckige Kokille (Abb. 20) wird, um während des Eingießens die Erstarrung zu vermeiden, elektrisch geheizt und nicht ganz mit Aluminium gefüllt. Dann wird die Kokille mit einer Kupferplatte zugedeckt, die ganze Form schnell gewendet und die Kupferplatte noch durch angespritztes Wasser stark gekühlt. Infolge dieses einseitigen, starken Abschreckens würden sich zwar die unerwünschten, langen Stengelkristalle wieder bilden, doch wird dies durch das Rütteln während der Erstarrung verhindert, so daß tatsächlich ein gleichmäßiges, feinkristallines Gußgefüge entsteht. Eine weitere günstige

Folge hat das Rütteln: das Metall wird weitgehend entgast. Auf diese Weise ist es möglich, lunkerfreie und gasarme Aluminiumblöcke zu gießen, die sich einwandfrei zu dünnen Blechen und Folien verarbeiten lassen.

Die Wiedergewinnung des Aluminiums und der Aluminiumlegierungen aus Abfällen und Altmetall ist von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung, da hiervon oftmals überhaupt die Verwendung von Leichtmetallen abhängig gemacht wird. Stark durch Formsand, Öl, Fremdmetalle, mineralische und organische Substanzen verunreinigte Abfälle sind praktisch allerdings kaum mehr zu verwerten; doch stärkere Blech-, Stangen- und Gußabfälle können bis zu 50% und mehr einem Neumetall zugesetzt und mitverarbeitet werden. Dabei sind geeignete Fluß- und Desoxydationsmittel, die z. T. patentiert sind oder auch ängstlich geheim gehalten werden, zu verwenden. Erprobte Mittel sind Zink-, Kupfer- und Ammoniumchlorid. Die entstehenden schädlichen Dämpfe sind abzusaugen.

Unlegiertes Aluminium wird in Form von Gußstücken nur selten gebraucht,

dagegen eignen sich fast sämtliche Aluminiumlegierungen für Sandguß, Kokillenguß oder Spritzguß je nach ihren Gießeigenschaften und ihrer Warmfestigkeit. Für Sandguß wird grüner, nicht zu feuchter Sand genommen, der nicht zu fest gestampft sein darf, um den Gasen freien Abzug zu gewähren. Die Kerne müssen besonders sorgfältig hergestellt werden und bei genügender Festigkeit doch nachgiebig sein, damit beim Schrumpfen während der Erstarrung keine Warmrisse entstehen. Als Kernbindemittel wird Dextrin, Öl und Harz verwendet. Eingüsse und Steiger sind in genügender Zahl und Stärke vorzusehen, um dem starken Nachsaugen während der Erstarrung durch Nachgießen zu begegnen. Die Mindestwandstärke beträgt im allgemeinen  $2 \div 3$  mm und die Maßgenauigkeit etwa  $\pm 1$  mm.

In Kokillenguß sind die meisten Aluminiumlegierungen herstellbar, wenigstens alle diejenigen, die genügend warmfest sind. Die Dauerformen bestehen aus Gußeisen mit hohem Graphitgehalt und die Kerne meist aus Cr-W-Stahl. Bei dieser Gießart werden selbst bei hohen Stückzahlen saubere, glatte Oberflächen und Maßgenauigkeiten erzielt, die in vielen Fällen eine Nacharbeit überflüssig machen. Schlitze, Bohrungen und selbst gröbere Gewinde können maßhaltig gegossen werden. Infolge der verhältnismäßig teuren Formen ist natürlich der Kokillenguß erst bei größeren Stückzahlen von mindestens  $500 \div 1000$  Stück, je nach den Abmessungen, wirtschaftlich herzustellen.

Beim Spritzguß wird das Metall mit einem Druck von  $25 \div 50$  at in die Dauerformen gespritzt. Dadurch werden alle Ecken voll und scharf ausgefüllt, so daß derartige Teile kaum noch irgendeiner Nacharbeit bedürfen und auch als „Fertigguß“ bezeichnet werden. Beim Verarbeiten der Aluminiumlegierungen muß darauf geachtet werden, daß sie nicht von dem Gußbehälter der Spritzgußmaschinen, in dem sie sich dauernd in flüssigem Zustande befinden, zuviel Eisen aufnehmen, wodurch sie spröde und brüchig werden. Auch die Spritzgußformen selbst werden vom Aluminium angegriffen. Durch oberflächliches Verchromen

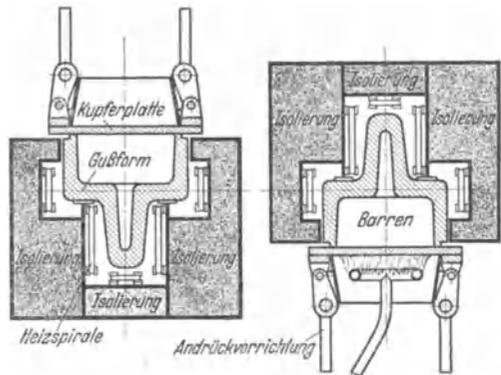


Abb. 20. Blockwendeform für Al-Guß nach dem RWR-Verfahren.

oder Nitrieren ist die Lebensdauer der Formen schon wesentlich erhöht worden, doch halten auch diese den hohen thermischen Beanspruchungen auf die Dauer nicht stand. Man verwendet daher heute meist besonders legierte Chrom-Vanadin-Stähle. Wie beim Kokillenguß können auch hier Bohrungen, Gewinde und Einlagen in Form von Laufbuchsen, Zapfen u. dgl. aus Messing, Bronze und Stahl mit eingegossen werden. Über die zweckmäßigste Formgebung von Spritzgußteilen und ihre Verwendung berichtet eine ausführliche Schrift des AWF („Der Spritzguß und seine Anwendung. Vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung.“ Berlin 1927.) Der Spritzguß eignet sich vornehmlich zur Herstellung kleinerer Massenartikel, deren Mindeststückzahl bei etwa 3000 Stück anzunehmen ist.

**2. Warm- und Kaltkneten.** Aluminium und die meisten Aluminiumlegierungen sind warm und kalt knetbar. Rund- und Profilstangen können warmgewalzt werden, werden aber heute vorwiegend auf der hydraulischen Strangpresse warm gepreßt und sind dann weich. Durch Weiterziehen in kaltem Zustande mit den jeweils erforderlichen Zwischenglühungen werden enge Toleranzen und die verschiedenen Härtegrade, vom viertelhartem bis hartem und federhartem Zustand, erreicht. Drähte werden aus Preßdrähten durch Kaltziehen hergestellt, wobei sich Reinaluminium bis zur winzigen Dicke von 0,01 mm verarbeiten läßt. Rohre werden auf der Strangpresse oder auf besonderen Kurbelpressen warm vorgepreßt und dann auf die gewünschten Abmessungen kalt fertig gezogen. Bleche und Bänder werden aus gegossenen Blöcken warm vorgewalzt und dann kalt auf die vorgeschriebene Dicke und Härte unter Einschaltung notwendiger Zwischenglühungen fertiggewalzt. Dickere Bleche, bis etwa 0,8 mm herunter, werden einzeln, schwächere zwei- bis zehnfach aufeinandergelegt, gewalzt. Auf diese Weise werden ganz dünne Aluminiumfolien, bis zur Stärke von 0,005 mm, die als Verpackungsmaterial dienen, erzeugt. Durch Hämmern in geeigneten Schlagmaschinen entstehen hauchdünne Blättchen, die als unechtes Schaum- oder Rauschsilber bekannt sind. In schweren Stampfvorrichtungen werden Aluminiumflitter gewonnen, die in Pulvermühlen bis zur Staubfeine vermahlen werden und so zur Herstellung der Aluminiumbronzefarben dienen.

Die meisten Leichtmetalle lassen sich warm und kalt schmieden und in Preßgesenken verarbeiten.

**3. Spangebende Bearbeitung.** Die Leichtmetalle lassen sich mit Schneidwerkzeugen gut bearbeiten, d. h. bei geeigneter Werkzeugform kann die Schnittgeschwindigkeit sehr groß sein, ohne daß sich die Standzeit (Lebensdauer) der Schneide unzulässig oder überhaupt merkbar verringert. Ferner ist der Kraft- bzw. Leistungsverbrauch beim Zerspanen verhältnismäßig gering und die Oberfläche wird beim Schlichten mit geeigneten Kühl- und Schmiermitteln sauber.

Jedoch muß gesagt werden, daß die Ansichten über die geeignetsten Schneidformen, besonders die Schneidwinkel, noch sehr weit auseinander gehen, und daß es fraglich ist, ob sich überhaupt allgemein gültige Werte unabhängig von Arbeitsgang, Werkstück und Schnittgeschwindigkeit festlegen lassen. Einig ist man sich darüber, daß ein guter Spanabfluß besonders wichtig ist, da die Späne vieler Leichtmetalle die Neigung haben, sich bei Widerstand zusammenzuballen und zusammenzuschweißen und dadurch ein Weiterarbeiten u. U. unmöglich zu machen.

a) Drehen. Es werden Schnellstähle aber auch Schneidmetalle, besonders die gesinterten Karbidschneidmetalle (Widia, Ramet, Titanit usw.<sup>1</sup>), benutzt. Die Schnittgeschwindigkeit kann über 200 m/min weit hinausgehen, für die weicheren Leichtmetalle bis an 600, für Elektron noch höher. Die Vorschübe sind im all-

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 50, Die Werkzeugstähle (S. 14 ÷ 16).

gemeinen kleiner als bei der Bearbeitung von Eisen und Stahl. Als Schmier- und Kühlmittel werden Petroleum, Seifenwasser, Schneid- oder Bohröl benutzt. Elektron wird meist trocken bearbeitet, doch ist zum Schlichten dünnflüssiges Schneidöl oder 4% ige wässrige Natriumfluoridlösung zu empfehlen. Von den Schneidwinkeln kann der Freiwinkel  $\alpha$  (Abb. 21)  $6\div 8^\circ$  sein, also etwa so groß wie für die Bearbeitung von Eisen und Stahl. Der Spanwinkel  $\gamma$  ist dagegen meist größer: etwa  $15\div 50^\circ$ . Diese weiten Grenzen für  $\gamma$  rühren einmal daher, daß die verschiedenen Leichtmetalle sich durchaus nicht gleichartig verhalten (Silumin z. B. und verwandte Legierungen stumpfen die Schneide schneller ab und brauchen daher ein geringeres  $\gamma$ ), das andere Mal aber daher, daß die Erfahrungen und Ansichten der Werkstätten sehr verschieden sind. Zu empfehlen ist, die Spanfläche der Schneide als Hohlkehle auszuführen (aufpassen, daß  $\gamma$  nicht zu groß wird!), damit der Span mit starker Krümmung abgebogen wird und kurz abbricht.

Über die anderen Schneidenwinkel siehe Din 768 und Din E 4931 $\div$ 4943.

b) Bohren. Leichtmetalle lassen sich besonders gut mit Bohrern von etwa  $45^\circ$  Spiralsteigung, also sehr engem Drall, und etwa  $140^\circ$  Spitzenwinkel bohren (Abb. 22). Zum Bohren dünner Bleche ist jedoch eine kleinere, etwa normale Spiralsteigung, also weiter Drall, vorzuziehen. Für Elektron im besonderen verwendet man für kleine Bohrer Durchmesser denselben engen Drall, während man für größere Durchmesser (etwa von 15 mm an) wegen der größeren Sauberkeit lieber den normalen benutzt.

Die Schnittgeschwindigkeit kann 100 $\div$ 200 m/min betragen, je nach der Härte des Metalles; nur bei Silumin und verwandten Legierungen bleibt man darunter<sup>1</sup>.

Zur Kühlung der Schneiden wird meist mit Bohröl gearbeitet; bei Aluminium auch wohl trocken, bei Elektron entweder auch trocken oder mit 4%iger wässriger Natriumfluoridlösung.

c) Fräsen. Die Schnittgeschwindigkeit kann 200 $\div$ 400 m/min betragen, für Messerköpfe bis 800 und mehr. Für den Vorschub nimmt man als Richtlinie wohl die Regel: Vorschub in mm/min doppelt so groß wie Schnittgeschwindigkeit in m/min, also 400 mm, wenn die Schnittgeschwindigkeit 200 m ist. Für die Fräser ist kennzeichnend: eine grobe Zahnung und stark abfallende Zahnrückten (Abb. 23), um ausreichend Spanraum zu haben; ferner stark unterschrittene Brustflächen (Spanflächen) und spiraliger Verlauf der Zähne, auch bei geringer Breite, für ein leichtes und ruhiges Schneiden. Für die Größe der Schneidenwinkel gilt das beim Drehen Gesagte. Der Brust-(Span-)Winkel wird bis zu  $40^\circ$  und mehr genommen. Abb. 24 zeigt einen Messerkopf: in der Draufricht links für die härteren und rechts für die weicheren Leichtmetalle.

d) Gewindeschneiden. Es sind stets Schmiermittel zu verwenden: Schneidöl bzw. Bohröl oder Petroleum oder für Elektron die 4% ige Natriumfluoridlösung. Beim Schneiden mit dem Stahl kann die Schnittgeschwindigkeit bis zu 25 m/min betragen. Schneideisen und Gewindebohrer sollen außer am Anschnitt nicht hinterarbeitet sein, damit nicht beim Rückdrehen sich Späne in den Gängen festsetzen und das Gewinde beschädigt wird. Der Spanwinkel der vorderen Zahnflächen, der für Eisen und Stahl etwa  $10^\circ$  beträgt, wird bis zu  $40$  oder  $45^\circ$  groß genommen; die hintere Zahnfläche soll aber radial verlaufen (Abb. 25). Die Schnittgeschwindigkeit ist hierbei kleiner als beim Schneiden mit dem Stahl.

e) Sägen. Bandsägen werden aus halbhartem Stahl hergestellt mit verschränkten Zähnen (Abb. 26). Die Schnittgeschwindigkeit beträgt 1000 bis 1200 m/min. Kreissägen müssen grobe Zahnung haben; die Zähne stehen nicht radial, sondern haben einen Spanwinkel von etwa  $20^\circ$  und sind in der Achsen-

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 15, Bohren (S. 34/35).

richtung um etwa  $45^\circ$  geneigt (Abb. 27). Die Schnittgeschwindigkeit beträgt etwa  $200 \div 500$  m/min. Es muß mit Schneid- oder Bohröl oder mit Seifenwasser geschmiert werden.

f) Feilen. Die gewöhnlichen Feilen sind nicht brauchbar, da sie sich in kurzer Zeit mit Spänen vollsetzen. Man verwendet daher gefräste Feilen nach Abb. 28 mit abgerundetem Zahngrund, um einen leichteren Spanabfluß zu bekommen.

g) Schleifen. Das Schleifen von Aluminium und Aluminiumlegierungen bietet gewisse Schwierigkeiten, da die Schmiergelscheiben selbst bei sehr grober

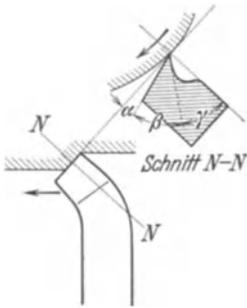


Abb. 21. Drehstahl.



Abb. 22. Bohrer.



Abb. 23. Fräser.

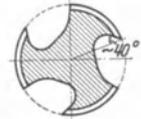


Abb. 25. Gewindebohrer.

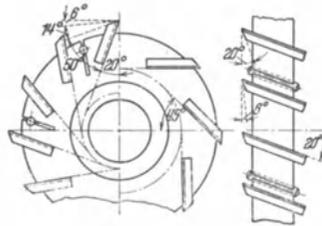


Abb. 24. Messerkopf.

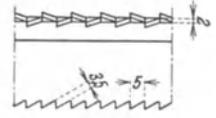


Abb. 26. Bandsäge.

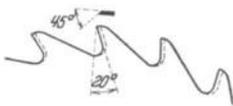


Abb. 27. Kreissäge.

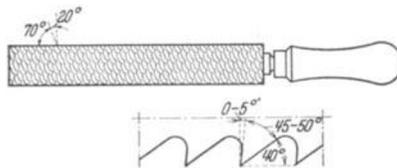


Abb. 28. Feile.

Abb. 21 ÷ 28. Schneidwerkzeuge für Leichtmetalle.

Körnung schnell verschmieren. Dieses zu verhindern, hat sich das Einfetten der Scheiben mit Paraffin, das die Poren verschließt, bewährt. Neuerdings erhält man bessere Schleifergebnisse mit elastisch gebundenen Scheiben. Zum Kühlen verwendet man Bohröl 1 : 70. Elektron läßt sich gut schleifen; gekühlt wird mit Rohpetroleum oder 4% iger Natriumfluoridlösung.

Schwabbeln werden aus Nessel oder Flanell hergestellt und mit einem Gemisch aus Leim und Schmirgel bestrichen, das über Nacht trocknet. Zum Polieren werden dieselben Scheiben benutzt mit Polierwachs, Polierrot oder dergleichen.

### III. Mechanische Verbindung.

1. Löten<sup>1</sup>. Leichtmetalle durch Löten zu verbinden ist wegen der dünnen, aber sehr dichten Oxydhaut auf der Metalloberfläche oft nur mit einiger Schwierigkeit

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 28: Das Löten.

## **Hinzmann, Nichteisenmetalle 2. Teil**

### **Berichtigungen zu Tabelle 12.**

Die chemische Zusammensetzung ist wie folgt zu ändern:

Seite 48, Nr. 31 Aluman: 1,5% Mn.

Seite 48, Nr. 32 Peraluman (statt Aluman Spezial): 2,2% Mg; 1,4% Mn; Rest Al.

Seite 52, Nr. 71 Aludur: 0 ÷ 4,5% Cu.

Seite 52, Nr. 72 Alufont II: 4% Cu; 2% Si; 0,2% Mg; 0,6% Mn; 0,15% Ti; Rest Al.

Seite 54, Nr. 73 Anticorodal

für Gußlegierung: 2% Si; 0,65 Mg; 0,7% Mn; 0,15% Ti; Rest Al

für Knetlegierungen (W, B, C): 1% Si; 0,65% Mg; 0,7% Mn; Rest Al.

möglich. Außerdem besitzen solche Lötstellen meist nur mangelhafte Korrosionsbeständigkeit. Immerhin haben sich bis heute aus vielen Versuchen geeignete Verfahren für Weichlöten wie für Hartlöten herausgebildet, die nach den jeweils vorliegenden Erfordernissen richtig gewählt und sachkundig angewendet, recht brauchbare Ergebnisse liefern. Unter Löten ist ganz allgemein die Verbindung mit Hilfe eines metallischen Werkstoffes zu verstehen, der eine andere Zusammensetzung hat als der, der gelötet werden soll.

a) Weichlöten. Hierzu benutzt man Lote auf Zink- oder Zinnbasis, die mit anderen niedrigschmelzenden Schwermetallen, wie Kadmium, Blei, Wismut und anderen Zusatzstoffen legiert sind und die kein oder nur wenig Aluminium (bis etwa 20%) enthalten. Aus der großen Menge der Weichlote, von denen viele mehr oder weniger wirksame, geheimgehaltene Zusätze enthalten, seien hier einige genannt: Stella-, Firinit-, Bumal-, Schönthal-, Durtinol-, Fludor-, Fabo-, Fermor-, Küppers- und Löterna-Lot. Lote mit bekannter Zusammensetzung sind in Tabelle 7 aufgeführt. Die erste Gruppe (Nr. 1÷8) sind die zinkreichen und die zweite Gruppe (Nr. 9÷29) sind die zinnreichen Legierungen. Diese sind zwar teurer, jedoch leichtflüssiger, leicht lötender und wetterfester als die zinkreichen Lote. Die Schmelzpunkte der Weichlote liegen etwa zwischen 150 und 450°.

Weichlöten selbst ist sehr einfach, auch für Ungeübte. Im allgemeinen wird kein Flußmittel verwendet, außer bei Folien und dünnen Drähten, sondern die Oxydhaut wird mechanisch durch Verreiben des Lotes auf dem Aluminium zerstört, gegebenenfalls mit Hilfe einer Drahtbürste. Zur Erwärmung benutzt man bei kleineren Arbeiten den LötKolben aus Aluminium, Kupfer oder Stahl und bei größeren Arbeiten die Lötlampe oder gar den Schweißbrenner.

Alle diese Weichlote sind jedoch mehr oder weniger unbeständig, da sie infolge ihres höheren elektrischen Potentials gegenüber den Leichtmetallen mit diesen galvanische Elemente bilden und infolgedessen schnell zersetzt werden. Die Haltbarkeit kann erhöht werden, wenn die Lötstellen mit Farbe, Lack oder dergleichen überzogen werden.

b) Hartlöten. Über die Zusammensetzung von Hartloten ist wenig bekannt, da sie von den Herstellern möglichst geheim gehalten wird. Im allgemeinen bestehen sie aber aus aluminiumreichen Legierungen mit etwa 70÷95% Aluminium, um sie durch Anpassung an das zu lötende Leichtmetall recht korrosionsfest zu machen, andererseits müssen sie zur Erniedrigung des Schmelzpunktes mehrere Legierungszusätze besitzen. Der Schmelzpunkt gut zusammengesetzter Hartlote liegt etwa 30÷100° niedriger als der des Aluminiums.

Erhitzt wird mit dem Lötbrenner, der Lötlampe und bei größeren Stücken mit dem Schweißbrenner. Geeignete Gasgemische sind: Leuchtgas oder Azetylen mit Preßluft; Leuchtgas, Wasserstoff oder Azetylen mit Sauerstoff. Das letzte Gemisch erzeugt sehr hohe Temperaturen und ist daher mit Vorsicht zu verwenden. Zur Beseitigung der Oxydhaut werden beim Hartlöten fast ausschließlich Flußmittel in Form feingemahlener Pulvers oder wässriger oder alkoholischer Lösungen wie Autogal, Firinit und andere gebraucht, die aus Gemischen der Chloride und Fluoride der Alkalien, Erdalkalien und Erdmetalle bestehen, wobei auch Lithiumsalze eine besondere Rolle spielen.

Sauber ausgeführte Hartlötstellen besitzen eine gute Festigkeit und sind gegen Luft, Feuchtigkeit, Salzlösungen usw. praktisch ebenso beständig wie Aluminium. Auch ihre Farbe kann dem zu lötenden Werkstoff völlig angepaßt werden und verändert sich kaum mit der Zeit. Die Brauchbarkeit von Lötverbindungen kann durch Schliff- und Röntgenuntersuchungen oder durch einfache technologische Prüfungen, wie Hämmern und Biegen, ermittelt werden. Die Korrosionsbeständig-

Tabelle 7. Aluminium-Weichlote (nach Thews).

Nr.	Gehalt in %	Al	Zn	Sn	Pb	Cu	Sb	Cd	Ag	Andere Bestandteile
1	Litots Lot . . . . .	—	99	—	—	—	—	—	—	P—Sn 1
2	Noirets Lot . . . . .	—	80	20	—	—	—	—	—	—
3	Roeschs „ . . . . .	—	50,2	48,6	—	—	—	—	—	—
4	Laurents Al. Lot . . . . .	—	66 ÷ 77	33 ÷ 22	—	—	0,7	—	—	—
5	„ hartes Lot . . . . .	6	63 ÷ 74	30 ÷ 19	—	—	—	—	—	—
6	„ weiches Lot . . . . .	—	60 ÷ 70	27 ÷ 16	12	—	—	—	—	—
7	Monrays Lot . . . . .	6 ÷ 12	75 ÷ 95	—	—	2 ÷ 8	—	—	—	—
8	Wuests Lot . . . . .	20 ÷ 30	50 ÷ 65	—	—	15 ÷ 20	—	—	—	—
9	Bourbouzes Lot . . . . .	17	—	83	—	—	—	—	—	—
10	Coles Lot . . . . .	11	—	82	—	—	—	—	—	—
11	Richards Lot . . . . .	2,4	19	78,3	0,3	—	—	—	—	Mn 2; Ni 5
12	Burgess Lot . . . . .	3	21	76	—	—	—	—	—	—
13	Seiferts Lot . . . . .	—	21	73	5	—	—	—	—	—
14	Le Chateliers Lot . . . . .	2	25	70	—	—	—	—	—	—
15	Baileys Lot . . . . .	10	16	70	—	—	—	—	—	P 1,5
16	Daudelins Lot . . . . .	1	12,2	65,6	—	—	—	—	—	P—Zn 4
17	Crowns Lot . . . . .	13	18	63	—	—	—	—	—	P 0,4
18	Richards Lot . . . . .	3	31	63	1	3	—	—	—	Sb 2
19	Auels Lot . . . . .	0,3	35	63	—	—	—	—	—	P—Sn 3
20	Gross Lot . . . . .	6,3	12,5	62,5	12,5	—	—	—	—	P 6,3
21	Strassers Lot . . . . .	4	12	62	8	5	—	—	—	Bi 5
22	Sterlings Lot . . . . .	11,2	15,2	61,6	8,3	2,5	1,2	—	—	—
23	Taylor's Lot . . . . .	4	8	60	12	4	—	—	—	—
24	Grubers Lot . . . . .	2	25	60	—	—	—	—	12	—
25	Königs Lot . . . . .	30	—	60	—	—	10	—	—	—
26	So-Luminium . . . . .	11	33	55	—	—	—	—	—	—
27	Thowless Lot . . . . .	2	23	55	—	—	—	—	5	—
28	Gopmanns Lot . . . . .	—	20,3	49,1	26	—	—	—	—	—
29	Frishouts Lot . . . . .	15	23	46	—	8	—	—	9	—

keit wird meist durch einen beschleunigten Korrosionsversuch, durch Kochen in Wasser oder einer Kochsalzlösung, nachgeprüft.

Für Elektron sind geeignete Lötverfahren bisher noch nicht gefunden worden. Mit einem Kadmiumpulver lassen sich zwar für einige Zeit haltbare Weichlötungen herstellen, brauchbare Hartlötungen dagegen sind noch nicht gelungen.

**2. Schweißen.** Die Leichtmetalle lassen sich bei sachkundiger Ausführung einwandfrei schweißen. Im großen und ganzen gelten hierfür dieselben Gesichtspunkte wie für das Hartlöten. In erster Linie kommt es darauf an, die für eine gute Bindung störende Oxydhaut zu beseitigen, was durch Anwendung geeigneter Flußmittel erreicht wird. Diese bestehen hauptsächlich aus Mischungen von Fluoriden, Chloriden, Sulfaten u. ä. (Tabelle 8), die in Pulver- oder Breiform auf das zu schweißende Stück aufgebracht werden.

Tabelle 8. Schweißmittel für Aluminium.

Nr.	Na Cl	Na F	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Li Cl	K Cl	KF	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ca Cl	Al Na <sub>3</sub> Fe <sub>6</sub>
1	30,0	—	3	15,0	45,0	7	—	—	—
2	—	33,3	—	33,3	33,3	—	—	—	—
3	12,5	—	—	20,8	62,5	—	4	—	—
4	16,0	—	—	—	79,0	—	5	—	—
5	17,0	—	—	—	83,0	—	—	—	—
6	6,5	—	4	23,5	56,0	—	—	—	10
7	—	—	—	—	60,0	—	—	20,0	6

Bewährte, im Handel erhältliche Schweißmittel sind u. a. Autogal, (I. G. Farben) und Firinit (Dr. Rostosky).

a) Hammerschweißen. Die zu verbindenden Teile müssen an der Schweißstelle sorgfältig gereinigt und blank geschabt und die Ränder möglichst abgeschragt werden. Sodann werden die Schweißstellen auf 450 bis höchstens 520° erhitzt und die Nahtflächen mit starken Schlägen ineinander gehämmert. Hierdurch wird die Oxydhaut mechanisch zertrümmert und das Metall fest verschweißt, so daß Verbindungen mit hoher Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse entstehen. Flußmittel brauchen hierbei nicht verwendet zu werden. Dieses Verfahren erfordert immerhin große Sorgfalt, so daß es nur von geschultem Personal ausgeführt werden sollte. Hammerschweißungen sind vorteilhaft bei vergütbaren Werkstoffen anzuwenden, da infolge der Knetbearbeitung der an sich weichgeglühten Schweißstellen eine Wiedervergütung zur Erhöhung der Festigkeitseigenschaften möglich ist. Bei der KS-Seewasserlegierung findet indes eine Bindung nur statt, wenn Aluminiumfolie oder 0,1 ÷ 0,3 mm dünnes Aluminiumblech zwischen die Schweißflächen gelegt wird.

b) Gasschmelzschweißen<sup>1</sup>. Dieses Verfahren, auch autogenes Schweißen genannt, herrscht allgemein vor, weil die Arbeitsweise verhältnismäßig einfach und billig ist. Als Brenngas dient Azetylen, Wasserstoff, Leuchtgas, Benzolgas u. dgl. Die Schweißdrähte sollen möglichst dieselbe Zusammensetzung aufweisen wie der zu schweißende Werkstoff. Grundsätzlich wird mit Flußmitteln (Autogal, Firinit) gearbeitet, doch ist sorgfältig darauf zu achten, daß keine Flußmittelreste in der Naht zurückbleiben, da sie später schwere Korrosionen hervorrufen können. Auch Schweißpulverreste müssen durch Abspülen bzw. Abbeizen mit Lauge sorgfältig entfernt werden. Die Nahtkanten werden metallisch blank gemacht und bei stärkeren Blechen und Gußstücken abgeschragt. Dünne Bleche können aufgebördelt und ohne Zusatzmetall geschweißt werden. Gußstücke sind zur Verhütung von Wärmespannungen gut vorzuwärmen, u. U. muß das ganze Stück nach dem Schweißen

<sup>1</sup> Siehe auch Heft 13: Die neueren Schweißverfahren.

nochmals ausgeglüht werden. Aluminium und sämtliche Aluminiumlegierungen sind schweißbar, doch muß bei vergüteten Legierungen mit einer verringerten Festigkeit in und in der Nähe der hochoverhitzten Schweißnaht gerechnet werden.

Elektron läßt sich in seiner Legierung AM 503 mit der Azetylen-Sauerstoffflamme sehr gut schweißen, wobei als Schweißmittel Autogal der I. G. Farbenindustrie AG. dient. Schweißmittelreste dürfen unter keinen Umständen in den Nähten verbleiben, so daß nur Stumpfschweißungen in Frage kommen. Zweckmäßige Nahtanordnungen sind in Abb. 29 angegeben. Die Schweißränder werden mechanisch blank gemacht und gut zusammengepaßt. Als Schweißdraht wird die gleiche Legierung AM 503 genommen. Bei

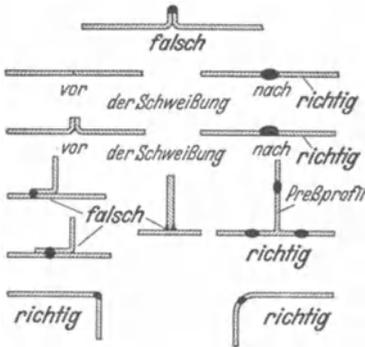


Abb. 29. Schweißnahtanordnungen für Elektron.

Bei langen Nähten werden vorteilhaft die zu verschweißenden Bleche erst alle 2÷4 cm durch Schweißpunkte miteinander verbunden. Die Flamme muß, um keine Löcher in das Blech zu brennen, möglichst flach liegen und so, daß die Flammenspitze der Schweißung vorausleitet. Das Mischungsverhältnis von Sauerstoff zu Azetylen weicht von dem bei Eisen üblichen ab und ändert sich auch mit der Blechstärke (Abb. 30). Ebenso ändert sich die Ausströmungsgeschwindigkeit an der Brennerdüse mit der Blechstärke, wie aus Abb. 31 zu entnehmen ist. Nach dem Schweißen müssen die Flußmittelreste mit Wasser sauber abgewaschen und die Teile nach

dem Chromat-Salpetersäureverfahren (siehe S. 25) gebeizt werden.

c) Elektrisches Schweißen. Hierzu gehört die Widerstands- und Lichtbogenschweißung, die in neuerer Zeit immer größere Verbreitung findet. Punkt-, Naht- und Stumpfschweißungen werden auf elektrischen Schweißmaschinen in

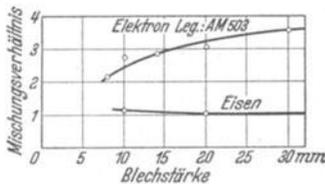


Abb. 30. Mischungsverhältnis Sauerstoff zu Azetylen beim Schweißen von Elektron im Vergleich zum Schweißen von Eisen.

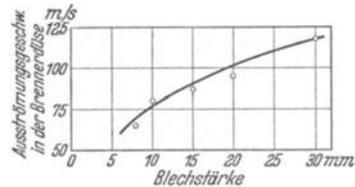


Abb. 31. Ausströmungsgeschwindigkeit in der Brennerdüse beim Schweißen von Elektron.

gleicher Weise wie bei Stahl und Eisen ausgeführt. Beim Lichtbogenschweißen macht sich, wie übrigens bei sämtlichen Schweißverfahren, die sich auf dem flüssigen Aluminium immer neu bildende Oxydhaut, die eine einwandfreie metallische Verbindung verhindert, störend bemerkbar. Dieser Übelstand wird bei dem neuesten Verfahren, dem Arcatom-Schweißverfahren der AEG, das auf Erfindung von Langmuir und Alexander zurückgeht, durch Wasserstoff-Schutzgas beseitigt, so daß unbedingt dichte und oxydfreie Schweißnähte entstehen. Flußmittel werden auch beim elektrischen Schweißen in der üblichen Weise angewendet.

**3. Nieten und Schrauben.** Nur in Ausnahmefällen, wenn Leichtmetallniete oder die für ihre Verarbeitung notwendigen Werkzeuge nicht vorhanden sind, können Eisenniete verwendet werden. Bis etwa 5 mm Stärke können sie kalt, bei größerem Durchmesser müssen sie aber warm bei mindestens 700° geschlagen werden. Zu beachten ist dabei, daß die hartgewalzten bzw. vergüteten Leicht-

metallbleche infolge der hohen Temperatur ihre erhöhten Festigkeitswerte einbüßen. Aus diesem Grunde sollten daher nur kaltgeschlagene Leichtmetallniete verwendet werden. Als Nietwerkzeuge kommen gewöhnliche Hand-Döpper, Preßluftschlämmer mit selbsttätig oder von Hand gedrehtem Döpper und Nietmaschinen in Frage. Für den Nietvorgang selbst ist möglichst geringer Arbeitsaufwand, möglichst große Festigkeit bei kleinster Masse und möglichst große Laibungsfläche und daher ein verhältnismäßig kleiner Nietdurchmesser bei erhöhter Nietzahl zu fordern. Die letzte Forderung ist dadurch bedingt, daß die kaltgeschlagenen Leichtmetallniete, im Gegensatz zu den Eisennieten, ihre Scherkräfte durch die Lochlaibung übertragen, weil ihre axiale Anpressung verhältnismäßig gering ist. Hieraus ergibt sich weiter, daß Loch- und Nietdurchmesser gut zueinander passen müssen, wofür sich folgende Spielräume bewährt haben:

Kreuzschlagdöpper:	0,1 mm Spielraum für 4÷10 mm Nietdurchmesser,
	0,1÷0,2 mm Spielraum für 10÷16 mm Nietdurchmesser,
gewöhnlicher Döpper:	0,1 mm Spielraum bis 4 mm Nietdurchmesser,
	0,2 mm Spielraum für 4÷8 mm Nietdurchmesser.

Die erste Forderung nach möglichstem geringem Arbeitsaufwand wird am besten mit dem umlaufenden Kreuzschlagdöpper (Abb. 32) erfüllt, der in schneller Folge nur kleine Teile des Kopfes staucht. Geeignete Kopfformen sind in Abb. 33 wiedergegeben. Der Abstand der Niete voneinander ist  $2,5 \div 3 d$  und vom Rande etwa  $1,6 \div 2 d$  zu wählen. Bei wasserdichten Nähten wird eine doppelte Reihe von Nieten in Dreieckstellung mit einem Abstand von  $2,5 \div 3 d$  genommen. Bei Elektron verwendet man für die Niete Reinaluminium oder die Sonderlegierung Mg 5 (Nr. 99).

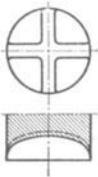


Abb 32. Kreuzschlagdöpper.

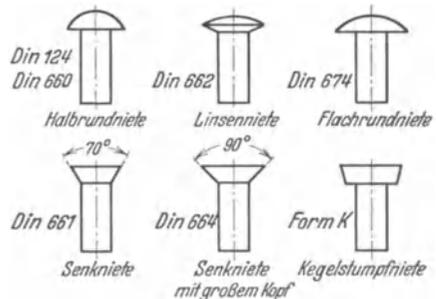


Abb. 33. Nietkopfformen.

Bei Schraubenverbindungen ist die Weichheit der Leichtmetalle für die tragende Gewindelänge dadurch zu berücksichtigen, daß diese 25÷35% größer gemacht wird als bei Eisen. Häufiges Lösen der Schrauben ist wegen der stärkeren Abnutzung nicht zu empfehlen. Als Gewindeform eignen sich am besten Trapez- oder andere normale Grobgewinde.

## IV. Chemische Eigenschaften.

1. Verhalten gegen Sauerstoff. Aluminium besitzt eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff. Bei der Verbrennung zu Tonerde nach der Formel



wird je Kilogramm Aluminium eine Wärmemenge von 7200 Cal frei. Diese thermische Eigenschaft tritt jedoch nur bei feinverteilterm pulverisiertem Aluminium auf und wird dergestalt technisch bei dem bekannten Thermit-Schweißverfahren von Dr. Hans Goldschmidt ausgenutzt. Bei dickeren Stücken Aluminium verläuft jedoch die Sauerstoffreaktion selbst bei Temperaturen von  $700 \div 800^\circ$  wegen seiner höheren Entzündungstemperatur und seines guten Wärmeleitvermögens träge. Von dem Luftsauerstoff wird Aluminium nur sehr wenig angegriffen, indem es sich bei Raumtemperatur langsam mit einer dünnen Oxydschicht überzieht, die das darunterliegende Metall vor weiterem Angriff schützt. Bei höherer Tempe-

ratur bildet die Oxydhaut sich schneller, und an der Oberfläche geschmolzenen Aluminiums augenblicklich.

Destilliertes Wasser greift, wenn es keinen Luftsauerstoff enthält, Aluminium weder bei Raumtemperatur noch bei Siedehitze an. Das gilt im allgemeinen auch für gewöhnliches Wasser; doch kann bei ungünstiger Wasserzusammensetzung und besonders nicht genügender Reinheit des Aluminiums Korrosion eintreten.

Quecksilber und Quecksilbersalze sind für Aluminium außerordentlich schädlich und zerstören es unaufhaltsam. Das entstehende Amalgam oxydiert mit dem Sauerstoff so stark, daß sich zusehends ganze Büschel eines weißen, moosartigen Oxyds bilden. Je reiner das Aluminium ist, um so stärker ist die zerstörende Wirkung, sie tritt dagegen bei Aluminium mit etwa 3% Kupfer schon nicht mehr auf.

Die starke Verwandtschaft des Aluminiums zum Sauerstoff wird andererseits praktisch ausgenutzt zur Reinigung (Desoxydation) vieler Metalle, indem das Aluminium in der Schmelze sich nicht nur mit dem gelösten Sauerstoff oxydiert, sondern auch die vorhandenen Oxyde reduziert. In der Reihe der Metalle Na, K, Ca, Mg, Al, Si, Mn, Fe, Ni, Zn, Sn, Cu, Pb, Ag, die nach ihrer Bildungswärme in bezug auf die gleiche Gewichtsmenge Sauerstoff geordnet sind, kann jedes vorstehende Metall das nachfolgende aus seinem Oxyd reduzieren. Hieraus ist zu ersehen, daß Aluminium die hauptsächlich vorkommenden Metalloxyde zu reduzieren vermag.

Magnesium und Elektron reagieren in feiner Verteilung als Staub oder Späne bei genügend hoher Entzündungstemperatur ebenfalls heftig mit Sauerstoff, indem sie mit grellweißem Licht verbrennen. Bei dickeren Stücken Magnesium oder Elektron kommt aber ebensowenig wie bei Aluminium ein „Brennen“ in Betracht. Von dem Sauerstoff werden sie lediglich an der Oberfläche angegriffen, indem sich eine dünne Oxydhaut bildet, die jedoch einen weiteren Angriff verhindert.

**2. Korrosion.** Unter Korrosion versteht man ganz allgemein den Angriff eines Metalles durch chemische Stoffe, und zwar in Gegenwart eines Nichtelektrolyten oder eines Elektrolyten. In Nichtelektrolyten, also bei Gasen, wird unmittelbar ein Reaktionsprodukt gebildet, das meist das darunterliegende Metall vor weiterem Angriff schützt. In Gegenwart von Elektrolyten verläuft dagegen der Korrosionsvorgang elektrochemisch, d. h. es bilden sich Lokalelemente, die je nach dem zwischen ihnen herrschenden Spannungs- (Potential-) Gefälle galvanischer Zersetzung unterliegen. Die Stellung des Aluminiums in der Spannungsreihe (Tabelle 9) gibt daher einen Anhaltspunkt für sein Verhalten in Verbindung mit anderen Metallen. Hieraus ergibt sich die Regel, Aluminium in ungeschütztem Zustande möglichst nicht mit anderen Metallen zusammenzubringen, noch dazu, wenn sie in der Spannungsreihe weit von ihm entfernt liegen. Immerhin sind die angegebenen

Tabelle 9. Spannungsreihe einiger Elemente bei 20° gegen Wasserstoff.

Element . . . .	K	Na	Ca	Mg	Al	Mn	Zn
Spannung (Volt)	— 3,2	— 2,8	— 2,6	— 1,6	— 1,3	— 1,2	— 0,76

Element . . . .	Fe	Pb	Sn	H	Cu	Ag	Cl	Au
Spannung (Volt)	— 0,43	— 0,12	— 0,10	0	+ 0,47	+ 0,80	+ 1,35	+ 1,5

Zahlenwerte nur bedingt zu werten, da durch Art, Konzentration und Temperatur des Elektrolyten gewisse Veränderungen eintreten können.

Für die Bildung von Lokalelementen innerhalb des Aluminiums bzw. der Leichtmetallegerungen selbst ist weiterhin die Zusammensetzung, der physikalische Zustand und die Oberflächenbeschaffenheit von wesentlicher Bedeutung.

Das reinste Aluminium zeigt den besten Korrosionswiderstand, so daß das im Handel erhältliche Reinaluminium mit mindestens 99,5% Al allen praktischen Anforderungen am besten entspricht. Die ständigen Verunreinigungen jedes Aluminiums an Silizium und Eisen sind als die Ursache von Korrosionen anzusehen. Ein größerer Siliziumgehalt an sich braucht jedoch noch nicht schädlich zu sein, wie das Silumin beweist; es kommt vielmehr darauf an, in welcher Form das Silizium im Aluminium enthalten ist. Bekanntlich (s. S. 9) liegt das Silizium in selbständigen Kristallen vor, die, weil hart und spröde, beim Walzen zertrümmert werden und zu Hohlräumen an der Blechoberfläche führen, die die Veranlassung zu späteren Korrosionen geben. Durch eine geeignete Warmbehandlung läßt sich aber die Größe und Menge der Siliziumkristalle weitgehend beeinflussen, wie schon an anderer Stelle (siehe S. 9) näher ausgeführt wurde. Durch Glühen oberhalb  $400^{\circ}$  löst sich alles Silizium im Aluminium auf und wird auch bei nachfolgender schneller Abkühlung in Lösung gehalten oder nur in feinverteilter, unschädlicher Form ausgeschieden.

Eisen findet sich in der chemischen Verbindung  $\text{FeAl}_3$  im Aluminium in der Form harter, spröder Kristalle an den Korngrenzen, ebenso Kupfer bei größeren Mengen, wenn es nicht mehr gelöst ist (siehe S. 8 u. 11), in der chemischen Verbindung  $\text{CuAl}_2$ . Hierdurch ist die Gefahr der Korrosion durch Lokalelemente gegeben. Die in der Praxis gebräuchlichen Kupfer-Aluminiumlegierungen besitzen daher keine große Korrosionsbeständigkeit. Ganz verheerend wirkt sich das Vorhandensein elementaren Kupfers aus, das etwa in der Form kleiner Flitter in die Oberfläche eingewalzt bzw. eingezo-gen ist. Infolge des großen Spannungsunterschiedes zwischen Aluminium und Kupfer tritt hier ein starkes galvanisches Element auf, bei dem das Aluminium anodisch gelöst und in kurzer Zeit zerstört wird. Zink wirkt in ähnlicher Weise wie Kupfer, und es scheint, als ob Zink die Passivität des Aluminiums sehr herabsetzt. Mangan und Antimon dagegen üben offenbar eine korrosionshindernde Wirkung durch Bildung von Schutzschichten aus, so daß man diese Bestandteile häufig in korrosionsfesten Legierungen findet.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein Stoff gegen chemischen Angriff um so widerstandsfähiger ist, je glatter seine Oberfläche ist. Das ist auch leicht erklärlich, da die Bildung einer Schutzschicht auf einer rauhen Oberfläche sehr erschwert wird und die Gefahr, daß sich in Poren, Riefen und Unebenheiten korrosionsfördernde Produkte festsetzen, groß ist.

**3. Prüfung auf Korrosionsbeständigkeit.** Die Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe ist oft von ausschlaggebender Bedeutung für ihre Verwendbarkeit, so daß es wünschenswert ist, sie durch einen eindeutigen Kurzversuch zu prüfen. Die Vielgestaltigkeit und Eigenart der Korrosionsvorgänge, die sich meist noch über einen längeren Zeitraum erstrecken, hat sich bisher jedoch noch nicht in eine allgemein befriedigende, kurzzeitige Prüfung hineinbringen lassen. In vielen Fällen ist man daher gezwungen, einen langdauernden Korrosionsversuch unter gleichen Bedingungen, unter denen später der Werkstoff praktisch arbeitet, anzusetzen. Immerhin lassen Kurzprüfungen eine gewisse Beurteilung über das Verhalten der Werkstoffe gegen chemischen Angriff zu. Voraussetzung für vergleichbare Ergebnisse ist, daß die Prüfungen unter gleichen Bedingungen ausgeführt werden. Hierzu gehört, daß schon beim Werkstoff seine Herstellung, Bearbeitung und Behandlung berücksichtigt und gleiche Probenform und -abmessung gewählt wird. Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt hat ein

Schema (Abb. 34) aufgestellt, um eine gewisse Einheitlichkeit bei der Durchführung von Korrosionsprüfungen von Leichtmetallen anzustreben. Gebräuchliche Korrosionsprüfungen sind:

Die thermische Salzsäureprobe nach Mylius. Hierbei wird eine Probe von 20 cm<sup>2</sup> Oberfläche in ein Reaktionsrohr gebracht, das genau 20 cm<sup>3</sup> Salzsäurelösung der Konzentration von 100 g Salzsäure auf 1 l enthält. Lufttemperatur während des Versuches 20°. Die durch die Reaktionswärme erzeugte Temperaturerhöhung wird abhängig von der Zeit gemessen. Zur Messung der Reaktionsgeschwindigkeit dient die Beobachtung eines Temperaturhöchstwertes; der mittlere Gradzuwachs in 1 min von  $\frac{t-20}{\text{min}}$  wird die „Reaktionszahl“ genannt.

Für dünne Bleche wird diese Probe auf eine „Dezimalprobe“ abgeändert, indem das Probierrohr nur mit 5 cm<sup>3</sup> einer 4% igen Salzsäurelösung gefüllt wird. Bei

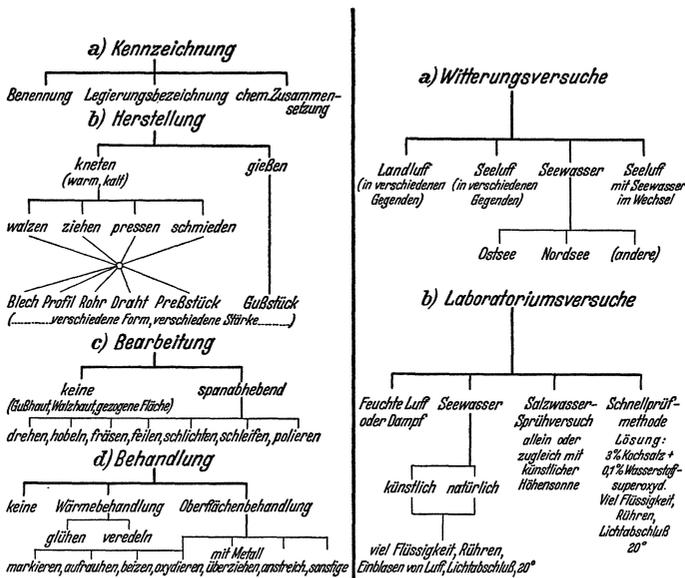


Abb. 34. Korrosionsprüfung von Leichtmetallen.

Verwendung einer 4% igen Natronlauge soll die „Alkalibeständigkeit“ des Aluminiums festgestellt werden.

Oxydische Kochsalzprobe nach Mylius. Hierbei wird die Probe in eine wässrige Lösung von 1% Kochsalz mit 3% Wasserstoffsuperoxyd getaucht. Es wird die nach 24 h Einwirkung gebildete Oxydmenge gewogen und aus dieser Wägung der Metallverlust auf 1 m<sup>2</sup> Oberfläche ausgerechnet.

Diese Proben wurden durch Rachwitz und Schmidt<sup>1</sup> durch Abänderung der Metallprobe und Verlängerung der Versuchsdauer auf 6 h erweitert. Durch Biegler<sup>2</sup> wurde dieser Versuch noch dahin ergänzt, daß er über mehrere Tage ausgedehnt, immer nach 24 h der Metallverlust festgestellt und frische Lösung zugesetzt wurde. Außerdem wird der Abfall der Biegezahlen ermittelt.

Bei den bei der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL.) durchgeführten Korrosionsversuchen werden die Proben abwechselnd in See-

<sup>1</sup> Korrosion und Metallschutz, Bd. 2 S. 257, 1926.

<sup>2</sup> Z. Metallkde., Bd. 18 (1926) S. 288.

wasser bzw. Kochsalzlösung getaucht und an der Luft getrocknet. Nach Oberflächenbeschaffenheit, Gewichtsverlust und Veränderung der mechanischen Eigenschaften wird geurteilt. Weitere Korrosionsversuche werden in feuchter Luft (bis 100% Luftfeuchtigkeit), Salzwasser-Nebel, Wasserdampf und im Sprühnebel mit Süßwasser, Seewasser und 20% iger Kochsalzlösung angestellt<sup>1</sup>.

Zur Feststellung der Korrosion von Metallblechen durch Motorenkraftstoffe ist von Wawrziniok<sup>2</sup> eine neue Methode entwickelt worden. Es werden je 4 Probestücke von 30 mm Durchmesser und etwa 0,5÷2,5 mm Dicke

Tabelle 10. Chemische Beständigkeit verschiedener Leichtmetalllegierungen. (Nach Angaben der Karl Schmidt G. m. b. H.)

Angabe des Gewichtsverlustes in g/m<sup>2</sup> Oberfläche für 100 h bei Zimmertemperatur

Befund: a = gleichmäßig angegriffen, b = deutliche örtliche Bevorzugung, c = ausgesprochener Lochfraß.

Anorganische Salzlösungen	Rein-Al		KS-Seew.		Deutsche Leg.		Amerik. Leg.	
	Gewichtsabnahme	Befund	Gewichtsabnahme	Befund	Gewichtsabnahme	Befund	Gewichtsabnahme	Befund
Alaun, 5%ig . . . . .	1,8	a	2,5	a	3,2	b	4,1	b
Ammoniumchlorid, kalt gesättigt	0,4	a	0,4	a	0,9	a	0,7	a
Ammoniumkarbonat, 10%ig . . .	0	—	0	—	0	—	0	—
Ammoniumsulfat, 10%ig . . . .	0,3	b	0,5	c	0,6	c	0,3	c
Ammoniumnitrat, 10%ig . . . .	0,1	b	0,2	b	—	—	—	—
Bariumchlorid, 10%ig . . . . .	0,2	b	0,1	b	—	—	—	—
Kalziumchlorid, 25%ig . . . . .	0,2	b	0,1	b	1,1	b	0,8	c
Kalziumnitrat, 10%ig . . . . .	0,1	a	0,1	a	—	—	—	—
Ferrizyankalium, 10%ig . . . . .	0,5	b	0,3	a	—	—	—	—
Kaliumbromid, 10%ig . . . . .	0,1	b	0,2	b	—	—	—	—
Kaliumbichromat, 5%ig . . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—
Kaliumchlorat, 5%ig . . . . .	0,2	b	0,2	a	—	—	—	—
Kaliumtetraoxalat, 5%ig . . . .	1,7	b	2,8	a	—	—	—	—
Kaliumnitrat, 5%ig . . . . .	1,4	c	2,5	a	—	—	—	—
Magnesiumchlorid, kalt gesättigt .	0,1	a	0,1	a	—	—	—	—
Magnesiumsulfat, 20%ig . . . . .	<0,1	b	0	—	<0,1	c	<0,1	b
Natriumbikarbonat, 10%ig . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—
Natriumsulfat, 10%ig . . . . .	0,1	b	0,1	b	0,1	c	0,2	c
Natriumphosphat, 10%ig . . . . .	<0,1	a	<0,1	a	—	—	—	—
Natriumsulfit, 10%ig . . . . .	0	—	0	—	0	—	<0,1	c
Natriumthiosulfat, 10%ig . . . .	0,4	b	0,2	b	—	—	—	—
Natriumoxalat, kalt gesättigt . .	0,6	b	0,8	b	0,8	b	0,6	b
Zinksulfat, 2%ig . . . . .	0,1	b	0,1	b	0,1	b	0,1	b
Nahrungsmittel:								
Essigsäure, konzentriert . . . . .	0	—	0	—	0	—	<0,1	a
Essigsäure, 10%ig . . . . .	0,6	b	0,7	a	—	—	—	—
Honig . . . . .	0,1	a	0	—	0,5	b	0,5	b
Milchsäure, technische, 80%ig . .	0,6	b	<0,1	a	2,2	a	3,2	a
Preiselbeeren . . . . .	0,1	b	0	—	0,5	b	0,5	b
Senf . . . . .	5,0	c	0,5	b	5,0	c	5,0	c
Weinsäure, 10%ig . . . . .	0,2	a	0,3	a	—	—	—	—
Weichkäse . . . . .	0,5	a	0	—	1,0	c	1,0	c
Zitronensäure, 10%ig . . . . .	0,2	a	0,2	a	—	—	—	—
Zuckerlösung, 10%ig . . . . .	<0,1	a	<0,1	a	—	—	—	—

<sup>1</sup> Ein Schnellprüfverfahren ist der Rührversuch mit 3% Kochsalzlösung unter Zusatz von 0,1% Wasserstoffsuperoxyd. <sup>2</sup> Haus-Z. Aluminium, Heft 2 (1930) S. 65.

Tabelle 10. (Fortsetzung.)

Verschiedene Agentien in Haushalt und Betrieb usw.	Rein-Al		KS-Seew.		Deutsche Leg.		Amerik. Leg.	
	Gewichts-abnahme	Befund	Gewichts-abnahme	Befund	Gewichts-abnahme	Befund	Gewichts-abnahme	Befund
Atmosphäre der Großstadt . . .	<0,1	a	0	—	—	—	—	—
Alkohol, 96%ig . . . . .	0	—	0	—	0	—	0	—
Alkohol, 48%ig . . . . .	0,1	a	0,1	a	0,2	b	0,1	b
Ameisensäure, 10%ig . . . . .	1,1	b	1,6	a	—	—	—	—
Ammoniak, 0,91%ig . . . . .	1,8	b	5,4	a	—	—	—	—
Borax, 5%ig . . . . .	0,3	a	0,2	a	—	—	—	—
Borsäure, 5%ig . . . . .	0,1	a	0,1	b	—	—	—	—
Benzin und Benzol . . . . .	0	—	0	—	0	—	0	—
Chlorkalklösung, 1%ig . . . . .	2,7	a	2,5	a	2,6	a	4,2	a
Chromsäure, 5%ig . . . . .	1,7	b	0	—	4,6	a	5,8	b
Fäkalien . . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—
Formaldehydlösung, 10%ig . . . . .	6,3	b	6,0	a	—	—	—	—
Gerbsäure, 10%ig . . . . .	0,3	a	0,4	b	—	—	—	—
Jodlösung, 0,1%ig . . . . .	0,7	a	2,0	a	—	—	—	—
Kohlensäure, wäßrige, gesättigte Lösung . . . . .	0,2	b	0,2	a	0,8	b	0,5	a
Nitrobenzol . . . . .	0	—	0	—	<0,1	a	0	—
Ölsäure . . . . .	0	—	0	—	0	—	0	—
Phenol, 80%ig . . . . .	0	—	0	—	<0,1	a	<0,1	a
Persil, 10%ig . . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—
Rohkresol . . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—
Schweflige Säure, gasförmig . . . . .	<0,1	b	0	—	<0,1	b	<0,1	b
Schmierseife . . . . .	7,7	c	4,3	a	—	—	—	—
Sulfitvorlauf (aldehydhaltig) . . . . .	0,1	a	0,1	a	—	—	—	—
Salizylsäure, 0,3%ig . . . . .	0,4	a	0,7	a	—	—	—	—
Teeröl . . . . .	0	—	0	—	0	—	0	—
Tetrachlorkohlenstoff . . . . .	0	—	0	—	—	—	—	—

derart in einen Glasbehälter gebracht, daß sich je 2 Probestücke dauernd am Grunde der Flüssigkeit befinden, während die beiden anderen von der Flüssigkeit überspült werden, wozu ein besonderer Apparat vorhanden ist. Die Versuche ergeben, daß eine Beanspruchungsdauer von 12 Tagen in der Spülmaschine derjenigen von 150÷200 Tagen in ruhender Flüssigkeit gleichkommt.

Die Korrosionsversuche müssen aufmerksam ausgewertet werden, um Trugschlüsse zu vermeiden. In erster Linie muß die Oberflächenveränderung beobachtet und verglichen werden. Zahlenmäßig vergleichbare Werte lassen sich aus der Gewichtsveränderung gewinnen, wobei jedoch darauf zu achten ist, daß nicht durch festhaftende Oxydreste die Ergebnisse der Wägung verfälscht werden. Zur Vervollständigung der Ergebnisse einer Korrosionsprüfung hat es sich häufig als zweckmäßig erwiesen, auch noch die Veränderung von Festigkeit und Dehnung durch die Korrosion festzustellen. Ein gewichtsmäßig stärkerer aber über die Fläche gleichmäßiger Angriff kann oftmals günstiger beurteilt werden als ein zwar gewichtsmäßig geringerer, aber örtlich dafür um so stärkerer Angriff, der erhebliche Festigkeitsverminderungen im Gefolge hat. Erst nach sorgfältigem Vergleich all dieser Faktoren vermag man sich ein richtiges Bild von dem Korrosionsverhalten eines Werkstoffes zu machen.

In der Tabelle 10 sind zahlreiche Ergebnisse von Korrosionsversuchen mit Aluminium und Aluminiumlegierungen in den verschiedensten chemischen Angriffsmitteln zusammengestellt.

## V. Oberflächenbehandlung.

**1. Mechanisch.** a) Scheuern und Polieren. Durch Behandlung mit Stahl- oder Metalldrahtbürsten erhalten die Leichtmetalle eine gleichmäßige, mattglänzende Oberfläche, die eine gute Grundlage für Farb- und Lackanstriche bildet. Durch Polieren wird eine vorzügliche, hochglänzende Oberfläche erzielt, deren ursprünglicher Glanz durch einfaches Putzen jederzeit wieder hergestellt werden kann. Vor dem Polieren müssen vielfach die Werkstücke geschliffen werden (siehe S. 30). Poliert wird mit feinem Schmirgel, Wiener Kalk oder Polierrot an Schwabbelscheiben, die mit Talg oder Terpentin getränkt sind. Meist werden die Teile dann noch mit Benzol entfettet und an weichen Schwabbelscheiben fertigpoliert.

Elektron läßt sich zwar auch hochglanz polieren, doch wird die Politur nach kurzer Zeit wieder matt.

b) Anstriche. Durch Farben und Lacke lassen Leichtmetalle sich dauerhaft anstreichen. Geeignete Anstrichmittel sind in Tabelle 11 für verschiedene Verwendungszwecke angegeben, wobei es sich empfiehlt, von den Herstellungsfirmen noch genaue Behandlungsvorschriften einzufordern. Wichtig ist, daß die zu streichenden Flächen vorher sorgfältig gereinigt werden. Zur Reinigung und Entfettung wird Benzin, Soda oder Natronlauge, gelegentlich auch ein feines Sandstrahlgebläse verwendet. Die Reinigungsmittel selbst müssen dann wieder durch genügendes Spülen und Trocknen sorgsam entfernt werden.

c) Plattieren. Bei diesem Verfahren werden die hohen mechanischen Eigenschaften aushärtbarer Aluminiumlegierungen mit den guten Korrosionseigenschaften des Reinaluminiums oder einer korrosionsbeständigen, ebenfalls aushärtbaren Legierung zu einem „Bimetall“ vereinigt, indem das Aluminium als Deckschicht von 0,1÷1 mm Dicke auf das Grundmetall aufgebracht wird. Die der Öffentlichkeit im einzelnen nicht bekannten Verfahren können darin bestehen, daß die Schichten aufgegossen oder als Blech aufgebracht werden, die dann bei Weiterverarbeitung durch Warm- und Kaltschweißen innig verbunden werden. Die Haftfähigkeit zwischen den Schichten ist so groß, daß selbst bei stärksten Biegebeanspruchungen die Schicht nicht abblättert. Derartige plattierte Werkstoffe sind „Allautal“ (siehe S. 21), „Duralplat“ (siehe S. 20) und „Albondur“ (siehe S. 18). Auch Plattierungen mit Kupfer (Cupal), Zinn, Zink, Blei, Messing und Kadmium werden ausgeführt (Fa. Hetzel & Co., Nürnberg).

**2. Chemisch.** a) Beizen. Eine reine metallische Oberfläche wird durch Beizen erzielt. Vorher müssen die Teile in kochendem Seifenwasser, Benzin u. dgl. gründlichst gereinigt werden. Dann wird mit einer 10% igen Natronlauge in einem Eisenbehälter gebeizt und hinterher in 10% iger Salpetersäure in einem Behälter aus Reinaluminium oder Steingut abgespült. Etwa noch anhaftende Säure- und Laugenreste müssen sorgfältig entfernt werden, um spätere Anfressungen zu vermeiden. Zur Erzielung einer silberweißen Oberfläche beizt man in 50% iger Natronlauge und darauf in 10% iger Salzsäure oder 30% iger Schwefelsäure.

b) Färben. Für die Oberflächenfärbung von Aluminium gibt es zwar eine Reihe von Verfahren, doch stoßen sie noch auf allerhand Schwierigkeiten und ergeben auch noch kaum beständige Überzüge, so daß sie bisher keine größere Anwendung in der Praxis gefunden haben. Näheres ist dem Buch von Hugo Krause, „Metallfärbung“, Verlag Julius Springer, 1922, S. 177ff. zu entnehmen. Hier sei nur auf die bekannten Verfahren von Pacz und Jirotko hingewiesen. Nach Pacz wird in einem Sud von Natriumfluorid eine schwarz marmorierte

Tabelle 11. Lack-Farbanstriche auf Aluminiumgüß.

Bezeichnung	Hersteller	Arbeitsverfahren	Eigenschaften	Deckfähigkeit
I. G. Lack 11 XVI 3 K mit Al-Bronze	I. G. Wolfen	Spritzen	Süß- und salzwasser- beständig	1 kg = 7 ÷ 8 m <sup>2</sup>
I. G. Lack 11 XVI 3 K transparent	"	"	"	1 kg = 7 m <sup>2</sup>
Spritzspachtel 139 extra, grau, weiß, Verdüner S	I. G. Ludwigshafen	Spritzen, lufttrock- nend; kann naß ge- schliffen werden	Beständig gegen atm. Korrosion	
Ziehspachtel 244 b grau und weiß	"	Ziehen; für schlechten Untergrund naß schleifbar	"	
Decklack B 1 extra, alle Farbtöne	"		Beständig gegen Atm. und Seeluft, schwache Säuren u. milde Alkalien	1 kg = 10 m <sup>2</sup>
Decklack KR extra, alle Farbtöne	"	Spritzlack; wird nicht geschliffen oder poliert	Sehr wetterbeständig und beständig gegen Säuren und Alkalien	"
Schutzlack 316 farblos	"	Spritzlack	Gute Wetterbeständigkeit	"
Tokiol hellgrau	Zöllnerwerke		Seewasseranstrich über Wasserlinie	
Tokiol m. Aluminium	"		"	deckt gut
Leichtmetall- spachtel rot, grau	H. Frenkel Leipzig	Ziehen oder spritzen	Korrosionsfest, ölfest	1 kg = 2 ÷ 4 m <sup>2</sup>
Spritzspachtel EL 18	"	Spritzen, gebeizte oder rauhe Oberflächen	"	1 kg = 3 ÷ 5 m <sup>2</sup>
Elegantine-Lack- farbe grau EL 32	"	"	"	1 kg = 5 ÷ 6 m <sup>2</sup>
Elegantine Al-Lack- farbe EL 32 Al	"	"	"	"
Faktor-Deckfarbe grau 480/5935	"	Streichen od. spritzen	Wetter- u. seewasser- fester Anstrich	1 kg = 7 ÷ 8 m <sup>2</sup>
Faktor-Deckfarbe Aluminium 480/Al	"	"	"	"
Faktor-Deckfarbe seewasserfest grau, FA 14	"	"	"	"
Eisblumenlack hell, schwarz, blau oder braun	"	"	Für kleinere Teile bei Innenverwendung	"
Ofentr. Grundemaillen	"	"		"
Al-Schutzfarbe silbrig L 1501	Ruberoid- werke A. G. Hamburg	Lufttrocknend (mit od. ohne Grund- dieranstrich L 1503)	Säure- u. alkalibeständ. Schutzanstrich für atm. Korrosion	1 kg = 6 m <sup>2</sup>

Tabelle 11. Lack-Farbanstriche auf Aluminiumguß (Fortsetzung).

Bezeichnung	Hersteller	Arbeitsverfahren	Eigenschaften	Deckfähigkeit
Al-Schutzfarbe grünlich L 1502	Ruberoid- werke A.G. Hamburg	Mit Grundieranstrich L 1503	Beständig gegen atm. Korrosion und Seeluft	1 kg = 6 m <sup>2</sup>
Rubol I schwarz	„			1 kg = 8 m <sup>2</sup>
Spezial-Leicht- metall-Schutz- marke Nr. 1227	Farbenfabrik „Hansa“ G. m. b. H. Kiel	Lufttrocknend	Säure- u. alkalifest, atm. Korrosion u. vorüberg. Angriff von Seewasser	1 kg = 8 ÷ 9 m <sup>2</sup>
Nr. 1227 a schnelltrocknend	„	„	Verwendbar für dauernden Seewasserangriff	„
Nr. 1227 b	„	Ofentrocknend 120—150°	Beständig bei hohen Temperaturen	„
Hochdisperse Blei-Mennige „Tego“	Goldschmidt Essen	Pinselel-anstrich Spritzverfahren	Seewasseranstrich unter Wasserlinie	1 kg = 8 ÷ 12 m <sup>2</sup>
Bitumin. Anstrich- mittel „Bitegol“	„	„	„	1 kg = 6 ÷ 10 m <sup>2</sup>
Asphaltlack	Rütgerswerke Berlin	Streichen	Seewasserschutz	

Oberfläche auf metallisch blankem Untergrund erhalten, dessen Muster durch Zeitdauer, Badtemperatur und Bewegung mannigfach verändert werden kann. Nach Jirotko werden die Aluminiumteile in ein kaltes oder warmes Bad, das Salpetersäure und lösliche Salze von Schwermetallen enthält, getaucht. Ein matter oder auch irisierender Überzug wird nun erzielt, wenn die Teile noch einige Zeit hindurch in konzentrierte Salpetersäure gebracht werden. Diese Überzüge verbürgen aber offenbar allein noch keinen genügenden Korrosionsschutz, da sie meist noch mit Anstrichen u. dgl. versehen werden. Das MBV-(Modifizierete Bauer-Vogel-)Verfahren der Vereinigten Aluminium-Werke A.G. Grevenbroich versieht Reinaluminium und alle kupferfreien Aluminiumlegierungen mit einer hell- bis dunkelgrau gefärbten korrosionsbeständigen Schutzschicht, die selbst bei stärksten Verformungen nicht abblättert. Die zu schützenden Gegenstände werden wenigstens 5 min bis längstens 1 ÷ 2 h in eine wässrige Lösung (Temperatur über 90°) eines leichtlöslichen Salzgemisches gebracht und nachdem gründlich mit klarem Wasser abgespült.

c) Oxydieren. Durch anodische Oxydation wird auf der Oberfläche von Aluminium und Aluminiumlegierungen eine Oxydschicht gebildet, die in den Werkstoff selbst hineinwächst, sehr fest haftet, eine elektrisch stark isolierende Wirkung hat und große Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion besitzt. Bekannte Oxydationsverfahren sind: das Eloxal-(Elektrisch oxydiertes Aluminium-)Verfahren der Vereinigten Aluminium-Werke A.G. Lautawerk. Beim Verfahren von G. D. Bengough und J. M. Stuart werden die Teile kurz vor der Behandlung mit Petroleum, Benzin od. dgl. entfettet, gereinigt und getrocknet und dann als Anode in chemisch reiner Chromsäure bei einer Temperatur von 40 bis höchstens 44° der Elektrolyse ausgesetzt. Als Kathode dient Graphit. Die Stromspannung des Bades wird innerhalb 15 min langsam von 0 auf 40 V ge-

steigert und hier 35 min gehalten, dann in 5 min auf 50 V gesteigert und hier 5 min lang gehalten. Die Stromdichte beträgt  $0,3 \div 0,4 \text{ A/dcm}^2$ .

Das Verfahren von A. Günther-Schulze ähnelt dem vorhergehenden, doch sind Elektrolyt, Stromspannung und Stromdichte sehr verschieden. Die anfängliche Spannung beträgt  $4 \div 5 \text{ V}$  in 15 min steigend auf 150 V. Beim Einschalten beträgt die Stromdichte 0,5 A. Die Spannung steigt bis 400 V, und an der allmählich weißlichgrauen Oxydschicht zeigen sich zahlreiche kleine Funken, die jedoch die Bildung des Schutzüberzuges nicht beeinträchtigen.

Das Verfahren nach Gower O'Brien. Hierbei werden die Teile in ungefähr 10% iger Schwefelsäure behandelt mit zugesetzten Chemikalien, die das Aussehen des Überzuges verbessern sollen. Der Elektrolyt muß vor der Verwendung mindestens 12 h stehen. Die Badspannung beträgt zuerst 6 V und steigt während der Behandlungszeit, etwa 1 h, auf 30 V.

Zu den vorerwähnten Verfahren gehört auch noch das Spefas-Verfahren (Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen), das die Herstellung oxydisolierter Leitungsdrähte für die Elektrotechnik ohne jede andere Isolation bezweckt.

Abgesehen von der isolierenden und korrosionshindernden Wirkung haben diese anodischen Oxydationsschichten, die noch dazu in jeder beliebigen Stärke erzeugt werden können, eine außerordentlich hohe Härte, so daß sich auch nach dieser Richtung hin noch viele Anwendungsmöglichkeiten finden werden.

**3. Metallische Überzüge.** Überzüge aus Kadmium, Chrom, Nickel und anderen Metallen werden wegen des Aussehens oder der Abnutzung durch Berühren aufgebracht. Gegen Korrosion schützen diese Überzüge jedoch nur, wenn sie dicht sind und unverletzt bleiben. Andernfalls tritt, da sie edler sind als Aluminium, elektrolytisch ein verstärkter Angriff gegen das Aluminium auf. Aus Gründen der Haftfestigkeit soll ihre Dicke 0,1 mm nicht übersteigen und wegen mechanischer Abnutzung 0,03 mm nicht unterschreiten. Die Überzüge werden im Galvanisier-, Aufbürst- und Spritzverfahren hergestellt.

Auf galvanischem Wege können heute einwandfrei Chrom- und Nickelüberzüge erzeugt werden. Auch Kadmiumüberzüge werden galvanisch in jeder beliebigen Dicke hergestellt. Durch Aufbürsten mittels Stahlbürsten können leichtschmelzende Metalle, wie Kadmium und Zinn, aufgetragen werden. Auch das Schoop'sche Metallspritzverfahren ist für niedrigschmelzende Metalle, die sich mit Aluminium legieren, anwendbar. Um eine festhaftende Deckschicht zu erhalten, muß naturgemäß für eine saubere und blanke Oberfläche gesorgt werden.

Die metallischen Überzüge werden, richtig angewendet, in vielen Fällen ihren Zweck erfüllen, doch ist bei hoher mechanischer Beanspruchung Vorsicht geboten.

Alphabetisches Verzeichnis der Leichtmetalllegierungen von  
Tabelle 12 (siehe S. 46 ff.).

	Tabelle Nr.	Text Seite		Tabelle Nr.	Text Seite
Aeron . . . . .	63	16	Hydronalium . . . . .	17	11
Aladar . . . . .	14	11	Hyman-Legierung . . . . .	84	20
Albondur . . . . .	77	18			
Alcumin . . . . .	23	—	Kokillengußlegierung . . . . .	41	—
Aldrey . . . . .	64	16	Koltschug-Aluminium . . . . .	85	20
Alferium . . . . .	65	20	KS-Kolbenlegierung . . . . .	42	14
Al-Guß 1 . . . . .	24	13	KS-Kolbenlegierung 245 . . . . .	43	14
Al-Guß 2 . . . . .	25	13	KS-Seewasser . . . . .	44	14
Al-Kolbenguß 1 . . . . .	26	14	Kupfersilumin . . . . .	45	10
Al-Kolbenguß 2 . . . . .	8	9			
Al-Kolbenguß 3 . . . . .	27	14	Lautal . . . . .	86	20
Al-Kolbenguß 4 . . . . .	28/66	14	Legierung 4 . . . . .	3	8
Allautal . . . . .	87	21	Legierung 47 . . . . .	49	—
Almasilium . . . . .	67	—	Legierung 98 . . . . .	7	9
Almelec . . . . .	68	17	Levismin . . . . .	46	—
Alneon . . . . .	69	17	L. M. . . . .	47	—
Alpax . . . . .	15	11	Lynite . . . . .	88	—
Alucable . . . . .	70	17			
Aludur . . . . .	71	17	Magnalium . . . . .	20	11
Alufont . . . . .	72	17	Magnesium, Rein- . . . . .	98	22
Aluman . . . . .	31	14	Mangal . . . . .	21	—
Aluman Spezial . . . . .	32	14	Montegal . . . . .	89	17
Aluminium-Rein . . . . .	1	1	MVC Alloy . . . . .	16	11
Alusil . . . . .	29	14			
Alzeumemetall . . . . .	12	9	„N“-Legierung . . . . .	48	—
Alzine Gußmetall . . . . .	10	9	Neonalium . . . . .	90	17
Amerikan. Kolbenlegierung . . . . .	30	14			
Amerikanische Legierung . . . . .	5	8	Pantal . . . . .	50/91	15
Anticorodal . . . . .	73	17	Polital . . . . .	51	—
Argilit . . . . .	33	—	Preß-Al-Legierung . . . . .	9	9
Avional . . . . .	74	17			
			Quarzal . . . . .	92	—
Bahnaluminium . . . . .	4	8			
Bohnalite . . . . .	34/75	14	Silberit . . . . .	52	—
Bondur . . . . .	76	18	Silumin . . . . .	13	9
BS-Seewasser . . . . .	35	—	Silumin-Beta . . . . .	53	10
BSS-Legierung . . . . .	18	12	Silumin-Gamma . . . . .	93	11
			Skleron . . . . .	94	21
Chlumin . . . . .	78	—	Sonderlegierung 41 . . . . .	54	15
Cindal . . . . .	36	14	Spezial-Al . . . . .	95	—
Constructal 2 . . . . .	79	18	Spreealuminium . . . . .	2	8
Constructal 8 . . . . .	80	18	Spritzguß-Al . . . . .	55	15
Cromal . . . . .	37	14	Spritzguß-Legierung . . . . .	56	15
			Spritzguß-Legierung 1 . . . . .	57	15
Deutsche Legierung . . . . .	38	12	Spritzguß-Legierung 2 . . . . .	58	15
Dow-Metall . . . . .	100	25			
Duralplat . . . . .	82	20	Telectal . . . . .	96	17
Duralumin . . . . .	81	18	Tiers Argent . . . . .	22	12
Duranalium . . . . .	19	12	Titanal . . . . .	59	14
Elektron . . . . .	99	22	Ultralumin . . . . .	60	15
			Y-Legierung . . . . .	97	21
Fuller-Legierung . . . . .	83	20			
			Zimalium . . . . .	61	—
Guß-Aluminium . . . . .	39	14	Zirkonal . . . . .	62	14
Gußaluminium . . . . .	6	8	Ziskon . . . . .	11	9
Helumin . . . . .	40	14			

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurz- zeichen	Chemische Zusammensetzung							
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %
A. Aluminium										
1	Rein- aluminium	Al 99,5 Al 99 Al 98/99	} nach Din 1712							
B. Aluminiumlegierungen 1) Zweistofflegierungen										
2	Spre- aluminium	Cu-Al 2	98	2						
3	Leg. 4		96	4						
4	Bahn- aluminium	Cu-Al 6	94	6						
5	Amerikan. Legierung		92	8						
6	Guß- aluminium	Al 34	89	11						
7	Leg. 98		88	12						
8	Al-Kolben- guß 2		84	16						
9	Preß-Alumi- nium-Legie- rung	Al 7	89		11					
10	Alzine od. Sibley-Guß- metall		80		20					
11	Ziskon		75		25					
12	Alzeume- metall		65 ÷ 67		35 ÷ 33					
13	Silumin	30 30 31 W 31 H <sup>1/2</sup> 31 H	Rest			12 ÷ 13,5				
14	Aladar		~ 87		~ 13					
15	Alpax		~ 87		~ 13					
16	M. V. C. Alloy		95 ÷ 85		5 ÷ 15					
17	Hydronalium	Hy 8 Hy 9 Hy 9	91					9		
		Hy 5	95					5		
		Hy 7	93					7		

## von Leichtmetalllegierungen.

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text
SG = Sandguß KG = Kokillenguß SpG = Spritzguß V = ausgehärtet V <sup>1</sup> = veredelt W = knetbearbeitet u. weichgeglüht H = hart durch Kaltknetung	$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\frac{\sigma_S}{(0,2\% \sigma_0)}$	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L		Seite
	g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$		
SG W H	2,69 2,70 2,70	6900	— — 9 ÷ 14	3 ÷ 4 5 ÷ 8 14 ÷ 24	9 ÷ 12 7 ÷ 11 15 ÷ 28	18 ÷ 25 30 ÷ 45 3 ÷ 5	24 ÷ 32 15 ÷ 25 35 ÷ 60	4 7	24 23	35		1
W H SG	2,75 2,8 2,8			8 ÷ 10 10 ÷ 12	14 ÷ 16 25 12	30 5 5	45 60		24		AEG Ver. Staaten AEG	8 8 8
SG KG H SG KG SG KG SG KG	2,85 2,95 2,95 3,0	6500 ÷ 6800	3 ÷ 4	6 ÷ 10 8 ÷ 10 10 ÷ 12	12 ÷ 16 14 ÷ 16 20 ÷ 25	3 ÷ 5 3 ÷ 5 10 ÷ 12	50 ÷ 70 60 ÷ 75 65	24	20		Rob. Bosch AG. England AEG.	8 8 9 9
W H	2,9		9 ÷ 12	12 ÷ 14	15 ÷ 20	1 ÷ 2	95	23			Rob. Bosch AG.	9 9
V <sup>1</sup> —SG KG V <sup>1</sup> —W V <sup>1</sup> —1/2H V <sup>1</sup> —H	2,65 2,65 2,7 2,7 2,7	7000 ÷ 7500 6500 ÷ 7500	~ 4 ~ 6	÷ 8,5 ÷ 10,5 6 ÷ 8 12 ÷ 15 15 ÷ 18	17 ÷ 20 18 ÷ 22 13 ÷ 16 16 ÷ 20 20 ÷ 25	4 ÷ 8 2 ÷ 6 15 ÷ 25 3 ÷ 10 2 ÷ 5	55 ÷ 60 60 40 ÷ 55 50 ÷ 60 60 ÷ 80	~ 5 6 ÷ 7	22 22,2	~ 26	Metallgesellschaft Ver. Leichtm.- Werke Frankreich Ver. Staaten	9 9 11 11
V <sup>1</sup> —SG V <sup>1</sup> —KG	2,68	6900		8 ÷ 9 8 ÷ 9	14 ÷ 17 17 ÷ 20	5 ÷ 10 7 ÷ 11	40 40	4,5	21,7	17 ÷ 30	Metro- politain Vickers Co	11 11
Gußleg. SG KG SpG Preßleg. W W	2,63 ÷ 2,59	~ 6800 ~ 7000		~ 10 12 ÷ 15	17 ÷ 19 23 ÷ 26 20 ÷ 22	3 ÷ 5 6 ÷ 12 ~ 1,5	~ 60 70 ÷ 80	~ 6 ~ 7			I. G.-Far- benindus- trie	11
		6600 ÷ 6700 6900 ÷ 7000	8 ÷ 9	9 ÷ 10	23 ÷ 25	16 ÷ 22	55 ÷ 60	13 ÷ 14				
			13 ÷ 15	15 ÷ 18	31 ÷ 35	16 ÷ 22	70 ÷ 75	13 ÷ 14				

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung								
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %	
17	Hydronalium	Hy 9	91						9		
		Hy 8	92						8		
		Hy 10	90						10		
		Hy 7	93						7		
		Hy 7	91						9		
		Hy 9	91						9		
18	BSS-Legierung	63/05 P	95						5		
		63/05 W									
		63/05 H <sup>1/2</sup>	93						7		
		63/07 P									
		63/07 W									
		63/07 H <sup>1/2</sup>	91						9		
		63/09 P									
		63/09 W									
		63/09 H <sup>1/2</sup>									
19	Duralium		Zusammensetzung ähnlich BSS-Legierung (Nr. 18)								
20	Magnalium		95 ÷ 70						5 ÷ 30		
21	Mangal	41 W 41 H	98,5								1,5
22	Tiers Argent		66,6								Ag33,4

## 2) Unausgehärtete Mehrstofflegierungen

23	Alcumin		Rest	9		0,4	0,5				Sn 1
24	Al-Guß 1	G Al 85	„	3,5	10						
25	Al-Guß 2	G Al 75	„	5	20						
26	Al-Kolben- guß 1	G Al 90	„	7			2				
27	Al-Kolben- guß 3	G Al 84	„	16		1		1			
28	Al-Kolben- guß 4 (s. a. Nr. 66)		„	5		14	0,75	1	2	2	
29	Alusil		„	1		18 ÷ 22	0,5 ÷ 1	0,5			
30	Amerik. Kolbenleg.		„	12 ÷ 20							Ver. 1,5
31	Aluman		„								
32	Aluman Spezial		„	2	10						
33	Argilit		„	6		2					Bi 2
34	Bohnalite (s. a. Nr. 75)		„	9 ÷ 11	0,63	0,31	< 1	0,1 ÷ 0,5		0,16	
35	BS-Seewasser		„			0,2		5 ÷ 10		0,2 ÷ 0,6	

## von Leichtmetalllegierungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text	
SG= Sandguß KG= Kokillenguß SpG= Spritzguß V= ausgehärtet V <sup>1</sup> = veredelt W= knetbarbearbeitet u. weichgeglüht H= hart durch Kaltknetung	$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\sigma_S$ (0,2%)	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L		Seite	
	g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$			
W		7000 ÷ 7100	15 ÷ 16	16 ÷ 19	36 ÷ 40	16 ÷ 22	80 ÷ 85	13 ÷ 14				11	
Schmiedeleg.													
W		7000		16 ÷ 18	35 ÷ 38	16 ÷ 22	75 ÷ 80	11 ÷ 12		9 ÷ 13			
W		7100		20 ÷ 24	38 ÷ 44	12 ÷ 18	90 ÷ 95	11 ÷ 12	20 ÷ 24				
Bleche													
W				15 ÷ 18	31 ÷ 36	16 ÷ 22							
1/2 H				20 ÷ 25	35 ÷ 40	8 ÷ 14							
W				20 ÷ 22	36 ÷ 40	16 ÷ 20							
1/2 H				27 ÷ 30	40 ÷ 45	7 ÷ 12							
gepreßt	2,65	6500 ÷ 7500	7 ÷ 10	9 ÷ 12	23 ÷ 26	16 ÷ 25	55 ÷ 65				Ver. Leichtmetall-Werke	12	
W					23 ÷ 26	16 ÷ 25	55 ÷ 65						
1/2 H					25 ÷ 30	8 ÷ 15	70 ÷ 80						
gepreßt			13 ÷ 15	15 ÷ 20	31 ÷ 36	16 ÷ 25	75 ÷ 85						
W					31 ÷ 36	16 ÷ 25	75 ÷ 85						
1/2 H					35 ÷ 40	8 ÷ 15	90 ÷ 100						
gepreßt			15 ÷ 18	16 ÷ 20	36 ÷ 40	16 ÷ 25	80 ÷ 90						
W					36 ÷ 40	16 ÷ 25	80 ÷ 90						
1/2 H					40 ÷ 45	8 ÷ 15	100 ÷ 120						
			Festigkeitswerte ähnlich BSS-Legierung (Nr. 18)									Dürener Metallwerke	12
W	2,7	6500 ÷ 7500			9 ÷ 12	20 ÷ 30	20 ÷ 25				Ver. Leichtmet.-Werke	11	
H				16 ÷ 20	18 ÷ 25	2 ÷ 5	45 ÷ 60				Berndorfer Metallwerke	12	

SG	2,9				15	2,5	53					
KG	2,9			6 ÷ 10	12 ÷ 18	1 ÷ 3	55		23,9		AEG	13
SG	3,0			8 ÷ 10	14 ÷ 20	1 ÷ 3	60				AEG	13
KG	2,95			8 ÷ 11	15 ÷ 20	1 ÷ 3	60		23,0		AEG	14
				8 ÷ 10	18 ÷ 22	2 ÷ 4	60		24,3		AEG	14
KG	3,0			10 ÷ 15	18 ÷ 22	1 ÷ 2	100		23,0		AEG	14
SG-KG	2,8			8 ÷ 10	16 ÷ 20	1 ÷ 2	100		17 ÷ 19		AEG Pallas	14
KG	2,6			~13	~14	1 ÷ 2	80 ÷ 90		17 ÷ 19		K.Schmidt	14
KG				12 ÷ 18	15 ÷ 20	1 ÷ 0,5	90 ÷ 120					14
W				4 ÷ 6	10 ÷ 12	30 ÷ 40	27 ÷ 32				Alum. Ind. Neuhausen (Schweiz)	14
H				18 ÷ 22	19 ÷ 23	3 ÷ 6	50 ÷ 60				Alum. Ind. Neuhausen (Schweiz)	14
gepreßt				11 ÷ 14	23 ÷ 27	12 ÷ 16	55 ÷ 65				Pat. 244550	—
W				11 ÷ 14	22 ÷ 25	17 ÷ 20	55 ÷ 65				Bohn.-Alu. Brass Co.	14
1/2 H				27 ÷ 30	30 ÷ 33	4 ÷ 6	80 ÷ 90		20			—
	2,95											—

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung									
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %		
36	Cindal		Rest	0,1 ÷ 0,5	0,1 ÷ 0,15				0,1 ÷ 0,3			
37	Cromal		„	÷ 3						÷ 3	÷ 0,7	Cr 1 ÷ 3,5
38	Deutsche Leg.		„	2 ÷ 5	8 ÷ 12							
39	Guß- Aluminium	Al 5	„	6		2						
40	Helumin		„	1,5 ÷ 2		(1,5 Met. d. Eisengr.)				0,5 ÷ 1	Sn 0,5	
41	Kokillen- gußleg.	G Al 83	„	6	8	1,5						
42	KS- Kolbenleg.		„	16		0,5	0,5 ÷ 1	0,3	0,3			
43	KS-Kolben- leg. 245		„	4,5		12	0,5 ÷ 1	0,7	1,5	1		
44	KS-See- wasser		„			0,3 ÷ 1		1 ÷ 2		1 ÷ 2		Sb < 1
45	Kupfer- silumin	61 W 61 H	„	0,8		12					0,3	
46	Levismin		„	6		0,4		0,5				Sn 1
47	L. M.		„	4,75		0,75					0,75	
48	„N“-Leg.		„	6							3	
49	Leg. 47		„	0,15	0,25	11 ÷ 13	0,8	6,25				
50	Pantal (s. a. Nr. 91)	L 15 19 W 19 H <sup>1/2</sup> 19 H	„			0,5 ÷ 1		0,8 ÷ 2			0,4 ÷ 1,4	Ti ÷ 0,3
51	Polital											
52	Silberit		„									Ag +
53	Silumin-Beta		„			12		0,3			0,5	
54	Sonderleg. 41	41 W 41 H <sup>1/2</sup> 41 H										
55	Spritzguß-Al	Al 36	„	3,5						6,5		
56	Spritzguß- leg.	Al 9	„	5		2				2		

## von Leichtmetalllegierungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text
$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\sigma_S$ (0,2% $\sigma$ )	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L			Seite
g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{mm}^2}$			
V <sup>1</sup>			11 ÷ 23,5		19 ÷ 41	5 ÷ 20					D. & J. Tullis Ltd.	14
KG	2,9				17 ÷ 20	2 ÷ 4	70 ÷ 80				Tillquist,	14
H		~8500		~17	~23	1 ÷ 2	~70				(Schwe-	
											den)	
SG	2,9 ÷	~7000	3,4	6 ÷ 10	12 ÷ 18	2 ÷ 5	60	23,9	19			12
KG	3,0				12 ÷ 20	1 ÷ 2	65					
SG	2,9 ÷				13 ÷ 17	1 ÷ 2	70 ÷ 90	23 ÷			Rob. Bosch	14
KG	3,0				15 ÷ 19	1 ÷ 2	70 ÷ 90	24			AG.	
SpG					17 ÷ 21	1 ÷ 2	70 ÷ 90					
SG	2,7 ÷	7600			16 ÷ 20	4 ÷ 10	50 ÷ 60				Helumin	14
KG—SpG	2,8	7650			18 ÷ 22	4 ÷ 10	55 ÷ 70	22	23		Leichtmet.	
H		7200			30 ÷ 35	15 ÷ 28	100 ÷ 120				G. m. b. H.	
KG	2,9			8 ÷ 10	14 ÷ 18	1 ÷ 3	65	25,0			AEG.	—
KG	3,1			13 ÷ 18	15 ÷ 20	0,5	110 ÷ 130	22 ÷ 24			Karl	14
											Schmidt	
KG	2,8			14 ÷ 19	15 ÷ 20	0,5	110 ÷ 130	19 ÷ 20			Karl	14
											Schmidt	
SG	2,71	7100	6 ÷ 7	9 ÷ 10	12 ÷ 16	2 ÷ 5	55 ÷ 65	7	23	20 ÷ 24	VLW.	14
KG					14 ÷ 19	2 ÷ 5					Bonn/Rh.	
W	2,70	6500 ÷		8 ÷ 10	16 ÷ 20	15 ÷ 25	45 ÷ 55		23	25		
H		7500	11 ÷ 12	20 ÷ 25	24 ÷ 32	2 ÷ 5	65 ÷ 75					
SG				9 ÷ 10	17 ÷ 20	2 ÷ 4	60 ÷ 65	5,5			Metallge-	10
KG				13 ÷ 14	23 ÷ 25	2 ÷ 3	75 ÷ 85	9			sellschaft	
	2,75				14	8	36					—
SG				18 ÷ 21	22 ÷ 28	2 ÷ 3	100				Alumi-	—
SK				22 ÷ 24	25 ÷ 30	8 ÷ 10	120				nium	
											Français	
SG	2,9				12,5	8					Ver.	—
											Staaten	
SG					17	4						—
SG	2,7	6500		12 ÷ 15	14 ÷ 17	3 ÷ 8	40 ÷ 60		23		Ver.	15
W		÷ 7000			11 ÷ 13	20 ÷ 25	30 ÷ 40				Leicht-	
1/2 H				10 ÷ 14	16 ÷ 20	5 ÷ 10	40 ÷ 50				metall-	
H				16 ÷ 20	18 ÷ 23	4 ÷ 6	50 ÷ 60				Werke	
W	2,7										Dürener	—
1/2 H					23 ÷ 26						Metall-	
H											werke	
											Süberit-Me-	—
											tall G. m. b. H.	
SG				9 ÷ 10,5	17 ÷ 20	2 ÷ 5	55 ÷ 65	6,5			Metallge-	10
KG				13 ÷ 15	23 ÷ 25	2 ÷ 3	75 ÷ 85	10			sellschaft	
SpG					25 ÷ 30	1 ÷ 2,5	75 ÷ 95					
W					9 ÷ 12	30 ÷ 20	20 ÷ 25				Ver. Leicht-	15
1/2 H				10 ÷ 15	12 ÷ 18	15 ÷ 5	35 ÷ 45				metall-	
H				16 ÷ 20	18 ÷ 25	5 ÷ 2	45 ÷ 50				Werke	
SpG	2,85				17 ÷ 21	1 ÷ 2	70 ÷ 90		20 ÷ 21		Rob. Bosch	15
											AG.	
SpG	2,9				17 ÷ 21	1 ÷ 2	70 ÷ 90		22 ÷ 23		Rob. Bosch	15
											AG.	

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurz- zeichen	Chemische Zusammensetzung									
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %		
57	Spritzguß- leg. 1	GA1 91	Rest	7		2						
58	Spritzguß- leg. 2	GA1 92,5	„	5		1				1,5		
59	Titanal		„	12	0,3	4	0,7	0,8				
60	Ultralumin	U I	„	4,7				Ce +	0,2	0,75	Th+	
		U II										
		U III U IV										
		U V										
61	Zimalium		„		1÷20				1÷10			
62	Zirkonal		„	15		0,5					8	

## 3. Ausgehärtete Mehrstofflegierungen

63	Aeron		Rest	1,5 ÷ 2		1					0,75	
64	Aldrey		„			0,4÷0,7	0,2÷ 0,3	0,3÷0,5				
65	Alferium		„	5,7		0,5	0,5	0,65				
66	Al-Kolben- guß 4 (s. a. Nr. 28)		„	5		14	0,75	1	2	2		
67	Almasilium		„			2		1				
68	Almelec		„			0,5	0,3	0,7				
69	Alneon		„	2÷3	22÷7							
70	Alucable		„			0,6	0,3	0,4				
71	Aludur	533 W 533 V 533 H 570 W 570 V 570 H 630 W 630 V 630 H	„	4,5		0,3÷0,8	0,3÷ 0,4	0,5÷1			0,3÷1	
72	Alufont II		„	3	13							Ver.Zus. 0,5÷1

## von Leichtmetalllegierungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text
$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\frac{\sigma_S}{(0,2\%/s)}$	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L			Seite
g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$			
SpG	2,95			10 ÷ 15	22 ÷ 25	1 ÷ 3	65		24,3		AEG	15
SpG	2,9			10 ÷ 15	22 ÷ 25	2 ÷ 5	70		24,0		AEG	15
KG	3								22			14
Qualität III	2,82	7500			25 ÷ 28	10 ÷ 15	70		18 ÷ 22	20	Ultra-lumin AG.	15
„ II					30 ÷ 34	6 ÷ 10	90					
„ I					38 ÷ 42	13 ÷ 20	80					
„ III	2,85				23 ÷ 26	6 ÷ 8	90					
„ II					25 ÷ 28	8 ÷ 12	90					
„ I					38 ÷ 40	10 ÷ 15	90					
SG	2,85				16 ÷ 22	4 ÷ 8	95 ÷ 100					
für Kolben	2,9 ÷ 2,95				18 ÷ 20	1 ÷ 2	120 ÷ 160					
KG—SpG	2,8 ÷ 2,85				14 ÷ 18	3 ÷ 5	90 ÷ 100					
	2,65 ÷ 2,75				25 ÷ 35	÷ 10					Murmann (Wien)	—
KG	3,1 ÷ 3,3								18 ÷ 20		Stahlwerke Fischer	14

W	2,8	7000			22 ÷ 25	18 ÷ 25	50 ÷ 55		23,6	24	Metallbank	16
V—H			12	20 ÷ 24	36 ÷ 42	18 ÷ 25	90 ÷ 110					
gepreßt—V	2,7	6200 ÷ 6500	18 ÷ 24	27 ÷ 29	20 ÷ 26	11 ÷ 17	60 ÷ 90				AEG-Siemens	16
V—H					31 ÷ 35	5 ÷ 8		26 ÷ 28	23	30 ÷ 33		
V	2,8	7500	22 ÷ 28		36 ÷ 42	14 ÷ 22					Frankreich AEG-Pallas	20
KG—V	2,8											14
V	2,6			18	32 ÷ 35	18	90 ÷ 100				Al-Français	—
V—H	2,7	6500	26 ÷ 27	32	35	6	90 ÷ 100		23	31 ÷ 32	Al-Français	17
SG—V	2,8 ÷ 3,1		7,5 ÷ 12		20 ÷ 34	3 ÷ 0,1	100 ÷ 150		25	16,9		17
V—H	2,6				27						Al-Français	17
W	2,75	6800		6 ÷ 8	11 ÷ 12	30 ÷ 35	25 ÷ 30		22,6	30 ÷ 33	Al.-Walzwerk Wutöschingen	17
V				13 ÷ 15	23 ÷ 27	18 ÷ 23	60 ÷ 70			28 ÷ 30		
H				17 ÷ 21	30 ÷ 35	2 ÷ 4	80 ÷ 85					
W	2,86	7200		11 ÷ 13	18 ÷ 20	20 ÷ 25	45 ÷ 55					
V				26 ÷ 28	38 ÷ 42	18 ÷ 25	100 ÷ 120	12 ÷ 14				
H				35 ÷ 38	50 ÷ 55	2 ÷ 4	130 ÷ 140					
W	2,83	7100		10 ÷ 13	15 ÷ 20	25 ÷ 30	40 ÷ 50					
V				25 ÷ 27	38 ÷ 40	18 ÷ 22	100 ÷ 110	12 ÷ 14				
H				32 ÷ 35	45 ÷ 50	3 ÷ 5	120 ÷ 130					
SG—V	3,0			18 ÷ 30	24 ÷ 34	0,8 ÷ 3	85 ÷ 105				Al.-Ind. Neuhausen (Schweiz)	17
KG—V				22 ÷ 32	25 ÷ 36	0,8 ÷ 2	90 ÷ 110					

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung							
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %
73	Anticorodal	W B C	Rest	4		0,5	0,3	0,58		0,65
74	Avional	QualitätD	„	4		0,5		0,5		0,5
75	Bohnalite (Nelson) (s. a. Nr. 34)		„	10,5			0,5			
76	Bondur	17/35 W 17/35 V 17/35 VN 17/65 W 17/65 V 17/65 VN 17/39 W 17/39 V 17/39 VN 17/69 W 17/69 V 17/69 VN	„	3,5 ÷ 5,5		0,3 ÷ 0,5		0,2 ÷ 0,7		0,25 ÷ 1
		17/65 V 17/69 V 17/11 V								
77	Albondur	17/65 V 17/39 V								
78	Chlumin		„				+	+		
79	Constructal 2		„	1,2		0,5	0,3	1		Ti 0,5
80	Constructal 8		„		5 ÷ 8	0,4 ÷ 0,75	0,3	1,25 ÷ 2		0,5 ÷ 1
81	Duralumin	681 B 1/3	„	3,5 ÷ 5,5		0,25 ÷ 0,5		0,2 ÷ 0,7		0,25 ÷ 1
		681 A								
		681 B								
		H K 681 ZB	„	2 ÷ 3				0,5 0,25 ÷ 2		

Cr +  
(Mg, Si  
1,5)  
(Mg Zn<sub>2</sub>  
7 ÷ 9)

## von Leichtmetallegerungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text
$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\sigma_S$ (0,2% $\epsilon$ )	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L			Seite
g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega mm^2}$		
KG—V	2,75		16 ÷ 23	20 ÷ 30	5 ÷ 1	90 ÷ 100						
W	2,71	6500	6 ÷ 7	11 ÷ 13	25 ÷ 27	30 ÷ 38		24	27		Al.-Ind. Neu- hausen (Schweiz)	17
V—H		7200	27 ÷ 30	32 ÷ 36	11 ÷ 14	90 ÷ 100						17
V-federhart	2,76		33 ÷ 38	36 ÷ 42	2 ÷ 10	100 ÷ 120						14
V			25 ÷ 28	38 ÷ 45	16 ÷ 20	95 ÷ 105						
Bleche/Bänder	2,8	7200						23	20		Ver. Leicht- metall- Werke Bonn/Rh.	18
W			20 ÷ 24	24 ÷ 28	16 ÷ 22	15 ÷ 20	50 ÷ 60					
V			26 ÷ 30	30 ÷ 34	38 ÷ 42	16 ÷ 23	105 ÷ 120					
V—H					42 ÷ 48	10 ÷ 15	120 ÷ 140					
W					18 ÷ 22	15 ÷ 20	50 ÷ 60					
V			22 ÷ 26	26 ÷ 30	40 ÷ 44	16 ÷ 23	110 ÷ 125					
V—H			28 ÷ 32	32 ÷ 36	44 ÷ 50	10 ÷ 15	125 ÷ 145					
W					18 ÷ 22	15 ÷ 20	50 ÷ 60					
V			26 ÷ 28	30 ÷ 32	42 ÷ 46	15 ÷ 20	115 ÷ 130					
V—H			32 ÷ 36	36 ÷ 40	46 ÷ 52	10 ÷ 15	130 ÷ 150					
W					18 ÷ 22	15 ÷ 20	50 ÷ 60					
V			28 ÷ 30	32 ÷ 34	44 ÷ 48	14 ÷ 18	115 ÷ 130					
V—H			34 ÷ 38	38 ÷ 42	48 ÷ 54	10 ÷ 14	130 ÷ 150					
gepr.Profile												
Stangen												
V			22 ÷ 26	26 ÷ 30	38 ÷ 42	14 ÷ 18	105 ÷ 120					
V			26 ÷ 30	30 ÷ 35	40 ÷ 45	12 ÷ 16	115 ÷ 130					
V			30 ÷ 35	35 ÷ 40	48 ÷ 55	10 ÷ 14	120 ÷ 140					
Rohre												
Drähte												
V			24 ÷ 30	28 ÷ 34	40 ÷ 45	10 ÷ 15	105 ÷ 120					
V			30 ÷ 36	34 ÷ 40	43 ÷ 48	10 ÷ 15	115 ÷ 130					
5 ÷ 8% geringere Festigkeit als die unplattierten Werkstoffe												
V	2,75			26 ÷ 29	36 ÷ 42	18 ÷ 28	80 ÷ 120				Japan Carl Berg AG.	—
V—H					52	10 ÷ 12						18
V	2,9			37 ÷ 39	47 ÷ 52	15 ÷ 20	120 ÷ 160				Carl Berg AG.	18
V—H					60	9 ÷ 10						18
V	2,8	6500 ÷ 7200		24 ÷ 27	38 ÷ 41	18 ÷ 21	115		20 ÷ 21		Dürener Metall- werke	18
V—1/2 H				30 ÷ 32	40 ÷ 44	14 ÷ 16	122					
V-federhart				52 ÷ 53	55 ÷ 57	4 ÷ 5	157					
V		7000		25 ÷ 27	38 ÷ 41	18 ÷ 20	117					
V—1/2 H		7300		31 ÷ 33	42 ÷ 45	12 ÷ 15	124					
V-federhart				52 ÷ 53	55 ÷ 57	4 ÷ 5	157					
V		7100		26 ÷ 28	40 ÷ 42	14 ÷ 18	112					
V—1/2 H		7400		32 ÷ 34	45 ÷ 48	10 ÷ 12	125					
V-federhart				54 ÷ 56	57 ÷ 59	3 ÷ 4	163					
V					32 ÷ 36	25						
V	2,6				22	20						
gewalzt—V				28 ÷ 30	42 ÷ 44	15 ÷ 18	118					
V—H				36 ÷ 38	46 ÷ 48	10 ÷ 12	135					
gepreßt—V				30 ÷ 32	42 ÷ 44	12 ÷ 14	118					



## von Leichtmetalllegierungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text
$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\sigma_S$ (0,2% <sub>0</sub> )	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_w$	$\alpha$	L			Seite
g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$			
gewalzt—V			32 ÷ 34	46 ÷ 48	12 ÷ 15	125						
V—H			40 ÷ 42	50 ÷ 52	10 ÷ 12	140						
gepreßt—V			36 ÷ 40	48 ÷ 52	10 ÷ 14	125						
V			28 ÷ 30	42 ÷ 44	12 ÷ 15	120						
				13,4	1						Dürener Metallwerke	20
				20	3						Ver.	20
				32	1						Staaten	
				27,7	7,5							20
	7000	5 ÷ 8	19 ÷ 20	20 ÷ 15	50						Rußland	20
	7300	19 ÷ 25	36 ÷ 42	15 ÷ 22	90 ÷ 100							
		35 ÷ 50	45 ÷ 58	14	110 ÷ 160							
SG—V	2,8		12 ÷ 18	16 ÷ 25	÷ 10	80 ÷ 90		23			Vereinigte Leichtmetall-Werke	20
KG—V			15 ÷ 23	20 ÷ 30	÷ 10	90 ÷ 110						
W		÷ 6	10 ÷ 13	16 ÷ 22	15 ÷ 25	50 ÷ 60		22,9	27 ÷ 30			
ungetempert		÷ 11	16 ÷ 20	30 ÷ 36	15 ÷ 25	70 ÷ 90		22,9	22 ÷ 23			
V		18 ÷ 22	20 ÷ 24	38 ÷ 42	18 ÷ 25	100 ÷ 120		22,9	22 ÷ 23			
V—H		÷ 45	30 ÷ 40	42 ÷ 50	2 ÷ 10	120 ÷ 140		22,9	22 ÷ 23			
W	2,75		14 ÷ 23	16 ÷ 25							Ver. Leichtmetall-Werke	21
1/2 H			27 ÷ 33	16 ÷ 25								
normal			35 ÷ 41	18 ÷ 25								
KG—V												
V—H	2,7		30 ÷ 36	10 ÷ 15					31		Carl Berg A G.	17
SG—V	2,8 ÷ 3,1	6,5 ÷ 9	16 ÷ 24	÷ 0,5	80 ÷ 120			22	16			17
KG—V	2,7	7000	16 ÷ 23	0,5 ÷ 5	70 ÷ 120			23			Vereinigte Leichtmetall-Werke	15
V		6500	15 ÷ 20	18 ÷ 25	0,5 ÷ 5	70 ÷ 120						
V—H		÷ 7000	18 ÷ 25	30 ÷ 35	12 ÷ 15	70 ÷ 95						
			33 ÷ 36	36 ÷ 42	2 ÷ 10	100 ÷ 120						
SG   ange-			11 ÷ 15	19 ÷ 22	1 ÷ 4	65 ÷ 75	6,5				Metallgesellschaft	11
KG   lassen			15 ÷ 22	25 ÷ 28	1 ÷ 3	80 ÷ 95	10					
SG—V			18 ÷ 25	25 ÷ 29	0,5 ÷ 4	80 ÷ 100	8,5					
KG—V			20 ÷ 28	26 ÷ 32	0,5 ÷ 1,5	85 ÷ 110	11					
V—H	2,9 ÷ 3	7200	18 ÷ 20	30 ÷ 35	40 ÷ 50	15 ÷ 10	110 ÷ 135		26	16,7	Ver. Leichtmetall-Werke	21
gepreßt				32	15	90 ÷ 100		27 ÷ 28			Robert Bosch AG.	
V				43	15	130						
V—H		7000	~30	35 ÷ 43	8 ÷ 13			25	30			17
SG—V	2,8	~7000	8 ÷ 11	15 ÷ 20	1 ÷ 2	80 ÷ 110		22,5			England — K. Schmidt-Elekt. Metall	21
KG—V			~10	21 ÷ 32	0,2 ÷ 1,5	100 ÷ 130						

SG	1,74			10,7	5			24				22
KG				12,4	4							
gepreßt			4,5	20 ÷ 21	7	35 ÷ 40						
gewalzt			6,7	28	4	40						

Tabelle 12. Zusammensetzung und Gütewerte

Nr.	Bezeichnung	Kurz- zeichen	Chemische Zusammensetzung								
			Al %	Cu %	Zn %	Si %	Fe %	Mg %	Ni %	Mn %	
D. Magnesiumlegierungen											
99	Elektron	AZG	5,75 ÷ 6,25	÷ 0,3	2,75 ÷ 3,25	÷ 0,3			Rest		0,2 ÷ 0,5
		AZF	3,75 ÷ 4,25	÷ 0,3	2,75 ÷ 3,25	÷ 0,3			„		0,2 ÷ 0,5
		V 1	9,5 ÷ 10,5	÷ 0,3	÷ 0,6	÷ 0,3			„		0,2 ÷ 0,5
		V 1							„		
		AZ 31	2,75 ÷ 3,25	÷ 0,3	0,75 ÷ 1,25	÷ 0,3			„		0,2 ÷ 0,5
		AM 503	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,3			„		1,5 ÷ 2,2
		CM Si	÷ 0,2	÷ 0,3	÷ 0,2	0,6 ÷ 1,5			„		0,05 ÷ 0,3
		V 1	9,5 ÷ 10,5	÷ 0,3	÷ 0,6	÷ 0,3			„		0,2 ÷ 0,5
		V 1 w							„		
		V 1 h							„		
		AZM	6,15 ÷ 6,45	÷ 0,2	0,8 ÷ 1,2	÷ 0,2			„		0,2 ÷ 0,5
		AZMQ	6,15 ÷ 6,55	÷ 0,2	0,8 ÷ 1,2	÷ 0,2			„		0,2 ÷ 0,5
		AZ 31	2,75 ÷ 3,25	÷ 0,3	0,75 ÷ 1,25	÷ 0,3			„		0,2 ÷ 0,5
		Z 1 b	÷ 0,5	÷ 0,3	4,25 ÷ 4,75	÷ 0,3			„		
		AM 503	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,3			„		1,5 ÷ 2,2
		MG 5							„		
		Z 3	÷ 0,2	÷ 0,2	2,75 ÷ 3,0	÷ 0,3			„		
		Z 3	÷ 0,2	÷ 0,2	2,75 ÷ 3,0	÷ 0,3			„		
		AM 503	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,1	÷ 0,3			„		1,5 ÷ 2,2
		AZM	6,15 ÷ 6,45	÷ 0,2	0,8 ÷ 1,2	÷ 0,2			„		0,2 ÷ 0,5
AZM	6,15 ÷ 6,45	÷ 0,2	0,8 ÷ 1,2	÷ 0,2			„		0,2 ÷ 0,5		
100	Dow-Metall	A	8					„		0,2	
		G	10					„		0,10	
		E	6,0					„		0,3	
		E						„			
		E						„			
		F	4					„		0,3	
		F						„			
M						„		1,5			

## von Leichtmetalllegierungen. (Fortsetzung.)

Zustand	Spez. Gewicht	Elastizitäts-Modul	Elastizitäts-Grenze	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Kugeldruckhärte	Dauerfestigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Elektr. Leitfähigkeit	Hersteller bzw. Erfinder	Text										
													$\gamma$	E	$\sigma_E$	$\sigma_S$ (0,2%/)	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	H	$\sigma_W$	$\alpha$	L
													g/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	$\times 10^{-6}$	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$
Gußleg.	1,8	4300	4 ÷ 5	10 ÷ 11	16 ÷ 20	3 ÷ 6	53 ÷ 57	7 ÷ 8	s. S.	s. S.	I. G. Farben- industrie	22										
SG		4200	4	9	17 ÷ 21	5 ÷ 9	43 ÷ 47	5,5 ÷ 7,5														
KG		4300	5	11	14 ÷ 17	2	60	7 ÷ 8														
Sp G		4300	5	11	10 ÷ 17	2	64															
SG		4000	3	6,5	16 ÷ 20	6 ÷ 8	40	5														
SG				~2,5	10 ÷ 12	~3	~30															
SG				~6	9 ÷ 10	~1,5	~45															
Preßleg.		4550	19 ÷ 21	23 ÷ 28	33 ÷ 37	7 ÷ 9	70	12														
	4400	19 ÷ 21	23 ÷ 26	33 ÷ 37	9 ÷ 12	60	12															
	4600	22 ÷ 24	26 ÷ 30	37 ÷ 42	2 ÷ 5	85 ÷ 90	13															
	4500	17 ÷ 19	20 ÷ 22	28 ÷ 32	11 ÷ 16	55	13															
	4500	17 ÷ 19	21 ÷ 23	29 ÷ 33	10 ÷ 16	55	14 ÷ 15															
	4300	14 ÷ 16	18 ÷ 20	25 ÷ 28	8 ÷ 12	48 ÷ 50	10															
	4300	9 ÷ 13	16 ÷ 18	25 ÷ 27	15 ÷ 18	45	9															
			14 ÷ 17	19 ÷ 23	1,5 ÷ 5																	
				20 ÷ 25																		
Walzleg.																						
W		4250	7 ÷ 9	13 ÷ 15	20 ÷ 24	10 ÷ 12	42	8,5														
H		4250	7 ÷ 9	13 ÷ 15	26 ÷ 32	2 ÷ 5	60	8,5														
		4200	5	8 ÷ 14	19 ÷ 23	5 ÷ 10	40	7 ÷ 8														
W		4500	10	18 ÷ 22	28 ÷ 32	10 ÷ 14	55	11														
H		4500	10	18 ÷ 22	33 ÷ 38	1 ÷ 6	65	11														
				$\sigma 0,1$		$\delta 4$																
SG	1,80			6 ÷ 7	22 ÷ 25	9 ÷ 12	48 ÷ 52				Ver. Staaten	25										
SG	1,82			12 ÷ 14	23 ÷ 27	1 ÷ 3	70 ÷ 80															
SG	1,78			5 ÷ 6	20 ÷ 22	9 ÷ 12	46 ÷ 50															
gepreßt				20 ÷ 23	28 ÷ 31	10 ÷ 15	50 ÷ 55															
geschmiedet				14 ÷ 20	26 ÷ 30	10 ÷ 15	52 ÷ 56															
gepreßt	1,76			18 ÷ 21	26 ÷ 29	12 ÷ 16	45 ÷ 50															
geschmiedet				13 ÷ 17	25 ÷ 28	10 ÷ 18	48 ÷ 52															
gewalzt	1,76			9 ÷ 16	21 ÷ 27	4 ÷ 10	48 ÷ 52															

# WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER  
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. EUGEN SIMON, BERLIN

Bisher sind erschienen (Fortsetzung):

- Heft 35: Der Vorrichtungsbau.  
II: Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmässig konstruierter Vorrichtungen. Typische Einzelvorrichtungen.  
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 36: Das Einrichten von Halbautomaten.  
Von J. van Himbergen, A. Bleckmann, A. Waßmuth.
- Heft 37: Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei.  
Von Fr. und Fe. Brobeck.
- Heft 38: Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau.  
Von Ing. Arno Dorl.
- Heft 39: Die Herstellung roher Schrauben.  
I: Anstauchen der Köpfe.  
Von Ing. Jos. Berger.
- Heft 40: Das Sägen der Metalle.  
Von Dipl.-Ing. H. Hollaender.
- Heft 41: Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle).  
Von Dr.-Ing. A. Peter.
- Heft 42: Der Vorrichtungsbau.  
III: Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen. Von Fritz Grünhagen.
- Heft 43: Das Lichtbogenschweißen.  
Von Dipl.-Ing. Ernst Klose.
- Heft 44: Stanztechnik. I: Schnitttechnik.  
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 45: Nichteisenmetalle. I: Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß.  
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann.
- Heft 46: Feilen.  
Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum.
- Heft 47: Zahnräder.  
I: Aufzeichnen und Berechnen. Von Dr.-Ing. Georg Karrass.
- Heft 48: Öl im Betrieb.  
Von Dr.-Ing. Karl Krekeler.
- Heft 49: Farbspritzen.  
Von Obering. Rud. Klose.
- Heft 50: Die Werkzeugstähle. Von Ing.-Chem. Hugo Herbers.
- Heft 51: Spannen im Maschinenbau.  
Von Ing. A. Klautke.
- Heft 52: Technisches Rechnen.  
Von Dr. phil. V. Happach.

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Festigkeit und Formänderung II. Von Dr.-Ing. Kurt Lachmann.  
Freiformschmiede III. Von Ing. A. Stodt.  
Stanztechnik II und III. Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.

**Nichteisenmetalle.** Von Dr.-Ing. Reinhold Hinzmann. („Werkstattbücher“, Heft 45.) Erster Teil: Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß. Mit 53 Abbildungen im Text. 56 Seiten. 1931. RM 2.— (abzügl. 10 % Notnachlaß)

Der Verfasser gibt einen klaren und sachlichen Überblick über Kupfer und seine technisch wichtigsten Legierungen. Es werden im einzelnen dargestellt die Gewinnung und Herstellung dieses durch seinen Preissturz in der Anwendung besonders begünstigten Metalls, sein Gefügebau und seine Gefügeänderung, seine Verarbeitung, seine physikalischen und chemischen Eigenschaften. Für Messing und Sondermessing, für Bronze und Sonderbronze sowie für Rotguß werden neben der Herstellung auch die wissenschaftlichen Grundlagen auf Grund der Zustandschaubilder behandelt. Die Darstellung ist knapp und erschöpfend. Das preiswerte Büchlein kann daher warm empfohlen werden und dürfte besonders für den zu erfassenden Leserkreis eine wertvolle Bereicherung seines Wissens „Die Gießerei“

**Metallographie des Aluminiums und seiner Legierungen.**

Von Dr.-Ing. V. Fuß, Köln. Mit etwa 200 Abbildungen und 4 Tafeln. Etwa 220 Seiten. *Erscheint im Juni 1934.*